

**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:** 75 (1984)

**Heft:** 7

**Rubrik:** Im Blickpunkt = Points de mire

### **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:** 26.01.2026

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



# Im Blickpunkt Points de mire

## Informationstechnik Technique de l'information

### Das menschliche Gehirn: ein Speicher unerreichter Kapazität

Rechnerisch ist das menschl-

che Durchschnittsgehirn ein Speicher für den Inhalt von 62,5 Mio Schreibmaschinenseiten (A4) mit je 2000 Zeichen. So unfassbar gross die Speicherkapazität der grauen Zellen aber ist, so langsam arbeiten sie: Ins Kurzzeitge-

dächtnis kann mit höchstens 50 bit/s eingelesen werden, noch länger ist die Leitung ins Langzeitgedächtnis. Halbleiterspeicher sind da die reinsten Renner.

sich bis zum heutigen Tag bewährt und erhalten hat, denn sie ermöglicht die «Hochtemperatur-Strahlungskühlung». Unter Belastung, während der Röntgenaufnahme oder -durchleuchtung, dringt die zunächst auf der Brennfleckbahn konzentrierte Wärme rasch in die tieferen Schichten der Anode ein und erhitzt den gesamten Anodenteller auf hohe Temperatur. Über die grosse Oberfläche des Anodentellers wird die Wärme sofort wieder abgestrahlt.

Diese Hochtemperatur-Strahlungskühlung ist auch heute noch die wirksamste Kühlart für Drehanodenröhren. Sie liess erstmals den routinemässigen, zeitlich fast unbeschränkten Durchleuchtungs- und Aufnahmebetrieb zu. Sie war auch unabdingbare Voraussetzung für die Einführung von Röntgen-Untersuchungsverfahren, die lange Aufnahmezeiten oder ganze Aufnahmefolgen verlangen, wie Schichttechnik, Serienaufnahmetechnik (Angiographie) und Röntgen-Kinematographie.

Die Computertomographie mit ihren dicht aufeinanderfolgenden Scans wäre ohne hochbelastbare Röntgenröhren überhaupt nicht denkbar.

In der Opti 151 CT, der Spezialröhre für die Computertomographie von Siemens, besteht die Anode aus mehreren Schichten: Rhenium/Wolfram als verschleissfeste röntgenaktive Schicht, eine Molybdänlegierung als Träger und Graphit als Wärmespeicher. Die schwarze Farbe und grosse Oberfläche der über 3 cm dicken Graphitschicht verbessern die Wärmeabstrahlung der Anode beträchtlich. Ausserdem nimmt das Graphit die Wärmeenergie während schneller Aufnahmefolgen auf und verhindert damit, dass die Anode überhitzt wird. (Siemens-Presseinformation)

### Gegenwärtiger Stand und Zukunft intelligenter Industrieroboter

[Nach S. Ando, T. Goto: Current Status and Future of Intelligent Industrial Robots. IEEE Trans. IE-30(1983)3, S. 291...299]

Es wird über den gegenwärtigen technischen Stand der Industrieroboter sowie die mögli-

Vergleich verschiedener Speichersysteme geordnet nach Informationskapazität

Speichermedium	Kapazität pro Einheit	Entsprechende Seiten A4	Dichte bit/mm <sup>2</sup>	Schreib-/Lese- geschwindigkeit
1 DIN-A4-Seite (2000 Zeichen)	16 kbit	1	0,45	150 bit/s
Halbleiterspeicher	256 kbit	16	10×10 <sup>3</sup>	5 Mbit/s
Magnetblasenspeicher	1 Mbit	62,5	15×10 <sup>3</sup>	50 kbit/s
Magnetplatte	560 Mbit	35 000	15×10 <sup>3</sup>	15 Mbit/s
Magnetband (EDV)	720 Mbit	45 000	1×10 <sup>3</sup>	10 Mbit/s
MusiCassette, 60 min (analog)	(860 Mbit)*	62 500	2×10 <sup>3</sup>	15 kHz
Audioplatte LP (analog)	(1200 Mbit)*	75 000	10×10 <sup>3</sup>	20 kHz
Holografische Speicher	10 000 Mbit	630 000	1000×10 <sup>3</sup>	100 Mbit/s
Compact Disc CD	15 000 Mbit	940 000	270×10 <sup>3</sup>	4,5 Mbit/s
Optical Disk				
30 cm (in Entwicklung)	20 000 Mbit	1,3 Mio	2000×10 <sup>3</sup>	10 Mbit/s
Magneto-optische Platte				
30 cm (in Entwicklung)	30 000 Mbit	1,9 Mio	470×10 <sup>3</sup>	16 Mbit/s
Videoband (analog)	(150 000 Mbit)*	9,4 Mio	120×10 <sup>3</sup>	8 MHz
Videoplatte VLP (analog)	(150 000 Mbit)*	9,4 Mio	2700×10 <sup>3</sup>	10 MHz
Menschliches Gehirn (Langzeitspeicher)	1 Mio Mbit	62,5 Mio	(10 <sup>9</sup> /cm <sup>3</sup> )	1 bit/s Langzeitgedächtnis 50 bit/s Kurzzeitgedächtnis

\*) Den Analogwerten entsprechende, für Vergleichszwecke umgerechnete Digitalwerte (A/D-Wandler) Quelle: Siemens

### EARN Daten-Netzwerk der europäischen Universitäten

Vertreter zahlreicher europäischer Universitäten und Forschungsinstitute sowie der IBM beabsichtigen, unter dem Namen EARN (European Academic and Research Network) ein internationales Daten-Netzwerk zu schaffen. Dadurch sollen der Austausch wissenschaftlicher und technischer Daten unter den Universitäten aus verschiedenen Ländern gefördert und bis Ende Jahr gegen 250 Computer miteinander verbunden werden.

EARN wird mit Unterstützung der IBM aufgebaut, welche Computer für die Netzwerk-Zentrale, Fernmeldeeinrichtungen und entsprechende Software sowie das Knowhow von Spezialisten auf diesem Gebiet zur Verfügung stellt. Verbindungsglied zur Schweiz ist ein Prozessor IBM 4341 im europäischen Labor für Teil-

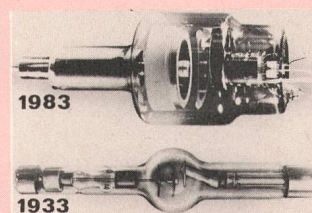
chenbeschleunigung CERN in Genf. Beim EARN handelt es sich um das erste nicht spezialisierte Daten-Netzwerk unter europäischen Universitäten. Es umfasst bereits bestehende nationale wissenschaftliche Netzwerke und ist nun auch mit einem ähnlichen amerikanischen verbunden, dem sog. «Bitnet». Dieses erlaubt den Zugriff auf 130 Computer bedeutender Universitäten und Forschungszentren in Amerika.

### Die moderne Röntgenröhre entstand vor 50 Jahren

Röntgenröhren müssen nicht nur die Eigenschaften zur Strahlenerzeugung besitzen, sie müssen auch in der Lage sein, hohe thermische Energiemengen zu verkraften, denn 99% der von der Röhre aufgenommenen elektrischen Energie wird in Wärme umgewandelt. Die Wärmeabfuhr war daher von Anfang an das zentrale

Problem bei der Entwicklung der Röntgenröhre.

Mit der Drehanode hatte man zunächst eine Lösung für die Belastbarkeit des Brennflecks gefunden. Es blieb jedoch das Problem der Wärmeübertragung von der Anode nach aussen. 1933 brachte Siemens die «Pantix»-Röhre auf den Markt. Das Besondere an dieser Drehanodenröhre, deren erste Baumuster bereits 1927 erprobt wurden, war die tellerförmig flache, aus massivem Wolfram gefertigte Anode, die von einer dünnen Molybdänwelle gehalten wurde - eine Konstruktion, deren Grundform





che Weiterentwicklung der Grundoperationen und über zukünftige Anwendungen berichtet. Zehn Schlüsseloperationen werden in Beispielen erläutert; sie haben die Hauptforderungen niedriger Preis, hohe Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Einfachheit in der Ausführung zu erfüllen. Die Bewegungsprozesse wurden dabei der Reihe nach in folgende Phasen aufgeteilt: Know-how-Integration und Lernfähigkeit, Einfluss der Umgebungsbedingungen, Bewegungsablauf-Planung, Steuerung, Entscheidungskriterien.

In der 1. Phase geht es darum, dem Roboter das «Fachwissen» einzugeben (Dimensionen, Formen, Gewichte, Spezifikationen von Werkstücken und Peripherieeinrichtungen). Während des Arbeitsablaufes sollen weitere Daten erfasst und gespeichert werden (Lernfähigkeit). Die 2. Phase umfasst die Kennzeichnung der Umgebung (Lage, Anzahl, Abstände, Form usw. benachbarter Objekte). Der Ablauf der Bewegung muss in der 3. Phase folgerichtig geplant werden; die zurückzulegenden Wege können in gleichförmiger oder beschleunigter Bewegung erfolgen. Die Beeinflussung erfolgt dabei durch Sensoren und unter Einfügung mehrachsiger Gelenke. Schliesslich sind die Bewegungsabläufe zu steuern, wobei die Komplexität der Prozessoren wesentlich von den gewählten Koordinatensystemen abhängt. Die Phase der zu treffenden Entscheidungen wird die Beurteilung gewisser Umgebungsbedingungen im Vergleich zu dem eigenen «Wissen» beinhalten.

Die grundlegenden Roboterfunktionen und ihre Steuerungen werden anhand von Beispielen ausführlich erläutert (Löten, Schweißen, Farbspritzen, Tauchlöten usw.). Um die Intelligenz dieser Maschinen weiter zu steigern, sind die zuvor beschriebenen Kriterien und Bewegungsabläufe sowie die integrierte Intelligenz zu verfeinern. Dies kann durch die Einfügung weiterer Überwachungsorgane, durch die Verkleinerung von Teilwegen sowie durch Optimierung von Einzelprozessen geschehen. Schliesslich ist auch den zeitlichen Abläufen Aufmerksamkeit zu schenken. Bei den einzelnen Beispielen handelt es

sich um Roboter-elemente, welche von Hitachi realisiert worden sind.

H. Klauser

### Auto-Scout: Verkehrsleit- und Informationssystem in Erprobung

Schnell und unkompliziert an sein Ziel zu kommen ist der Wunsch jedes Autofahrers. Doch die Strassen werden immer stärker belastet. Staus und Warteschlangen kann der Autofahrer immer weniger ausweichen, da ihm der Überblick über die Gesamt-Verkehrssituation fehlt.

Das muss in Zukunft nicht so bleiben. In Wolfsburg wird derzeit ein neuartiges Verkehrsleit- und Informationssystem erprobt, das Kraftfahrern rechtzeitig die jeweils günstigsten Fahrtrouten zu ihrem individuellen Reiseziel empfiehlt. Siemens hat ein solches System unter dem Namen «Auto-Scout» konzipiert und zusammen mit dem Volkswagenwerk eine Demonstrations- und Testanlage aufgebaut.



Bei Auto-Scout strahlen Verkehrsampeln Signale im Infrarotbereich ab. Damit werden zu den Empfängern in den Fahrzeugen Leitempfehlungen übertragen, die die günstigste Fahrtroute zum jeweiligen Reiseziel beschreiben. Diese Leitempfehlungen orientieren sich am Stadtplan oder an der Landkarte, berücksichtigen dabei aber die aktuelle Verkehrssituation ebenso wie Behinderungen durch Baustellen und Unfälle. Liegt das Reiseziel in weiter Ferne – an der Nordseeküste oder in Sizilien –, so wird der Autofahrer auf die richtige Ausfallstrasse geleitet.

Der Fahrer selbst merkt von alledem fast nichts. Im Vorbeifahren erhält der Auto-Scout-Bordrechner innerhalb nur einer Sekunde umfangreiche Verkehrsinformationen. Darin sucht er diejenigen Informationen aus, die der Fahrer wissen muss, und zeigt ihm das Notwendige mit einfachen Symbolen an: «Geradeaus fahren»,

...«an der nächsten Kreuzung rechts abbiegen» usw.

Auto-Scout kann auch den Weg zu einem Parkplatz, zur nächstgelegenen geöffneten Tankstelle, zu einem Hotel oder einer Apotheke weisen und – manche Fahrer werden es zu schätzen wissen – auch warnen, falls ein wichtiges Verkehrszeichen übersehen wurde.

Dieser Grossversuch, den Siemens und das Volkswagenwerk mit Unterstützung der Stadt Wolfsburg durchführen, soll den Verkehrsexperten demonstrieren, welchen wirksamen Beitrag die Kommunikationstechnik zu leisten vermag, um den Verkehr flüssiger ablaufen zu lassen, gleichzeitig den Treibstoffverbrauch und die Umweltbelastung zu senken sowie die Verkehrssicherheit zu erhöhen sowie aber auch Verkehrsstrategien durchzusetzen, die z.B. die Belange der Anwohner wahren.

(Siemens-Presseinformation)

### Zerstörungsfreie Vorausbestimmung der Emissionswellenlänge von Laserdioden

[Nach S.F. Nygren: A Nondestructive Method for Predicting Laser Emission Wavelength from Photocurrent Spectra of GaAlAs Double Heterostructure Wafers. IEEE J., QE-19(1983)6, S. 898...905]

Bei faseroptischen Übertragungsstrecken zeichnet sich eine Tendenz zum Wellenlängen-Multiplexbetrieb ab, wobei Senderbauelemente verschiedener Wellenlänge an eine Faser angekoppelt werden. Eine Voraussetzung dafür ist, dass die von den Sendern emittierte Wellenlänge nur eine geringe Toleranz aufweist. Man möchte bereits bei der Herstellung der Wafer für GaAlAs-Doppelheterostruktur-Laserdioden wissen, welche Wellenlänge die fertigen Laser emittieren werden. Dies ergibt die Möglichkeit, durch eine geeignete Prozesssteuerung die Emissionswellenlänge auf ihren Nominalwert zu regeln.

Bisher wird oft die Fotolumineszenz für die Vorausbestimmung der Emissionswellenlänge verwendet. Diese Messung ist jedoch zerstörend. Als zerstörungsfreie Alternative wird die Fotostrom-Spektroskopie vorgeschlagen. Dabei wird der Wafer als fotovoltische Zelle (Solarzelle) betrieben und mittels Druckkontakten ange-

schlossen. Er wird mit einer 100-W-Wolframlampe durch einen Monochromator beleuchtet, und der Fotostrom (Größenordnung  $10^{-10}$  bis  $10^{-11}$  A) wird als Funktion der Beleuchtungswellenlänge gemessen. Daraus kann die Bandkante der aktiven Schicht bestimmt werden. Sie liegt näherungsweise dort, wo der steilste Abfall im Fotostrom-Spektrum auftritt. Daraus kann man nun auf die Wellenlänge  $\lambda_{110}$  schliessen, bei der nach Henry et al. die Emissionswellenlänge liegen sollte. In einigen Beispielen, die die Schwankungen der Dotierung der LPE-Schicht berücksichtigen, sieht man, dass  $\lambda_{110}$  um  $152 \text{ \AA} \pm 24 \text{ \AA}$  höher liegt als der steilste Abfall des Fotostrom-Spektrums. Dies bedeutet, dass man die Emissionswellenlänge der fertiggestellten Laserdioden einfach und sicher bestimmen kann. In einer Statistik aus 424 Laserdioden wich bei 90% die vorausbestimmte Emissionswellenlänge maximal  $\pm 62 \text{ \AA}$  von der am fertigen Laser gemessenen ab.

E. Stein

### Voruntersuchungen im Hinblick auf automatische Spracherkennung

[Nach J.E. Holmgren: Toward Bell System Applications of Automatic Speech Recognition. The Bell System Technical Journal 62(1983)6, S. 1865...1880]

Automatische Spracherkennung für beschränktes Vokabular in auf einen Sprecher trainierten Systemen ist heute keine Sonderheit mehr. Ein nächster Schritt wäre die Erkennung von Nummerndurchgaben (Kreditkarten). Dabei muss mit beliebigen Sprechern und verschiedenen Sprechrhythmen gerechnet werden. Obwohl Ton-Tastenwahlsysteme direkte Nummerneingabe zulassen, besteht das Bedürfnis, für die Millionen existierenden Impulswahlstationen akustische Eingabemöglichkeiten zu schaffen.

In einem Grossversuch mit Personen, unterstützt durch Tonbandmaschinen als Empfänger, wurden in einer ersten Phase wichtige Kriterien herauskristallisiert, die berücksichtigt werden müssen. Es sind dies insbesondere:

- Instruktion der Benutzer, schriftlich oder akustisch, letzteres ab Tonband oder aus Sprachsynthesizer,
- akustische Quittung, ja oder



- nein, gesamthaft, in Gruppen oder für jede Zahl einzeln,
- Korrekturmöglichkeiten bei Versprechern,
  - Grenzpersonen mit Sprachfehlern,
  - taktmässiges Sprechen (in Gruppen oder einzeln) oder «wildes» Sprechen, zerhacktes oder zusammenhängendes Sprechen,
  - Gruppengliederung (Viererguppen sind heute bei Kreditkarten üblich, wie weit wird dies praktisch berücksichtigt),
  - Ausspracheeigenheiten wie «Zero» oder «Oh» (bei uns z.B. «zwei», «zwo», «drei null null» oder «dreihundert»),
  - Geschwindigkeit: die Untersuchung ergab Werte von 2,1 bis 5,1 Zahlen/s, im Mittel etwa 3,4 Zahlen/s,
  - Erfolgsquote von «Mahnungen» an Schnell- oder Schlechtsprecher.

Die Studie ist unvollständig, bildet aber eine wertvolle Hilfe bei der Konzeption automatischer Systeme im erwähnten Anwendungsbereich.

O. Stürzinger

### Empfangsverbesserung gestörter Sprachsignale

[Nach P. Vary: Verfahren zur digitalen Verbesserung gestörter Sprache, TE KA DE Tech. Mitt. 1983, S. 70...76]

Ein mit additiver Störung  $n$  behaftetes Sprachsignal  $s$  kann am Empfangsort weitgehend entzerrt werden. Ein dafür geeignetes Verfahren besteht in einer spektralen Zerlegung des gestörten Signals  $s+n$  in eine Anzahl von Teilbandsignalen (z.B. 24). Diese werden adaptiv gewichtet und zum Signal  $\hat{s}$ , das eine Schätzung des ursprünglichen Signals  $s$  darstellt, zusammengesetzt. Unter der Voraussetzung der kurzzeitigen Stationarität des Störsignals, was z.B. im Fall einer periodischen Störung a fortiori zutrifft, kann auf diese Weise die Störung ganz unterdrückt werden. Die Bewertungskoeffizienten  $H$  für die Teilbandsignale werden fortlaufend als Funktion des Verhältnisses  $Q$  (Störleistung des Teilbandsignals zur Gesamtleistung dieses gestörten Signals) ermittelt. Die Störleistung wird während der kurzzeitigen Unterbrechungen des Sprachsignals gemessen. Unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Hörempfindens und der

Spracherzeugung können mit der Beziehung  $H = 1 - Q^4$  und  $H = 0$  für  $Q > 1$  sogar bessere Resultate erzielt werden als mit dem Wienerschen Kriterium des minimalen mittleren Fehlerquadrates. Trotz der ziemlich komplizierten Prozesse ist die entsprechende integrierte Schaltung verhältnismässig einfach aufgebaut. Sie enthält u.a. als wesentliche Bausteine fünf Mikroprozessoren NEC  $\mu P D7720$ .

Dieses Verfahren hat sich als sehr wirksam erwiesen. Sogar bei nichtstationären, rauschartigen Störungen erlaubt es, den Störabstand um etwa 20 dB zu verbessern. J. Fabijanski

### Das Verhalten von Wechselstrom/Gleichstrom/Gleichstrom-Umrichtern

[Nach P. Marino, C. Picardi und A. Russo: AC characteristics in AC/DC/DC-conversion. IEE Proc. B, 130(1983)3, S. 201...206]

Netzgeführte Gleichrichter mit Phasenanschnittsteuerung sind weit verbreitet. Die entstehenden oberen Harmonischen und die zündwinkelabhängige Blindleistung sind gravierende Nachteile dieser Schaltung. Die Phasenverschiebung kann zwar mittels Zwangskommutation auf null gebracht werden, mit dem Nachteil einer komplizierten Steuerung und Spannungsbelastung der Halbleiter.

Durch den Einsatz der seit kurzem erhältlichen Leistungstransistoren können heute vorteilhaft Doppelumrichter gebaut werden, sofern keine Leistungsumkehr verlangt wird: Ein gewöhnlicher Dreiphasen-Diodengleichrichter in Brückenschaltung speist über einen Filter einen Gleichstromsteller mit Pulsbreitenmodulation (DC/DC Chopper with symmetrical double-edge pulse width modulation). Sowohl die Phasenverschiebung als auch die Wellenform können damit günstig beeinflusst werden.

Dabei ist die Betriebsart des Choppers von zentraler Bedeutung. Bei nicht korrekter Steuerung treten subharmonische Komponenten auf, die sich unsymmetrisch auf das Drehstromsystem auswirken. Nach der Herleitung der Formeln für die Ströme und die Phasenverschiebung sowie nach der Fourieranalyse der Wellenform kristallisieren sich die Anforderungen an die Steuerung her-

aus: Die Modulationsfrequenz des Choppers muss ein ganzzahliges Vielfaches des Produktes aus Pulszahl des Gleichrichters und der Netzfrequenz sein. Damit ist sichergestellt, dass keine subharmonischen Schwingungen und keine Unstabilitäten auftreten. Die Phasenlage der ersten Harmonischen kann geschoben werden, indem man die Zeit zwischen dem Nulldurchgang der Netzfrequenz und der Mitte des Modulationspulses verstellt.

Für die theoretische Untersuchung wurde das Filter nicht berücksichtigt. Die genannten Schlussfolgerungen sind jedoch auch bei Zwischenschalten eines Filters zwischen Gleichrichter und Chopper gültig. Bei Einhaltung der abgeleiteten Betriebsbedingungen erhält man auch bei kostengünstigen Filtern eine ausgezeichnete Drehstromcharakteristik. -lbf-

### Werkstoffe mit «Gedächtnis»

[Nach E.K. Aschmoneit: Memory-Legierungen, Werkstoffe mit Gedächtnis. Idee 2(1983)7, S. 42...46]

Die Memory-Legierungen bilden eine Gruppe von sowohl merkwürdigen als auch verheissungsvollen Werkstoffen. Es scheint am Preis zu liegen, dass sie bisher noch keinen grösseren Markt erobern konnten.

In der Schule lernt man, dass sich jede Substanz durch Erwärmen in den flüssigen und dann in den gasförmigen Zustand und durch Abkühlen wieder in den festen Zustand versetzen lässt. 1936 wurde aber entdeckt, dass Messing bei Über- bzw. Unterschreiten charakteristischer Temperaturen zwischen zwei Gefügephasen im Festzustand wechselt. Später fand man andere Legierungen mit der gleichen Eigenschaft. Man erhielt bei der Arbeit mit diesen Legierungen den Eindruck, dass sie sich an ihre frühere Form «erinnern» können. Man sprach vom Formgedächtniseffekt und bezeichnete die entsprechenden Materialien als Memory-Legierungen. Heute kennt man rund 20 derartige Legierungen.

Der Anstoss zur genaueren Erforschung kam von der Raumfahrt. Der bei Nicht-Memory-Legierungen bekannte monotone Zusammenhang zwischen Längenänderung und Temperatur gilt nicht bei Memory-Legierungen: Bei Annä-

herung an den Umwandlungstemperaturbereich lässt sich bei Längenmessung eine Verformung erkennen. Wenn ein Memory-Element durch Zug verformt wird, so behält es die Verlängerung selbst nach Wegfall der Zugkraft bei. Es verharrt auch bei steigender Temperatur in einem stabilen Zustand. Überschreitet die Temperatur einen bestimmten Schwellenwert, so geht es jedoch in seine anfängliche Länge über und ist dabei in der Lage, nennenswerte Arbeit zu leisten, wenn der Vorgang wiederholt wird. Wird ein Stab aus Memory-Werkstoff z.B. bei 30 °C mechanisch um 10 mm verlängert, so verkürzt er sich nach Wegfall der Kraft z.B. um 1 mm, hat also eine bleibende Verlängerung von 9 mm. Erst bei höherer Temperatur (z.B. 100 °C) gewinnt er, bis auf etwa 1 mm, jene Länge zurück, die er vor der mechanischen Beanspruchung hatte. Durch passende Wahl des Mischungsverhältnisses der Legierung kann man grössere Temperaturbereiche ausnützen. Ebenso kann man im Fall binärer Legierungen durch Hinzufügen eines dritten Elementes den Temperaturbereich vergrössern.

Der Übergang von einem Formzustand in den anderen spielt sich innerhalb einer Temperaturspanne von etwa 10 °C ab. Wichtig ist dabei stets die Frage, wie schnell die Umwandlungstemperatur nicht nur an der Oberfläche, sondern im Innern erreicht wird. Wenn um zwei parallele Rollen ein stumpf verbundener Messingdraht geführt wird, wobei die eine Rolle in heisses Wasser taucht und die andere auf Raumtemperatur belassen wird, so läuft der Draht mit hoher Geschwindigkeit um die Rollen und nimmt diese wie ein Treibriemen mit sich.

Mit Hilfe von Memory-Material lässt sich eine Maschine bauen, welche Wärme geringer Temperatur in mechanische Arbeit umsetzt. Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre wird bei diesem Prinzip nicht verletzt, so dass sich bei geringen Temperaturunterschieden entsprechend niedrige Wirkungsgrade ergeben. Die Anwendungsmöglichkeiten der Memory-Legierungen sind bereits vielseitig (z.B. Thermostatventile für Heizkörper; chirurgische Orthopädie).

R. Zwahlen