icks.at
Ihr Uhrmachermeister

Dipl. Ing. Simon Ickinger
+43 (0) 316 67 68 73
office@icks.at
Weg zum Reinerkogel 37
8010 Graz - Österreich

Bericht zum »Icks-Pendel«

Patentanmeldung einer neuartige Temperaturkompensation bei Pendeluhren

Dipl. Ing. Simon Ickinger

27. September 2019

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 2

1 Einleitung 2
1.1 Kurze Geschichte der Temperaturkompensation . . . 2
1.2 Allgemeines zur Wärmeausdehnung . . . 3

2 Carbon-Technologie 4
2.1 Allgemein . . . 4
2.2 Negativer Temperaturausdehnungskoeffizient . . . 5

3 Vorstellung des »Icks-Pendels« 5
3.1 Patentanmeldung zu einer neuartigen Temperaturkompensation . . . 5
3.2 Funktionsprinzip . . . 6
3.3 Machbarkeit . . . 8
3.3.1 Literaturrecherche . . . 8
3.3.2 FEM-Berechnung . . . 9
3.3.3 Fertigungstechnische Machbarkeit . . . 10
3.4 Kostenbetrachtung . . . 10
3.4.1 Entwicklungskosten . . . 10
3.4.2 Fertigungskosten . . . 10
3.5 Vorteile und Nutzen des »Icks-Pendels« . . . 10

4 Ausblick 12

Literaturverzeichnis und zusätzliche Information 13

Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht findet sich einen Überblick über eine Patentanmeldung zu einer neuartigen Temperaturkompensation bei Pendeluhren. Der erste Teil gibt einen kurzen Abriss bezüglich der Geschichte der Temperaturkompensation bei Pendeluhren. Zusätzlich wird das physikalische Prinzip der Wärmeausdehnung umrissen. Da die Neuheit der Patentanmeldung aus einer einfachen Konstruktion im Zusammenspiel mit einer speziellen Eigenschaft vom Werkstoff Carbon besteht, wird im zweiten Teil dieses Material näher dargestellt. Im dritten Teil wird die Patentanmeldung beziehungsweise das Funktionsprinzip der Erfindung des »Icks-Pendels« vorgestellt und die Machbarkeit mit Hilfe einer Literaturrecherche, einer FEM-Berechnung und einer fertigungstechnischen Analyse aufgezeigt. Zusätzlich finden sich Kostenbetrachtungen hinsichtlich der Entwicklung und der Fertigung. Als Abschluss des dritten Teiles werden die Vorteile und der Nutzen des »Icks-Pendels« behandelt. Am Ende des Berichtes werden die nächsten Schritte und das Gesamtziel diskutiert.

1 Einleitung

1.1 Kurze Geschichte der Temperaturkompensation

Die Temperaturkompensation ist in der Geschichte der Uhrmacherei eine der wichtigsten Errungenschaften. Bereits im 17. Jahrhundert wurde bekannt, dass die größte Fehlerquelle bei Pendeluhren die geringfügige Längenänderungen aufgrund thermischer Ausdehnung und Kontraktion der Pendelstange durch Änderungen der Umgebungstemperatur ist [1]. Die thermische Ausdehnung von Pendelstäben wurde erstmals 1669 von Jean Picard untersucht [2] . Diese Untersuchung zeigt, dass sich ein Pendel mit einer Stahlstange mit jedem Anstieg von einem Grad Celsius um etwa 11,3 Teile pro Million (ppm) ausdehnt. Dadurch verliert die Uhr bei jedem Grad Temperaturanstieg um 0,27 Sekunden pro Tag oder bei beispielsweise bei einer Temperaturdifferenz von 33°C 9s pro Tag (Annahme: Unterschied zwischen Winter und Sommer in den damals ungeheitzen Räumen). Holzstäbe dehnen sich weniger aus und verlieren nur etwa 6s pro

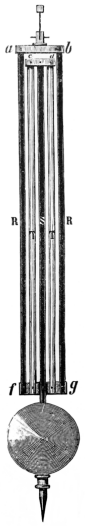

Abbildung 1: Gridiron Pendel (auch Rostpendel) erfunden von John Harrison im Jahr 1726 [6].

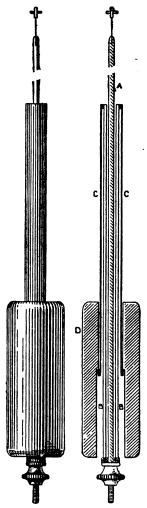

Abbildung 2: Eine andere Variante der Kompensation ist das „Tubular compensation pendulum“ [7].

Tag, wenn die Temperatur um 33°C geändert wird. Deshalb hatten Qualitätsuhren oft hölzerne Pendelstangen.

Für astronomische Beobachtungen, der Wissenschaft und für das Militär war die Temperaturkompensation essentiell, da dadurch erst eine gewisse Ganggenauigkeit einer Uhr ermöglicht werden konnte. So entwickelte George Graham im Jahre 1715 [3] mit dem Quecksilber-Pendel die erste Temperaturkompensation. Das Rostpendel, wie in Abb. 1 dargestellt, wurde 1726 von John Harrison erfunden [3]. Ende des 19. Jahrhunderts konnten mit Hilfe von neuartigen Temperaturkompensationen erstmals Präzisionspendeluhren entwickelt werden. Im Jahre 1897 erfand Sigmund Riefler eine Temperaturkompensation mit einem Invar-Pendelstange (Patent DRP 100870). Gemeinsam mit dem perfektionieren sämtlicher Bauelemente baute er als Erster eine Uhr mit einer Gangabweichung von nur 0,1 Sekunden pro Tag [4].

Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, funktionieren die damaligen Temperaturkompensationen, indem sich zwei unterschiedliche Materialien mit unterschiedlichen Längen in entgegengesetzte Richtungen ausdehnen.

Es dauerte bis zur zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts bis Pendeluhren mit Temperaturkompensationen als technische Instrumente obsolet wurden. Grund hierfür war die Erfindung der Quarzuhr. Auch wenn die Temperaturkompensation technisch unzeitgemäß ist, gilt sie unter Uhrmachern und Uhrensammlern als einer der Königsdisziplinen der Uhrmacherei. Die notwendige technische Raffinesse und Präzision gepaart mit der geschichtlichen Bedeutung führt dazu, dass viele namhafte Uhrenfirmen präzise Pendeluhren in ihrem Programm haben (z.B. Erwin Sattler mit Secunda Accurata, Kieninger mit Regulator, Hermle mit Masterpiece, AMS mit Regulateur, Buben&Zörweg mit Infinity[1]). Diese Uhren werden je nach Modell zu Preisen von €5.000,- bis €70.000,- verkauft.

Seit vielen Jahrzehnten hat es keine Patente für die Temperaturkompensation bei Pendeluhren mehr gegeben.

1.2 Allgemeines zur Wärmeausdehnung

Die Wärmeausdehnung ist die Änderung der geometrischen Abmessungen eines Körpers, die durch eine Veränderung seiner Temperatur hervorgerufen wird. Der Kennwert hierfür ist eine stoffspezifische Materialkonstante, der Ausdehnungskoeffizient.

Bei der Anwendung vom linearen Wärmeausdehnungskoeffizient[2] gilt der Längenausdehnungskoeffizient α, wie in Tab. 1 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht über die wichtigsten Längenausdehnungskoeffizienten α in der Uhrenindustrie und deren Einfluss auf die Gangänderung pro 1°C einer Sekundenuhr (Pendeluhr mit einem 1m Pendel) [14].

	Ausdehnungskoeffizienten α	Gangänderung ΔG (etwa)
Material	$*10^{-6}K^{-1}$	s/d bzw. s/Monat
Messing	18,4 - 19,3	0,8 bzw. 24
Stahl	11 - 13	0,5 bzw. 15
Holz (Fichte)	3,5	0,15 bzw. 4,5
Invar	1,2	0,052 bzw. 1,56
Quarzglas (Siliziumdioxid)	0,35	0,015 bzw. 0,45
Kupfer	17	0,73 bzw. 21,9

Der Längenausdehnungskoeffizient α eines Körpers mit der Länge L ist die Proportionalitätskonstante zwischen der Temperaturänderung $\mathrm{d}T$ und der relativen Längenänderung $\frac{\mathrm{d}L}{L}$. Mit ihm

[1] präzise Pendeluhr ohne Kompensation, aber geringem Temperatureinfluss
[2] kleiner Temperaturbereich (besipielsweise −10°C bis +40°C), Betrachtung über die Länge

wird demnach die relative Längenänderung bei einer Temperaturänderung beschrieben. Diese stoffspezifische Größe hat die Einheit K^{-1} und ist über folgende Gleichung definiert:

$$\alpha L = \frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}T}$$

Für die meisten Anwendungen ist es ausreichend, folgende Näherung zu verwenden:

$$L \approx L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Die Längenänderung $\Delta L = L - L_0$ in linearer Näherung lautet somit:

$$\Delta L \approx \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

Wenn zwei Körper mit unterschiedlichen Längenausdehnungskoeffizienten seriell verbunden werden, gilt

$$\Delta L_{gesamt} \approx \Delta L_a + \Delta L_b \approx (\alpha_a \cdot L_{0a} + \alpha_b \cdot L_{0b}) \cdot \Delta T.$$

Wenn zwei Körper mit unterschiedlichen Längenausdehnungskoeffizienten verbunden werden, sodass ihre Ausdehnungen in entgegengesetzte Richtungen wirken, gilt:

$$\Delta L_{gesamt} \approx \Delta L_a - \Delta L_b \approx (\alpha_a \cdot L_{0a} - \alpha_b \cdot L_{0b}) \cdot \Delta T.$$

2 Carbon-Technologie

2.1 Allgemein

Carbonfaserverstärkter Kunststoff oder kurz CFK oder Carbon ist heutzutage sehr bekannt. Der Werkstoff findet beispielsweise Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, in der Medizintechnik, im Rennsport oder bei Sportgeräten. Grund dafür sind meist die speziellen Vorteile ([9],[10], [11]), wie beispielsweise:

- geringes Gewicht
- hohe Zugfestigkeit
- hohe Stabilität
- gutes Vibrations- bzw. Schwingungsverhalten
- hohe Hitzebeständigkeit
- keine Wasseraufnahme bei Wohnraumbedingungen
- hohe Designfreiheit
- gute Klebbarkeit
- gute Lackierbarkeit
- schöne Optik.

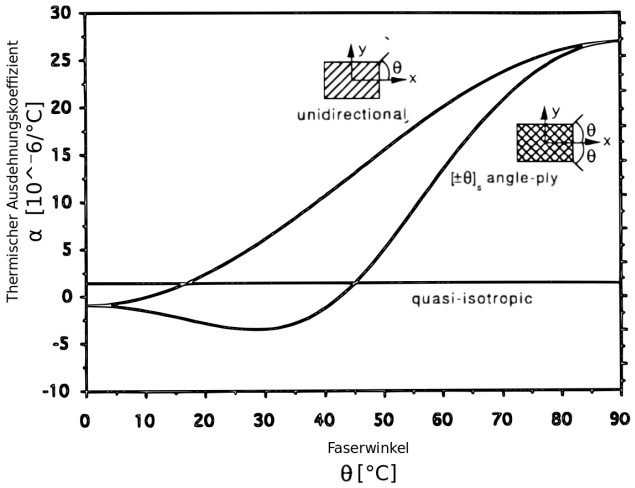

Abbildung 3: Thermische Ausdehnungskoeffizienten von CFK-Laminaten als Funktion der Faserorientierung. Dargestellt sind unidirektionale und biaxiale Carbonfaserlaminate im Vergleich mit einem thermisch isotropischen Laminat. Das Diagramm stammt aus [8] (S. 213, Abb. 6.11).

2.2 Negativer Temperaturausdehnungskoeffizient

Nur wenigen Entwicklern ist bekannt, dass es mit Carbon möglich ist, Bauteile zu entwickeln, die einen negativen Temperaturkoeffizienten aufweisen (siehe Abb. 3). Das heißt, dass sich ein spezielles Bauteil bei Erhitzung nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht.

"As components of advanced composites for engineering applications [...] ***negative thermal expansion coefficient allowing us to construct hybrid composite elements that do not change their dimensions under heating*** *[13]."*

Das Wissen, dass man Pendelstäbe mit einem negativen Temperaturkoeffizienten bauen kann (wie besipielsweise in Abb. 4 dargestellt), wurde bisher in der Uhrentechnolgie nicht angewendet. Diese spezielle Eigenschaft von Carbon ist die Grundlage für die Patentanmeldung des »Icks-Pendels«.

3 Vorstellung des »Icks-Pendels«

3.1 Patentanmeldung zu einer neuartigen Temperaturkompensation

Hinsichtlich der vorliegenden Erfindung des »Icks-Pendels« wurde bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) um eine Förderung angesucht. Nach einer wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Begutachtung der FFG wurde die Förderung genehmigt und eine Recherche bezüglich dieser Innovation am Österreichischen Patentamt durchgeführt, um die Erfindung auf die notwenige Erfindungshöhe bzw. die Neuheit zu prüfen. Die Recherche und Einstufung verlief positiv, sodass die Erfindung am 27. Februar 2019 als Patentanmeldung (A50157/2019) am Österreichischen Patentamt mit dem Titel „Temperaturkompensation für eine Pendeluhr" angemeldet wurde.

Technisch handelt es sich um eine sehr einfache und günstige mechanische Konstruktion, die die Temperaturkompenstion durch eine spezielle Eigenschaft von Carbon-Kunststoffen erreicht.

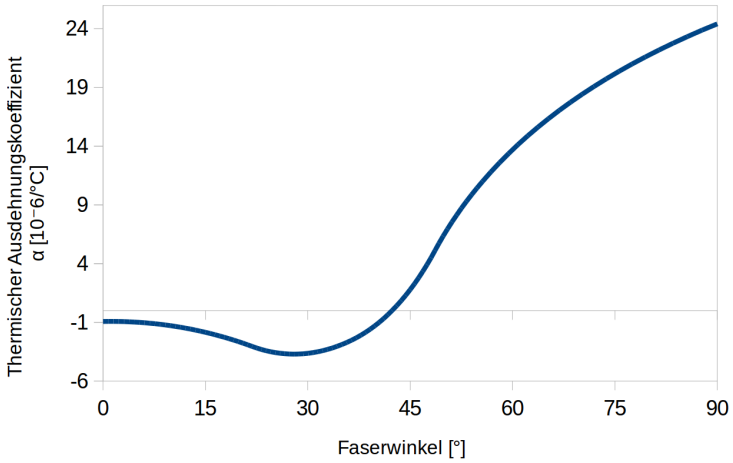

Abbildung 4: Thermischer Ausdehnungskoeffizient von CFK-Rohren als Funktion des Faserwinkels. Die Daten für das Diagramm stammen aus [12] (S. 383, Abb. 10.7).

3.2 Funktionsprinzip

Wie bereits erwähnt geht es bei der Temperaturkompensation um das Ausgleichen einer Längenänderung der Pendelstange bzw. der Aufhängung bei Temperaturänderung (die Schwingungsdauer ist ein Funktion der wirksamen Pendellänge). Bei sehr präzisen Pendeluhren ist die Pendelstange bis zu $1m$, um ua. ein hohes Gleichmaß und eine Robustheit der Schwingung zu erreichen. Die dadurch ermöglichte Präzision geht allerdings bei einer Temperaturänderung im Rahmen des materialspezifischen Ausmaßes (Temperaturausdehnungskoeffizenten) des Pendelsystems durch die Wärmeausdehnung verloren. Um eine Gangenauigkeit einer präzisen Pendeluhr zu gewährleisten, ist somit eine Temperaturkompensation essentiell.

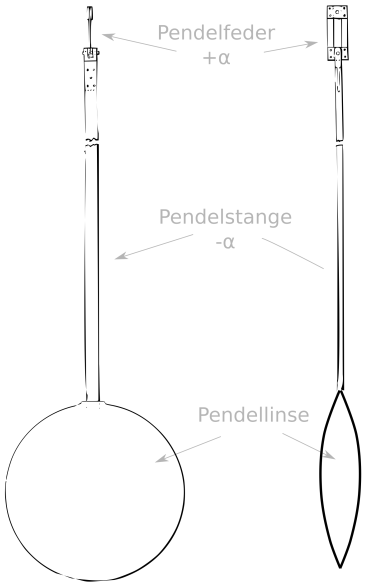

Abbildung 5: Darstellung der Bauteile (Pendelfeder, Pendelstange, Pendellinse) eines »Icks-Pendels« mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten α.

Die bekannten Lösungen einer Temperaturkompensation werden ermöglicht, indem zwei un-

terschiedliche Materialien mit unterschiedlichen (positiven) Temperaturausdehnungskoeffizenten in gegengesetzte Richtungen wirken[3]:

$$0 = \alpha_{Pendelstange} * L_{Pendelstange} * \Delta T - \alpha_{Kompensation} * L_{Kompensation} * \Delta T,$$

wobei beide Längenausdehnungskoeffizienten α positiv sind und sich das negative Vorzeichen in der Formel durch die konstruktiv entgegengesetzte Richtung ergibt.

Im Unterschied dazu wird das Ziel der Temperaturkompensation beim »Icks-Pendel« dadurch erreicht, dass die Pendelaufhängung mit einer üblichen Pendelfeder einen positiven Temperaturausdehnungskoeffizient aufweist, und die Pendelstange einen negativen Temperaturausdehnungskoeffizient aufweist. Beide Längenänderungen durch Temperaturänderung gleichen sich seriell aus

$$0 = \alpha_{Pendelstange} * L_{Pendelstange} * \Delta T + \alpha_{Aufhängung} * L_{Aufhängung} * \Delta T,$$

sodass eine Temperaturkompensation erreicht wird.

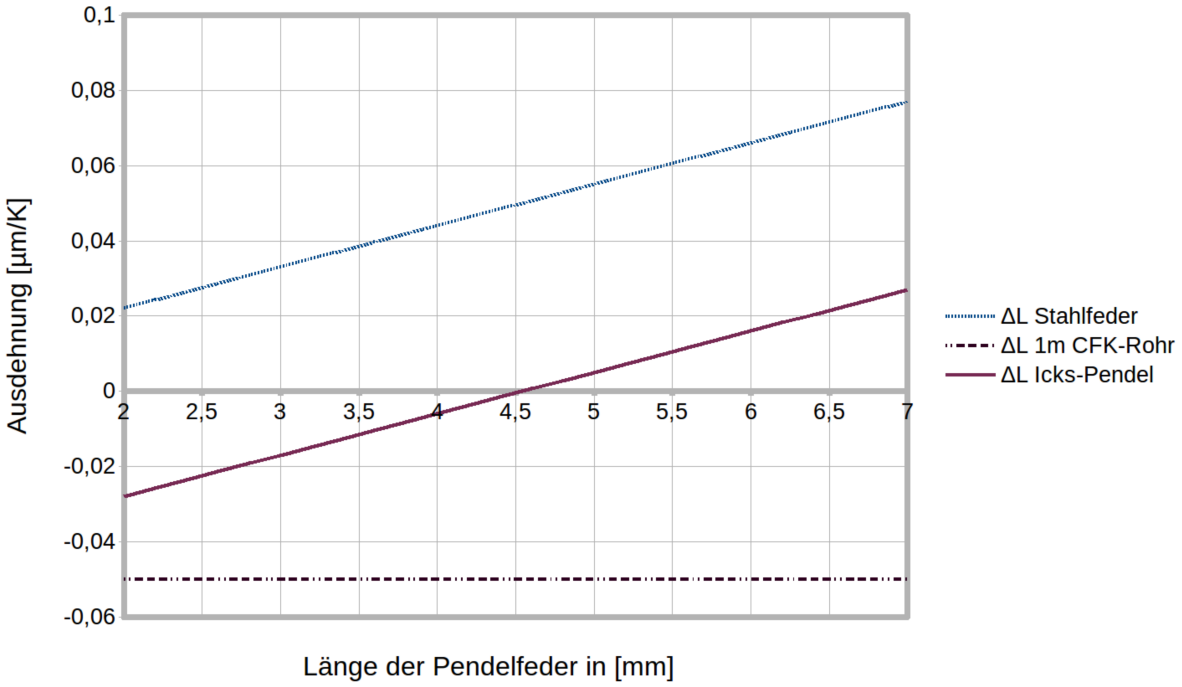

Abbildung 6: Längenänderungen pro 1°C Temperaturanstieg bei einer Stahl-Pendelfeder mit ansteigender Länge über die X-Achse, einer $1m$ CFK-Pendelstange (Material: P75-Kohlenstofffaser, CE339-Epoxidharzmatrix 30% Faseranteil [16]) und dem »Icks-Pendel« als Kombination. Bei einer Pendelaufhängung von 4,5mm gleicht sich die Ausdehnung der Pendelfeder mit dem Zusammenziehen der CFK-Pendelstange aus und eine Temperaturkompensation wird erzielt.

Der negative Temperaturausdehnungskoeffizient wird durch die Verwendung von Kohlenstofffaserverstärkten-Kunststoffen (CFK) mit gezielter Faserorientierung bzw. mit gezieltem Faseranteil erzielt. Der positive Temperaturausdehnungskoeffizient wird durch die Verwendung einer üblichen Pendelaufhängung als Pendelfeder (dünne Bleche) erreicht.

Beispielrechnung mit einer CFK-Pendelstange[4] und einer Aufhängung als Stahl-Pendelfeder[5]:

$$Pendelstange: \quad \alpha_{CFK} = -5 \cdot 10^{-8} K^{-1}$$

[3] z.B. Rostpendel, Riefflerpendel, Quecksilberpendel
[4] Temperaturausdehnungskoeffizient aus [16]
[5] Temperaturausdehnungskoeffizient siehe Tabelle 1, S. 3

$$Pendelfeder: \quad \alpha_{Stahl} = 11 \cdot 10^{-6} K^{-1}$$

$$0 = \alpha_{Pendelstange} * L_{Pendelstange} + \alpha_{Pendelfeder} * L_{Pendelfeder}$$

$$0 = -5 \cdot 10^{-8} K^{-1} * 1m + 11 \cdot 10^{-6} K^{-1} * 4,55 * 10^{-3} m$$

Mit einem CFK-Profil mit $1m$ Länge als Pendelstange und einer Stahl-Feder als Pendelaufhängung von $4,55mm$ lässt sich somit eine Temperaturkompensation erzielen.

Tabelle 2: Unterschiedliche Längenkombination aus CFK-Pendelstangen und Stahl-Pendelfedern, die zu einer Temperaturkompensation führen.

Länge der CFK-Pendelstange	Länge der Stahl-Pendelfeder
$0,5m$	$2,27mm$
$0,6m$	$2,73mm$
$0,7m$	$3,18mm$
$0,8m$	$3,64mm$
$1m$	$4,55mm$

Es können natürlich auch andere Paarungen mit unterschiedlichen Materialien oder Längen verwirklicht werden. Beispiele für unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten von CFK sind in Tab. 3 auf S. 9 aufgelistet.

3.3 Machbarkeit

Um die Funktion des »Icks-Pendels« zu belegen wurde eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. Die theoretische Machbarkeit ließ sich auf Basis einer wissenschaftlichen Recherche ([12], [13], [15], [16] und [18]) zeigen. Danach wurde eine FEM-Analyse durchgeführt, um die Funktion der Temperaturkompensation zu zeigen. Abschließend wurde die fertigungstechnische Machbarkeit des »Icks-Pendels« mit der Firma Secar Technologie GmbH diskutiert und bestätigt.

3.3.1 Literaturrecherche

Die allgemeine Möglichkeit den gezielten negativen Temperaturausdehnungskoeffizienten von Carbon technisch zu nützen, wird in den den Büchern [12] und [13] beschrieben.

In einer mathematischen und praktischen wissenschaftlichen Untersuchung [15] wurden die Einflüsse auf den Ausdehnungskoeffizienten von verschiedenen CFK-Laminaten auf das Werkstück untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die Geometrie und Dicke keinen Einfluss auf α hat. Der Wickelwinkel hatte bei der Herstellung des CFK-Werkstückes aber einen großen Einfluss auf den Ausdehnungskoeffizienten. Wenn die Genauigkeit der Wicklung besser als $\Delta\Theta = 0,185°$ ist, hat dies keinen signifikanten Einfluss auf den Ausdehnungskoeffizienten α und ein gewünschter (auch negativer) Ausdehnungskoeffizient kann reproduzierbar hergestellt werden.

Tabelle 3: Experimentell ermittelte negative Längenausdehnungskoeffizienten α von verschiedenen CFK-Materialien [15] bzw. aus [16] (Tab. 3 und Abb. 8).

	Faseranteil	Längenausdehnungskoeffizienten α
Material	[%]	$*10^{-6} K^{-1}$
T300/5208 (Gr/Ep)	68	-0,063
P75/930 (Gr/Ep)	65	-0,598
P75/CE339 (Gr/Ep)	54	-0,567
P75/CE339 (Gr/Ep)	30	-0,05

In einer anderen praktischen Untersuchung [18] wurde die Linearität des Ausdehnungskoeffizienten α untersucht. Es zeigte sich, dass sich die Ausdehnung von Carbonprüfkörpern im Temperaturbereich von $-10°C$ auf $+30°C$ linear verhält.

In der wissenschaftlichen Arbeit [16] wurden FEM-Berechnungen bezüglich thermischer Ausdehnungen von CFK-Materialen mit praktischen Versuchen verglichen. Es zeigt sich, dass die Berechnungen mit den praktischen Messungen hinsichtlich des Ausdehnungskoeffizienten für viele CFK-Materialien hinreichend genau sind. Zusätzlich wurde der Einfluss des Faseranteils auf den Wärmeausdehnungskoffizienten untersucht und ermittelt.

Zusammenfassend ergab die durchgeführte Literaturrecherche, dass die Funktion des »Icks-Pendels« gegeben ist, sofern bei der Herstellung die Spezifikationen an die Wickelwinkelgenauigkeit und an den Faseranteil eingehalten wird. Daraus leitet sich ab, dass zur Herstellung nur Firmen mit hohem Fertigungsniveau geeignet sind. Zusätzlich ergab die Literaturrecherche, dass eine FEM-Berechnung für die Auslegung und Funktionskontrolle des »Icks-Pendels« gute Ergebnisse liefert.

3.3.2 FEM-Berechnung

In einer internen FEM-Untersuchung wurde ein CFK-Material mit anwendbarer Modell-Vorhersage laut [16] herangezogen, um das Pendelprinzip der vorliegenden Erfindung hinsichtlich der Temperaturausdehnung zu berechnen.

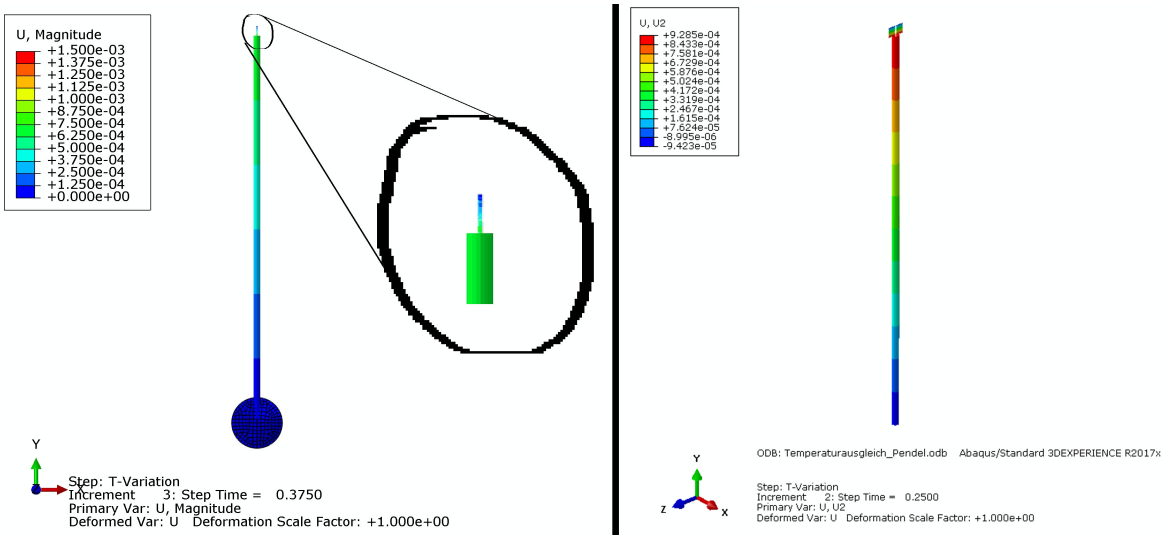

Abbildung 7: FEM-Berechnung einer Carbonstange und einer Pendelfeder. Die Längenänderung der Pendelfeder wird durch die Carbonstange ausgeglichen.

In der Berechnung zeigt sich wie erwartet (siehe Abb. 7), dass sich die Pendelfeder bei Erhitzung ausdehnt und dass sich die CFK-Stange zusammenzieht. In Summe ergibt sich keine Verschiebung des Schwerpunktes der Pendellinse hinsichtlich des Einspannpunktes der Pendelfeder bei Temperaturschwankungen zwischen $-10°C$ und $+30°C$.

3.3.3 Fertigungstechnische Machbarkeit

Mit den erarbeiteten Daten wurde die Firma Secar Technologie GmbH kontaktiert, die ein führendes Unternehmen im Bereich der Entwicklung und Fertigung von Carbon-Metallverbunden im Automobil-, Aerospace-, Sport- und Medizinbereich ist. Aus der Erfahrung in der Produktion von Hybridverbundelemente für die Messinstrumenteindustrie oder der Medizintechnik bestätigte der Geschäftsführer Herr Semlitsch und sein Entwicklungsteam die Machbarkeit der Erfindung.

Die geforderten Spezifikationen an Präzision und Reproduzierbarkeit hinsichtlich der Funktion

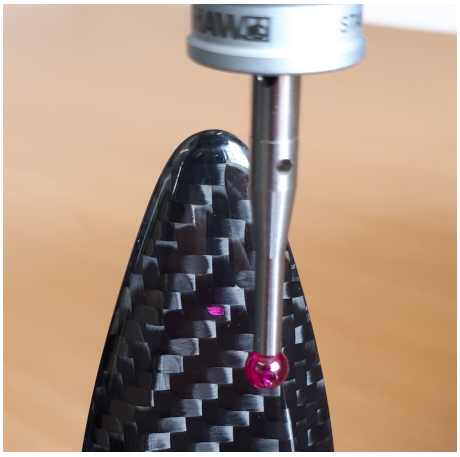

Abbildung 8: Messtaster als Teil der Endqualitätskontrolle bei der Firma Secar Technology GmbH [19].

des CFK-Rohres und der Verbindung mit Pendelaufhängug und Pendellinse sind im regulierten und zertifizierten Umfeld der Firma entwickel- und fertigbar [17].

3.4 Kostenbetrachtung

Mit den bekannten Randbedingungen wurde mit der Firma Secar Technologie GmbH eine Kostenabschätzung durchgeführt [17].

3.4.1 Entwicklungskosten

Die Risiken bei der Entwicklung des »Icks-Pendels« sind aus der Sicht von Secar gering. Die Entwicklungskosten halten sich in gut überschaubaren Grenzen, da das Projekt im Vergleich zu beispielsweise Fahrzeugkonstruktionen oder medizinischen Implantaten unkompliziert ist.

3.4.2 Fertigungskosten

Durch den bestehenden Maschinenpark für präzise Carbon-Metallverbunde, dem hohen Qualitätsniveau in der Fertigung (Medizintechnik, Flugzeugbau) und dem ausgebildeten Personal von Secar halten sich die Fixkosten für die Fertigung des »Icks-Pendels« gering. Die Qualitätsspezifikationen bei der Herstellung der Carbonpendelstange für ein reproduziertes Ergebnis hinsichtlich des negativen Ausdehnungskoeffizienten (siehe Kapitel 3.3.1) können leicht eingehalten werden. In einer Kostenabschätzung zeigte sich, dass die Fertigungskosten des »Icks-Pendels« im Vergleich zu einem Invar-Pendel deutlich geringer sein werden.

3.5 Vorteile und Nutzen des »Icks-Pendels«

Marketingmehrwert Eine Neuentwicklung bei der Temperaturkompensation hat es seit mehreren Jahrzenten nicht gegeben. Mit der Erfindung des »Icks-Pendels« wurde bewährtes Wissen mit einer fortschrittlichen Technologie in einer Patentanmeldung zusammengeführt. Das moderne und hochtechnisierte Material ist für eine junge und zukunftsorientierte Zielgruppe interessant. Ebenso ist Carbon attraktiv für Extremsportler und Rennsportinteressierte. Dadurch könnte das »Icks-Pendel« für Uhrenhersteller Teil einer Gesamtstrategie sein, einen neuen und unbekannten Markt für die Ästhetik von präzisen Pendeluhren zu begeistern.

Zusatzangebot im Portfolio von Uhrenherstellern Das »Icks-Pendel« ist nicht dafür angedacht, bewährte Kompensationen im Angebot von Uhrenhersteller zu ersetzen. Viel mehr soll es Zusatzangebot im Portfolio von Pendeluhren darstellen, das sich preislich und fertigungstechnisch zwischen Pendeluhren ohne und Pendeluhren mit traditioneller Kompensation ansiedelt.

Abbildung 9: Designstudie: Biedermeier Biskottenuhr mit nachträglich eingebautem »Icks-Pendel« zur Temperaturkompensation [5].

Nachrüstbarkeit Durch die Einfachheit des »Icks-Pendels« und der Nützung von bewährten Pendelfedern als Aufhängung, können im Markt befindliche moderne Pendeluhren ohne Temperaturkompensation sehr leicht mit einer Kompensation nachgerüstet werden (beispielsweise im Rahmen einer Revision beim Hersteller).

Patent Eine Patentrecherche und Anmeldung ist ein zeit- und kostenintensiver Prozess. Durch die erhaltene Förderung und die Erfahrung der Fa. Icks bei diesem Ablauf wurde bereits sehr viel investiert. Im bereits erhaltenen Vorbescheid bestätigte das Österreichische Patentamt die Neuheit und die erfinderischen Tätigkeit, womit einer Erteilung des Patents voraussichtlich nichts im Wege steht. Von Vorteil ist auch, dass sich die Anmeldung noch in der nationalen Phase befindet. Dadurch kann eine mögliche zukünftige internationale Anmeldung hinsichtlich der Zielmärkte bis **25. Februar 2020** abgestimmt werden.

Spezielle Materialeigenschaften für noch höhere Präzision Carbon zeigt eine extrem hohe Stabilität bei ganz geringem Gewicht auf. Somit kommt das »Icks-Pendel« dem idealen Pendel sehr nahe (Anm.: masselose, starre Verbindung mit punktförmiger Masse und kleiner Amplitude). Zusätzlich zeigt Carbon hinsichtlich Vibrationen ein um Faktor 10 besseres Verhalten auf, als beispielsweise Stahl [17]. Dadurch geht weniger Energie aus der Hemmung (Ankergabelimpuls) in der Pendelstange verloren.

Niedrige Entwicklungskosten In der Carbontechnologie gibt es durch die Flugzeug- und Medizinindustrie bewährte Entwicklungsstandards mit hohem Qualitätsniveau in der Fertigung. Die Konstruktion des Pendels ist im Vergleich zu Konstruktionen im Fahrzeugbau oder im Flugzeugbau unkompliziert [17].

Niedrige Fertigungskosten Die bekannten Temperaturkompensationen sind konstruktiv sehr aufwendig. Außerdem werden sehr teure Materialien wie beispielsweise Invar verwendet. Die einfache Konstruktion des »Icks-Pendels« und die relativ günstige Herstellung von Carbonhybridelementen führt zu niedrigen Fertigungskosten [17].

Hohe Designfreiheit Durch die Designfreiheit beim Wickeln der Carbon-Stange können unterschiedliche Formen gewählt werden. Das Profil kann beispielsweise in Rohr-, Kant- oder Linsenform hergestellt werden.

Gute Verarbeitbarkeit Carbon ist leicht zu verarbeiten. Die Möglichkeit des Lackieres, Klebens, Bohrens, Schneidens erlaubt, dass das »Icks-Pendel« an die Ästhetik des Gesamtbildes einer Uhr angepasst werden kann. Carbon wird oft als Hybridbauteil mit anderen Materialien angewendet. Dadurch können auch bestehende Präzisionsregulierungen gut mit einer Carbon-Pendelstange verbunden werden.

4 Ausblick

Publikation der Erfindung Ab Herbst 2019 werden Publikationen in einschlägigen Zeitschriften bzw. Magazinen, internationalen Uhrmacherforen, lokalen Zeitungen und social media hinsichtlich des »Icks-Pendels« lanciert.

Prototyp Ab Herbst 2019 arbeiten der Erfinder und die Firma Secar Technologie GmbH an der Entwicklung eines Prototypen. Das erste »Icks-Pendel« wird am Institut für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe an der Montanuniversität Leoben bei Temperaturschwankungen geprüft werden, um die Funktion im Feld sicher zu gewährleisten. Daraus sollen Erkenntnisse für weitere Prototypen und für den Einbau in einer Pendeluhr abgeleitet werden.

Umsetzung der Idee Das Ziel bezüglich der Erfindung ist, dass die Idee in die Realität umgesetzt wird. Das »Icks-Pendel« soll in Zukunft in einer ästhetischen Pendeluhr seine Dienste tun und damit alte und bewährte Handwerkskunst mit moderner Technik verbinden.

Literaturverzeichnis und zusätzliche Information

[1] R. J. Matthys, 2004. *La Mesure de la Terre (The measurement of the Earth)*, Imprimerie Royale, Paris, France.

[2] J. Picard, 1671. *Accurate Clock Pendulums*, OUP Oxford.

[3] S. Guye, Henri Michel, 1971. *Uhren und Messinstrumente*, Orell Füssli Verlag Zürich.

[4] C. Preyß, 2003. *Riefler, Sigmund*, Neue Deutsche Biographie 21, https://www.deutsche-biographie.de/pnd102600015.html#ndbcontent.

[5] W. Mörtl, 2019. *Foto und Montage*, www.wilfriedmoertl.com.

[6] P. la Cour, 1903. *Tidens naturlære (Nature of Time)*, Kjøbenhavn Gyldendalske Boghandels Forlag.

[7] B. E. Jones, 1917. *Clock Cleaning and Repairing*, Cassell and Co., New York.

[8] I. M. Daniel, O. Ishai, 1994. *Engineering Mechanics of Composite Materials*, Oxford University Press.

[9] A. Franck, 1996. *Kunststoff-Kompendium*, Vogel Verlag.

[10] W. Woebcken, 1992. *Saechtling Kunststoff Taschenbuch*, Hanser Verlag.

[11] K. M. Adamow, 2014. *Einfluss von Wasser auf die Kohlenstofffaser/Epoxid-Polymermatrix Wechselwirkung*, Dissertation an der Universität Bremen.

[12] C. T. Herakovich, 1998. *Mechanics of Fibrous Composites*, John Wiley & Sons, Inc.

[13] V. V. Vasiliev, 2013. *Advanced Mechanics of Composite Materials and Structural Elements*, Elsevier.

[14] L. Lehotzky, 2008. *Technische Grundlagen der mechanischen Uhren*, Historische Uhrenbücher Berlin.

[15] X. Liang and G.R. Heppler, 1994. *Manufacturing tolerances to meet laminate CTE design criteria*, Composites Engineering, Vol. 4, No. 5, pp. 537-548.

[16] Z. H. Karadeniz and D. Kumlutas, 2007. *A numerical study on the coefficients of thermal expansion of fiber reinforced composite materials*, Composite Structures Vol. 78.

[17] K. H. Semlitsch, 2. August 2019. *Besprechung zur technischen Machbarkeit*, Secar Technologie GmbH, Hönigsberg.

[18] K. F. Rogers, L.N. Phillips etal. 1977. *The thermal expansion of carbon fibre-reinforced plastics.*, Journal of Materials Science, 12(4), 718–734.

[19] Secar Technology GmbH, 2019. *Für diesen Bericht freigegebenes Foto.*

Danksagung:

Für die Hilfe bei der Durchführung und der Verwirklichung der Idee zur Patentanmeldung möchte ich mich bei der Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), bei Herrn Dipl.-Ing. Gerhard Losenicky vom Österreichischen Patentamt und bei Herrn Dr. David Lerchbaum von Wirnsberger & Lerchbaum Patentanwälte bedanken. Besonderen Dank gelten Herrn Dipl.-Ing. Dr. mont. Markus Lengauer (Berechnungsingenieur) und Herrn Karl Heinz Semlitsch (Geschäftsführer der Firma Secar Technologie GesmbH), die mich bei der Ausarbeitung des vorliegenden Berichtes technisch, mathematisch, materialspezifisch und fertigungstechnisch unterstützt haben. Bei Herrn Wilfried Mörtl bedanke ich mich für die Bereitstellung der Fotos.

Rechtliches:

Die vorliegenden Informationen sind von mir persönlich erstellt und unterliegen, dem Creative Commons Urheberrecht CC BY-SA (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/). Das heißt, Sie dürfen die Inhalte gerne nützen, müssen mich aber zitieren.

Mein Ziel ist es, mit jeglichen Inhalten von Dritten die Urheberrechte, Eigentumsrecht und Kennzeichnungsrechte zu wahren. Dies wird bei der Erstellung meiner Inhalte mit größter Sorgfalt beachtet. Falls mir dabei ein Fehler unterläuft, bitte ich um Kenntnissetzung und eine konkrete Verletzung wird umgehend entfernt.

Bei Bilder die ich aus Büchern entnehme, prüfe ich, soweit es mir möglich ist, dass die Autoren seit zumindest 70 Jahre verstorben sind.

Die in meinen Inhalten erwähnten geschützten Marken- und Warenzeichen unterliegen uneingeschränkt den jeweiligen Bestimmungen des Kennzeichenrechts und den Besitzrechten der jeweiligen Eigentümer.

Sonstiges:

Weitere Publikationen finden Sie auf https://icks.at.
Diese Dokument wurde am 27. September 2019 erstellt

Über den Autor und Erfinder:

Dipl. Ing. Simon Ickinger, ist Uhrmacher aus Graz, Österreich und Inhaber der Firma »Icks - Ihr Uhrmachermeister e.U.«.

Er hat an der Montanuniversität Leoben (Schwerpunkt Kunststoff, Werkstoff, Maschinenbau) studiert und 7 Jahre in der Medizintechnik als Entwickler für Blutanalysegeräte gearbeitet. In seiner Ausbildung durfte er einige Erfahrungen im Bereich Innovation und Patente sammeln und konnte so beispielsweise gemeinsam mit seinem Vater ein Patent entwickeln und an einen Schweizer Konzern verkaufen.

Im zweiten Bildungsweg hatte er die Möglichkeit, den schönen Beruf des Uhrmachers bei einem traditionellen Uhrmachermeister in Graz zu erlernen. Im Jahr 2018 schloß er mit dem Meistertitel ab und machte sich selbstständig.

Die Firma Firma »Icks - Ihr Uhrmachermeister e.U.« ist für ihn ein Kreuzungspunkt, wo er das Beste aus beiden Welten (traditionelles Handwerk und neue Technologie) zusammenführen möchte.