

A. Czechowicz, F. Zobel, P. Dültgen, Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V.,
Zentrum für angewandte Formgedächtnistechnik,

L. Bucher, M. Hofmann, Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Allgemeine und Biologische
Psychologie

Entwicklung von haptischen Informationselementen auf Basis von Formgedächtnislegierungen zur Unterstützung älterer Menschen

Zusammenfassung: Im Vergleich zu Sehen und Hören lässt sich die Integration sensorischer Signale in eine haptische Wahrnehmung durch Training selbst im hohen Alter noch deutlich verbessern. Damit Hände wichtige Informationen “erfühlen” können, entwickeln Ingenieure und Psychologen im Projekt AHA-Feel haptische Antriebe auf Basis von Formgedächtnislegierungen (FGL). Beschrieben wird in der Publikation die wissenschaftliche Grundlage für die Funktion der Antriebe, die psychologische Herangehensweise so wie die entwickelte Versuchsausrüstung, um die Entwicklung von Hilfsgeräten, die älteren Menschen alltägliche Aufgaben erleichtern oder gar erst ermöglichen, vorantreiben werden.

Schlüsselwörter: Haptik, altersgerechte Technik, Formgedächtnisaktoren, Shape Memory Alloys

1 Motivation

1.1 Einleitung

Alt werden ist oft verbunden mit der Einbuße motorischer, kognitiver und sensorischer Funktionen. Im Vergleich zum Sehen und Hören lässt sich die Integration sensorischer Signale in eine haptische Wahrnehmung durch Training selbst im hohen Alter noch deutlich verbessern. Im Vordergrund des Projekts AHA-Feel, gefördert im wissenschaftlichen Vorprogramm „Mensch-Technik-Interaktion“, steht die Wahrnehmung der Umgebung, die Orientierungsunterstützung und die Aufmerksamkeitslenkung auf Gefahrensituationen durch haptische Feedbackelemente, welche konstruktiv als kleine und kraftvolle Antriebe auf Basis von Formgedächtnislegierungen (FGL) entwickelt werden. Ausgehend von den in [1] durchgeführten Arbeiten wird in diesem Projekt eine Kraft generiert, welche in Handinnenflächen, Handaußenflächen, Fußinnenflächen und im Beinbereich erkannt werden kann. Im Gegenzug zu Braille Lesegeräten auf Basis von FGL [2] werden hier langsam schaltende Antriebe bevorzugt, damit ein Warnsignal auch nach Deaktivierung des elektrischen Signals erhalten bleibt.

1.2 Formgedächtnislegierungen als kleine und kompakte Stellantriebe

Die im Projekt entwickelten Antriebe zur Erzeugung von haptischen Reizen basieren auf Formgedächtnislegierungen. Diese smarten Materialien können als geräuschlose und leichte Kleinantriebe in minimalisierten Bauräumen eingebracht und betrieben werden. Wird ein Formgedächtniselement mechanisch verformt, so tritt beim Überschreiten einer kritischen mechanischen Spannung ein Dehnungsplateau auf und es kommt hierdurch zu einer hohen Materialdehnung. Das Aufbringen der hierzu benötigten Spannung erfolgt im einfachsten Fall durch eine mechanisch konstante Last. Erhöht sich hiernach die Temperatur, wandelt sie die Phasenstruktur des Materials vom leicht verformbaren Martensitgitter in ein austenitisches Gitter um. Dieser Vorgang ist hysteresebehaftet und reversibel [3]. So kann man den in Abbildung 2 (links) dargestellten Formgedächtnisdraht bei konstanter Last zwischen dem Zustand 1 und 2 hin- und herschalten. Die Art der Rückstellung kann durch verschiedene mechanische Elemente (z.B. Rückstellfedern) erfolgen. Während der Materialumwandlung ist eine signifikante Änderung des elektrischen Widerstandes feststellbar. Abbildung 2 (rechts) zeigt eine Beispielmessung eines Formgedächtnisdrahtes unter Last mit einer maximalen Kontraktion von 4,5%. Das Absinken des elektrischen Widerstandes um bis zu 30% kann als Widerstands-Kontraktionskennlinie in Regelsystemen für mechatronische FGLAntriebe hinterlegt werden. Mit dem Vergleich einer Messkurve zur hinterlegten optimalen

Kurve ist es möglich, Rückschlüsse auf die Umgebungstemperatur und den mechanischen Spannungszustand zu ziehen [4]. Ein FGL-Drahtaktor besteht meist aus einer NiTi-Legierung und kann maximale Zugspannungen von 400 MPa im Dauerbetrieb, 800 MPa für einmalige Vorgänge erzeugen [5]. Ein FGL-Draht von 1g Eigengewicht kann beispielsweise Lasten von 5000g verstellen. Ein Elektromagnet gleicher Leistungsklasse würde mehr als 200g wiegen. Wegen der genannten Eigenschaften ist beispielsweise die Realisierung von sehr leichten aktiven haptischen Elementen möglich.

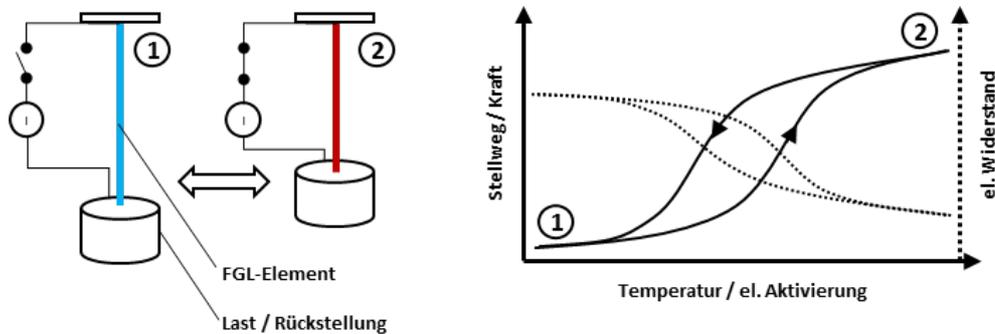


Abb. 1: Grundlegendes Wirkprinzip eines Formgedächtnisaktors, (links) Formgedächtnisdraht als Lastversteller, (rechts) zugehöriges Diagramm für Stellwege und elektrischen Widerstand aufgetragen über die Schalttemperatur

1.3 Einsatzszenarien für haptische Informationssysteme

Die von den haptischen Informationssystemen übertragenen Informationen können unterschiedlichen Funktionen im Alltag von älteren Menschen dienen. Allgemein sinnvoll werden die Informationsübertragungspunkte der Hände, Beine und Füße betrachtet. Eine genauere Information hierzu folgt in Kapitel 3. Die zu übertragenen Informationen lassen sich in Warn- und Hilfsinformationen unterteilen. Warninformationen dienen der schnellen und zuverlässigen Informationsübertragung zwecks Vermeidung von Unfällen, während Hilfsinformationen das alltägliche Leben erleichtern sollen. Folgende Einsatzmöglichkeiten, für ältere Personen mit sensomotorischen Einschränkungen als auch an Patienten mit Defiziten im Übergangsfeld zu Demenzerkrankungen, werden im Verlauf des Projektes berücksichtigt:

Haptische Informationssysteme		
	Handbereich	Bein- und Fußbereich
Warninformationen	Unfallvorwarnsysteme Warnsysteme für Mobilität im Alter	Unfallvorwarnsysteme Thermische Warnsysteme
Hilfsinformationen	Navigation im Alltag Versenkbare Bedienelemente	Umgebungsinformationssystem

Abb. 2: Einsatzbereiche für altersgerechte haptische Informationssysteme

- Sicherheitsbremsen in einem Trolley, die selektiv die Räder sperren, um die Lenkung des Nutzers aktiv zu beeinflussen.
- Ebenso kann die Ausgabe einer Navigationsanzeige über die Ansteuerung einzelner kleinster Elemente im Handgriff erfolgen. Hier befindet sich ein ergonomischer Griff in Entwicklung, der Informationen wie „links abbiegen“, „rechts abbiegen“, „Stopp“ und eine analoge Entfernungsanzeige zum nächsten Koordinatenpunkt (z.B. nach Hause) durch den haptischen Widerstand ausgeben kann.
- Versenkbare Bedienelemente vereinfachen die Steuerung von Geräten, da unnötige Bedienfunktionen durch die Versenkung von einzelnen Knöpfen quasi „ausgeblendet“ werden können.
- Unfallvorwarnsysteme könnten Signale an Beinbereiche und Hände weitergeben, wenn z.B. sich Fahrzeuge auf Parkplätzen nähern. Zur Realisierung würde eine Sensorunterstützung in Oberbekleidung eingesetzt werden.
- Ein besonders flexibles System kann durch Handschuhe konzipiert werden, in denen Warn Elemente eingebracht sind. Wird eine Handlung ausgeführt, die zu einem Unfall führen würde (z.B. Eintauchversuch der Hand in zu

warmes Wasser) so versteift sich der Handschuh und zeigt dem Benutzer damit eine Änderung der Umgebungseinflüsse auf. Andere rein thermische Warnsysteme könnten als in Krücken eingelassene Formgedächtnisantriebe ausgestaltet werden, welche bei niedriger Bodentemperatur ein Warnsignal (Eiswarnung) an den Benutzer in die Handfläche weiterleiten.

2 Psychologische Validierung

2.1 Haptische Wahrnehmung über die Lebensspanne

Zur Wahrnehmung von Gefahren und zur Orientierung in unserer Umgebung setzt der Mensch Augen, Ohren und Tastsinn ein. Hierbei übernimmt das Sehen in vielen Situationen eine dominante Rolle. Ist die visuelle Wahrnehmung jedoch beeinträchtigt, kann ein geschärfter Hör- oder Tastsinn den Ausfall des Sehens zumindest zum Teil kompensieren [6, 7]. Mit zunehmendem Alter lassen sich beim gesunden Menschen Seh-, Hör- und Tastfähigkeit natürlicherweise immer mehr nach. Darüber hinaus lassen sich Sehen und Hören im Alter auch nur schwer trainieren. Anders die Fähigkeit, Informationen durch Ertasten und Erfühlen zu "Begreifen". Diese haptischen Fähigkeiten lassen sich häufig noch bis ins hohe Alter hinein gut trainieren [8]. Des Weiteren gibt es Hinweise, dass haptisches Training dazu beitragen kann, die geistige Leistungsfähigkeit im Sinne von Aufmerksamkeits- und Intelligenzleistungen zu erhalten [9]. Haptische Feedbackelemente erscheinen demnach für einen Einsatz an einer älteren Zielgruppe prädestiniert. Zum einen können haptische Sinnesempfindungen optimal zur Anzeige von Informationen für ältere Menschen genutzt werden. Zum anderen können der Umgang mit haptischen Reizen und der hier entstehende Trainingseffekt auch dazu beitragen, die ‚geistige Fitness‘ und damit die Lebensqualität älterer Menschen insgesamt zu erhalten.

2.2 Haptik in Interaktion mit anderen Modalitäten

Aus wahrnehmungspsychologischer Sicht ist an der Haptik einzigartig, dass sie wie keine zweite Sinnesmodalität viele mannigfaltige Informationen sowohl aus kutanen Thermorezeptoren, als auch Mechanorezeptoren in Haut, Sehnen und Muskeln im somatosensorischen Cortex in ein kohärentes Perzept integriert [10]. So trägt auch die aufzuwendende Kraft der Muskeln, die im Kortex entlang der Zentralfurche somatotop an räumlich nahen neuronalen Orten innerhalb des Körperschemas repräsentiert wird, dazu bei, kinästhetische Informationen zu einem umfassenden Perzept beizutragen [11]. Doch die Integration der verschiedenen Sinneswahrnehmungen zu einem haptischen Gesamteindruck betrifft nicht nur die Signale aus den genuin sensomotorischen Rezeptororganen.

In den letzten Jahrzehnten hat sich in den kognitiven Neurowissenschaften ein Forschungstrend entwickelt, der die Verschränkung von haptischen mit anderen sensorischen Informationen in den Mittelpunkt rückt. Wenn beispielsweise die eigene nicht-sichtbare Hand bewegt wird, und die synchrone Bewegung einer Gummihand für zehn Minuten sichtbar ist, führt die Berührung der Gummihand zur sensomotorischen Illusion einer "gefühlten" Berührung [12]. Phänomene wie diese zeigen, dass unsere Sinne nicht streng isoliert voneinander arbeiten, sondern dass sensorische Signale durchaus miteinander interagieren und auch Aufmerksamkeit supramodal, d.h. nicht innerhalb einer einzigen Sinnesmodalität, sondern vielmehr modalitätsübergreifend, operiert. Dieser Umstand ermöglicht den Einsatz sog. "cross-modaler" Hinweisreize, um Aufmerksamkeit zu steuern. So kann das haptische Feedback eines Rollatorgriffes die Aufmerksamkeit auch auf andere Reize – wie z.B. auf das Brummen einer roten Fußgängerampel – lenken, wobei sich aus der kognitiven Verschränkung der sensorischen Reize hier starke Synergieeffekte ergeben.

2.3 Punktgenaue Stimulation durch FGL-Aktoren

Als haptische Stimulatoren weitverbreitet finden sich Vibrationsaktoren. Diese lenken die Aufmerksamkeit ihres Nutzers auf eine bestimmte Gegebenheit, indem sie in einer bestimmten Frequenz über einen bestimmten Zeitraum oszillieren. Auch mit mehreren parallelgeschalteten FGL-Drähten von geringen Durchmessern ließen sich Vibrationsmuster erzeugen. Dies zeigen bereits im Markt etablierte, mit 10 Hz arbeitende Serienanwendungen in der Elektronik (X AS Autofocus). Jedoch erscheint in vielerlei Hinsicht und in vielen Situationen eine punktgenaue - hinsichtlich der zeitlichen und räumlichen Applikation präzise - haptische Stimulation wünschenswert. Der Einsatz distingulierter hapti-

scher Reize im Vergleich zu einer zeitlich ausgedehnteren Vibrationsstimulation führt evtl. weniger zu einer unerwünschten Habituation an die Stimulation (wie aus dem Alltag - hier aber in höchstwünschenswerter Weise - vom Tragen der Kleidung bekannt). Auch lässt sich durch punktgenaue Stimulation ausnützen, dass mehrere Einzelreize nebeneinander auf der Haut mittels differenzierter stereognostischer Muster unterschiedliche Bedeutungen an den Nutzer transportieren können (ähnlich der Braille-Technik in der Blindenschrift). Letztlich kann durch die lineare Stellweise von Formgedächtnisaktoren eine Intensitätserhöhung stattfinden. So kann auch ein analoges Signal (z.B. Abstandsinformation) an den Benutzer durch die lineare Erhöhung der taktilen Druckkraft auf die Handfläche übertragen werden.

Die Aufmerksamkeitsforschung stellt eine Reihe von belastbaren Ergebnissen zur Verfügung, aus denen sich konkrete Richtlinien zur effizienten Steuerung von Aufmerksamkeit ergeben. So müssen beispielsweise bestimmte Zeitfenster berücksichtigt werden, innerhalb derer eine optimale gemeinsame Verarbeitung zweier Sinneseindrücke aus verschiedenen Modalitäten stattfindet (cross-modaler Benefit). Umgekehrt müssen Zeitfenster berücksichtigt werden, die eine gemeinsame Verarbeitung erschweren (cross-modale Interferenz) [13]. Eine punktgenaue Stimulation kann die Sensitivität gegenüber bestimmten Gegebenheiten sehr gezielt aktivieren bzw. die "phasische Alertness" innerhalb eines sehr präzise bestimmbareren Zeitraums erhöhen (ähnlich der Aktivierung durch die der Grünphase vorgeschalteten Gelbphase an einer Verkehrsampel).

Neben der zeitlichen Genauigkeit erscheint auch eine präzise räumliche Verortung der Stimulation am Körper wichtig. Der primäre somatosensorische Cortex, der entlang der posterioren Zentralfurche im Scheitellappen des Gehirns verläuft, ist strikt somatotop organisiert, d.h. jeder Körperteil ist in einem spezifischen Bereich repräsentiert. Da die Haut im Bereich der Hände und im Gesicht eine höhere Dichte an Thermo- und Druckrezeptoren aufweist, nimmt die sensorische Repräsentation dieser Signale auch in der somatotopen „Landkarte“ im Scheitellappen einen besonders großen Bereich ein. So ist die Haut zwar unser größtes Sinnesorgan, doch bei weitem nicht überall gleich stark haptisch ansprechbar. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen und um die für die jeweilige Anwendung optimalen Reizstärken zu bestimmen, wurden im Projekt Messungen haptischer Wahrnehmungsschwellen an unterschiedlichen Körperstellen durchgeführt. Aus diesen Messungen können wichtige Parameter hinsichtlich der Entwicklung haptischer Aktoren isoliert werden. So wird beispielsweise gewährleistet, dass es durch die konstruierten Aktoren zu keiner Unter- oder Überstimulation kommt, sondern dass die haptische Stimulation mittels der in konkreten Apparaturen verwirklichten Aktoren mit optimaler Stärke und an geeigneten Körperstellen appliziert wird.

3 Technische Gestaltung der Versuchselemente

3.1 Entwicklung der haptischen FGL-Antriebe

Aus den taktilen Voruntersuchungen ergab sich ein Lastenheft für elektrische Informationselemente, die in diesem Beispiel im Einsatzbereich Handgriff eingesetzt werden. Um die Handinnenflächen (an zwei möglichen Einsatzstellen) zu stimulieren, wird eine maximale Druckkraft von 10 N benötigt. In diesem Bereich können die Kräfte schon als unangenehm hoch empfunden werden. Um mechanische Toleranzen aber auch unterschiedliche Haltungen und Handandruckkräfte kompensieren zu können, müssen die Elemente Verstellungen (Stellwege, S_{nutz}) der taktilen Übertragungsglieder zwischen 3 und 6 mm ermöglichen. Eine zyklische Arbeitsfrequenz von 0,1 Hz ist ausreichend für die Informationsübertragung. Für die erste Versuchsreihe wurden bogenförmig übersetzte FGL-Antriebe aufgebaut. Diese Antriebe bestehen aus einem glasfaserverstärktem Gehäuse und einem FGL-Draht (Typ Smartflex 90, Durchmesser 0,4 mm) welcher mit CuZn-Spliceverbindern in das Gehäuse integriert wurde. Als taktiler Übertragungsglied wird eine Aluminiumwelle mit Elastomerabdeckung verwendet. Die Ausnutzung der mechanischen Bogenform dient der Übersetzung der Dehnung bei Reduktion der maximalen Systemkraft. Der maximal auftretende Stellweg S_{nutz} kann kalkuliert werden aus:

$$s_{nutz} = \sin \left[\arccos \left(\frac{1}{1 + \delta} \right) \right] \cdot \frac{l_{initial} \cdot (1 + \delta)}{2} \quad (1)$$

mit δ = Kontraktion des FGL-Drahtes

Eine vereinfachte Berechnung der minimalen Rückstellkraft kann mit der Gleichung (2) bestimmt werden.

$$F_{\min} = \sigma_{\min} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot d^2 \cdot \sin \left[\arccos \left(\frac{1}{1 + \delta} \right) \right] \quad (2)$$

Abbildung 3 zeigt eine Messung der aufgebauten Konstruktion mit einer initialen FGL-Drahtlänge von 64 mm bei einer konstant angelegten Rückstellmasse von 5,3 N. Über eine externe Messvorrichtung wurde die gezielte Einstellbarkeit des Stellweges über der Zeit vermessen. Grundsätzlich zeigte sich, dass eine ausreichend feine Auflösung der haptischen Signale (10 verschiedene Ausschlagsstellungen) eingeregelt werden können.

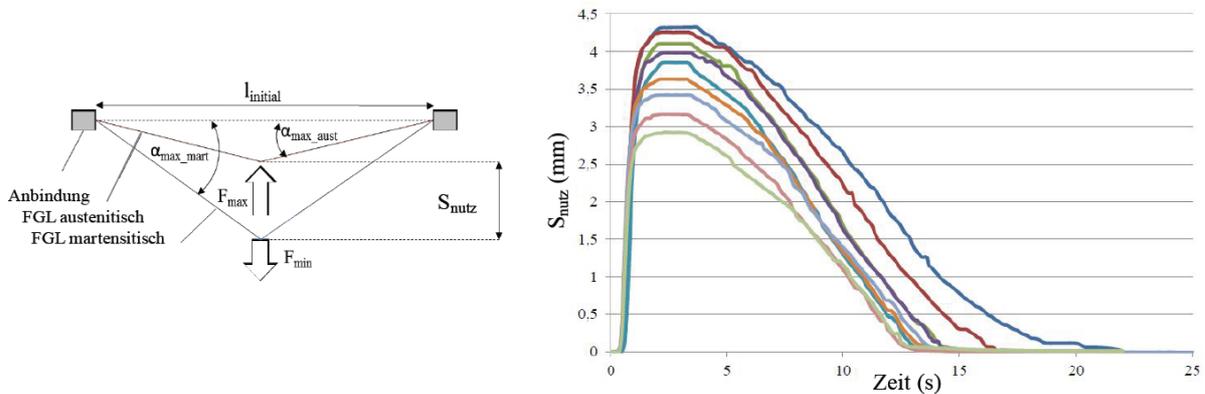
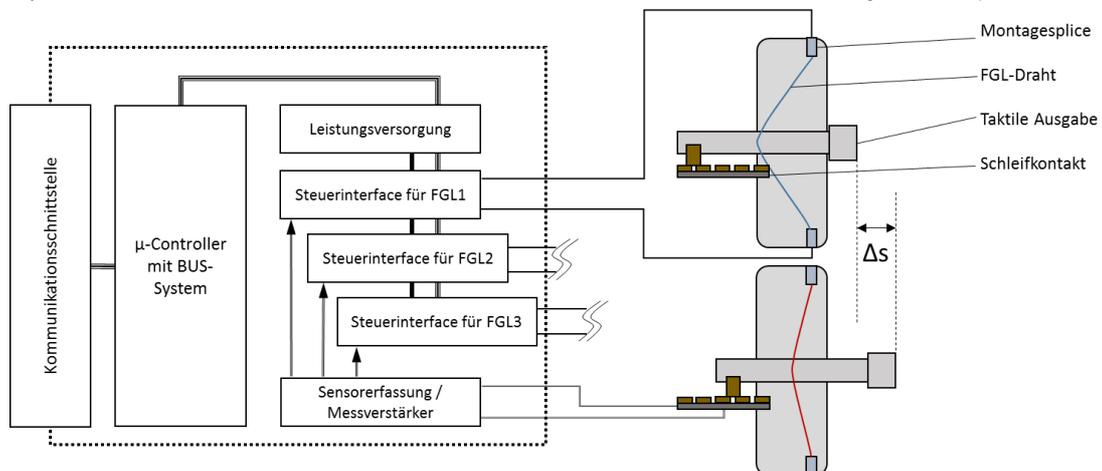


Abb. 3: (links) Konstruktives Prinzip eines bogenförmig übersetzten FGL-Drahtaktors, (rechts) Messergebnis zur Erzeugung von verschiedenen Ausschlagsstellungen des FGL-Drahtaktors

3.2 Entwicklung des Versuchsstandes

Für die Ansteuerung der haptischen Informationselemente mit FGL-Aktoren wurde eine Steuerbox mit einem Schnittstellenmodul zum Anschluss an den PC aufgebaut. Insgesamt können sechs Aktoren von der Steuerbox aus manuell, über eine Handeingabe, oder durch eine Softwareprogrammierung angesteuert werden. Da bei den Probanden jeweils linke und rechte Extremitäten untersucht werden, sind die Steuerungen paarweise ausgelegt. Die Steuerungselektronik der FGL-Drähte wurde durch einen Mikrocontroller realisiert, so dass die Aktorstellung und Bewegungsgeschwindigkeit variabel von Hand und per PC eingestellt werden können. Zur genauen Verstellung und Justage der Reizintensitäten kann ein Schleifkontaktmodul eingesetzt werden, mit dem vier Reizstufen eingestellt werden können. Ein Messverstärker nimmt die Regelrückkopplungen auf, filtert diese, und sendet diese an Zweipunktregelelemente innerhalb der Steuereinheiten für die FGL-Aktoren. Das Schnittstellenmodul übernimmt die Kommunikation mit dem in der Psychologie verwendeten Programm PsychoPy2, mit dem haptische Reize hinsichtlich der Reaktionszeiten bei Probanden gemessen werden können. Das Programm ist über die Kommunikationsschnittstelle so gekoppelt, dass die Probanden über Fuß- bzw. auch Handschalter die Reizwahrnehmung bzw. die Reaktion an die Versuchselektronik weitergeben können.

Abb. 4: Systemaufbau des Versuchsstandes und Funktionsweise der FGL-Drahtaktoren für altersgerechte haptische Informati-



onssysteme

4 Experimente

4.1 Die Messung individueller Reizwahrnehmungen

Der Zusammenhang von physikalischen Reizen und ausgelösten Empfindungen wurde in den Vorversuchen ermittelt. Hierzu wurden Reize unterschiedlicher physikalischer Intensitäten ausgelöst und in Bezug zu psychologisch skalierten Empfindungsänderungen gesetzt. Zur Messung wurden zum einen normierte und für den Gebrauch am Menschen optimierte Testfasern eingesetzt, zum anderen der in 3.2 beschriebenen Versuchsstand unter Einsatz verschiedener Reizstärken.

4.1.1 Haptische Wahrnehmungsschwellen in unterschiedlichen Lebensaltern

Die zur präzisen psychophysischen Ermittlung individueller haptischer Wahrnehmungsschwellen eingesetzten Fasern (Optihair2-Set, Marstock Nervtest, Germany) entsprechen einer Modifikation von v. Frey Filamenten [15], wobei die einzelnen Filamente durch Berührung mit der Haut Kräfte zwischen 0,25 und 512 mN übertragen. Die Filamente verfügen über abgerundete Spitzen, um die Stimulation von Mechanorezeptoren unter Ausschluss von Schmerzrezeptoren zu gewährleisten. Die Kontaktzone beträgt - unabhängig vom Winkel des Auftreffens auf der Haut und gleichbleibend in Form und Auflagefläche - 0,5mm im Durchmesser. Die Filamente sind so beschaffen, dass - unbeeinträchtigt von abweichenden Durchbiegeradien - die physikalische Kraftentwicklung gleichmäßig der normierten Testgröße entspricht. In standardisierten Testsitzungen wurden für jeden Probanden individuell die Wahrnehmungsschwellen an für die haptische Stimulation in Frage kommenden Körperstellen ermittelt. Hierbei wurde die Schwellenmethode, bei der, beginnend mit einem deutlich überschwelligen Reiz, graduell die Kraft verringert wird, bis der Proband angibt nichts mehr zu spüren verwendet. Um die Schwelle zuverlässig zu erfassen, wurde die Prozedur mehrfach wiederholt. Abbildung 5 (l.) zeigt die haptischen Wahrnehmungsschwellen, gemessen an der Handinnenfläche im Bereich des Musculus Lumbricalis I (s. Abbildung 5 (r.)) über verschiedene Altersspannen hinweg.

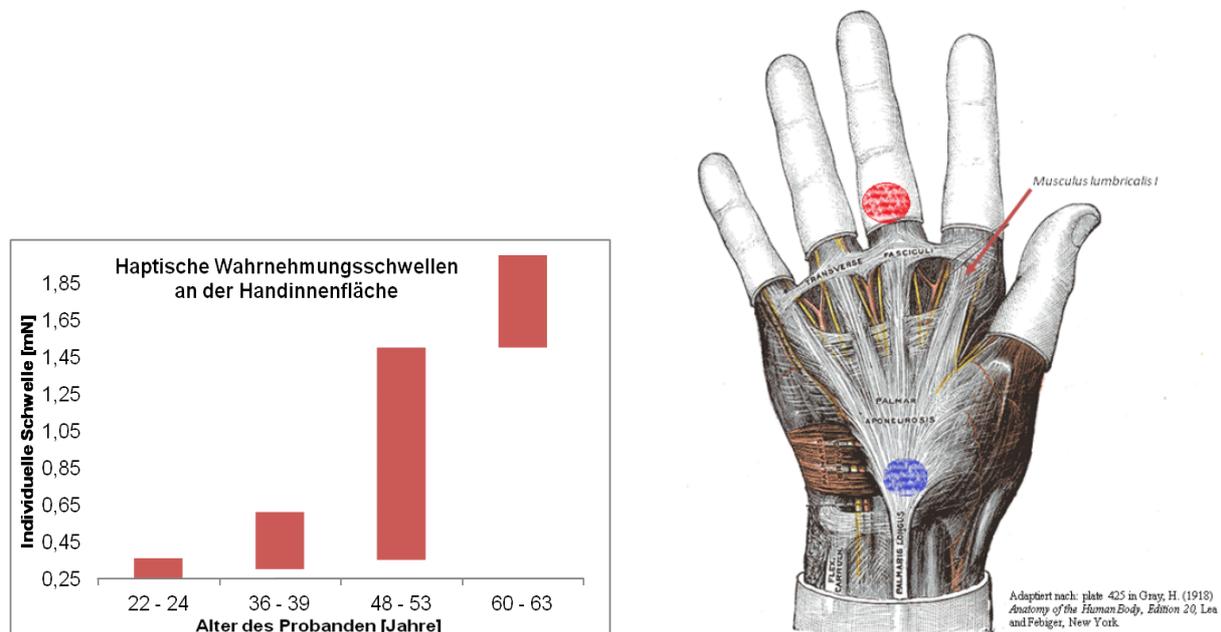


Abb. 5: (links) Haptische Wahrnehmungsschwellen an der Handinnenfläche in verschiedenen Lebensaltern, (rechts) Haptische Stimulation der Handinnenseite im Bereich des Musculus Lumbricalis I. Grafik adaptiert nach [16]. Die rot und blau schraffierten Bereiche markieren die Stimulationsorte in aktuellen FGL-basierten Versuchsreihen (siehe Abschnitt 3.4.2)

4.1.2 Subjektive haptische Wahrnehmungsempfindungen ausgelöst durch FGL-basierte Aktoren

Ausgehend von den empirisch ermittelten Schwellenwerten mussten die FGL-Aktoren wie in 3.1 beschrieben mit "Pins" von 4 mm im Durchmesser ausgestattet. Die Versuche wurden in drei Reizintensitäten, klassifiziert als "niedrig",

"mittel" und "hoch" miteinander verglichen. Die "Pins" sind an zwei unterschiedlichen Stellen in separaten handlichen Griffelementen verbaut. Ein Griffelement vermittelt die Stimulation im mittleren Bereich des Handballens, ein weiteres Griffelement im Bereich des Fingergrundglieds des Mittelfingers. Die genauen Stimulationorte variieren - ökologisch valide - je nach Handgröße des Benutzers. Ermittelt wurden bislang zum einen die Präferenzen hinsichtlich des Stimulationsortes (Mittelfingersegment vs. Handballen) anhand der Kriterien "Güte der Wahrnehmbarkeit" (auf dem Kontinuum undeutlich bis deutlich wahrnehmbar) und "Angenehmheit der Stimulation" (auf dem Kontinuum unangenehm bis angenehm). In Abhängigkeit vom Stimulationsort wurden sodann die Präferenzen hinsichtlich der Reizintensität evaluiert. Die Testreihen wurden separat für die linke und rechte Hand als auch im direkten Vergleich linke vs. rechte Hand an einer Stichprobe älterer Probanden im Alter von 48 bis 63 durchgeführt.

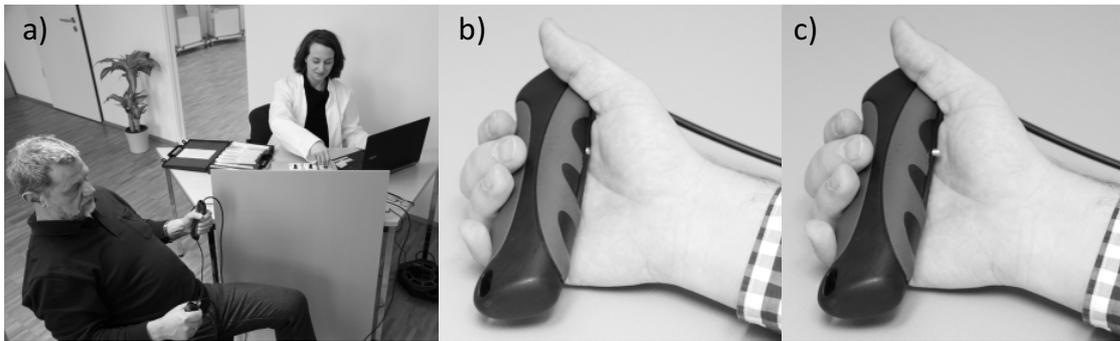


Abb. 6: (a) Versuchsdurchführung am Probanden, (b) eingefahrenes Haptikelement im Versuchsgriff, (c) ausgefahrenes Haptikelement im Versuchsgriff (jeweils ohne das rückstellende Elastomer).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass als Stimulationsort beim Vergleich von Handballen und Mittelfingersegment der Handballen deutlich präferiert wurde. Hierbei gab es keine Unterschiede zwischen den Bewertungen der Reize an der linken und rechten Hand, weder in den für die Hände separat durchgeführten Tests noch im direkten Vergleich der beiden Hände. Hinsichtlich der Reizintensität war die von uns als "leicht" klassifizierte (und im Hinblick auf die altersangepasste Wahrnehmungsschwelle deutlich überschwellige Stimulation am Handballen vollkommen ausreichend und wurde bzgl. Wahrnehmungsgüte und Angenehmheit bestmöglich bewertet. Die Stimulation am Mittelfingersegment erforderte hingegen oftmals eine höhere Reizstärke, um als "deutlich wahrnehmbar" eingestuft zu werden. Des Weiteren wurden die Stimulationen am Mittelfingersegment selten mit "sehr angenehm" bewertet. Für beide Stimulationsorte und unabhängig von der als deutlich wahrnehmbar eingeschätzten Reizintensität nahmen die Probanden subjektiv keinen Unterschied zwischen mittlerer und starker Reizintensität wahr. Abbildung 7 stellt die wichtigsten Ergebnisse grafisch dar.

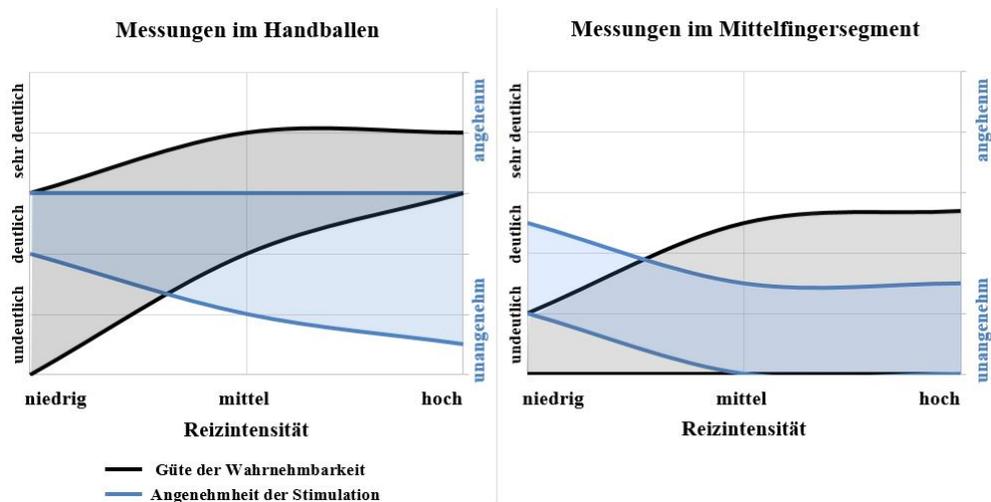


Abb. 7: Darstellung der subjektiv gemessenen Wahrnehmung haptischer Stimulation mittels FGL-basierter Aktoren, hinsichtlich der Kriterien "Güte der Wahrnehmbarkeit" und "Angenehmheit der Stimulation" in Abhängigkeit der Reizintensität (niedrig, mittel, hoch), gemessen am Handballen und am Mittelfingersegment der linken und rechten Hand

5 Zusammenfassung und Ausblick

In den ersten Projektschritten des Projektes AHA-FEEL wurden neben grundlegenden Ideen bezüglich der haptischen Informationsübertragung eine Versuchsinfrastruktur geschaffen mit denen Anwendungen im Bereich der smarten Materialien zur Warnung und zum Erleichtern des täglichen Lebens für ältere Menschen entwickelt werden können. Die Psychologische Vorbereitung, aber auch die Vermittlung von technischen Anforderungen konnte ebenfalls erfolgen. In weiteren Schritten werden methodische Produktkonzipierungen und Validierungen sowohl von technischer als auch von psychologischer Seite erfolgen. Eine industrielle Übertragung wird interessierten Unternehmen in Form eines projektbegleitenden Ausschusses ermöglicht.

6 Danksagung

Beide Forschungspartner, das Zentrum für angewandte Formgedächtnistechnik an der FGW e.V. und der Lehrstuhl für allgemeine und biologische Psychologie der Bergischen Universität Wuppertal danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des wissenschaftlichen Vorprojektes AHA-FEEL im Bereich Mensch-Technik-Interaktion für den demografischen Wandel.

7 Literaturverzeichnis

- 1 Czechowicz, A. Adaptive und Adaptronische Optimierungen von Formgedächtnisaktorsystemen für Anwendungen im Automobil, Dissertation, Ruhr-Universität Bochum 2012, Shaker Verlag
- 2 Langbein, S. & Czechowicz, A. Konstruktionspraxis des Formgedächtnistechnik, Springer-Vieweg Verlag, 2013
- 3 Lagoudas, D. Shape Memory Alloys, Springer, 23-61, 2007
- 4 Czechowicz, A., Langbein, S., "Shape Memory Alloy Valves", Springer, ISBN 9783319190808, 2015
- 5 Otsuka, K., Wayman, M., Shape Memory Materials Cambridge University, ISBN: 9780521663847, 1999
- 6 Goldreich, D. und Kanics, I. M. *Tactile acuity is enhanced in blindness*. Journal of Neuroscience, 23, 3439 - 3445, 2003.
- 7 Landry, S. P., Shiller, D. M. und Champoux, F. *Short-term visual deprivation improves the perception of harmonicity*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 39, 1503-1507, 2013.
- 8 Kalisch, T., Tegenthoff, M. und Dinse, H. R. *Improvement of sensorimotor functions in old age by passive sensory stimulation*. Clinical Interventions in Aging, 3, 673–690, 2008.
- 9 Baltes, P. B. und Lindenberger, U. *Emergence of a Powerful Connection Between Sensory and Cognitive Functions Across the Adult Life Span: A New Window to the Study of Cognitive Aging?* Psychology and Ageing, 12, 12–21, 1997.
- 10 Lederman, S. J. und Klatzky, R. L. *Haptic perception: A tutorial*. Attention, Perception, and Psychophysics, 71, 1439–1459, 2009.
- 11 White, P. A. *The experience of force: the role of haptic experience of forces in visual perception of object motion and interactions, mental simulation, and motion-related judgments*. Psychological Bulletin, 138, 589–615, 2012.
- 12 Botvinick, M. und Cohen, J. *Rubber hands "feel" touch that eyes see*. Nature 391, 756, 1998.
- 13 Gallace, A. und Spence, C. *In touch with the future*. Oxford University Press, Oxford, 2014.
- 14 von Frey, M. *Ueber den Gebrauch von Reizhaaren*. In: Untersuchungen über die Sinnesfunktionen der menschlichen Haut. Erste Abhandlung: Druckempfindung und Schmerz. Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, 23, 208-217, 1896.
- 15 Gray, H. *Anatomy of the Human Body*, Lea and Febiger, New York, 1918.