

# **Darstellung konkurrierender Prinziplösungen zum Projekt Spinemover**

## **Representation of Competing Solutions in the Project Spinemover**

**G. Schon** VDI (FG Medizintechnik), Langerwehe  
Dr.-Ing. **E. Lotter** VDI, Technische Universität Ilmenau  
cand.-Ing. **A. Fischer**, Technische Universität Ilmenau

### **Kurzfassung**

Zur Lösung und Vorbeugung von Gesundheitsproblemen durch Bewegungsmangel und die damit verbundenen Fehlhaltungen beim Sitzen sollen Sitzflächen durch Antriebsmodule im natürlichen Gangbild des Sitzenden bewegt werden, wobei das individuelle Gangbild speziell von Gehbehinderten und Gehunfähigen, die kein konventionell zu erfassendes Gangbild haben, auf Basis ihrer biometrischen Daten erfasst und am Modul eingestellt werden soll.

### **Abstract**

To remedy and prevent health problems resulting from lack of exercise and the associated wrong posture while sitting, it is proposed to move sitting surfaces by means of drive modules in accordance with the natural gait of the sitting person. In this connection, the individual gait of walking impaired and walking disabled persons is determined on the basis of their biometric data and the drive module is then set to the thus determined gait.

### **1 Einleitung**

Mechatronik eröffnet durch das enge Zusammenwirken von Maschinenbau, Elektro-, Informations- und Systemtechnik Erfolgspotentiale für die Gestaltung zukünftiger Produkte. Die Bionik oder technische Biologie befasst sich mit der Umsetzung von in der Natur gefundenen Lösungen in innovative Produkte. Biomechatronik - eines der jüngsten Fächer an Technischen Universitäten - realisiert die Interaktion zwischen beiden Gebieten: „Natur für Technik“ wie „Technik für Natur“.

## **1.1 Das Problem**

Bewegungsmangel und die damit verbundenen Fehlhaltungen beim Sitzen führen zu Rückenproblemen wie Rückenschmerzen, Schädigung der Wirbelkörper und Bandscheiben, aber auch zu Verdauungs- und Durchblutungsstörungen.

Allein Rückenprobleme betreffen in den Industrienationen weltweit derzeit fast 70 Prozent der Gesamtbevölkerung - nahezu eine Milliarde Menschen - Tendenz steigend. Rückenbeschwerden sind auch in Deutschland „Volkskrankheit Nummer 1“ und haben im Jahr 2000 die Herz-/Kreislaufkrankungen auf Platz zwei verwiesen. Die volkswirtschaftlichen Kosten durch krankheitsbedingte Ausfallzeiten, Therapie und Sekundärprävention summieren sich in Deutschland auch bei vorsichtiger Wertung der Angaben der Versicherungsträger auf mindestens 40 Milliarden €/a (vgl. [2] – [4]).

### **1.1.1 Hintergrund des Problems**

Seit unsere Vorfahren vor fast zwei Millionen Jahren zu Zweibeinern wurden, sind sie als „Homo erectus“ täglich auf Nahrungssuche „gegangen“ und haben als Jäger und Sammler einen Großteil des Tages im Gehen verbracht, also mit „zwangsweise“ aufrechter Oberkörperhaltung. Die menschliche Körpergestalt stellt als Ergebnis eines Selektionsprozesses eine Anpassung an das ausdauernde Gehen dar (vgl. [1], [5] bis [9]).

In jedem einzelnen Menschenleben spiegelt sich dieser Evolutionsprozess wider: während der Stoffwechsel der Bandscheiben bei Kindern noch durch einen direkten Anschluss an die Blutversorgung gewährleistet ist, erfolgt der Nährstoff- und Schlackenausgleich der Bandscheiben im Erwachsenenalter nur noch mit der sie umgebenden Flüssigkeit und funktioniert allein durch einen auf ihnen lastenden unterschiedlichen Druck zwischen Liegen bei Nacht und erforderlicher aufrechter Haltung des Oberkörpers am Tag.

Erst in den letzten Jahrzehnten haben wir „Zivilisierten“ uns, bedingt durch unsere zunehmend sitzende Lebens- und Arbeitsweise, immer mehr zum „Homo sedens“, mit den durch Bewegungsmangel und Zwangshaltungen verursachten Rückenbeschwerden entwickelt. Und dies ist der resultierende „Circulus vitiosus“:

Ein dauerndes Stillsitzen mit krummem Rücken führt zur schmerzhaften Verkrampfung der Rücken- und zur Erschlaffung der Bauchmuskulatur. Diese untrainierte Rumpfmuskulatur bietet dann nicht das nötige, starke „Stützkorsett“ für eine aufrechte Körperhaltung und verstärkt so die krumme Sitzhaltung, die Bandscheiben und Wirbelkörper schädigt.

## **1.2 Derzeitige Lösungen**

Für gehfähige Menschen ist der logischste, einfachste, billigste und jederzeit „gangbare“ Weg aus diesem Teufelskreis also regelmäßiges Wandern, wie es von Orthopäden und Schmerztherapeuten selbst bei akuten Rückenschmerzen empfohlen wird, wobei die gleichermaßen wirksamen Alternativen zum täglichen Wandern, wie Reiten, Skilanglauf, Tanzen, Rückenschwimmen oder der Besuch einer „Rückenschule“ mit noch höherem zeitlichem, organisatorischem oder auch finanziellem Aufwand verbunden sind (Bild 1).

Weil gehfähige Menschen von diesen Möglichkeiten offensichtlich aus eigener Einsicht und „eigenem Antrieb“ nicht in genügendem Umfang Gebrauch machen und sich weder von Ärzten noch Arbeitgebern „bewegen lassen“, täglich einen Teil ihrer Freizeit für diese Aktivitäten aufzubringen, nimmt die Zahl der Betroffenen nicht ab.

Für gehbehinderte und nicht gehfähige Menschen gibt es keinerlei Lösung, sie können sich auch nicht auf einem Pferd halten, da dieses weder über Oberkörperstützen, Armlehnen noch einen festen Halt für Beine und Füße verfügt.

## **1.3 Die innovative Idee**

Alle oben aufgezählten Bewegungen sind für das Becken passiv - das Becken wird bewegt - beim Gehen, Tanzen und Skilanglauf durch die eigenen Beine, beim Reiten durch den Rücken eines Reittieres und zudem im Sitzen.

Der Mensch gleicht solche Beckenbewegungen durch aktive Muskelarbeit der gesamten Rumpfmuskulatur aus, um den Kopf ruhig halten zu können und dies ist nur bei aufrechter Oberkörperhaltung mit dem Rücken in seiner natürlichen Doppel-S-Schwingung möglich.

Weil Probleme durch Bewegungsmangel nur durch Bewegung zu beheben sind, ist das Ziel, diese in der Natur gefundene Lösung in innovative technische Produkte umzusetzen, also die Bewegung durch Sitzgelegenheiten anzubieten, deren Sitzfläche von einem mechatronischen Antriebsmodul bewegt wird. So können beliebige Bewegungsabläufe, besonders die kombinierten Vorteile von Wandern und Reiten am Arbeitsplatz und während der Arbeitszeit genutzt werden und dies bei voller Konzentration auf die eigentliche Tätigkeit.

Für behinderte Menschen ergibt sich durch solche Sitzgelegenheiten erstmals eine Möglichkeit zu gesunder Bewegung und Kräftigung der Muskulatur bei aufrechter Sitzhaltung.

# WANDERN

# REITEN

## Die gemeinsamen Vorteile von Wandern und Reiten:

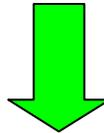
Zwangswise Ausgleich der Beckenbewegung durch aktive Muskelarbeit der Rumpfmuskulatur um Schultern und Kopf ruhig zu halten, dies bedeutet Muskel-Training für die erschlafften Bauchmuskeln und die verkrampften, schmerzenden Rückenmuskeln.

Dies geschieht bei zwangsweise aufrechter Körperhaltung,  
hierdurch keine gequetschten Organe,  
also verbesserte Herzleistung,  
bessere Durchblutung  
bessere Verdauung,  
tiefere Atmung,  
mehr Fitness.

Schmerzen in Schulter, Nacken und Kopf, aber auch in Armen und Beinen und ganz besonders im Rücken werden nicht nur verhindert, sondern auch behoben. Bessere Durchblutung des Gehirns beeinflusst Ohrengeräusche, Sehstörungen und Schluckbeschwerden positiv, führt aber vor allem zu erhöhter Konzentrationsfähigkeit und somit zu verbesserter Leistung, während der Rhythmus eine Integration von Denken, Fühlen und Handeln bewirkt, also gute Laune.

## Die individuellen Vorteile sind

beim Wandern: es geschieht im eigenen Gangbild, der Ausgleich der Bewegung des Beckens durch die Rumpfmuskulatur erfolgt automatisch und unbewusst!



beim Reiten: man wird zwangsweise, also fremdbewegt und es geschieht im Sitzen. Dies wird bereits therapeutisch genutzt: Therapeutisches Reiten, Hippotherapie!

## Die gemeinsamen Nachteile von Wandern und Reiten:

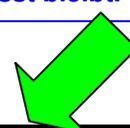
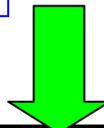
Ist in geschlossenen Räumen nur schlecht möglich,  
ist daher abhängig von der Witterung,  
ist auch nicht jederzeit möglich,  
ziemlich zeitaufwändig,  
z.T. kostenintensiv,

vor allem ist aber beides bei vielen Behinderungen nicht möglich!

## Die individuellen Nachteile sind:

beim Wandern, dass man stolpern kann und sich Schuhwerk und Beschaffenheit des Bodens negativ auswirken können. Selbst ein geringer Beckenschiefstand kann schädliche Auswirkungen haben.

beim Reiten, dass man einem fremden, zu heftigen Gangbild folgen muss und die vorgegebene Bewegung und deren Ausgleich durch die Rumpfmuskulatur daher immer bewusst bleibt.



Die Wirkweise von bewegten, ergotherapeutischen Sitzgelegenheiten vereinigt die gemeinsamen und individuellen **Vorteile** von Wandern und Reiten, während die gemeinsamen, und individuellen **Nachteile** von Wandern und Reiten sogar **in eindeutige Vorteile umgewandelt werden.**

**Wichtigster, alleiniger Vorteil** solcher Sitze ist ihre Anwendbarkeit bei dem Personenkreis, der wegen Behinderungen oder schlicht aus Altersgründen weder Wandern noch Reiten kann.

## SITZEN AUF DEM ERGOTHERAPEUTISCHEN SITZ

Bild 1: Hintergrund der Idee

## 2 Lösungsansätze durch innovative Produkte

### 2.1 Theoretische Lösungsansätze - Gewerblicher Rechtsschutz

Umfangreiche eigene Recherchen haben bereits im Vorfeld ergeben, dass die Idee der Umsetzung obiger Erkenntnisse in Sitzgelegenheiten, deren Sitzfläche durch ein Antriebsmodul zyklisch, kontinuierlich und in mindestens zwei Bewegungsrichtungen bewegt wird (Bild 2), die Voraussetzungen hinsichtlich der Neuheit (N), der erfinderischen Tätigkeit (ET) und der gewerblichen Anwendbarkeit (GA) für ein Patent erfüllt, daher:

- Deutsche Anmeldung 10/98, vor Ablauf von 12 Monaten:
- Internationale Anmeldung 10/99 im Rahmen des Patent Cooperation Treaty (PCT)
- Positiver Internationaler vorläufiger Prüfungsbericht hieraus 12/00,
- Einleitung der nationalen Phase US 04/01, der regionalen Phase EU 05/01, in Erteilung

Um die Gefahr einer Umgehung dieser Konzeptionspatente gering zu halten, ist der Schutzbereich sehr weit gefasst worden, geschützt sind somit:

- alle dreidimensionalen Bewegungen von Sitzflächen (eine davon das Human-Gangbild)
- erzeugbar durch beliebige Antriebe (elektromechanisch, hydraulisch, pneumatisch, etc.)
- für alle Arten von Sitzgelegenheiten, bewegte Stehhilfen, Fußbänkchen und Stehsitze (hieraus ergibt sich eine Vielzahl von Einsatzgebieten und Zielgruppen) (vgl. [10] – [14]).

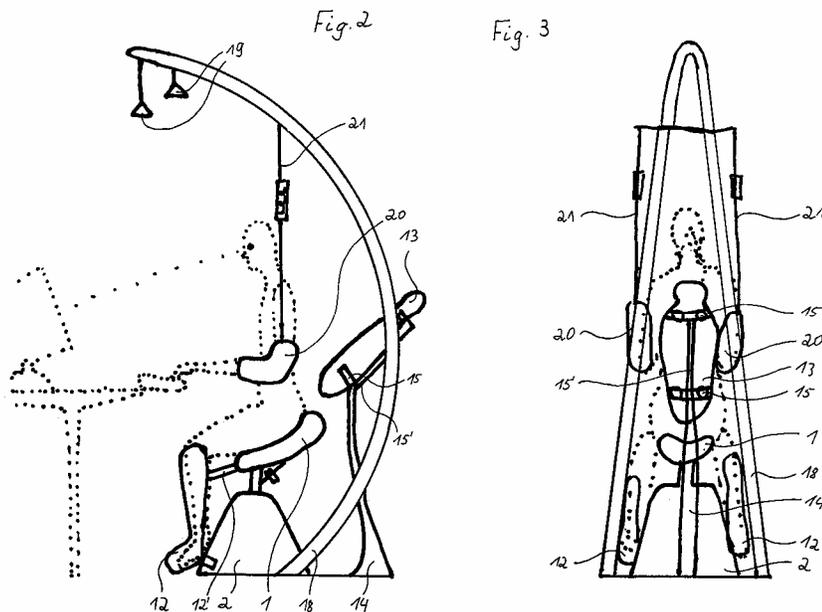


Bild 2: Komplette Sitzgelegenheit mit Oberkörper-, Arm- und Beinstützen plus Beleuchtung, links Seitenansicht (Fig. 2), rechts Rückansicht (Fig. 3)

Der Schutzbereich der Konzeptionspatente bezieht sich auf komplette Sitzgelegenheiten mit bewegter Sitzfläche, inklusive diverser innovativer Oberkörperstützen und gegebenenfalls mit innovativen Armlehnen und Beinstützen (Bild 2). Jede dieser drei Arten von Stützen hat eigene medizinische Wirkpotentiale, ist daher durch Teilungen aus dem regionalen EU-Patent separat angemeldet und so auch bei Sitzgelegenheiten mit unbewegter Sitzfläche geschützt, außerdem unabhängig von Sitzen als Liegehilfe bei Betten und Liegen (vgl. [15]).

## 2.2 Beispiele Antriebsmodule

Die Art der Sitzflächenbewegung ist durch die Patente nicht eingeschränkt und frei wählbar. Für nicht behinderte Personen sind auch die recht heftigen Reitbewegungen auf einem Passgänger (Kamel, Dromedar) oder einem Pferd denkbar, jedoch auch Tanzbewegungen zu Musik im gleichen Rhythmus.

Solche Standard-Bewegungsabläufe können durch einfachbauende, elektromechanische Module erzeugt werden, irgendeine Art von Individualisierung ist hier nicht erforderlich. Einzig die Geschwindigkeit bleibt stufenlos über die Motorleistung verstellbar und durch einen Sensor soll die Sitzhaltung und Einschaltdauer überwacht werden (1/2 Stunde täglich pro Person). Im Folgenden sind solche Beispiele von Antriebsmodulen aufgeführt.

### 2.2.1 Beispiel 1

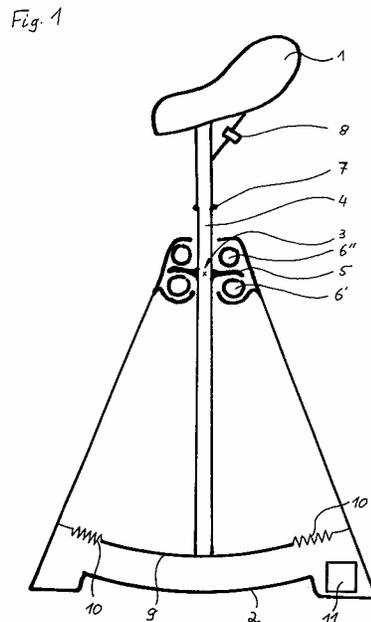


Bild 3: Antriebsmodul mit Kulissenstift – Kulissenscheibe, Seitenansicht

Bei dem in Bild 3 dargestellten Stuhl ist eine Sitzfläche 1 um einen zwischen einem stabilen Stuhlfuß 2 und der Sitzfläche 1 vorgesehenen Drehpunkt 3 in ihrem Neigungswinkel verlagerbar. Dieses wird dadurch gewährleistet, dass eine Haltestange 4, an welcher die Sitzfläche 1 starr befestigt ist mittels einer Stützscheibe 5 an dem Fuß 2 abgestützt ist. Hierbei ist die Stützscheibe 5 beweglich an den Fuß 2 abgestützt, so dass die Sitzfläche in geeigneter Weise, und zwar sowohl in Sitzrichtung als auch seitlich, verlagerbar ist.

Die Stützscheibe 5 ist mittels zweier elastischer Ringe 6' und 6'' an dem Fuß 2 gelagert, wobei sich die Stützscheibe 5 auf den unteren elastischen Ring 6' abstützt und von oben über den zweiten elastischen Ring 6'' gehalten wird. Wie unmittelbar ersichtlich, genügt bereits diese Anordnung, um eine in erfindungsgemäßer Weise verlagerbare Sitzfläche 1 zu schaffen, die eine aufrechte Ruheposition aufweist. Die Haltestange 4 weist desweiteren eine Höhenverstellung 7 sowie eine Neigungsverstellung 8 auf, so dass der Sitz an individuelle Bedürfnisse angepasst werden kann.

Wie aus Bild 3 ersichtlich, könnte die Haltestange 4 auch starr mit dem Fuß 2 verbunden sein, wenn eine entsprechende Bewegungsmechanik unmittelbar unter der Sitzfläche 1 vorgesehen ist, die eine Verlagerung um den dann virtuellen Drehpunkt 3 ermöglicht.

Bei der in Bild 3 dargestellten Ausführungsform ist an dem der Sitzfläche 1 gegenüberliegenden Ende der Haltestange 4 eine Gegenplatte 9 vorgesehen. Diese Gegenplatte 9 dient durch ihre träge Masse als Dämpfungselement, so dass die Bewegung der Sitzfläche 1 nicht zu leichtgänglich erfolgen kann. Darüber hinaus sind an der Gegenplatte 9 Federelemente 10 vorgesehen, die einerseits einer Schwingungsbegrenzung in Unterstützung der elastischen Ringe 6' und 6'' dienen und andererseits verhindern, dass die Sitzfläche 1 um die Haltestange 4 rotiert.

Während die bis dahin beschriebenen Baugruppen eine freie Verlagerbarkeit der Sitzfläche 1 um den Drehpunkt 3 gewährleisten, umfasst die in Bild 3 dargestellte Ausführungsform desweiteren einen Antrieb 11, der über einen Excentergetriebe mit der Gegenplatte 9 wirkverbunden ist. Hierbei ist das Getriebe derart gewählt, dass die Sitzfläche eine U-förmige, seitenalternierende Bewegung ausführt.

Wie unmittelbar ersichtlich, ist es auch möglich, die Haltestange 4 am Boden des Fußes 2 abzustützen und beweglich in der Stützscheibe 5 zu lagern. Durch eine Profilierung des Bodens des Fußes 2 kann dann eine U-förmige, seitenalternierende Hoch-Tiefbewegung, wie bei einem Pferd im Schritt, erreicht werden.

## 2.2.2 Beispiel 2

Fig. 5

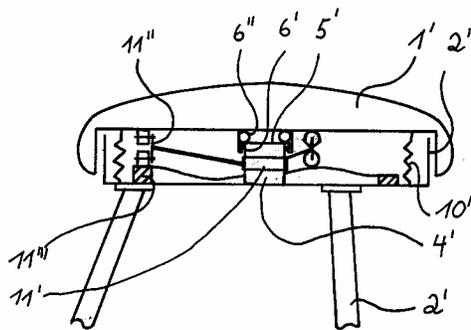


Bild 4: Antriebsmodul für Bewegung Hula- oder Bauchtanz, aber auch Reiten

Bei dem in Bild 4 dargestellten Stuhl sind die zur Bewegung der Sitzfläche 1' notwendigen Einrichtungen unmittelbar unter derselben in einem auf drei Fußstützen 2' abgestützten Gehäuse 2'' angebracht. Hierbei ist die Sitzfläche 1' entsprechend taumelbar auf einer Stütze 4' mittels zweier Gummiringe 6' und 6'' sowie mehrerer Stützfedern 10' angebracht. Hierbei umgreift eine entsprechende Halterung der Sitzfläche 1' eine Stützplatte 5' an der Stütze 4', über bzw. unter welcher die Gummiringe 6' bzw. 6'' angeordnet sind. Hierdurch kann der Stuhl an seiner Sitzfläche 1' angehoben bzw. versetzt werden und es wird gleichwohl eine erfindungsgemäße Bewegbarkeit gewährleistet. Die Stützfedern 10' dienen hierbei auch einem Rückstellen der Sitzfläche gegen eine unerwünschte Rotation derselben. Die Gummiringe 6', 6'' könnten auch durch einen außen im Randbereich umlaufenden Gummiring bzw. einen Schlauch realisiert werden. Die erfindungsgemäße Zwangsbewegung der Sitzfläche 1' wird durch einen angetriebenen Antriebsring 11' gewährleistet, welcher um die Stütze 4' umläuft und welcher Distanzstücke 11'' antreibt, die auf einer Führungsbahn 11''' mit dem Antriebsring 11' umlaufen. Die Führungsbahn 11''' ist profiliert, so dass eine gewünschte Neigungswinkeländerung folgt.

Wie aus Bild 4 unmittelbar ersichtlich kann statt der Stützen 2' auch ein zentraler Stützfuß, wie bei einem bekannten Schreibtischstuhl Verwendung finden. Ebenso ist es möglich, gänzlich auf die Stützen 2' zu verzichten und die Anordnung auf dem Boden oder auf einem normalen Sitz anzuordnen. Auf den Boden oder auf einem niedrigen Hocker angeordnet, kann diese Anordnung als Untersatz beim Stehen, insbesondere bei stehenden Tätigkeiten an Maschinen oder ähnlichem, oder aber auch als Fußbank dienen. Insbesondere ist es auch möglich, eine derartige Fußbank mit dem in Bild 2 dargestellten Sitzen zu kombinieren, insbesondere auch für

eine Stuhl-/Stehsitz-Kombination, bei welcher die Sitzfläche aus einer Sitzposition mittels einer Gasdruckfeder oder ähnlicher Hebemittel in eine Stehsitzposition verfahren wird. In der Sitzposition kann dann eine Person eine Position für Schreiarbeiten oder ähnliches einnehmen, während die Stehsitzposition für Tätigkeiten, die auch im Stehen ausgeführt werden können, genutzt wird. Die Stehsitzposition kann derart versetzt gegenüber der Sitzposition vorgesehen sein, dass ein Stehsitzen ohne weiteres, insbesondere ohne Behinderung durch eine Fußstütze oder eine tiefliegende Arbeitsplatte möglich ist.

Durch Auswechseln der Antriebs Elemente, insbesondere der Führungsbahn 11<sup>'''</sup> können auf besonders einfache Weise verschiedene Bewegungsabläufe realisiert werden. Ebenso ist auch ein anderer Antrieb denkbar. Insbesondere kann auch ein Antrieb aus gegeneinander versetzt angeordneten Linearantrieben, wie sie beispielsweise bei Flugsimulatoren Verwendung finden, genutzt werden.

### 2.2.3 Beispiel 3

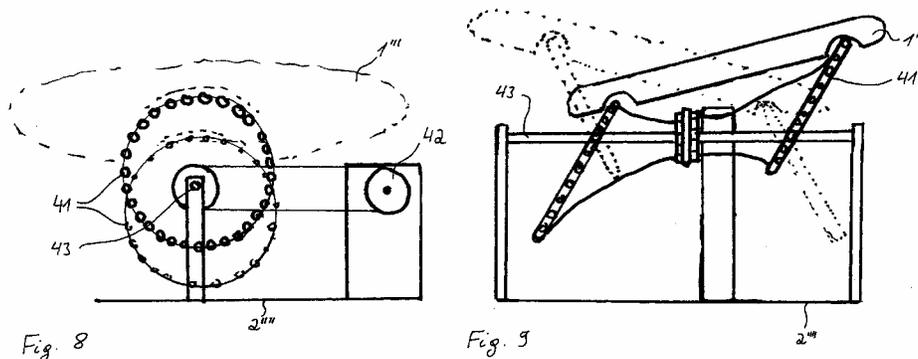


Bild 5: Antriebsmodul für Gangbild Passgänger, links Seitenansicht (Fig. 8), rechts Vorderansicht (Fig. 9)

Die in Bild 5 dargestellte Ausführungsform weist zur Realisation zwei starr miteinander verbundene, exzentrisch und mit einem Neigungswinkel gelagerte Kugellagerscheiben 41 auf, die unterhalb der Sitzfläche 1<sup>'''</sup> angeordnet sind und diese abstützen. Die Kugellagerscheiben 41 sind über einen Antrieb 42 rotierend angetrieben und auf einer Welle 43 gelagert. Darüber hinaus ist die Sitzfläche 1<sup>'''</sup> in einer nicht dargestellten Führung gegen ein unbeabsichtigtes Verkippen gesichert.

Durch Rotieren der Kugellagerscheiben 41 wird die Sitzfläche 1<sup>'''</sup> zu einer schaukelnden Bewegung angeregt, die in etwa der Bewegung eines Sattels auf einem Passgänger entspricht.

Hierbei bewegt sich die Sitzfläche 1''' bei einer halben Umdrehung der Kugellagerscheiben 41 von einer Seite zur anderen. Gleichzeitig taumelt die Sitzfläche 1''' während dieser Bewegung aufgrund der Exzentrizität der Kugellagerscheiben 41 durch eine verdrehte Stellung, diese Taumelbewegung weist die doppelte Frequenz wie die Seitenbewegung auf.

Statt der gezeigten mechanischen Anordnungen können auch andere Antriebe Verwendung finden. Insbesondere können die Mittel, die den Drehpunkt entsprechend der Sitzflächenbewegung verlagern, bzw. die Mittel, die zumindest einen Punkt der Sitzfläche 1'' bzw. 1''' zwangsweise kontinuierlich und zyklisch in mindestens zwei Bewegungsrichtungen periodisch bewegen, auch Steuereinrichtungen, wie elektrische oder elektronische Ansteuerungen, und entsprechende angesteuerte Stellantriebe oder andere Stellmöglichkeiten für die Sitzfläche und deren Neigungswinkel umfassen.

#### 2.2.4 Beispiel 4

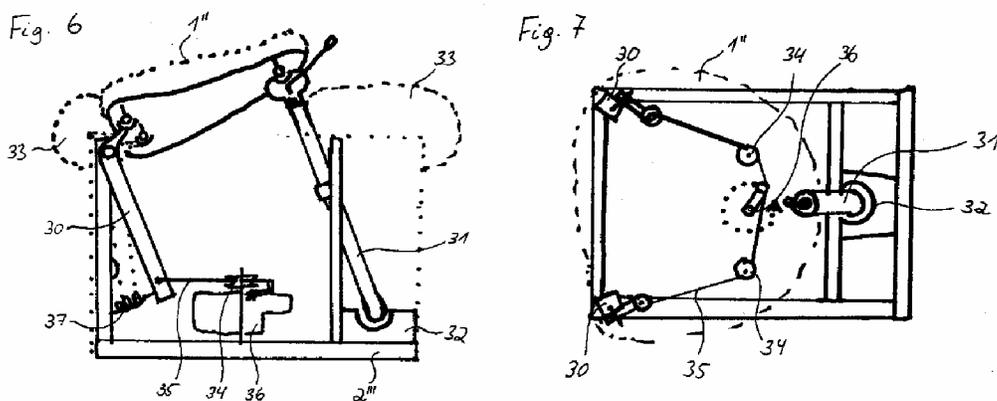


Bild 6: Antriebsmodul Gangbild Pferd, links Seitenansicht (Fig. 6), rechts Draufsicht (Fig. 7)

Auch der in Bild 6 dargestellte Stuhl weist eine Sitzfläche 1'' bzw. 1''' auf, die um einen Drehpunkt verlagerbar ist. Dieser Drehpunkt wird jedoch kontinuierlich mit der Bewegung der Sitzfläche 1'' bzw. 1''' verlagert, so dass die Bewegung besser in ihrer Komplexität allgemein zu beschreiben ist.

Während bei der in Bild 5 dargestellten Ausführungsform die Bewegung der Sitzfläche 1'' am ehesten der Bewegung eines Sattels auf einem Passgänger entspricht, entspricht die Bewegung der Sitzfläche 1''' bei dem in Bild 6 dargestellten Ausführungsbeispiel am ehesten der Bewegung eines Sattels auf einem Pferderücken.

Beide Stühle zeichnen sich durch eine zwangsweise kontinuierlich und zyklisch bewegte

Sitzfläche aus, wobei Mittel vorgesehen sind, die einen Drehpunkt entsprechend der Sitzflächenbewegung verlagern. Alle nach dem Stand der Technik bekannten Sitze bzw. Einrichtungen weisen hingegen einen fixierten Drehpunkt auf, der gegebenenfalls über wieder arretierbare Stellglieder in seiner Höhe verlagert werden kann, während der Drehbewegung selbst jedoch an einer Stelle verbleibt.

Darüber hinaus weisen beide Stühle Mittel auf, die zumindest einen Punkt der Sitzfläche 1" bzw. 1'" zwangsweise kontinuierlich und zyklisch in mindestens zwei Bewegungsrichtungen periodisch bewegen, wobei die Periode in einer Bewegungsrichtung größer als die Periode in die andere Bewegungsrichtung ist. Vorzugsweise ist die eine Periode genau doppelt so groß wie die andere Periode. Hierdurch kann eine Schaukel- bzw. Wippbewegung erreicht werden, wie sie letztlich bei den in den Bildern 5 und 6 beschriebenen Ausführungsbeispielen realisiert ist.

Um dieses zu realisieren, weist die in Bild 6 dargestellte Ausführungsform an dem Fuß 2" zwei Kipphebel 30 auf, welche die Sitzfläche 1" jeweils über ein Kugelgelenk abstützen. Die Sitzfläche 1" ist darüber hinaus mittels einer Stütze 31 ebenfalls über ein Kugelgelenk abgestützt. Die Stütze 31 weist eine Gasdruckfeder zur Höhenverstellung sowie zur Erhöhung des Sitzkomforts auf und ist in einer Kugelschale 32, vorzugsweise aus Nylon oder einem ähnlichen Gleitmaterial, gelagert.

Zur Komforterhöhung weist der Stuhl darüber hinaus noch Zusatzpolster 33 auf, die starr mit dem Fuß 2'" verbunden sind.

Die Kipphebel werden über einen durch Rollen 34 geführten Bowdenzug 35, welcher von einem Motor 36 kontinuierlich zyklisch zwangsbewegt wird, sowie über Rückholfedern 37 angetrieben. Durch das zyklische Anheben der Kniehebel wird die Sitzfläche 1" einerseits mit einer bestimmten Frequenz von rechts nach links verlagert, wobei die genaue Lage der Sitzfläche 1" durch die Geometrie aus Kipphebeln 30 und Stütze 31 bestimmt ist. Mit doppelter Frequenz hingegen wird die Sitzfläche 1", wie unmittelbar ersichtlich, darüber hinaus nach vorn und hinten bzw. auch in ihrer Höhe verlagert. Auf diese Weise entsteht eine Wippbewegung ähnlich der eines Sattels auf einem Pferd, die eine äußerst beruhigende, ja sogar therapeutische, Wirkung hat.

Es versteht sich, dass statt der Kugelgelenke auch andere Gelenke, wie beispielsweise Kniehebelgelenke mit genügend Spiel, oder ausreichend steife Federn Verwendung finden können.

Die in Bild 6 gezeigte Ausführungsform wurde bereits als Bewegungsmodell mit einem Scheibenwischermotor eines Ford Sierra realisiert. (Siehe Bild 7)



Bild 7: Bewegungsmodell zu Gangbild Pferd

### 2.2.5 Beispiel 5

Mit einer veränderten Anordnung des in Bild 6 gezeigten Ausführungsbeispiels lässt sich auch eine Bewegung der Sitzfläche 1" ähnlich einem Human-Gangbild erreichen, dass zudem auf individuelle Gangbilder zumindest in Vorwärtsamplitude und Seitbewegung verstellbar ist. Hierzu stützt die Stütze 31 die Sitzfläche vorn ab, während die beiden Kipphebel 30 hinten unter der Sitzfläche und somit unter dem Becken des Sitzenden angreifen. Die Kipphebel werden horizontal angeordnet, um eine geringere Bauhöhe zu erreichen. Anstelle des Bowdenzugs wird eine gebogene Wippe eingesetzt, die von einer auf der horizontal gelegenen Motorwelle befindlichen Excenterscheibe angetrieben wird. Auch hier ist eine Rückholfeder erforderlich. Durch Drehen des gesamten Motors, der sich zwischen den Kipphebeln befindet, greift die Excenterscheibe in anderer Entfernung vom Kippunkt der Wippe an, wodurch die Amplitude verändert wird. Die Verstellung der

Seitbewegung der Sitzfläche 1“ wird dadurch erreicht, dass die Sitze der Kippheldrehgelenke, die auf der Bodenplatte 2“ angebracht sind, horizontal gedreht werden. Der seitenalternierende Hub kann entweder durch Winkeländerung zwischen dem langen und dem kurzen Teil der Kipphebel oder durch Veränderung der Höhe des Wippenfußes beeinflusst werden. Auch hier können Sensoren zur Haltungsüberwachung eingesetzt werden (ohne Abbildung).

### **2.3 Das Projekt *Spinemover***

Bewegungen wie Reiten und Tanzen sind nicht nur für behinderte Menschen zu fremd und zu heftig, sie könnten sich auch bei Anwendern von Arbeitsstühlen störend auf die Arbeit auswirken. Die natürlichste Bewegung für den Menschen ist das ausdauernde Gehen, das zudem völlig unbewusst geschieht, deshalb sollen die Sitzflächen der unterschiedlichen Sitzgelegenheiten im individuellen Gangbild des Sitzenden bewegt werden.

Nun haben gehbehinderte und gehunfähige Personen kein Gangbild, dass mittels am Becken angebrachter Markern auf einem Laufband durch Kameras aufgezeichnet und in Rechnern ausgewertet werden könnte. Daher soll das Gangbild auf Basis der individuellen biometrischen Daten erfasst werden, durch einfaches und schnelles Messen der Körpermaße, wie Beinlänge, Beckenbreite und Fußlänge. Auch gehfähige Nutzer und Käufer von Arbeitsstühlen würden von einer unaufwändigen Gangbildefassung profitieren.

Weil keine Studien über die Zusammenhänge zwischen Gangbild und biometrischen Daten existieren, wurden u.a. auf der VDI-Mechatroniktagung 2001 in Frankenthal und während des Bionik-Kongresses in Saarbrücken Kontakte zu Instituten der in der Einleitung aufgeführten Fachgebiete aufgenommen, konkret zu den Humanbiologen der Universität des Saarlandes, zu Deutschlands erstem Fachgebiet Biomechatronik an der Technischen Universität Ilmenau und auch zu Deutschlands größter orthopädischen Klinik an der Friedrich-Schiller Universität Jena in Eisenberg.

Zur Finanzierung des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens, das inzwischen „*Spinemover*“ getauft wurde, erfolgte eine Beteiligung am Innovationswettbewerb zur Förderung der Medizintechnik 2003 und alle drei Institute stellten sich als Kooperationspartner zur Verfügung. Mit dem Gewinn wird das Projekt, dass am 01.04.04 angelaufen ist, nun auf zwei Jahre vom BMBF gefördert.

Erste Ergebnisse von Subexperiment a des Projektes mit 100 männlichen und 100 weiblichen Probanden, in dem geprüft wird, ob die bereits belegte systematische Nutzung der Rumpfbewegungen beim gehenden Menschen allometrisch skaliert ist – ob man aus Körpermaßen die Rumpfbewegung bei Menschen vorhersagen kann, bei denen sie nicht messbar ist, liegen bereits vor (Bild 8).

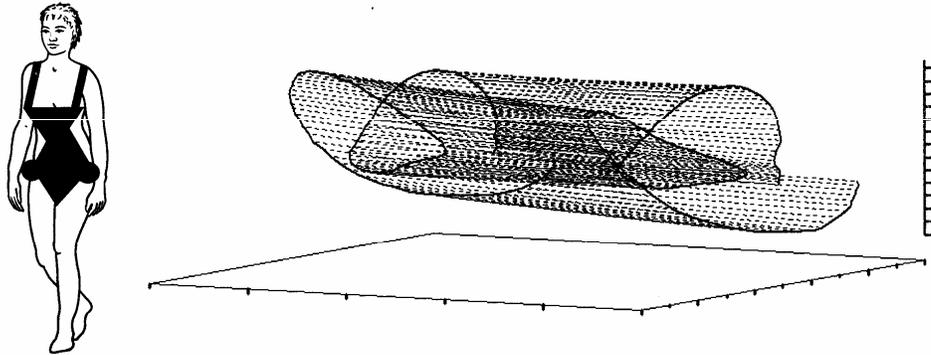


Bild 8: Pseudo-3D-Darstellung der räumlichen Bewegung des Beckens (repräsentiert durch die Beckenkämme) während eines Bewegungszyklus beim Gehen auf dem Laufband. Messdaten, daher sind die Kurven im Gegensatz zur Idealisierung nicht geschlossen. Quelle: pers. Mitteilung H. Witte, Ilmenau.

Mit dieser Studie werden die Voraussetzungen zur Entwicklung von zwei völlig verschieden Antriebsmodulen geschaffen.

**A) Hexapod-Antriebsmodul für klinische Stühle - für häufig wechselnde Nutzer -** (bis zu 24 Personen in 12 Stunden) bei täglicher Anwendung von 1/2 Stunde pro Person, für Personen, die entweder zeitlich begrenzt nach OP, oder dauerhaft wegen Behinderungen, oder schlicht aus Altersgründen nicht zum aktiven, ausdauernden Gehen in der Lage sind (ohne Abbildung).

Hier soll ein Hexapod-Antriebsmodul mit elektronischer Steuereinheit zum Einsatz kommen. Es soll per Chipkarte auf andere Gangbilder verstellbar sein, die neben den Gangbilddaten des Nutzers zusätzlich auch die Auswahl und Position der jeweils erforderlichen Oberkörper-Arm- und Beinstützen steuert. Außerdem soll eine Sensorüberwachung der Sitzdauer und des Sitzverhaltens mit Ausschaltautomatik und Notruftaste die lokale Dauerpräsenz von teurem Klinikpersonal während des täglich 12-stündigen Betriebs nicht unbedingt ständig erforderlich machen. Hauptsächlich potentielle Einsatzorte sind: orthopädische und chirurgische Kliniken, Rehabilitations-Zentren, physiotherapeutische Praxen und Seniorenheime.

Anwender dieser klinischen Hexapod-Lösung sind: Patienten nach Hüft- oder Knieoperation, Rheuma-Patienten, haltungsschwache oder an der Wirbelsäule erkrankte Kinder, Patienten mit allgemeinen Rückenschmerzen, Wirbelsäulenverkrümmungen oder Beckenschiefstand, aber auch Patienten nach Schlaganfall oder während Dialyse oder Chemotherapie ect..

Ein Hexapod-Antrieb, mit dem alle denkbaren Bewegungsabläufe generierbar sind - so auch individuell einstellbare Bewegungen im Gangbild - ist Stand der Technik (Flugsimulatoren, Werkzeugmaschinen), als Antriebslösung für die Bewegung von Sitzflächen ist er jedoch durch das Verfahrenspatent geschützt (vgl. [11] – [13]).

**B) Für alle anderen Sitzgelegenheiten - für nur selten wechselnde Nutzer** - (auch hier bei täglicher Anwendung von 1/2 Stunde pro Person = tägliche Einschaltdauer), insbesondere für Rollstühle, Bürostühle, oder Sitz/Stehsitze, auch bewegte Stehhilfen, Remobilisierungshilfen und Fußbänkchen, Fahrzeugsitze für Nutzfahrzeuge, wie LKW und Busse, Führerstandssitze für Bahnen und Schiffe, in der Luftfahrt Passagier- und Pilotensitze, Sitze für das Weltraumprogramm ISS und für therapeutische Sessel zum individuellen Gebrauch soll das Antriebsmodul identisch sein und nach dem folgenden Pflichtenheft als mechatronisches Modul mit gegebenenfalls nur mechanischer Verstellmöglichkeit auf andere Gangbilder konstruiert werden (vgl. Bild 9).

Um die Gefahr eines Sperrpatentes auf die kostengünstigste, also die marktwirtschaftlich relevanteste Umsetzung der Sitzflächenbewegung weitestgehend auszuschließen, wurde ein Konstruktionspatent auf das einfachste, in drei Bewegungsrichtungen manuell auf ein individuelles Gangbild einstellbare Antriebsmodul mit Koppelgetriebe angemeldet. [14]

Derzeit steht in Rahmen des Projektes *Spinemover* die Auswahl dieser technischen Prinziplösung an. Das Modul soll als Zukaufleistung gefertigt und in ein Funktionsmodell des *Spinemover* eingebaut werden. Die Versuchspersonen aus Subexperiment a werden in Subexperiment b im Sitzen daraufhin untersucht, ob der *Spinemover* die gleichen Rumpfbewegungen provozieren kann wie das eigene Gehen. Hier sind wie bei jedem Konstruktionsprozess Iterationsschritte einzuplanen. Diese Konstruktion soll in enger Zusammenarbeit mit den universitären Partnern geschehen.

In Subexperiment c des Projektes wird dann die Tolerierbarkeit dieser passiven Bewegung bei Patienten in ersten klinischen Tests an der Klinik für Orthopädie der Universität Jena angeboten (mit Genehmigung der Ethikkommission für Versuche am Menschen).

## Entwurf eines mechatronischen Antriebsmoduls

### Aufgabenstellung:

Die Sitzfläche einer beliebigen Sitzgelegenheit (Bürostuhl, Sessel, Rollstuhl, LKW-Sitz, Führerstandssitz für Bahnen, Busse, Flugzeuge, Schiffe) soll das Becken des Sitzenden mittels eines mechatronischen Antriebsmoduls so bewegen, dass dessen individuelles menschliches Gangbild nachgebildet wird. (Nach der Patentschrift WO 0022964)

Forderung	Konkretisierung
1 Realisierung eines Antriebsmoduls	kontinuierliche, zyklische, seitenalternierende Bewegung (6 Freiheitsgrade) das Gangbild des Menschen nachbildend
2 Individuell einstellbar	das individuelle, normale Gangbild des jeweiligen Benutzers vor Gebrauch einstellbar, hauptsächlich in Bezug auf Amplitude und Seitenausrichtung.(m/w) also Form der Bewegung, (manuelle Einstellung, alternativ elektronische Verstellung z.B. durch chip-card), weniger wichtig: die hoch/tief-Verstellbarkeit.
3 Individuell einstellbar	in Bezug auf Geschwindigkeit
4 Sensorgesteuert einstellbar:	während des Betriebes zwischen einer Minimal- und einer Maximal-Amplitude (durch Lage-Sensor) in Abhängigkeit von der Oberkörperhaltung des Sitzenden wechselnd (aufrechte Haltung erwünscht, bei Rundrücken: Einschaltung der Maximal-Amplitude, angekündigt z.B. durch akustisches Signal). (Alternative: Wechsel zwischen „aus“ und „maximal“)
5 Antriebsart	beliebig: elektromechanisch, hydraulisch, pneumatisch oder Kombinationen hieraus, Wunschumsetzung 1 einziger Elektromotor 12 V (Dauerbetrieb geeignet) (z.B. aus Bosch Automotive Drives Katalog), plus Trafo (Bürostuhl), alternativ: Kabel (LKW-Sitz)
6 Antriebsparameter	das Modul muss sowohl im Leerlauf als auch unter Belastung durch das Gewicht eines sitzenden Menschen (bis 120 kg?) funktionstüchtig sein. Wunschumsetzung: nur die Lageveränderung des Sitzenden soll bewegt werden und somit auf dem Antrieb lasten.
7 Kraftübertragung	durch marktübliche, kostengünstige Getriebe, Gestänge, Lager, Aufhängungen, Federn etc.
8 Abmessungen des Moduls	Höhe <100 mm, Breite und Tiefe < normale Sitzfläche
9 Weitere Forderung	geringes Laufgeräusch bzw. gute Isolierung (wichtig z.B. im Büro wegen Bildschirmarbeitsplatzverordnung)
10 Position im stromlosen Zustand	ausgeschaltet soll die Sitzfläche eine horizontale Position einnehmen, (beide Seiten gleich hoch).

Bild 9: Pflichtenheft

Nach dem in Bild 9 gezeigten Pflichtenheft wurden alle im Folgenden aufgeführten Antriebsmodule entwickelt. Das Beispiel 6, dargestellt in Bild 10, ist eine Entwicklung der Koautoren.

### 2.3.1 Beispiel 6

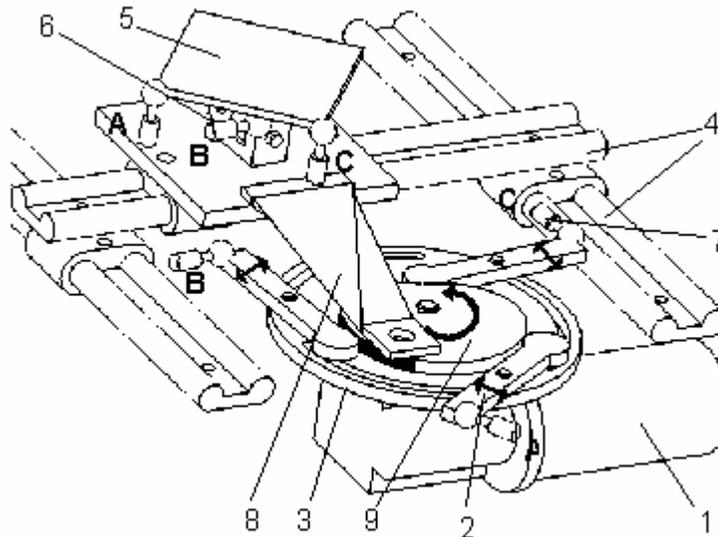


Bild 10: Bewegungsmodul für fünf Freiheitsgrade

Die Sitzfläche (5) wird zentral auf einem Kreuzgelenk (6) gelagert, um die Bewegung der Fläche in zwei rotatorischen Freiheitsgraden zu ermöglichen. Das Kreuzgelenk (6) ist auf dem bewegten Teil einer Kreuzanordnung zweier Linearführungen (4) drehbar gelagert. Dies ermöglicht die Bewegung in einem dritten rotatorischen Freiheitsgrad. Durch die Linearführungen (4) wird die Bewegung in zwei linearen Freiheiten ermöglicht. Die einzelnen Achsen aller Bewegungen stehen senkrecht aufeinander. Ein solcher Aufbau garantiert die Bewegung der Sitzfläche (5) in fünf Freiheiten (drei Kippungen, zwei Translationen).

Entlang der Hochachse verläuft die Aufnahme der Massenkraft über die einzelnen Getriebeglieder durch das Gestell. Zur gesteuerten Einleitung der Kippungen an der Sitzfläche (5) greifen in der jeweiligen Bewegungsebene mit einem gewissen Abstand zum Drehpunkt an der einen Seite ein Bowdenzug (7 A,B,C), ihm gegenüber eine Feder an der Anschlussplatte an. Beide Elemente finden ihre Gegenlagerung gestellfest oder am bewegten Kreuzführungsteil. Jeweils ein Bowdenzug- Feder- Paar bewegt so die Sitzfläche in genau einer o.g. Kippbewegung.

Zur Bewegungserzeugung dienen Kurvenscheiben (9), auf denen die jeweilige Gangfunktion abgebildet ist. Diese Kurvenscheiben (9) werden von einem Elektrotriebemotor (1) angetrieben, auf dessen Welle sie befestigt sind. Um die Kippbewegungen abzugreifen, werden Schwinghebel (2) eingesetzt. Abtastglied für die Kurvenscheibe ist eine Rolle, die auf einer Seite des Schwinghebels (2) gelagert ist. Auf dessen anderer Seite wird die Bewegung auf o.g. Bowdenzug (7) übertragen. Die Kopplung wird über ein Schraubenge triebe vorgenommen, das eine Einstellbarkeit der Hebellänge, also der Bewegungsamplitude ermöglicht. Die Schwinghebel (2) sind mit Lagerböcken, die auch das Gegenlager für den Bowdenzug beinhalten, konzentrisch um die Motorwelle gelagert. Die Befestigung dieser Lagerböcke wird mit Langlöchern realisiert, so dass eine Einstellbarkeit der Phasenwinkel der Bewegungen möglich ist (3).

Eine der Kurvenscheiben besitzt ein exzentrisch angebrachtes Achsenglied (8), das als Kurbelglied für die Erzeugung der beiden Translationsbewegungen dient. Über diese starre Verbindung wird so der Führungsschlitten zwangsgeführt.

### 2.3.2 Beispiel 7

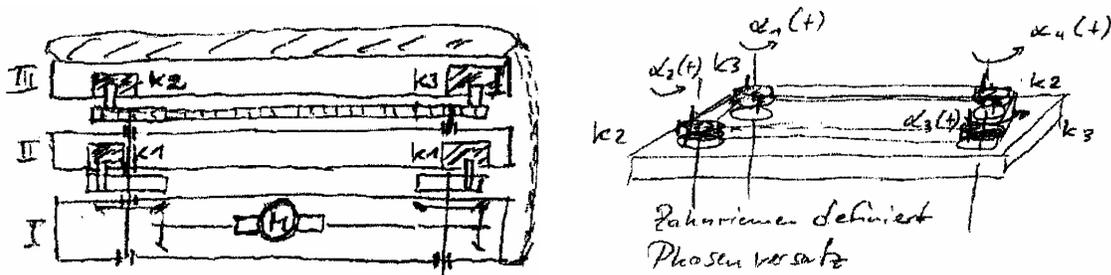


Bild 11: Getriebe-Vorschlag Prof. Witte

Bei der in Bild 11 vorgestellten Anordnung eines Getriebes mit Kulissenstiften sind die Kulissen k1 bis k3 jeweils paarig angeordnet, wobei k1 die pendelnde Verdrehung von Teilmodul II und III gegenüber der Grundplatte I bewirkt, während k2 und k3 den Höhenhub von III gegenüber I und II an den Ecken der Sitzfläche definieren. Der kreisförmig umlaufende exzentrische Sitz der Kulissenstifte (eventuell mit Rad), jeweils in einem Langloch, zeigt eine aufgeprägte Funktion und ermöglicht die Verstellung der Amplitude, ein Zahnriemen definiert den Phasenversatz.

### 2.3.3 Beispiel 8

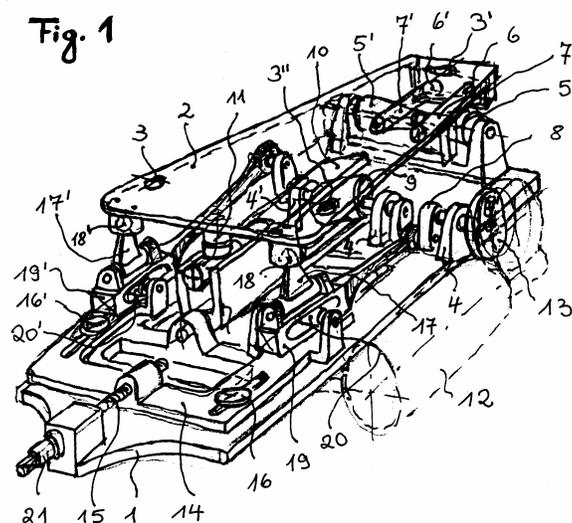


Bild 12: Getriebe Dr. Kopp, in zwei Bewegungsrichtungen verstellbar, Schrägansicht

Bei den in Bild 12 und 13 gezeigten Lösung wird der Sitzplattenträger 2 und damit die darauf in Punkten 3, 3', 3'' befestigte gepolsterte Sitzplatte gegenüber dem Unterrahmen 1, der mit dem auf dem Boden aufstehenden Stuhlgestell fest, ggf. neig- und feststellbar verbunden ist, in besonderer, dem Patent WO 00 22 964 entsprechenden Weise geführt. Dies wird mit einer der möglichen Koppelgetriebeanordnungen erreicht, die in Bild 12 und 13 dargestellt sind.

Ein auf der einen Seite der vertikalen Symmetrieebene des Unterrahmens 1 befindlicher Punkt 18 wird durch ein dort gelegenes Koppelgetriebe geführt. Ein entsprechender Punkt 18' auf der anderen Seite der genannten Symmetrieebene wird durch ein dort gelegenes Koppelgetriebe geführt. Eine Kurbelwelle 8 ist gemeinsamer Bestandteil der beiden Koppelgetriebe. Die Kröpfung der Kurbelwelle 8 für das eine, den Punkt 18 führende Getriebe ist gegenüber der Kröpfung der Kurbelwelle 8 für das andere, den Punkt 18' führende Koppelgetriebe um 180° phasenversetzt. Die Punkte 18, 18' sind Mittelpunkte von Kugelgelenken zwischen Stützen 17 bzw. 17' und 2 (oder Gleichwerte).

Die Stützen 17 und 17' sind mit den Koppeln 19 bzw. 19' drehbar aber nicht axialverschiebbar verbunden. Die Koppeln 19 bzw. 19' sind drehbar mit der Kurbel- oder Exenterwelle 8 verbunden. 8 ist seinerseits mit dem Unterrahmen 1 drehbar verbunden und wird über eine Kupplungsscheibe 13 durch einen mit 1 fest verbundenen Getriebemotor in Drehung versetzt. Die Koppeln 19 und 19' sind in der hier dargestellten Ausführungsform mit nicht notwendigerweise geradlinigen Schlitzen konstanter lichter Breite ausgestattet, in die Rollen 20 bzw. 20' eingreifen, welche ihrerseits auf Lagerböcken drehbar sind, welche

Bestandteil des Verstell Schlittens 14 sind. Der Verstell Schlitten 14 ist mittels einer Verstellspindel 15, welche bei 21 zu Verstellzwecken gedreht werden kann, gegenüber 1 längs der vertikalen Symmetrieebene des Unterrahmens 1 verschiebbar. Zur Führung des Verstell Schlittens 14 gegen 1 können, wie hier dargestellt, zwei versetzte Bolzen 16 und 16' dienen, die mit 1 verbunden sind und in versetzte und einander parallele Schlitze von 14 eingreifen.

Am Sitzplattenträger 2 ist mittig nahe der Verbindungsgeraden durch die Punkte 18 und 18' die vertikale Drehachse einer Walze 11 gelegen, welche darin dreh- und zu Verstellzwecken verschiebbar mit 2 verbunden ist. Diese Walze 11 greift in einen vertikal geöffneten Schlitz eines Schlitzstückes 10 ein, welches mit dem Unterrahmen 1 um eine im wesentlichen horizontale, in der vertikalen Symmetrieebene gelegene Achse drehbar verbunden ist. Das Schlitzstück 10 besitzt im Bereich der Kurbelwelle 8 einen zweiten horizontal geöffneten Schlitz, in welchen ein schräg auf 8 fester Zylinder 9 eingreift, welcher bei Umlauf von 8 gegen 1 eine Hin- und Herdrehung von 10 gegen 1 hervorruft. Die Seitwärtsbewegung von 2 gegen 1 ist umso kleiner, je tiefer die Walze 11 gegenüber 2 gestellt wird, je tiefer also 11 in den zuerst genannten Schlitz von 10 eintaucht.

In der Nähe der Kurbel- oder Exenterwelle 8 befindet sich ein Paar von in 1 festen Lagerböcken, in denen z.B. eine bombierte Rolle 5 drehbar ist, auf der senkrecht zu deren Achse eine zweite Rolle 6 ruht, welche in Lagerböcken drehbar ist, die mit dem Sitzplattenträger 2 fest verbunden sind. Hierdurch entsteht der dritte, für 2 erforderliche Stützpunkt 7. Formschluss-Mittel, um ein Abheben der Rolle 6 von der Rolle 5 zu unterbinden, sind hier aus Gründen gebotener Übersichtlichkeit nicht dargestellt (vgl. [14]).

### 2.3.4 Beispiel 9

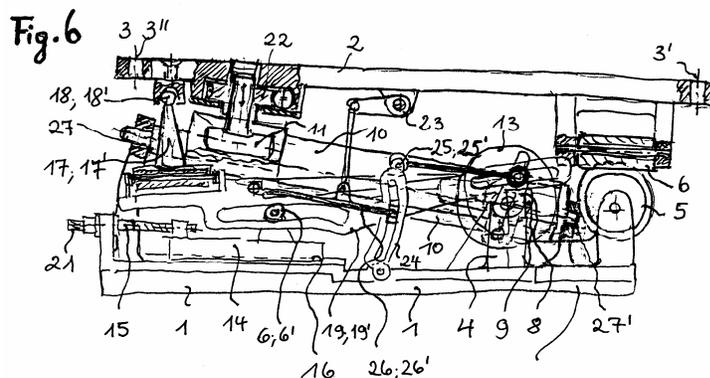


Bild 13: Getriebe Dr. Kopp, in drei Bewegungsrichtungen verstellbar, Seitenansicht

### **3 Ausblick**

#### **3.1 Einladung**

Gesucht wird ein in Deutschland ansässiges Unternehmen (oder auch Institut), das ein Bewegungsmodell des elektromechanischen Antriebsmoduls B) zur Durchführung von Subexperiment b und c auf Basis der Daten aus Subexperiment a des Projektes *Spinemover* in enger Zusammenarbeit mit den universitären Partnern als Auftragsleistung entwickelt und herstellt (siehe Bild 9 Pflichtenheft).

#### **3.2 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit**

Weitere Forschungsansätze für den *Spinemover* bzw. für diverse nach den gewerblichen Schutzrechten zu fertigenden Sitzversionen sind:

- Erprobung anderer passiv induzierter Bewegungsabläufe (z. B. Kamelreiten, Bauchtanz, Standardtänze, etc.) im Zusammenhang mit psycho-motorischen und psychologischen Aspekten
- Einsatz der höhenverstellbaren Version „Stehsitz“ oder der Stehhilfe im Vergleich zu vorhandenen „Geh- und Remobilisierungsvorrichtungen“, die darauf abzielen, Patienten wieder gehfähig zu machen
- Verhinderung von Sekundenschlaf und der negativen Auswirkungen der Vibrationen (Humanschwingungen) bei Fahrzeugführern (Bahnführerstand- und Lkw-Sitze)
- Einsatz nach Lähmungen und Bewegungsstörungen durch Schlaganfall

#### **Literatur**

- [1] Hoffmann H. (2001): Eine experimentelle Studie zur Systematik der Nutzung von Rumpfschwingungen beim menschlichen Gehen. – Dissertation Bochum.
- [2] Junghanns H. (1986): Die Wirbelsäule unter den Einflüssen des täglichen Lebens, der Freizeit, des Sportes. – In: Junghanns H. (Hrsg.): Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Band 100, 2. Auflage, Hippokrates, Stuttgart.
- [3] Krämer J. (2003): Handbuch Orthopädie. Wirbelsäule. (Bd. 8). Thieme, Stuttgart.
- [4] Krämer J. & Grifka J. (2001): Orthopädie. 6. Auflage. Springer, Berlin.

- [5] Witte H. (1992): Über mechanische Einflüsse auf die Gestalt des menschlichen Körpers. – Dissertation Bochum.
- [6] Witte H. (2002): Hints for the construction of anthropomorphic robots based on the functional morphology of human walking. – Journal of the Robotic Society of Japan 20(3): 247-254.
- [7] Witte H. & Fischer M. S. (2000): Evolutionsbiologische Betrachtungen zu den Entstehungsbedingungen menschlicher Wirbelsäulenerkrankungen. – In: Radandt, S., Grieshaber R. & Schneider W. (Hrsg.) Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen. Monade Konzept & Kommunikation, Leipzig, 64 – 72.
- [8] Witte, H., Hoffmann, H., Hackert, R., Schilling, C., Fischer, M. S. & Preuschoft, H. (2004): Biomimetic Robotics should be based on Functional Morphology. – J. Anat. 204: 331-342.
- [9] Witte, H., Schilling, N., Hoffmann, H., Hackert, R., Voges, D., Lilje, K. E., Schmidt, M. & Fischer, M. S. (2002): Der Rumpf wird vom Menschen und von anderen Säugetieren systematisch für die Fortbewegung genutzt. – In: Grieshaber, R., Schneider, W., Scholle, H.C. (Hrsg.) Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen. Monade Konzept & Kommunikation, Leipzig, 291-304.
- [10] DE-P 199 82 107.0
- [11] WO-P 00 22 964
- [12] US-P 09/807.410
- [13] EU-P 99 957 916.2
- [14] DE-P 103 00 661.3
- [15] EU-P 040 14 442.0 (Teilung aus EU)

### **Danksagung**

Spinemover<sup>®</sup> ist ein Gewinnerprojekt 2003 des Innovationswettbewerbs zur Förderung der Medizintechnik und wird auf zwei Jahre unter dem Förderkennzeichen 01 EZ 0338 über das DLR vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.