
Serientaugliche Aktorlösungen und Produktionsprozesse für Formgedächtnissysteme, eine Leittechnologieentwicklung für KMU - SerAPro

K. Pagel, M. Werner, A. Bucht, C. Rotsch

F.O.M. Konferenz 2013



Berlin, den 9. November 2013

© Fraunhofer IWU

AGENDA

1. Formgedächtnislegierungen Grundlagen
2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen
 - Allgemeine Märkte
 - Medizintechnik
 - Automobil
3. Forschungs- und Entwicklungsbedarf
4. Vorhaben SerAPro

© Fraunhofer IWU
2

The Fraunhofer IWU logo, consisting of a green square with white diagonal lines and the text "Fraunhofer" above "IWU".

1. Formgedächtnislegierungen Grundlagen

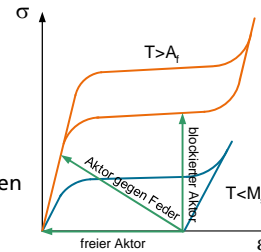
Effekte

Mechanismus:

- Thermisch induzierte Phasenumwandlung ändert die Gefügestruktur → Spannungs-Dehnungs-Verhalten

Effekte:

- Pseudoelastizität:** reversible 8% Dehnung
- Ein-Weg-Effekt:** mechanisches Rückstellen beim Erhitzen
- Zwei-Weg-Effekt:** Formänderung bei Erhitzen und Abkühlen



- max. Dehnung: 5 %
- Spannung: 350 N/mm²
- Frequenzen: <1Hz



Verschiedene FGL-Aktorgeometrien

© Fraunhofer IWU
3



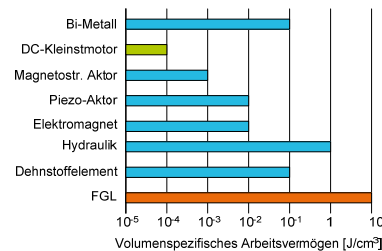
1. Formgedächtnislegierungen Grundlagen

Eigenschaften

- meist Einsatz von binären **Nickel-Titan-Legierungen**
- kommerziell verfügbar als Draht, Stab, Rohr oder Blech
- Umwandlungstemperaturen** zwischen **-200°C und +100°C** abhängig von Legierungszusammensetzung
- Dehnung** bis **maximal 5%** abhängig von der zu erreichenden Zyklenzahl
- Blockierkräfte bis 350 N/mm²** abhängig von Zyklenzahl
- bei entsprechender Auslegung **Zyklenzahlen >1.000.000 möglich**
- sehr **große** spezifische **Energiedichte**
→ sehr großes Miniaturisierungspotential



Verschiedene FGL-Aktorgeometrien



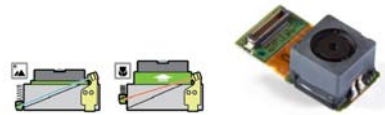
© Fraunhofer IWU
4



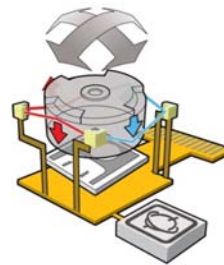
2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Allgemeine Märkte

Smartphone Kamerasysteme

- Autofokus
 - Bisher Autofokus durch miniatur- Elektroantriebe
 - Substitution durch FGL Drahtaktor
 - Prototypen bisher lediglich in 1000er Serie
- Optical Image Stabilisation OIS
 - Völlig neuartiges Konzept zur Kompensation niederfrequenter Schwingungen
 - Linse schwingt gegen Handbewegung
 - 2 FGL Drahtaktoren realisieren Verkippung in zwei Freiheitsgraden
 - Serienfertigung läuft gerade an
 - Markteinführung Anfang 2014



Autofokus mit FGL, Quelle: Actuator Solutions GmbH



OIS mit FGL, Quelle: Cambridge Mechatronics Ltd.

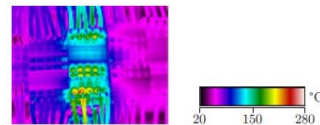
© Fraunhofer IWU
5



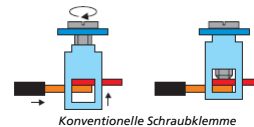
2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Allgemeine Märkte

Elektrische Verbindungsklemme

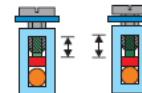
- Lockerung von Verbindungsstellen infolge von Vibrationen oder Fließen des Materials führt zu höheren Übergangswiderständen
- in Folge kommt es zu einer Erwärmung der Klemme und im schlimmsten Fall zum Ausfall bzw. Zerstörung der Anlage
- Lösungsansatz: Integration eines FGL-Elements in die Klemme
- die entstehende Wärme führt zur Geometrieänderung des FGL-Elements
- die dabei entstehende Kraftwirkung klemmt die Ader wieder fest → elektrischer Widerstand sinkt



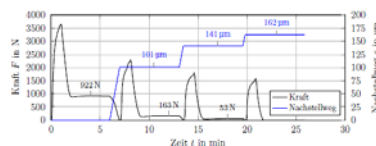
Wärmebildaufnahme einer fehlerhaften Klemmverbindung



Konventionelle Schraubklemme



FGL Schraubklemme



© Fraunhofer IWU
6

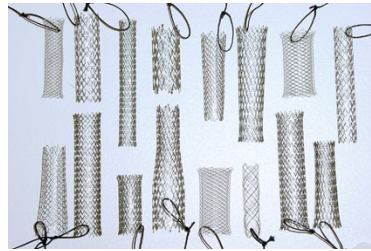


2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

Superelastische Implantate:



Stentgraft (links, Quelle: Vascutek Ltd.)



Verschiedenartige Stents
(Quelle: <http://www.christian-doppler-klinik.at/radiologie/rad-leitstelle.html>)

2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

Adaptive Implantate:



FGL-Klammer zur Fixierung von Knochenmaterialien „Barbed OSStaple™ (BOSS)“ [1]



Zementfreies Hüftprothesensystem mit Formgedächtniselementen zur Verbesserung der Primärstabilität der Firma K-Implant



NiTi Knochenfixierung (Quelle: IAWA medical)

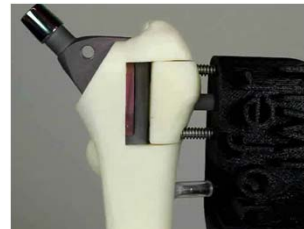
2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

Adaptives Hüftimplantat:

- Integration von FG-Aktorblechen

Ziele:

- Optimale Kraftverteilung im Knochen
- Vermeidung von „Stress-shielding“
- Implantatlockerung verhindern
- Standzeit erhöhen



© Fraunhofer IWU
9

Fraunhofer
IWU

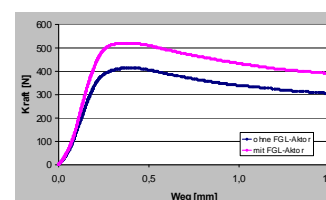
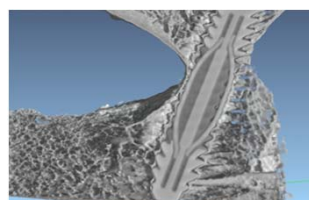
2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

Adaptive Pedikelschraube:

- Integration von FG-Aktorblechen

Ziele:

- Einsatz im osteoporotischen Knochen
- Alternative zu Knochenzement
- Widerstand gegen translatorische und rotatorische Bewegung



© Fraunhofer IWU
10

Fraunhofer
IWU

2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

FG-Aktoren in der Orthetik:



Orthese mit Nitinol-Aktor zur Unterstützung der Bewegung bei Fußhebeschwäche [2]

© Fraunhofer IWU
11

 **Fraunhofer**
IWU

2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

Adaptive Textilstrukturen:

- Integration von FG-Aktordrähten

Ziele:

- Veränderung der Textileigenschaften nach Aktivierung
- Anpassung der Steifigkeit bzw. der Spannungs-Dehnungs-Eigenschaften
- Einsatz in Bandagen und Orthesen



PES-Multifilament-Gewebe mit 3 eingearbeiteten FGL-Drähten



μCT-Aufnahme eines textilen Gewebes mit eingearbeitetem FGL-Draht



Flächengewirke mit 3 aufgestickten FGL-Drähten in Mäanderform

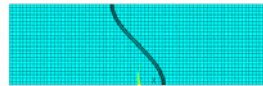
© Fraunhofer IWU
12

 **Fraunhofer**
IWU

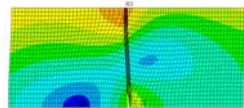
2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

Adaptive Textilstrukturen:

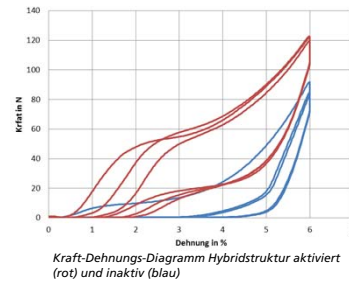
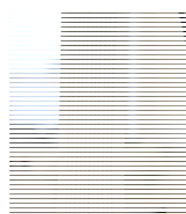
- Numerische Simulation
- Experimenteller Nachweis



Ausgangssituation im FE-Modell



Verformungsbild des FE-Modells



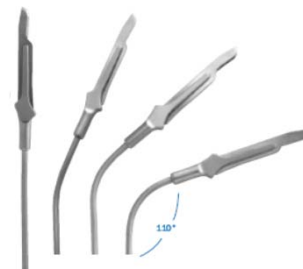
Kraft-Dehnungs-Diagramm Hybridstruktur aktiviert (rot) und inaktiv (blau)

2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

Adaptive Instrumente:



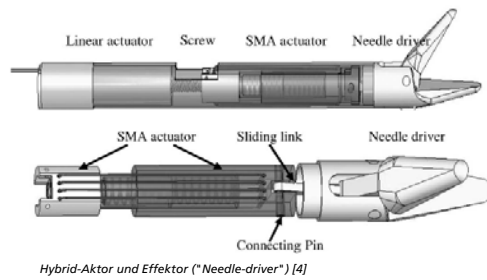
NiTi-Bohrer für die Wurzelkanalchirurgie [3]



MEMORY Knife Handle der Firma Scanlan

2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

Adaptive Greifsysteme:



© Fraunhofer IWU
15

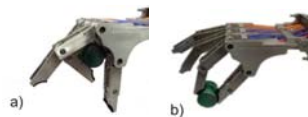
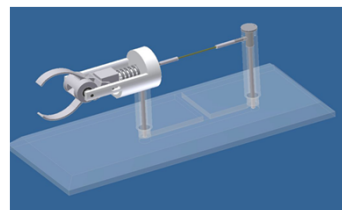
2. Formgedächtnislegierungen Grundlagen Medizintechnik

Adaptive Greifsysteme:

- Funktionales Operationswerkzeug, Endoskop

Vorteile:

- FGL-Aktoren = Einfache und leichte Aktoren
- Sensorlose Steuerungs- und Regelungskonzepte möglich → "Self-Sensing-Aktoren"



© Fraunhofer IWU
16

2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Medizintechnik

Quellen:

- [1] **Russell, S.:** Design Considerations for Nitinol Bone Staples. in in Journal of Materials and Engineering and Performance, Volume 18 (5-6) August 2009, S. 831 – 835
- [2] **Pittaccio, S. et. al.:** SHADE: A Shape-Memory-Activated Device Promoting Ankle Dorsiflexion. in Journal of Materials and Engineering and performance, Volume 18 (5-6) August 2009, S. 824 – 829
- [3] **Lagoudas, D. C.:** Shape Memory Alloys, Springer Science+Business Media, LLC 2008
- [4] **Kode, V.R.C. / Cavusoglu, M.C.** Design and Characterization of a Novel Hybrid Actuator Using Shape Memory Alloy and DC Micromotor for Minimally Invasive Surgery Applications . *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on* 12(4):455-464, doi: 10.1109/ITMECH.2007.901940. 2007, S. 455-464.

© Fraunhofer IWU
17

Fraunhofer
IWU

2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Automobil

Entriegelung einer Tankklappe

- Entriegelung des Tankklappenverschlusses
- Ersatz des Getriebemotors durch FGL-Drahtaktor
- kurzzeitig schaltender Betrieb
- notwendige Antriebsparameter:
Kraft: 10 N
Weg: 5 mm
- Aktorlänge: 120mm
- Aktordurchmesser: 0,38mm
Aktorquerschnitt: 0,1 mm²
- Erzeugen des Ansteuersignals über PWM aus 12V-Bordnetz

Eigenschaft	E-Motor	FG-Aktor
Gewicht	104 g	10 g
Teilezahl	10	3



Entriegelung Tankklappe

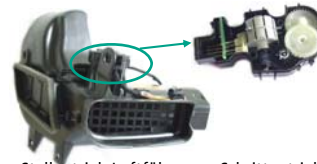
© Fraunhofer IWU
18

Fraunhofer
IWU

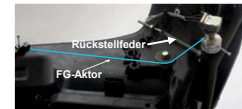
2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Automobil

Regelung einer Lüftungsklappe

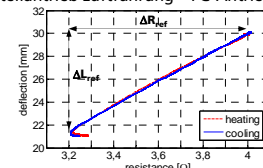
- **Zielpotenziale:** Preis, Komfort (Akustik)
- **Charakteristik:** stufenlos geregelt
- **Antriebsparameter:**
 - Draht gegen Feder
 - Sensorlose Regelung durch Widerstandsmessung
 - Kraft: 5 N → Aktordurchmesser: 0,152 mm
 - Weg: 9 mm → Aktorlänge: 230 mm



Stellantrieb Luftführung – Schrittantrieb



Stellantrieb Luftführung – FG-Antrieb



Widerstands-Dehnungs-Kennlinie

Eigenschaft	Schrittmotor	FG-Aktor
Zyklendauer	3 s	2-3 s
Preis	ca. 5,00 €*	ca. 2,50 €**
Gewicht	ca. 65 g	ca. 20 g
Anzahl Bauteile	ca. 20	ca. 10

→ **Komplett geräuschlos**

→ **Potenzial zur Integration des Aktors in Luftführung**

* Preis Elektromotor: Angabe Zulieferer

** Preis Formgedächtnisaktor: FHG-IWU Einkaufspreis der Einzelkomponenten, enthält keine Entwicklungskosten

© Fraunhofer IWU

19



2. Formgedächtnislegierungen Anwendungen Automobil

Verschluss einer Kühlluftklappe

- Ersatz des Motors mit Drahtaktor
- schaltender Betrieb
- Bei geeigneter Platzierung kann die Wärme des Motors zur Aktivierung genutzt werden
- Antriebsparameter
 - Kraft: 24 N
 - Weg: 10 mm
- Aktorlänge: 275 mm
- Aktordurchmesser 3 x 0,5 mm
- Aktorquerschnitt: 0,6 mm²



Stellantrieb Kühlluftklappe – Elektroantrieb



Stellantrieb Kühlluftklappe – FG-Antrieb

Eigenschaft	E-Motor	FG-Aktor
Gewicht	190	76g
Teilezahl	7	3

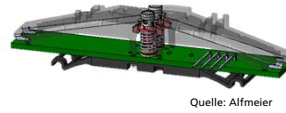
© Fraunhofer IWU

20

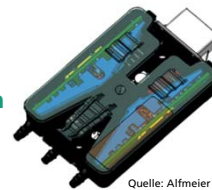


3. Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Materialentwicklung hat in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht
- Auslegungsgrundlagen vollständig erforscht
- Befähigung von FGL in verschiedensten Anwendungen nachgewiesen
- Erster **Serieneinsatz** im Automobil durch **Alfmeier Präzision AG**: FG-Antrieb für 3/3-Wegeventil zum Einsatz in pneumatischen Sitzanwendungen (Stückzahl: 1,5 Mio/Jahr)



Quelle: Alfmeier



Quelle: Alfmeier

Aber: Kommerzielle Verwertung nur in Einzelfällen

- Bisher **keinen Normen oder Richtlinien** vorhanden
 - **Keine Methoden** zur **Produktentwicklung**
 - **Automatisierte Prozesse** weitestgehend **unerforscht**
- Entwicklung von FGL Systemen ist **kostspielig** und **Risikant**
- Technologie findet derzeit **kaum Akzeptanz bei KMU**

4. Vorhaben SerAPro



Serientaugliche Aktorlösungen und Produktionsprozesse für Formgedächtnissysteme

Problemstellung

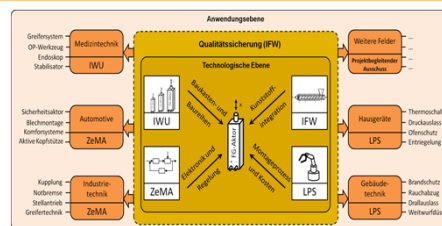
Das Fehlen praxisorientierten Wissens zu FG-Aktorik und geeigneter Methoden, um FG-Legierungen in die Produktentwicklung zu integrieren, verhindern die Nutzung des hohen technologischen Potentials der Formgedächtnistechnik

Zielstellung

Formgedächtnistechnik als günstige, intelligente und alternative Antriebstechnik in Deutschland zu etablieren und für KMU nutzbar zu machen

Lösungsweg

Erarbeitung der kompletten Wertschöpfungskette in acht Teilprojekten



4. Vorhaben SerAPro



Serientaugliche Aktorlösungen und Produktionsprozesse für Formgedächtnissysteme

Leittechnologie für KMU

Beteiligte Forschungsstellen:

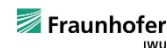


Forschungsvereinigungen:



Projektdaten: beantragte Fördersumme 1,9 Mio €
Projektlaufzeit 30 Monate

© Fraunhofer IWU
23



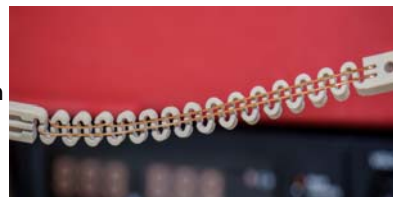
4. Vorhaben SerAPro



Automatisierte Systemintegration von Formgedächtnisaktoren im Spritzgussprozess

Problemstellung

Für eine Etablierung der Formgedächtnistechnik im LowCost-Massensegment ist deren Integration in Kunststoffbauteile unumgänglich. Bisher liegen jedoch keine industriellen Lösungsansätze zur Kunststoffintegration von FG-Aktoren vor.



Zielstellung

Erarbeitung der Auslegung, Herstellung und Validierung solcher Integrationsverfahren in einem Musterprozess.



Lösungsweg

Konsequente Betrachtung der Wechselwirkungen des Spritzgussprozesses und Nachweis mit konkreten Werkzeugen und gefertigten Bauteilen.

© Fraunhofer IWU
24



4. Vorhaben SerAPro



Automatisierter und wandlungsfähiger Produktionsprozess für Formgedächtnisaktoren

Problemstellung

Unzureichende Automatisierung und geringe Flexibilität der Produktionsprozesse von FG-Aktoren in Kombination mit ihren besonderen Materialeigenschaften verursachen hohe Durchlaufzeiten und Ausschussraten.



Zielstellung

Entwicklung von Verfahren zur serientauglichen und wandlungsfähigen Produktion von FGL-Aktoren.

Lösungsweg

Entwurf, Aufbau und Validierung einer automatisierten und wandlungsfähigen Produktionsstrecke.

© Fraunhofer IWU
25

Fraunhofer
IWU

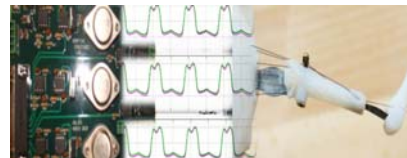
4. Vorhaben SerAPro



Simulation, Elektronik und Ansteuerung von Formgedächtnisaktoren

Problemstellung

Der widerstandsbasierte, intrinsische Sensoreffekt von FGL kann zur Detektion von Stellcharakteristiken, Betriebszuständen und Aktor-Ermüdung eingesetzt werden, allerdings existieren hierfür noch keine modularen skalierbaren Lösungen.



Zielstellung

Entwicklung einer modularen und skalierbaren Ansteuer- elektronik, deren Komponenten sich je nach Anforderungen kombinieren lassen.

Lösungsweg

Kombination elektronischer Komponenten und Regler- optimierung mittels Anwender Entwicklungsumgebung.

© Fraunhofer IWU
26

Fraunhofer
IWU

4. Vorhaben SerAPro



Baukastensystematik für standardisierte Formgedächtnisaktormodule

Problemstellung

Die Entwicklung von Aktoren auf Basis Formgedächtnislegierungen erfordert in der Regel hochgradig interdisziplinäres Fachwissen auf den Gebieten Werkstoff-technik, Maschinenbau und Elektrotechnik. Aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren erfolgt die Auslegung derartiger Systeme immer für den Einzelfall und ist weder übertragbar noch skalierbar.



Zielstellung

Entwicklung von Auslegungsrichtlinien in Form eines Baukastensystems, welches es Unternehmen ermöglicht, FG-Aktoren zu entwickeln, ohne Kompetenzen in allen Detailfragen aufbauen zu müssen.

© Fraunhofer IWU
27

Fraunhofer
IWU

4. Vorhaben SerAPro



Einsatzszenarien von Formgedächtnis-aktoren in der Gebäude-, Energie- und Haustechnik

Problemstellung

In den Bereichen Gebäude-, Energie- und Haustechnik werden für einfache temperaturgesteuerte Stellaufgaben teure und aufwendige Lösungen auf Basis von E-Motoren mit entsprechenden Peripheriesystemen eingesetzt.



Zielstellung

Aufzeigen von Einsatzpotentialen für standardisierte thermische FG-Aktoren anhand von Leitanswendungen.

Lösungsweg

Konzeption und Entwurf von thermischen FG-Standardaktoren, die branchenübergreifend eingesetzt werden können.

© Fraunhofer IWU
28

Fraunhofer
IWU

4. Vorhaben SerAPro



Einsatzszenarien von Formgedächtnisaktoren in der Automotive- und Industrietechnik

Problemstellung

Im Bereich Automotive- und Industrietechnik existieren bisher nur Einzellösungen welche die Vorteile von FGL nutzen, obwohl sie in einer Vielzahl von Anwendungen genutzt werden könnten.

Zielstellung

Evaluierung von Einsatzfeldern für FG-Aktoren in den Bereichen Automotive und Industrietechnik.

Lösungsweg

Systematische Analyse verschiedener elektromechanischer Systeme und deren Bewertung hinsichtlich FGL Einsatzmöglichkeiten, Ableitung von Kerneinsatzgebieten, Aufbau von Demonstratoren und Funktionsnachweis



© Fraunhofer IWU
29

Fraunhofer
IWU

4. Vorhaben SerAPro



Einsatzszenarien von Formgedächtnismaterialien in der Medizintechnik

Problemstellung

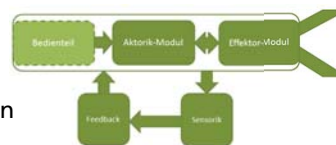
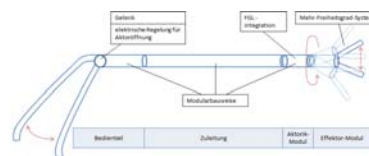
Chirurgische Instrumente sind multifunktional ausgelegt und nicht für den jeweiligen Anwendungsfall optimiert. Die Bewegungsübertragung erfolgt durch Bowdenzüge / Stangen. Der Bewegungsumfang ist somit eingeschränkt und erlaubt kein Feedback bei der Bedienung.

Zielstellung

Modularisierung der Funktionskomponenten und deren Optimierung

Lösungsweg

Aktorik aus Formgedächtnislegierungen



© Fraunhofer IWU
30

Fraunhofer
IWU

4. Vorhaben SerAPro



Prüf-, Messtechnik und Qualitätssicherung für
Formgedächtnisaktoren

Problemstellung

Trotz zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Formgedächtnistechnik werden keine standardisierten Methoden zur Untersuchung von FG-Aktoren genutzt. Dies resultiert in unterschiedlichen Prüfbedingungen und damit nicht vergleichbaren Analyseresultaten.



Zielstellung

Das Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung methodisch normierter Versuchsstände unter klassifizierten Prüfbedingungen. Darauf aufbauend kann eine Zertifizierung der Komponenten und einer Richtlinie zur genormten Prüfung von FG-Aktoren entstehen.

© Fraunhofer IWU
31

 **Fraunhofer**
IWU

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kenny Pagel

Fraunhofer Institut Werkzeugmaschinen
und Umformtechnik

Tel: 0351 – 4772 2343

E-Mail: kenny.pagel@iwu.fraunhofer.de

© Fraunhofer IWU
32

 **Fraunhofer**
IWU