



We are Nitinol.™

## Bauteile mit Formgedächtniseffekt

Tautzenberger, Stoeckel

KEM, Oktober  
pp. 69-70

1983

# Bauteile mit Formgedächtniseffekt

Peter Tautzenberger Dr. rer. nat. Dieter Stöckel Prof. Dr. rer. nat.

Wird eine sogenannte Formgedächtnis- oder Memory-Legierung bei tiefer Temperatur bleibend verformt, so „erinnert“ sie sich bei Erwärmung über eine kritische Temperatur an ihre ursprüngliche Form und nimmt diese wieder an. Dieser außergewöhnliche Effekt beruht auf einer Phasenumwandlung, d. h. der Werkstoff hat zwei mögliche Kristallstrukturen. Die bei tiefer Temperatur vorliegende Phase heißt Martensit, die Hochtemperaturphase hingegen wird als Austenit bezeichnet. Beim Erwärmen des verformten Martensitgefüges einer Memory-Legierung treten nur die ursprünglichen Orientierungen des Austenitgitters auf, wodurch zwangsläufig eine Gestaltsrückkehr erfolgt. In Abhängigkeit von der Größe der Martensitverformung können unterschiedliche Effektgrößen und -arten (Einweg- bzw. Zweiwegeffekt) induziert werden.

## Einweg- und Zweiweg-Gedächtniseffekt

Wird ein gerader Draht aus einer Memory-Legierung im martensitischen Zustand (a) entsprechend Bild 1 im Bereich unterhalb eines kritischen Verformungsgrades bleibend gebogen (b), so findet lediglich reversible Martensitverformung (z. B.

durch Gitter-Scherprozesse) statt. Bei Erwärmung des Drahtes erfolgt eine Umwandlung in die Austenitphase, mit der die Einstellung der ursprünglichen Probenform einhergeht (c). Wesentlich ist hierbei, daß eine anschließende Abkühlung keine weitere Formänderung bewirkt (d). Daher wird der in Bild 1 dargestellte Vorgang Einwegeffekt genannt.

Beim Erwärmen eines Elementes mit Einwegeffekt erfolgt zunächst keine Bewegung. Erst beim Erreichen der sogenannten  $A_s$ -Temperatur beginnt die Formänderung, wobei die gesamte Effektfaltung in einem kleinen Temperaturbereich, z. B. 10 bis 20 K, erfolgt. Die  $A_s$ -Temperatur kann je nach Legierungssystem zwischen etwa  $-150^\circ\text{C}$  und  $+150^\circ\text{C}$  liegen. Innerhalb dieses Bereiches können beliebige  $A_s$ -Werte durch die Legierungszusammensetzung gezielt eingestellt werden.

Unterwirft man einen geraden Draht im martensitischen Zustand (a), wie in Bild 2 dargestellt, einer starken Biegeverformung (b), so tritt neben reversibler Martensitverformung auch irreversible plastische Verformung durch Versetzungsbe-  
wegung auf. Dies führt dazu, daß bei der

Durchführung von Temperaturzyklen jeweils die Formen (c) und (d) eingenommen werden, d. h., die Probe erinnert sowohl an eine Hochtemperatur- als auch an eine Niedertemperaturform. Diese Erscheinung wird als Zweiwegeffekt bezeichnet und bleibt über hohe Zyklenzahlen erhalten.

Zwei Beispiele für Elemente mit Zweiwegeffekt sind in Bild 3 zu sehen. Die Temperatur-Weg-Kennlinie eines Elementes mit Zweiwegeffekt ist schematisch in Bild 4 dargestellt. Ähnlich wie beim Einwegeffekt beginnt auch hier die Formänderung bei Erwärmung erst bei der sogenannten  $A_s$ -Temperatur. Bei weiterem Erwärmen erfolgt dann die gesamte Formänderung in einem kleinen Temperaturintervall (z. B. 10 bis 20 K). Die Temperatur-Weg-Abhängigkeit weist eine Hysterese auf, deren Größe durch geeignete Maßnahmen beeinflusst werden kann. Die wichtigsten Daten für die technisch anwendbaren Legierungsgruppen sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die aufgeführten Eigenschaften hängen von verschiedenen Einflußgrößen ab und wurden daher durch Wertespannen oder Maximalwerte angegeben.

## MEMOTAL-Elemente ...

... sind neue Bauteile aus dem Hause G. Rau, Pforzheim, mit temperaturabhängigem Formänderungsvermögen aus Memory-Legierungen. Sie können den Einweg- oder Zweiwegeffekt aufweisen und zeichnen sich durch folgende Besonderheiten aus:

- große Arbeitsleistung pro Volumeneinheit
- vollständige Arbeitsverrichtung in einem kleinen Temperaturintervall
- Möglichkeit zur Durchführung verschiede-

Mit der Entwicklung und Anwendung von Memory-Legierungen befassen sich inzwischen verschiedene Firmen und Forschungsinstitute, deren Tätigkeit sich im wesentlichen jeweils auf eine Legierungsgruppe beschränkt. Dagegen beschäftigt sich die Firma G. Rau GmbH & Co. in Pforzheim seit ca. zwei Jahren sowohl mit Nickel-Titan als auch mit den Kupferbasislegierungen Cu-Zn-Al und Cu-Al-Ni.

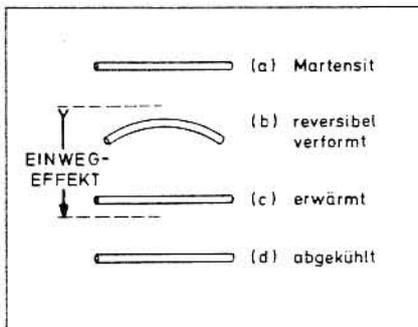


Bild 1

Bild 1 Schematische Darstellung des Einwegeffektes  
Bild 2 Schematische Darstellung des Zweiwegeffektes

Bild 3 Druckfeder und Biegestreifen mit Zweiwegeffekt aus einer Cu-Zn-Al-Legierung;  $A_s \approx 65^\circ\text{C}$ ,  $A_f \approx 80^\circ\text{C}$ ,  $M_s \approx 65^\circ\text{C}$ ,  $M_f \approx 50^\circ\text{C}$  (Erläuterung der Umwandlungstemperatur siehe Bild 4)

Bild 4 Temperatur-Weg-Kennlinie eines Elementes mit Zweiwegeffekt

$A_s$  und  $A_f$ : Temperatur, bei der die Formänderung beim Erwärmen beginnt bzw. beendet ist  
 $M_s$  und  $M_f$ : Temperatur, bei der die Formänderung beim Abkühlen beginnt bzw. beendet ist

Bild 5 Beispiele möglicher Ausführungsformen von MEMOTAL-Elementen

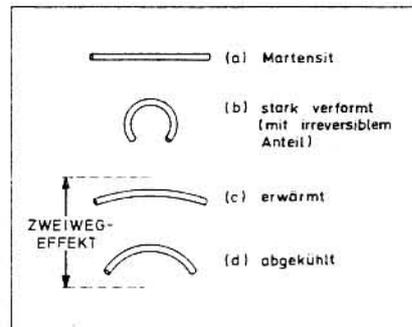


Bild 2 ▲

▼ Bild 3

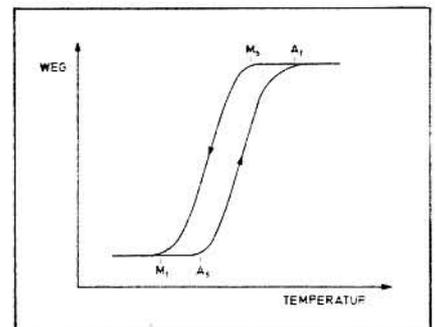
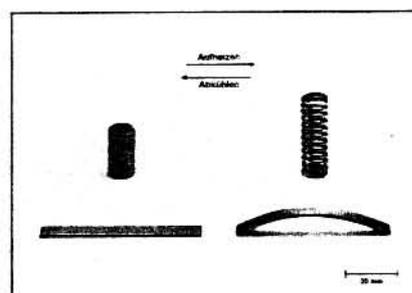
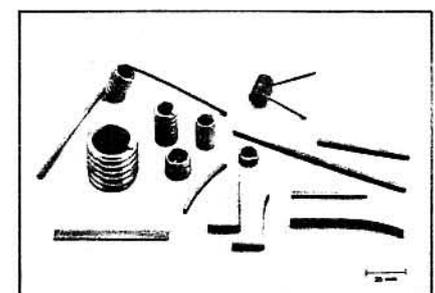


Bild 4 ▲

▼ Bild 5



dener Bewegungsarten (Zug, Druck, Biegung, Torsion)

- der Formänderungseffekt kann auf bestimmte Elementbereiche beschränkt werden.

Beispiele für einige Ausführungsformen von MEMOTAL-Elementen sind in Bild 5 zu sehen.

Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften lassen sich MEMOTAL-Elemente in zahlreichen Fällen für Meß-, Regel- und Anzeigzwecke in der Elektrotechnik und Elektronik, in der Wärme- und Installationstechnik, im Maschinen- und Apparatebau sowie im Automobilbau einsetzen.

## Anwendungen

Die ersten Anwendungen von Memory-Bauteilen beruhen auf dem Einwegeffekt. Hierzu zählen beispielsweise Verbindungselemente wie Schrupfringe und Klammern. In den letzten Jahren sind zahlreiche weitere Anwendungsfälle bekannt geworden, bei denen vorwiegend Elemente mit Zweiwegeffekt verwendet werden: Stellelemente für Treibhausfenster, Thermo-Schalter für die Elektrotechnik, Thermo-Warngeräte, Thermostatventile für Heizungen, Lüfterkupplungen für Motoren, Drosselvorrichtungen für Einspritzpumpen, Antriebselemente für Schreibfedern in Schreibern und Kontrollgeräten u. a.

## Einsatzmöglichkeiten von Memory-Elementen ...

... bei Temperatur-Indikatoren

In Bild 6 ist ein Temperatur-Indikator zu sehen, der Kurzschlüsse bei der Metall-Elektrolyse anzeigt. Auf der Kathode ist

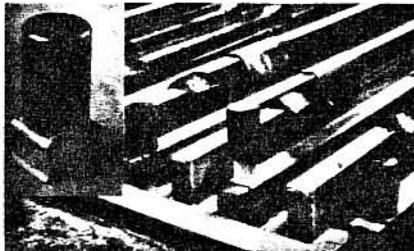


Bild 6 Temperatur-Indikator mit Memory-Druckfeder für Elektrolysezellen

eine hellgefärbte Messinghülse befestigt, in der sich eine Memory-Druckfeder mit Zweiwegeffekt befindet. Bei Normalbetrieb wird die Messinghülse von einer Plastikklappe abgedeckt. Sobald ein Kurzschluß auftritt, dehnt sich die Memory-Feder infolge Temperatureinwirkung aus und hebt die Plastikklappe, so daß die hellgefärbte Messinghülse von weitem zu sehen ist und den Kurzschluß anzeigt.

... bei Entlüftungsklappen

In Bild 7 ist eine Entlüftungsklappe dargestellt, bei der als thermische Steuerelemente Memory-Biegestreifen mit Zweiwegeffekt eingebaut sind. Beim Überschreiten einer bestimmten Temperatur

Bild 3 und 5: Werkfotos G. RAU GmbH & Co., Pforzheim

Bild 6, 7 und 8: Werkfotos PROTEUS®, Belgien

ändern die Memory-Streifen ihre Form und öffnen die Klappe, bei sinkender Temperatur hingegen wird sie wieder geschlossen.

... bei Thermo-Ventilen

In Bild 8 sind Beispiele für Thermo-Ventile zu sehen, die die Zufuhr brennbarer Fluida (z. B. Gas) bei Erreichen einer kritischen Umgebungstemperatur unterbrechen. Dies geschieht mittels einer Memory-Druckfeder mit Zweiwegeffekt, die bei einer bestimmten Temperatur eine Stahlkugel durch einen Federring aus Stahl schiebt und somit das Ventil schließt. Eine selbsttätige Rückstellung der Kugel wird durch den Federring verhindert. Zum Öffnen des Ventiles kann die Kugel bei Normaltemperatur mit Hilfe eines Stiftes manuell in ihre ursprüngliche Lage geschoben werden.

Weitere Informationen **KEM 282**

Tabelle 1 Eigenschaften technisch anwendbarer Memory-Legierungen

	NiTi	Cu-Zn-Al	Cu-Al-Ni
Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	6,4-6,5	7,8-8,0	7,1-7,2
Elektrische Leitfähigkeit $\left(10^6 \frac{S}{m}\right)$	1-1,5	8-13	7-9
Zugfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	800-1000	400-700	700-800
Bruchdehnung (%)	40-50	10-15	5-6
Maximale A <sub>s</sub> -Temperatur (°C)	120	120	170
Maximaler Einwegeffekt (%)	8	4	5
Maximaler Zweiwegeffekt (%)	5	1*	1,2
Überhitzbarkeit bis (°C)	400	160	300

\* 1% bedeutet bei einem einseitig eingespannten Biegeelement mit einer Dicke von 1 mm und einer freien Länge von 50 mm eine Ausbiegung von annähernd 25 mm am freien Ende.

Als erste technisch anwendbare Memory-Legierung wurde Nickel-Titan mit annähernd stöchiometrischer Zusammensetzung vor rund zwei Jahrzehnten in den USA entwickelt. Diese Legierung zeichnet sich durch einen großen Memory-Effekt sowie eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit aus. Seit einigen Jahren sind auch die wesentlich billigeren Kupferbasislegierungen Cu-Zn-Al verfügbar, die jedoch einen geringeren Effekt und eine schlechtere Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Vor etwa zwei Jahren wurden die Kupferbasislegierungen Cu-Al-Ni entwickelt, mit denen erhöhte Umwandlungstemperaturen erreicht werden können.

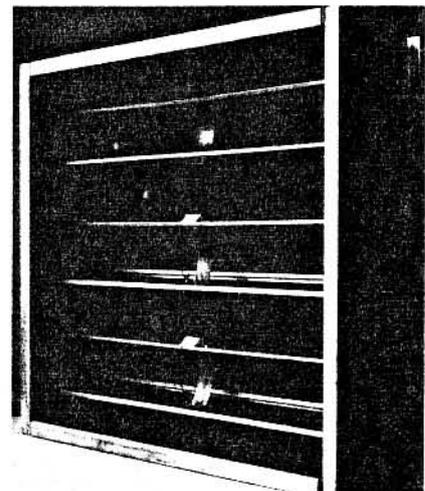
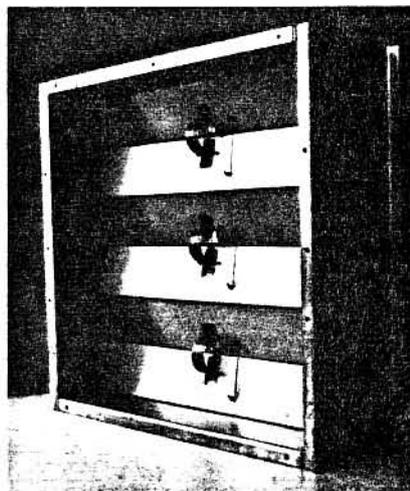


Bild 7 Entlüftungsklappe mit Memory-Biegestreifen, a) geschlossen, b) geöffnet

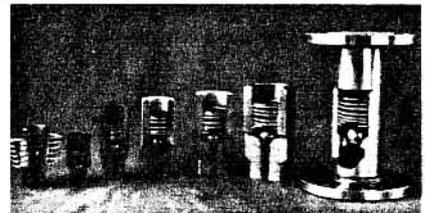


Bild 8 Thermo-Ventile mit Memory-Druckfedern, a) geöffnet, b) geschlossen