

## Was hat eine Amphore mit einem Flugzeug zu tun?

Überall da, wo Lasten getragen werden, ist eine geeignete Struktur vorhanden, welche die notwendige Steifigkeit, Festigkeit und Stabilität liefert. Strukturen gibt es im Flugzeugbau und im Maschinenbau, im Automobil- und Schiffsbau. Seit Jahrtau-



Leichtbau „made in Italy“  
im 1. und 21. Jahrhundert.

senden gibt es Strukturen im Bauwesen, seit Jahrtausenden in der Natur. Bei hohen Anforderungen hinsichtlich des Gewichtes, der Genauigkeit oder des Schwingungsverhaltens werden Strukturen zum Hochleistungsprodukt: Hochwertige Werkstoffe werden eingesetzt, Entwurfsverfahren optimiert, Herstellungstechnologien weiterentwickelt. Durch die Verwendung aktivierbarer Materialien zieht nun auch die Elektronik in die Strukturwelt ein: Strukturen werden zu komplexen, extrem leistungs- und anpassungsfähigen mechanischen Systemen, die sich frei programmieren lassen. Ist einmal die Belastungsgrenze überschritten, so sind solche „schlau“ Struktursysteme (smart structures) sogar in der Lage, aufgetretene Schädigungen zu diagnostizieren und zu quantifizieren. Das Streben nach Leistungserhöhung in Strukturen hat eine lange Geschichte. Bereits die alten Römer bauten leere Amphoren ins Mauerwerk ein und verwendeten damit zum ersten Mal bewusst dünnwandige Tragwerke. Ein wichtiger Meilenstein – im wahrsten Sinne des Wortes – in der Entwicklung des Leichtbaus: Ohne dünnwandige Bauteile könnte heutzutage kein Flugzeug gebaut werden. Auch an der neuen Front der Hochleistungsstrukturen muss sich Italiens Forschungs- und Entwicklungsleistung nicht verstecken. Eine kleine Auswahl an Ergebnissen und Produkten „made in Italy“ auf diesem Gebiet können Sie auf den folgenden Seiten finden. Mit dem Einsatz aktivierbarer Materialien und spezieller Sensorik in der Luftfahrt

befassen sich die Beiträge von Prof. Lecce von der Universität Neapel und

### ... aus dem INHALT:

- **Aktuell**

Kampanien:  
Intelligente Materialien

CIRA: Aktive Strukturen

- **Unternehmen & Technologietransfer**

Oricalco – Das clevere Hemd

D’Appolonia:  
FGL im Steinbruch

- **Forschung & Wissenschaft**

FGL in der Biomedizin

- **Termine & Service**

Bilaterales Forum:  
Hochleistungsstrukturen

von Ing. Concilio vom CIRA. Die Zielsetzungen gehen von der Schadensdiagnose mittels optischer Faser zur Schwingungsberuhigung mit Hilfe piezoelektrischer Werkstoffe bis hin zur Formgestaltung von Tragflächen unter Verwendung sogenannter Formgedächtnislegierungen. Prof. Auricchio von der Universität Pavia berichtet über die Verwendung von metallischen Materialien in der Biomedizin, während in zwei weiteren Beiträgen von Ing. Carosio der Genueser Technologietransferfirma D’Appolonia über zwei höchstinnovative Anwendungen berichtet wird: Formgedächtnislegierungen anstatt Sprengstoff im Steinbruch und das „clevere“ Hemd, das seine Ärmellänge an die Außentemperatur anpasst oder sich mit dem Haarfön bügeln lässt.

# „Intelligente“ Materialien und Strukturen: Quelle und Potential für die Region Kampanien

Die Region Kampanien zeichnet sich durch vielfältige Kontraste aus: zauberhafte Landschaften neben kleinen Industriezweigen. Daneben trifft man auf Beachtliches im Bereich der Spitzentechnologien und im fortgeschrittenen Tertiärsektor. Die Präsenz von Industrien und Forschungszentren in den fortschrittlichsten Sektoren für Planung und Produktion im Verkehrswesen (Alenia und CIRA im Flugzeugbereich, Fiat Alfa Romeo, Elasis und CNR in der Automobilbranche, Ansaldo Breda im Schienenverkehr) ist sicherlich ein Anreiz und führt gleichzeitig zu einer starken Nachfrage nach neuen Technologien.

In Kampanien existiert bereits ein gut strukturiertes Forschungsnetz. Seit Jahren arbeiten hier Forscher im zukunftssträchtigen Bereich der Materialien, Strukturen und der sogenannten „intelligenten“ Systeme. Intelligente Systeme deshalb, weil sie das menschliche Verhalten nachahmen können, in dem sie auf Grundlage einer Optimierungslogik der Leistungen eines bestimmten Systems in Echtzeit auf externe Reize reagieren.

Um 1990 entstanden am DPA (Dipartimento di Progettazione Aeronautica, Abteilung für Luftfahrzeugbau) der Universität Neapel „Federico II“ die ersten Forschungsarbeiten, die sich auf den Einsatz von piezoelektrischen Aktuatoren und Sensoren für die aktive Kontrolle der Vibrationen und der Geräusche im Flugzeugrumpf konzentrierten. Die Idee, diese Technologie auch zur Kontrolle des Lärms in den Kabinen von Turbopropflugzeugen einzusetzen, weckte auch das Interesse

des CIRA (Italienisches Zentrum für Luft- und Raumfahrtforschung) und von Alenia Aeronautica. Die Überlegungen mündeten schließlich in dem Forschungsprojekt ASANCA II (Advanced Studie for Active Noise Control in Aircraft) des 4. EU-Rahmenprogramms. Auf einer Nachbildung in Originalgröße des Flugzeugrumpfes des ATR-42 wurden mehr als 100 Piezoelemente angebracht. Mittels eines Regelsystems mit 42 Ausgangskanälen und 36 Eingangskanälen, das von der niederländischen



Flugzeugrumpf des ATR 42

TNO zur Verfügung gestellt wurde, konnte der Lärm um ca. 15dB verringert werden.

Die Arbeit mit piezoelektrischen Elementen wurde durch Versuche mit noch raffinierteren Systemen fortgesetzt, die gleichzeitig mehrere Funktionen ausüben können. Der Einsatz von piezoelektrischen Aktuatoren und Sensoren, die über die Lärmkontrolle und -reduktion hinaus (Abbildung 1) mögliche Strukturschäden identi-



Abbildung 1:  
Ohne Kontrolle

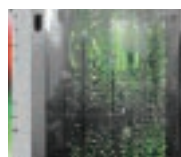
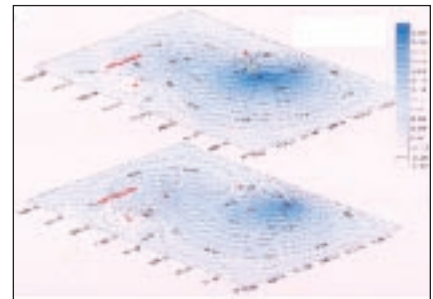


Abbildung 2:  
Mit Kontrolle

fizieren, lokalisieren und quantifizieren können (Abbildung 2), wurde an einem Rumpfblech erprobt. Die Forschungsarbeiten an diesen Systemen laufen noch und zielen darauf ab, den Einsatz dieser Technologie auch für Brücken und andere Bauwerke sowie für die Erkennung von



Lokalisierung eines Schadens  
am Rumpfblech

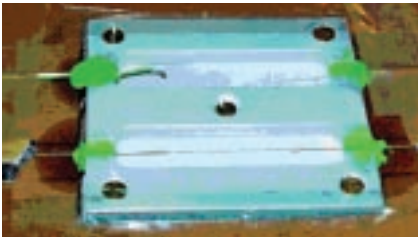
Korrosionsschäden bei Metallstrukturen zu bewerten. Für die Anwendung auf Bauwerke (Abbildung 3) wurde eine andere Technologie verwendet. Es handelt sich um magnetostruktive Materialien. Hier hat das DPA europaweit die Rolle des Koordinators innerhalb des Projekts MADAVIC (Magnetostrictive Actuators for Damage Analysis and Vibration Control) übernommen. Das Projekt wurde in



Abbildung 3: Anwendung magnetostruktiver Materialien

enger Zusammenarbeit mit deutschen Forschungszentren und Universitäten (DLR und Universität Saarbrücken) durchgeführt. Daraus resultierte ein weiteres europäisches Projekt, MESA (Magnetostrictive material for more Electrical Aircraft) diesmal unter der Koordinierung der Universität Saarbrücken.

Parallel zu diesen Aktivitäten hat sich vor allem in den letzten 4 Jahren in Kampanien innerhalb des CNR-Forschungsinstituts für fortschrittliche Verbundwerkstoffe in Neapel (Istituto per le Ricerche sui Materiali Compositi Avanzati) und der „Universität del Sannio“ in Benevento eine gut ausgestattete interdisziplinäre Gruppe gebildet. Darin arbeiten Fachleute aus den Bereichen Elektronik, Optoelektronik, fortschrittliche Verbundwerkstoffe, Chemie und Luft- und Raumfahrt. Die Gruppe richtet ihr Augenmerk auf die Entwicklung und Realisierung von intelligenten Strukturen



System für die gleichzeitige Messung der Temperatur, Dehnung und Schwankung des Refraktionsindex während der Polymerisation eines duroplastischen Polymers

und Materialien, wie: Fortgeschrittene Verbundwerkstoffe, optoelektronische Glasfasersensoren, magnetostriktive und piezoelektrische Aktoren und SMA (Shape Memory Alloys). Ergebnis all dieser Aktivitäten war die Gründung eines Forschungsnetzwerk unter Prof. L. Nicolais, zuständig für Forschung an der Universität der Region Kampanien, zur Koordination der Arbeit von Industrie, Forschungszentren und Universitäten.

Prof. Leonardo Lecce  
 Dip. Progettazione Aeronautica  
 Universität Federico II  
 Via Claudio, 21  
 I-80125 Napoli

Web: <http://www.dpa.unina.it/lecce/leoindex.htm>

## Aktive Strukturen

Unter den Forschungsaktivitäten des CIRA sind im Bereich Flugsicherheit die Aktivitäten im „Structural Health Monitoring“ von besonderer Bedeutung. Dieser Forschungszeit hat als Ziel, jederzeit eine Fehlfunktion des Flugzeuges an jedem Punkt des Flugzeuges erkennen zu können: Unter der Leitung von Ing. Antonio Concilio arbeitet die Gruppe „Smart Structures“ an dem Konzept im Inneren des Flugzeuges ein dichtes Netz von Sensoren anzubringen, die so wie die Nervenenden des menschlichen Körpers alle Informationen, die von außen oder von der Struktur kommen, wahrnehmen. Dadurch können auch die mechanischen und elektronischen Komponenten vor einem zu starken Vibrationsniveau geschützt

werden. Ein weiterer Forschungszweig im Rahmen von „Smart Structures“ beschäftigt sich mit verformbaren Flügeln, d. h. Flügeln, die je nach Flugbedingungen ihre Konfiguration oder Form ändern können.

Diese Themen sind Gegenstand des zu gründenden Network „Aeronautico Campano“, an dem zur Zeit die Universität Neapel „Federico II“, die Universität Neapel „SUN“, der CNR, die Alenia, und der CIRA beteiligt sind.

### Strukturen mit Sensoren

Durch den Einsatz von optischen Fasern, die in das Material integriert sind, kann der Zustand der zu überwachenden Struktur sehr detailliert aufgezeichnet werden. Dies führt zu mehr Sicherheit (eventuelle Schäden können sofort an jedem Punkt des Flugzeuges registriert werden) und Wirtschaftlichkeit (die augenblicklichen Stillstandszeiten für Wartung könnten verkürzt werden). Der CIRA entwickelt gerade in Zusammenarbeit mit dem CNR und der Universität „Federico II“ optoelektronische Messsysteme für



Flügelkonstruktion, CIRA

diesen Einsatz. Diese Geräte, die mit kostengünstigen Komponenten entwickelt wurden, werden für die Messung der Dichte, Temperatur usw. eingesetzt. Das Präzisionsniveau übersteigt das bestehende und in der internationalen Literatur aufgeführte um ein Wesentliches. Man arbeitet außer-

dem daran, die Möglichkeiten der gleichzeitigen Messung von Strukturdehnungen an mehreren Punkten auszubauen.

### Kontrollierte Strukturen

Die Vibrationen, die eine Struktur erleidet, wandeln sich zu Lärm um. Bei einem Flugzeug trägt dies zu einer Verringerung des Flugkomforts bei. Durch die Messung der Intensität und der Art der Vibrationen kann ein gleichwertiger und entgegengesetzter Effekt produziert werden. D. h., die



Versuchsaufbau – Lasermessung, CIRA

Sensoren registrieren die Vibration und schicken die Daten an einen Rechner. Dieser erteilt Befehle an Geräte, die bei der Struktur einen gleichwertigen und entgegengesetzten Effekt auslösen können. Der CIRA

lenkt seine Aufmerksamkeit besonders auf die sogenannten piezokeramischen Aktoren, die elektrisch betrieben werden und die gewünschten Effekte bei den jeweiligen Strukturteilen produzieren.

Die Vibrationen zu verringern, bedeutet nicht nur eine Lärmreduzierung sondern auch den Schutz der elektronischen und mechanischen Bauteile des Flugzeuges.

Im Rahmen des europäischen Projektes VIBRANT, das von der WEAO (Western European Armament Organisation) finanziert wird, untersucht der CIRA neue Schutzsysteme für die Computer des EFA, dem Europäischen Jagdflugzeug der neuesten Generation.

## Verformbare Strukturen

Einen Tragflügel zu haben, der seine Konfiguration ändern kann, bedeutet, über eine Struktur zu verfügen, die ihre Form an die jeweils herrschenden Flugbedingungen anpassen kann. Im Rahmen des europäischen Konsortiums EREA hat der CIRA bereits einen Prototyp einer adaptiven Konturbeule „Bump“ gebaut, d. h. eines elastischen Bauteils, das mit Luft gefüllt werden kann, oder bei dem die Luft abgelassen werden kann, um das Flügelprofil in transsonischem Flug zu verändern und somit den Widerstand, der durch die Stoßwelle beim Flug verursacht wird, zu verringern.

## Hingeless wing

Die Konstruktion eines Flügels ohne Scharniere gehört zu den Zielen der nächsten Jahre des CIRA und ist Teil des Projektes UAV-TEC. Dieses Projekt ist Bestandteil des Programms UAV bei dem der CIRA fliegende Plattformen realisieren will, d. h. Laboratorien in der Luft, mittels deren Technologien überprüft werden können, die in den Bodenlabors entwickelt wurden. Einzigartig und innovativ ist der Einsatz von Formgedächtnislegierungen. Diese können sehr starke Kräfte erzeugen, die in der Lage sind, die Flügelstrukturen zu deformieren, welche aufgrund ihrer Funktion hohe Lasten tragen zu können, sehr robust sind. Die FGL bieten außerdem den Vorteil, leicht in den Flügel integriert werden zu können und gleichzeitig dessen hinteres Teil um einige Dutzend Zentimeter deformieren zu können, so dass derselbe aerodynamische Effekt wie bei einer Klappe erzielt wird. Der Ansatz, die Formgedächtnislegierungen dazu zu verwenden, um die Form des Flügelprofils zu verändern ist einzigartig, da es im Augenblick in der Literatur keine Beispiele für einen solchen Flügel gibt, der im Kanal oder beim Flug getestet wurde.

Gioacchino Di Martino  
Responsabile Relazioni Esterne  
CIRA  
Via Maiorise

I-81043 Capua  
Web: <http://www.cira.it>

## ORICALCO - Das clevere Hemd

Die meisten Menschen hatten schon mal mit Formgedächtnislegierungen zu tun oder kennen sie zumindest von Brillengestellen oder Antennen von Mobilfunktelefonen aus superelastischem NITINOL (Nickel-Titan). Wenige haben bereits von Legierungen mit dem temperaturabhängigen Formgedächtnis-Effekt gehört, die sich durch die außergewöhnliche Eigenschaft auszeichnen, dass sie bei Erwärmung zu einer definierten, vorher eingepprägten Ausgangsform zurückkehren. Bis jetzt wurden diese Leichtlegierungen mit einem 50%igen Titangehalt in hochentwickelten Bereichen wie der Raumfahrt und seit kurzem auch in der Medizin eingesetzt.



*Hemd aus FGL, Corpo Nove*



*Verformung unter Temperatureinfluss, Corpo Nove*

Der Ursprung dieses Zaubermetalls soll auf das sagenumwobene Atlantis, den verschwundenen Kontinent zurückgehen, dessen Bewohnern außergewöhnliches Wissen von den Natur-elementen und ihrer Verwendung nachgesagt wird. Mit Hilfe des Technologietransferprogramms der Europäischen Raumfahrtbehörde hat das italienische Unternehmen D'Appolo-

nia dieses Wissen auf traditionelle Bereiche übertragen. Im Rahmen dieses Programms hat Corpo Nove mit ihrem Forschungs- und Entwicklungsunternehmen Grado Zero Espace diese „geheimnisvoll-sagenhafte Eigenschaft“ in ihre Kollektion übernommen, indem Thermal-Shape-Memory-Metalle, also temperaturabhängige Formgedächtnis-Metalle, bei der Herstellung eines Hemdes verwendet wurden.

Dieses Kleidungsstück ist nicht funktionsorientiert wie die anderen Produkte von Corpo Nove, sondern eröffnet enorme neue Einsatzmöglichkeiten. Stellen Sie sich vor, Sie haben ein langärmliges Hemd aus diesem Gewebe. Das Ärmelgewebe könnte so programmiert sein, dass die Ärmel sich verkürzen, sobald die Zimmertemperatur um ein paar Grad steigt. Das Gewebe kann zu einem festen Knäuel zusammengedreht, zerknüllt und zerknittert werden, und nimmt, sobald es mit heißer Luft in Berührung kommt, z. B. aus einem Haarfön, automatisch seine frühere Form wieder an. Wenn Sie das Ganze mal unter dem Gesichtspunkt betrachten, dass etwas heiße Luft hier das Bügeleisen ersetzt, und zwar während man das Hemd anhat, dann wird dieses Kleidungsstück einfach zum Traum für jeden Reisenden. Die Neuartigkeit des Konzepts wurde vom Time Magazine als beste Innovation des Jahres 2001 ausgezeichnet.

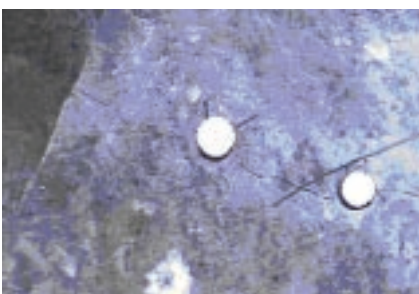
## Erinnerung sprengt Felsen

Vom alten Rom bis in die Gegenwart hat die Schönheit von poliertem Marmor bei Architekten und Bildhauern nichts an Beliebtheit eingebüßt. Heute werden zwei Drittel des Marmors auf der Welt in europäischen Steinbrüchen gewonnen, und zwei Drittel davon wiederum kommen allein aus Italien. Natursteingewinnung ist harte Arbeit. Riesige Blöcke von bis zu 40 Kubikmeter Größe werden zunächst aus dem Muttergestein abgetrennt und dann in leichter zu bearbeitende Blöcke von drei bis fünf Kubikmetern geteilt. In

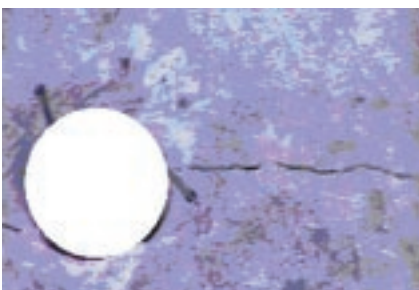
den meisten Steinbrüchen werden die Blöcke durch Stichbohrungen gewonnen und abgetrennt, wobei eine Reihe Löcher entlang der natürlichen Abbruchlinie des Steins gebohrt wird, entlang derer der Stein dann mittels „weicher“ Sprengstoffe oder durch Eintreiben von Keilen auseinandergetrieben wird. Arbeiten unter Einsatz von Sprengstoff sind immer mit Gefahren verbunden, außerdem entsteht dadurch ein staubiges Arbeitsumfeld, das wiederum gesundheitliche Risiken birgt. Es gibt alternative Verfahren, aber die meisten erfordern Spezialausrüstungen, und einige, wie zum Beispiel der Diamantseilschnitt, sind für KMU bei harten Materialien zu teuer.

### Eine fertige Idee

Als Stefano Carosio vom italienischen Technologietransferunternehmen D'Appolonia SpA in einer Zeitschrift einen Artikel über den möglichen Einsatz von Formgedächtnislegierungen (FGL) im Steinbruch las, kam ihm sofort die Idee, daß es sich hier um ein ideales Projekt für ein europäisches Konsortium handelte. Er sagt: „Die Japaner spielten mit der Idee, erforschten sie jedoch aus verschiede-



Marmorblock: Bruchlinie



Bruchlinie: Detailansicht

nen Gründen nicht bis zur Entwicklung eines vermarktungsfähigen Produkts. Angesichts der europäischen Dominanz auf dem Marmormarkt war ich zuversichtlich, dass die erforderlichen Fähigkeiten und der nötige Elan dazu hier vorhanden waren – man musste sie nur noch finden.“

Bei einer Konferenz lernte er Dr. Gianni Ripamonti kennen, der mit seinem Unternehmen seit 1970 Bergbauausrüstungen herstellt. Dr. Ripamonti war von der Idee begeistert und verfügte als Zulieferer auch über die nötigen Kontakte, um eine Gruppe klein- und mittelständischer Unternehmen für die Entwicklung des Konzepts zusammenzubringen. Carosio stellte den Kontakt zu den erforderlichen Partnern in der Forschung her, die zusätzlich Fachkompetenz beisteuerten, und so wurde das CRAFT-Projekt geboren.

Außer Ripamonti und D'Appolonia beteiligten sich acht KMU aus Italien, Spanien, Portugal und Großbritannien an dem Projekt.

### Nützliches Gedächtnis

Formgedächtnislegierungen sind seit mehr als dreißig Jahren bekannt, doch erst seit kurzem finden sie in einer Reihe von Branchen Verwendung. Die Hauptaufgabe des Projekts war die Entwicklung von großen FGL-„Aktuatoren“. Diese bestehen aus kleinen Zylindern aus FGL, die durch Wärme aktiviert werden, welche von leichten portablen Batterien erzeugt wird. Die großen Kräfte, die Formgedächtnislegierungen bei der Rückkehr zu ihrer ursprünglichen Form erzeugen, können viel stärker fokussiert werden als die Kraft weicher Sprengstoffe. Zwar sind immer noch Bohrarbeiten erforderlich, doch sind viel weniger Löcher nötig als beim herkömmlichen Stichbohren, was im Steinbruch Zeit und Geld spart. Außerdem können Formgedächtnislegierungen wiederverwendet werden, was sie extrem kostengünstig macht.

Das Verfahren bietet auch eine Reihe anderer Vorteile. Die bessere Steuerbarkeit gestattet die Extraktion eines Marmorblocks von exakt der benötigten Form und Größe, der garantiert keine inneren Beschädigungen

wie durch eine Sprengung aufweist. Bei diesem Abtrennverfahren entstehen außerdem glattere Außenflächen, wodurch sich die nötige Nachbearbeitung und die Abfallmengen verringern. Außerdem können andere Arbeiten während der Abtrennarbeiten weitergehen, während die Steinbrüche beim Einsatz von Sprengstoffen vollständig geräumt werden müssen.

### Parallele Entwicklungen

Ergebnisse des 18-monatigen Projekts wurden kürzlich auf einer Konferenz in Lissabon vorgestellt. Die Schlüsselideen der neuen Technologie wurden als Patent angemeldet. Mehrere Prototypen des Systems wurden hergestellt und an kleinen Blöcken im Labor sowie an großen Blöcken im Steinbruch getestet. Diese Tests waren erfolgreich und stimmten mit den zur Vorhersage des Verhaltens der FGL vorher durchgeführten analytischen und numerischen Simulationen überein.

Obwohl das CRAFT-Projekt offiziell beendet ist, setzen die Partner die Entwicklung mit zwei parallelen Zielrichtungen fort. Ein Ziel ist die gewerbliche Nutzung eines einfachen Systems, das nicht nur für Marmor, sondern auch für andere Ornamentsteinarten geeignet ist. Das zweite Ziel ist die Erforschung des Potentials dieser Technologie für ähnliche Zwecke wie Abrissarbeiten, Tunnelbau und Bergbau.

Für die am Projekt beteiligten KMU stellt der Zugang zu dieser neuen Technologie einen Wettbewerbsvorteil dar und bietet gleichzeitig sicherere Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter. Für Ripamonti stellt die Technologie eine äußerst wertvolle Ergänzung der bestehenden Ausrüstungspalette dar. Das System gilt als einzigartig und wird wohl auch international zum Einsatz kommen.

Ing. Stefano Carosio  
D'Appolonia Spa  
Via San Nazaro, 19

I-16145 Genova  
Web: <http://www.dappolonia.it>

# Formgedächtnislegierungen in der Biomedizin

Formgedächtnislegierungen (FGL), besonders Nitinol, eine Nickel-Titan-Legierung, sind Werkstoffe mit außergewöhnlichen mechanischen Eigenschaften, wie zum Beispiel:

- dem Formgedächtnis-Effekt, das heißt der Fähigkeit, bei Erwärmung zu einer definierten, eingprägten Form zurückzukehren und
- der Superelastizität, d.h. der Fähigkeit, starke Verformungen auszuhalten, z.B. Dehnungen von bis zu 10-15%, in mechanischen Belastungs- und Entlastungszyklen, ohne dass dauerhafte Verformungen auftreten, wobei über einen breiten Dehnungsbereich eine konstante Spannung aufrechterhalten wird.

Diese einzigartigen Eigenschaften, die bei den traditionellen metallischen Materialien allgemein nicht zu finden sind, machen demzufolge den Einsatz von FGL zu etwas Neuartigem, das für eine Vielzahl von Anwendungen und Einsatzbereichen geeignet ist. Darüber hinaus eignet sich Nickel-Titan dank der guten Biokompatibilität des Materials zum Einsatz in wichtigen biomedizinischen Bereichen wie zum Beispiel in der Herzgefäßmedizin, der Kieferorthopädie und der Orthopädie. Die Superelastizität kann in der Biomedizin genutzt werden: Z. B. wenn zur Erleichterung des Einsetzens eine Verkleinerung des Implantats notwendig ist, die Rückkehr zur ursprünglichen Größe jedoch für das korrekte Funktionieren des Implantats unabdingbar ist. Der Formgedächtnis-Effekt kommt zur Anwendung, wenn zur Erleichterung des Einsetzens wiederum die Verkleinerung des Implantats notwendig ist, die vorbestimmte Form jedoch durch eine entsprechende Temperaturveränderung herbeigeführt werden muss.

In der Literatur gibt es bisher noch keine systematische Untersuchung des mechanischen Verhaltens von Formgedächtnislegierungen beim Einsatz in der Biomedizin. Durch die Forschung soll diese Lücke teilweise geschlossen werden, indem das mechanische Verhalten des Materials unter dem besonderen Schwerpunkt möglicher Auswirkungen auf drei bestimmte Bereiche untersucht wird: vaskuläre Stents, kieferorthopädische Zahnsparangen und Bandscheibenprothesen:

## Vaskuläre Stents

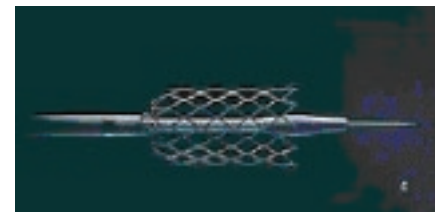
Gefäßerkrankungen sind die Hauptursache bei natürlichen Todesfällen in den entwickelten Ländern. Die klinischen, sozialen und ökonomischen Auswirkungen sind enorm. Anfang der 80er Jahre wurden zur Behandlung arteriosklerotischer Verletzungen, besonders im Bereich der Herz-



*Verschiedene Stufen der Implantation eines ballon-expandierbaren Stents aus herkömmlichem Material (Stahl).*

kranzgefäße, erstmals intravaskuläre Stents in der klinischen Praxis verwendet. Ein Stent ist ein Metallnetz, das in eine Arterie eingesetzt und später expandiert wird, um den ursprünglichen Durchmesser der Arterie aufrechtzuerhalten und den Blutdurchfluss wieder herzustellen. Ein wichtiges Forschungsgebiet sind

heutzutage Probleme wie Wanderung, Zusammenklappen oder Platzierungsschwierigkeiten aufgrund der Konstruktion des Stents. Das ist ein deutliches Zeichen dafür, dass trotz der guten Ergebnisse, die mit dieser Eingriffstechnik erreicht werden, mehr Forschung notwendig ist, um eine größere Zuverlässigkeit und Lebensqualität für die Patienten mit einem implantierten Stent zu erreichen. Seit kurzem zeichnet sich offenbar durch den Einsatz von Formgedächtnislegierungen bei der Entwicklung selbstexpandierender intravaskulärer Stents hier eine wesentliche Verbesserung ab. Die Stents scheinen eine Vereinfachung und größere Wirksamkeit der chirurgischen Eingriffe zu garantieren. Ihr mechanisches und strukturelles Verhalten wurde bisher kaum untersucht, obwohl die Zahl der wissenschaftlichen Studien die Not-



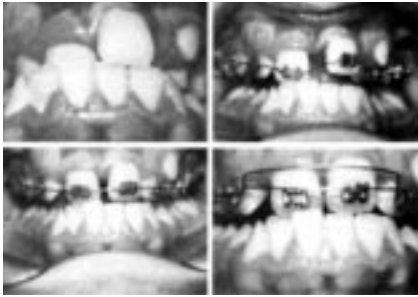
*Beispiel eines neuartigen selbstexpandierenden Stents (ohne Ballon)*

wendigkeit und Bedeutung dieser Informationen unterstreicht. Außerdem können gründlichere Kenntnisse sich positiv auf die Herstellung und den industriellen Aspekt sowie auf die klinische Forschung auswirken. Die Bedeutung für die Industrie wird schon daran deutlich, dass medizinische Stents im Jahr 2000 einen Weltmarkt von drei Milliarden US-Dollar repräsentierten:

Die Forschung konzentriert sich auf die Untersuchung des Strukturverhaltens von Stents, insbesondere von selbstexpandierenden Stents unter numerischen und experimentellen Gesichtspunkten. Parallel zur Durchführung der Experimente zur Ermittlung der mechanischen Parameter von Stents haben wir ein dreidimensionales konstitutives Modell für FGL in einem kommerziellen finiten Element implementiert, und arbeiten jetzt an einer Methode zur Bewertung und Beurteilung des Verhaltens der Stents sowie an der Verbesserung ihrer Konstruktion.

## Einsatz in der Kieferorthopädie

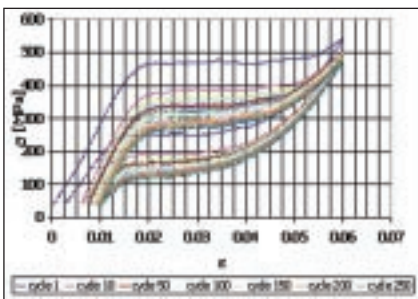
Bei einer kieferorthopädischen Behandlung kann ein Zahn durch rein mechanische Einwirkung von Kräften und Momenten auf das Gebiss bewegt werden. Diese Kräfte und Momente



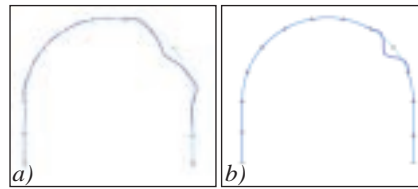
*Kieferorthopädische Spange: Beispiel für den Behandlungsfortschritt bei einer superelastischen Spange*

werden im allgemeinen durch eine Zahnklammer oder eine Retentionsspanne erzeugt, mit dem Ziel, im darunter liegenden Knochen und Gewebe eine Umformung zu erreichen, die zu der erwünschten Zahnverschiebung führt.

In-Vitro- und In-Vivo-Experimente belegen, dass die optimale Zahnbewegung durch konstante mechanische Einwirkung in der richtigen Stärke erreicht wird. Ist die Einwirkung zu schwach, erfolgt der gewünschte Umformprozess nur sehr langsam oder gar nicht. Bei zu starkem Druck können jedoch das Stützgewebe oder der Zahn selbst geschädigt werden. Demzufolge sollten kieferorthopädische Apparate relativ niedrige kontinuierliche Kräfte ausüben, um eine schnellstmögliche Zahnverschiebung und einen optimalen Behandlungser-



*Reaktion von kieferorthopädischem Zirkulardraht aus Nickel-Titan im zyklischen Test bei 6% Dehnung.*



*Kieferorthopädische Nickel-Titan-Spange: Darstellung nach Verformung durch thermomechanische Belastung (im Vergleich zum Zustand vor der Verformung) bei zwei verschiedenen Randbedingungen:*

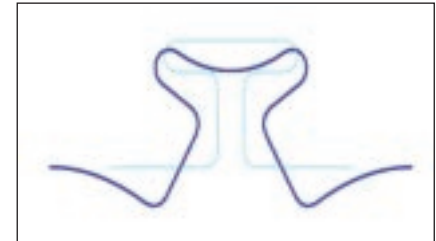
- a) Feste Verbindung an den Backenzähnen und rollende Lagerung bei den übrigen Zähnen.
- b) Feste Verbindung an den Backenzähnen und Scharnierverbindung bei den übrigen Zähnen.

folg zu erzielen. Daher gilt als allgemeine Richtlinie für die Konstruktion von kieferorthopädischen Apparaten, dass sie eine starke elastische Rückfederung und eine geringe Steifigkeit aufweisen sollten. Durch die starke elastische Rückfederung werden plastische Deformierungen des im Einsatz befindlichen Apparates verhindert, was wiederum die Zahl der erforderlichen Patientenbesuche während der Behandlung verringert. Darüber hinaus verhindert die geringe Steifigkeit übermäßige Kräfteinwirkung bei zu starker Aktivierung des Apparates.

Dementsprechend kann ein kieferorthopädischer Apparat mit starker elastischer Rückfederung und geringer Steifigkeit kontinuierlich eine Kraft mit begrenzten Schwankungen über einen großen Verformungsweg hinweg ausüben. Unseren Beobachtungen zufolge ist dies mit herkömmlichen elastischen Materialien nicht erreichbar. Vielversprechend ist in dieser Hinsicht hingegen der Einsatz innovativer Werkstoffe wie superelastischer Formgedächtnislegierungen. Diese wurden bereits erfolgreich bei kieferorthopädischen Zahnspangen eingesetzt.

In diesem Anwendungsbereich führen wir Experimente zur Beurteilung kieferorthopädischer Drähte aus FGL unter verschiedenen Belastungsbedingungen durch. So beschäftigen wir uns unter anderem mit der Konstruktion kieferorthopädischer Apparate unter Ausnutzung der superelastischen Eigenschaften von Formgedächtnislegierungen. Zu diesem Zweck haben wir ein temperaturgesteuertes Finite-Elemente-Balkenmodell sowie ein

thermomechanisches 3D-konstitutives Modell entwickelt, die in einem FE-Code mit Standardelementen übernommen werden kann. Folgende Abbildung zeigt die Reaktion einer Retentionsspanne in Form einer T-Schleife unter mechanischer Belastung:



*Nickel-Titan-Retentionsspanne in Form einer T-Schleife*

## Bandscheibenprothesen

Einer der häufigsten Gründe für Schmerzen im Bereich des unteren Rückens ist eine Bandscheibendegeneration aufgrund einer Formveränderung der Bandscheibe mit nachfolgendem Verlust der Funktionalität. Abhilfe schaffen verschiedene chirurgische Methoden: die vollständige oder teilweise Entfernung der Bandscheibe, die Entfernung der Bandscheibe bei gleichzeitiger Fixierung der beiden benachbarten Wirbelkörper durch Platten, Stäbe und Schrauben (Wirbelsäulenversteifung), die Entfernung des inneren Gallertkerns der Bandscheibe, die Entfernung der Bandscheibe bei gleichzeitiger Implantation einer Bandscheibenprothese. Gegenwärtig besteht eine Bandscheibenprothese aus zwei Endplatten, bestehend aus einer qualitativ hochwertigen Kobalt-Chrom-Legierung, die von außen zur Verbesserung der Knochenfixierung mit einer porösen Titan- und Hydroxyapatitbeschichtung versehen sind und zwischen denen sich ein Gleitkern aus Polyethylen mit extrem hohem Molekulargewicht befindet. Das chirurgische Einsetzen und die Fixierung der Prothese können mit einigen technischen Schwierigkeiten verbunden sein, die zu vermeiden wären, wenn das Volumen der künstlichen Bandscheibe kleiner wäre als

für den korrekten Abstand zwischen den beiden Wirbelkörpern erforderlich.

Momentan beschäftigen wir uns mit der Idee, die Eigenschaften von Formgedächtnislegierungen bei der Entwicklung einer Bandscheibenprothese zu nutzen, die zum Zeitpunkt der

Implantation kleiner ist als später. In Zusammenarbeit mit Chirurgen, die sich auf derartige Operationen spezialisiert haben, untersuchen wir mit Hilfe von Computeranalysen die Möglichkeiten, derartige Bandscheibenprothesen herzustellen und ihr mechanisches Verhalten zu bestimmen.

Prof. Ferdinando Auricchio  
Dip. Meccanica Strutturale  
Via Ferrata 1

I-27100 Pavia

Web: <http://unipv.it/dms/auricchio>

### **Bilaterales Forum: Technologietransfer im Bereich der Hochleistungsstrukturen**

Das Italienische Institut für Außenhandel plant in Zusammenarbeit mit ACIS (Verein für industrielle und wissenschaftliche Kooperation zwischen Italien und Deutschland) im Herbst

dieses Jahres ein bilaterales Forum im genannten Bereich. Im ersten Teil der Veranstaltung werden in Kurzvorträgen aus Forschung und Industrie der Stand der Technik, Trends und Potential verschiedener Aspekte der Hochleistungsstrukturen vorgestellt. Im zweiten Teil sollen in thematisch gegliederten Gruppen die Inhalte der Vorträge diskutiert werden. Insbesondere soll dabei im Vordergrund stehen, welche der vorgestellten Trends und

Forschungsergebnisse in den Markt übertragbar sind. Auch die Entwicklung möglicher bilateraler Kooperationen soll Thema der Expertengespräche sein. Folgende Fachgebiete werden voraussichtlich zur Diskussion stehen: Faserverbunde, Flugzeugbau, Strukturregelung, FGL, Adaptive Systeme, Mehrkörpersysteme. Bitte vermerken Sie auf beiliegender Faxantwort, wenn Sie zur Teilnahme am Forum eingeladen werden möchten.

### **„Science Generation“: Busquin präsentiert neues Projekt im Bereich der Biowissenschaften**

Am 4. Juli hat Philippe Busquin, der für Forschung zuständige europäische Kommissar, in Brüssel das Projekt „Science Generation“ vorgestellt. Das Projekt wurde bereits vor zwei Jahren in Frankreich ins Leben gerufen und ist sehr erfolgreich. Durch die Förderung der Europäischen Kommission im Wege des fünften Forschungsrahmenprogramms wird das Projekt in einer Partnerschaft mit dem Netz Euro-CASE (European Council of Applied Sciences and Engineering) nun auch auf andere Länder der Europäischen Union ausgedehnt. Mit Hilfe einer Gemeinschaftsfinanzierung in Höhe von 1,44 Mio. Euro soll die Bildung von Netzwerken zwischen Entscheidungsträgern in Wirtschaft und Politik, Wissen-

schaftlern, Studenten, Journalisten und regionalen Kontaktstellen gefördert werden. Ziel des Projekts ist es, die Bürger an der Entwicklung der Biowissenschaften zu beteiligen und diesen durch die neuen Plattformen die Möglichkeit zu geben, Ihre Erwartungen und Bedenken gegenüber den Entwicklungen in den Biowissenschaften zu äußern.

In Italien wird die Einführung von „Science Generation“ von dem Verband FAST (Italienischer Verband von Einrichtungen im Bereich der Wissenschaft und Technologie) koordiniert. Folgende Regionen wurden aufgrund spezifischer Besonderheiten für das Projekt ausgewählt: Sizilien als aufstrebende Region des italienischen Südens, Latium aufgrund seiner hohen Dichte an Pharmazieunternehmen und schließlich, wegen ihrer Spitzenstellung in Wirtschaft und Industrie, die Lombardei.

Für weitere Informationen:  
<http://www.eukommission.de/html/presse/pressemeldung.asp?meldung=3275>

#### **Ihre Ansprechpartner:**

##### **Italienisches Institut für Außenhandel**

Schlüterstraße 39  
10629 Berlin

##### **DITT – Zentrum für Technologietransfer**

Herr Michael Berz  
Telefon: 030 / 88 44 03 23  
[michael.berz@berlino.ice.it](mailto:michael.berz@berlino.ice.it)  
Internet: [www.ditt.de](http://www.ditt.de)

##### **Investorenberatungsstelle**

Herr Jens Bruch  
Telefon: 030 / 88 44 03 26  
[jens.bruch@berlino.ice.it](mailto:jens.bruch@berlino.ice.it)  
Internet: [www.investinitaly.de](http://www.investinitaly.de)

##### **Kommunikation/ Internetportale**

Frau Steffi Strack  
Telefon: 030 / 88 44 03 31  
[steffi.strack@berlino.ice.it](mailto:steffi.strack@berlino.ice.it)