



(10) **DE 10 2010 003 882 A1** 2011.10.13

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 003 882.2**

(22) Anmeldetag: **12.04.2010**

(43) Offenlegungstag: **13.10.2011**

(51) Int Cl.: **E05F 11/38 (2006.01)**
B60J 1/12 (2006.01)

(71) Anmelder:

Forschungsholding TU Graz GmbH, Graz, AT;
Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co. KG, Graz,
AT; Technische Universität Graz, Graz, AT

(74) Vertreter:

Dilg Haeusler Schindelmann
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80636, München,
DE

(72) Erfinder:

Gferrer, Anton, Graz, AT; Lang, Johann, Graz, AT;
Haselwanter, Alexander, Graz, AT; Bindar, Gernot,
Graz, AT; Mayr, Johannes, Graz, AT; Harrich,
Alexander, Graz, AT; Hirz, Mario, Graz, AT

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 195 04 781 C1
DE 100 44 767 A1

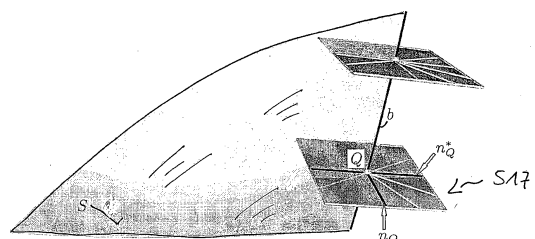
HOISCHEN, Hans. Technisches Zeichen.22.
Auflage Düsseldorf. Cornelsen Verlag Schwann-
Girardet, 1988.S.273f.-ISBN 3-590-82024 1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln einer Sollbewegung, zum Bewegen und zum Modifizieren eines verfahrbaren Bauteils**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Ermitteln einer Sollbewegungsbahn eines verfahrbaren Bauteils bereitgestellt, wobei das Verfahren aufweist: Bereitstellen von Forminformation (g_j) des Bauteils; Modellieren der Sollbewegungsbahn als parametrisierte Schraubungsbewegungsbahn (100, 600); und Ermitteln der Parameter (v , w) der Schraubungsbewegungsbahn basierend auf der Forminformation. Weiter wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bewegen eines verfahrbaren Bauteils, ein Verfahren zum Herstellen einer Führungsschiene zum Führen eines verfahrbaren Bauteils, eine Führungsschiene, ein Verfahren zum Modifizieren eines verfahrbaren Bauteils, ein modifiziertes verfahrbares Bauteil, sowie ein Computerprogrammprodukt bereitgestellt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ermitteln einer Sollbewegung eines verfahrbaren Bauteils, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bewegen eines verfahrbaren Bauteils, ein Verfahren zum Herstellen einer Führungsschiene zum Führen eines verfahrbaren Bauteils, eine Führungsschiene, ein Verfahren zum Modifizieren eines verfahrbaren Bauteils, ein modifiziertes verfahrbares Bauteil, sowie ein Computerprogrammprodukt, welches ausgebildet ist, wenn durch einen Computer ausgeführt, ein Verfahren zum Ermitteln einer Sollbewegung eines verfahrbaren Bauteils auszuführen. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung oben genannte Verfahren und Vorrichtungen, wobei das verfahrbare Bauteil eine Fensterscheibe ist, insbesondere eine verfahrbare Fensterscheibe eines Automobils.

[0002] Es ist bekannt, ein ebenes Fahrzeugseitenfenster durch eine einfache Translationsbewegung auf- und abzubewegen, um ein Fenster eines Fahrzeuges zu schließen bzw. zu öffnen. Seitdem die Herstellung von gekrümmten Fensterscheiben ermöglicht ist, kommen auch gekrümmte verfahrbare Fahrzeugseitenfenster zur Anwendung. Insbesondere können derartig gekrümmte (doppelt gekrümmte) Gläser eine höhere Rigidität aufweisen als ebene Fenstergläser. Weiterhin sind durch den Einsatz von gekrümmten Fahrzeugseitenscheiben dem Fahrzeugdesigner größere Gestaltungsmöglichkeiten eröffnet.

[0003] Es hat sich jedoch gezeigt, dass es ein schwieriges Unterfangen ist, eine geeignete Kinematik einer Fahrzeugfensterscheibe zum Auf- und Abbewegen der Fensterscheibe zu bestimmen und sodann konstruktiv zu ermöglichen.

[0004] Häufig arbeitet ein Designer, welcher eine bestimmte Fensterform vorgibt, zusammen mit einem Konstrukteur, welcher eine geeignete technische Lösung zum Auf- und Abbewegen der Fensterscheibe mit vorgegebenem Design aufzufinden hat. Dabei müssen verschiedene technische Nebenbedingungen erfüllt sein, wie zum Beispiel eine Begrenzung der Verformung von Dichtungen in Führungsschienen der Fensterscheibe während des Auf- und Abbewegens der Fensterscheibe innerhalb beispielsweise einer Seitentür des Fahrzeuges.

[0005] Druckschrift DE 195 04 781 C1 offenbart eine Scheibenführung für eine absenkbar sphärisch gekrümmte Fensterscheibe in einer Fahrzeugtür, wobei zwei Führungsschienen zusätzlich quer zur Verschieberichtung gekrümmt sind, so dass der Verschiebebewegung der Fensterscheibe zusätzlich eine Schwenkbewegung überlagert ist. Derartige Füh-

rungsschienen sind jedoch lediglich für sphärisch gekrümmte Fensterscheiben einsetzbar.

[0006] Häufig ist der Konstrukteur nicht in der Lage, für eine von dem Designer entworfene Oberflächenform der Fensterscheibe eine Kinematiklösung (eine Festlegung einer Form oder Geometrie der Auf- und Abbewegung) zu bestimmen, welche alle technischen Nebenbedingungen erfüllt.

[0007] Es mag einen Bedarf geben, ein Verfahren zum Ermitteln einer Sollbewegungsbahn eines verfahrbaren Bauteils, insbesondere einer verfahrbaren Fensterscheibe, anzugeben, um eine Lösung des Kinematikproblems bei vorgegebenem Fensterdesign (insbesondere vorgegebener Oberflächenform der Fensterscheibe) zu erleichtern. Es mag weiter einen Bedarf zum Bewegen eines verfahrbaren Bauteils, insbesondere einer verfahrbaren Fensterscheibe, geben, welches insbesondere zum Konstruieren eines Hebe- und Absenkmechanismus in einer Fahrzeugseitentür anwendbar ist.

[0008] Weiterhin mag es einen Bedarf für ein Verfahren zum Herstellen einer Führungsschiene und für eine Führungsschiene zum Führen eines verfahrbaren Bauteils, insbesondere einer verfahrbaren Fensterscheibe, entlang einer Führungskurve geben, welches geeignet ist, ein Bauteil, insbesondere eine Fensterscheibe, welche ein vorgegebenes Design hat, zu führen, insbesondere innerhalb einer Seitentür eines Automobils.

[0009] Weiterhin mag es einen Bedarf für ein Verfahren zum Modifizieren eines verfahrbaren Bauteils, insbesondere einer verfahrbaren Fensterscheibe, welches bzw. welche eine vorgegebene Formgestalt aufweist, geben, um dieses Bauteil bzw. diese Fensterscheibe derart abändern zu können, dass das Bauteil bzw. die Fensterscheibe leichter verfahrbar ist bzw. eine Bewegung des modifizierten Bauteils bzw. der modifizierten Fensterscheibe zu weniger technischen Probleme, Kollisionen oder Deformationen von Komponenten entlang des Bewegungspfades kommt.

[0010] Weiterhin mag es einen Bedarf geben, ein Verfahren bereitzustellen, welches erlaubt, ein Bauteil bzw. eine Fensterscheibe mit vorgegebenem Design (insbesondere Oberflächenform) hinsichtlich einer Verwendbarkeit als verfahrbares Bauteil bzw. verfahrbare Fensterscheibe zu bewerten, insbesondere mit einem Qualitätsmaß oder Geeignetheitsmaß zu bewerten.

[0011] Gemäß einer Ausführungsform ist ein Verfahren zum Ermitteln einer Sollbewegungsbahn eines verfahrbaren Bauteils, insbesondere einer verfahrbaren Fensterscheibe (z. B. eines Automobils), bereitgestellt, wobei das Verfahren aufweist: Bereitstel-

len von Forminformation des Bauteils; Modellieren der Sollbewegungsbahn als parametrisierte Schraubungsbewegungsbahn; und Ermitteln der Parameter der Schraubungsbewegungsbahn basierend auf der Forminformation.

[0012] Das Bauteil ist verfahrbar, was insbesondere umfasst, dass das Bauteil translaterbar und/oder rotierbar ist. Das Bauteil kann manuell oder motorgestützt verfahrbar sein. Das Bauteil mag insbesondere ein Bauteil mit flächiger Ausdehnung sein, wobei das Bauteil, insbesondere dessen Oberfläche(n), eine ebene oder/und gekrümmte Form aufweisen kann. Das Bauteil mag eine Schiebetür, ein Schiebefenster, ein Cabrioletverdeck oder ein Teil desselben, insbesondere eine auf- und abbewegbare Fensterscheibe eines Automobils, insbesondere einer Seitentür eines Automobils, umfassen.

[0013] Insbesondere mag das Bauteil, insbesondere die Fensterscheibe, eine gekrümmte Oberflächenform aufweisen. Insbesondere mag das Bauteil, insbesondere die Fensterscheibe, durch einen Designer gemäß einer spezifischen Gestaltungsästhetik vorgegeben sein. Das Bauteil mag insbesondere Glas und/oder Kunststoff umfassen, insbesondere ein oder mehrere Glasschichten mit dazwischen angeordneter oder angeordneten Kunststoffschicht(en). Das Bauteil mag im sichtbaren Lichtwellenlängenbereich transparent sein. Das Bauteil mag eine getönte Scheibe umfassen, welche einen Teil des sichtbaren Lichtwellenlängenbereichs in seiner Intensität abschwächt.

[0014] Die Forminformation des Bauteils kann Information umfassen, welche eine Gestalt einer Oberfläche des Bauteils charakterisiert. Die Forminformation kann beispielsweise durch eine Angabe einer Höhe in Abhängigkeit von zwei unabhängigen Variablen umfassen, wodurch eine Grenzfläche des Bauteils zu der Umgebung definierbar ist. Die Forminformation kann beispielsweise in elektronischer Form vorliegen. Die Forminformation kann Punktwolke(daten) (eine Menge von Koordinatentripeln) umfassen, welche Orte der Oberfläche des Bauteils im dreidimensionalen Raum angeben. Die Forminformation des Bauteils kann durch ein Gitter oder ein Raster gegeben sein. Weiter kann die Forminformation des Bauteils durch eine mathematische Funktion festgelegt sein.

[0015] Das Bereitstellen der Forminformation mag ein Zuführen, Einlesen, Bestimmen, Messen, Abtasten, aus einem Speicher Lesen, oder Eingeben der Forminformation umfassen. Die Forminformation kann beispielsweise als eine Datei eines CAD (Computer-Aided-Design) Programms vorliegen, welche von einem Designer erstellt wurde.

[0016] Eine Bewegungsbahn mag eine Bewegung (d. h. Verlagerung oder Positionsänderung oder Ko-

ordinatenänderung mit der Zeit) eines Punktes oder einer Vielzahl von Punkten mit der Zeit festlegen. Die Bewegungsbahn mag durch Orte im dreidimensionalen Raum gegeben sein, welche eine Trajektorie bilden, d. h. nebeneinander liegen. Zu einem gegebenen Zeitpunkt mögen die Koordinaten eines Punktes (der Oberfläche) des Bauteils durch einen Punkt auf der Bewegungsbahn gegeben sein.

[0017] Die Sollbewegungsbahn mag eine Bewegungsbahn sein, entlang derer das verfahrbare Bauteil bewegbar derart ist, dass es so gut wie möglich "in sich" übergeht. Ein Körper kann unter einer Bewegung in sich übergehen, wenn ein Oberflächenbereich des Körpers unter der Bewegung auf einen davon entfernt gelegenen Oberflächenbereich abgebildet wird, oder zumindest approximativ bewegt wird. Im Allgemeinen mag das Bauteil mit vorgegebener Form unter einer beliebigen Bewegung nicht in sich bewegt werden. Im Allgemeinen mag es gar keine Bewegung entlang einer Bewegungsbahn geben, unter der das Bauteil, bzw. die Oberfläche des Bauteils oder ein Oberflächenbereich des Bauteils, in sich bewegt wird. Dies ist streng genommen nur bei bestimmten geometrischen Formen, wie einer Gerade (Abbildung "in sich" durch Translation entlang der Geradenrichtung), einem Kreis oder einer Kugel (Abbildung "in sich" durch Drehung um den Mittelpunkt des Kreises bzw. der Kugel) gegeben.

[0018] Wenn eine Abbildung "in sich" für ein Bauteil mit vorgegebener Form nicht möglich ist, so kann gemäß einer Ausführungsform immerhin jene Sollbewegungsbahn ermittelt werden, bei der das Bauteil zumindest approximativ "in sich" bewegt wird, so dass es, unter der Sollbewegung, nur relativ geringfügige Abweichungen einer Abbildung eines Oberflächenbereiches auf einen entfernt davon gelegenen Oberflächenbereich gibt.

[0019] Gemäß dieser Ausführungsform ist die Sollbewegungsbahn eine Schraubungsbewegungsbahn. Im Allgemeinen mag eine Oberfläche durch eine Bewegung nur dann in sich bewegt werden, wenn es sich bei der Bewegung um eine Schraubung handelt. Eine Schraubungsbewegungsbahn mag durch eine Schraubachse und einen Schraubparameter p , welcher mit $2 \cdot \pi$ multipliziert die Ganghöhe h nach einer Schraubung um 360° kennzeichnet, charakterisiert werden. Dabei parametrisieren beispielsweise die Schraubachse und der Schraubparameter die Schraubungsbewegungsbahn. Die Schraubungsbewegungsbahn mag auf andere Weise parametrisiert sein, beispielsweise durch zwei Vektoren v und w , wobei w der Schraubachse entspricht und v ein zu der Schraubachse nicht kollinearer Vektor ist. Aus diesen beiden Vektoren v und w kann die Schraubachse ebenso wie der Schraubparameter p abgeleitet werden.

[0020] Normalgeraden der Oberfläche werden durch Punkte beschrieben, welche im sechsdimensionalen reellen Vektorraum liegen. Dabei mag eine Gerade entlang einer Normalgeraden durch sechs Koordinaten dargestellt werden. Ausgehend von der Forminformation des Bauteils mag für eine beliebige Schraubungsbewegungsbahn für jede Normalgerade (oder für zumindest eine Normalgerade) der Oberfläche des Bauteils der Punkt im sechsdimensionalen Raum aufgefunden werden.

[0021] Für ein Bauteil mit vorgegebener Oberflächenform mögen die Normalgeraden der Oberfläche des Bauteils im Allgemeinen nicht alle auf einer einzigen Hyperebene im sechsdimensionalen Raum liegen, sondern oberhalb und unterhalb einer Hyperebene, welche an die Menge von Punkten im sechsdimensionalen Raum derart angepasst ist, dass ein Abstandsmaß (z. B. Summe der Quadrate der Abstände) zwischen den die Geraden repräsentierenden Punkten und der Hyperebene minimal ist. Auf derartige Weise mag ein Ermitteln der Parameter der Schraubungsbewegungsbahn erfolgen, da diese über die Orientierung der Hyperebene ableitbar sind.

[0022] Gemäß einer Ausführungsform wird eine optimale Schraubungsbewegungsbahn ermittelt, welche eine Bewegung des verfahrenen Bauteils derart festlegt, dass Kollisionen oder Deformationen von Elementen, welche die Bewegung des Bauteils führen, reduziert oder sogar minimiert werden. Damit kann insbesondere eine (optimal den technischen Nebenbedingungen entsprechende) Bewegungsbahn einer Fensterscheibe für ein Automobil aufgefunden werden, wenn eine bestimmte Oberflächenform der Fensterscheibe durch einen Designer vorgegeben ist.

[0023] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Forminformation mindestens einen Oberflächennormalenvektor des Bauteils, insbesondere der Fensterscheibe. Ein Normalenvektor einer Oberfläche (Oberflächennormalenvektor) ist ein Vektor, welcher senkrecht auf der Oberfläche an einem Punkt der Oberfläche steht. Insbesondere mag die Forminformation mindestens einen Oberflächennormalenvektor der Fensterscheibe umfassen. Gemäß einer Ausführungsform mögen mehrere Oberflächennormalenvektoren der Fensterscheibe in der Forminformation umfasst sein. Wie viele Oberflächennormalenvektoren der Oberfläche in der Forminformation verwendet werden, mag von einer spezifischen Anwendung abhängen. Damit ist eine Charakterisierung des Bauteils hinsichtlich seiner Oberflächenform einfach ermöglicht.

[0024] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Forminformation mindestens einen Normalenvektor einer Randkurve eines Randes des Bauteils, insbesondere der Fensterscheibe. Gemäß einer Aus-

führungsform wird zumindest ein Abschnitt eines Randes des Bauteils unter einer Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn "in sich" bewegt, oder zumindest approximativ "in sich" bewegt. Insbesondere kann ein Rand des Bauteils, insbesondere der Fensterscheibe, entlang einer Führungskurve, beispielsweise durch eine Führungsschiene, während der Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn geführt sein. Insbesondere die Führungskurve mag eine Dichtung umfassen, welche unter einer Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn weniger verformt wird als unter einer Bewegung entlang einer von der Sollbewegungsbahn verschiedenen Bewegungsbahn. Wenn mindestens ein Normalenvektor einer Randkurve eines Randes des Bauteils, insbesondere der Fensterscheibe, innerhalb der Forminformation berücksichtigt wird, kann eine Verformung einer Dichtung unter der Bewegung der Sollbewegungsbahn weiter reduziert werden, da bei der Ermittlung der Sollbewegungsbahn über Ermitteln der Parameter der Schraubungsbewegungsbahn auch Information über den Rand des Bauteils berücksichtigt wird. Ein Rand des Bauteils kann insbesondere von einer eine Dichtung aufweisende Führungskurve geführt sein, so dass der Rand besonders gut (oder mit Abweichungen unterhalb eines Schwellwertes) in sich bewegt werden sollte.

[0025] Die Randkurve des Bauteils mag insbesondere zumindest approximativ entlang einer Bahnkurve der Sollbewegung entsprechen. Insbesondere kann der Rand demjenigen Rand des Bauteils, bzw. der Fensterscheibe, entsprechen, welcher entlang einer Führungskurve in der B-Säule eines Automobils geführt wird. Die B-Säule eines Automobils befindet sich dabei zwischen Seitenfenstern eines vorderen Bereichs und eines hinteren Bereichs des Automobils.

[0026] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Ermitteln der Sollbewegungsbahn ein Lösen eines Optimierungsproblems. Eingabedaten dieses Optimierungsproblems mögen Geraden entlang von Oberflächennormalen oder/und entlang Normalenvektoren einer Randkurve des Bauteils sein. Diese mögen jeweils als ein Punkt im sechsdimensionalen Raum aufgefasst werden, so dass Oberflächennormalgeraden/Normalgeraden einer Randkurve des Bauteils eine Punktwolke im sechsdimensionalen reellen Vektorraum bilden. Es mag nun eine Hyperebene im sechsdimensionalen reellen Vektorraum gebildet werden, welche durch den Nullpunkt geht und sich der Punktwolke so gut wie möglich anpasst. Dabei kann ein Abstandsmaß zwischen den Punkten der Punktwolke und einer Hyperebene minimiert werden. Das Lösen des Optimierungsproblems mag ein Lösen eines Eigenwertproblems (einer 6×6 Matrix) umfassen. Damit ist ein Ermitteln der Parameter der Schraubungsbewegungsbahn erleichtert.

[0027] Gemäß einer Ausführungsform weist das Lösen des Optimierungsproblems ein Berücksichtigen einer während einer Bewegung entlang einer beliebigen Schraubungsbewegungsbahn auftretende Auswanderung mindestens eines Oberflächenpunktes und/oder eines Randpunktes des Bauteils repräsentierenden Größe auf. Die Auswanderung mag als ein Abstand eines eine Gerade entlang eines Oberflächennormalenvektors repräsentierenden Punktes im sechsdimensionalen reellen Vektorraum von einer beliebigen Hyperebene durch den Nullpunkt angesehen werden. Damit mag das Optimierungsproblem durch bekannte Verfahren gelöst werden können.

[0028] Gemäß einer Ausführungsform weist das Verfahren zum Ermitteln einer Sollbewegungsbahn eines verfahrbaren Bauteils, insbesondere einer verfahrbaren Fensterscheibe, weiterhin ein Ermitteln einer während einer Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn auftretende Auswanderung mindestens eines Oberflächenpunktes und/oder Randpunktes des Bauteils repräsentierenden Größe auf. Diese Größe mag als ein Maß dafür angesehen werden, wie weit das Bauteil bzw. die Oberfläche des Bauteils, unter Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn von einer Bewegung "in sich" abweicht. Diese Größe mag somit eine Deformation, insbesondere einen Grad einer Deformation, einer Dichtung charakterisieren, welche Deformation unter Bewegung des Bauteils entlang der Sollbewegungsbahn auftreten mag. Diese die auftretende Auswanderung repräsentierende Größe mag anzeigen, ob das Bauteil mit vorgegebener Oberflächenform für ein tatsächliches Durchführen der Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn geeignet ist. Wenn die die Auswanderung repräsentierende Größe einen Schwellwert übersteigt, mag das Bauteil mit der vorgegebenen Oberflächenform für eine Bewegung entlang der ermittelten Sollbewegungsbahn nicht mehr geeignet sein, da eine Deformation oder Kollision oder Beschädigung von Komponenten, beispielsweise entlang einer Führungsbahn, zu groß ist. In diesem Fall kann es notwendig sein, das Bauteil hinsichtlich seiner Oberflächenform abzuändern, insbesondere zu modifizieren gemäß einer unten beschriebenen Ausführungsform.

[0029] Gemäß einer Ausführungsform weist das Verfahren zum Ermitteln einer Sollbewegung eines verfahrbaren Bauteils, insbesondere einer verfahrbaren Fensterscheibe, weiterhin ein Auswählen einer Kurve auf einer Oberfläche des Bauteils, insbesondere der Fensterscheibe, auf, wobei das Ermitteln der die Auswanderung repräsentierenden Größe ein Bestimmen einer Abweichung der entlang der Sollbewegungsbahn bewegten Kurve von mindestens einem Oberflächenpunkt und/oder Randpunkt des Bauteils aufweist.

[0030] Durch ein Auswählen der Kurve auf der Oberfläche des Bauteils und Bewegen der Kurve entlang der Sollbewegungsbahn mag eine Ersatzoberfläche definiert werden, welche unter der Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn ideal in sich bewegt wird. Eine Abweichung der tatsächlichen Oberfläche des Bauteils von dieser Ersatzoberfläche mag somit einen Grad einer Abweichung einer Bewegung in sich" der tatsächlichen Oberfläche des Bauteils repräsentieren.

[0031] Damit kann wiederum ein Grad einer Deformation, Kollision, Beschädigung von Komponenten, insbesondere einer Führungskurve und/oder einer Dichtung in der Führungskurve, unter Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn ermittelt werden. Damit ist eine objektive Bewertung des Bauteils bezüglich seiner Oberflächenform für eine anberaumte (oder tatsächlich durchgeführte) Bewegung ermöglicht.

[0032] Gemäß einer Ausführungsform ist das verfahrbare Bauteil eine Fensterscheibe, insbesondere eine verfahrbare Fensterscheibe eines Automobils. Die Fensterscheibe mag beispielsweise eine auf- und abfahrbare Seitenfensterscheibe sein.

[0033] Gemäß einer Ausführungsform ist ein Verfahren zum Bewegen eines verfahrbaren Bauteils bereitgestellt, wobei das Verfahren ein Ermitteln einer Sollbewegungsbahn des Bauteils nach einer oben beschriebenen Ausführungsform aufweist, sowie Bewegen des Bauteils entlang der ermittelten Sollbewegungsbahn. Das Bewegen des Bauteils, insbesondere einer Fensterscheibe, mag ein Ziehen mit Hilfe mindestens eines Zugseils umfassen. Weiter mag das Bewegen des Bauteils ein Führen des Bauteils, insbesondere entlang einer oder mehrerer Führungsschienen, umfassen. Dabei mögen die eine oder mehr Führungsschienen eine Dichtung umfassen, welche während der Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn des Bauteils, insbesondere der Fensterscheibe, mit dem Bauteil, insbesondere mit der Fensterscheibe, in Kontakt kommt. Die Dichtung mag eine maximale Deformierbarkeit aufweisen, welche nicht überschritten werden darf, ohne die Dichtung zu beschädigen. Gemäß einer Ausführungsform wird das Bauteil, insbesondere die Fensterscheibe, derartig entlang der Sollbewegungsbahn bewegt, dass ein Auswandern der Fensterscheibe unterhalb der maximal zulässigen Deformation der Dichtung liegt.

[0034] Gemäß einer Ausführungsform weist das Verfahren zum Bewegen eines verfahrbaren Bauteils weiterhin das Führen des Bauteils entlang mindestens einer Führungskurve, insbesondere Führungsschiene, auf, wobei die Führungsschiene durch Auswählen eines Oberflächenpunktes des Bauteils und Bewegen des ausgewählten Oberflächenpunktes entlang der Sollbewegungsbahn festlegbar ist.

[0035] Im Gegensatz zu einer Bewegungsbahn, welche insbesondere eine Bewegung einer Vielzahl von Punkten (mit der Zeit) festlegen mag, mag eine Führungskurve eine eindimensionale Kurve im dreidimensionalen Raum definieren. Nach Ermitteln der Parameter der Schraubungsbewegungsbahn basierend auf der Forminformation des Bauteils, insbesondere der Fensterscheibe, kann somit die Führungskurve festgelegt werden, welche insbesondere eine Positionierung und Form einer Führungsbahn definieren mag. Deformationen, welche unter Bewegungen des Bauteils entlang der Sollbewegungsbahn auftreten sollten, können im Voraus bestimmt werden, um abzuschätzen, ob das Bauteil zum Bewegen entlang der Sollbewegungsbahn, insbesondere entlang der Führungsschiene, geeignet ist. Damit ist eine Konstruktion eines Hebe- und Senkmechanismus, insbesondere eines Fensterhebermechanismus, erleichtert.

[0036] Gemäß einer Ausführungsform weist das Verfahren zum Bewegen eines verfahrbaren Bauteils weiterhin Führen des Bauteils entlang mindestens einer weiteren Führungskurve auf, wobei die weitere Führungskurve durch Auswählen eines weiteren Oberflächenpunktes des Bauteils, welcher einen gleichen Abstand von einer Schraubungsachse der Schraubungsbewegungsbahn hat wie der ausgewählte Oberflächenpunkt, und Bewegen des ausgewählten weiteren Oberflächenpunktes entlang der Schraubungsbewegungsbahn festlegbar ist.

[0037] Insbesondere mag der weitere Oberflächenpunkt des Bauteils derart gewählt sein, dass er sich bei dem Bewegen des verfahrbaren Bauteils mit einer im Wesentlichen gleichen Geschwindigkeit bewegt wie der ausgewählte Oberflächenpunkt. Damit ist ermöglicht, dass beide Punkte unter Verwendung eines einzigen Seils geführt werden, welches durch beispielsweise einen einzelnen Elektromotor betrieben ist. Damit kann eine Konstruktion eines Fensterhebermechanismus vereinfacht werden.

[0038] Gemäß einer Ausführungsform ist ein Verfahren zum Herstellen einer Führungsschiene zum Führen eines verfahrbaren Bauteils entlang einer Führungskurve bereitgestellt, wobei das Verfahren Ermitteln einer Sollbewegung des Bauteils nach einer der oben beschriebenen Ausführungsformen; Festlegen der Führungskurve durch Auswählen eines Oberflächenpunktes des Bauteils, insbesondere der Fensterscheibe, und Bewegen des ausgewählten Oberflächenpunktes entlang der Sollbewegungsbahn; sowie Herstellen der Führungsschiene gemäß der festgelegten Führungskurve aufweist. Die Führungskurve mag Punkte im dreidimensionalen Raum definieren entlang derer der Oberflächenpunkt bei Bewegen des Bauteils entlang der Sollbewegungsbahn bewegt wird. Die Führungsschiene mag beispielsweise derart geformt und positioniert sein, dass die

Führungskurve zumindest teilweise von der Führungsschiene umschlossen wird. Die Führungsschiene mag beispielsweise eine Metallschiene oder eine Kunststoffschiene umfassen. Beispielsweise kann eine Nut durch seitliche Begrenzungselemente abgegrenzt sein, wobei die Nut im Wesentlichen entlang der Führungskurve verläuft. Auf diese Weise kann ein Herstellungsprozess einer Führungsschiene zum Führen eines verfahrbaren Bauteils erleichtert werden.

[0039] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Verfahren zum Herstellen einer Führungsschiene weiterhin ein Vorsehen einer Dichtung entlang der Führungsschiene, wobei das Bauteil durch die Führungsschiene während der Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn des Bauteils derart geführt ist, dass das Bauteil (insbesondere ein Rand des Bauteils) mit der Dichtung in Kontakt kommt und dass die Dichtung nicht mehr als um einen vorgegebenen Wert verformt wird. Damit kann eine Beschädigung der Dichtung verhindert werden.

[0040] Gemäß einer Ausführungsform weist das Festlegen der Führungskurve ferner ein Approximieren eines Abschnitts der Sollbewegungsbahn durch einen Kreisbahnabschnitt auf. Gemäß einer Ausführungsform ist die Führungskurve eine Schraubungskurve, welche nur unter erschwerten Bedingungen in eine Führungsschiene umgesetzt werden kann, welche eine Nut exakt entlang der Führungskurve aufweist. Ein Approximieren mindestens eines Abschnitts der Sollbewegungsbahn durch mindestens einen Kreisbahnabschnitt ermöglicht ein leichteres Herstellen der Führungsschiene, da eine Formgebung der Führungsschiene in einen Kreisbahnabschnitt leicht möglich ist.

[0041] Gemäß einer Ausführungsform ist eine Führungsschiene bereitgestellt, welche gemäß einem Verfahren einer oben beschriebenen Ausführungsform hergestellt ist. Die Führungsschiene mag eine Metall- oder Kunststoffschiene umfassen, welche eine Nut aufweist, welche zumindest approximativ eine schraubenförmige Führungskurve umgreift.

[0042] Gemäß einer Ausführungsform ist ein Verfahren zum Modifizieren eines verfahrbaren Bauteils bereitgestellt, wobei das Verfahren aufweist: Ermitteln einer Sollbewegungsbahn des Bauteils nach einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Ermitteln einer Sollbewegungsbahn eines verfahrbaren Bauteils, wie oben beschrieben; Auswählen einer Kurve auf der Oberfläche des Bauteils; und Modifizieren des Bauteils basierend auf einer Flächenform, welche durch Bewegen der ausgewählten Kurve entlang der Sollbewegungsbahn festlegbar ist.

[0043] Insbesondere kann mit diesem Verfahren eine verfahrbare Fensterscheibe eines Automobils mo-

difiziert werden. Durch Bewegen einer ausgewählten Kurve kann eine Ersatzoberfläche durch Bewegen entlang der Sollbewegungsbahn erhalten werden. Diese Ersatzoberfläche mag unter Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn in sich bewegt werden, wobei keine Verformungen an Dichtungen auftreten. Insbesondere wird diese Ersatzoberfläche durch eine Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn derart bewegt, dass keine Belastungen an den Dichtungen auftreten. Somit kann ein Maximalabstand d zwischen der tatsächlichen Oberflächenform des Bauteils und der Ersatzoberfläche als Maß für eine maximale Belastung der Dichtungen angesehen werden, die während einer Bewegung des Bauteils entlang der Sollbewegungsbahn auftreten. In Abhängigkeit von der Größe dieses Maximalabstands d kann das Bauteil, insbesondere die Fensterscheibe, hinsichtlich seines bzw. ihrer Oberfläche modifiziert werden, um den Maximalabstand d zu verkleinern. Kritische Oberflächenbereiche der Oberfläche des Bauteils können identifiziert werden, bei denen der Abstand zu der Ersatzoberfläche eine vorgegebene Schranke überschreitet. Insbesondere können (nur) diese identifizierten Oberflächenbereiche des Bauteils modifiziert werden, um den Abstand zu der Ersatzoberfläche zu verringern. Das Modifizieren des verfahrbaren Bauteils kann auch ein Kombinieren oder Mischen von Oberflächenbereichen der Ersatzoberfläche mit Oberflächenbereichen des Bauteils umfassen. Insbesondere kann die ursprüngliche Oberflächenform des Bauteils verworfen werden und durch die Ersatzoberfläche ersetzt werden.

[0044] Gemäß einer Ausführungsform weist das Auswählen der Kurve auf der Oberfläche des Bauteils ein Auswählen einer Kurve auf einem Rand des Bauteils auf. Dabei kann beispielsweise als Kurve eine Randkurve zum Dach hin zusammen mit einer Randkurve zur A-Säule hin gewählt werden. Dabei bezeichnet die A-Säule die Karosseriesäule des Automobils zwischen der Windschutzscheibe und einer vorderen Seitenscheibe. Alternativ kann eine Kurve auf der Oberfläche des Bauteils, welche keine Randpunkte umfasst, ausgewählt werden.

[0045] Gemäß einer Ausführungsform basiert das Modifizieren des Bauteils ferner auf einem Maß einer Abweichung einer Form (oder Oberflächenform) des Bauteils von der Flächenform. Als Maß einer Abweichung der Form des Bauteils von der Flächenform kann beispielsweise ein Maximalabstand, ein mittlerer Abstand und/oder davon abgeleitete Größen verwendet werden. Verschiedene Abstände können auch mit Hilfe von Gewichtungsfaktoren gewichtet werden, um Abweichungen in gewissen Oberflächenbereichen des Bauteils eine höhere oder niedrigere Gewichtung zu geben als anderen Oberflächenbereichen des Bauteils, welche für eine zuverlässige Funktion mehr oder weniger relevant sind.

[0046] Gemäß einer Ausführungsform ist ein verfahrbares Bauteil, insbesondere eine Fensterscheibe, bereitgestellt, welche nach einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Modifizieren eines verfahrbaren Bauteils modifiziert wurde.

[0047] Eine derart modifizierte Fensterscheibe trägt insbesondere den ursprünglichen Designwünschen des Designers Rechnung, ist jedoch entsprechend ihrer technischen Verwendbarkeit zum Herauffahren und Herabsenken verbessert. Damit können somit Beschädigungen von Dichtungen oder Fehlfunktionen während des Herauffahrens bzw. Herabsenkens vermindert werden.

[0048] Gemäß einer Ausführungsform ist ein Computerprogrammprodukt bereitgestellt, welches Programmweisungen aufweist, welche ausgebildet sind, wenn durch einen Computer ausgeführt, ein Verfahren zum Ermitteln einer Sollbewegungsbahn eines verfahrbaren Bauteils gemäß einer Ausführungsform auszuführen.

[0049] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wurden mit Bezug auf Verfahren bzw. Vorrichtungen oder Produkte beschrieben. Es sollte jedoch bemerkt werden, dass Merkmale (einzeln oder in Kombination) von Ausführungsformen von Verfahren auch auf Ausführungsformen von Vorrichtungen bzw. Produkten angewendet werden können. Beispielsweise können Merkmale von Ausführungsformen eines Verfahrens zum Bewegen eines verfahrbaren Bauteils oder eines Verfahrens zum Herstellen einer Führungsschiene zum Führen eines verfahrbaren Bauteils entlang einer Führungskurve auch auf Ausführungsformen einer Führungsschiene angewendet werden.

[0050] Ausführungsformen der Erfindung werden nun mit Bezug auf die angehängten Zeichnungen beschrieben. Dabei sind in Funktion und/oder Struktur ähnliche Elemente mit Bezugsziffern bezeichnet, die sich lediglich in der ersten Stelle unterscheiden. Sofern ein Element mit Bezug auf eine gewisse Ausführungsform nicht im Detail beschrieben ist, kann die in Bezug auf eine andere Ausführungsform bereitgestellte Beschreibung dieses Elements herangezogen werden. Die Ausführungsformen sind exemplarisch und begrenzen nicht den Geltungsbereich der Erfindung.

[0051] [Fig. 1](#) illustriert Kurven, die "in sich bewegt" werden können und dazugehörige Bewegungsbahnen gemäß Ausführungsformen;

[0052] [Fig. 2](#) zeigt Flächen, die "in sich bewegt" werden können, um eine Bahnbewegung gemäß einer Ausführungsform zu illustrieren;

[0053] [Fig. 3](#) zeigt eine Hyperebene im sechsdimensionalen reellen Vektorraum, auf welcher eine Menge von Geraden (jeweils entlang von Oberflächennormalen verlaufend) definierenden Punkten liegt;

[0054] [Fig. 4A](#) illustriert eine Menge von Oberflächennormalenvektoren auf einer Oberfläche eines Bauteils und dazugehörige Geraden gemäß einer Ausführungsform;

[0055] [Fig. 4B](#) illustriert eine optimale Hyperebene gemäß einer Ausführungsform, auf der Geraden definierende Punkte liegen, wobei die Geraden durch Oberflächennormalen der Oberfläche des in [Fig. 4A](#) illustrierten Bauteils verlaufen;

[0056] [Fig. 5](#) illustriert eine Oberflächennormale und eine Normale auf einer Randkurve einer Oberfläche des Bauteils gemäß einer Ausführungsform;

[0057] [Fig. 6A](#) illustriert eine kreisförmige Approximation einer Schraublinie gemäß einer Ausführungsform; und

[0058] [Fig. 6B](#) illustriert Kreisbögen, die aus einer optimalen Schraubung hervorgehen, gemäß einer Ausführungsform.

[0059] Gemäß einer Ausführungsform wird zu einer vorgegebenen Scheibenfläche S jene räumliche Bewegung gesucht, welche die Fläche am besten "in sich bewegt". Die genaue Kenntnis dieses Bewegungsvorganges ermöglicht es, den Fenstermechanismus rasch und exakt zu konstruieren.

[0060] Gemäß einer Ausführungsform ist eine in [Fig. 4A](#) bzw. in [Fig. 5](#) illustrierte Fensteroberfläche S , welche eine Randkurve gemäß einer Randform eines Kraftfahrzeugholms aufweist, vorgegeben. Ein Rand der Fensteroberfläche S wird entlang einer (nicht illustrierten) Führungsschiene in dem B-Holm oder in der B-Säule geführt während eines Absenkens oder Hochfahrens der Fensterscheibe. Gemäß einer Ausführungsform ist die Fensterscheibe gekrümmt, weist also eine gekrümmte Oberflächenform auf. In [Fig. 4A](#) illustrierte Oberflächennormalen der Oberfläche S und Kurvennormalen von Randkurven der Oberfläche S werden in einen sechsdimensionalen Raum abgebildet unter Verwendung von sogenannten "Plücker-Koordinaten". Innerhalb des sechsdimensionalen reellen Vektorraums wird eine Optimierungsaufgabe gelöst, um eine Hyperfläche durch den Nullpunkt des sechsdimensionalen Raumes aufzufinden. Eine Orientierung der aufgefundenen Hyperfläche definiert Parameter einer in [Fig. 1](#) illustrierten Schraubungsbewegung **100** (auch bezeichnet mit M), wobei die Schraubungsbewegung beispielsweise durch ihre Schraubachse a und einen Schraubparameter p parametrisierbar ist, wobei p über $h =$

$2 \cdot \pi \cdot p$ die Ganghöhe h der Schraubungsbewegung definiert, wie in [Fig. 1](#) illustriert.

[0061] Somit kann ausgehend von einer gegebenen Oberfläche S eines Bauteils, insbesondere einer Fensterscheibe, eine optimale Schraubungsbewegungsbahn **100** ermittelt werden, welche Deformationen von Dichtungen minimiert. Sollten die Deformationen der Dichtungen unter einer Bewegung der gegebenen Oberfläche S entlang der optimalen Schraubungsbewegungsbahn **100** dennoch zu groß sein, kann eine Ersatzoberfläche S' konstruiert werden, indem eine ausgewählte Linie, beispielsweise die in [Fig. 5](#) illustrierte Randlinie auf der ursprünglichen Oberfläche S , der optimalen Schraubungsbewegung unterzogen wird. Die gegebene Oberfläche S und die Ersatzoberfläche S' teilen die gemeinsame gewählte Linie b . Der maximale Abstand zwischen S und S' mag ein Maß für die maximale Abweichung entlang der Dichtungen von S sein. Dieses Maß kann auch als ein Qualitätsmaß für die ursprüngliche Oberfläche S angesehen werden. Die optimale Schraubungsbewegung **100** ermöglicht, einen optimalen Fensterbewegungsmechanismus (innerhalb beispielsweise eines Türkörpers) zu konstruieren. Dabei können aus ökonomischen Gründen Schraubenlinien-Trajektorien **600** in Randbereichen der Oberfläche S (der Fensterscheibe), welche in Führungsschienen geführt werden, durch kreisförmige Kurven **607** approximiert werden, wie in [Fig. 6A](#) illustriert, um Führungskurven **609** festzulegen, wie in [Fig. 6B](#) illustriert. Damit können Führungsschienen leichter hergestellt werden.

[0062] Durch Ausführungsformen ist die Verschiedenheit von Optionen für das kinematische Design wesentlich vergrößert, weil die Kenntnis der Details der Schraubungsbewegung eine große Auswahl von Trajektorien (Führungsschienen) und Fensterbefestigungspunkten bereitstellt.

[0063] Wenn die maximale Abweichung zwischen der ursprünglichen Oberfläche S und der Ersatzoberfläche S' die Grenzwert der Dichtungshersteller überschreitet, ist die Möglichkeit gegeben, die ursprüngliche Oberfläche S (das ursprünglich vom Designer entworfene Fenster) durch S' zu ersetzen. Es kann leicht überprüft und bestimmt werden, wie viel (oder wie wenig) die Ersatzoberfläche S' (ideale Schraubenfläche) von der ursprünglichen Oberfläche S abweicht. Weiter kann sichergestellt werden, dass eine Bewegung der Ersatzoberfläche S' entlang der optimalen Schraubungsbewegung **100** nicht zu Abweichungen oder Deformationen entlang der Dichtungen führt.

[0064] Der Konstrukteur kann durch Ausführungsformen in die Lage versetzt werden, die vorgeschlagene Fläche S in Hinblick auf ihre Eignung als Fensterscheibe und auf die Beanspruchung der Fenster-

dichtungen zu beurteilen. Sollte sich die Fläche S als weniger geeignet herausstellen, kann eine Methode gemäß einer Ausführungsform auch eine Ersatzfläche S' liefern, welche optimal an die vorgeschlagene Fläche angepasst ist, jedoch die Fensterdichtung nicht zu stark während einer Auf- oder Abbewegung deformiert. Schließlich ergibt sich eine effiziente Vorgangsweise zur Konstruktion des Fensterhebermechanismus gemäß einer Ausführungsform.

[0065] Damit kann ein Entwurfsprozess zum Entwerfen sowohl einer Fensterscheibe, einer Führungsschiene als auch eines kompletten Fensterhebermechanismus wesentlich reduziert werden. Insbesondere kann die Zeit zum Konstruieren des Fensterhebermechanismus wesentlich verkürzt werden. Während herkömmliche Zugänge von der Intuition des Konstrukteurs abhängen, mag gemäß Ausführungsformen eine rationalere Herangehensweise gewählt werden. Verfahren gemäß Ausführungsformen mögen nicht notwendigerweise kreisförmige Bögen in parallelen Führungsschienen liefern, welche kongruent zueinander sind, in offensichtlichem Kontrast zu herkömmlichen Konstruktionen. Gemäß Ausführungsformen wird eine Abbildung von Oberflächennormalen der ursprünglichen Oberfläche S in den sechsdimensionalen reellen Vektorraum vorgenommen. In diesem Vektorraum mag eine Optimierungsaufgabe gelöst werden.

[0066] Ausführungsformen erleichtern, eine Seitenscheibe eines Autos so zu konstruieren, so dass die Belastung der Scheibendichtung minimal ist. Diese Aufgabe ist nach konventionellen Methoden so schwierig, weil die Fensterfläche, welche der Designer liefert, nicht „in sich bewegt“ werden kann. Deshalb werden Verformungen der Scheibendichtung nach konventionellen Verfahren wohl unvermeidlich sein, auch wenn die Scheibenkinematik noch so aufwändig oder trickreich entwickelt wird.

[0067] Ausführungsformen konstruieren sich zuerst eine räumliche Bewegung, die zur vorgegebenen Seitenscheibe optimal passt. Die Kenntnis dieser Bewegung ermöglicht, die Qualität der vorgelegten Scheibenfläche festzustellen. Stellt sich heraus, dass diese Fläche als Seitenscheibe schlecht geeignet ist, so mag mit derselben Methode eine Scheibe erzeugt werden, die der vorgegebenen Fläche möglichst gut folgt, im Gegensatz zu jener aber perfekt in sich beweglich ist. Der gefundene, dazu passende räumliche Bewegungsvorgang liefert außerdem im nächsten Schritt einen Ansatz für einen Scheibenheber-Mechanismus.

[0068] Herkömmliche Seitenscheiben von Autos waren ebene Flächen und ihre Bewegung war eine einfache vertikale Translation (also eine Schiebung längs einer geraden Linie). In den letzten Jahrzehnten sind aber gekrümmte Fensterflächen zum Stan-

dard geworden. Heute ist die Herstellung gekrümmter Glasscheiben kein Problem mehr. Die Steifigkeitseigenschaften von sogenannten „doppelt gekrümmten Flächen“ übertreffen die von Ebenen bei Weitem. Außerdem passt sich die gekrümmte Gestalt viel besser dem Design moderner Autos an.

[0069] Die Geometrie eines Seitenfensters ist hauptsächlich vom Design bestimmt. Die z. B. in [Fig. 4A](#) und [Fig. 5](#) illustrierte Fensterfläche S wird vom Designer geliefert. Es ist die Aufgabe des Konstrukteurs, einen passenden Fensterheber-Mechanismus zu entwerfen. Die Hauptbedingung ist wohl, dass die Fensterfläche „in sich“ bewegt wird. Das ist ein Begriff, der unten genauer beschrieben werden soll. Es ist absolut unwahrscheinlich, dass die Fläche S , wie sie vom Designer geliefert wird, zufällig zu jenem Typ von Flächen gehört, welcher eine Bewegung „in sich“ überhaupt zulässt. Das Problem, vor dem der Konstrukteur steht, ist theoretisch unlösbar. Es mag möglich sein, einen Bewegungsvorgang zu finden, bei dem die Fläche S halbwegs „in sich“ läuft. Jedoch sind Belastungen der Dichtungen wohl nicht vermeidbar. Solange diese aber gewisse Grenzwerte nicht überschreiten, kann man den Mechanismus möglicherweise realisieren. Der Konstrukteur kann aber im Allgemeinen nicht definitiv sagen, ob die auftretenden Verformungen der Dichtung im Laufe der Scheibenbewegung durch die Scheibengeometrie bedingt sind oder ob sie auf Schwächen des entworfenen Fensterheber-Mechanismus zurückzuführen sind.

[0070] Gemäß einer Ausführungsform wird zuerst die Fläche S und die B -Säule b betrachtet, welche schließlich zu einer Bahnkurve bei der Bewegung der Fensterfläche werden soll. Als Eingabedaten verwenden wir die Flächennormalen sowie die Kurvennormalen, also einfache gerade Linien.

[0071] Eine Ausführungsform liefert eine Schraubbewegung 100 , wie in [Fig. 1](#) und [Fig. 6A](#) illustriert (auch als M bezeichnet) (oder in sehr speziellen Fällen eine Drehbewegung oder Schiebung), welche der vorgegebenen Fläche S und der B -Säule b optimal angepasst ist. Die Bewegung ist bestimmt durch ihre Schraubachse a und den Schraubparameter p (siehe z. B. [Fig. 1](#)). Diese Bewegung, die dem Problem optimal angepasst ist, liefert im nächsten Schritt die neue Fensterfläche SM (auch als S' bezeichnet). Sie entsteht, indem wir die Dachlinie des Fensters der Bewegung M unterwerfen. SM ist eine Schraubfläche und wird bei M perfekt in sich bewegt. Die ursprünglich gegebene Fläche S und die Fläche SM haben die Dachlinie gemeinsam. Der Maximalabstand zwischen S und SM mag als ein Maß für die Maximalbelastung der Fensterdichtung bei der Bewegung M aufgefasst werden. Zugleich aber kann man diesen Maximalabstand als ein brauchbares Maß für die Qualität der vom Designer gelieferten Fläche S betrachten.

[0072] Der räumliche Bewegungsvorgang M ist jene Bewegung, welche der vorgegebenen Fläche S optimal angepasst ist. M ermöglicht aber auch die Konstruktion eines optimalen Fensterheber-Mechanismus (dessen Mechanik im Inneren des Türkörpers liegt).

[0073] **Fig. 1** zeigt Bewegungsbahnen gemäß Ausführungsformen, welche eine Oberfläche in sich bewegen. Die Translationsbewegung **103** (gekennzeichnet durch eine Richtung im Raum) bewegt z. B. eine Gerade g in sich die entlang der Translationsbewegungsrichtung. Eine solche Bewegung wird jeden Punkt P auf g in einen anderen Punkt P' bringen, der wieder auf der Geraden g liegt. Die gesamte Gerade wird ihre Raumlage beibehalten (wohingegen kein einziger Punkt darauf seine Position beibehält). Gerade Linien gehören also zur Klasse jener Kurven, die „in sich bewegt“ werden können.

[0074] Die Rotationsbewegung **105** bewegt einen Kreis in sich, wobei die entsprechende räumliche Bewegung **105** eine Drehung um die Kreisachse ist.

[0075] Weiter bildet eine Schraubung **100** eine Schraublinie, wie etwa eine Schraube oder eine Helix, auf sich ab. Eine Schraublinie kann in sich bewegt werden, wobei die entsprechende räumliche Bewegung genau die Schraubung **100** ist, die zu ihrer Erzeugung verwendet wurde.

[0076] Diese Überlegung mag theoretisch sein, aber sie kann gemäß einer Ausführungsform angewandt werden auf die Randkurve einer Auto-Seitenscheibe, genauer auf die Randkurve zur sogenannten B-Säule hin. Wir werden aber zuvor dieselbe Frage für Flächen stellen: Welche Flächen kann man „in sich bewegen“?

[0077] Es gibt drei Klassen von solchen Flächen, welche zu Translationen, Drehungen und Schraubungen gehören (siehe **Fig. 2**). Eine solche Fläche ist eine

- Zylinderfläche **211**, erzeugt durch eine Kurve, welche einer geraden stetigen Translation (Parallelverschiebung) unterworfen wird,
- Drehfläche **213**, erzeugt durch eine Kurve, welche einer stetigen Rotation um eine Achse unterworfen wird,
- eine Schraubfläche **215**, erzeugt durch eine Kurve, welche einer kontinuierlichen Schraubung (z. B. der in **Fig. 1** illustrierten Schraubung **100**) um eine Achse a unterworfen wird.

[0078] Die ersten beiden Fälle könnte man auch als Sonderfälle des allgemeinen, dritten Falles betrachten: Eine Drehung ist eine Schraubung, bei der der Translationsanteil (auch 'Vorschub' oder 'Schraubparameter' genannt) verschwindet. Hingegen ist eine reine Translation eine Schraubung, bei der der Dreh-

anteil nicht auftritt. Die Fläche eines Seitenfensters, das in sich bewegt werden kann ohne die Dichtungen zu verformen, ist gemäß einer Ausführungsform eine Schraubfläche.

[0079] Im Folgenden heben wir einige durchaus bekannte Fakten aus der Liniengeometrie hervor, welche für eine Ausführungsform zum Einsatz kommen. Beweise findet man in [3, Kapitel 3].

[0080] Eine Gerade g des 3-dimensionalen Raumes kann durch ihre 6 'Plücker-Koordinaten'.

$$g_1, g_2, g_3, \bar{g}_1, \bar{g}_2, \bar{g}_3$$

festgelegt werden. Diese sechs reellen Zahlen werden gewöhnlich zu zwei 3-Vektoren zusammengefasst:

$$g = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{bmatrix}, \bar{g} = \begin{bmatrix} \bar{g}_1 \\ \bar{g}_2 \\ \bar{g}_3 \end{bmatrix}$$

[0081] Diese bezeichnet man auch als 'normierte Plückervektoren' von g . Man erhält sie so: Ist g eine Gerade mit dem normierten Richtungsvektor d und enthält sie einen Punkt P mit dem Ortsvektor p , so ist

$$g = d,$$

$$\bar{g} = p \times g$$

[0082] Demgemäß haben die Plückervektoren g, \bar{g} einer Geraden g die folgenden Eigenschaften:

- Die Komponenten g und \bar{g} erfüllt stets die quadratische homogene Bedingung³

$$(g, \bar{g}) = g_1\bar{g}_1 + g_2\bar{g}_2 + g_3\bar{g}_3 = 0,$$

welche auch 'Plückerbedingung' genannt wird.

- Da $g = d$ ein normierter Richtungsvektor von g ist, gilt:

$$(g, \bar{g}) = g_1^2 + g_2^2 + g_3^2 = 1.$$

Diese Bedingung nennen wir auch 'Normierungsbedingung'.

- Ersetzt man den Punkt $P \in g$ durch einen anderen Punkt $Q \in g$, so ändert das nichts am zweiten Plückervektor \bar{g} von g .

[0083] Deuten wir nun die Plückerkoordinaten $g_1, g_2, g_3, \bar{g}_1, \bar{g}_2, \bar{g}_3$ als Koordinaten eines Punktes G im 6-dimensionalen Raum R_6 , so erhalten wir eine Abbildung

$$\kappa: g \rightarrow G = \kappa(g)$$

von der Menge der orientierten Geraden des 3-Raumes in eine Punktmenge in R_6 . Da die Koordinaten

$g_1, g_2, g_3, \bar{g}_1, \bar{g}_2, \bar{g}_3$ die Plückerbedingung (1) und die Normierungsbedingung (2) erfüllen müssen, liegen die Bildpunkte G im Schnitt G zweier Flächen zweiter Ordnung, nämlich Q und Q^* in R_6 . Diese Flächen werden durch die folgenden Gleichungen beschrieben:

- Q (mit der Gleichung (1)) ist ein quadratischer Kegel, dessen Scheitel im Ursprung des Koordinatensystems liegt.
- Q^* (mit der Gleichung (2)) ist ein quadratischer Zylinder mit 3-dimensionalen Erzeugendenräumen.

[0084] Die vierdimensionale Schnittmannigfaltigkeit $G = Q \cap Q^*$ ist von der algebraischen Ordnung 4.

[0085] Umgekehrt kann man festhalten: Jeder Punkt $G \in G$ bestimmt eine eindeutige orientierte Gerade g im 3-dimensionalen Raum, welche wir wie folgt berechnen können:

Seien $g_1, g_2, g_3, \bar{g}_1, \bar{g}_2, \bar{g}_3$ die Koordinaten von G . Wir bilden daraus die beiden Vektoren $g := [g_1, g_2, g_3]^T$, $\bar{g} := [\bar{g}_1, \bar{g}_2, \bar{g}_3]^T$. Der (normierte) Richtungsvektor der Geraden g ist

$$d = g,$$

während

$$p = g \times \bar{g}$$

der Ortsvektor eines Punktes P auf g ist. Dieser Punkt P auf g ist sogar jener Punkt der Geraden, der dem Koordinatenursprung am nächsten liegt, was aber hier nicht von Bedeutung ist.

[0086] Sei nun M eine Schraubung (wie etwa die in [Fig. 1](#) illustrierte Schraubung **100**) (oder auch, im Sonderfall, eine Drehung oder eine Schiebung in einer festen Richtung). Es ist bekannt, dass das Vektorfeld der Bahntangenten in Bezug auf M in der folgenden Form geschrieben werden kann:

$$p = w \times p + v$$

wobei $v = [v_1, v_2, v_3]^T$, $w = [w_1, w_2, w_3]^T$ feste Vektoren sind und p den Tangentenvektor des Punktes P mit dem Ortsvektor $p = [p_1, p_2, p_3]^T$ bezeichnet.

[0087] Genauer ergibt sich:

- M ist genau dann eine Schraubung, wenn gilt: $w \neq [0, 0, 0]^T$ und $(w, v) \neq 0$. In diesem Fall ist

$$p = \frac{(w, v)}{(w, w)}$$

der dazugehörige Schraubparameter (Der Schraubparameter p bestimmt die Ganghöhe h über $h = 2 \cdot \Pi \cdot p$) von M ,

$$d = w$$

ein Richtungsvektor der Schraubachse a und

$$a = \frac{w \times v}{(w, w)}$$

ist der Ortsvektor eines Punktes A auf a .

- M ist genau dann eine Drehung, wenn gilt: $w \neq [0, 0, 0]^T$, jedoch $(w, v) = 0$. Die Drehachse kann genauso wie die Schraubachse im ersten Fall ermittelt werden.
- Die Bewegung M ist eine Translation (parallel zu v) genau dann, wenn $w = [0, 0, 0]^T$ gilt.

[0088] Sei g eine Gerade durch P , welche normal zur Bahnkurve c_p (des Punktes P) in Bezug auf die Schraubung M steht. Wir erhalten:

$$0 = (p, g) = (w \times p + v, g) = \det(w, p, g) + (v, g) = (w, p \times g) + (v, g) = (w, \bar{g}) + (v, g)$$

wobei g, \bar{g} die Plückervektoren von g sind. Die Bedingung $(v, g) + (w, \bar{g}) = 0$ charakterisiert also die Menge aller Bahnnormalen der Bewegung M .

[0089] Gleichung (7) ist eine lineare homogene Bedingung in den Plückerkoordinaten. Im 6-dimensionalen Raum R_6 bedeutet das: Der Punkt $G = x(g)$ liegt in einer (z. B. in [Fig. 3](#) und [Fig. 4B](#) illustrierten) Hyperebene HO , welche durch den Ursprung O geht.

[0090] Wir können also die folgende wichtige Schlussfolgerung festhalten:

Wenn wir eine Schraubung (oder im Spezialfall eine Drehung oder Schiebung) suchen, sodass eine vorgegebene Gerade g zu ihren Bahnnormalen gehört, müssen wir nach einer Hyperebene HO im R_6 suchen, welche den Koordinatenursprung O und das κ -Bild $G = \kappa(g)$ der Geraden g enthält.

[0091] Eine solche Hyperebene von R_6 ist im Allgemeinen durch genau 5 Punkte bestimmt: G_1, \dots, G_5 ([Fig. 3](#)). Im Allgemeinen gibt es also genau eine Schraubung zu 5 vorgegebenen Bahnnormalen g_1, \dots, g_5 .

[0092] Im Rahmen der Anmeldung wird folgende Definition verwendet: Die Menge aller Bahnnormalen einer Schraubung M (bzw. einer Drehung oder Schiebung) heißt 'linearer Komplex' und werde mit LM bezeichnet.

[0093] Wird eine Fläche S in sich bewegt, so ist jeder Punkt $p \in S$ an eine Bahn $c_p \subset S$ gebunden. Das impliziert, dass die Tangente t_p von c_p normal auf die Flächennormale n_p steht. Wir suchen nun eine Schraubung M ; also muss jede Flächennormale n_p eine Bahnnormale von M sein und folglich zum linearen Komplex L_M gehören.

[0094] Wir kehren nun zurück zur Seitenscheibe eines Automobils. Wir haben in unserem Fall die Flächennormalen g_i , $i = 1, \dots, n$ als Eingabedaten. Diese sind ja Bahnnormalen der Schraubung, welche wir suchen ([Fig. 4A](#)).

$$A := \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \bar{g}_i^i \cdot \bar{g}_i^T & \sum_{i=1}^n g_i^i \cdot \bar{g}_i^T \\ \sum_{i=1}^n \bar{g}_i^i \cdot \bar{g}_i^T & \sum_{i=0}^n g_i^i \cdot \bar{g}_i^T \end{bmatrix}$$

[0095] Die κ -Bilder $G_i = \kappa(g_i)$, $i = 1, \dots, n$ dieser Normalen bilden eine 'Punktwolke' im R_6 ([Fig. 4B](#)). Falls mehr als fünf Normalen g ($n > 5$) vorgegeben sind, so ist es wohl höchst unwahrscheinlich, dass die entsprechende Punktwolke exakt in einer Hyperebene HO durch den Ursprung O liegt. Gemäß einer Ausführungsform wird eine Hyperebene durch O angegeben, die der Punktwolke so gut wie möglich angepasst ist: Gemäß einer Ausführungsform ist es jene, die die geringste Quadratsumme von Abständen liefert. Das umfasst ein Optimierungsprozess im 6-dimensionalen Raum R_6 . Im Folgenden beschreiben wir die einzelnen Schritte dieses Optimierungsverfahrens gemäß einer Ausführungsform.

[0101] Gemäß einer Ausführungsform gilt:

- Die Eigenwerte einer positiv semidefiniten Matrix A sind alle nichtnegativ (im praktische Falle sogar positiv).
- Der kleinste Eigenwert von A liefert die Lösung des obigen Optimierungsproblems.

[0096] Seien g_i, \bar{g}_i die Plückervektoren der Geraden g_i . Lügen die Punkte $G_i = \kappa(g_i)$ tatsächlich in einer Hyperebene, so hätten wir:

[0102] Gemäß einer Ausführungsform wird der Eigenraum, der zu diesem kleinsten Eigenwert gehört, berechnet. Dieser Raum wird im Allgemeinen 1-dimensional sein. Ein Basisvektor dieses Raumes liefert das Vektorpaar w, v : die Lösung unserer Optimierungsaufgabe. Damit ist die optimale Hyperebene HO gemäß einer Ausführungsform festgelegt durch:

$$(v, g_i) + (w, \bar{g}_i) = 0$$

$$(v^*, y) + \{w^*, \bar{y}\} = 0.$$

für $i = 1 \dots n$ mit gewissen konstanten Koeffizientenvektoren v, w . In unserem

[0103] Mit Hilfe von (4), (5), (6) ist die zugehörige Schraubung M mit ihrem Schraubparameter und ihrer Achse erhalten.

[0097] Fall müssen wir allerdings damit rechnen, dass dies nicht zutrifft.

[0104] Diese Schraubung M ist gemäß einer Ausführungsform der vorgegebenen (vom Designer gelieferten) Fensterfläche S optimal angepasst. M mag diese Fläche so gut in sich bewegen, wie es möglich ist. Unten wird gemäß einer Ausführungsform der Optimierungsschritt, der schließlich die Schraubung M liefert, allerdings noch modifiziert, da in der Praxis weitere Anforderungen hinzu kommen mögen.

[0098] Bezeichnet $[V^T, w^T]^T = [v_1, v_2, v_3, w_1, w_2, w_3]$ den normierten Normalvektor der Hyperbebene HO, welche ja erst gefunden werden muss, so errechnet man das Quadrat des Abstandes zwischen G_i und HO mit Hilfe von:

[0105] Die gefundene Schraubung M ist gemäß einer Ausführungsform der Fensterfläche optimal angepasst.

$$d_i^2 = \{(v, g_i) + (w, \bar{g}_i)\}$$

[0099] Wir haben also die Summe

[0106] Gemäß einer Ausführungsform wird die (z. B. in [Fig. 5](#) illustrierte) Randkurve b der Seitenscheibe zur B-Säule hin betrachtet. Diese Kurve ist vorgegeben, gewöhnlich ausgeführt als Dichtungslinie (bei rahmenlosen Scheiben) oder als Dichtungsfuge. Jedenfalls soll gemäß einer Ausführungsform diese Kurve eine Bahnkurve der Bewegung M sein. Das ergibt zusätzliche Bedingungen für die gesuchte Schraubung M. Die Optimierungsaufgabe wird gemäß dieser Ausführungsform abgewandelt.

$$f(v, w) = \sum_{i=1}^n d_i^2$$

von quadrierten Abständen zu minimieren, wobei noch zusätzlich die Bedingung.

[0107] Falls jede Normale der Kurve b zum linearen Komplex L_M gehört, wird b in sich bewegt. Das impliziert, dass b eine Bahnkurve von M ist, also eine Schraublinie (wie etwa die in [Fig. 1](#) illustrierte).

$$g(v, w) = v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 - 1 = 0$$

zu berücksichtigen ist. Diese Bedingung garantiert, dass der Normalvektor von HO die Länge 1 hat.

[0100] Mit Hilfe eines Lagrange-Multiplikators λ für diese Bedingung erhalten wir schließlich ein Eigenwertproblem einer positiv semidefiniten 6x6-Matrix

[0108] Ist nun die Randkurve b vorgegeben, so mag diese Kurve im Allgemeinen keine Schraublinie sein. Wir haben also eine Schraubung zu suchen, sodass

eine ihrer Bahnkurven die vorgegebene Kurve b so gut wie möglich annähert. Genauer:

Die gesuchte Schraubung M muss sowohl zur vorgegebenen Fensterfläche S als auch zur vorgegebenen B-Säulen-Randkurve b passen.

[0109] Die Tatsache, dass die Flächennormale in einem Punkt $Q \in S$ zum linearen Komplex L_M gehört, bedeutet, dass die Bahn von Q die Fläche S in Q berührt. Gehört aber Q zur Kurve b , so wird gemäß einer Ausführungsform gefordert: Die Bahntangente t_Q in Q soll nicht nur zur Fläche S tangential sein, sondern sogar Tangente an die Kurve $b \subset S$ sein. Alle Bahnnormalen an b in Q sollen dem linearen Komplex L_M angehören. Diese Bahnnormalen von b in $Q \in b$ bilden ein Geradenbündel **517** (siehe [Fig. 5](#)).

[0110] Gemäß einer Ausführungsform mag es genügen, für jeden betrachteten Punkt $Q \in b$ jeweils zwei Geraden aus dem zugehörigen Strahlbündel zu wählen. Jede dieser zwei Geraden wird eine Bedingung liefern, welche von derselben Art ist wie die anderen Bedingungen, die wir aus den Flächennormalen n_p von S erhalten haben. Gemäß einer Ausführungsform wird in jedem Punkt $Q \in b$ neben der Flächennormalen noch eine weitere Gerade aus dem Normalenbündel der Kurve ausgewählt. Das könnte etwa die Gerade n_Q^- sein, deren Richtung normal steht auf die Kurventangente t_Q und die Flächennormale n_Q .

[0111] Soll unser Bewegungsvorgang M eine Bahnkurve haben, welche möglichst nahe an der Kurve b ist, mögen eine Reihe von Punkten $Q \in b$ betrachtet werden und für jeden dieser Punkte ein Paar von Geraden n_Q^* und n_Q .

[0112] Das bedeutet, dass eine Reihe weiterer Geraden zum linearen Komplex L_M hinzugenommen werden (siehe [Fig. 5](#)), ebenso wie die Flächennormalen von S . Somit kommt eine Menge zusätzlicher Bedingungen für unsere Optimierungsaufgabe hinzu gemäß einer Ausführungsform. Die Aufgabe selbst ist aber dieselbe geblieben und der Algorithmus kann im Prinzip unverändert beibehalten werden.

[0113] In praktischen Anwendungsbeispielen wählen mögen etwa 100 Flächennormalen für die Fensterfläche und etwa 50 Punkte längs der B Säulen-Randkurve b gewählt werden. Diese 50 Punkte liefern 50 Flächennormalen n_Q und weitere 50 Geraden n_Q^* . Insgesamt sind es also etwa 200 Geraden, die als Eingabedaten für den Optimierungsschritt vorliegen. Die Geraden liefern 200 Punkte im 6-dimensionalen Raum und die Methode führt auf eine Hyperebene, die durch diese Punktwolke bestimmt ist. Diese Hyperebene bestimmt schließlich die gesuchte Schraubung M gemäß einer Ausführungsform.

[0114] So erhalten wir einen Bewegungsvorgang M , der sowohl die Kurve b (Randkurve zur B-Säule) und zugleich die Fensterfläche S so gut „in sich bewegt“, wie das eben mit diesen Vorgaben möglich ist.

[0115] Gemäß einer Ausführungsform ist eine Abschätzung der Qualität der Fensterfläche bereitgestellt. Ein geeignetes Maß für die Qualität wird somit definiert: Die gefundene Schraubung M wird jede Schraubfläche (welche zu eben dieser Schraubung gehört) perfekt in sich bewegen. Eine solche Schraubfläche, die aufgrund der Konstruktion die gegebene Fensterfläche sehr gut annähert, ist nach dieser Ausführungsform die folgende:

Eine Kurve c auf der vorgegebenen Fensterfläche S wird gewählt. Als Kurve c könnte jede beliebige Kurve auf S dienen (z. B. auch die Brüstungslinie des Fensters). Insbesondere möge die Randkurve zum Dach hin zusammen mit der Randkurve zur A-Säule hin gewählt werden, kurz die 'Dachlinie' genannt. Unterwerfen dieser Kurve c der optimalen Schraubung M führt damit zu einer neuen Fläche, welche Schraubfläche S_M genannt wird (oder auch S').

[0116] Die Fläche S_M hat die folgenden Eigenschaften:

- S_M bewegt sich „in sich“ unter dem Bewegungsvorgang M . Es treten keine Verformungen von Dichtungen auf.
- S_M und S haben die Dachlinie c gemeinsam.

[0117] M bewegt S_M so, dass keine Belastung an den Dichtungen, sei es an der Brüstungslinie oder auch an der B-Säule, auftreten. Wir können feststellen:

Sei d der Maximalabstand zwischen der vom Designer gelieferten Fensterfläche S und der eben definierten Schraubfläche S_M . Dieser Wert d mag ein verlässliches Maß für die maximale Belastung der Dichtungen sein, die während des Bewegungsvorganges M auftritt, wenn er auf die Fläche S angewandt wird.

[0118] Der Wert d kann in Relation gesetzt werden zur maximal erlaubten Verformung, die der Dichtungshersteller angibt. So kann man leicht feststellen, ob die Fensterkinematik innerhalb der Toleranzen liegt. Sollte aber diese Zahl d eines der erlaubten Limits überschreiten, so ist das ein gutes

[0119] Argument dem Designer gegenüber, dass der Designer die Fläche S – eventuell in Zusammenarbeit mit dem Konstrukteur – noch einmal überarbeitet. Die gefundene Fläche S_M mag als eine (perfekte) Ersatzscheibe angesehen werden. Diese hat bestechende Eigenschaften:

- S_M unterscheidet sich von S um einen Wert, der an keiner Stelle das Maß d überschreitet.
- S_M hat dieselbe Dachlinie wie die vom Designer vorgeschlagene Scheibe S .
- S_M bewegt sich perfekt „in sich“.

[0120] Wird diese Methode in einer frühen Phase des Designprozesses angewandt, könnte man so von Vorneherein eine perfekte Seitenscheibe im Design inkludieren, was viel Zeit und auch mögliche technische Probleme ersparen mag. Wird die Methode auf eine schon fertig konstruierte Seitenscheibe angewendet, welche schon funktioniert und alle Testphasen durchlaufen hat, so erhält man möglicherweise einen Wert d , der vernachlässigbar ist. Die Methode kann aber, wird sie in einer früheren Phase der Entwicklung angewandt, viele Probleme vermeiden, beträchtlich Zeit sparen und dennoch bessere Ergebnisse liefern.

[0121] Da die optimale Bewegung M gemäß einer Ausführungsform bestimmt ist, kann ein passender Fensterheber-Mechanismus erzeugt werden. Dazu werden eine Reihe von Punkten im Raum ausgewählt und ihre Bahnkurven werden betrachtet. Diese Kurven mögen sich perfekt als Führungsschienen des Mechanismus eignen. Jeder Punkt wird auf seiner Schiene geführt, wenn zudem ein geeigneter Servo-Antrieb bereitgestellt ist. Weitere tatsächliche Anforderungen in der tatsächlichen Konstruktion können als Nebenbedingungen und Einschränkungen des Konstruktionsprozesses hinzu kommen.

[0122] Für einen Fensterheber mögen nur zwei Punkte ausgewählt werden und ihre Bahnkurven (Führungsschienen) mögen konstruiert werden. Manche Autos verwenden, besonders für die hinteren Seitenscheiben, sogar nur eine einzige Schiene. Dieser Fall ist sogar noch wesentlich einfacher. Gemäß einer Ausführungsform wird deshalb der Fall zweier Führungsschienen betrachtet und behandelt.

[0123] M ist eine Schraubung **100** (siehe [Fig. 1](#)), deren Schraubachse a ebenso bekannt ist wie der Schraubparameter p . Eine kontinuierliche Schraubung bewegt jeden Punkt des Raumes mit konstanter Geschwindigkeit.

[0124] Verschiedene Punkte werden allerdings im Allgemeinen mit verschiedenen Geschwindigkeiten bewegt. Die Geschwindigkeit eines Punktes hängt nur ab von seinem Abstand zur Schraubachse a . Falls nur ein einziger Fensterheber-Motor verwendet wird, mag es günstig sein, Punkte zu betrachten, welche dieselbe Geschwindigkeit bei der Bewegung haben. Das Seil des Fensterhebers kann dann gleichmäßig an den beiden geführten Punkten längs der jeweiligen Führungsschienen ziehen.

[0125] Da die Schraubung M in allen Details bekannt ist, mag beurteilt werden, welche Konsequenzen diese 'Gleichlaufbedingung' nach sich zieht: Es werden gemäß einer Ausführungsform zwei Punkte ausgewählt, die denselben Abstand von der Achse a haben. Sie liegen also auf demselben Drehzylinder um die Achse a .

[0126] Die beiden Punkte (wir nennen sie 'Startpunkte') mögen etwa in der Nähe der unteren Randkurve der Scheibenfläche liegen, wo die Scheibe mit Hilfe eines Gestells geführt wird. Hat man einen dieser Punkte gewählt, so ist der Drehzylinder festgelegt und der zweite Punkt muss an einer geeigneten Stelle dieses Drehzylinders positioniert werden. Dabei sind nur noch die räumlichen Bedingungen und Platzverhältnisse zu beachten, die im Inneren der Tür vorherrschen.

[0127] Gemäß einer Ausführungsform werden Schraublinienabschnitte durch Kreisabschnitte approximiert.

[0128] Aufgrund der aufwändigen Herstellung mag man es vorziehen, statt der schraublinienförmigen Führungsschienen doch eher ebene Kurven zu verwenden. Die einfachste ebene Kurve, die einer Schraublinie angepasst ist, ist ein Kreis. Ein Kreis kann eine Schraublinie nicht perfekt ersetzen, es muss mit leichten Abweichungen gerechnet werden.

[0129] Die Auswirkungen können simuliert werden, welche durch das Ersetzen der Schraublinien durch Kreisbögen entstehen. Dazu mögen drei bestimmte Punkte P_1 , P_2 , P_3 (siehe [Fig. 6A](#)) auf dem betrachteten Schraublinien-Bogen **600** ausgewählt werden und es mag durch diese Punkte der dadurch festgelegten Kreisbogen **607** gelegt werden. Bei der Auswahl der drei Punkte ist es empfehlenswert, die Punkte so zu verteilen, wie das in [Fig. 6A](#) suggeriert wird. Man beachte, dass im tatsächlichen Anwendungsfall die Unterschiede zwischen der Schraublinie und dem Kreisbogen **607** wesentlich geringer sind als in [Fig. 6B](#). Das liegt daran, dass in der Abbildung ein längeres Stück des Bogens verwendet wurde.

[0130] Ein konkretes Beispiel mit Maßen r (Schraublinienradius), p (Schraubparameter) and h_w (Fensterhöhe) mag betrachtet werden. Die Werte $r = 2000$ mm, $p = 300$ mm and $h_w = 400$ mm liefern eine Maximaldifferenz zwischen der Schraublinie und dem Kreisbogen von weniger als 0.05 mm. Dies sind ungefähre Erfahrungswerte, wie sie in der Konstruktion aufgetreten sind. Damit ergibt sich: Ersetzt man die schraublinienförmigen Führungsschienen **600** durch Kreisbögen **607**, so fallen die entstehenden Abweichungen bei den in der Praxis auftretenden Dimensionierungen nicht ins Gewicht.

[0131] Die beiden kreisförmigen Führungsschienen **609** haben die folgenden Eigenschaften:

- Liegen die beiden Startpunkte auf demselben Drehzylinder um die Schraubachse a , so haben die beiden kreisförmigen Ersatzschienen dieselbe Krümmung (d. h. denselben Radius).
- In diesem Fall werden die beiden Punktbahnen längs der Schienen dieselbe Länge haben. Die Bewegung M wird eine gleichmäßige Bewegung

der beiden Punkte mit derselben konstanten Geschwindigkeit bewirken.

- Liegen die beiden Startpunkte sogar auf derselben Erzeugenden des genannten Drehzylinders um a , so sind die Ebenen der beiden kreisförmigen Schienen sogar parallel zueinander. In diesem Fall ist die Verbindungsgerade der beiden Startpunkte natürlich parallel zu a .

[0132] Gemäß einer anderen Ausführungsform liegen die beiden Startpunkte auf derselben Zylindererzeugenden. Dass die beiden kreisförmigen Schienen dann sogar in parallelen Ebenen liegen, bringt keine konstruktiven Vorteile. Bedenken von Seiten der Ingenieure, dass die Funktion des Fensterheber-Mechanismus beeinträchtigt sei, sobald die Schienen in nicht-parallelen Ebenen liegen, mögen unbegründet sein. Ist man sich dieser Tatsache bewusst, so steht dem Konstrukteur ein Freiheitsgrad mehr zur Verfügung. Wenn man an die räumlich beengte Situation innerhalb der Tür denkt, mag das durchaus von Bedeutung sein.

[0133] In dieser Anmeldung sind Ausführungsformen bezüglich der vom Designer vorgeschlagenen Fensterscheibe bis hin zum Fensterheber-Mechanismus beschrieben.

[0134] Gemäß einer Ausführungsform wird ein Bewegungsvorgang bestimmt, der zur vorgegebenen Scheibe am besten passt. Schließlich wird die vorgeschlagene Fensterfläche überprüft und bewertet in Bezug auf die Belastung der Dichtungen, welche im Zuge der Bewegung zwingend auftreten kann. Abschließend wird ein dazu passender Fensterheber-Mechanismus konstruiert; bei dieser Konstruktion bleiben auch mehrere Freiheitsgrade für den Konstrukteur, sodass er auch auf die räumlichen Nebenbedingungen (Platzprobleme) innerhalb des Türkörpers Rücksicht nehmen kann.

[0135] Ausführungsformen können auch dann weiterhelfen, wenn sich die vom Designer vorgeschlagene Fensterfläche als wenig geeignet herausstellt. Dies kann nicht nur zweifelsfrei festgestellt werden. Es können sogar Vorschläge gemacht werden, wie man dieses Problem lösen kann. Eine Ersatzscheibe mag so konstruiert sein, dass sie sich der ursprünglich vorgeschlagenen Scheibe möglichst genau anpasst. In den meisten Fällen mag sie sogar optisch kaum von jener zu unterscheiden sein und das Gesamt-Design mag kaum beeinflusst sein. Nichtsdestotrotz aber mag diese Ersatz-Scheibe perfekt in sich beweglich sein. Belastungen der Dichtungen können praktisch nicht auftreten.

[0136] Abhängig von der Qualität der vom Designer vorgegebenen Scheibe werden zwei Optionen bereitgestellt. In jedem Fall mag dieselbe optimale Schraubung M verwendet werden, um einen passen-

den Fensterheber-Mechanismus zu entwerfen. Wenn die schraublinienförmigen Bahnkurven durch ebene, kreisförmige Schienen ersetzt werden, mag ein Aufwand für die Herstellung gesenkt werden. Gemäß Ausführungsformen mögen Schritte der Konstruktion wesentlich verkürzt werden. Insbesondere wird die Phase des „Versuchs und Irrtums“ praktisch auf Null reduziert. Die Fertigung selbst wird nicht komplizierter als bislang.

[0137] Ausführungsformen der Anmeldung mögen beträchtlich dazu beitragen, beim langwierigen Entwicklungsprozess eines Automobils Zeit und beträchtliche Kosten zu sparen und auch einen Beitrag zur Verbesserung der Qualität des Endproduktes zu leisten.

Zitierte Literaturstelle [1] bis [4]

[1] Bottema, O., Roth B.: Theoretical Kinematics, Dover Publications, 1990.

[2] Odehnal, B., Stachel, H.: The upper talocalcaneal joint, Technical Report 127, Geometry Preprint Series, Vienna Univ. of Technology, October, 12 Seiten, 2004.

[3] Pottmann, H., Wallner, J.: Computational Line Geometry, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2000.

[4] Pottmann H., Hofer M., Odehnal B., Wallner J.: Line Geometry for 3D Shape Understanding and Reconstruction, in T. Pajdla and J. Matas, eds., Computer Vision-ECCV 2004, Part I, Vol. 3021 of Lecture Notes in Computer Science, 297–309, 2004.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 19504781 C1 [\[0005\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln einer Sollbewegungsbahn eines verfahrbaren Bauteils, wobei das Verfahren aufweist:

Bereitstellen von Forminformation (g_i) des Bauteils; Modellieren der Sollbewegungsbahn als parametrisierte Schraubungsbewegungsbahn (**100**, **600**); und Ermitteln der Parameter (v , w) der Schraubungsbewegungsbahn basierend auf der Forminformation.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Forminformation mindestens einen Oberflächennormalenvektor des Bauteils umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Forminformation mindestens einen Normalenvektor einer Randkurve eines Randes des Bauteils umfasst.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Ermitteln der Sollbewegungsbahn ein Lösen eines Optimierungsproblems aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Lösen des Optimierungsproblems ein Berücksichtigen einer während einer Bewegung entlang einer beliebigen Schraubungsbewegungsbahn auftretende Auswanderung mindestens eines Oberflächenpunktes und/oder eines Randpunktes des Bauteils repräsentierenden Größe aufweist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, weiterhin aufweisend:

Ermitteln einer während einer Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn auftretende Auswanderung mindestens eines Oberflächenpunktes und/oder Randpunktes des Bauteils repräsentierenden Größe.

7. Verfahren nach Anspruch 6, weiterhin aufweisend:

Auswählen einer Kurve auf einer Oberfläche des Bauteils,

wobei das Ermitteln der die Auswanderung repräsentierenden Größe ein Bestimmen einer Abweichung der entlang der Sollbewegungsbahn bewegten Kurve von mindestens einem Oberflächenpunkt und/oder Randpunkt des Bauteils aufweist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das verfahrbare Bauteil eine Fensterscheibe, insbesondere eine verfahrbare Fensterscheibe eines Automobils ist.

9. Verfahren zum Bewegen eines verfahrbaren Bauteils, wobei das Verfahren aufweist:

Ermitteln einer Sollbewegungsbahn des Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 8; Bewegen des Bauteils entlang der ermittelten Sollbewegungsbahn.

10. Verfahren nach Anspruch 9, weiterhin aufweisend:

Führen des Bauteils entlang mindestens einer Führungskurve, insbesondere Führungsschiene, wobei die Führungskurve durch Auswählen eines Oberflächenpunktes des Bauteils und Bewegen des ausgewählten Oberflächenpunktes entlang der Sollbewegungsbahn festlegbar ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, weiterhin aufweisend:

Führen des Bauteils entlang mindestens einer weiteren Führungskurve, wobei die weitere Führungskurve durch Auswählen eines weiteren Oberflächenpunktes des Bauteils, welcher einen gleichen Abstand von einer Schraubungsachse der Schraubungsbewegungsbahn hat wie der ausgewählte Oberflächenpunkt, und Bewegen des ausgewählten weiteren Oberflächenpunktes entlang der Schraubungsbewegungsbahn.

12. Verfahren zum Herstellen einer Führungsschiene zum Führen eines verfahrbaren Bauteils entlang einer Führungskurve, wobei das Verfahren aufweist:

Ermitteln einer Sollbewegungsbahn des Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 9;

Festlegen der Führungskurve durch Auswählen eines Oberflächenpunktes des Bauteils und Bewegen des ausgewählten Oberflächenpunktes entlang der Sollbewegungsbahn; und

Herstellen der Führungsschiene gemäß der festgelegten Führungskurve.

13. Verfahren nach Anspruch 12, ferner aufweisend:

Vorsehen einer Dichtung entlang der Führungsschiene, wobei das Bauteil durch die Führungsschiene während der Bewegung entlang der Sollbewegungsbahn des Bauteils derart geführt ist, dass die Dichtung nicht mehr als um einen vorgegebenen Wert verformt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei das Festlegen der Führungskurve ferner ein Approximieren eines Abschnitts der Sollbewegungsbahn durch einen Kreisbahnabschnitt aufweist.

15. Führungsschiene hergestellt nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14.

16. Verfahren zum Modifizieren eines verfahrbaren Bauteils, wobei das Verfahren aufweist:

Ermitteln einer Sollbewegungsbahn des Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 8;

Auswählen einer Kurve auf einer Oberfläche des Bauteils; und

Modifizieren des Bauteils basierend auf einer Flächenform, welche durch Bewegen der ausgewählten Kurve entlang der Sollbewegungsbahn festlegbar ist.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei das Auswählen der Kurve auf der Oberfläche des Bauteils ein Auswählen einer Kurve auf einem Rand des Bauteils aufweist.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, wobei das Modifizieren des Bauteils ferner auf einem Maß einer Abweichung einer Form des Bauteils von der Flächenform basiert.

19. Verfahrbares Bauteil, insbesondere Fensterscheibe, modifiziert nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18.

20. Computerprogrammprodukt, welches Programmanweisungen aufweist, welche ausgebildet sind, wenn durch einen Computer ausgeführt, ein Verfahren nach einem der Anspruch 1 bis 8 auszuführen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

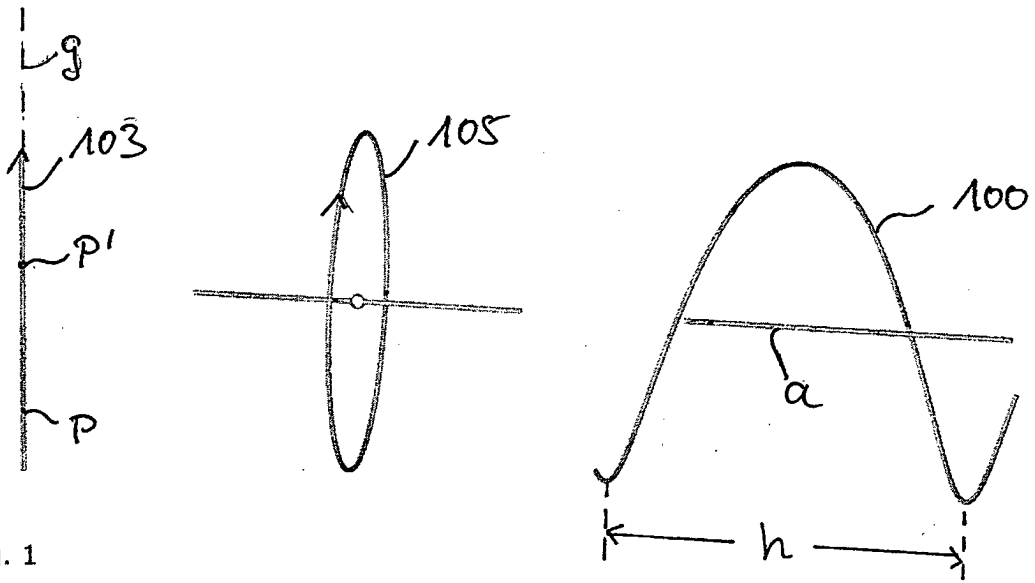


Fig. 1

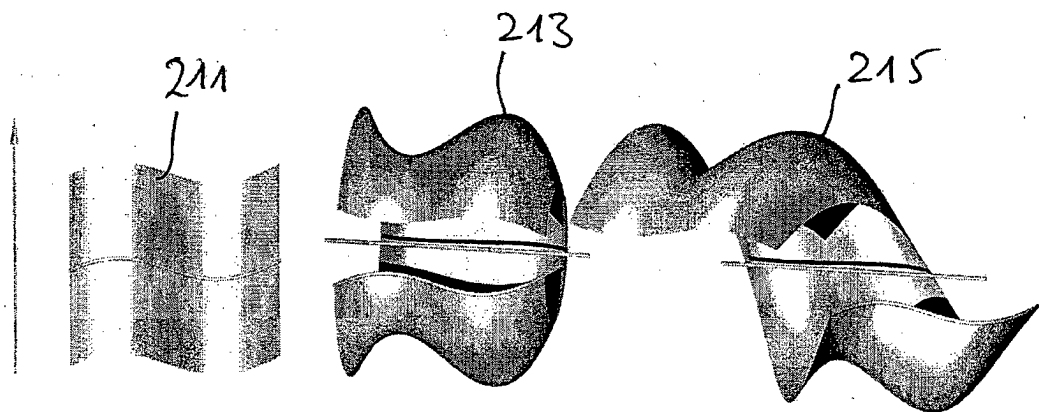


Fig. 2

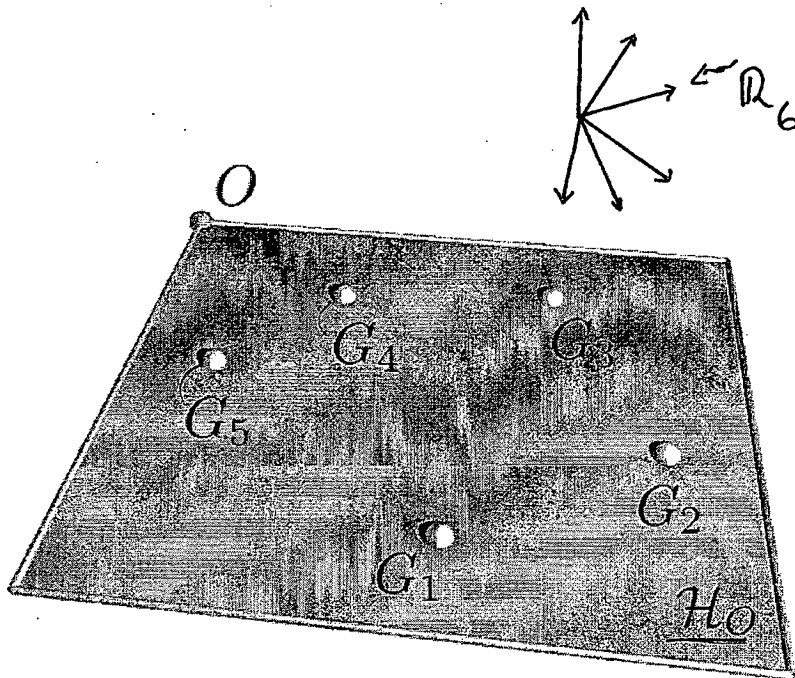


Fig. 3

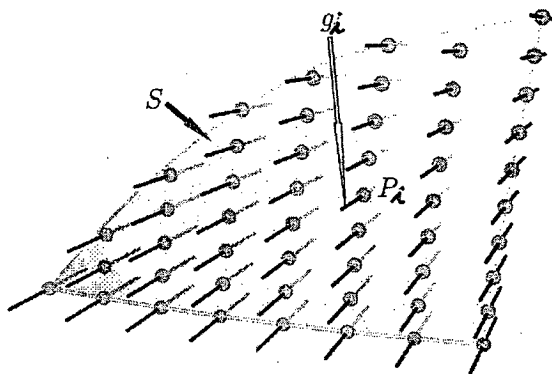


Fig. 4A

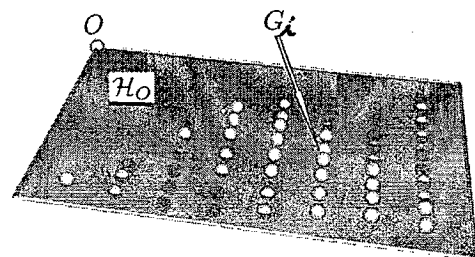


Fig. 4B

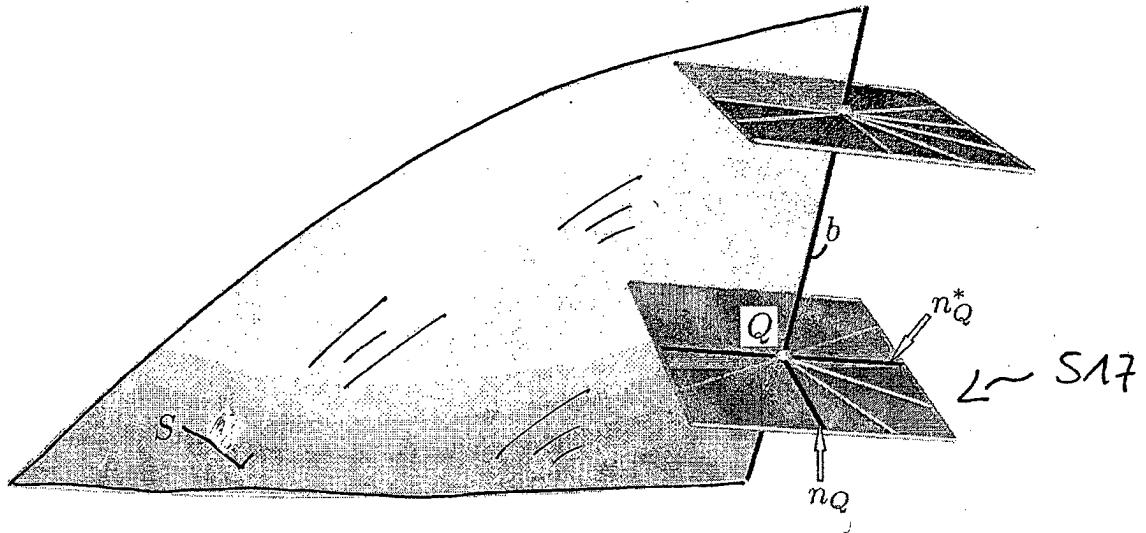


Fig. 5

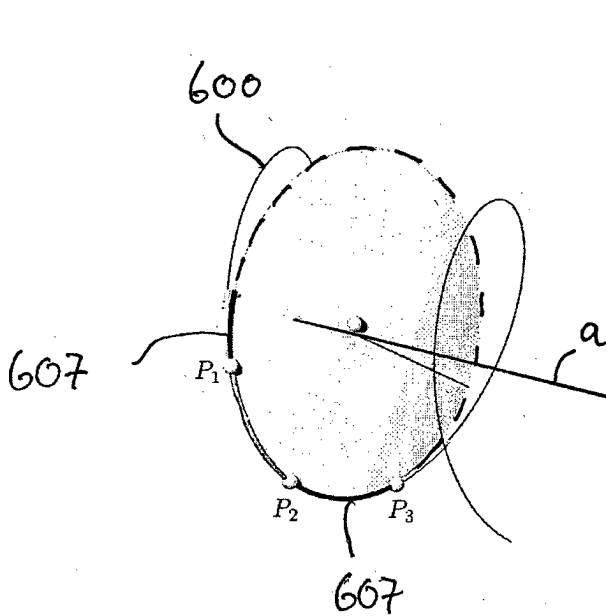


Fig. 6A

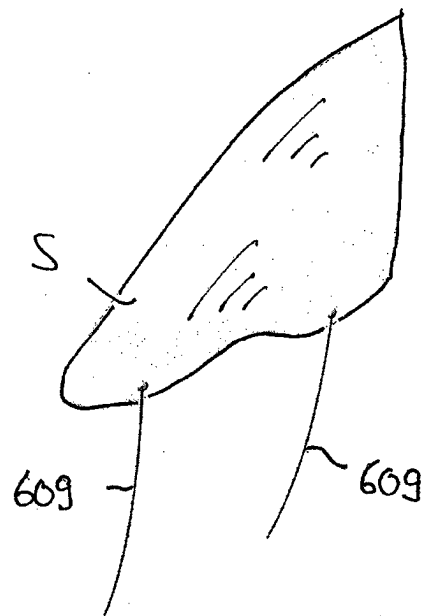


Fig. 6B