

Titel

Entwicklung von formgedächtnisbasierten elastisch-adaptiven und dämpfenden Elementen zum Einsatz in Sport- und Rehabilitationsgeräten

IGF-Nr.: 19821 N

Forschungseinrichtung

Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe (IFW),
Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid



Ansprechpartner:

M. Eng. Fabian Hoffmann
02191 / 5921-143
hoffmann@fgw.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 19821 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Das Angebot an Artikeln der Sportindustrie, hinter deren Entwicklung und Herstellung viele technische Höchstleistungen stecken, wächst kontinuierlich [1]. Hierbei verlangt die Sport-Branche wie kaum eine andere nach immer neuartigen Trends, Gewichtersparnis und neuen innovativen sportlichen und digitalen Funktionen [2]. Die Reha-technik erlebt einen ähnlichen Trend. Langfristig ist von einem steigenden Rehabilitationsbedarf auszugehen. Dies begründet sich unter anderem aus der demographischen Entwicklung, der Anhebung des Rentenalters und der damit verbundenen längeren körperlichen Arbeitsbelastung sowie dem Anstieg chronischer Erkrankungen. Auch eine deutliche Zunahme von Stresssymptomen bzw. chronisch psychosomatischen Krankheitsbildern wird zukünftig den Bedarf nach Reha-Leistungen beeinflussen. Im Jahr 2017 wurden 9,731 Milliarden Euro für Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen ausgegeben [3]. Der Wunsch nach adaptiv anpassbaren Kraft-Weg-Kennlinien und damit einer gezielteren Anpassung an den Gesundheits- und Fitnessgrad des Gerätenutzers begründet sich in der rasanten Marktentwicklung des gesamten Fitnessbereichs.

Elemente in Sport-Geräten zur Erzeugung und Variation von Kräften, sowie zur Einstellung der Dämpfung, werden nach Stand der Technik durch Massen (z.B. durch Gewichte) oder durch komplexe Motor-Bremssysteme realisiert. Motorische Bremssysteme werden vorwiegend bei Laufbändern und bei Beintrainingssystemen eingesetzt. Beide Lösungsansätze haben physiologische und technische Nachteile.

- Die Massen beider Lösungen sind so groß und schwer, dass besonders in der Rehabilitationsbranche (z.B. Physiotherapie) kaum transportable Geräte eingesetzt werden können. Somit sind Therapien nur innerhalb der Physiotherapiepraxen mit der Medizinischen Trainings Therapie (MTT) möglich.
- Sportgeräte, deren Lasten verstellt werden, sind ebenfalls oft so groß, dass dem Privatanwender ein eigener Raum für deren Aufstellung zur Verfügung stehen muss.
- Zumeist werden Sport- und Rehabilitationsgeräte mit konstanten Lasten betrieben. Um die Muskelbelastung abhängig von einem Hebewinkel oder von der ärztlich empfohlenen Belastungskurve einzustellen, sind keine Marktlösungen vorhanden. Eine dosierte Belastung hat eine optimale Muskelreparaturwirkung (Superkompensation) durch das kontinuierliche Anpassen der Muskelbelastung im Trainingszyklus, aber auch während der gesamten Rehabilitation zur Folge. Hieraus folgt, dass für eine ideale Rehabilitation oder für ein ideales Sporttraining eine adaptive Lasteinstellung auf Basis der Benutzerdaten (also Trainingsprogramm und eine live gemessene Muskelkraft) idealerweise möglich sind. Um diesen Missstand nach heutigen Möglichkeiten zu minimieren, wird eine intensive Betreuung der Patienten durch Physiotherapeuten und Sporttrainer vorausgesetzt.

- Eine intensive Betreuung ist mit höherem Kostenaufwand für Krankenkassen und Kunden von Fitnessstudios verbunden.
- Ein weiterer Aspekt ist die schonende Dämpfung auf den Körper bei Ausübung der Bewegungen. Dämpfende Elemente, z.B. zur Reduktion der mechanischen Belastung der Sport- und Rehageräte werden als passive Elemente aus Gummi eingesetzt. Anpassbare adaptive Dämpfer sind aufgrund der hohen Komplexität und der hohen Kosten nicht in diesen Geräten denkbar.

Technisch sind Lösungen der vorgenannten Punkte mit konventionellen Antriebselementen nur schwer umzusetzen. Um Kraftänderungen zu erzeugen, die zum Beispiel während einer Zugbewegung in einem Trainingsgerät gezielt auftreten sollen, müssen dynamische Antriebe eingesetzt werden. Elektromotorische Systeme müssen hohe Untersetzungen nutzen, um das Kraftniveau zu erreichen, was sie deutlich verlangsamt. Pneumatische oder gar hydraulische Systeme sind im medizinischen Bereich schon alleine aufgrund der fehlenden Versorgungsinfrastruktur kaum umzusetzen. Trotz dieser technologischen Hindernisse besteht der Änderungswunsch zu den o.g. Punkten in den Branchen Medizin- und Freizeitgerätetechnik. Die Geräte (im Besonderen deren Kraft-Weg-Kennlinien) sind auf genormte Maße und Bewegungen und nicht auf den individuellen Körperbau eingestellt.

Um diese Herausforderungen zu lösen, wurde in diesem Vorhaben eine neuartige Idee auf Basis von adaptiven pseudoelastischen Formgedächtnislegierungen (PE-FGL) für die Branchen der Medizintechnik und Sportgerätetechnik entwickelt. FGL sind multifunktionale Werkstoffe, die besonders hohe elastische, sensorische als auch aktorische Funktionen aufweisen.

Forschungsziel

Die Zielsetzung des Vorhabens war die Entwicklung und Validierung von adaptiv elastischen und dämpfenden Komponenten auf Basis von Formgedächtnislegierungen für Anwendungen in der Sport- und Rehabilitationsgeräteindustrie. Dieses Hauptziel wurde in nachfolgende Teilziele untergliedert:

1. Aufbau und Erweiterung der grundlegenden Kenntnisse zum Einfluss der Temperatur auf die Dämpfungs- und Elastizitätseigenschaften von Nickel-Titan basierten FGL
2. Bereitstellung von Simulationstools und Prüfständen zur optimalen thermomechanischen Ausgestaltung von FG-Halbzeugen
3. Methodisch entwickelte Lösungsansätze zur FG-Bauteilintegration
4. Ausgestaltung und Aufbau von realen Demonstratoren und der dazugehörigen Mess- und Steuerungs-Elektroniken
5. Funktions- und Benchmark-Tests der Neuentwicklungen

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Zu Beginn des Vorhabens wurde unter Einbezug der Ideen und Anregungen von Unternehmen aus verschiedenen Fachbereichen ein Anwendungsfall festgelegt, für den das vielversprechendste Potential im Hinblick auf die Funktionserfüllung durch die Implementierung von FG-Elementen sowie in Bezug auf eine spätere Serienentwicklung vorlag. Als Anwendungsfall wurde die Substitution eines Kraftzuggerätes durch ein Funktionsmuster, welches sich die pseudoelastischen Eigenschaften von FGL zunutze macht, festgelegt. Zu solchen Kraftzuggeräten zählen z.B. Gymnastikbänder oder Expander aus elastischen Kunststoffen, aber auch Kabelzüge, bei denen der Trainingswiderstand durch Gewichtsscheiben aufgebracht wird. Dieses Anwendungsszenario wurde vor allem im Hinblick auf die Möglichkeiten einer flexiblen Trainingsgestaltung zur weiteren Betrachtung ausgewählt – es können Übungsvariationen mit u.a. verschiedenen Bewegungsrichtungen oder Kraftkurven aufgebracht werden. In der folgenden Abbildung 1 sind die jeweiligen Vor- und Nachteile der verschiedenen Anwendungsprinzipien gegenübergestellt. Zusätzlich wird aufgezeigt welche Eigenschaften durch die FG-basierte Lösung zu erwarten sind.

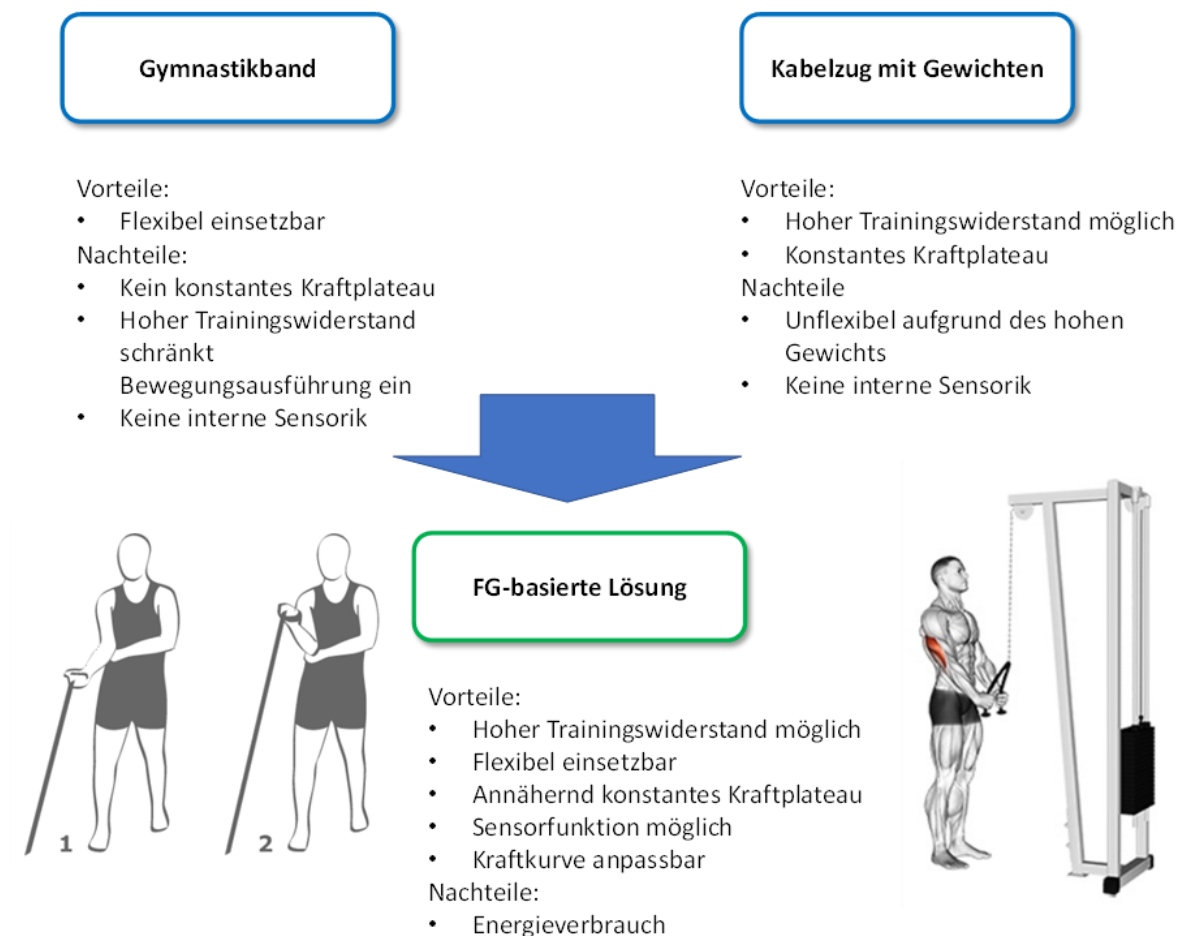


Abbildung 1: Trainingsbeispiele: Gymnastikband (links) [4] und Kabelzug mit Gewichten (rechts) [5]

Als Anforderungen an das zu entwickelte Funktionsmuster wurden ein Kraftbereich bis ca. 100 N bei Raumtemperatur und ein Bewegungsbereich bis ca. 1000 mm festgelegt. Zur Realisierung der Anforderungen standen PE-FG-Halbzeuge in Drahtform mit verschiedenen Zusammensetzungen und Kaltumformgraden zur Verfügung. An diesen wurden zunächst die Phasenumwandlungstemperaturen im DSC-Verfahren ermittelt, um die Einsatzgrenzen in Bezug auf die Umgebungstemperaturen zu ermitteln. Anschließend erfolgte die thermomechanische Ausgestaltung der FG-Halbzeuge sowie die Materialcharakterisierung in Zugversuchen unter verschiedenen Einflussfaktoren. Hierbei wurden die Vorgaben der VDI-Richtlinie 2248-3 [6] miteinbezogen (Abbildung 2).

Probenabmessungen in mm	Prüflängen in mm	Prüfgeschwindigkeit 1 in mm/min	Prüfgeschwindigkeit 2 in mm/min
$d \leq 0,2$	50	4	40
$0,2 < d \leq 0,5$	90	4	40
$0,5 < d \leq 2,5$	90	2	20
Durchmesser/Blechdicke		1. Prüfzyklus: bis 6 % belasten, danach entlasten	2. Prüfzyklus: bis zum Bruch

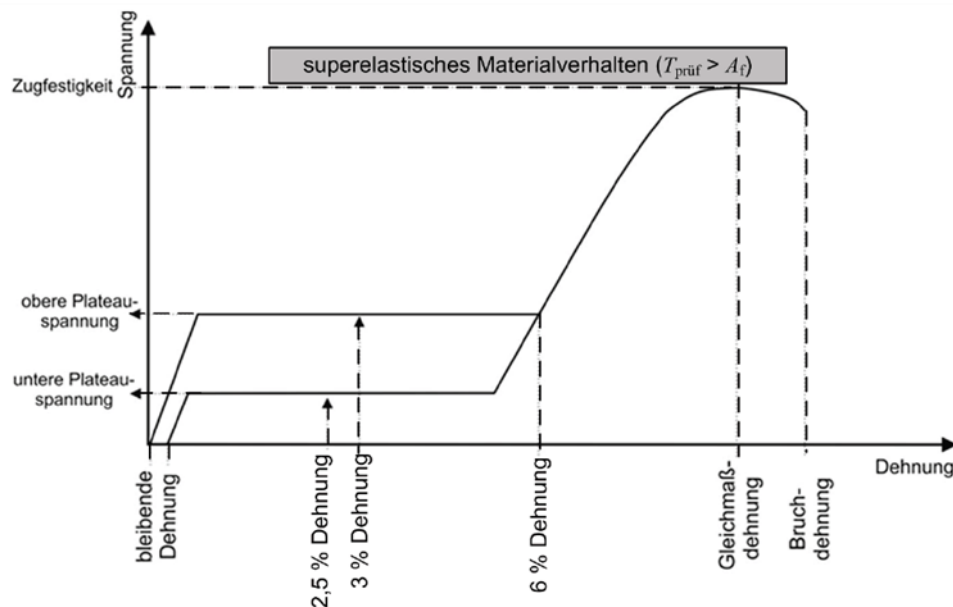


Abbildung 2: Versuchsparameter (oben) und Versuchsablauf aus VDI 2248-3 (unten)

Folgende Einflussfaktoren wurden betrachtet:

- Wärmebehandlung
- Vorzyklisierung
- Prüfgeschwindigkeit
- Umgebungstemperatur

Für die Charakterisierung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens unter dem Einfluss der Wärmebehandlung wurden folgende Parameter gewählt (Tabelle 1):

Tabelle 1: Probenumfang der Versuche zum Einfluss der thermomechanischen Vorbehandlung

Hersteller	Bezeichnung	DrahtØ [mm]	Drahtlänge [mm]	Glühtemperatur [°C]	Glühdauer [min]
Fort Wayne	NiTi#1	1	90	300	5, 10, 15, 20, 25, 30
				400	5, 10, 15, 20, 25, 30
				500	2,5, 5, 10, 15, 20
				600	2,5, 5, 10

Bei einer Glühtemperatur von 300 °C bildet sich in Zugversuchen kein gleichbleibendes Spannungsplateau, sondern die Spannung steigt im Umwandlungsbereich deutlich an. Infolge längerer Glühdauern verschieben sich die Spannungen insgesamt zu geringeren Werten.

Wird das Material bei einer Temperatur von 400 °C gegläht kann man ein annähernd konstantes Spannungsplateau beobachten. Unterschiede der Kurvencharakteristik infolge längerer Glühdauern fallen nur gering aus. Die Spannungen verschieben sich insgesamt zu leicht geringeren Werten. Des Weiteren erhöht sich die bleibende Restdehnung leicht.

Große Unterschiede in Bezug auf die Spannungs-Dehnungs-Charakteristik resultieren aus einer Variation der Glühdauern bei einer Glühtemperatur von 500 °C. Die mechanischen Spannungen fallen mit zunehmenden Glühdauern signifikant ab. Obendrein erhöhen sich dadurch die bleibenden Restdehnungen. Bei einer Glühdauer von 15 min ist bereits eine bleibende Restdehnung von ca. 1,6 % der Ausgangslänge zu verzeichnen. Im Plateaubereich des Be- und Entlastungszyklus wurden jeweils plötzliche Umwandlungseffekte beobachtet.

Bei einer Glühtemperatur von 600 °C treten bereits bei sehr kurzen Glühdauern hohe bleibende Restdehnungen auf. Eine Glühdauer von 5 min resultiert in einer bleibenden Restdehnung 0,75 % der Ausgangslänge.

In Abbildung 3 werden exemplarisch die Spannungs-Dehnungs-Kurven gezeigt, die sich bei einer Glühtemperatur von 400 °C im Zugversuch ergeben haben. Für die weiteren Entwicklungsschritte wurden die Wärmebehandlungsparameter auf 400 °C und 20 min festgelegt.

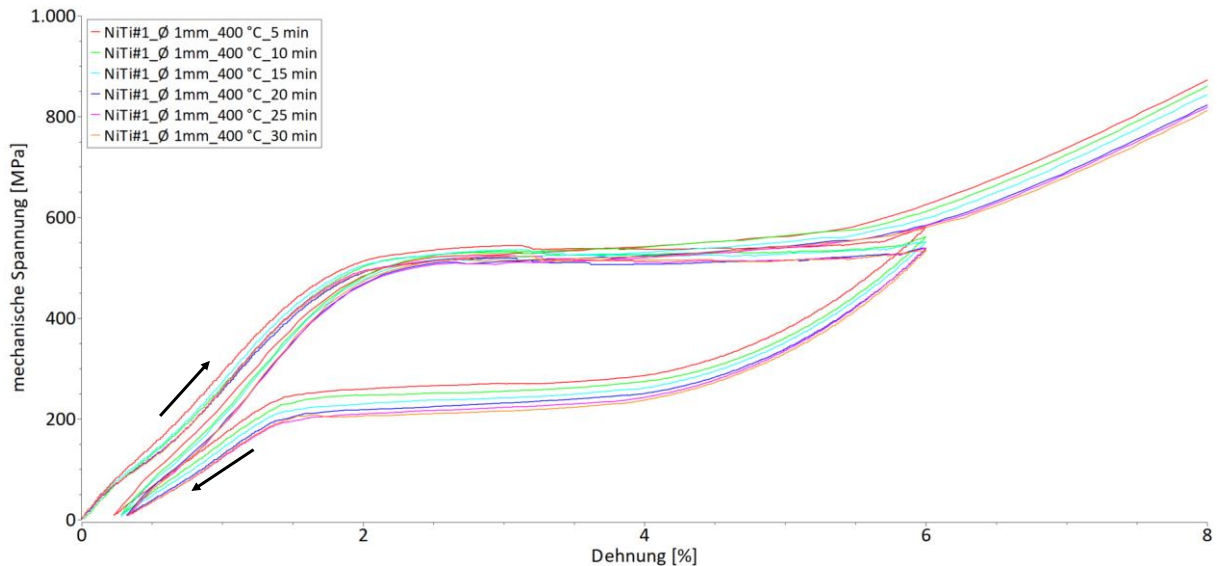


Abbildung 3: Spannungs-Dehnungs-Kurven bei einer Glüh­temperatur von 400 °C

In den Zugversuchen zum Einfluss der Vorzyklisierung konnte eine Verschiebung der Lage des oberen Spannungsplateaus zu geringeren Werten vor allem in den ersten Zyklen beobachtet werden. Mit zunehmender Zyklenzahl wird diese Abnahme immer geringer, bis sich die mechanische Spannung schließlich auf einen annähernd konstanten Wert einpendelt.

Die Erhöhung der Prüfgeschwindigkeit resultiert in einem Anstieg der maximalen Spannungen sowie in einer Erhöhung der betraglichen Steigungen in den Plateaubereichen.

Der Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Spannungs-Dehnungs-Verlauf wurde ebenfalls in Zugversuchen in einer zuschaltbaren Temperierkammer untersucht. Hierbei zeigte sich eine generelle Verschiebung des Spannungs-Dehnungs-Plateaus zu höheren mechanischen Spannungen infolge einer Steigerung der Temperatur. Die maximale Spannung bei einem Dehnungswert von 6 % steigt von ca. 600 MPa bei 40 °C auf ca. 870 MPa bei 80 °C. Es ist also ein Spannungsanstieg von mehr als 40 % zu verzeichnen. Neben dem Anstieg der Plateauspannungen nehmen allerdings auch die verbleibenden Restdehnungen bei höheren Umgebungstemperaturen zu. In Abbildung 4 wird das Spannungs-Dehnungs-Verhalten unter Einfluss variierender Umgebungstemperaturen gezeigt.

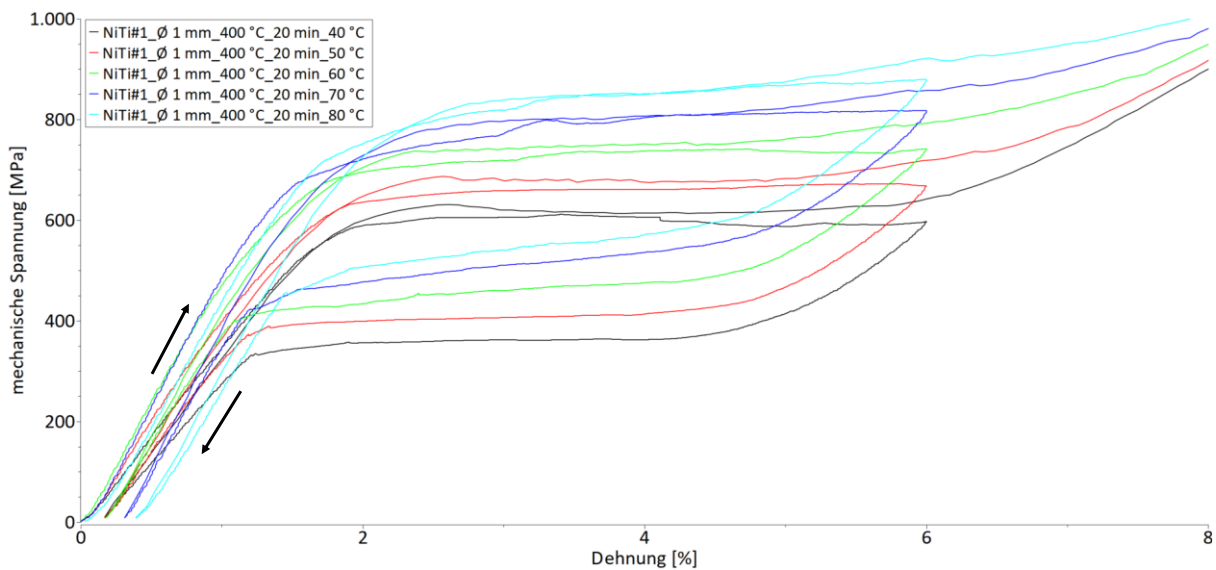


Abbildung 4: Spannungs-Dehnungs-Verhalten unter Einfluss variierender Umgebungstemperaturen

Für die adaptive Kraftanpassung sind die Erkenntnisse aus den Versuchen zur Erhöhung der Umgebungstemperatur besonders beachtenswert. Hierbei wurde nachgewiesen, dass die Kraftwirkung der Probe aus der gewählten Legierung mit steigender Temperatur stark zunimmt und der Effekt somit im Zuge der weiteren Entwicklung im Funktionsmuster eingesetzt werden kann.

Unter Einbezug der Erkenntnisse aus den Zugversuchen mit geraden Drähten wurden FG-Federelemente gefertigt und experimentell ausgelegt. Die Fertigung der Federn wurde mittels einer Vorrichtung durchgeführt, die nach dem Federwickelprinzip arbeitet. Die anhand von Zugversuchen ermittelten Federparameter zur Abdeckung der festgelegten Anforderungen an den Kraft- und Bewegungsbereich betragen für den Drahtdurchmesser 2 mm, für den Federaußendurchmesser 19,8 mm und für die Federausgangslänge 66 mm.

In den nächsten Entwicklungsschritten erfolgte die weitere Anpassung der Versuchsbedingungen an die anwendungsseitigen Anforderungen. Einen Teilbereich davon umfasst die Art des Erwärmungsmechanismus des FG-Materials zur adaptiven Kraftanpassung. Um einen anwendungsnahen Zustand zu schaffen, erfolgte die Erwärmung der FG-Federn über den Eigenwiderstand beim elektrischen Stromdurchfluss. Hierfür wurde ein Versuchsszenario entworfen und aufgebaut (Abbildung 5).

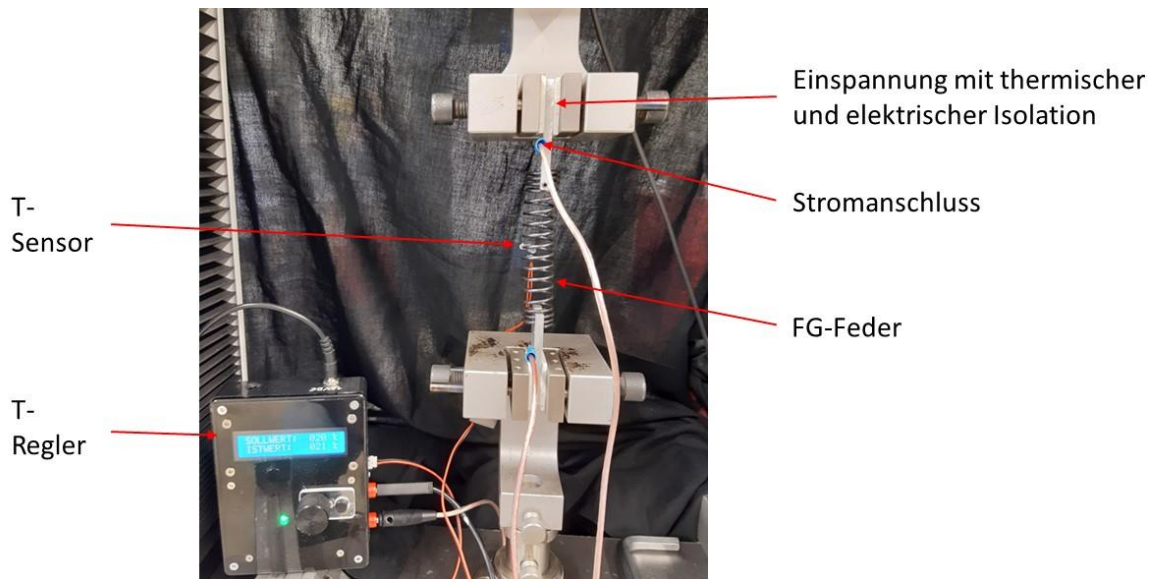


Abbildung 5: Versuchsaufbau zur Untersuchung verschiedener Zugfedergeometrien unter Erwärmung des Materials beim Stromdurchfluss über den Eigenwiderstand

Mithilfe eines an der Feder angebrachten PT100-Tempersensors wurde das Temperatursignal an die Regelbox weitergeleitet und mittels einer Zwei-Punkt-Regelung auf dem eingestellten Niveau gehalten. In den Versuchsreihen wurden Einflüsse auf das Kraft-Weg-Verhalten infolge der Variation der Stromstärke und der Zuggeschwindigkeit untersucht. Durch die Erhöhung der Stromstärke zeigten sich insbesondere bei den höheren Temperaturen deutlich geringere Hysteresebreiten. Die Ursachen dafür sind in der höheren elektrischen Energie zu sehen, die für die Nachregelung zur Verfügung steht. Ein Anstieg der Maximalkräfte konnte durch die Erhöhung der Zuggeschwindigkeit erreicht werden. In Abbildung 6 ist exemplarisch ein Diagramm der Versuchsreihen abgebildet.

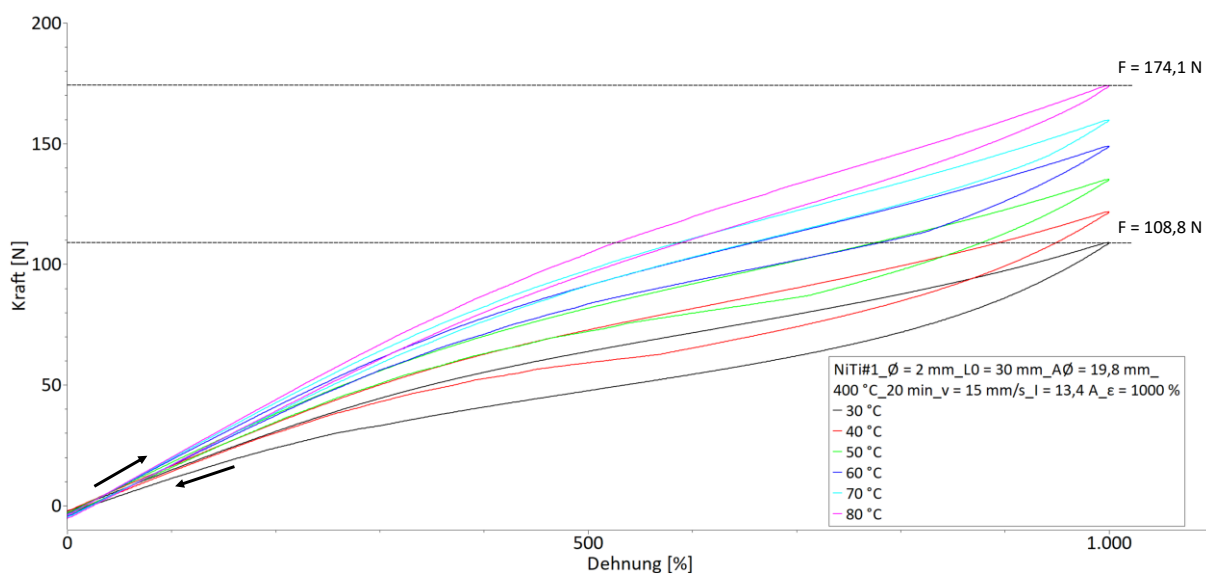


Abbildung 6: Zugversuche_v = 15 mm/s, Erwärmung über Eigenwiderstand durch Stromdurchfluss_I = 13,4 A

Auf der Grundlage des zentralen Funktionselement FG-Federkomponente wurde das Funktionsmuster „Kraftzugerät“ geplant und aufgebaut. Für die Federkomponente wurde zunächst eine mechanische Anbindung geplant. Diese sollte die Kraft zum Schutz vor Material- und Personenschäden sicher übertragen und gleichzeitig eine einfache und flexible Montage der FG-Komponenten ermöglichen. In Abbildung 7 ist ein CAD-Entwurf der Anbindungsschnittstelle gezeigt.

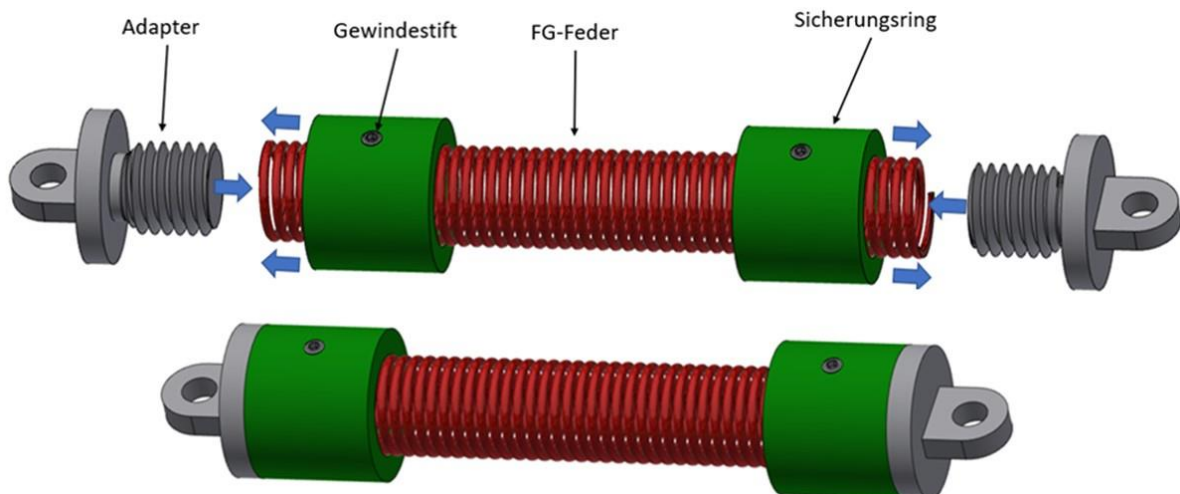


Abbildung 7: CAD-Entwurf der Anbindungsschnittstelle

Die Einleitung der Stellbewegung und der Kraft erfolgt über ein Seilzugsystem in Verbindung mit einem Rollensystem und einer Konstruktion aus Aluminiumprofilen. In Abbildung 8 sind die CAD-Konstruktion sowie der mechanische Aufbau des Funktionsmusters zu sehen.

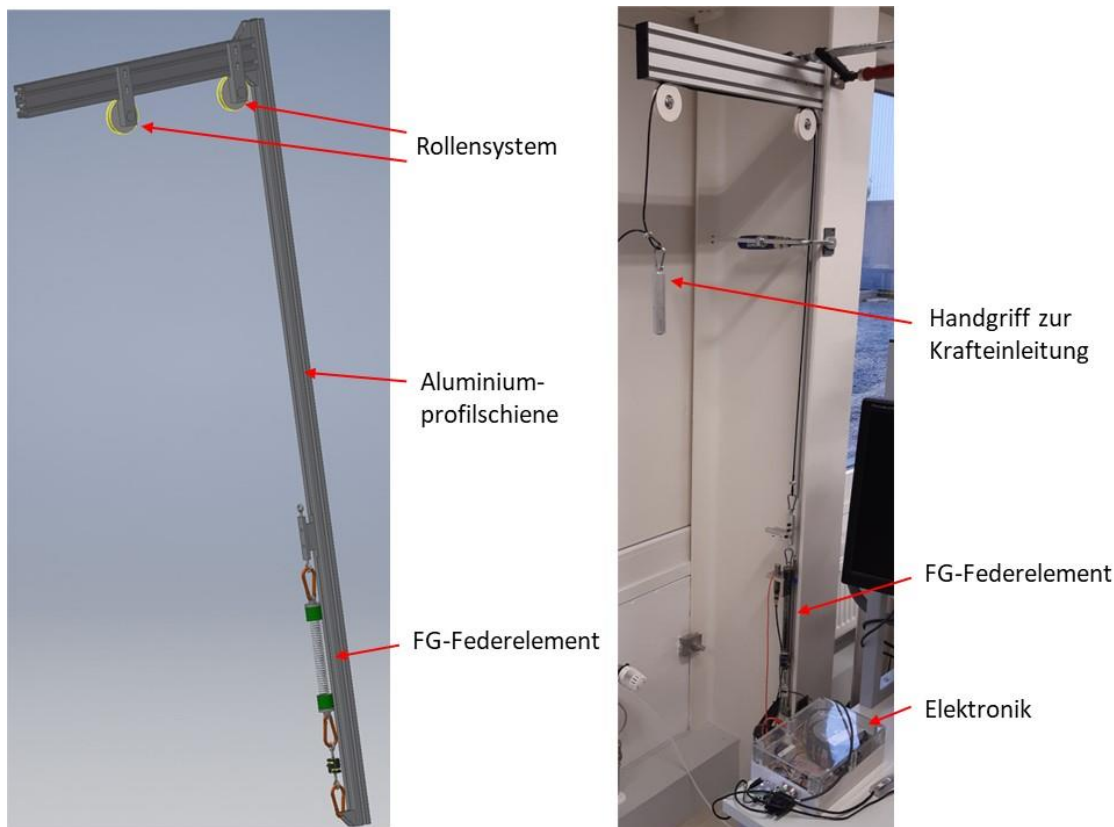


Abbildung 8: CAD-Konstruktion sowie mechanischer Aufbau des Funktionsmusters

Zur Überwachung der wichtigen Funktionsparameter Stellweg, Kraft und Temperatur wurden entsprechende Sensoren vorgesehen. Über einen Ultraschallsensor wird die Wegänderung während der Trainingsbewegung detektiert. Die resultierende Kraft am FG-Federelement wird über einen DMS Kraftsensor mit einem Messbereich von bis zu 200 N erfasst. Die adaptive Kraftanpassung erfolgt über die Temperaturerhöhung des FG-Federelements. Um eine definierte Kraft einzustellen, ist die Überwachung der Ist-Temperatur notwendig. Hierzu wurde ein PT100 Temperatursensor an der Feder angebracht. Zur Erwärmung des FG-Federelements und zur Steuerung der Sensoren wurde eine Elektronik entwickelt und aufgebaut. Der Aufbau gliedert sich in einen Hardware- und einen Softwareteil. Die Hardware enthält alle elektrischen Komponenten zur Ansteuerung und zur Aufbereitung der Sensorsignale für die Software. Die Bestromung des Federelementes erfolgt über eine Zweipunktregelung, die einer einstellbaren PWM (Pulse-width modulation) übergeordnet ist. Diese PWM dient zur Feineinstellung der Trafoleistung. Dadurch lässt sich ein totzeitbedingtes Überschwingen der Temperatur weitgehend reduzieren. Auf der Bedienoberfläche wurden Anzeigeelemente für die Soll- und Isttemperatur, die Kraft, den Stellweg sowie die Spannung und die PWM vorgesehen. Solltemperatur und PWM können über Schieberegler eingestellt werden.

Am Funktionsmuster wurden zunächst die grundlegenden Eigenschaften im Hinblick auf die zuverlässige Kennwerterfassung, Handhabbarkeit und Einstellmöglichkeiten in Anwendertests validiert. Besonderes Augenmerk wurde auf die Umsetzung der adaptiven Kraftanpassung gelegt, da diese Eigenschaft das größte Potenzial im Hinblick auf den Praxiseinsatz bietet. Hierzu wurden zunächst Versuchsreihen durchgeführt, in denen das FG-Federelement eine schrittweise Erhöhung um Temperaturstufen von 10 K mittels der bereitgestellten Elektronik erfahren hat. Im Diagramm in Abbildung 9 wird eine Versuchsreihe gezeigt, in welcher pro Temperaturstufe jeweils zwei komplette Stellzyklen durchlaufen wurden. Die Kraftwerte liegen bei Raumtemperatur und bei der maximalen Auslenkung zunächst bei 61,7 N. Infolge einer Temperaturerhöhung auf 80 °C steigen die max. Kraftwerte auf 127,1 N an. Die Krafterhöhung zwischen den einzelnen Temperaturstufen fällt nicht gleichmäßig aus. Dies lässt sich aber auf eine unterschiedliche Dynamik während der Übungsausführung durch den Anwender zurückführen und ist nicht systemimmanent. Zusätzlich ist zu erkennen, dass die maximale Auslenkung sich im Bereich von 700 mm bewegt und damit etwas unter dem gewünschten Stellweg liegt. Es hat sich herausgestellt, dass eine variantenreiche und sinnvolle Übungsausführung mit dem ausgeführten Stellweg möglich ist und die Lastenheit dadurch nicht unnötig beansprucht wird.

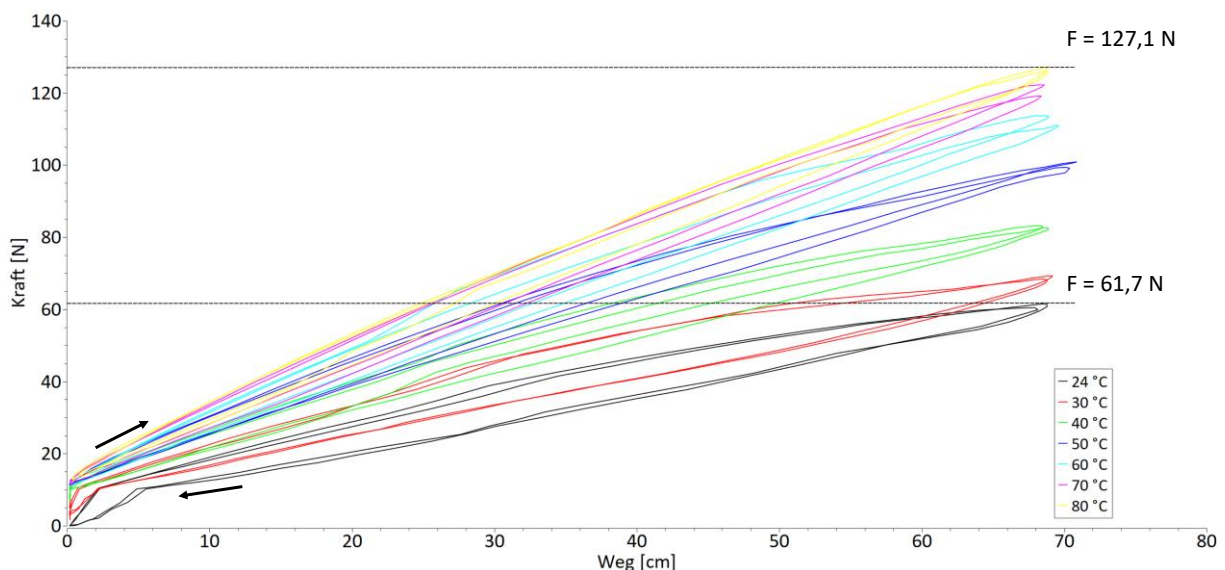


Abbildung 9: Kraft-Weg-Kurven bei verschiedenen Temperaturstufen am Funktionsmuster

Ein wichtiger Faktor für den späteren Einsatz in der Praxis ist die Zyklenstabilität der FG-Feder im Funktionsmuster. Die Eigenschaften in Bezug auf die Kraftkurve sollten sich während einer längeren Nutzungsdauer nicht signifikant ändern. Um die Eigenschaften dahingehend zu untersuchen, wurden Dauertests mit hohen Zyklenzahlen für die Ausführung der Trainingsbewegung durchgeführt. Die Bewegung wurde dabei mit Hilfe eines Industrieroboters des Herstellers Universal Robots ausgeführt, siehe Abbildung 10.

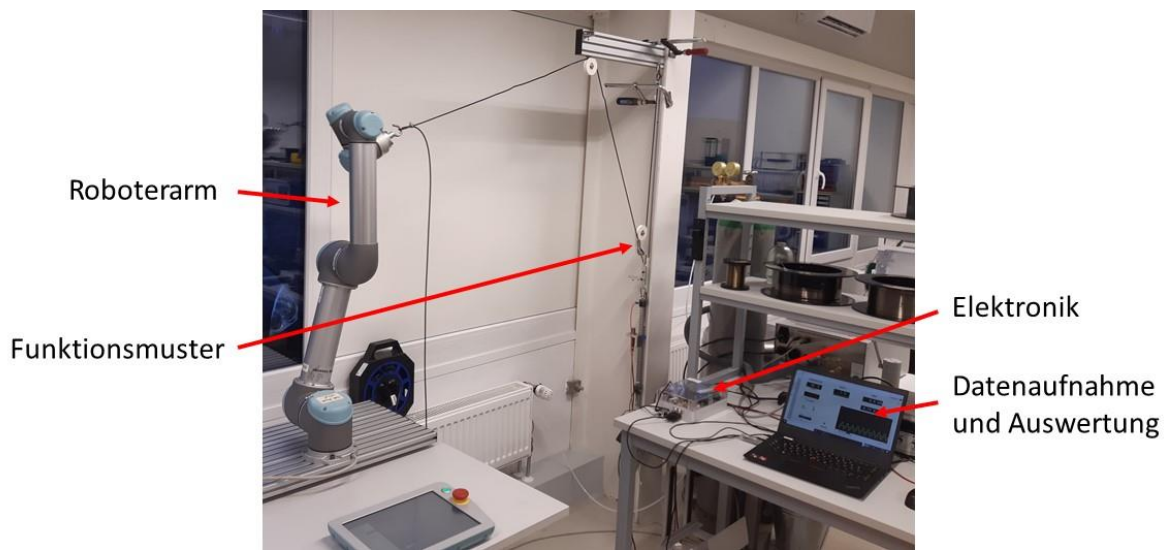


Abbildung 10: Versuchsaufbau für zyklische Untersuchungen

Der Vergleich einzelner Zyklen einer späteren Versuchsreihe ist in Abbildung 11 dargestellt. Es zeigte sich, dass bei den betrachteten Zyklen keine großen Abweichungen in Bezug auf die Kurvenform und die Maximalkräfte vorliegen.

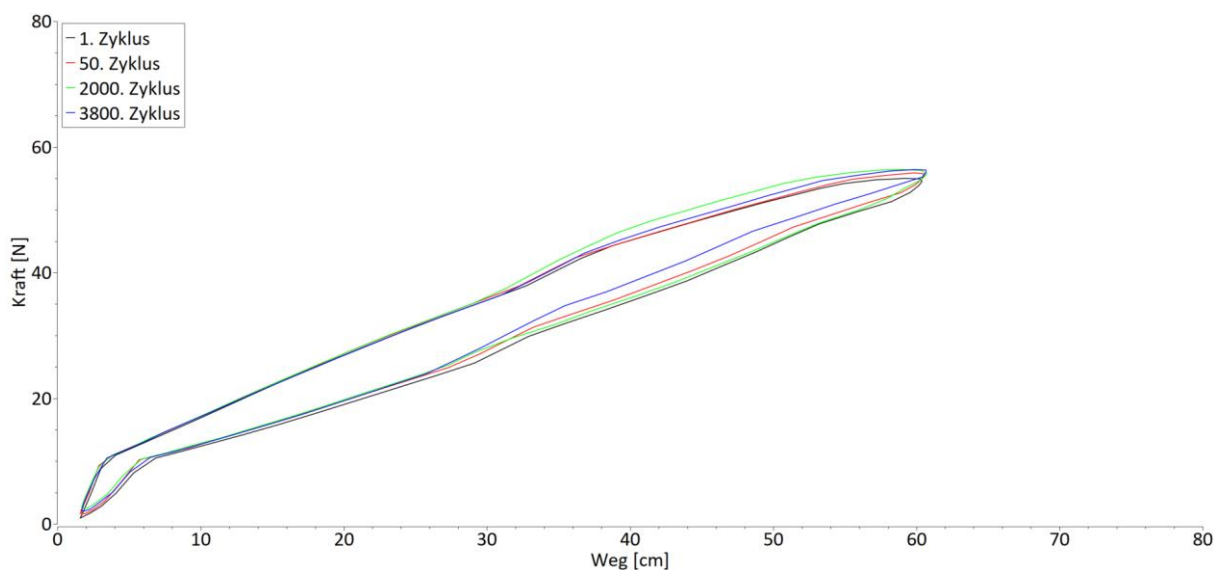


Abbildung 11: Vergleich einzelner Zyklen einer Versuchsreihe zur Zyklenstabilität

Neben der Beurteilung der technischen Eigenschaften des Funktionsmusters wurden weitere Sichtweisen durch Beratungsgespräche und Praxisversuche gemeinsam mit Experten aus dem Sport- und Gesundheitsbereich miteinbezogen. Durch Physiotherapeuten wurde die grundlegende Idee der adaptiven Kraftanpassung, die durch das Funktionsmuster praxisnah umgesetzt werden konnte, als sinnvoll für den Einsatz im Therapiealltag eingestuft. Gründe hierfür sind die flexiblen

Einsatzmöglichkeiten infolge des geringen Gerätegewichts und die Möglichkeit zur variantenreichen Übungsausführung. Das Potenzial für Verbesserungen wurde in den Praxisversuchen in Form der nicht optimalen Systemdynamik aufgezeigt. Vor allem die im Gegensatz zur Aufheizphase langsame Abkühlphase verhindert einen schnellen Wechsel zwischen verschiedenen Kraftplateaus und mindert damit die Optionen zu Kraftanpassungen während der Bewegung in der Übungsausführung.

In Zusammenarbeit mit Unternehmen des PA wurde auf der Basis des Funktionsmusters eine in Bezug auf das dargelegte Verbesserungspotenzial angepasste Konstruktion erstellt (Abbildung 12, Abbildung 13). Hierbei wurde ein kompakteres und in den mechanischen Aufbau integriertes Elektronikgehäuse vorgesehen. Des Weiteren ist die gesamte Lasteinheit in einer Einhausung mit Teleskopsystem untergebracht. In Bezug auf eine noch bessere Handbarkeit wurde die Führung der elektrischen Leitungen zur Ansteuerung der Feder und der Sensorik über ein Aufrollsystem geplant.

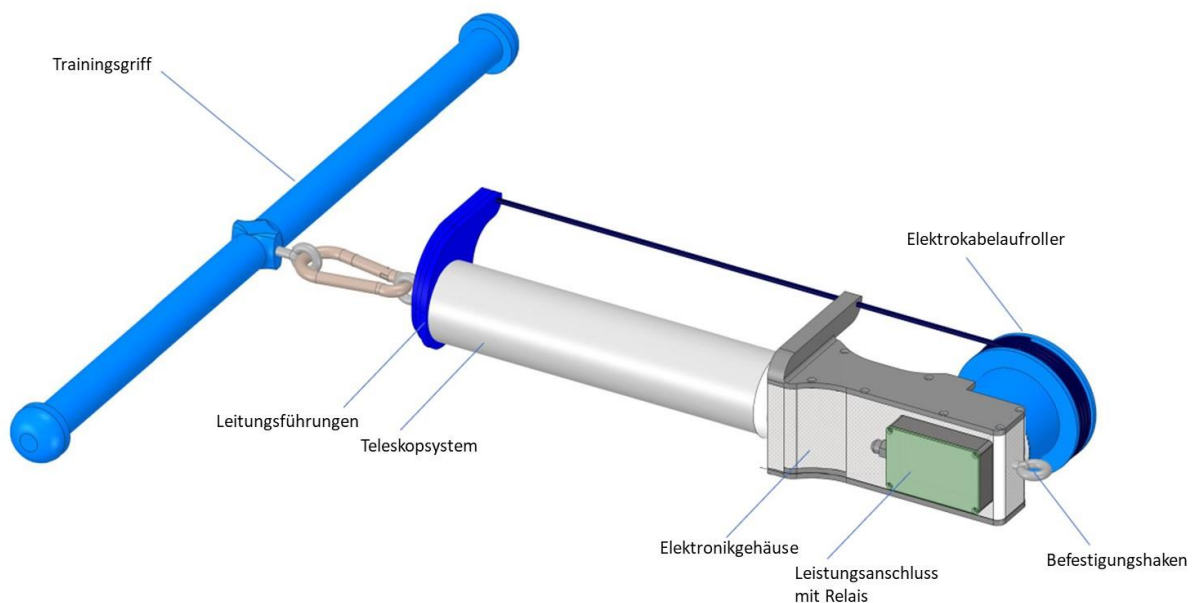


Abbildung 12: CAD Erweiterung Funktionsmuster, eingefahren

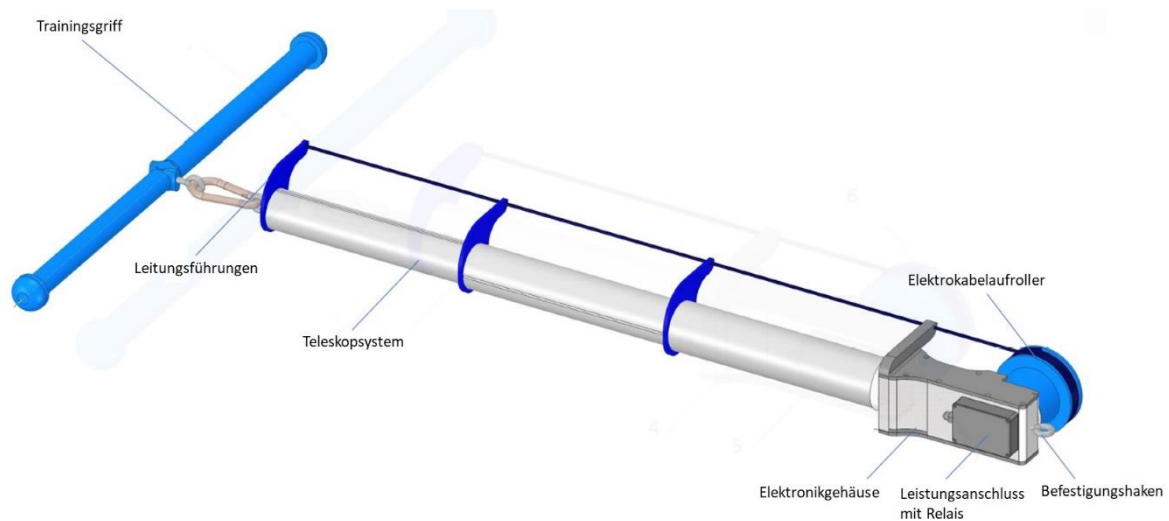


Abbildung 13: CAD Erweiterung Funktionsmuster, ausgefahren

Zusammenfassung

Elemente in Sport-Geräten zur Erzeugung und Variation von Kräften, sowie zur Einstellung der Dämpfung, werden nach Stand der Technik durch Massen (z.B. durch Gewichte) oder durch komplexe Motor-Bremssysteme realisiert. Hierbei treten physiologische und technische Nachteile in Form von hohen Gerätegewichten und hohem Bauraumbedarf, nicht optimaler Kraftkurve aufgrund fehlender adaptiver Einstellmöglichkeiten sowie hohem Betreuungsbedarf durch entsprechend geschultes Personal und damit hohen Kosten auf. Um diese Herausforderungen zu lösen, wurde in diesem Vorhaben eine neuartige Idee auf Basis von adaptiven pseudoelastischen Formgedächtnislegierungen (PE-FGL) für die Branchen der Medizintechnik und Sportgerätetechnik entwickelt.

Zu Beginn des Vorhabens wurde unter Einbezug der Ideen und Anregungen von Unternehmen aus verschiedenen Fachbereichen als Anwendungsfall die Substitution eines Kraftzuggerätes festgelegt. Als Anforderungen an das zu entwickelte Funktionsmuster wurden ein Kraftbereich bis ca. 100 N bei Raumtemperatur und ein Bewegungsbereich bis ca. 1000 mm festgelegt.

Zur Realisierung der Anforderungen standen PE-FG-Halbzeuge in Drahtform mit verschiedenen Zusammensetzungen und Kaltumformgraden zur Verfügung. An diesen wurden Zugversuche unter Einbezug der Einflussfaktoren Wärmebehandlung, Vorzyklisierung, Prüfgeschwindigkeit und Umgebungstemperatur durchgeführt.

Auf Basis der Erkenntnisse aus den Zugversuchen wurden Federelemente hergestellt und experimentell im Hinblick auf die festgelegten Anforderungen des Funktionsmusters ausgelegt.

Auf der Grundlage des zentralen Funktionselement FG-Federkomponente wurde das Funktionsmuster „Kraftzuggerät“ geplant und aufgebaut. Anschließend folgte die Validierung der grundlegenden Eigenschaften in Bezug auf die zuverlässige Kennwerterfassung, Handhabbarkeit und Einstellmöglichkeiten. Hierzu wurden Anwendertests durchgeführt. Besonderes Augenmerk wurde auf die Umsetzung der adaptiven Kraftanpassung gelegt, da diese Eigenschaft das größte Potenzial im Hinblick auf den Praxiseinsatz bietet. Zusätzlich wurde die Zyklusstabilität in Dauertests untersucht und nachgewiesen.

Neben der Beurteilung der technischen Eigenschaften des Funktionsmusters wurden weitere Sichtweisen durch Beratungsgespräche und Praxisversuche gemeinsam mit Experten aus dem Sport- und Gesundheitsbereich miteinbezogen. In Bezug auf das dargelegte Verbesserungspotenzial wurde eine angepasste Konstruktion des Funktionsmusters erstellt.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Herrn M. Eng. Fabian Hoffmann unter 02191 5921-143.

Literatur

- [1] MO – Magazin für Oberflächentechnik – 69 Jahre Kompetenz, Titelthema: Sport- und Freizeitindustrie, Ausgabe Juli/ August 2015, www.mo-oberflaeche.de
- [2] Witte, K.: Sportgerätetechnik -Entwicklung und Optimierung von Sportgeräten, Springer-Vieweg Verlag, 2013, ISBN: ISBN 978-3-642-34701-6
- [3] Baldauf, S., Vitols, K.: Branchenanalyse medizinische Rehabilitation, Wirtschaftliche Perspektiven, Arbeitsplätze und Arbeitsbedingungen in medizinischen Rehabilitationseinrichtungen, Working Paper Forschungsförderung Nr. 160, Hans Böckler Stiftung, Oktober 2019
- [4] <https://www.kernbauer.net/krafttraining/> (09.04.20)
- [5] <https://www.fitundattraktiv.de/trizeps-kabelzug-uebungen-top-5/> (09.04.20)
- [6] VDI 2248: Produktentwicklung mit Formgedächtnislegierungen, Blatt 3, Prüf- und Messmethoden, Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2017