

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. April 2022 (21.04.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/078549 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B25J 17/00 (2006.01) F16D 37/00 (2006.01)
B25J 19/00 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2021/100799
- (22) Internationales Anmeldedatum:
05. Oktober 2021 (05.10.2021)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2020 126 705.3
12. Oktober 2020 (12.10.2020) DE
- (71) Anmelder: HOCHSCHULE BREMEN KÖRPERSCHAFT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS [DE/DE]; Neustadtswall 30, 28199 Bremen (DE).
- (72) Erfinder: DIRKS, Jan-Henning; Theodor-Storm-Str. 29a, 28201 Bremen (DE). LABISCH, Susanna; Wasserweg 5, 28777 Bremen (DE). SIXT, Milan; Am Schwarzen Meer 42, 28205 Bremen (DE).
- (74) Anwalt: BOEHMERT & BOEHMERT ANWALTSPARTNERSCHAFT MBB - PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE; Patentabteilung, Hollerallee 32, 28209 Bremen (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

(54) Title: JOINT HAVING CONTROLLABLE DEGREES OF FREEDOM

(54) Bezeichnung: GELENK MIT KONTROLLIERBAREN FREIHEITSGRADEN

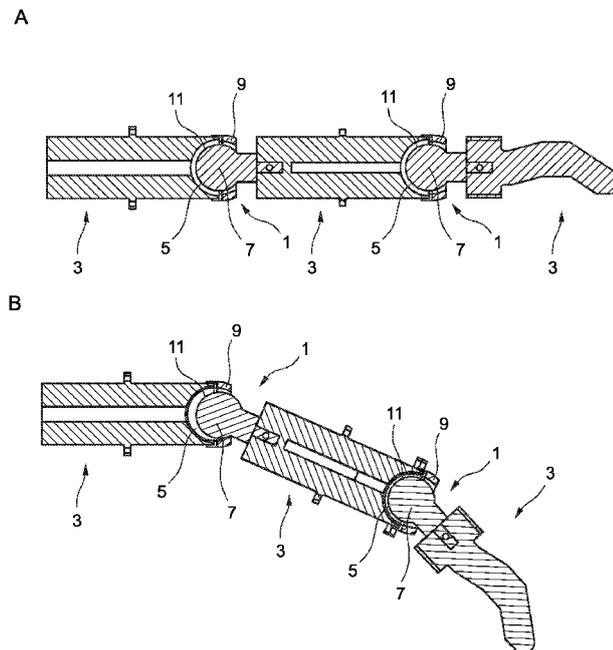


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to an adaptive joint system which comprises at least one joint (1) which has at least two rigid bodies (3) and a joint space (11), wherein the joint (1) comprises, in the joint space (11), a lubricating film having controllable viscoelastic properties, and wherein the mobility of the joint (1) can be reversibly adjusted by means of the lubricating film in that the viscosity of the lubricating film can be adjusted between at least a first viscosity and a second viscosity which is higher than the first viscosity, and the joint system can be passively held in its position.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein adaptives Gelenksystem, das mindestens ein Gelenk (1) umfasst, das zumindest zwei starre Körper (3) und einen Gelenkspalt (11) umfasst, wobei das Gelenk (1) in dem Gelenkspalt (11) einen Gleitfilm mit



WO 2022/078549 A1

HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

kontrollierbaren viskoelastischen Eigenschaften umfasst und wobei die Beweglichkeit des Gelenks (1) mittels des Gleitfilms reversibel einstellbar ist, indem die Viskosität des Gleitfilms zwischen mindestens einer ersten Viskosität und einer zweiten Viskosität, die höher als die erste Viskosität ist, einstellbar ist, und das Gelenksystem in seiner Position passiv haltbar ist.

Gelenk mit kontrollierbaren Freiheitsgraden

Die vorliegende Erfindung betrifft ein adaptives Gelenksystem, das mindestens ein Gelenk umfasst, das zumindest zwei starre Körper und einen Gelenkspalt umfasst, wobei das Gelenk in dem Gelenkspalt einen Gleitfilm mit kontrollierbaren viskoelastischen Eigenschaften umfasst und wobei die Beweglichkeit des Gelenks mittels des Gleitfilms reversibel einstellbar ist, indem die Viskosität des Gleitfilms zwischen mindestens einer ersten Viskosität und einer zweiten Viskosität, die höher als die erste Viskosität ist, einstellbar ist, und das Gelenksystem in seiner Position passiv gehalten werden kann.

Zur Konstruktion von komplexen beweglichen Strukturen ist der Einsatz von Gelenken essenziell. Klassische technische Gelenke funktionieren dabei zumeist auf dem Prinzip der Reibungsminimierung, bei gleichzeitig definierten Freiheitsgraden. Eine nachträgliche oder sogar reversible Modifikation der Freiheitsgrade ist schwer möglich. Gleichzeitig erfordert die minimierte Reibung zwischen den Strukturen eine permanente Regulierung der Position.

Zur Konstruktion von komplexen technischen Strukturen und Maschinen müssen Elemente entweder temporär oder permanent zueinander beweglich verbunden werden. Der klassische Lösungsansatz zur beweglichen Verbindung einzelner Elemente ist dabei die Nutzung von Lagern oder Gelenken. Die Form und Funktion dieser kinematischen Paare müssen hierbei im Vorfeld an die jeweils gewünschte Beweglichkeit (respektive Anzahl der Freiheitsgrade) in der fertigen Struktur angepasst werden. Dabei wird in der technischen Konstruktion oft auf erprobte und bekannte

reibungsminimierte Lager und Gelenke mit definierten Freiheitsgraden zurückgegriffen (z. B. Kugelgelenke, Scharniere, etc.).

Bei vielen einfachen Strukturen und Bewegungsmustern sind diese „klassischen“ Gelenkkonzepte mit vordefinierten Freiheitsgraden und minimierter Reibung sinnvoll und ausreichend. Die Konstruktion und gezielte Bewegung von komplexeren zwei- oder dreidimensionalen Strukturen stellen jedoch deutlich höhere Ansprüche an die Verbindung von Elementen. Insbesondere in adaptiven Systemen im Flugzeug- und Fahrzeugbau und in der Produktionstechnik werden diese Anforderungen deutlich. Hier limitieren vordefinierte Freiheitsgrade die Einsatzmöglichkeiten von sogenannten morphenden Strukturen.

Zusätzlich erfordert geringe Reibung zwischen zwei beweglichen Elementen eine kontinuierliche komplexe Regulierung der „Ist“-Position durch Überwachung der Gelenkstellung. Bei Ausfall der Regelung bzw. Energiezufuhr können solche Strukturen unkontrollierte Bewegungen durchführen und Anwender gefährden. Reibungsminimierte Gelenkssysteme sind somit keine ideale Lösung für adaptive Strukturen.

Ein ideales Gelenk für eine morphende Struktur hat demnach eine einstellbare Anzahl der Freiheitsgrade, eine reversible Limitierung der Beweglichkeit und eine Ausfallsicherung bei Versagen der Regelung.

Insbesondere im Flugzeugbau ist das Konzept der „morphenden Strukturen“ bereits seit einigen Jahren bekannt (Mabe, J. H., Ruggert, R. T., Butler, G. W. and Sellmeyer, S. (2004). “Morphing Chevrons for Take Off and Cruise Noise Reduction.”; Barbarino, S., Bilgen, O., Ajaj, R. M., Friswell, M. I. and Inman, D. J. (2011). A review of morphing aircraft. *J. Intell. Mater. Syst. Struct.* 22, 823–877). Diverse Patentanmeldungen beschreiben grundlegende Designprinzipien für z.B. bewegliche Flügelspitzen oder adaptive Oberflächen zur Beeinflussung von Grenzflächen. Mit verbesserten Möglichkeiten zur Herstellung von komplexeren Materialien (z.B. Steifigkeitsgradienten) gab es in den letzten Jahren zunehmend Konzepte zur Konstruktion von biologisch inspirierten Gelenkssystemen. Der Aufbau dieser reibungsminimierten technischen Gelenke ähnelt prinzipiell jedoch noch nahezu

ausschließlich der Struktur endoskeletaler Gelenke. Dabei werden bewegliche Elemente mithilfe einer zusätzlichen Stützstruktur (Gelenkskapsel bzw. Umhüllung des Lagers) geführt und liegen direkt aufeinander oder sind über dünne Schmierfilme verbunden.

Ein evolutionär extrem erfolgreiches Beispiel für hochfunktionale Gelenksstrukturen mit definierten und reversibel kontrollierten Freiheitsgraden kann in der Haut von *Echinodermata* (Stachelhäuter), speziell des Seesterns gefunden werden. Über den genauen Aufbau dieser vielseitigen Gelenksstrukturen ist bislang relativ wenig bekannt. Viele kleine kalzifizierte Elemente verbinden sich zu einer Art Kettenhemd und bilden so eine stabile Außenhaut. Eine Besonderheit des Skeletts vieler *Echinodermata* ist die Fähigkeit, die Beweglichkeit einzelner Elemente ohne zusätzlichen Energieaufwand gezielt einzuschränken und reversibel wieder freizugeben. Diese Eigenschaft wird beispielsweise genutzt, um Beutetiere wie Muscheln mit geringem Energieaufwand zu öffnen. Erreicht wird diese kontrollierte Beweglichkeit durch das für *Echinodermata* einzigartige Kollagengewebe. Dieses kann über sogenannte "Juxtaligamentale Cells" neuronal angesteuert werden und innerhalb sehr kurzer Zeit seine mechanischen Eigenschaften ändern. Die kalzifizierten Knöchelchen arretieren durch das Versteifen des dazwischen befindlichen, auf biophysischer Ebene veränderbaren, Kollagengewebes. Die Kollagenfasern bestehen aus Homotrimeren, welche durch verschiedene Glykane und Proteine sowie weitere noch unbekannte Versteifungsfaktoren vernetzt werden können. Demnach verändern sich nicht die Kollagenfasern selbst, sondern die sie umgebende extrazelluläre Matrix. Der Versteifungsprozess ist reversibel, erlaubt die Fixierung einer Position in einer Vielzahl von Freiheitsgraden und verbraucht nach der Arretierung, da nicht muskulär, keine Energie mehr.

Unter Betrachtung der Fähigkeiten des Seesterns wurde versucht, die im Stand der Technik vorhandenen Nachteile und Hindernisse zu überwinden.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vielzahl von Freiheitsgraden bei gleichzeitig energiearmer Positionskontrolle und Reversibilität des Versteifungsprozesses zu ermöglichen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein adaptives Gelenksystem, das mindestens ein Gelenk umfasst, das zumindest zwei starre Körper und einen Gelenkspalt umfasst, wobei das Gelenk in dem Gelenkspalt und in Kontakt mit den zwei starren Körpern einen Gleitfilm mit kontrollierbaren viskoelastischen Eigenschaften umfasst und wobei die Beweglichkeit des Gelenks mittels des Gleitfilms reversibel einstellbar ist, indem die Viskosität des Gleitfilms zwischen mindestens einer ersten Viskosität und einer zweiten Viskosität, die höher als die erste Viskosität ist, einstellbar ist, und das Gelenksystem in seiner Position passiv haltbar ist.

Durch die Veränderung der viskoelastischen Eigenschaften des Gleitfilms kann die Beweglichkeit des mindestens einen Gelenks reversibel eingestellt werden. Die Art und Anzahl der Gelenke im erfindungsgemäßen Gelenksystem ermöglicht eine nahezu freie Wahl an Freiheitsgraden. Vorteilhafterweise behält das Gelenk bei Ausfall der Kontrolle seine mechanische Stabilität und kann damit seine Position passiv halten, d.h. ohne Energiezufuhr von außen. Das erfindungsgemäße Gelenksystem ist insbesondere einfacher konstruiert, regelungs- und ausfallsicherer, leichter und vielseitiger als konventionelle Gelenkssysteme.

Ein (technisches) Gelenk ist eine bewegliche Verbindung zwischen zwei starren Körpern und weist mindestens einen Freiheitsgrad auf.

Die Viskosität des Gleitfilms ist zwischen mindestens einer ersten Viskosität und einer zweiten Viskosität, die höher als die erste Viskosität ist, einstellbar. Bevorzugt weist der Gleitfilm eine erste Viskosität, bei der der Gleitfilm flüssig ist, und/oder eine zweite Viskosität auf, die höher als die erste Viskosität ist, bei der der Gleitfilm fest ist.

Die viskoelastischen Eigenschaften des Gleitfilms können mittels der Steuerung der Zuführung von thermischer, chemischer oder elektrischer Energie kontrolliert werden. Vorzugsweise werden die viskoelastischen Eigenschaften des Gleitfilms mittels thermischer Energie kontrolliert.

Die viskoelastischen Eigenschaften des Gleitfilms können ferner auch über Magnetfelder, elektrische Felder, elektromagnetische Strahlung (UV-Licht),

Kristallisationsprozesse, Gasdruck, hydraulischen Druck oder den pH-Wert des Gleitfilms kontrolliert werden.

Die Arretierung ist vorteilhafterweise reversibel. Sie kann aber auch zumindest teilweise irreversibel sein. Irreversibilität kann beispielsweise durch eine UV-Bestrahlung, z.B. die Polymerisation von Epoxiden, oder Umkristallisierung erreicht werden.

Die Zusammensetzung und die Verteilung des Gleitfilms im Gelenkspalt sind vorzugsweise homogen. Die Zusammensetzung und die Verteilung des Gleitfilms im Gelenkspalt können aber auch unabhängig voneinander inhomogen sein. Durch eine entsprechende Auswahl der Art, Menge, Zusammensetzung (z.B. thermische Eigenschaften) und der Verteilung des Gleitfilms können so innerhalb eines Gelenks mit geringer externer Steuerung komplexe Freiheitsgrade erreicht werden. So kann beispielsweise bei einer einzigen Gelenktemperatur eine zusammengesetzte Gleitfilmschicht an verschiedenen Stellen unterschiedliche Viskositäten aufweisen, wodurch eine kontrollierte und komplexe Beweglichkeit des Gesamtgelenks entsteht. Dies kann z.B. erreicht werden durch einen „zellulären“ Aufbau der Gleitfilmschicht, bei welcher unterschiedliche Gleitfilmmaterialien ohne Durchmischung verwendet werden.

Gleiches kann auch durch Gelenkmaterialien mit unterschiedlichen thermischen oder physikalischen Eigenschaften erreicht werden. So kann sich z.B. ein Teil des Gelenkspalts schneller erwärmen und beweglich werden, während ein anderer Teil des Gelenks eine weiterhin erhöhte Viskosität aufweist. Dies kann erreicht werden durch zum Beispiel kontrollierte lokale Erhitzung, unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit der verwendeten Materialien und/oder kontrollierte Steuerung der Spaltdicke.

Der Gleitfilm mit kontrollierbaren viskoelastischen Eigenschaften umfasst vorzugsweise ein Polymer, ein Öl, ein Fett, ein Wachs, eine Suspension, ein Festschmierstoff, flüssiges Metall oder Mischungen davon. Das Polymer kann ein Thermoplast oder ein elektroaktives Polymer sein.

Bevorzugte geeignete Thermoplaste sind Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polyamide (PA), Polycaprolacton (PCL), Polylactat (PLA), Poly(meth)acrylate, wie z.B. Polymethylmethacrylat (PMMA), Polycarbonat (PC), Polyethylenterephthalat (PET), Polyolefin, insbesondere Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyetheretherketon (PEEK) und Polyvinylchlorid (PVC) und Mischungen davon. Polycaprolacton ist besonders bevorzugt.

Bevorzugte elektroaktive Polymere (EAP) sind elektroaktive thermoplastische Polymere aus der Gruppe der ionischen EAPs, z.B. leitfähige Polymere, ionische Gele, ionische Hydrogele, ionische Metall-Polymer-Komposite, ionische CNT-Komposite und Mischungen davon, sowie aus der Gruppe der elektronischen EAPs, z.B. ferroelektrische Polymere, elektrostriktive Polymere, elektrostriktive Graft-Elastomere, Flüssigkristall-Elastomere und dielektrische Elastomere.

Bevorzugte Öle sind alle Arten von tribologisch-geeigneten Schmierölen. Besonders bevorzugt geeignet sind Schmieröle mit einer nicht-linearen Änderung der Viskosität-Temperatur-Beziehung und einem geringen Viskositätsindex VI (nach DIN ISO 2909). Hierzu gehören bevorzugt mineralische Öle (Paraffine, Naphthene, Aromaten) und synthetische Öle (Polyetheröle, Carbonsäureester, Esteröle, Phosphorsäureester, Siliconöle und Halogenkohlenwasserstoffe). Weiterhin geeignet sind tierische und pflanzliche Öle.

Bevorzugte Fette sind alle Arten von tribologisch-geeigneten Schmierfetten mit einer temperaturabhängigen Fließgrenze. Besonders bevorzugt geeignet sind Fette aus der Gruppe der Natriumfette, Lithiumfette, Calciumfette, Aluminiumfette, Bariumfette und Komplexfette.

Bevorzugte Suspensionen sind alle Arten von tribologisch geeigneten mono-, iso- und polydispersen kolloidalen Stoffgemischen aus den Gruppen der Pasten, Gele und Flüssigkristalle mit einem flüssigen Dispersionsmedium und einer gasförmigen, festen oder flüssigen dispersen Phase. Besonders bevorzugt sind Emulsionen und Mikroemulsionen. Das Dispersionsmedium kann bevorzugt Wasser oder besonders bevorzugt alle Arten der in diese Text genannten Öle, Fette, Wachse und Schmierstoffe umfassen. Die disperse Phase kann alle in diesem Text genannten Feststoffe enthalten.

Besonders bevorzugt sind zudem Minerale aus der Gruppe der Silikate, z.B. Glimmer, Tonminerale, Amphibole, Granat, Olivin, Pyroxene und Quarz. Bevorzugt sind Partikelgrößen zwischen 0.05 und 2 mm. Ganz besonders bevorzugt sind Partikelgrößen zwischen 0.1 und 1 mm. Am meisten bevorzugt sind Partikelgrößen zwischen 0.4 und 0.8 mm.

Bevorzugte Festschmierstoffe sind temperaturabhängige Schmierstoffe aus den Gruppen der Dichalkogenide der Übergangsmetalle, z.B. Molybdänsulfid; Graphit, Graphitfluorid, hexagonales Bornitrid und Metallhalogenide, oxidische und fluorhaltige Verbindungen der Übergangs- und Erdalkalimetalle, z.B. Bleioxid, Molybdänoxid, Wolframoxid, Zinkoxid, Cadmiumoxid, Kupferoxid, Titandioxid, Calciumfluorid, Strontiumfluorid, Ceriumfluorid, Antimontrioxid, Lithiumfluorid, Natriumfluorid; und weiche Metalle, z.B. Blei, Indium, Silber und Zinn.

Bevorzugte Wachse sind natürliche, tierische, pflanzliche, mineralische, fossile, synthetische oder teilsynthetische Wachse und Mischungen davon, wie z.B. Stearin, Kerzenwachs oder Paraffin.

Gelenk

Das erfindungsgemäße Gelenksystem umfasst mindestens ein Gelenk. Das mindestens eine Gelenk steht in Kontakt mit dem Gleitfilm. Der Gleitfilm befindet sich vorteilhafterweise im Gelenkspalt. Durch die Erhöhung der Viskosität des Gleitfilms wird das mindestens eine Gelenk arretiert. Durch die Absenkung der Viskosität des Gleitfilms wird das mindestens eine Gelenk beweglich. Das Gelenk wird dadurch innerhalb seiner konstruktionsbedingten Grenzen frei beweglich. Durch die Kombination von Gelenk und Gleitfilm ist es möglich, die Beweglichkeit reversibel zu limitieren. Ferner ist die Arretierung des Gelenks auch dann gewährleistet, wenn z.B. elektronische Steuerungssysteme nicht mehr reagieren, da die Struktur durch den Gleitfilms mechanisch in ihrer Position fixiert ist, d.h. passiv ihre Position halten kann.

In einer Ausführungsform weist das Gelenk mindestens ein Heizelement auf, mittels derer der Gleitfilm erwärmt werden kann, sodass sich dessen viskoelastischen

Eigenschaften verändern. Die Temperaturregelung kann mittels eines Mikrocontrollers und Temperatursensoren, z.B. DS18B20, erfolgen.

Ein erfindungsgemäßes Gelenkssystem mit zwei oder mehr Gelenken kann als kinematische Kette betrachtet werden. Bevorzugt kann ein erfindungsgemäßes Gelenkssystem bzw. eine kinematische Kette mehr als 3, mehr als 4, mehr als 5 Gelenke umfassen. Besonders bevorzugt umfasst das erfindungsgemäße Gelenkssystem 2-20 Gelenke, ganz besonders bevorzugt 3-10 Gelenke, am meisten bevorzugt 4-8 Gelenke. Durch die Kombination mehrerer Gelenke lassen sich beliebige ein- bis dreidimensionale kinematischen Ketten mit unabhängig voneinander einstellbaren kontrollierbaren Freiheitsgraden erstellen.

Die Gelenke können unabhängig voneinander ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Kugelgelenk, Scharniergelenk, Drehgelenk, Schubgelenk, Schraubgelenk, Plattengelenk, Sattelgelenk, Eigelenk, Zapfengelenk und Drehschubgelenk.

Das Gelenkssystem und/oder die Gelenke können aus Kunststoff, Holz, faserverstärkten Kompositen, Kohlenstofffasern, Metall, Metalllegierungen oder Keramikwerkstoffen hergestellt sein.

Geeignete Kunststoffe sind alle Arten von Kunststoffen mit für die jeweilige Anwendung ausreichender mechanischer Belastbarkeit. Hierzu gehören duroplastische und thermoplastische Kunststoffe sowie Elastomere. Besonders geeignet sind Thermoplaste aus den Gruppen der Acrylnitril-Butadien-Styrole (ABS), Polyamide (PA), Polylactate (PLA), Polymethylmethacrylate (PMMA), Polycarbonate (PC), Polyethylenterephthalate (PET), Polyolefine (PE, PP), Polystyrole (PS), Polyetheretherketone (PEEK) und Polyvinylchloride (PVC) sowie Mischungen daraus. Weiterhin besonders geeignet sind belastbare Duroplaste aus den Gruppen der Polyester, Polyurethane, Cyanat-Ester, Aminoplasten und Phenoplasten.

Geeignete Metalle sind alle Arten von Metallen, die entsprechend der mechanischen Anforderungen des Gelenks zu bearbeiten sind und über für die jeweilige Anwendung geeignete mechanische Eigenschaften verfügen. Besonders geeignet sind Metalle mit

kontrollierbarer und spezifischer Wärmeleitfähigkeit. Hierzu zählen Aluminium, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Eisen, Chrom, Zink, Zinn, Cäsium, Wolfram, Osmium, Lithium und Blei.

Geeignete Metalllegierungen sind alle Arten von Eisen- und Nichteisen-Legierungen mit für die jeweilige Anwendung ausreichenden mechanischen und thermischen Eigenschaften. Besonders geeignet sind Stahl, Messing, Bronze, Amalgame, Goldlegierungen sowie Formgedächtnislegierungen und Heuslersche Legierungen. Weiterhin geeignet sind alle Arten von Pseudolegierungen, welche durch Sinterprozesse beispielsweise im 3D-Druck entstehen.

Geeignete Keramikwerkstoffe sind alle Keramiken mit für die jeweilige Anwendung geeigneten mechanischen und thermischen Eigenschaften. Insbesondere geeignet sind alle Arten von anorganischer, nicht-metallischer und polykristalliner technischer Keramik aus den Gruppen der Oxid-Keramiken, z.B. Aluminiumoxid, Magnesiumoxid, Zirkoniumoxid, Titandioxid und Mischungen davon (Mulit, Piezokeramiken). Weiterhin geeignet sind Dispersionskeramiken (ZTA) und Nicht-Oxid-Keramiken (Carbide, Nitride, Boride, Silicide).

Geeignete Kompositwerkstoffe sind alle Arten von keramischen, polymeren, mineralischen, biologischen und metallischen Verbundwerkstoffen, welche für die jeweilige Anwendung geeignete mechanische Eigenschaften aufweisen. Besonders geeignet sind Teilchenverbundwerkstoffe, Faserverbundwerkstoffe aus den Gruppen der Kurzfaserverbundwerkstoffe, Langfaserverbundwerkstoffe oder Endlosfaserverbundwerkstoffe (CFK, GFK, AFK, NFK, WPC), Schichtverbundwerkstoffe, Durchdringungsverbundwerkstoffe sowie Strukturverbundwerkstoffe.

In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform können das Gelenksystem und/oder die Gelenke mittels 3-D-Druckverfahren hergestellt werden. Ferner können die Gelenke Gelenkkapseln und Gelenkpfannen umfassen. Die Gelenkkapseln können beispielsweise einen Durchmesser von 20 –40 mm haben, vorzugsweise 25-35 mm aufweisen. Die Gelenkkapseln können vorzugsweise Kupfer oder Silber enthalten oder aus Kupfer oder Silber bestehen. Zur Verbesserung der Haft- und Gleiteigenschaften des Gleitfilms können Gelenkkapsel und Gelenkkopf unterschiedliche Rauigkeiten aufweisen.

Das erfindungsgemäße Gelenksystem kann mindestens einen Aktuator umfassen.

Das erfindungsgemäße Gelenksystem kann mindestens einen Sensor umfassen.

Das erfindungsgemäße Gelenksystem kann eine Umhüllung und/oder Abdichtung umfassen, welche ein Auslaufen des Gleitfilms verhindern.

Verwendung

Das erfindungsgemäße Gelenksystem kann vorzugsweise in der Robotik, der Fahrzeugtechnik, dem Schiffbau, der Produktionstechnik und der Luft- und Raumfahrttechnik, z.B. dem Flugzeugbau, verwendet werden. Insbesondere eignet es sich für die Verwendung in morphenden Strukturen im Bereich der Aerodynamik, z.B. Flugzeuge oder Rotoren von Windkraftanlagen.

Das erfindungsgemäße Gelenkssystem eignet sich insbesondere zur kurz- und mittelfristigen Anpassung der dreidimensionalen Form von Flugzeugteilen, wie z.B. Tragflächen und Leitwerken. Adaptive Strukturen, wie sie das erfindungsgemäße Gelenkssystem ermöglicht, führen in diesen Anwendungsbereichen zu erhöhter Treibstoffeffizienz, verringertem Lärm und verbesserter Flugsicherheit. Das erfindungsgemäße Gelenksystem erfüllt in hohem Maße die Anforderungen an solche Flugzeugteile, wie die Einfachheit durch direkt bewegte Elemente, Redundanz durch viele gleichwertige Verbindungselemente und Ausfallsicherheit durch Aufrechterhaltung der Funktion auch nach Beschädigung eines Elements. Dabei wird insbesondere die Kontrolle der Beweglichkeit der Elemente ermöglicht.

Die adaptive Verformbarkeit des erfindungsgemäßen Gelenkssystems ermöglicht dessen Verwendung in Rotorblättern, Turbinenschaufeln oder Schrauben von konventionellen Schiffsantrieben und einen damit verbundenen Effizienzgewinn. Insbesondere ermöglicht das erfindungsgemäße Gelenkssystem die Optimierung der Blattgeometrie im laufenden Betrieb.

Sämtliche Kombinationen von bevorzugten Bereichen oder von Ausführungsformen sind besonders bevorzugt.

Beschreibung der Figuren und Zeichnungen

Fig. 1 zeigt die Querschnittsansicht der CAD-Konstruktion des in Beispiel 1 verwendeten Prototypens samt zweier Kugelgelenke **1**, die die Gelenkarme **3** verbinden. Die Kugelgelenke **1** bestehen jeweils aus den Gelenkkapseln **5** und den Gelenkköpfen **7** und sind mit den Manschetten **9** gesichert. Zwischen den Gelenkkapseln **5** und den Gelenkköpfen **7** befindet sich jeweils der Gelenkspalt **11**, der mit dem Gleitfilm gefüllt ist.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung von Ausführungsbeispielen.

Ausführungsbeispiele

Beispiel 1 - Gelenkssystem mit zwei Gelenken

Gelenkssystem

Das Kernelement von Beispiel 1 ist ein in einer Gelenkkapsel befindlicher Gleitfilm, welcher seine viskoelastischen Eigenschaften durch Zuführung von Wärme ändert. Diese Materialschicht verbindet die Gelenkkapsel mit dem Gelenkkopf. Über Heizelemente und Temperatursensoren kann eine gezielte Temperatur in der Gelenkkapsel eingestellt werden. Die veränderte Viskosität des Gleitfilms führt zu einer Beweglichkeit des Gelenkes, indem Kopf und Kapsel aneinander abgleiten können. Das Aushärten des Gleitfilms führt zu einer passiven Arretierung des in der Kapsel befindlichen Kopfes. Der Einsatz eines Materials veränderbarer Viskosität, als verbindendes Element des Gelenkes, ermöglicht es somit, die Beweglichkeit reversibel zu limitieren. Über Seilzüge kann der Prototyp gebeugt oder gestreckt werden.

Der Prototyp gemäß Beispiel 1 besteht aus zwei unabhängig voneinander kontrollierbaren Kugelgelenken, welche die Verbindung zu drei rohrförmigen Strukturen bilden. Diese werden im Folgenden als Gelenkarme bezeichnet. Die Köpfe des Kugelgelenks werden über Manschetten am Herausrutschen aus der Gelenkkapsel

gehindert. Die Bauteile wurden in Autodesk Fusion 360 (Autodesk Inc., Version 2020) konstruiert.

Die STL-Dateien der Elemente wurden mit der Open Source Slicing-Software Ultimaker Cura (Version 4.5) für den 3D-Druck vorbereitet. Gedruckt wurde mit dem Creality Ender 3 Pro (Shenzhen Creality 3D Technology Co., LTD) mit einer Düsenweite von 0,4 mm. Das Filament ist PLA (Polylactat), welches mit einer Schichthöhe von 0,16 mm bei einer Temperatur von 200 °C gedruckt wurde.

In den Gelenkarmen 2 und 3 wurden die Gelenkkapseln und damit die funktionellen Komponenten des Prototyps eingelassen. Die Heizelemente wurden für ein gleichmäßiges Erhitzen der Kapsel von hinten an die Kapsel verlegt. Im Gelenkarm 1 wurde das Heizelement entlang der Zylinderachse von hinten bis zur Kapsel geführt. Aufgrund der Position des Gelenkarmes 2 wurde das Heizelement durch eine Aussparung in das Innere des Zylinders verlegt. Beide Gelenkarme haben außerdem noch an gleicher Position eine Aussparung, um einen Zugang zur Gelenkkapsel für die Temperatursensoren zu ermöglichen. Die Gelenkarme verfügen über jeweils zwei Laschen, um einen Seilzug entlang der Längsachse zu führen. Dieser wurde am Gelenkarm 3 befestigt und ermöglicht die Bewegung des Armes.

Die Gelenkkapseln können den Gleitfilm durch Heizelemente in verschiedene Viskositätszustände bis zum festen Zustand bringen. Aufgrund seiner Wärmeleitfähigkeit sind die Gelenkkapseln aus Kupfer. Der mittlere Gelenkspalt beträgt 2 mm. Kupferrohre (Länge: 2 und 3 cm) dienen als Fassung der Heizelemente und Temperatursensoren und erhöhen die Kontaktfläche der Heizelemente und der Sensoren. Das Kupferrohr des Heizelementes wurde mit einer Lötlampe (CFH Kartuschenlötgerät Lötmeister PZ 5000, toom Baumarkt GmbH, Köln, Deutschland) an die konvexe Seite der Kupferhalbkugel gelötet. Das Kupferrohr der Temperatursensoren wurde mit Sekundenkleber (UHU blitzschnell MINIS, Dirk Rossmann GmbH, Burgwedel, Deutschland) an der Kupferkapsel befestigt. Die Sensoren sollen bestmöglich die Temperatur innerhalb der Kupferkapsel erfassen, weshalb sie nicht direkt an den Heizelementen platziert wurden. Zur weiteren Verbesserung der Wärmeübertragung zwischen den Kupferrohren und Heizelementen und Temperatursensoren wurden diese mit Wärmeleitpaste gefüllt. Die Gelenkarme 1

und 2 wurden mit einem Multifunktionswerkzeug (Dremel 3000, Dremel, Racine, USA) bearbeitet, um die Kupferkapseln passgenau in die Aussparung der Gelenkarme einsetzen zu können. Zusammengesetzt hat der Aufbau eine Länge von 33,5 cm. Ausgehend von einer gestreckten Position kann jedes Gelenk limitiert durch die Manschette in einem 360° Radius um 24° knicken.

Elektronik und Ansteuerung

Jedes Heizelement wurde über MOSFETs an das Netzgerät und einen Arduino angeschlossen. Über diese Verschaltung konnte ausreichend Strom fließen, um die Heizelemente zu erhitzen ohne den Arduino zu beschädigen. Über das Gate des MOSFET wurde der Stromfluss reguliert und so eine Modulation zur Regelung der Temperatur ermöglicht. Das Netzgerät hatte eine eingestellte Spannung von 10 Volt, die Stromstärke in Ampere variierte durch den PID-Regler. Die Temperatursensoren wurden mit dem Arduino über eine Steckplatine verschaltet.

Der Arduino bildete die zentrale Ansteuerung der elektronischen Bauteile. Über den Mikrocontroller wurden mittels angeschlossener Temperatursensoren und Heizelemente gewünschte Temperaturen eingestellt und geregelt. Die Temperatursensoren maßen kontinuierlich die aktuelle Temperatur. Durch eine Pulse Width Modulation wurde eine Temperatur über die MOSFETs eingestellt. Diese konnte in den seriellen Monitor des Arduino eingegeben werden, welche dann mit der aktuellen Temperatur verglichen wurde. Um die Temperaturkurve zu glätten, wurde ein PID-Regler implementiert.

Gleitfilm mit kontrollierbaren viskoelastischen Eigenschaften

Insgesamt wurden in Beispiel 1 drei verschiedenen Materialien verwendet, die als Gleitfilm die Gelenkarme verbinden. Diese Materialien sind:

- Coolmorph (Thermoworx Ltd, Ardrossan, Großbritannien), angegebener Schmelzpunkt 42°C ;

- Polymorph (Thermoworx Ltd, Ardrossan, Großbritannien), angegebener Schmelzpunkt 62 °C; und
- Kerzenwachs (Rustikstumpen weiß 80 x 68 mm, Dirk Rossmann GmbH, Burgwedel, Deutschland), angegebener Schmelzpunkt ca. 45 °C.

In Vorversuchen wurde geprüft ob die Materialien für die Anwendung in der Gelenkkapsel geeignet sind. Im ausgehärteten Zustand konnten Belastungen des Armes von 5 N gehalten werden.

Für die Charakterisierung des Gelenkes wurden jeweils alle drei Materialien untereinander verglichen. Um eine Vergleichbarkeit der Experimente zu gewährleisten, wurden alle Materialien mit dem gleichen Gelenk, zwischen Gelenkarm 2 und 3, getestet. Das Befüllen der Kapsel und der Zusammenbau des Gelenkarmes waren ebenfalls identisch. Der Gelenkarm 2 wurde in einer vertikalen Position in einem Bohrschraubstock (Güde GmbH & Co KG, Wolpertshausen, Deutschland) befestigt und anschließend die Kapsel zur Hälfte mit dem jeweiligen Material befüllt. Die Gelenkkapsel wurde kontinuierlich erhitzt bis die Polymere transparent und viskos waren, beziehungsweise das Wachs verflüssigt war. Danach wurde der Kopf 2 in die Kapsel gesetzt und die Heizelemente ausgestellt. Nach dem Aushärten der Materialien wurde der Gelenkarm 3 montiert. Alle Versuche wurden jeweils mit den drei ausgewählten Materialien durchgeführt. Der Stichprobenumfang für jedes getestete Material betrug $n = 10$.

Temperatur-Zeit-Winkel-Messung

Verschiedene Parameter zur Charakterisierung des Gelenkes im Prozess des Aufheizens wurden ermittelt. Der Gelenkarm wurde in einem Bohrschraubstock horizontal arretiert und so positioniert, dass der Gelenkarm 3 über der Tischkante abknicken konnte. Ein auf dem Gelenkarm 3 befestigter Laserpointer (R400 Presenter, Logitech international S.A., Apples, Schweiz) gab durch die synchrone Bewegung, die Position des Armes wieder. In zwei Metern Entfernung traf der Laser auf eine vertikale Leinwand (Holzplatte) mit befestigtem metrischem Maßband. Eine Kamera (iPhone 8, 30 fps, Apple Inc, Cupertino, Kalifornien, USA) nahm den Laser auf der Leinwand auf.

Über den seriellen Monitor des Arduino wurden dabei die Temperatur, die Zeit, und der Output des Arduino aufgenommen. Der Gelenkarm 3 wurde einschließlich des Laserpointers mit einem Gewicht von 100 g belastet. Aufgrund der Hebelarme $r_1 = 3,2$ cm und $r_2 = 9,5$ cm ergab sich durch den allgemeinen Momentensatz ein Moment von 0,07 Nm.

Die Temperatur wurde kontinuierlich auf 50 °C erhöht bis das Gelenk vollständig abknickte. Die Aufnahme der Kamera lief während dieser gesamten Zeit. Anschließend wurde das Gelenk in die gestreckte Ausgangsposition zurückgesetzt und die Heizelemente ausgestellt. Ein erneuter Versuch wurde erst nach Abkühlen der Temperatur auf unter 21 °C durchgeführt.

Der Output des Arduino korrelierte linear mit dem fließenden Strom. Der maximale Output von 255 entsprach einer Stromstärke von 0,66 Ampere. Der Energieverbrauch des Gelenkes mit einem bestimmten Material wurde definiert als die benötigte Energieleistung, um das Gelenk von 21 °C zum vollständigen Abknicken zu bringen. Die elektrische Leistung wurde über $P = U \cdot I$ berechnet. Dabei ist P die elektrische Leistung in Watt und berechnet sich aus der Spannung U in Volt und der Stromstärke I in Ampere. Die Leistung über die Zeit und damit der ermittelte Energieverbrauch wurde über $J = P \cdot s$ berechnet. Die verbrauchte Energie in Joule berechnet sich aus der Leistung P in Watt und der Zeit in Sekunden.

Ergebnisse

Es konnte festgestellt werden, dass die Temperatur über der Zeit linear ansteigt, solange die Gelenkkapsel kontinuierlich geheizt wird. Die folgenden Mittelwerte und Standardabweichungen beziehen sich auf die Temperatur bei einer Winkeländerung von 0,5°.

Coolmorph ($39,9 \pm 0,7$ °C) knickt innerhalb eines schmaleren Temperaturbereichs als Polymorph ($46 \pm 2,2$ °C) und Wachs ($29,2 \pm 2,3$ °C) ab. Im Vergleich knickt Polymorph in den höchsten Temperaturbereichen ab, Wachs in den niedrigsten. Der Temperaturbereich von Coolmorph liegt dazwischen.

Kriechversuch

Zur Überprüfung, ob ein Kriechverhalten der Materialien bei bestimmten Temperaturen vorlag, wurde die Winkeländerung des Gelenkes über einen Zeitraum von einer Stunde getrackt. Dafür wurde der gleiche Versuchsaufbau und auch die gleiche Auswertung der Daten wie zur Temperatur-Zeit-Winkel-Messung genutzt.

Statt einer kontinuierlichen Temperaturerhöhung wurden konstante Temperaturen eingestellt. Diese Temperaturen wurden gewählt, um einen Sicherheitsbereich zu definieren, in dem bei einer kontinuierlichen Temperatur kein Abknicken des Gelenkes stattfindet. Bestimmt wurden diese als 90%, 95% und 98% der Temperatur bei der eine Winkeländerung von $0,1^\circ$ festzustellen ist. Die Temperatur bei der Winkeländerung von $0,1^\circ$ wurde wie bei der Temperatur-Zeit-Winkel-Messung bestimmt. Danach wurde die Temperatur kontinuierlich um 1°C erhöht bis 10 Messungen aufgenommen wurden. Die Kamera nahm alle 30 Sekunden ein Bild auf.

Ergebnisse

Bei Coolmorph und Polymorph wurde keine Winkeländerung gemessen. Ebenso konnte bei der 90% Messung bei Wachs keine Änderung festgestellt werden. Nur bei Wachs konnten größere Winkeländerungen von bis zu 12° festgestellt werden, die Polymere bewegten sich in Bereichen $< 0,2^\circ$.

Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Ansprüchen sowie in den Zeichnungen offenbarten Merkmale können sowohl einzeln als auch in jeder beliebigen Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Patentansprüche

1. Adaptives Gelenksystem, das mindestens ein Gelenk umfasst, das zumindest zwei starre Körper und einen Gelenkspalt umfasst,

wobei das Gelenk in dem Gelenkspalt und in Kontakt mit den zwei starren Körpern einen Gleitfilm mit kontrollierbaren viskoelastischen Eigenschaften umfasst und wobei die Beweglichkeit des Gelenks mittels des Gleitfilms reversibel einstellbar ist, indem die Viskosität des Gleitfilms zwischen mindestens einer ersten Viskosität und einer zweiten Viskosität, die höher als die erste Viskosität ist, einstellbar ist, und das Gelenksystem in seiner Position passiv haltbar ist.
2. Adaptives Gelenksystem nach Anspruch 1, das zwei oder mehr Gelenke umfasst.
3. Adaptives Gelenksystem nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die viskoelastischen Eigenschaften des Gleitfilms mittels der Steuerung der Zuführung von thermischer, chemischer oder elektrischer Energie, vorzugsweise thermischer Energie, oder mittels Magnetfelder, elektrischer Felder, elektromagnetische Strahlung (UV-Licht), Kristallisationsprozessen, Gasdruck, hydraulischem Druck oder des pH-Werts des Gleitfilms kontrollierbar sind.
4. Adaptives Gelenksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Gleitfilm inhomogen im Gelenk verteilt ist.
5. Adaptives Gelenksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Gleitfilm mit kontrollierbaren viskoelastischen Eigenschaften ein thermoplastisches Polymer, ein Öl, ein Fett, ein Wachs, eine Suspension, ein Festschmierstoff, flüssiges Metall oder Mischungen davon umfasst.
6. Adaptives Gelenksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Gleitfilm mit kontrollierbaren viskoelastischen Eigenschaften ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polyamide (PA), Polycaprolacton (PCL), Polylactat (PLA), Poly(meth)acrylat, wie z.B. Polymethylmethacrylat (PMMA), Polycarbonat (PC), Polyethylenterephthalat

(PET), Polyolefin, insbesondere Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyetheretherketon (PEEK) und Polyvinylchlorid (PVC) und Mischungen davon, oder

mindestens ein elektroaktives Polymer (EAP) umfasst, vorzugsweise ein ionisches EAP oder ein elektronisches EAP.

7. Adaptives Gelenksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Gleitfilm mit kontrollierbaren viskoelastischen Eigenschaften

mindestens ein Schmieröl, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus mineralischen Ölen, synthetischen Ölen, tierischen Ölen, pflanzlichen Ölen und Mischungen davon, oder

mindestens ein Schmierfett, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Natriumfetten, Lithiumfetten, Calciumfetten, Aluminiumfetten, Bariumfetten und Komplexfetten, oder

mindestens einen Festschmierstoff, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Dichalkogeniden der Übergangsmetalle, Graphit, Graphitfluorid, hexagonalem Bornitrid, Metallhalogeniden, oxidischen und fluorhaltigen Verbindungen der Übergangs- und Erdalkalimetalle, und Metalle, die weicher als die umhüllende Gelenkstruktur sind, oder

mindestens ein Wachs umfasst, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus mineralischen Wachsen, synthetischen Wachsen, tierischen Wachsen, pflanzlichen Wachsen, natürlichen Wachsen, fossilen Wachsen, teilsynthetischen Wachsen und Mischungen davon.

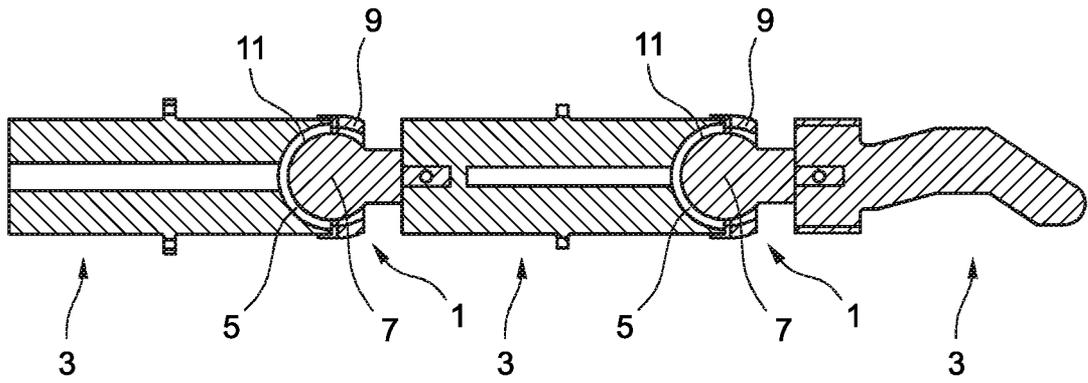
8. Adaptives Gelenksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das mindestens ein Heizelement umfasst.

9. Adaptives Gelenksystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das mindestens eine Gelenk unabhängig voneinander ausgewählt ist aus der

Gruppe bestehend aus Kugelgelenk, Scharniergelenk, Drehgelenk, Schubgelenk, Schraubgelenk, Plattengelenk, Sattelgelenk, Eigelenk, Zapfengelenk und Drehschubgelenk.

10. Verwendung des adaptiven Gelenksystems nach einem der vorhergehenden Ansprüche in der Robotik, der Fahrzeugtechnik, dem Schiffbau, der Produktionstechnik oder der Luft- und Raumfahrttechnik, insbesondere zur kurz- und mittelfristigen Anpassung der dreidimensionalen Form von Flugzeugteilen, wie z.B. Tragflächen und Leitwerken, oder in Rotorblättern, Turbinenschaufeln oder Schrauben von konventionellen Schiffsantrieben.

A



B

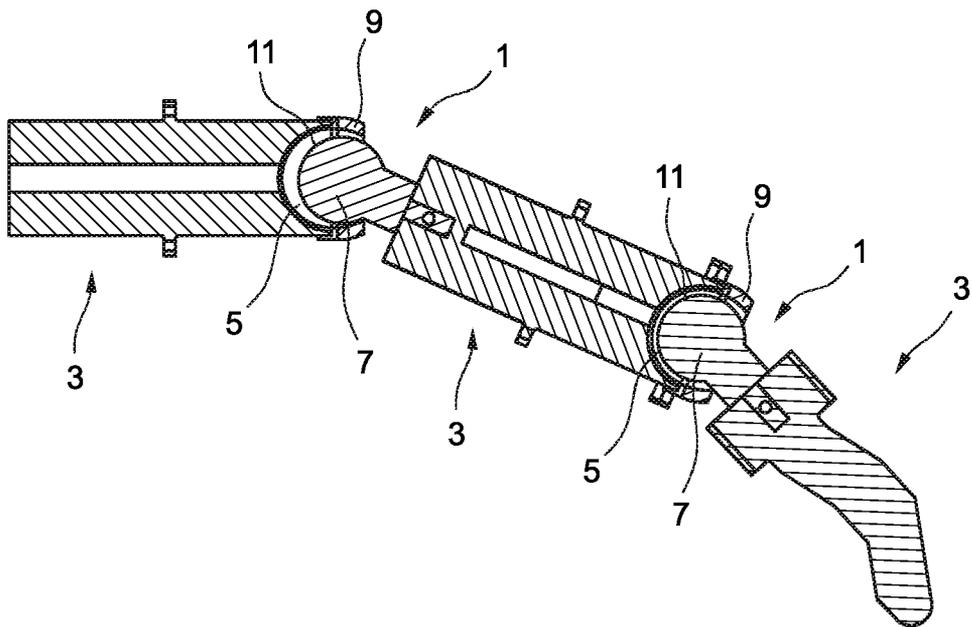


Fig. 1

Ersatzblatt

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2021/100799

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B25J 17/00</i> (2006.01)i; <i>B25J 19/00</i> (2006.01)i; <i>F16D 37/00</i> (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B25J; F16D Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 3695940 A1 (GUANGDONG O MATIC INTELLIGENT ROBOT LTD [CN]) 19 August 2020 (2020-08-19) abstract; figures 1,2 paragraph [0007] paragraph [0031] paragraph [0037]	1-5,7,9,10
X	WO 2017182389 A1 (HELMUT-SCHMIDT-UNIVERSITÄT UNIVERSITÄT DER BUNDESWEHR HAMBURG [DE]) 26 October 2017 (2017-10-26) abstract; figure 1 page 22, paragraph 3 page 14, line 20 page 15, line 23	1,3-6,9,10
X	DE 19717705 A1 (SCHENCK AG CARL [DE]) 29 October 1998 (1998-10-29) abstract; figure 1 column 2, line 24 - line 53 claim 1	1,3,5,8,9
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 04 February 2022		Date of mailing of the international search report 23 February 2022
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Lumineau, Stéphane Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2021/100799

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2016355253 A1 (BOMBARDIER INC.; UNIVERSITE DE SHERBROOKE) 08 December 2016 (2016-12-08) abstract; figures 2,6 paragraphs [0094], [0095]	1-5,9,10
.....		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2021/100799

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	3695940	A1	19 August 2020	CN	107553481	A	09 January 2018
				EP	3695940	A1	19 August 2020
				JP	6960190	B2	05 November 2021
				JP	2020537731	A	24 December 2020
				KR	20200070340	A	17 June 2020
				US	2021187758	A1	24 June 2021
				WO	2019076146	A1	25 April 2019
WO	2017182389	A1	26 October 2017	DE	102016004695	A1	26 October 2017
				EP	3445533	A1	27 February 2019
				WO	2017182389	A1	26 October 2017
DE	19717705	A1	29 October 1998	NONE			
US	2016355253	A1	08 December 2016	CA	2937498	A1	06 August 2015
				CN	105939929	A	14 September 2016
				EP	3099573	A1	07 December 2016
				US	2016355253	A1	08 December 2016
				WO	2015114586	A1	06 August 2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. B25J17/00 B25J19/00 F16D37/00		
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B25J F16D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 3 695 940 A1 (GUANGDONG O MATIC INTELLIGENT ROBOT LTD [CN]) 19. August 2020 (2020-08-19) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Absatz [0007] Absatz [0031] Absatz [0037]	1-5, 7, 9, 10
X	WO 2017/182389 A1 (HELMUT-SCHMIDT-UNIVERSITÄT UNIVERSITÄT DER BUNDESWEHR HAMBURG [DE]) 26. Oktober 2017 (2017-10-26) Zusammenfassung; Abbildung 1 Seite 22, Absatz 3 Seite 14, Zeile 20 Seite 15, Zeile 23	1, 3-6, 9, 10
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
4. Februar 2022		23/02/2022
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Lumineau, Stéphane

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 197 17 705 A1 (SCHENCK AG CARL [DE]) 29. Oktober 1998 (1998-10-29) Zusammenfassung; Abbildung 1 Spalte 2, Zeile 24 - Zeile 53 Anspruch 1 -----	1, 3, 5, 8, 9
X	US 2016/355253 A1 (BOMBARDIER INC.; UNIVERSITE DE SHERBROOKE) 8. Dezember 2016 (2016-12-08) Zusammenfassung; Abbildungen 2, 6 Absätze [0094], [0095] -----	1-5, 9, 10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2021/100799

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 3695940	A1	19-08-2020	CN 107553481 A	09-01-2018
			EP 3695940 A1	19-08-2020
			JP 6960190 B2	05-11-2021
			JP 2020537731 A	24-12-2020
			KR 20200070340 A	17-06-2020
			US 2021187758 A1	24-06-2021
			WO 2019076146 A1	25-04-2019

WO 2017182389	A1	26-10-2017	DE 102016004695 A1	26-10-2017
			EP 3445533 A1	27-02-2019
			WO 2017182389 A1	26-10-2017

DE 19717705	A1	29-10-1998	KEINE	

US 2016355253	A1	08-12-2016	CA 2937498 A1	06-08-2015
			CN 105939929 A	14-09-2016
			EP 3099573 A1	07-12-2016
			US 2016355253 A1	08-12-2016
			WO 2015114586 A1	06-08-2015
