

## Habt ihr schon gewusst - 368 Wang-Maschine

---

Der Memory-Effekt erscheint zunächst nur als technische Kuriosität, wenn das Metall bei Erwärmung wie von Zauberhand gebogen wieder seine frühere Form an. Heute findet man „Memory-Metall“ bei Brillengläsern, bei Arbeiten am Meeresgrund, in Flugzeugen, im Automobilbau und vor allem auch in der Medizin. Zahnspangen aus diesem Material müssen nicht nachgezogen werden, Bruchflächen von Knochen werden aneinandergedrückt,

Der erste Einsatz dieser besonderen Metalle (Nickel-Titan-Legierung) erfolgte wegen der hohen Korrosionsbeständigkeit bei der Rumpf-Beplankung von U-Booten. Die zufällige Entdeckung dieses Effekts liegt Anfang der 50-er Jahre im letzten Jahrhundert. 1953 ließ ein Techniker vor Schreck den Schweißbrenner fallen, als er gerade dabei war, einige gebogene Bleche aneinander zu schweißen. Dass sich ein Blech bei starker Erwärmung verzieht, ist eigentlich ganz normal. Aber dieses Blech streckte sich völlig flach aus – wie frisch aus dem Walzwerk ... woher wussten die Bleche, was „flach“ ist.<sup>1</sup>

Den Memory-Effekt findet man auch bei Gold-Kadmium, Kupfer-Zink-Aluminium- oder auch bei Eisenlegierungen. Der Einsatz dieser Materialien wächst derzeit um 30% pro Jahr. Die Zahl der Patentanmeldungen pro Jahr liegt bei 1500.

Im Prinzip wirkt bei diesem Memory-Metall eine Temperaturdifferenz direkt als Antrieb für eine mechanische Bewegung. Der Wirkungsgrad dieser Maschinen liegt bei unter 5%.

Die Wangmaschine besteht aus einem dünnen endlos-Nickel-Titan-Draht, der über zwei Rädern läuft. Das eine Rad ist aus Plastik – das andere Rad aus Messing.

### Arbeitsauftrag - Exp.

#### Exp 01

Man berührt mit der Messingrolle ganz leicht die heiße Wasseroberfläche

→ Die beiden Rollen setzen sich in Bewegung.

#### Exp 02

Man löst die Messingrolle von der Halterung, so dass das dünne Seil nur noch um die Plastikrolle gelegt ist. Man legt das dünne Seil vollständig in eine Wanne mit heißem Wasser.

→ Das Seil formt sich zu einem vollständigen Kreis.

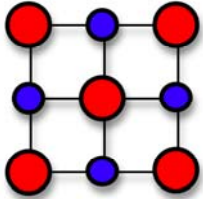
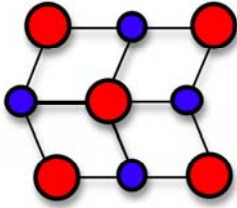
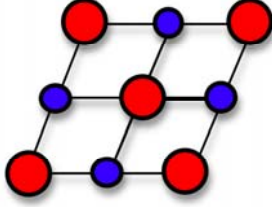
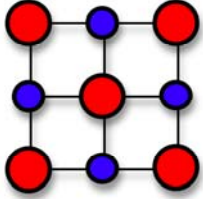
### Arbeitsauftrag - Theorie | Recherche

- [01] Wie funktioniert der Gedächtniseffekt?
- [02] Welche Anwendungen kann man sich vorstellen?
- [03] Wie funktioniert die „Wangmaschine“?
- [04] Zeigen Sie, dass die „Wangmaschine“ einer Wärmekraftmaschine ist!
- [05] Diskutieren Sie hierbei die Rolle der Entropie!

---

<sup>1</sup> ... beobachtet, aber nicht weiter verfolgt, wurde dieser Effekt von chinesischen Forschern 1932 an Gold-Kadmium-Legierungen. Wissenschaftlich untersucht wurde der Effekt aber erst ab 1953 – nach der zufälligen Entdeckung durch Schweißer.

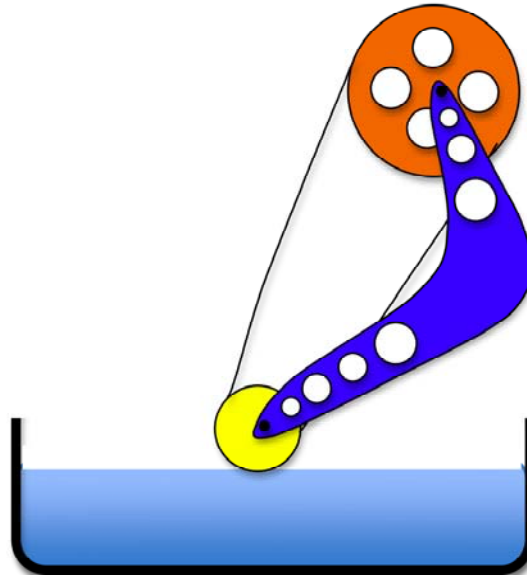
## ... wie funktioniert der Memory-Effekt? <sup>2</sup>

- ❑ In der Hochtemperaturphase befinden sich die Atome einer Formgedächtnislegierung in einem regelmäßig kubischen Gitter. An diese Form erinnert sich das Material später.
  - ❑ Dieses Material ist hart und wird Austenit genannt.
- 
- ↓
- ❑ Wenn das Material abkühlt, ändern die Atome ihre Plätze nicht – konkret die Atome behalten ihre Nachbarn, auch wenn sich die Form des Gefüges ändert.
  - ❑ Durch die Abkühlung knicken aber die Bindungen zwischen benachbarten Atome gewissermaßen ein ... d.h. die vorher gestreckten Ketten von abwechselnd Nickel- und Titanatomen werden nun zu einer Art Zick-Zack-Kette. Hierbei ändern sich die Abstände geringfügig. Und ganz wesentlich, die Atome haben immer noch die gleichen Nachbar-Atome.
  - ❑ Diese Zick-Zack-Linie hat eine symmetrische Struktur ... es sind gewissermaßen Zwillinge – mit einer Symmetrieebene (im Bild in der Mitte).
  - ❑ Es liegt gewissermaßen eine „verzwillingte“ Rhomben-Ketten vor. Das Material befindet sich in der sogenannten martensitischen Tieftemperatur-Phase. In dieser Phase ist das Material weich.
- 
- ↓
- ❑ Wenn man das Gefüge nun biegt – z.B. das untere Ende nach links -, dann nimmt das Gefüge die Form eines „gleichmäßigen Rhomben-Gitters“ an. Diese Struktur nennt man „verformtes Martensit“.
  - ❑ Wenn die Kräfte dazu führen, dass das Material mehr als 8% gedehnt wird, dann wird die Phase des „gleichmäßigen Rhomben-Gitters“ überschritten – es erfolgt eine plastische Verformung – der Memory-Effekt geht verloren.
- 
- ↓
- ❑ Bei der Erwärmung – also durch Energiezufuhr springt das Martensit zurück in die Austenit-Phase ... in die Hochtemperaturphase erinnert sich das Material gewissermaßen an seine Herstellungsstruktur – das heißt die Atome gehen wieder in die ursprüngliche Bindungsabstände zurück.
- 
- ❑ Um einen 10 mm dicken und 1m langen Nickel-Titan-Stab in der Martensit-Phase um 5 cm zu dehnen, benötigt man eine Kraft von 10 kN.  $E_1 = F_1 \cdot s = \dots 500 \text{ J}$ . Bei der Temperaturerhöhung über die kritische Temperatur, schrumpft der Stab wieder um 5 cm und er kann dabei eine mechanische Energie von 2 kJ und eine Kraft von 40 kN aufbringen.

<sup>2</sup> Wikipedia: Nitinol ist eine Nickel-Titan-Legierung und der bekannteste Vertreter der Formgedächtnis-Legierungen. Nitinol wurde 1958 im Naval Ordnance Laboratory (USA) entwickelt. Der Name Nitinol ist ein Akronym für "Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory". Nitinol ist die intermetallische Phase NiTi mit einer geordnet-kubischen Kristallstruktur, die sich von der von Titan und der von Nickel unterscheidet. Es besteht zum Großteil aus Nickel (ca. 50 %), einem weiteren großen Teil Titan. Die Legierung ist bis 650°C verwendbar, korrosionsbeständig und hochfest, dabei jedoch bis ca. 8 % pseudoelastisch verformbar. Wegen des sogenannten Memory-Effekts wird sie zur zyklischen Umwandlung von thermischer in mechanische Energie, zum Antrieb kleiner Maschinen sowie auch in der Medizintechnik eingesetzt. Dichte: 6500 kg/m<sup>3</sup> ... Schmelztemperatur: 1240–1328 °C

## ... wie funktioniert die Wang-Maschine?

Die Wangmaschine besteht im Prinzip aus einem dünnen endlos-Nickel-Titan-Draht, der über zwei Rädern läuft. Das eine Rad ist aus Plastik – das andere Rad aus Messing.



(c) fKranzinger

Wenn das Memory-Metall erhitzt wird, geht es in die Hochtemperatur-Phase über und der Draht wird verkürzt.

Das heißt hinter dem Messing-Rad – also auf der linken Seite (der Draht wurde hier in die „Hochtemperaturphase“ erhitzt), wenn das Rad im Uhrzeigersinn läuft – wird der Draht verkürzt, vor dem Rad wird er länger (gedehnt – hier ist der Draht abkühlt und durch die Rotation über das größere Rad gedehnt). Diese Verkürzung hinter dem Rad und die Verlängerung vor dem Rad (in der Kaltphase) treibt das untere Rad im Uhrzeigersinn an, wenn es beim Start in diese Richtung angestoßen wurde.