

Textilien erinnern sich Formgedächtnislegierung

Rebekka Hehn





Intermediate Projekt

18. März 2013

Hauptthema

Textilien erinnern sich – Formgedächtnislegierung

Betreut von Prof. Hatto Grosse

im Lehrgebiet Design for Manufacturing

Bachelorstudiengang Integrated Design

Köln International School of Design

Fachhochschule Köln

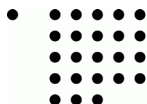
Fakultät 02 für Kulturwissenschaften

Rebekka Hehn

Matrikelnummer: 11077184

rebekka@kisd.de

Köln
International
School
of Design



Fachhochschule Köln
Cologne University of Applied Sciences

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Die Intelligenz der Werkstoffe – Smart Materials	7
2.1	Klassifizierung	7
2.2	Anwendungsbereiche	11
3	Erinnerungsvermögen von Metallen – Formgedächtnis	12
3.1	Legierungen	12
3.2	Den Mutigen gehört die ganze Welt	15
3.3	Anwendungsbeispiele	17
4	Tanz der Moleküle – Molekulare Ebene	21
4.1	Funktioniert. Aber wie?	22
4.2	Drei Effektausprägungen	29
5	Besser statt mehr – Nachhaltiger Werkstoff?	34
6	Handwerkstradition für Innovation – Weben, Nähen, Technik	39
6.1	Mit dem Webschiffchen auf Kurs	39
6.2	Technische und funktionale Textilien	42
6.3	Tapferes Schneiderlein	44

7	Form folgt Material – Material- und Strukturübungen	46
7.1	Experiment: Weben	47
7.2	Experiment: Nähen	52
8	Textil erinnere dich – Ideen zur Anwendung	57
9	Und am Ende? Ein Fazit	62
	Anhang	65

Eine Karosserie, die an fließende Stoffe erinnern soll. Diese Oberflächenstruktur nahm der Designer Sam Holgate für sein Konzept des Alfa Romeo Essence als Inspiration. Das futuristische Elektroauto ähnelt nicht nur optisch Stoffbahnen, sondern besitzt eine Zusatzfunktion, die sich erst in der Anwendung zeigt. Eingebracht in die Karosserie des Fahrzeuges reagieren Formgedächtniskunststoffe auf die Temperatur des Windes und können so durch Formanpassungen den Luftwiderstand des Autos während der Fahrt verändern.



Ob zum Beispiel ein Auto mit einer flexiblen Außenhülle, ein Sonnenschutz, der unter Wärmeeinfluss automatisch seine Ausrichtung ändert oder Herzklappen, die minimalinvasiv eingesetzt werden und durch Körperwärme ihre wirksame Form entfalten; Formermaterialien bieten durch ihre besondere Eigenschaft eine Reihe von funktionellen Anwendungen. Sie kommen insbesondere dort zum Einsatz, wo Bewegung in einem begrenzten Raum ermöglicht werden soll, sei es in der Medizin, Architektur, Ingenieurwissenschaft oder im Design.

Abbildung: Sam Holgate, Alfa Romeo Essence

Formgedächtnismaterialien verfügen über ein Erinnerungsvermögen an ihre Ausgangsgeometrie und speichern Forminformationen in ihrem molekularen Gefüge. Durch eine thermische Aktivierung wird Wärmeenergie in mechanische Arbeit umgewandelt. Bei niedrigen Temperaturen können Formgedächtnismaterialien plastisch verformt werden und nehmen nach Erwärmung oberhalb eines gewissen Temperaturniveaus ihre ursprüngliche Form wieder ein.

„Immer schneller verändern sich die globalen Produktwelten. Durchsetzungsfähig sind dabei die Wirtschaftsregionen, die es schaffen, den Transfer technologischer Neuerungen in marktfähige Produkte zu beschleunigen und Entwicklungsprozesse frühzeitig auf die Anforderungen des Kunden auszurichten. Dies gilt insbesondere für die Bereiche innovativer Materialien und Nanotechnologien(...). Vor allem Vertreter der Kreativwirtschaft können hier entscheidende Impulse geben, die aus einer technologischen Innovation ein marktfähiges Produkt machen.“¹ Die Welt der Materialien entwickelt sich in den letzten Jahren in einem hohen Tempo, gefördert durch den Wunsch nach weiterer Automation. In diesem Zusammenhang wird den Designerinnen und Designern eine besondere Bedeutung beigemessen. „Denn sie sind es, die (...) eine technische Funktion in einen emotionalen Mehrwert überführen.“² Und gerade dieser ist es häufig, der im Bereich des Produktdesigns der Konsumgüter ausschlaggebend für die Kaufentscheidungen ist. Zudem kommt der „Wandel von ressourcenbelastenden Materialien (...) hin zu einer ressourcenschonenden Werkstoffkultur mit multifunktionalen Potentialen in ganzheitlichen Werkstoffkreisläufen (...)“³ Auch dabei wird Gestalterinnen und Gestaltern eine Verantwortung übertragen.

1 Dieter Posch in Peters, 2010, S. 2

2 Peters, 2010, S. 5

3 Peters, 2011, S. 12

„Denn sie sind es meist, die bei materialbasierten Entwicklungen heute die Auswahl eines Werkstoffs übernehmen und Produktkonstruktionen beeinflussen.“⁴

Meine Motivation und Zielsetzung für die Beschäftigung mit Formgedächtnislegierung ist es, sich intensiv mit einem eingegrenzten Bereich der Multifunktionsmaterialien auseinanderzusetzen und mögliche Anwendungen des Materials und dessen Eigenschaften zu erkunden. Damit möchte ich Einblicke in einen Teil der Materialwissenschaft als Grundlage zur anwendungsorientierten Gestaltung erhalten. Das von Sascha Peters verfasste Buch „Materialrevolution“, in welchem der Autor unter anderem verschiedene, sogenannte intelligente Materialien und ihre Einsatzbereiche vorstellt, dient dabei als erster Ansatz, mich mit dieser Thematik zu befassen. Faszinierend finde ich vor allem Legierungen mit Formgedächtnis, da diese in Form von dünnen Drähten in Stoffen vernäht werden können und mir somit die Möglichkeit bieten mein Interesse an Textildesign mit neuartigen Materialien zu verbinden. Anhand von Materialversuchen soll zudem getestet werden, ob sich Formgedächtnisdrähte selber als „Faser“ zur textilen Fertigungstechnik eignen und dadurch Perspektiven zur Anwendung entstehen.

Da uns heute eine breite Vielfalt an Werkstoffen und Fertigungsverfahren zur Verfügung stehen, sollte der Umgang mit umwelt- und ressourcenschonenden Materialien nicht Außer acht gelassen werden. Daher ist es ein weiteres Ziel der Ausarbeitung herauszufinden, inwiefern Formgedächtnislegierung eine ökologisch sinnvolle Anwendung zulässt, sei es aufgrund des Herstellungsverfahrens, der eingesetzten Materialien oder der Produktion in geschlossenen

⁴ Peters, 2011, S.12

Kreisläufen, sprich Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich daher mit der experimentellen Anwendung von Formgedächtnislegierung im Bezug auf Textilien. Zunächst wird das Feld der intelligenten Materialien eingegrenzt und ein Überblick über den Einsatzbereich von Formgedächtnislegierungen gegeben. Die materielle Verarbeitung und Materialverhalten, sowie der Herstellungsprozess, unter Einbeziehung des ökologischen Aspektes, sind Teil dieser Auseinandersetzung. Nach einem kurzen Exkurs in die Geschichte der Weberei und Näherei wird sich in den Kapiteln 7 und 8 mit der Frage beschäftigt, welche Fertigungen und Verwendungsmöglichkeiten von Formgedächtnisdrähten im Bezug auf Textilien interessante Ansätze bieten, und sich dadurch auf Anwendungen übertragen lassen was modellhaft ausprobiert wird.

2 Die Intelligenz der Werkstoffe

Smart Materials

Wenn die Luft sehr feucht ist, schließen sich Tannenzapfen, um ihre Samen zu schützen. Wird die Luft trockener, öffnen sie sich wieder. Der Einsatz von Materialien mit Wechseleigenschaft ist keine Erfindung der Neuzeit. Schon in der Antike wurde durch heißes Wasser aufquellendes Holz zur Felssprengung genutzt. Und auch heute geht die Entwicklung der Materialien, welche auf Veränderung ihrer Umwelt reagieren können weiter. Die als „intelligente Materialien“ bezeichneten Funktionswerkstoffe verfügen über Wechseleigenschaften, die durch physikalische oder chemische Einflüsse beispielsweise ihre Form oder Farbe reversibel und wiederholbar ändern können.⁵ Diese Materialien können sich aufgrund ihrer Beschaffenheit an veränderte Umweltbedingungen anpassen, übernehmen also eine aktive Rolle, wenn sie einer Energiezufuhr ausgesetzt werden. Durch ihre dynamische Komponente gelangen gewünschte Anforderungen, vor Optik und Haptik des Materials, in den Fokus.

2.1 Klassifizierung

Im Gegensatz zu anderen Werkstoffen, die auf der Materialzusammensetzung basierend, wie beispielsweise „Glas“ oder „Kunststoff“ klassifiziert werden, ergibt sich bei intelligenten Materialien die Einteilung vor allem aus dem unterschiedlichen Materialverhalten.⁶ Smart Materials werden nach Art der veränderbaren Materialeigenschaft unterschieden in: Formvariierende, farb- und optisch variierende, lichtemittierende, adhäsionsvariierende, elektronenemittierende und energieaustauschende Materialien.

5 Vgl. Ritter, 2007, S. 8

6 Vgl. Michelle Addington in Erlhoff und Marshall, 2008, S. 371



Abbildung oben: Thermosensitive Tapete „Touch Me“
Abbildung Mitte: Betonstein mit Strukturänderung bei Nässe „Solid Poetry“
Abbildung unten: Multitouchfolie „Skin Multitouch“

Die Tabelle gibt einen Überblick der Smart Materials, was auslösende chemische oder physikalische Einflussgrößen sein können und was sie bewirken.

	Formvarierend	Farb- und optisch varierend	Licht-emittierend
Licht	Photostriktive Materialien	Photochrome Materialien	Photolumineszenz
Temperatur	Thermostriktive Materialien	Thermochrome Materialien	
Druck	Piezoelektrische Materialien	Mechochrome Materialien	
Elektrisches Feld	Elektroaktive Materialien	Elektrochrome Materialien	Elektrolumineszierende Materialien
Magnetisches Feld	Magnetostriktive Materialien		
Chemisches Mileu	Chemostriktive Materialien	Chemochrome Materialien	Chemolumineszierende Materialien

Adhäsions- variierend	Elektronen- emittierend	Energie- austauschend
Photoadhäsive Materialien	Photo- elektrische Materialien	Licht- speichernde Materialien
Thermo- adhäsive Materialien	Thermo- elektrische Materialien	Wärme- speichernde Materialien
	Piezo- elektrische Materialien	
Elektroadhäsive Materialien		

2.2 Anwendungsbereiche

Eine vielfältige Verwendung finden intelligente Werkstoffe beispielsweise in der Medizin, im Automobilbau oder in der Architektur. Gefäßimplantate aus Formgedächtnislegierung, werden durch einen minimalen Eingriff direkt in die Ader injiziert und nehmen am betroffenen Gefäß selbstständig die gewünschte Form an und können das Gefäß so weiten. Ausgelöst wird der Effekt durch die Körperwärme. Piezo-Keramiken werden zur Schwingungsdämpfung im Fahrzeugbau eingesetzt. Das Material kann elektrische Energie in Bewegung und umgekehrt Erschütterungen in elektrische Energie umwandeln.⁷ Anstatt Gummielemente (Silentblöcke) zu verwenden, werden Piezo-Lager zwischen dem Fahrgestell und einem darauf sitzenden Metallrahmen der Karosserie befestigt. Die Piezo-Lager werden elektronisch exakt so angesteuert, dass sie sich den Vibrationen entgegenstemmen und Erschütterungen neutralisieren. Mit den Smart Material Houses stellt die internationale Bauausstellung in Hamburg intelligente Baustoffe vor, die Gebäude und Fassaden dynamisch auf Veränderungen reagieren lassen.⁸ Dabei steht die Gebäudehülle im Vordergrund: Durch den Einsatz von Smart Materials in der Fassaden können Energie- und Materialströme verbessert und möglichst klein gehalten werden. Beispielsweise reagiert die dynamische, textile Membranfassade des „Soft House“ der Architekten Kennedy und Violicch reagiert auf Sonneneinstrahlung. In die Membran eingearbeitete Photovoltaik-Zellen richten sich automatisch nach dem Sonnenlicht aus und können dieses zur optimalen Energieproduktion nutzen. Mit Hilfe von Smart Materials sollen Systeme zukünftig einfacher hergestellt und gleichzeitig neue Funktionen integriert werden. „Die Technik ist so weit. Es wird an weiteren spannenden Lösungen gearbeitet (...)“⁹

7 Vgl. Pudenz, Automobiltechnische Zeitschrift

8 Vgl. IBA Hamburg

9 Melz, Tobias in Pudenz, Automobiltechnische Zeitschrift

3 Erinnerungsvermögen von Metallen

Der Formgedächtniseffekt

„Die Form ist alles. Sie ist das Geheimnis des Lebens.“

Oscar Wilde

3.1 Legierungen

Eine Legierung ist ein Gemisch aus zwei oder mehr Bestandteilen, wovon mindestens einer Metall ist. Durch Legierungen lassen sich Werkstoffe mit bestimmten Eigenschaften herstellen. 1932 wurde von dem schwedischen Physiker Arne Ölander bei einer Gold-Cadmium-Legierung erstmals entdeckt, dass die Legierung nach Erhitzen wieder ihre ursprüngliche Form annahm.¹⁰ Diese metallischen Werkstoffe werden heute als Formgedächtnislegierung, Memory-Metalle oder Shape Memory Alloys bezeichnet. Formgedächtnislegierung ist den Thermostriktiven Materialien der Smart Materials zuzuordnen und ist in vier verschiedenen Basislegierungen verfügbar: Nickel-Titan (NiTi), Kupfer-Zink-Aluminium (CuZnAl), Kupfer-Zink-Nickel (CuZnNi), Eisen-Platin (FePt) und Gold-Cadmium (AuCd).¹¹ „Durch Zulegieren weiterer Elemente wie Kupfer oder Eisen können u. a. die Umwandlungstemperatur, die Breite der Hysterese¹², die Effekt-Größe, die Langzeitstabilität und die mechanischen Eigenschaften der Legierung beeinflusst werden.“¹³ Technisch bedeutsam und die wohl wichtigste Entwicklung im Bereich der Formgedächtnislegierung ist Nitinol, eine 1962 im Naval Ordnance Laboratory (USA) hervorgebrachte Nickel-Titan-Legierung. Der Name setzt sich aus **N**ickel **T**itan **N**aval **O**rdnance **L**aboratory zusammen.

10 Vgl. Kalweit/Paul/Peters/Wallbaum, 2012, S. 69

11 Vgl. Ritter, 2007, S. 60

12 Hysterese beschreibt einen Zustand, dessen Wirkung auch nach Wegfall der Energiezufuhr andauert.

13 Ritter, 2007, S. 60

Nitinol zeichnet sich durch seine Korrosionsbeständigkeit, eine hohe Elastizität (→ Pseudoelastizität), einen sehr häufig wiederholbaren Formgedächtniseffekt und eine hohe Biokompatibilität, also eine gute Körperverträglichkeit aus. Das Material besteht zu 55% des Gewichtes aus Nickel und zu 45% aus Titan, was etwa 50 Atom% Nickel und 50 Atom% Titan entspricht.¹⁴ Es wird in einem Induktionsofen unter Vakuum zusammen geschmolzen (Vakuuminduktionsschmelzen) um Verunreinigungen durch Kohlenstoff, Sauerstoff oder andere Fremdelemente zu verhindern. Eine Umwandlungstemperatur, also die Aktivierungstemperatur für das Formgedächtnis, von -100°C bis $+100^{\circ}\text{C}$ kann erreicht werden¹⁵, welche auf etwa ein Grad genau einstellbar ist. Memory-Metalle auf Kupferbasis sind „spröde und neigen teilweise zu extremen Kornwachstum“¹⁶.¹⁷ Kupfer-Zink-Aluminium-Legierungen beispielsweise sind wegen ihrer eingeschränkten thermischen Stabilität daher in der Regel für technische Anwendungen ungeeignet. Diese Legierung wird im Allgemeinen mit einer Umwandlungstemperatur von -50°C bis $+80^{\circ}\text{C}$ hergestellt. Der Vorteil gegenüber Nitinol ist, dass die genannten Legierungen durch geringere Materialkosten in größeren Mengen eingesetzt werden können. Aber sie weisen eine niedrigere Effektstabilität auf.

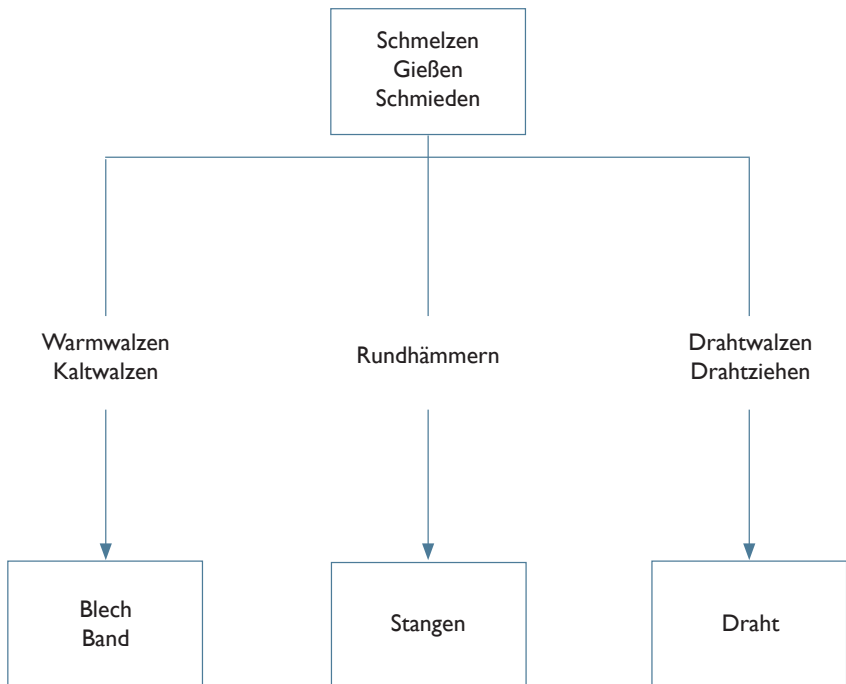
14 Vgl. Stöckel, 1988, S. 42

15 Vgl. Stöckel, 1988, S. 43

16 Kornwachstum ist eine Veränderung des Gefüges, welche bei hohen Temperaturen geschehen kann.

17 Stöckel, 1988, S. 50

Als Standardware sind Formgedächtnislegierungen zur Zeit in Form von Drähten, Stäben, Hohldrähten, Hohlstäben, Federn, Klammern, Bändern und Blechen erhältlich. Die Grafik zeigt Herstellungsmethoden von Halbzeugen aus Nickel-Titan-Legierungen.¹⁸



¹⁸ Vgl. Stöckel, 1988, S. 46

Abbildung I: Herstellungsmethoden von Halbzeugen aus Nickel-Titan-Legierungen

3.2 Den Mutigen gehört die ganze Welt

Der Mehrwert, den der Einsatz von Formgedächtnismaterialien gegenüber anderen Werkstoffen bietet ist vielfältig: Das Material hat eine gute Biokompatibilität, ist extrem korrosionsbeständig und eignet sich für Leichtbauprodukte. Es wird eine große Leistungsfähigkeit bei Bewegung pro Volumeneinheit erzielt¹⁹ und es weist eine große Elastizität auf. Häufige Bewegungszyklen bei geringen Temperaturänderungen werden ermöglicht. Zudem ist eine geräuschlose Bewegung ohne motorischen Antrieb und eine hohe Belastbarkeit gegeben. „Ein Formgedächtnisdraht von 2 mm Durchmesser und 1m Länge kann eine Last von über 100 kg 60 mm anheben. Bei einem Drahtgewicht von 25 g ist dies das 4000-fache des eigenen Gewichtes.“²⁰ Beim Einsatz von Formgedächtnislegierung in technischen Systemen wird zudem die Ausfallwahrscheinlichkeit durch eine niedrige Systemkomplexität verringert. Nachteilig sind die hohen Kosten der Legierungskomponenten und deren Herstellung, was einen massenhaften Einsatz von Formgedächtnislegierung bisher verhindert. Hinzukommend ist das Material noch nicht ausreichend erforscht; fehlende Werkstoffdaten für viele Anwendungen, sowie noch nicht existierende Normung von Prozessen und Verfahren und damit verbunden technische und wirtschaftliche Risiken benachteiligen teilweise den Einsatz²¹. Folglich müssen in Bezug auf Formgedächtnismaterialien Anwendungsgebiete gefunden werden, die den besonderen Eigenschaften und Anwendungsbedingungen angemessen sind.

19 Vgl. Juhász, 2004, S. 17

20 Langbein/Czechowicz/Haubert, Maschinenmarkt, 2012

21 Vgl. Das FGL Netzwerk

Die Tabelle zeigt einen Vergleich von Thermobimetallen mit Formgedächtnismaterialien.

Formgedächtnislegierung	Thermobimetalle
zwei oder mehr Metalle verschmolzen	zwei Metalle stoffschlüssig verbunden
flexible Verformbarkeit im kalten Zustand, unterschiedliche Bewegungsarten: Biegung, Verlängerung, Verkürzung, Torsion	Krümmung bei Temperaturänderung, Formänderung durch Biegung
teure Legierungskomponenten und Herstellung	preiswerte Bauelemente und Herstellung
Temperaturbereich: -100°C - $+100^{\circ}\text{C}$	Temperaturbereich: 20°C - 130°C
hohe Kraftentwicklung bei Erwärmen	Arbeitsleistung bei Erwärmen und Abkühlen
Pseudoelastizität	
wenige einsatzfähige Legierungen erhältlich	viele Werkstoffkombinationen erhältlich
Zahl der thermischen Bewegungszyklen: ca. 100.000 (Nitinol)	Zahl der thermischen Bewegungszyklen: ca. 20 Millionen

3.3 Anwendungsbeispiele

Formgedächtnislegierungen werden zumeist dort eingesetzt, wo hohe Kräfte wirken und große Flexibilität in einem begrenzten Raum gefordert ist. Nicht nur das Geheimnis von Uri Gellers verbogenen Löffeln lässt sich durch den Memory-Effekt erklären. Im Folgenden sind Branchen aufgelistet, in denen Legierungen mit Formgedächtnis eine Anwendung finden:

Medizin: Kardiologie: Herzklappen, Gefäßimplantate (Einwegeffekt), Kieferorthopädie: Zahnsparren (Pseudoplastizität), Orthopädie: Knochenklammern, Chirurgie: minimal invasive Chirurgie, Endoskope (Zweiwegeffekt)

Robotik: Gelenke, künstliche Muskeln

Raumfahrt: Aktoren (Entkopplungsmechanismen), verstellbare Tragflächen

Militär: Flugzeugtragflächen, Rohrkupplungen (Schrumpfmuffen), Tarnkappen-Unterseeboote (Bewegungsantrieb)

Produkte: Büroklammern, Brillengestelle, Kleidung (Büstenhalter), Textilien (Raumteiler, Sichtschutz), Stullelemente im Haushalt (z.B. Brandschutztechnik, Schutzschalter)

Dämpfungen: Erdbebendämpfung an Gebäuden und Brücken

Nachfolgend zwei Projekte im Detail, die die Funktion von Formgedächtnislegierung in ihre Arbeit und Forschung einbeziehen.

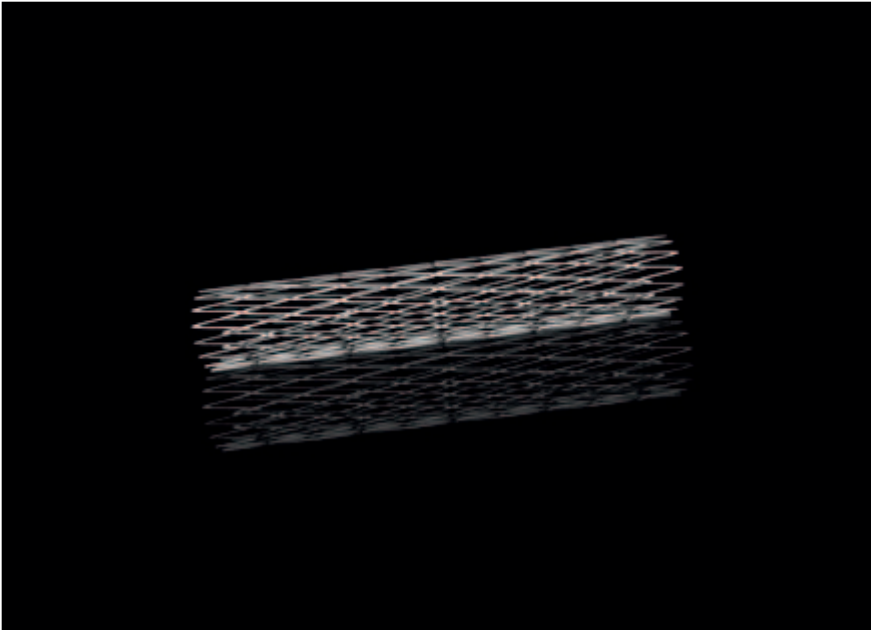


Max Schäth, UdK Berlin

e-Motion: Outsourcing 2008/2009

<http://www.design.udk-berlin.de/Modedesign/EMotion>

Outsourcing ist ein Entwurf von Max Schäth, 2008/2009, der im Rahmen eines Projektes an der UdK Berlin entstanden ist. Eingenähte Formgedächtnisdrähte in der Kapuze des Kleidungsstückes sollen die Emotionen des Menschen in abstrakter Form nachahmen. Ob nun interaktive Kleidung oder die Adaption der Vorgehensweise für andere funktionale Zwecke; der Kapuzenpullover Outsourcing zeigt exemplarisch die Möglichkeit, Formgedächtnislegerung in Textilien zu vernähen und bietet damit einen interessanten Ansatz zur Werkstoffanwendung.



Institut für Werkstoffe Universität Bochum
Implantate aus Formgedächtnislegierung
<http://www.ruhr-uni-bochum.de/sfb459/>

Am Institut für Werkstoffe der Ruhr-Universität Bochum beschäftigte sich die Forschungsgruppe für medizinische Werkstoffe mit der Implantatproduktion aus Formgedächtnisdrähten. Stents aus einer Nickel-Titan-Legierung werden aufgrund ihrer Eigenschaften und guten Biokompatibilität immer häufiger anstelle von herkömmlichen Implantaten verwendet. Der Stent kann minimalinvasiv durch einen Katheter an die gewünschte Position im Gefäß gebracht werden, dann wird der äußere Katheterschlauch entfernt und der Stent öffnet sich selbstständig und muss nicht, wie bei früheren Implantaten, mit einem Ballonkatheter aufgeblasen werden.²²

Abbildung: Stent aus Formgedächtnis
22 Isenburg/Shell, 2011, Maschinenmarkt

Forschungsinstitute, die sich mit Einsatzmöglichkeiten von Memory-Metallen in Deutschland beschäftigen und Produkte sowie Bauteile entwickeln oder verbessern sind:

Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik,
Dresden mit Aufbau eines FGL Netzwerkes (www.fgl-netzwerk.de)
Ruhr-Universität Bochum: Institut für Werkstoffe
Forschungszentrum Jülich
Karlsruher Institut für Technologie



Neben metallischen Legierungen gibt es auch Kunststoffe, Faser-verbundwerkstoffe und chemische Substanzen mit Formgedächtnis. Formgedächtniskunststoffe beispielsweise kommen in der Medizin zum Einsatz, wo metallische Formgedächtnismaterialien aufgrund von Nebenwirkungen nicht in Frage kommen.²³ Auch die Automobilindustrie hat diesen Werkstoff ins Auge gefasst und entwickelt neuartige Karosserien mit eingebauten Formgedächtnispolymeren.

23 Vgl. Peters, 2011, S. 127

4 Tanz der Moleküle

Der Formgedächtniseffekt auf molekularer Ebene

Nach der Entdeckung von Formgedächtniseffekten dauerte es eine ganze Weile, bis die Wissenschaft herausfand, was innerhalb des Metalls geschieht, wenn es sich an seine Form „erinnert“. Der Werkstoff besitzt die Fähigkeit sich selbstständig nach einer Deformation in seine ursprüngliche Form zu bringen. Dies ergibt sich durch Erhitzen des Materials oberhalb dessen Umwandlungstemperatur. Bringt man zum Beispiel eine Nickel-Titan-Legierung bei höherer Temperatur in eine Stabform und kühlt diesen ab, ist zunächst kein besonderes Verhalten des Materials zu erkennen. Der Stab lässt sich wie andere Metalle verbiegen und belasten. Erhitzt man den Stab jedoch erneut, biegt dieser sich automatisch in die Stabform, in der er hergestellt wurde zurück. Erst 1951, also 19 Jahre nach erstmaliger Entdeckung des Phänomens, wurde dies als Ergebnis einer sogenannten reversiblen martensitischen Phasenumwandlung erkannt.²⁴

Als Modellsubstanz für den Mechanismus soll Nitinol dienen, da dieses, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, das am meisten produzierte und verwendete Formgedächtnismaterial mit stabilen und ausgeprägten Memory-Eigenschaften ist.

24 Vgl. Stöckel, 1988, S. 31

4.1 Funktioniert. Aber wie?

Bei der martensitischen Phasenumwandlung handelt es sich um eine Umwandlung zwischen den Kristallstrukturen des Materials bei genau zugeordneten Temperaturen im Martensit und Austenit. Martensit bezeichnet die Kristallgitterstruktur in der Niedertemperaturphase und Austenit die Struktur in der Hochtemperaturphase. „Der Übergang dieser Strukturen wird unter dem Begriff der martensitischen Umwandlung zusammengefasst.“²⁵

„Diese Art der Umwandlung ist auch aus konventionellen Stahlwerkstoffen bekannt. Während sie bei Stählen jedoch von einer [irreversiblen] plastischen Verformung begleitet wird, ist sie in Formgedächtniswerkstoffen nahezu reversibel und begründet dadurch die Fähigkeit des Materials, seine Ursprungsform wieder einnehmen zu können.“²⁶ Die martensitische Phasenumwandlung wurde erstmals von dem Metallurgen Adolf Martens (1850-1914) an einer Eisen-Kohlenstofflegierung beschrieben. Die Niedertemperaturphase wurde zu seinen Ehren „Martensit“ genannt²⁷, die Hochtemperaturphase nach dem Metallurgen Sir William Chandler Roberts-Austen (1843-1902) „Austenit“²⁸.

Bei Nitinol sind drei Arten des Formgedächtniseffektes zu unterscheiden: Einwegeffekt, Pseudoelastizität und Zweiwegeffekt; dazu später mehr. Zunächst wird der Vorgang der martensitischen Phasenumwandlung am Beispiel Nitinol beschrieben. Dabei wird auf die diffusionslose Scherung, den Strukturwechsel der Kristalle des NiTi-Martensit und NiTi-Austenit und die damit verbundene Materialspannungen, sowie auf den Mechanismus der Zwillingsbildung von Kristallen des Nitinols eingegangen.

25 Sauermann/Barke, 1997, S. 126

26 Großmann, Industrieanzeiger

27 Vgl. Burow, 2010, S. 7

28 Vgl. Juhász, 2004, S. 2

Ein diffusionsloser Scherungsprozess und die Zwillingsbildung der Kristalle im Nitinol sind verantwortlich für den Formgedächtniseffekt. Eine Art der Teilchenbewegung, welche bei Formgedächtnismaterialien vorkommt ist die der Scherung. „Die kubisch raumzentrierte, geordnete Struktur [Vergleiche Abbildung 2] des Nitinol NiTi ist bis zu Temperaturen von etwa 100°C beständig. Bei 50°C kann sich dieses Gitter jedoch in eine weitere Struktur umwandeln, die bei niedrigen Temperaturen stabil ist.“²⁹ Dabei wird die Lage der Teilchen im Kristallgitter verändert, was einen Strukturwandel zur Folge hat. Atome bewegen sich relativ zum Nachbarn um denselben Betrag gleichgerichtet. Die Abbildung 3 zeigt diese kollektive Bewegung, welche gegenüber der Gitterkonstanten kleine Verschiebungswege hat. Teilchen nehmen nicht wie bei der Diffusion³⁰ den Platz anderer Teilchen ein, sondern verschieben sich in die Lücken der darüber und darunter liegenden Schichten. Die Scherung bezeichnet also, im Gegensatz zur Diffusion, die ungerichtet abläuft, eine regelmäßige Bewegung der Teilchen unter einwirkender Kraft, welche mit dem Scherwinkel α angegeben wird; im Fall Nitinol beträgt dieser 8°. „Solch einem diffusionslosen Scherprozess ist die kubisch raumzentrierte Zelle des NiTi-Gitters bei 50°C unterworfen, wenn man Wärme entzieht.“³¹

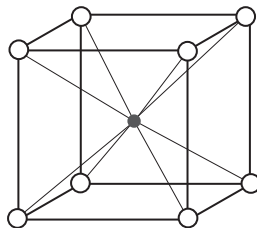
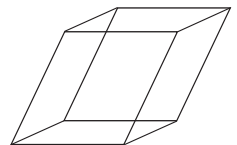
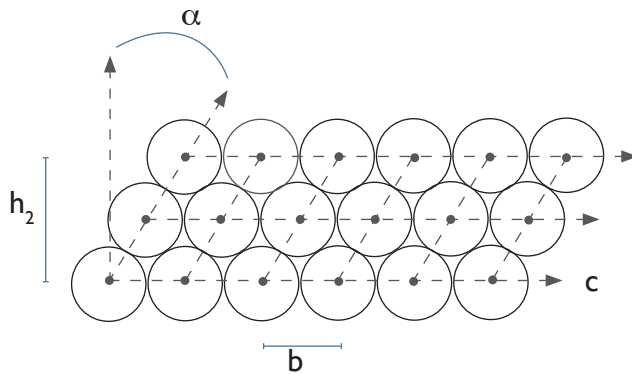
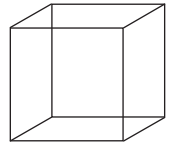
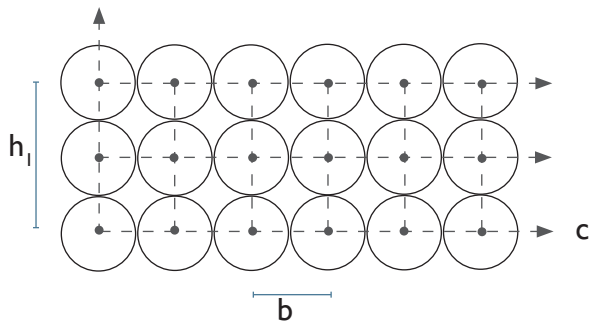


Abbildung 2: Kubisch raumzentriertes Kristallgitter

29 Sauermann/Barke, 1997, S. 119

30 Diffusion bezeichnet die Bewegung von Atomen oder Molekülen in Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern aufgrund thermischer Energie. Sie führt zur Durchmischung zweier oder mehrerer Stoffe.

31 Sauermann/Barke, 1997, S. 121



- α Scherwinkel
- h_1 Abstand der Teilchen
- h_2 Abstand der Teilchen nach Scherung
- b Abstand der Teilchen
- c Richtung

Abbildung 3: Strukturänderung durch Scherung

Die Verschiebung der Teilchen ist mit einer hohen Kraft verbunden. Daher ist ein Spannungsabbau beim Strukturwechsel nötig. Nitinol ist ein polykristallines Material, es besteht aus vielen kleinen Kristalliten³², was bedeutet, dass die Einkristalle im Material fest von anderen Kristalliten umgeben sind. Daher ist eine spannungsfreie Ausdehnung nicht möglich. Die Einkristalle verhalten sich so, als ob sie von zwei Seiten von einer nicht verschiebbaren Wand eingespannt wären und mit großer Kraft gegen diese Wand drücken würden. Beim Strukturwandel wird zwar die Höhe des Kristalls etwas kleiner und es wird in dieser Richtung Platz geschaffen, in der Querrichtung dehnt sich das Material aber umso stärker aus.³³ Beim Eisen beispielsweise erfolgt der Spannungsabbau durch Versetzungsbildung – das Verschieben der Teilchen über unterschiedlich lange Strecken. Die Chance, alle diese Verschiebungen wieder rückgängig zu machen, ist praktisch nicht gegeben und eine reproduzierbare Formänderung ist nicht möglich.

Nitinol und andere Formgedächtnislegierungen verhalten sich etwas anders. Im Austenit, also in der Hochtemperaturphase, ist die Gitterstruktur des Nitinols rechteckig (kubischer Austenit). Beim Strukturwandel zum Martensit würde sich das Gitter durch Scherung zu einem Parallelogramm formen. Da die Teilchen im Polykristallin aber nicht die Möglichkeit haben, sich in eine Richtung spannungsfrei auszudehnen, verlagern sich die Schichten in entgegengesetzte Richtungen, um so die Spannungen auszugleichen (Abbildung 4).

32 Kristallite sind einzelne, kleine Kristalle die die eigentliche Kristallform nicht oder nur teilweise abzeichnen. In der Metallkunde werden Kristallite als Korn bezeichnet.

33 Sauer mann/Barke, 1997, S. 130

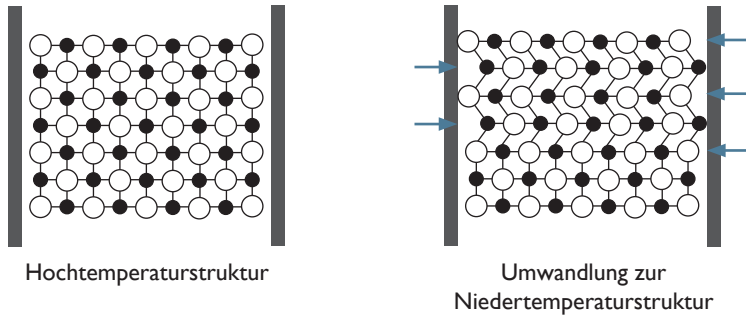


Abbildung 4: Abbau von Materialspannungen durch Zwillingbildung

„Einen solchen „gefalteten“ Kristall nennt man auch einen Zwillingkristall oder kurz Zwilling. Er ist spannungsfrei, weil die Teilchen ihre Verschiebkräfte zu zwei Seiten kompensieren konnten“³⁴ Dieser gefaltete Kristall im Martensit ist von der Struktur her der Ausgangsform im Austenit sehr ähnlich; die Stoffeigenschaften haben sich nicht verändert, die Bewegung ist nicht mit einer Gestaltänderung des Materials verbunden. Das liegt daran, dass das Verhältnis der Atome untereinander als auch die Teilchen zusammenhaltenden Bindekräfte erhalten bleiben. „Die „Faltung“ eines Kristalls ist immer dann möglich, wenn wir von seiner Kristallstruktur ein Spiegelbild anfertigen können, das mit dem Original nicht zur Deckung zu bringen ist.“³⁵ Es ist also festzuhalten, dass Nitinol beim Übergang von der Hochtemperaturphase zur Niedertemperaturphase Zwillingkristalle bildet.

34 Sauer mann/Barke, 1997, S. 133

35 Sauer mann/Barke, 1997, S. 134

Wird das Material nun im Martensit durch Krafteinwirkung verformt, ein Nitinolstab wird beispielsweise verbogen, werden Kristalle auf der Innenseite, also der Druckseite gefaltet (Zwillingsbildung) und auf der Außenseite auseinander gezogen (Zwillingsauflösung). Die Abbildung 5 zeigt den Formgedächtnismechanismus des NiTi-Austenit zum NiTi-Martensit, dessen Verformung und die Rückverwandlung in die Austenitform oberhalb der Umwandlungstemperatur.

Der thermoelastische, martensitische Phasenübergang des Formgedächtniseffektes lässt sich wie folgt zusammenfassen (vergleiche dazu Abbildung 5): Die Ausgangsform A wird bei höherer Temperatur hergestellt, die Struktur des kubischen Austenits entsteht. Wärmeentzug erfordert eine Reorganisation der Gitterstruktur. Durch die Bewegung der Teilchen werden Spannungen erzeugt. Das Kristallgitter klappt durch Scherbewegung in das NiTi-Martensit um (A') und wird verzwillingt um Spannungen abzubauen. Form A' gleicht mit guter Näherung Form A. Verformungen (B) sind möglich, solange das Material auf tiefer Temperatur, unterhalb der Umwandlungstemperatur, bleibt. Die martensitische Struktur wird dabei nicht geändert, nur die Lage der Zwillinge. Wird das Material wieder erwärmt, ändert sich bei Überschreiten der Umwandlungstemperatur die Struktur wieder in die des Austenits (A), die ursprüngliche Gitterstruktur wird wieder hergestellt. Während des ganzen Prozesses ändert sich die Zuordnung der Atome untereinander nicht. Nitinol weist im Austenit wie auch im Martensit eine geordnete Gitterstruktur auf, weshalb eine reversible Rückverformung möglich ist.

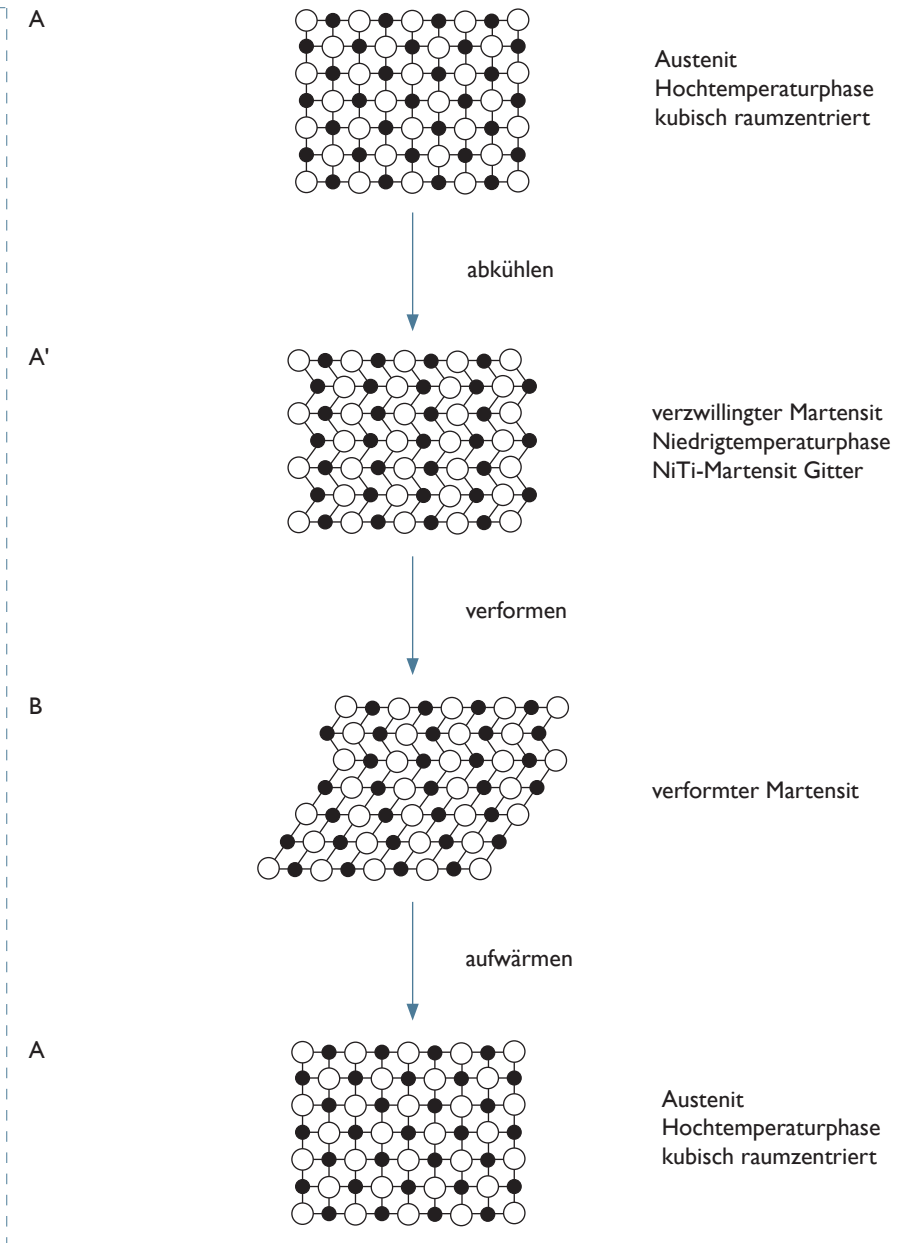


Abbildung 5: Formgedächtnis der Memorymetalle am Beispiel Nitinol

4.2 Drei Effektausprägungen

Je nach Einsatzbereich findet der Einweg-, Zweiwegeffekt oder die Pseudoelastizität der Formgedächtnismaterialien ihre Anwendung. Der Einwegeffekt und die Pseudoelastizität ist abhängig von Spannung und Dehnung in unterschiedlichen Temperaturbereichen, der Zweiwegeffekt von zyklischer, temperaturabhängiger Beanspruchung.

Zum Verständnis zunächst die Definition von Spannung und Dehnung in der Mechanik. Krafteinwirkung auf Materialien können in Form von Dehnung, Stauchung oder Verdrehung auftreten. Dabei kann die Verformung entweder irreversibel sein, das Material wird plastisch verformt oder reversibel, das Material wird elastisch verformt. Bei der elastischen Dehnung werden interatomare Abstände, also die Bindungslängen, vergrößert. Dies geschieht durch Belastung, beispielsweise mittels einer einwirkenden Kraft oder einer Temperaturänderung. Die Dehnbarkeit nimmt in der Regel mit der Temperatur zu.³⁶

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \quad \text{Dehnung} = \text{Längenänderung} / \text{ursprüngliche Länge}$$

Spannung ist die Kraft pro Flächeneinheit, die im Inneren eines Körpers durch äußere Belastung auftritt.

$$\sigma_N = \frac{|\vec{F}|}{A} \quad \text{Spannung} = \text{Betrag der Kraft} / \text{Flächeninhalt}$$

³⁶ Vgl. Burdinski, 2012, S. 9 ff.

Einwegeffekt (Pseudoplastizität)

„Bei pseudoplastischem Verhalten kann der Werkstoff bei einer Spannung stark bleibend verformt werden. Durch Erwärmen (...) erinnert er sich an seine alte Form“.³⁷ „Der Einwegeffekt kann bei allen SMA [Shape Memory Alloy] ohne spezielle Behandlung beobachtet werden.“³⁸ Wird Nitinol im martensitischen Zustand durch eine äußere Spannung gedehnt oder gestaucht, verbleibt es nach Wegnahme der verformenden Kraft im gedehnten oder gestauchten Zustand. Zwillinge werden gestreckt (Dehnung) oder gebildet (Stauchung). Bei Erwärmen oberhalb der Umwandlungstemperatur kehrt das Material in seine ursprüngliche, austenitische Form zurück. Bei erneutem Abkühlen ins Martensit erfolgt keine Formänderung, sofern keine Kraft einwirkt. Der Einwegeffekt kann nahezu beliebig oft wiederholt werden und komplexe Formänderungen sind möglich. Zu beachten ist jedoch, dass die Kraft der Dehnung oder Stauchung nicht einen bestimmten Bereich überschreiten darf, da dies eine irreversible Rückkehr zur Ursprungsform bis hin zum Bruch zur Folge hätte. Abbildung 6 a)

Pseudoelastizität

„Bei dieser Ausprägung des Formgedächtniseffekts zeigt das Material ein gummiartiges mechanisches Verhalten“³⁹, bei dem Dehnungen oder Stauchungen von 8 bis 10 Prozent erreicht werden können; herkömmliche Metalllegierungen erreichen eine elastische Verformung von etwa 0,1%⁴⁰. Im Gegensatz zum Einwegeffekt, erfolgt die martensitische Phasenumwandlung jedoch nicht durch eine Temperaturänderung, sondern allein durch mechanische Einwirkung. Nitinol wandelt sich dabei durch Dehnung oder Stauchung vom Austenit zum Martensit um.

37 Stöckel, 1988, S. 23

38 Juhász, 2004, S. 16

39 Burow, 2010, S. 11

40 Großmann, Industrieanzeiger

Es wird ebenfalls eine martensitische Zwillingsstruktur der Kristalle gebildet, welche sich jedoch nach Entlastung wieder in den austenitischen, kubischen Zustand rückumwandeln. Die Formänderung ist reversibel, sie verschwindet beim Entlasten des Materials wieder. Auch bei der Pseudoelastizität darf die Dehnung oder Stauchung einen gewissen Bereich nicht überschreiten, da dann die elastische Verformung in eine irreversible, plastische Verformung des Martensits übergeht. Die Pseudoelastizität ist nur im Hochtemperaturbereich, also oberhalb der Umwandlungstemperatur, möglich. „Dieser Effekt tritt auch ohne spezielle Behandlung bei allen SMA unter einer Belastungs-Entlastungs-Schleife im Temperaturbereich $T > A_f$ [Temperatur höher als Austenit-Finish] auf.“⁴¹ Abbildung 6 b)

Anmerkung: Da die Umwandlungstemperatur ebenso bei Minusgraden ($^{\circ}\text{C}$) liegen kann, bedeutet dies, dass die Pseudoelastizität auch bei niedrigen Temperaturen stattfinden kann. Die Hochtemperaturphase ist nicht mit einer tatsächlich hohen Temperatur gleichzusetzen.

Zweiwegeffekt

„Der Zweiwegeffekt ist eine besondere Form des thermischen Formgedächtniseffekts. Hier wird eine Gestaltänderung ausschließlich durch eine Variation der Temperatur erreicht.“⁴² Der Werkstoff kann sich zwischen zwei definierten Strukturen, die vorher durch thermomechanisches Verfahren „eintrainiert“ wurden, umwandeln. Der Zweiwegeffekt tritt also in Abweichung zum Einwegeffekt und der Pseudoelastizität nur nach spezieller Behandlung des Materials auf. Das Memory-Metall wird in der Niedertemperaturphase durch äußere Krafteinwirkung in eine gewünschte Form gebracht, danach oberhalb der Umwandlungstemperatur erhitzt, um in der austenitischen Phase seine Ausgangsform anzunehmen. Hier verhält sich die Legierung wie beim Einwegeffekt.

41 Juhász, 2004, S. 16

42 Burow, 2010, S. 12

Anschließend erfolgt erneut die Abkühlung ins Martensit. Durch Wiederholung dieses Verfahrens – der Vorgang wird auch als „Trainieren“ bezeichnet und erfolgt je nach Legierung 20 bis 100 mal – nimmt das Material in der martensitischen Phase die „antrainierte“ Form automatisch an. Bei der Behandlung werden bleibende Versetzungen der martensitischen Gitterstruktur durch wiederholte Beanspruchung hervorgerufen, die bei erneuter Abkühlung vom Austenit zum Martensit gelernte Formvarianten durch innere Spannungen begünstigen.⁴³ Der Zweiwegeeffekt erfordert also keine Rückstellkraft, zeigt aber auch ein geringer ausgeprägtes Formersinnerungsvermögen als der Einwegeeffekt und die Pseudoelastizität. Abbildung 6 c)

43 Vgl. Juhász, 2004, S. 15

Temperaturphasen

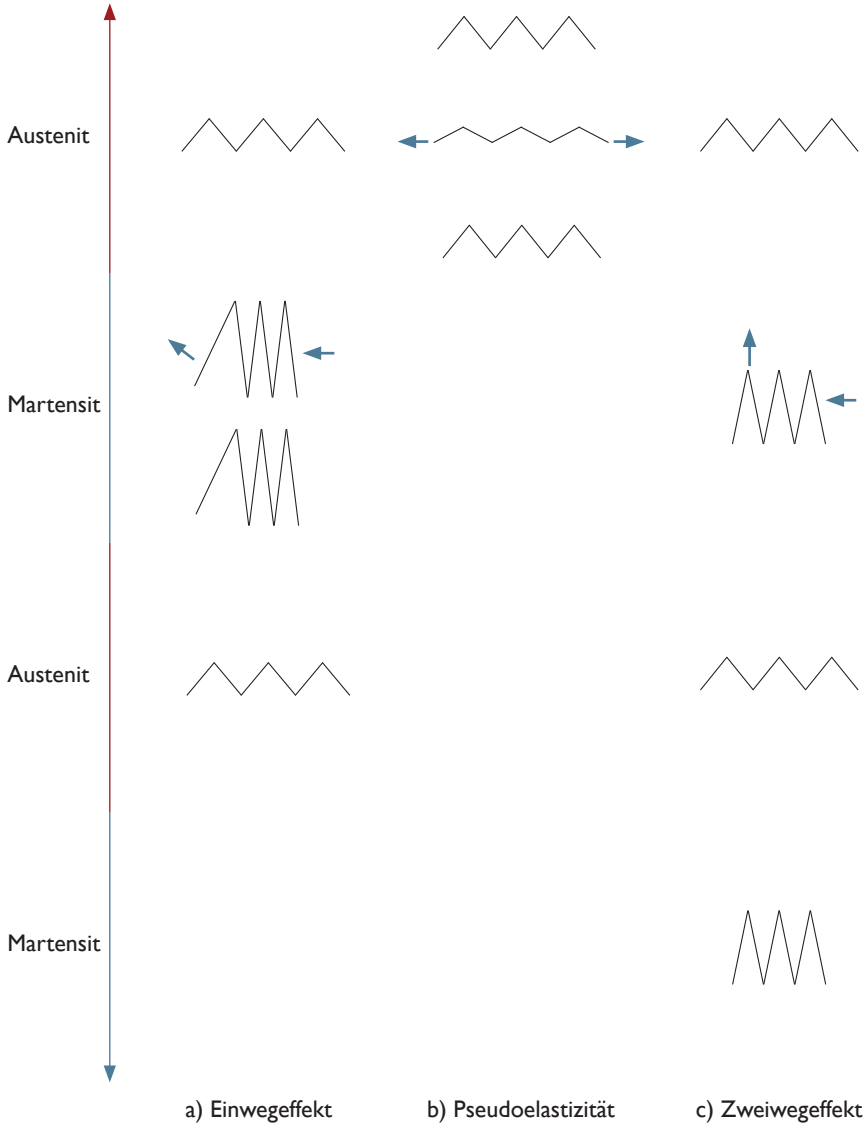


Abbildung 6: Formgedächtniseffekte des Nitinols

5 Besser statt mehr

Nachhaltiger Werkstoff?

„Je weiter das 21. Jahrhundert voranschreitet, desto deutlicher zeichnet sich die Verantwortung der Materialentwickler und Designer für eine bewusste und überlegte Materialverwendung ab.“⁴⁴ Anzustellende Überlegungen müssen sich mit ressourcenschonenden Produktkonzepten und umweltverträglichen Lösungen befassen, bei denen Materialeffizienz und Materialkreisläufe von Bedeutung sind. Zu bedenken ist dabei, die Lebensdauer von Produkten nicht mit der der Materialien zu verwechseln.⁴⁵ Lösungswege, die die Hersteller dabei beschreiten sind unterschiedlich. Zum einen versuchen Produzenten durch den Einsatz von nachwachsenden und natürlichen Rohstoffen eine geringere Umweltbelastung ihrer Produkte zu bewirken – Kunststoffe aus Stärke oder Zucker, pilzbasierte Materialien anstatt zum Beispiel Styropor – zum anderen entwickeln sie Materialien, die neben ihrer mechanischen Funktion weitere Qualitäten aufweisen.⁴⁶ Formgedächtniswerkstoffe, lassen sich zu letztgenannten Materialien zuordnen, bieten sie doch neben ihrem geringen Gewicht, vielfältige Bewegungsmöglichkeiten ohne motorischen Antrieb.

Doch inwiefern können Memory-Metalle einen ökologisch sinnvollen Einsatz ermöglichen? Diese Frage soll anhand Nitinol im Hinblick auf Rohstoffgewinnung, Herstellungsprozess, Langlebigkeit und Recycling betrachtet werden. Je nach eingesetzten Legierungskomponenten ergibt sich eine abweichende Energieeffizienz der Formgedächtnismetalle.

44 Rhee/Marshall in Erlhoff und Marshall, 2008, S. 266

45 Vgl. Tonkwise in Erlhoff und Marshall, 2008, S. 287

46 Vgl. Peters, 2011, S. 10



Nickel ist in elementarer Form nur an wenigen Orten zu finden. Die Gewinnung erfolgt daher großteils durch den Abbau nickelhaltiger Erze. Um daraus hochreines Nickel zu gewinnen sind mehrere Schritte und Aufbereitungsverfahren nötig: Vorrösten, Zugabe von Siliziumdioxid, Stofftrennung durch Natriumsulfid, Hauptrösten, Reduktion durch Zugabe von kohlenstoffhaltigem Brennstoff, Reinigung durch Elektrolyse.⁴⁷ Deutschland liegt auf dem fünften Rang der weltweiten Nickelverbraucher, es findet jedoch keine Verhüttung⁴⁸ von Primärnickel statt.⁴⁹ Die Wiederverwertung von Nickel beläuft sich in Deutschland auf 40%.⁵⁰

Abbildung: Titan

47 Vgl. Giegrich, Liebich, Fehrenbach, 2007, S. 54 f.

48 Verhüttung ist das kommerziell betriebene Ausschmelzen von Metallen aus Erzen.

49 Giegrich, Liebich, Fehrenbach, 2007, S. 53

50 Umweltbundesamt, 2007, S. 10

Auch reines Titan kommt in der Erde kaum vor und wird infolgedessen aus den vielfach vorkommenden Mineralien Ilmenit oder Rutil durch den Kroll-Prozess⁵¹ gewonnen, was ein aufwendiges und energieintensives Vorgehen mit sich bringt. Aus diesem Grund ist Titan sehr teuer. Die Rohstoffe werden im Titangewinnungsprozess durch Hitze und Chlor zu Titan-Chlorid umgesetzt und anschließend durch flüssiges Magnesium zum Titan reduziert. Verunreinigungen werden durch Transportreaktionen nach einem bestimmten Verfahren (Van-Arkel-de-Boer-Verfahren) abgetrennt. Auch Titan ist wiederverwertbar.

„Bis wir es mit Materialien zu tun haben, die keine negativen Auswirkungen mehr auf Klima und Umwelt haben, gilt es vor allem, die vorhandenen Ressourcen bestmöglich zu verwenden und ideal auf den Einsatzzweck auszurichten.“⁵² Ökologische Vorteile, die Nitinol bewirkt, sind Ressourceneffizienz durch geringen Rohstoffeinsatz⁵³; ein ausgeprägtes Bewegungsverhalten kann mit kleinen Mengen Formgedächtnislegierung erzielt werden. Auch das Ausbleiben von Geräuschemissionen oder elektromagnetischer Strahlung, die Langlebigkeit des Metalls durch seine Korrosionsbeständigkeit sowie die Belastbarkeit des Materials als auch die Eignung zum Recycling sind weitere Vorteile. Beispielhaft sei hier die Metalloy GmbH genannt, eine Firma, die sich auf den Recyclingprozess von Superlegierungen, auch auf Nickel- und Titanbasis, spezialisiert hat. „Durch unsere sorgfältige Aufbereitung von Schrotten aus der Luft- und Raumfahrtindustrie, der Medizintechnik, dem Anlagenbau sowie der Petro- und Offshore-Industrie schonen wir die natürlichen Ressourcen von Metallen und führen die Materialien in den entsprechenden Rohstoffkreislauf zurück.“⁵⁴

51 Der Kroll-Prozess ist ein von W.J. Kroll entwickeltes Verfahren zur Gewinnung von technisch reinem Titan.

52 Peters, 2011, S. 8

53 FG-Innovation

54 Corniment, Metalloy Metalle-Legierungen GmbH, Übersicht

„Aufgrund der großen Distanzen, die Produkte und Materialien heute zwischen Herstellung und Gebrauch hinter sich bringen, nimmt die Bedeutung von Werkstoffen und Verbundmaterialien mit einem geringen Gewicht immer weiter zu.“⁵⁵ Nitinol bietet in dieser Hinsicht einen Vorteil, da es ein hohes Leistungsgewicht besitzt (Vgl. Fußnote 20). Damit eignet es sich für Leichtbauprodukte, die beim Transport, wie auch dann im Einsatz für eine CO₂-Einsparung sorgen. Die Abbildung zeigt den Vergleich eines Elektromagneten (links) mit einem Formgedächtnislegierungs-Aktor (rechts) bei gleicher Leistungsklasse. Der neuartige Aktor soll einen Gewichtsvorteil von 90% gegenüber Elektromagneten haben.⁵⁶



Ökologische Nachteile, die sich aus dem Einsatz von Formgedächtnislegierungen ergeben, sind vor allem der Import und die energieaufwendige Gewinnung und Aufbereitung der Legierungspartner. Rohstoffe, die häufig für Formgedächtnislegierungen verwendet werden haben meist lange Transportwege hinter sich, da sie in Deutschland nicht oder nur in geringen Mengen vorkommen und aufgrund dessen importiert werden müssen. Die Auflistung zeigt das Vorkommen von primär eingesetzten Rohstoffen zur Herstellung von Memory-Metallen.

55 Peters, 2011, S. 9

56 Vgl. FG-Innovation, VGA-Vario

Nickel (Nickel-Erze): Russland, Australien, Kanada, Indonesien, Kuba
Titan: Australien, Skandinavien, Nordamerika, Ural, Malaysia
Kupfer: Chile, Peru, USA, Mexiko, China
Zink: USA, Kanada, Australien, China, Peru
Aluminium (Bauxit): Brasilien, Bulgarien, China, Italien, Russland

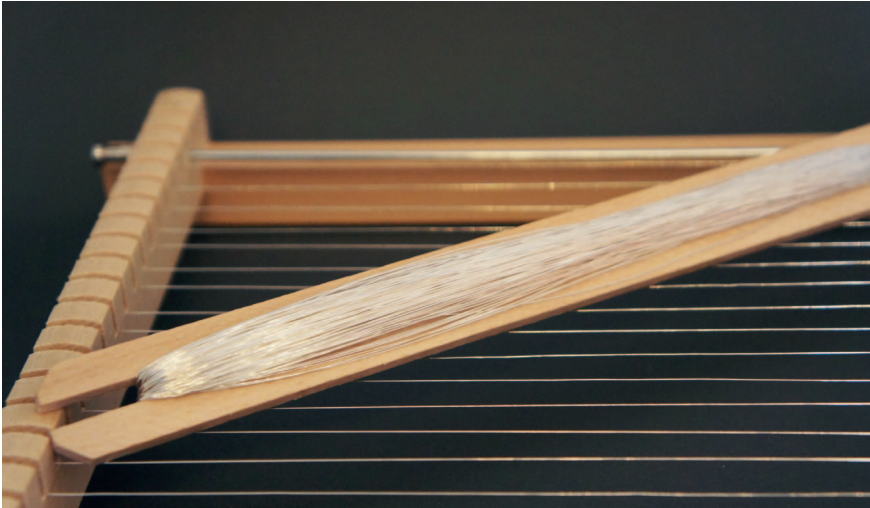
Formgedächtnislegierungen hingegen werden auch von Unternehmen in Deutschland hergestellt. Eine Zusammenarbeit zwischen Herstellern und Käufern zur Bestimmung und Optimierung der Materialien für den Verwendungszweck ist hier ein großer Vorteil.

Mein Fazit zur Auseinandersetzung mit dem Ökologischen Aspekt von Formgedächtnislegierung ist, dass der Werkstoff aufgrund des Energieaufwands und des Rohstoffeinsatzes der Legierungskomponenten da eingesetzt werden sollte, wo es technisch sinnvoll ist und der Formgedächtniseffekt einen Vorteil gegenüber herkömmlichen Materialien bietet, wie es häufig bei der medizinischen Anwendung der Fall ist. Kann durch die besonderen Eigenschaften von Formgedächtnislegierungen bei einer Anwendung zum Beispiel eine Bewegung durchgeführt und dadurch auf einen motorischen Antrieb verzichtet werden, erweisen sich die Fähigkeiten des Metalls, nach meiner Meinung, als effizient. Auch kann eine Materialeffizienz dadurch entstehen, dass der Wärmeauslöser für den Formgedächtniseffekt in der Umgebung bereits besteht und kombiniert werden kann, beispielsweise durch Körperwärme, Sonnenenergie, Abluft oder Wärme aus Abwasser.

Konkrete Daten zum Energieaufwand beim Herstellungsprozess und der Produktlebensdauer von Nitinol habe ich auch auf Anfrage bei mehreren Unternehmen nicht erhalten.

6 Handwerkstradition für Innovation

Weben, Nähen, Technik



6.1 Mit dem Webschiffchen auf Kurs

Einzelne Fasern, die zu einem Flächengebilde verwebt, gewirkt⁵⁷, gestrickt, geknotet oder geflochten werden sind unter dem Sammelbegriff Textil bekannt. Der Einsatz von Textilien beschränkt sich schon lange nicht mehr auf Bekleidungs- und Heimtextilien. Industriezweige produzieren und Entwickeln zum Teil technische Textilien mit funktionellem Mehrwert, hierzu zählen Bautextilien, Medizintextilien, Schutztextilien oder Geotextilien. Begriffe wie Smart Textiles, die elektronische Bauelemente (e-Textiles), Sensoren sowie Energieversorgung mit einbeziehen oder die Bezeichnung Funktionstextilien sind keine Seltenheit mehr. Der Einsatz und die Gestaltung von Textilien hat eine jahrhundertelange Tradition.

⁵⁷ Beim Gewirke werden Fadensysteme durch Maschenbildung industriell zu Textilerzeugnissen verarbeitet.

Die ältesten erhaltenen Stoffe stammen aus ägyptischen Königsgräbern und dienten zum Einhüllen der Mumien. Überlieferungen lassen jedoch annehmen, dass die erstmalig von Menschen verwendeten Textilfasern etwa 30.000 Jahre alt sind.⁵⁸ Traditionelle Handwerkstechniken wurden dabei im Laufe der Zeit mechanisiert, auch die Industrialisierung trug dazu bei, und bis heute durch Computer gesteuerte Maschinen automatisiert. Die Weberei – auf die ich mich in der Arbeit neben der Näherei beschränken möchte – ist, eine der ältesten Techniken zur Herstellung von textilen Erzeugnissen.

Vom Webstuhl zur Webmaschine: „Den ersten Beleg für das Vorhandensein von Webtechniken liefern über 8000 Jahre alte Tontafeln (...).“⁵⁹ Zunächst verwendeten die Menschen Tierhaare und Pflanzenfasern zur Herstellung von textilen Geweben, der Rohstoff Baumwolle kam erst im 7. Jahrhundert vor Christus aus Indien, 400 Jahre später Seide aus Ostasien nach Europa. Aus der Technik des Flechtens entwickelte sich die des Webverfahrens, bei dem mindestens zwei Fadensysteme (Kettfäden und Schlussfäden) rechtwinklig und kreuzweise verbunden werden. Für diesen Vorgang wurden eine Vielzahl von Webstühlen entwickelt, begonnen mit dem Gewichtwebstuhl. „Die Geräte zur Herstellung von Textilien waren in der früheren Zeit Bestandteil des Hauswesens.“⁶⁰ Es folgte als innovativer Fortschritt der Trittwebstuhl, der nahezu unverändert bis an die Schwelle der industriellen Revolution ende des 18. Jahrhunderts erhalten blieb. Neben den fortlaufenden Entwicklungen der Spinnerei, erfand Edmond Cartwright 1785 „Power Loom“, den ersten vollmechanisierten Webstuhl. Der Schritt ins industrielle Zeitalter konnte getan werden. Die mechanischen Webstühle wurden durch Dampfmaschinen oder Wasserräder angetrieben.

58 Kavadez/Belfer-Cohen, 2009, sciencemag

59 Kromer, 2008, S. 21

60 Kromer, 2008, S. 21

Eine erhebliche Verbesserung des Webstuhls erfolgte 1805 durch den Franzosen Joseph-Marie Jacquard, der durch Lochkarten gesteuerte Jacquardwebstuhl, welcher als Mustervorrichtung für Webmaschinen gilt. Heute ist das Webverfahren computergesteuert und damit vollautomatisch, wobei das Prinzip des Jacquardwebstuhls immer noch Verwendung findet.

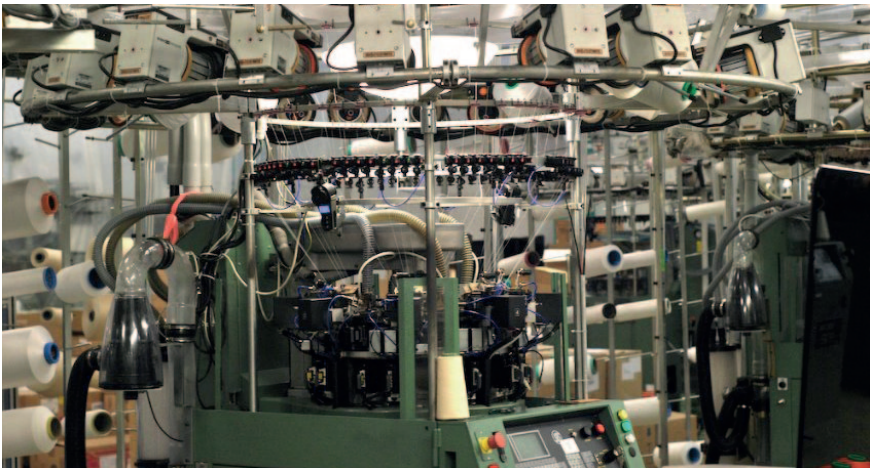


Abbildung oben: Power Loom, Wool Museum, Wales
Abbildung unten: Webmaschine

6.2 Technische und funktionale Textilien

Die Textilindustrie hat in Europa derzeit nur noch eine untergeordnete Rolle. Der europäische Bedarf an Stoffen wird durch die Niedrigpreisländer wie China, Taiwan oder Indien gedeckt. Aufgrund dieser Entwicklung haben es zahlreiche, innovationsfreudige (Textil-)Unternehmen verstanden, die Krise als Chance zu nutzen und ihre Entwicklung und Produktion auf technische Textilien umzustellen.⁶¹ „Inzwischen macht die deutsche Textilindustrie mehr als die Hälfte ihres Umsatzes mit technischen Textilien. Sie gilt in diesem Bereich als weltweit führend, mit einem Marktanteil von fast fünfzig Prozent.“⁶² Technische Textilien sind textile Materialien, die eine funktionelle Eigenschaft mit sich bringen, eigenständig reagieren und sich anpassen können und somit häufig in der Industrie eingesetzt werden. Der ästhetische Charakter dieser Textilien ist zweitrangig. Sie werden bisher in folgenden Bereichen eingesetzt⁶³:

Mobiltech: Fahrzeugbau, Schiffbau, Automobil, Bahn und Raumfahrt

Buildtech: Leichtbau, Massivbau, Erd-, Wasser- und Straßenbau

Protech: Personen- und Sachschutz

Indutech: Maschinenbau, Chemie- und Elektroindustrie

Agrotech: Land- und Forstwirtschaft, Garten- und Landschaftsbau

Geotech: Tiefbau, Damm- und Deponiebau

Packtech: Verpackungen, Transport

Hometech: Möbel, Polster, Teppiche

Sporttech: Sportbekleidung, Sportausrüstung und Zubehör

Medtech: Medizinische Produkte

Ökotech: Umweltschutz, Entsorgung, Recycling

Clothtech: Bekleidungsherstellung

61 Vgl. Knecht, 2006, S. 11

62 Kasselhut, 2012, Spiegel Online

63 Vgl. Techtexil Messe Frankfurt

Auch Funktionstextilien besitzen zusätzliche Eigenschaften. Sie werden zu großen Teilen in der Bekleidungsindustrie eingesetzt und vereinen Stoffe mit Funktionen wie beispielsweise Wasserfestigkeit, Atmungsaktivität, UV-Beständigkeit, Flammenresistenz oder sie wirken antibakteriell, geruchsabsorbierend oder flammenhemmend. Doch auch der Bereich der Funktionstextilien ist nicht ausgeschöpft. „Smart Fabrics“ oder „Smart Cloth“ bezeichnen Textil- oder Kleidungsstücke, welche elektronische Geräte, Leucht- oder Wärmemittel integrieren. Der Einsatz ist vielfältig: Bekleidung, die gesundheitliche Überwachungsfunktionen übernimmt, eingearbeitete Alarmtasten, Pullover mit Unterhaltungselektronik für Kommunikation, Unterhaltung und Information, Leuchtdiodentechnik zur Sicherheit im Straßenverkehr oder Messsysteme für Sportaktivitäten.



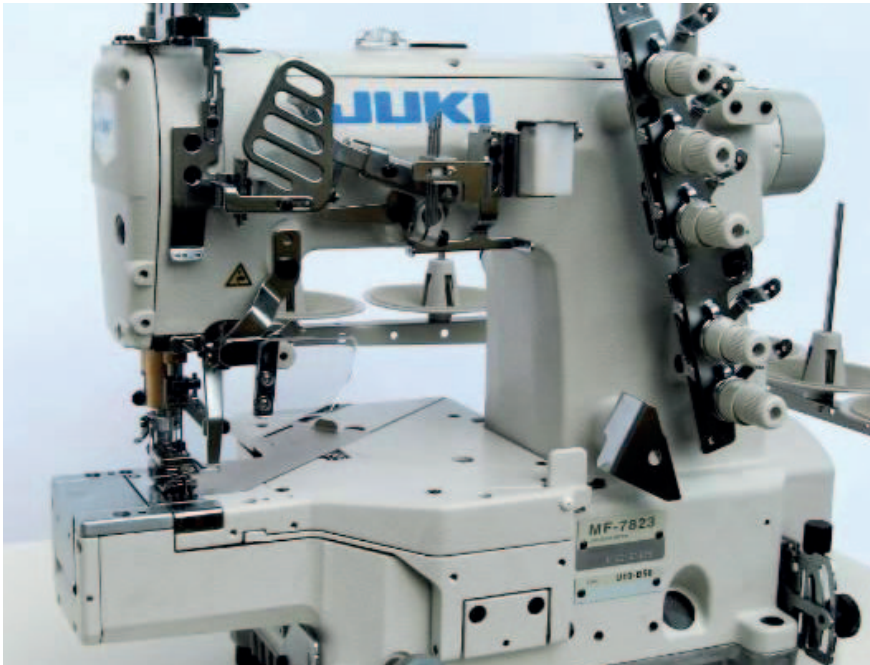
Abbildung: UdK Berlin, e-motion

6.3 Tapferes Schneiderlein



Das Berufsbild des Schneiders und der Schneiderin entwickelte sich im 12. Jahrhundert in Frankreich. Auch wenn das Nähen ebenfalls eine alte Handwerkstechnik ist, wurden Kleidungsstücke in Klöstern oder in der Familie selbst hergestellt. Zunächst wurden Stoffe mit Fischgräten, dann mit Knochen, seit dem 14. Jahrhundert mit einer Nadel aus Stahl und schließlich mit Nähmaschinen durch eine Naht verbunden. 1790 erfand der Engländer Thomas Saint die erste Nähmaschine: Sie war aus Holz und hatte eine Gabelnadel.⁶⁴ Im Vergleich zum Handnähen war die Maschine mit 200 Stichen in der Minute 400 mal schneller als ein Handnäher oder eine Handnäherin.

Abbildung: Boris Nienke
64 Homm, 2012, Burdastyle



Die Arbeit von etwa fünf Nähern und Näherinnen konnte die 1846 von Elias Howe entwickelte Maschine bewerkstelligen, sie ähnelt mit einem umlaufenden Greifer unseren heutigen Nähmaschinen. Isaac Merritt Singer ließ die Nähmaschine fünf Jahre später fabrikmäßig produzieren und führte sie mit einer erfolgreichen Vermarktungsstrategie ein. Später wurden die Maschinen elektrisch angesteuert und wandelten sich bis heute zu computergesteuerten Modellen, welche mit unterschiedlichsten Stichen und Funktionen wie Rückwärtsnähen, Kantenversäubern oder Knopflochautomatik industriell eingesetzt werden.

Abbildung: Industrienähmaschine

7 Form folgt Material

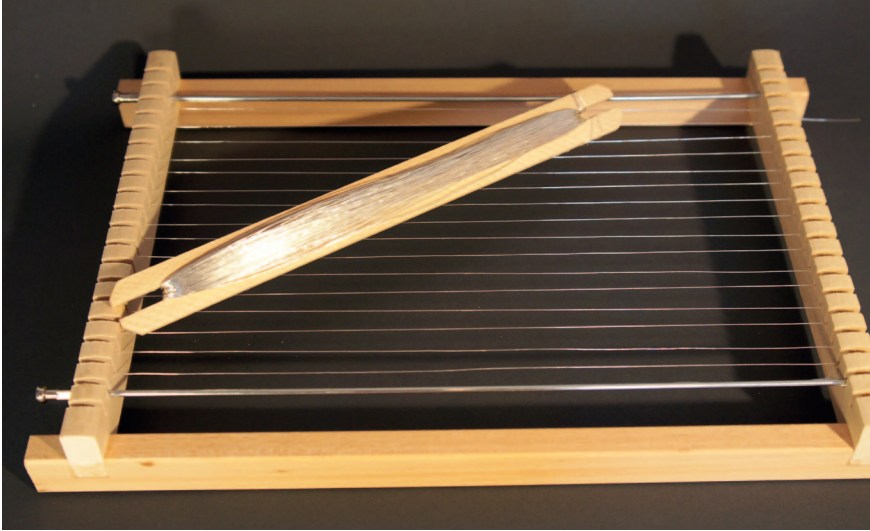
Material- und Strukturübungen

„Es ist eine Zahl, die beeindruckt: Nach Schätzungen des Forschungsministeriums hängen mehr als zwei Drittel aller technischen Innovationen direkt oder indirekt von den Eigenschaften der verwendeten Materialien ab.“⁶⁵

Eine Frage, mit der ich mich an dieser Stelle beschäftige, ist wie die traditionelle Handwerkstechniken der Weberei und Näherei mit dem jungen Material Formgedächtnislegierung zusammen kommen? Welche Strukturen und Figuren können aus dieser Kombination hervorgehen, was sind die Schwierigkeiten und schließlich, was wären mögliche Anwendungen der entstehenden Formgedächtnislegierungs-Textilien? Zwecks dieser Auseinandersetzung führe ich Materialversuche mit verwebten oder vernähten Formgedächtnisdrähten durch. Die Drähte werden dabei wie Garn gehandhabt und mit Baumwollfäden oder anderen Textilien verbunden.

65 Zander, 2011, Spiegel Online

7.1 Experiment: Weben



Ein Webrahmen, der – aus Gründen der Materialeinsparung – mit handelsüblichem Draht bespannt wird, ist der erste Schritt der Materialversuche. Der Draht mit einer Stärke von 0,4 mm wird durch die Kettfäden⁶⁶ (ebenfalls aus Draht) verwebt, sodass eine Struktur aus Metalldrähten entsteht. Ein auftretendes Problem ist die mangelnde Reißfestigkeit des Drahtes, ansonsten lässt sich das Metall gut verweben. Das entstehende Drahtgewebe lässt sich falten, verbiegen und weist eine interessante Oberflächenstruktur auf. Auch das Stricken mit einer Strickliesel und handelsüblichem Draht ist Teil der Versuche. Die Widerstandsfähigkeit des Materials und die geringe Bruchtoleranz scheinen allerdings nicht tauglich für diese Handwerkstechnik. Zudem gleitet die Drahtschnüre nicht durch das Loch der Strickliesel, sondern staut sich am oberen Rand.

Abbildung: Webrahmen mit handelsüblichem Draht bespannt

66 Kettfäden sind die Spannfäden eines Webrahmens in Längsrichtung.

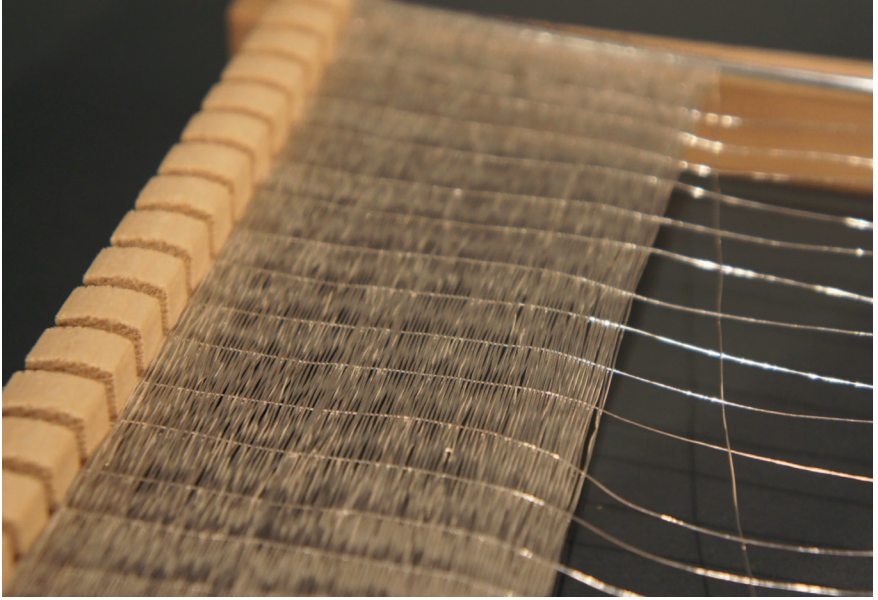
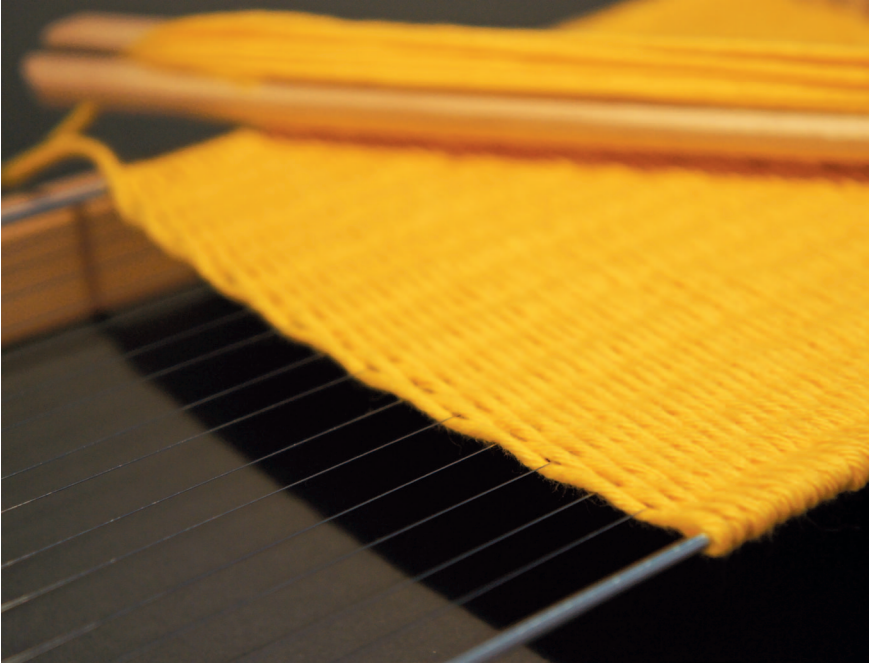


Abbildung oben: Drahtgewebe aus handelsüblichem Draht
Abbildung unten: Drahtstricken mit der Strickliesel



Nächstes Experiment ist das Bespannen des Rahmens mit pseudoelastischem Nitinol als Kettfaden und das Weben mit Baumwollgarn als Schlussfaden⁶⁷. Die hohe Reißfestigkeit und Elastizität der Legierung mit einer Stärke von 0,228 mm eignen sich gut für diese Technik. Beim Weben werden die längs gespannten Kettfäden nicht verbogen und weisen auch nach mehreren gewebten Reihen die nötige Spannung auf. Das entstehende Webstück lässt sich nicht wie das reine Drahtgewebe falten und verbiegen. Im Gegenteil, wird es gefaltet, springt es nach Entlastung wieder in eine gerade, flache Bahn zurück; der eingearbeitete, pseudoelastische Formgedächtnisdraht entfaltet also seine Wirkung und nimmt Einfluss auf die Beweglichkeit des Gewebes.

Abbildung: Webrahmen, bespannt mit pseudoelastischem Formgedächtnisdraht und verwebtem Baumwollfaden

67: Schlussfaden ist der Verwebte Faden, welcher quer zum Kettfaden liegt.

Darauf folgt das Bespannen des Webrahmens mit einem Einweg Memory-Draht, Stärke 0,22 mm. Dieser ist besser zu handhaben als der pseudoelastische Draht und ist ebenso reißfest und belastbar. Das fertige Gewebe lässt sich rollen und falten und behält zunächst diese Form bei. Wird es nun durch einen Heißluftföhn erhitzt oder in heißes Wasser gelegt, geht die Verformung langsam in eine gerade und flache Bahn zurück. Problematisch bei dieser Vorgehensweise ist zum einen die Dicke des Baumwollfadens, der Formgedächtnisdraht hat Schwierigkeiten das relativ dicke Gewebe in seine ursprüngliche Form zu bringen. Zum andern habe ich kein hitzebeständiges Garn zum Weben verwendet, weshalb das Aufwärmen mit sehr heißer Luft den Baumwollfaden



Abbildung oben links: Textil mit eingewebtem Einweg Formgedächtnisdraht im verformten Zustand

Abbildung oben rechts: Hinzufügen von heißem Wasser

Abbildung unten: Selbes Textil nach Erhitzen

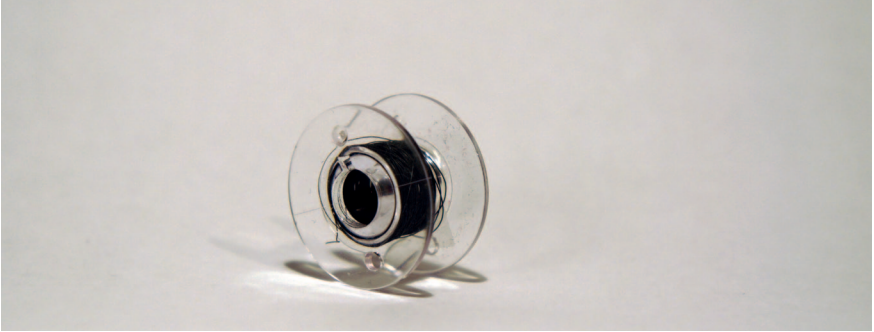
verglühen lässt. Dennoch entsteht ein Textil, welches sich optisch nicht von normalen Webstücken unterscheidet, durch den unsichtbar verwebten Draht aber mit technischen Zusatzfunktionen – Verformbarkeit und mechanische Bewegung – ausstattet.

Eine weitere Möglichkeit, ist das Herstellen eines Webstückes allein aus Formgedächtnisdrähten; Kettfäden und Schlussfäden bestehen aus dem Memory-Metall. Die entstehende Struktur gleiche der des Drahtgewebes aus herkömmlichen Drähten, die Eigenschaften wären jedoch abweichend. Auch dieses Webstück ließe sich verformen und würde zunächst diese Form beibehalten. Nach Erhitzen spränge es jedoch sehr schnell in die ebene Form in der es gewebt wurde zurück. Da diese Vorgehensweise einen hohen Materialeinsatz voraussetzt, wurde kein Modell angefertigt.



Abbildung: Formgedächtnismaterialien, erhalten von Memry GmbH und dem Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

7.2 Experiment: Nähen



Die dünnen Formgedächtnisdrähte mit einer Stärke von 0,12 bis 0,228 mm lassen sich wie Nähgarn handhaben. Zwecks der Materialversuche wird pseudoelastischer und Einweg Formgedächtnisdraht in zwei Textilien mit der Hand oder der Maschine vernäht. Erprobt wird, wie das Erinnerungsvermögen des „Drahtgarns“ auf die Stoffe wirkt.

Zwei Stoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften

Tyvek ist ein reißfestes, wasserbeständiges Fasertextil der Firma DuPont. Das aus Polyethylen bestehende Material ähnelt in seiner Verformbarkeit, Haptik und Optik Papier, ist dabei aber wesentlich strapazierfähiger. Tyvek wird im Baugewerbe, im medizinischen Bereich, für Schutzanzüge, oder für Produkte wie Umschläge, Stadtpläne, Portemonnaies verwendet. Mit einer Handnähnaedel wird pseudoelastischer Formgedächtnisdraht in Tyvek vernäht. Da das Material Hitzebeständig bis 80°C ist, eignet es sich nicht zur Kombination mit Einwegeffekt Draht. Es sei denn, es würde ein Draht mit einer niedrigen Umwandlungstemperatur verwendet.

Ziel dieses Versuchs ist es zu testen, ob die pseudoelastischen Drähte aufgrund ihrer Eigenschaft nach Entlastung einer einwirkenden Kraft in die ursprüngliche Form zurück zu springen, das Fasertextil spannen und nach Verformung glätten können. Dazu werden Längsdrähte parallel zueinander im Tyvek eingenäht.



Es stellt sich heraus, dass die Erwartungen, nicht erfüllt werden; zumindest nicht beim Vernähen mit der Hand. Wie auf dem Foto zu sehen ist, dehnt sich der Draht anstatt das Textil zu straffen seitlich aus. Möglich wäre, dass der gewünschte Effekt beim Vernähen des Drahtes mit einer Nähmaschine auftritt, weil das Material dabei fester eingespannt und fixiert ist. Da der Drahtdurchmesser aber zu dick für die Maschine ist, kann dies nicht getestet werden.

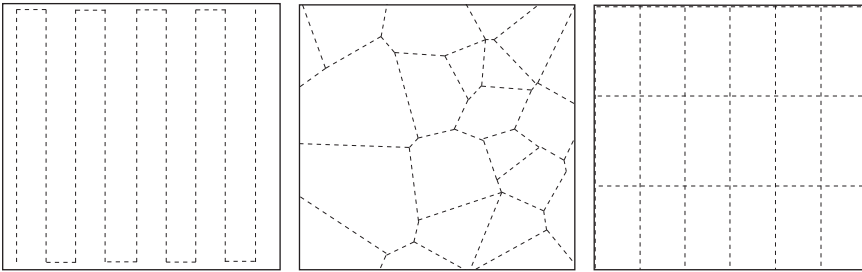
Abbildung: In Tyvek vernähter pseudoelastischer Memory-Draht



Um die Wirkung des sehr feinen Formgedächtnisdrahtes mit Einwegeffekt möglichst wenig zu beeinträchtigen, soll dieser in einen dünnen und leichten Stoff genäht werden. Seide, die aus den Kokons der Seidenraupe gewonnen wird scheint dafür geeignet, auch weil sie der Hitze eines Heißluftföhns oder kochendem Wasser standhält. Der Einweg Nitinoldraht ist so fein, dass er sich auf eine Spule aufwickeln und als Unterfaden in die Nähmaschine einsetzen lässt. Nach Herstellerangaben beträgt die maximale Zugkraft für den 0,12 mm dünnen Draht etwa 230 Gramm und er besitzt eine Umwandlungstemperatur von 70°C. 25 Bewegungszyklen pro Minute können erzielt werden.

Abbildung: Kokons der Seidenraupe, Spiegel Online

In kleine Seidenquadrate werden drei unterschiedliche Strukturen vernäht: Parallel zueinander laufende Nähte, eine an das Voronoi-Diagramm⁶⁸ angelehnte Struktur und ein Raster aus Rechtecken. Es soll herausgefunden werden, ob die Formgedächtnislegierung, vernäht in unterschiedlichen Strukturen, den Stoff bei Verformung in einem Gebilde halten und bei Hitzezufuhr wieder glätten kann und welche der drei Strukturen sich am meisten dafür eignet.



Das eingenähte Raster eignet sich von den drei Strukturen am besten zum Verformen. Sowohl nach falten des Stoffes, als auch nach willkürlicher Formänderung, entsteht ein Gebilde, welches sich der Drähte wegen nicht von alleine rückumwandelt. Die Voronoi-Struktur hingegen weist nach erhitzen durch heißes Wasser den eindeutigsten Formerinnerungseffekt auf. Die Seide bewegt sich bei dieser Nahtstruktur am einfachsten in die ebene Gestalt zurück, ohne, dass Faltungen übrig bleiben. Die parallel laufenden Linien eignen sich nur zum Falten in eine Richtung, vertikal zur Nahtrichtung. Auch beim erhitzen geht die Deformation nur langsam in die Ursprungsform zurück.

Als Ergebnis dieses Materialversuches kann ich festhalten, dass es bei dem eingenähten Memory-Draht zum einen auf die Dicke des Stoffes im Verhältnis zum Draht ankommt und, dass der Erinnerungseffekt je nach Struktur begünstigt wird.

68 Beim Voronoi-Diagramm geht es darum, mithilfe einer bestimmten Punktmenge eine Fläche oder einen Raum einzuteilen.

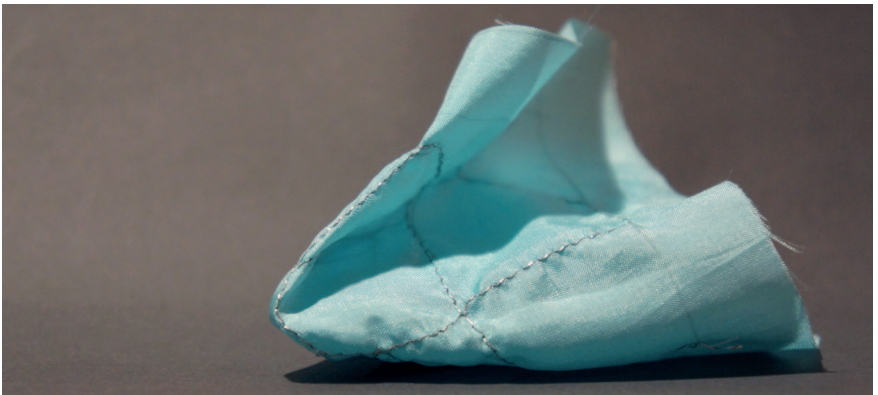
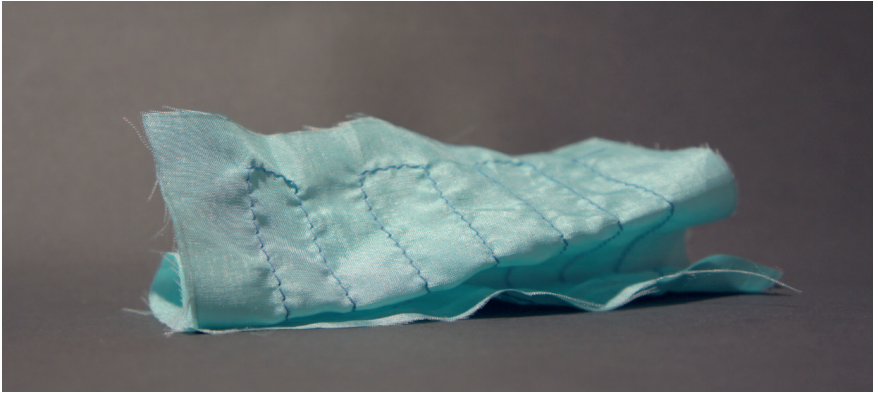


Abbildung oben: Gefaltetes Stoffmuster, parallele Näthe

Abbildung mitte: Verformte Voronoi-Struktur

Abbildung unten: Verformte Rasterstruktur

8 Textil erinnere dich

Ideen zur Anwendung

Die Erkenntnisse, die bei den Materialversuchen im Hinblick auf Materialverhalten und Handhabung gewonnen werden konnten, zeigen, dass vor allem der Einwegeffekt des Memory-Drahtes spannende Möglichkeiten für die Verarbeitung als Textil oder in Verbindung mit Garnen oder Stoffen bietet. Der pseudoelastische Draht, welcher sich bei den Handarbeitstechniken als schwierig im Umgang erwiesen hat, überzeugte jedoch beim Weben als Kettfaden, da der Effekt der Pseudoelastizität die Beweglichkeit und gängigen Eigenschaften des Gewebes beeinflusst.

Die Strukturübungen werden im folgenden auf Vorschläge zur Anwendung in Kombination mit Textilien und unter Berücksichtigung der technischen Funktion von Formgedächtnislegierungen übertragen.

Eine mögliche Verwendung eines Drahtwebstückes, hergestellt aus Einweg Formgedächtnisdraht, wäre die Temperaturabhängige Nutzung der Formänderung als Puffer und variabler Abstandhalter zwischen Objekten. Der Abstand der Objekte könnte durch mechanischen Einfluss, etwa durch zusammendrücken, verringert werden, nach Wärmeeinfluss würde sich der Zwischenraum selbstständig wieder vergrößern. Voraussetzung für diesen Effekt wäre, dass das Gewebe eine ausreichende Effekstabilität zur Kraftaufbringung besitzt.

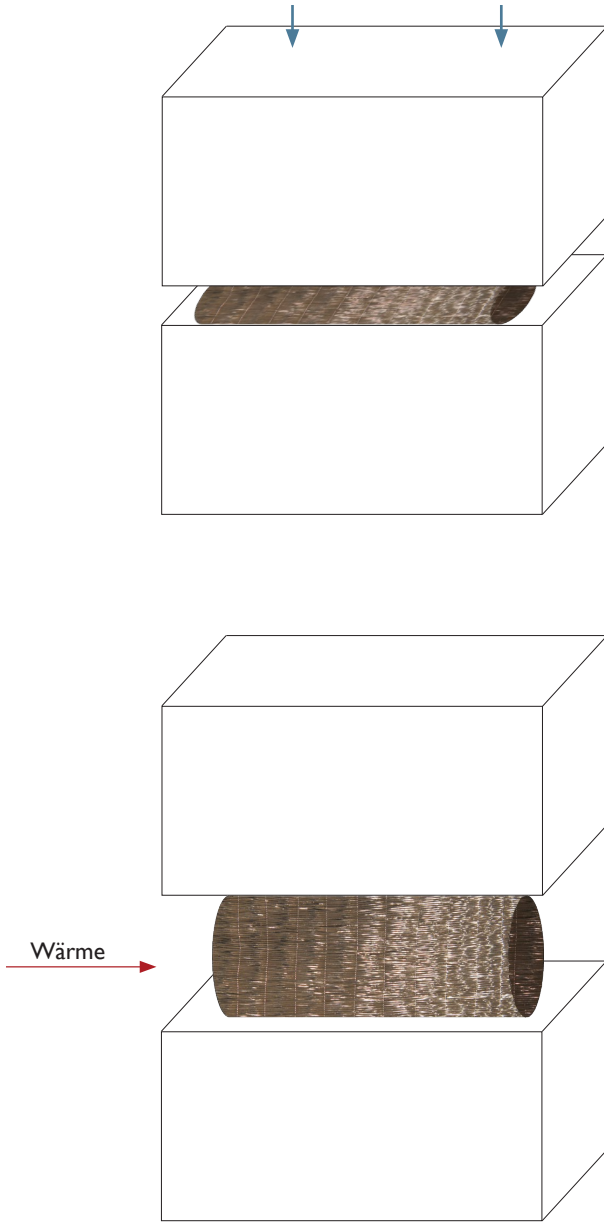


Abbildung: Drahtgewebe aus Einweg Formgedächtnislegierung

Das Webstück mit pseudoelastischen Drähten springt nach Deformation direkt und eigenständig in die gerade Form zurück. Diese Funktion könnte nützlich zum spannen von Textilerzeugnissen sein. Da der Draht unsichtbar durch die Baumwollfäden hindurch läuft, wird die Optik und Haptik des Gewebes nicht verändert. Die Anfertigung von Polsterungen wäre eine Übertragung des Effektes auf ein Produkt.

Wird extrem feiner Draht verwendet und dieser bei der maschinellen Stoffproduktion in Kombination mit anderen Garnen verwebt, könnten sich die Formerinnerungs-Stoffe auch für Bekleidungstextilien eignen – etwa für knitterfreie Hemden, Kleider oder Anzüge.

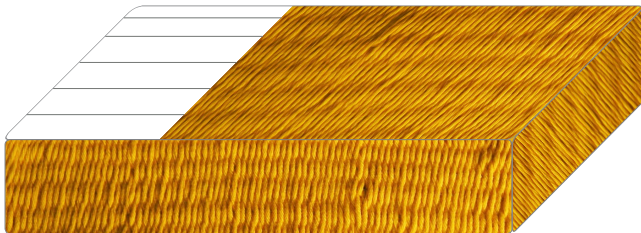
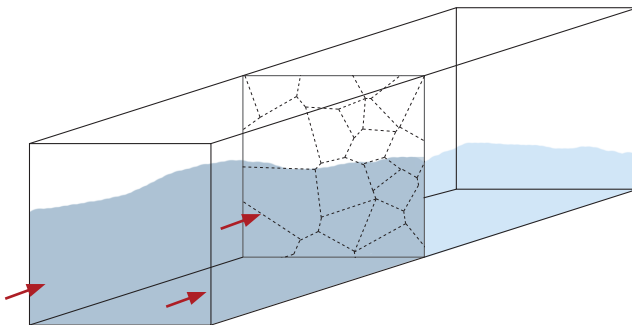


Abbildung: Polster mit verwebten pseudoelastischem Draht

Der Einsatz von in Stoff vernähten Einweg Memory-Drähten wäre für Systeme nützlich, wo Bewegung durch Wärmenutzung erzeugt werden kann, zum Beispiel durch Abwärme, heißes Wasser oder Sonnenenergie.

Ein Filtersystem, welches sich bei durchfließendem heißem Wasser automatisch auffaltet ist ein möglicher Vorschlag. Anbieten dafür würde sich eine vernähte Voronoi-Struktur. Der Formgedächtnis-Textilfilter könnte als Schutzmechanismus dienen.



Auch Sonnenwärme ist bei geeigneter Legierungszusammensetzung Auslöser für den Einwegeffekt. Ein Vorschlag zur Übertragung der Funktion auf ein Produkt mit funktionalem Wert, liegt in der Innenarchitektur. Stoffjalousien, die sich bei stark einstrahlender Sonne selbstständig und ohne benötigten Sonnensensor schließen und so das Aufheizen von Gebäuden – hilfreich vor allem bei Bürogebäuden – reduzieren. Zum erneuten Öffnen der Jalousien müssten diese jedoch entweder elektrisch angesteuert oder von Hand hochgezogen werden. Die Struktur der parallel laufenden Drähte würde sich für diese Funktionsweise eignen.

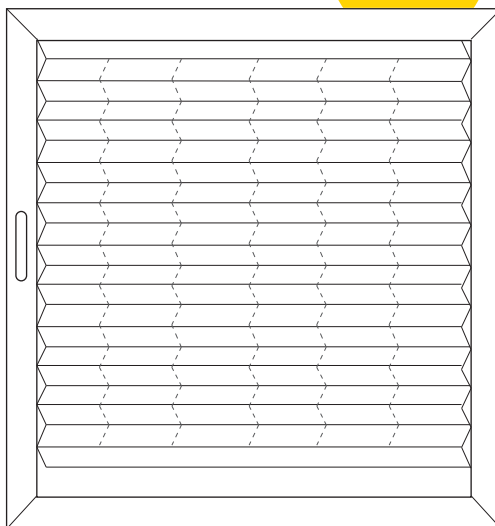
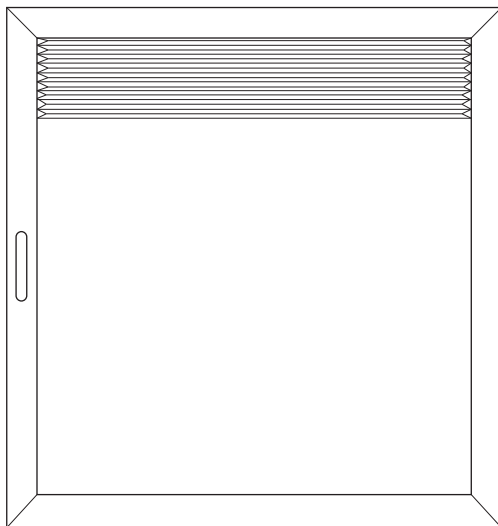


Abbildung oben: Geöffnete Jalousie mit vernähtem Einweg Formgedächtnisdraht
Abbildung unten: Jalousie bei Sonneneinstrahlung

9 Und am Ende?

Ein Fazit

Forgedächtnislegierungen sind mit ihren speziellen Eigenschaften ein interessantes Material für Technik, Architektur und fürs Design. Die Erforschung und Einsatzmöglichkeiten dieses Werkstoffes sind noch lange nicht ausgeschöpft. Das Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik gründete 2010 sogar ein durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördertes FGL-Netzwerk. Ziel dieses Netzwerkes ist es den Bekanntheitsgrad von Formgedächtnislegierungen zu steigern und „in bisher wenig genutzte Geschäftsfelder [zu] tragen“⁶⁹. Außerdem sollen die Vorteile des Multifunktionswerkstoffes in neuen Aufgabenfeldern etabliert werden und dadurch innovative Verfahren, Dienstleistungen und neue Produkte entstehen.⁷⁰

Erkenntnisreich war für mich zunächst die Auseinandersetzung mit der molekularen Struktur des Materials um nachzuvollziehen, wie der Formerinnerungseffekt von Nitinol zustande kommt und welche Funktionsweisen der Einweg-, Zweiwegeffekt und die Pseudoelastizität aufweisen. Die Materialübungen haben infolgedessen dazu beigetragen, das Materialverhalten experimentell zu testen um so zu Vorschlägen zur Anwendung zu gelangen. Auch zeigten sich bei den Experimenten Schwierigkeiten bei der Vorgehensweise Nitinol mit unterschiedlichen Handwerkstechniken zu kombinieren, sodass festgestellt werden konnte, welche der drei Effektausprägungen sich für welche Verwendung eignet. Dünne Formgedächtnisdrähte lassen sich erfolgreich verweben oder vernähen und nehmen so Einfluss auf Verformbarkeit und Beweglichkeit der

69 FGL-Netzwerk

70 Vgl. FGL-Netzwerk

der Textilien; ein zusätzliches Materialverhalten der Stoffe entsteht.

Während meiner Beschäftigung mit dem Thema bin ich auf ein noch jüngeres Ergebnis der Forschung mit einem ebenfalls erstaunlichen Materialverhalten gestoßen: Formgedächtniskunststoffe. Der Auslöser für das Erinnerungsvermögen kann hierbei neben Wärme auch Licht oder ein magnetisches Feld sein. Zu untersuchen wäre, welche Vorteile die Kunststoffe gegenüber Memory-Metallen liefern können und welche Einsatzbereiche die Verwendung des einen oder des anderen Materials begünstigen.

„Die Technik ist soweit. Es wird an weiteren spannenden Lösungen gearbeitet – vom Maschinenbau bis zum Konsumgütermarkt“⁷¹.

71 Melz, Tobias in Pudenz, Automobiltechnische Zeitschrift



Burdinski, Dirk

2012, Vorlesungsmodul: Technische Chemie/Innovative Werkstoffe
Vorlesung 06: Diffusionsprozesse Spannung und Dehnung, Köln

Burow, Juri

2010, Dissertation: Herstellung, Eigenschaften und Mikrostruktur von ultrafeinkörnigen NiTi-Formgedächtnislegierungen, Bochum

Erlhoff, Michael/Marshall, Tim

2008, Wörterbuch Design/Begriffliche Perspektiven des Design, Birkhäuser Verlag

Addington, Michelle: Smart Material S. 370-373

Rhee, Jean/Marshall, Tim: Material S. 265-267

Tonkwise, Cameron: Nachhaltigkeit S. 282-288

Juhász, Levente

2004, Dissertation: Herleitung eines konstitutiven Modells für Formgedächtnislegierungen, Karlsruhe

Kalweit, Andreas/Paul, Christof/Peters, Sascha/Wallbaum, Reiner

2012, Handbuch für technisches Produktdesign/Material und Fertigung/Entscheidungsgrundlage für Designer und Ingenieure, Springer Verlag

Knecht, Petra

2006, Technische Textilien, Deutscher Fachverlag

Kromer, Raphael

2008, Smart Clothes/Ideengenerierung, Bewertung und Markteinführung, Gabler Verlag

Peters, Sascha:

2009, Die Intelligenz des Materials/Smart Materials, in: form 226, Materialien für Designer, Birkhäuser Verlag

2010, Material formt Produkt/Innovations- und Marktchancen erhöhen mit professionellen Kreativen, Band 18 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech, HA Hessen Agentur GmbH

2011, Materialrevolution/Nachhaltige und multifunktionale Materialien für Design und Architektur, Birkhäuser Verlag

Ritter, Axel:

2007, Smart Materials in Architektur, Innenarchitektur und Design, Birkhäuser Verlag

Sauermann, Dieter/Barke, Hans-Dieter

1997, Chemie für Quereinsteiger/Struktur der Metalle und Legierungen, Band 2, Schöningh Verlag

Stöckel, Dieter

1988, Legierungen mit Formgedächtnis/Industrielle Nutzung des Shape-Memory-Effektes. Grundlagen, Werkstoffe, Anwendungen, Expert Verlag

Burkhardt, Jacqueline

2007, Nachhaltig wirtschaften/Natürliche Ressourcen und Umwelt schonen, Publikation des Umweltbundesamtes
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3244.pdf>

FG-Innovation

<http://www.fg-innovation.de/fg-innovation/de/nachhaltigkeit.php>

FGL Netzwerk/Eine Idee wird geboren

<http://www.fgl-netzwerk.de/fgl>

Giegrich, Jürgen/Liebich, Axel/Fehrenbach, Horst

2007, Ableitung von Kriterien zur Beurteilung einer hochwertigen Verwertung gefährlicher Abfälle, Publikation des Umweltbundesamtes
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3504.pdf>

Großmann, Christian

Hart wie Stahl, doch leichter und intelligenter, Industrieanzeiger
http://www.industrieanzeiger.de/home/-/article/12503/29453900/Hart-wie-Stahl,-doch-leichter-und-intelligenter/art_co_IN-STANCE_0000/maximized/

Homm, Marion

2012, Die Geschichte der Nähmaschine, Burdastyle
http://www.burdastyle.de/aktuelles/news/naehwissen-die-geschichte-der-naehmaschine_aid_3420.html

Intelligente Baustoffe der Zukunft: Smart Material House,
IBA Hamburg

<http://www.iba-hamburg.de/themen-projekte/bauausstellung-in-der-bauausstellung/smart-material-houses/projekt/smart-material-houses.html>

Isenburg, Thomas/Shell, Udo

2011, Forscher optimieren Implantate aus Formgedächtnislegierung,
Maschinenmarkt

<http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanaele/konstruktion/werkstoffe/articles/341333/>

Kasselhut, Stefan

2012, Der Herr der Stricknadeln, Spiegel Online

<http://www.spiegel.de/karriere/berufsleben/textilingenieur-ein-job-mit-zukunft-a-863726.html>

Kavadez, Eliso/Belfer-Cohen Anna

2009, 30,000-Year-Old Wild Flax Fibers, AAAS

<http://www.sciencemag.org/content/325/5946/1359>

Langbein, Sven/Czechowicz, Alexander/Haubert, Kirsten

2012, Intelligente Werkstoffe für umweltfreundliche Antriebe,
Maschinenmarkt

<http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanaele/konstruktion/werkstoffe/articles/365146/>

Pudenz, Katrin

2011, Smart Materials: Schnelle Anpassung an wechselnde Situationen, Automobiltechnische Zeitschrift

<http://www.springerprofessional.de/smart-materials-schnelle-anpassung-an-wechselnde-situationen-13450/3949896.html>

Techtextil Messe Frankfurt: Anwendungsbereiche

<http://techtextil.messefrankfurt.com/frankfurt/de/besucher/messeprofil/anwendungsbereiche.html>

Zander, Henning

2012, Material der Zukunft: Stoffe, die Wunder wirken, Spiegel Online

<http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/materialien-der-zukunft-stoffe-die-wunder-wirken-a-753215.html>

Bildnachweis

Sofern nicht anders angegeben, sind die Fotografien und Grafiken eigens angefertigt.

S. 3 Holgate, Sam, Alfa Romeo Essence auf www.automild.de

S. 8 Oben: Berzina, Zane, Touch Me auf www.zaneberzina.de

S. 8 Mitte: Molenschot, Frederik, Solid Poetry

S. 8 Unten: Displax, Skin Multitouch auf www.displax.com

S. 18 Schäth, Max, Outsourcing auf www.design.udk-berlin.de

S. 19 London_England auf www.fotolia.com

S. 35 www.jumk.de/mein-pse/

S. 37 FG-Innovation GmbH, FGA-Basic, auf www.fg-innovation.de

S. 41 Oben: Power Loom auf <http://www.galenfrysinger.com>

S. 41 Unten: Kesselhut, Stefan auf www.spiegel.de

S. 43 E-motion auf www.design.udk-berlin.de

S. 44 Nienke, Boris, nSonic auf www.flickr.com

S. 45 Kettenstick Industrienähmaschine auf www.ricardo.ch

S. 54 Reuters, 1000 Fragen, Spiegel Online

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Rebekka Hehn, dass ich die Arbeit in allen Teilen eigenständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und bei Zitaten kenntlich gemachten Quellen genutzt habe.

Köln, 18. März 2013



„Die Form ist alles. Sie ist das Geheimnis des Lebens.“
Oscar Wilde

Formgedächtnislegierungen verfügen über ein Erinnerungsvermögen an ihre Ausgangsgeometrie. Doch was passiert innerhalb des Materials, wenn es sich an seine Form erinnert und wie lassen sich die Materialeigenschaften eines intelligenten Drahtes mit Textilien kombinieren? Mit dem Webschiffchen Kurs halten auf Perspektiven zur Anwendung.



Köln
International
School
of Design