

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Um eine Linearführung für Werkzeugmaschinen, umfassend eine sich in einer Längsrichtung erstreckende und in der Längsrichtung eine konstante Querschnittsform aufweisende Führungsschiene sowie mindestens einen an der Führungsschiene geführten und die Führungsschiene in Teilbereichen der Querschnittsform umgreifenden Führungswagen, derart zu verbessern, dass diese einerseits eine präzise Führung des Führungswagens relativ zur Führungsschiene gewährleisten und andererseits eine große Steifigkeit und eine große Dämpfung gegenüber Vibrationen aufweisen, wird vorgeschlagen, dass der Führungswagen an der Führungsschiene durch mindestens eine Gleitführung geführt ist, welche mindestens eine an der Führungsschiene vorgesehene Gleitstützfläche aufweist, an welcher eine Gleitauflagefläche des Führungswagens anliegt, dass der Führungswagen an der Führungsschiene durch mindestens eine Wälzkörperführung geführt ist, welche mindestens eine an der Führungsschiene angeordnete Wälzkörperlaufbahn und eine am Führungswagen vorgesehene Wälzkörperanordnung aufweist, deren Wälzkörper sich abwälzend längs der Wälzkörperlaufbahn der Führungsschiene bewegbar sind, und dass die mindestens eine Gleitführung und die mindestens eine Wälzkörperführung so angeordnet und ausgebildet sind, dass sie auf den Führungswagen und senkrecht zur Längsrichtung der Führungsschiene wirkende jedoch unterschiedlich ausgerichtete Stützkkräfte aufnehmen.

LINEARFÜHRUNG FÜR WERKZEUGMASCHINEN

Die Erfindung betrifft eine Linearführung für Werkzeugmaschinen, umfassend eine sich in einer Längsrichtung erstreckende und in der Längsrichtung eine konstante Querschnittsform aufweisende Führungsschiene sowie mindestens einen an der Führungsschiene geführten und die Führungsschiene in Teilbereichen der Querschnittsform umgreifenden Führungswagen.

Derartige Linearführungen sind aus dem Stand der Technik bekannt.

Bei den aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen ist der Führungswagen entweder ausschließlich durch Gleitführungen an der Führungsschiene geführt oder ausschließlich durch Wälzkörperführungen an der Führungsschiene geführt.

Gleitführungen haben den Vorteil, dass diese eine hohe Steifigkeit und eine hohe Dämpfung gegen sich aufbauende Schwingungen aufweisen, jedoch den Nachteil, dass diese keine sehr hohe Tragfähigkeit aufweisen und eine hohe Genauigkeit nur mit großem Aufwand erreichbar ist, jedoch.

Wälzkörperführungen haben den Vorteil, dass sie eine hohe Genauigkeit mit geringem Aufwand erreichbar ist und eine große Tragfähigkeit aufweisen, jedoch den Nachteil, dass sie eine gewissen elastische Nachgiebigkeit aufweisen und Schwingungen oder Vibrationen nur eine geringe Dämpfung entgegenzusetzen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Linearführung der eingangs beschriebenen Art derart zu verbessern, dass diese einerseits eine präzise Führung des Führungswagens relativ zur Führungsschiene gewährleisten und andererseits eine große Steifigkeit und eine große Dämpfung gegenüber Vibrationen aufweisen.

Diese Aufgabe wird bei einer Linearführung der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Führungswagen an der Führungsschiene durch mindestens eine Gleitführung geführt ist, welche mindestens eine an der Führungsschiene vorgesehene Gleitstützfläche aufweist, an welcher eine Gleitauflagefläche des Führungswagens anliegt, dass der Führungswagen an der Führungsschiene durch mindestens eine Wälzkörperführung geführt ist, welche mindestens eine an der Führungsschiene angeordnete Wälzkörperlaufbahn und eine am Führungswagen vorgesehene Wälzkörperanordnung aufweist, deren Wälzkörper sich abwälzend längs der Wälzkörperlaufbahn der Führungsschiene bewegbar sind und dass die mindestens eine Gleitführung und die mindestens eine Wälzkörperführung so angeordnet und ausgebildet sind, dass sie auf den Führungswagen und senkrecht zur Längsrichtung der Führungsschiene wirkende, jedoch unterschiedlich ausgerichtete Stützkkräfte aufnehmen.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung ist somit darin zu sehen, dass diese zur Führung des Führungswagens an der Führungsschiene mindestens eine Gleitführung mit mindestens einer Wälzkörperführung kombiniert, wobei die Gleitführung und die Wälzkörperführung unterschiedlich ausgerichtete Stützkkräfte aufnehmen, das heißt also, dass die von der Gleitführung aufgenommenen Stützkkräfte senkrecht zur Längsrichtung eine andere Ausrichtung aufweisen als die von der Wälzkörperführung aufgenommenen Stützkkräfte, so dass je nach Lasteinwirkung auf den Führungswagen entweder die Gleitführung oder die Wälzkörperführung oder beide durch entsprechende Stützkkräfte beaufschlagt werden.

Die auf die Gleitführung und die Wälzkörperführung wirkenden Stützkkräfte sind insbesondere nie gleichgerichtet, sondern liegen in einer senkrecht zur Längsrichtung der Führungsschiene verlaufenden Ebene und weisen in dieser Ebene eine unterschiedliche Ausrichtung auf.

Damit besteht bei der erfindungsgemäßen Linearführung die Möglichkeit, durch entsprechende Ausrichtung der Linearführung relativ zur Richtung der Last die bei der Belastung des Führungswagens auftretenden Stützkkräfte entweder auf die Gleitführung oder auf Wälzkörperführung oder auf beide wirken zu lassen.

Eine besonders vorteilhafte Lösung sieht dabei vor, dass der Linearführung eine Hauptlastrichtung zugeordnet ist und dass die mindestens eine Gleitführung so angeordnet ist, dass diese mindestens eine wesentliche Komponente der in Hauptlastrichtung wirkenden Kraft aufnimmt.

Noch besser ist es, wenn die Gleitführung so angeordnet ist, dass diese die in Hauptlastrichtung wirkende Kraft aufnimmt, so dass beispielsweise bei der in Hauptlastrichtung wirkenden Kraft keine oder nur eine marginale Belastung der Wälzkörperführung besteht, so dass der Führungswagen bei Einwirkung der in Hauptlastrichtung wirkenden Kraft durch die mindestens eine Gleitführung mit deren vorteilhaften Eigenschaften geführt werden kann.

Somit besteht die Möglichkeit, einerseits eine zusätzliche Führung durch die Wälzkörperführung zu erhalten, andererseits aber durch geeignete Wahl der Hauptlastrichtung die in dieser wirkenden hauptsächlichen Kräfte durch die Gleitführung mit ihren vorteilhaften Eigenschaften, wie hohe Steifigkeit und hohe Dämpfung, aufzunehmen.

Die Wälzkörperführung stellt somit sicher, dass auch bei Einwirkung quer oder entgegengesetzt zur Hauptlastrichtung stets eine zuverlässige Führung des Führungswagens in der Längsrichtung unter Beteiligung der Gleitführung und der Wälzkörperführung oder auch nur unter Beteiligung der Wälzkörperführung erfolgt.

Prinzipiell bestünde die Möglichkeit, die mindestens eine Gleitführung und die mindestens eine Wälzkörperführung vorspannungsfrei in der Linearführung zu betreiben.

Eine besonders vorteilhafte Lösung sieht jedoch vor, dass die mindestens eine Wälzkörperführung und die mindestens eine Gleitführung vorgespannt sind.

Eine Vorspannung einer Gleitführung ist aus dem Stand der Technik nicht bekannt, da die vorgespannte Ausführung einer Gleitführung sehr aufwendig ist.

Eine wesentliche Komponente der Kraft ist bei einer Komponentenzerlegung der Kraft die größte der beiden Komponenten.

Dabei könnten prinzipiell die Gleitführung und die Wälzkörperführung separat vorgespannt sein.

Besonders zweckmäßig ist es jedoch, wenn die Vorspannung der mindestens einen Wälzkörperführung die Vorspannung der mindestens einen Gleitführung zur Folge hat.

Das heißt, dass die mindestens eine Wälzkörperführung und die mindestens eine Gleitführung relativ zueinander so angeordnet sind, dass bei Vorspannung der mindestens einen Wälzkörperführung gleichzeitig die Vorspannung der mindestens einen Gleitführung auftritt.

Eine derartige Vorspannung erlaubt es, bereits ohne Einwirkung einer Last auf die erfindungsgemäße Linearführung eine hohe Führungspräzision zu erreichen und bei quer oder auch entgegengesetzt zur Hauptlastrichtung wirkenden lastbedingten Kräften, die Führungspräzision und die Führungssteifigkeit sowie die guten Dämpfungseigenschaften der Gleitführung für die Führungseigenschaften der Linearführung wirksam werden zu lassen.

Bleiben insbesondere die genannten lastbedingten Kräfte unter der Vorspannkraft, so überwiegt auch bei quer oder entgegengesetzt zur Hauptlastrichtung wirkenden lastbedingten Kräften die Gleitführung hinsichtlich der Führungseigenschaften der Linearführung für das Verhalten der Linearführung.

Insbesondere erfolgt dies dadurch, dass die mindestens eine Wälzkörperführung durch eine senkrecht zur Längsrichtung der Führungsschiene wirkende Wälzkörpervorspannkraft vorgespannt ist, deren Reaktionskraft eine auf die Gleitführung wirkende Gleitführungsvorspannkraft ergibt.

Das heißt, dass die Abstützung der Wälzkörperführung zur Vorspannung derselben mit der Wälzkörpervorspannkraft dazu führt, dass aufgrund der Abstützung der Wälzkörpervorspannkraft über die Gleitführung gleichzeitig eine Gleitführungsvorspannkraft auf die Gleitführung wirkt und diese ebenfalls vorspannt, so dass dadurch die mindestens eine Gleitführung mit einer hohen Präzision der Führung des Führungswagens an der Führungsschiene, insbesondere kombiniert mit hoher Steifigkeit und hoher Präzision, betrieben werden kann.

Insbesondere ist die mindestens eine Wälzkörperführung so ausgebildet, dass die Vorspannung der mindestens einen Wälzkörperführung durch eine elastische Deformation der Wälzkörper erfolgt.

Eine derartige elastische Deformation der Wälzkörper, seien sie Kugeln oder Rollen, ist dadurch zu erreichen, dass diese aufgrund der Hertzschen-Pressung elastisch deformiert werden können, so dass deren Form unter Vorspannung von einer exakten Kugelform oder einer exakten Zylinderform abweicht.

Eine derartige Abweichung von der exakten Kugelform oder Zylinderform liegt in der Größenordnung einiger Mikrometer, beispielsweise im Bereich zwischen $6\mu\text{m}$ und $20\mu\text{m}$, um welche bei der Hertzschen-Pressung der Abstand zwischen dem Kugelmittelpunkt oder der Zylinderachse und dem deformierten Bereich von dem exakten Radius der Kugel bzw. des Zylinders abweicht.

Hinsichtlich der Ausrichtung der mindestens einen Gleitstützfläche und der mindestens einen Gleitauflagefläche der Gleitführung wurden bislang keine näheren Angaben gemacht.

So sieht eine vorteilhafte Lösung vor, dass die mindestens eine Gleitstützfläche und die mindestens eine Gleitauflagefläche der Gleitführung quer zur Hauptlastrichtung verlaufen.

Insbesondere ist vorgesehen, dass die mindestens eine Gleitstützfläche und die mindestens eine Gleitauflagefläche der Gleitführung in einem Winkel im Bereich von 40° bis 90° zur Hauptlastrichtung verlaufen.

Hinsichtlich der Auslegung der Gleitführung wurden bislang keine näheren Angaben gemacht.

So sieht eine vorteilhafte Lösung vor, dass die Gleitführung auf eine Flächenbelastung von 50 N/mm^2 oder weniger ausgelegt ist, wobei in diesem Fall spezielle Gleitpaarungen eingesetzt werden.

Es ist aber auch denkbar, dass die Gleitführung auf eine Flächenbelastung von 15 N/mm^2 oder weniger, noch besser 5 N/mm^2 oder weniger ausgelegt ist.

Hinsichtlich der vorgesehenen Gleitpaarungen wurden bei der erfindungsgemäßen Gleitführung ebenfalls keine näheren Angaben gemacht.

So sieht eine vorteilhafte Lösung vor, dass die Gleitführung als Gleitpaarung eine Kombination von Stahl mit Grauguss oder Stahl mit Bronze oder Stahl mit Kunststoff oder Grauguss mit Grauguss oder Grauguss mit Bronze oder Grauguss mit Kunststoff oder Keramik mit Stahl aufweist.

All diese Gleitflächenpaarungen haben einerseits die vorteilhafte Eigenschaft, dass sie bei mäßiger Flächenbelastung insgesamt aufgrund der großen Fläche große Lasten aufnehmen können.

Hinsichtlich der Ausdehnung der Gleitführung quer zur Längsrichtung der Führungsschiene wurden bislang ebenfalls keine näheren Angaben gemacht.

So sieht eine vorteilhafte Lösung vor, dass eine Summe aller Gleitstützflächen der Linearführung und eine Summe aller die Gleitauflageflächen der Linearführung eine Ausdehnung quer zur Längsrichtung der Führungsschiene und insbesondere quer zur Hauptlastrichtung aufweisen, die mindestens das 1,5-fache einer Breite der Führungsschiene beträgt.

Im Rahmen der bislang erläuterten Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Linearführung wurde stets davon ausgegangen, dass diese mindestens eine Gleitführung umfasst.

Besonders günstig ist es jedoch, wenn die erfindungsgemäße Linearführung zwei Gleitführungen umfasst.

Im Fall zweier Gleitführungen ist dabei vorgesehen, dass diese beiderseits einer Führungssymmetrieebene angeordnet sind, wobei die Führungssymmetrieebene insbesondere mittig zwischen den beiden Gleitführungen liegt.

Vorzugsweise ist dabei vorgesehen, dass die Gleitstützflächen und die Gleitauflageflächen der Gleitführungen beide quer zur Führungssymmetrieebene verlaufen, vorzugsweise in einem spitzen Winkel zur Führungssymmetrieebene angeordnet sind.

Dabei ist zweckmäßigerweise vorgesehen, dass die Gleitstützflächen und die Gleitauflageflächen der beiden Gleitführungen spiegelsymmetrisch zu der Führungssymmetrieebene angeordnet sind.

Hinsichtlich der Ausrichtung der beiden Gleitführungen relativ zueinander sieht eine vorteilhafte Lösung vor, dass eine Gleitführungsstützkraft jeder der Gleitführungen eine parallel und eine quer zur Führungssymmetrieebene wirkende Kraftkomponente aufweist.

Vorzugsweise sind die beiden Gleitführungen dabei so angeordnet, dass sich die quer zur Führungssymmetrieebene wirkenden Kraftkomponenten gegenseitig aufheben.

Insbesondere ist hierbei vorgesehen, dass eine Gleitführungsstützkraft der einen Gleitführung und eine Gleitführungsstützkraft der anderen Gleitführung einen Winkel im Bereich von 30° bis 150° oder von 210° bis 330° miteinander einschließen.

Schließlich sieht eine vorteilhafte Realisierungsform der erfindungsgemäßen Lösung vor, dass die Gleitstützfläche und die Gleitauflagefläche der einen Gleitführung und die Gleitstützfläche und die Gleitauflagefläche der anderen Gleitführung einen Winkel im Bereich von 30° bis 150° oder von 210° bis 330° miteinander einschließen.

Darüber hinaus wurden auch hinsichtlich der Anordnung der Wälzkörperführungen keine näheren Angaben gemacht.

Beispielsweise wäre es denkbar, die erfindungsgemäße Linearführung mit einer einzigen Wälzkörperführung zu realisieren.

Eine besonders günstige Lösung sieht jedoch vor, dass die Linearführung zwei Wälzkörperführungen umfasst.

Vorzugsweise sind dabei auch die beiden Wälzkörperführungen beiderseits einer Führungssymmetrieebene angeordnet.

Eine zweckmäßige Anordnung derartiger zweier Gleitführungen sieht vor, dass eine Wälzführungsstützkraft jeder der Wälzkörperführungen eine parallel und eine quer zur Führungssymmetrieebene wirkende Kraftkomponente aufweist.

Vorzugsweise sind die Wälzkörperführungen so angeordnet, dass sich die quer zur Führungssymmetrieebene wirkenden Kraftkomponenten gegenseitig aufheben.

Insbesondere ist vorgesehen, dass eine Wälzführungsstützkraft der einen Wälzkörperführung und eine Wälzführungsstützkraft der anderen Wälzkörperführung einen Winkel im Bereich von 30° bis 50° oder von 210° bis 330° miteinander einschließen.

Hinsichtlich der Schmierung der erfindungsgemäßen Linearführung wurden bislang keine näheren Angaben gemacht.

Beispielsweise wäre es denkbar, die erfindungsgemäße Linearführung trockenlauffähig auszuführen.

Eine besonders günstige Lösung sieht jedoch vor, dass zwischen der Gleitstützfläche und der Gleitauflagefläche der mindestens einen Gleitführung ein Schmierfilm angeordnet ist.

Dieser Schmierfilm könnte beispielsweise ein hydrostatischer Schmierfilm sein, wobei dieser eine komplizierte Schmiermittelversorgung erforderlich machen würde.

Aus diesem Grund ist vorzugsweise vorgesehen, dass der Schmierfilm ein hydrodynamischer Schmierfilm ist.

Ferner ist zweckmäßigerweise hinsichtlich der Ausbildung des Schmierfilms vorgesehen, dass die Dicke des Schmierfilms in jeder Position des Führungswagens über der Ausdehnung der Führungsschiene in der Längsrichtung um weniger als 10% variiert.

Eine derartige gering variierende Dicke des Schmierfilms ist insbesondere dadurch erreichbar, dass die mindestens eine Gleitführung und die mindestens eine Wälzkörperführung relativ zueinander vorgespannt sind.

Ferner ist vorzugsweise vorgesehen, dass der Schmierfilm eine Dicke im Bereich von 2 μm bis 6 μm aufweist.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung einiger Ausführungsbeispiele.

In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine;

Fig. 2 eine Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Linearführung;

- Fig. 3 eine vergrößerte Darstellung einer Draufsicht in Richtung des Pfeils X in Fig. 2;
- Fig. 4 eine nochmals vergrößerte Darstellung der Draufsicht gemäß Fig. 3 im Bereich der Gleitführungen und Wälzkörperführungen
- Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Wälzkörpers mit sich dabei ausbildender Hertzscher-Pressung;
- Fig. 6 eine Darstellung ähnlich Fig. 3 eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Linearführung;
- Fig. 7 eine Darstellung ähnlich Fig. 3 eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Linearführung;
- Fig. 8 eine Darstellung ähnlich Fig. 3 eines vierten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Linearführung und
- Fig. 9 eine Darstellung ähnlich Fig. 3 eines fünften Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Linearführung.

Ein in Fig. 1 schematisch dargestelltes Ausführungsbeispiel einer als Ganzes mit 10 bezeichneten Werkzeugmaschine umfasst ein Maschinengestell 12, an welchem einerseits ein Werkstückträger 14, beispielsweise in Form einer Werkstückspindereinheit angeordnet ist, in welcher ein als Ganzes mit 16 bezeichnetes Werkstück um eine Werkstückspindelachse 18 drehbar gelagert ist.

Ferner ist am Maschinengestell 12 ein als Ganzes mit 22 bezeichneter Werkzeugträger angeordnet, welcher beispielsweise ein Werkzeugrevolverkopf 24 trägt, der um eine Werkzeugrevolverachse 26 relativ zum Werkzeugrevolvergehäuse 28 drehbar ist, um jeweils eines von an dem Werkzeugrevolverkopf 24 gehaltenen Werkzeugen 32 in eine Bearbeitungsstellung relativ zum Werkstück 16 bringen zu können, in welcher eine Bearbeitung des Werkstücks 16 mittels des Werkzeugs 32 durch Relativbewegung der beiden zueinander möglich ist.

Die Relativbewegung zwischen dem Werkstück 16 und dem Werkzeug 32 ist dadurch möglich, dass entweder der Werkstückträger 14 oder der Werkzeugträger 22 oder beide relativ zum Maschinengestell 12 bewegbar sind.

Beispielsweise ist in dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel eine Bewegbarkeit des Werkzeugträgers 22 relativ zum Werkstück 16 in Richtung einer parallel zur Werkstückspindelachse 18 verlaufenden Z-Richtung sowie in einer senkrecht zur Werkstückspindelachse 16 verlaufenden X-Richtung vorgesehen.

Diese Bewegungen erfolgen mittels eines in Fig. 1 als Ganzes mit 40 bezeichneten Kreuzschlittens, der einerseits einen Z-Schlitten 42 aufweist, der parallel zur Z-Richtung durch zwei parallel zueinander verlaufende Linearführungen 44a, 44b am Maschinengestell 12 geführt ist und der andererseits einen das Werkzeugrevolvergehäuse 28 tragenden X-Schlitten 46 umfasst, der durch parallel zueinander und parallel zur X-Richtung verlaufende Linearführungen 48a, 48b am Z-Schlitten 42 geführt ist.

Derartige Linearführungen 44a, 44b sowie 48a, 48b sind bei den bekannten Werkzeugmaschinen entweder als Gleitführungen oder in der Regel als Wälzführungen ausgebildet, wobei Gleitführungen den Nachteil haben, dass sie zum Erreichen einer guten Führungspräzision aufwendig aufgebaut werden müssen und nicht für große Lasten geeignet sind, jedoch eine hohe Steifigkeit

und gute Dämpfungseigenschaften gegen Vibrationen aufweisen, während Wälzführungen den Vorteil hoher Führungspräzision haben und den Nachteil haben, dass diese eine geringe Steifigkeit und geringe Dämpfungseigenschaften für möglicherweise beim Bearbeiten des Werkstücks 16 auftretende Vibrationen haben.

Ein in Fig. 2 und 3 dargestelltes erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Linearführung 50 für Werkzeugmaschinen 10 umfasst eine sich in einer Längsrichtung 52 erstreckende Führungsschiene 54, welche eine über deren gesamten Längsrichtung 52 konstante Querschnittsform 56 aufweist.

Insbesondere weist die Führungsschiene 54 gemäß Fig. 2 und 3 einen Fußbereich 60 auf, mit welchem die Führungsschiene 54 auf einer Montagefläche 62 montierbar ist, wobei der Fußbereich 60 mit einer Fußstützfläche 64 auf der Montagefläche 62 aufliegt, und wobei beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 die Montagefläche 62 durch eine Auflageseite 66 des Maschinengestells 12 oder des Z-Schlittens 42 gebildet ist.

Ferner umfasst der Fußbereich 60 quer zur Fußstützfläche 64 und in der Längsrichtung 52 verlaufende und seitlich der Führungsschiene 54 liegende Fußanlageflächen 68a, 68b, wobei mindestens eine der Fußanlageflächen 68a, oder 68b, im in Fig. 2 dargestellten Beispiel die Fußanlagefläche 68a, an einer Stufenfläche 72 der Auflageseite 66 anliegt, welche in Verbindung mit der Fußstützfläche 64 die Möglichkeit einer exakt geradlinigen Ausrichtung der Führungsschiene 54 auf der Auflageseite 66 beispielsweise des Maschinengestells 12 oder des Z-Schlittens 42 ermöglicht.

Vorzugsweise ist hierzu die gesamte Führungsschiene 54 mit diesen durchsetzenden Schrauben 58, beispielsweise senkrecht zur Montagefläche 62 verlaufenden Schrauben 58, an den die Auflageseite 66 aufweisenden Teil, also beispielsweise dem Maschinengestell 12 oder dem Z-Schlitten 42, fixierbar.

Darüber hinaus weist die Führungsschiene 54 einen als Ganzes mit 80 bezeichneten Führungsbereich auf, welcher beispielsweise beiderseits zu einer Längsmittlebene 82 der Führungsschiene 54, wobei die Längsmittlebene 82 vorzugsweise quer, insbesondere senkrecht, zur Fußstützfläche 64 verläuft, angeordnete Führungskonturen 84a, 84b umfasst, welche zwischen den Fußanlageflächen 68a, 68b und eine einer der Fußstützfläche 64 gegenüberliegend angeordneten Schienenoberfläche 86 liegen, wobei vorzugsweise die Schienenoberfläche 86 parallel zu der Fußstützfläche 64 verläuft.

Wie in Fig. 3 vergrößert dargestellt, werden die Führungskonturen 84a und 84b gebildet durch sich ausgehend von den Fußanlageflächen 68 in Richtung der Längsmittlebene 82 in die Führungsschiene 54 hinein erstreckende Seitenvertiefungen 92a und 92b, die eine der Fußstützfläche 64 zugewandt angeordnete Seitenflächen 94a, 94b sowie der Schienenoberfläche 86 zugewandt angeordneten Seitenflächen 96a, 96b aufweisen und die zwischen den jeweiligen Seitenflächen 94a und 96a bzw. 94b und 96b liegende, vorzugsweise parallel zu der Längsmittlebene 82 verlaufende Grundflächen 98a bzw. 98b aufweisen.

Insbesondere verlaufen dabei die Seitenflächen 94a und 94b sowie 96a und 96b einerseits in der Längsrichtung 52 und andererseits in einem spitzen Winkel und symmetrisch zur Längsmittlebene 82, wobei der spitze Winkel im Bereich von 30° bis 60° liegt.

Die Seitenflächen 96a und 96b erstrecken sich dabei jeweils von der entsprechenden Grundfläche 98a bzw. 98b bis zu oberen Außenflächen 102a bzw. 102b der Führungsschiene 54, welche parallel zu der Fußanlagefläche 68a bzw. 68b, vorzugsweise fluchtend mit dieser und somit quer zur Schienenoberfläche 86 verlaufen.

Zur Führung eines Maschinenelements der Werkzeugmaschine 10 in der Längsrichtung 52 der Führungsschiene 54 ist an der Führungsschiene 54 mindestens ein Führungswagen 110 angeordnet, welcher die Führungsschiene 54 im Bereich ihrer Schienenoberfläche 86 und der Führungskonturen 84a und 84b umgreift und an den Führungskonturen 84a und 84b mittels Führungsabschnitten 112a bzw. 112b geführt ist.

Hierzu weisen die Führungsabschnitte 112a und 112b den Seitenflächen 94a bzw. 94b zugewandte Führungsflächen 114a bzw. 114b auf, sowie in den Führungsabschnitten 112a und 112b gelagerte Wälzkörper 116a bzw. 116b, welche aus den Führungsabschnitten 112a bzw. 112b in Richtung der Seitenflächen 96a bzw. 96b überstehen und sich an diesen mit ihren Mantelflächen 117a bzw. 117b abstützen.

Dabei ist jeweils eine Vielzahl von Wälzkörpern 116a bzw. 116b in der Längsrichtung 52 der Führungsschiene 54 aufeinanderfolgend in Wälzkörperaufnahmen 118a bzw. 118b der Führungsabschnitte 112a bzw. 112b der Führungswagen 110 angeordnet und geführt, wobei die Wälzkörper 116a bzw. 116b mit den Wälzkörperaufnahmen 118a bzw. 118b zusammen Wälzkörperanordnungen 119a bzw. 119b bilden.

Die Führungsflächen 114a und 114b, die sich über die Längsrichtung 52 der Führungsschiene 54 und somit auch in Längsrichtung des Führungswagens 110 an den Führungsabschnitten 112a bzw. 112b erstrecken, liegen dabei flächenhaft auf den Seitenflächen 94a bzw. 94b der Führungskonturen 84a bzw. 84b auf und bilden somit Gleitführungen 120a bzw. 120b, wobei im Überlappungsbereich zwischen den Seitenflächen 94a und 94b sowie den Führungsflächen 114a bzw. 114b die Seitenflächen 94a bzw. 94b der Führungsschiene 54 Gleitstützflächen 124a bzw. 124b ausbilden und

die Führungsflächen 114a bzw. 114b Gleitauflageflächen 126a bzw. 126b ausbilden, welche die Gleitführungen 120a bzw. 120b darstellen, wobei die Gleitauflageflächen 126a bzw. 126b mit einer senkrecht auf den Gleitstützflächen 124a bzw. 124b stehenden Gleitführungsstützkraft GSa bzw. GSb wirken, und spiegelsymmetrisch zur Längsmittlebene 82 verlaufen, die außerdem eine Führungssymmetrieebene 128 bildet (Fig. 4).

Die Gleitführungskräfte GSa und GSb lassen sich in parallel zur Führungssymmetrieebene 128 verlaufende Komponenten GSap und GSbp sowie senkrecht zur Führungssymmetrieebene 128 verlaufende Komponenten GSas und GSbs zerlegen, wobei sich die Komponenten GSas und GSbs gegenseitig aufheben, so dass sich die Komponenten GSap und GSbp zu einer Gesamtgleitführungsstützkraft GGS addieren lassen, die parallel zur Führungssymmetrieebene liegt, wie in Fig. 4 dargestellt.

Die Gesamtgleitführungsstützkraft GGS definiert eine Hauptlastrichtung HLR, so dass eine in dieser Hauptlastrichtung HLR auf den Führungswagen 10 mit einer Kraft KL einwirkende Last in Form der Gesamtgleitführungsstützkraft GGS ausschließlich durch die Gleitführungen 120a bzw. 120b aufgenommen wird und somit eine Führung des Führungswagens 110 entsprechend den bereits vorstehend genannten Eigenschaften einer reinen Gleitführung bewirkt.

Zur Abstützung der Wälzkörper 116a bzw. 116b bilden die Seitenflächen 96a bzw. 96b Wälzkörperlaufbahnen 132a bzw. 132b, auf denen sich die Wälzkörper 116a bzw. 116b mit ihren Mantelflächen beim Bewegen des Führungswagens 110 in der Längsrichtung 52 abwälzen und somit auch abstützen.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung liegen die Wälzkörperführungen 130a und 130b auf einer den Gleitführungen 120a und 120b gegenüberliegenden Seite einer senkrecht zur Hauptlastrichtung HLR verlaufenden Führungsteilungsebene 134.

Somit bilden die Wälzkörper 116a und 116b mit den Wälzkörperaufnahmen 118a bzw. 118b in den Führungsabschnitten 112a bzw. 112b und den Wälzkörperlaufbahnen 132a bzw. 132b als Teilflächen der Seitenflächen 96a bzw. 96b Wälzkörperführungen 130a bzw. 130b, wobei die Wälzkörper 116a bzw. 116b mit Wälzführungsstützkräften W_{Sa} bzw. W_{Sb} auf die Wälzkörperlaufbahnen 132a bzw. 132b einwirken.

Da die Wälzführungsstützkräfte W_{Sa} und W_{Sb} symmetrisch zur Längsmittelsebene 82 verlaufen, lassen sich diese in parallel zur Führungssymmetrieebene 128 verlaufende Komponenten W_{Sap} und W_{Sbp} sowie in senkrecht zur Führungssymmetrieebene 128 verlaufende Komponenten W_{Sas} und W_{Sbs} zerlegen, wobei sich die senkrechten Komponenten W_{Sas} und W_{Sbs} gegenseitig aufheben und sich die parallelen Komponenten W_{Sap} und W_{Sbp} zu einer Gesamtwälzführungsstützkraft GWS ergänzen, die ebenfalls in der Längsmittelsebene 82 liegt, allerdings genau entgegengesetzt zur Gesamtgleitführungsstützkraft GGS gerichtet ist.

Somit sind die Wälzkörperführungen 130a bzw. 130b lediglich zur Aufnahme einer Last geeignet, die in Richtung der Gesamtwälzführungsstützkraft GWS auf den Führungswagen 110 wirkt und somit entgegengesetzt zur Hauptlastrichtung HLR, so dass alle Lasten, die entgegengesetzt zur Hauptlastrichtung HLR wirksam sind, von den Wälzkörperführungen 130a, 130b allein aufgenommen werden und somit erfolgt die Führung der Führungswagen 110 an der Führungsschiene 54 ausschließlich entsprechend den bereits vorstehend genannten Eigenschaften der Wälzkörperführungen 130a bzw. 130b.

Anders gerichtete Lasten, die auf den Führungswagen 110 einwirken, insbesondere quer zu der Hauptlastrichtung HLR auf den Führungswagen 110 einwirken, lassen sich in Kräfte zerlegen, die zum Teil auf die Gleitführungen 120a bzw. 120b und zum Teil auf die Wälzkörperführungen 130a bzw. 130b

wirken und somit sind die Führungseigenschaften für derartige Lasten Mischungen aus Führungseigenschaften einer Gleitführung oder einer Wälzkörperführung.

Grundsätzlich könnten die Wälzkörperaufnahmen 118a und 118b mit den Wälzkörpern 116a bzw. 116b und die Gleitstützflächen 124a bzw. 124b derart an den Führungsabschnitten 112a bzw. 112b der Führungswagen 110 angeordnet sein, dass die Gleitführungsflächen 126a bzw. 126b vorspannungsfrei auf den Gleitstützflächen 124a bzw. 124b gleiten und entsprechend auch die Wälzkörper 116a bzw. 116b sich vorspannungsfrei auf den Wälzkörperlaufbahnen 132a bzw. 132b abwälzen.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Kombination von Gleitführungen 120a, 120b und Wälzkörperführungen 130a, 130b zur Führung des Führungswagens 110 längs der Führungsschiene 54 besteht jedoch darin, dass die Wälzkörperführungen 130a bzw. 130b, wie in Fig. 5 dargestellt, die Möglichkeit eröffnen, die Wälzkörper 116 aufgrund der Hertzschen Pressung bei der Auflage auf der entsprechenden Wälzkörperlaufbahn 132 zu deformieren, und zwar elastisch zu deformieren, so dass die Möglichkeit besteht, die Wälzkörperführungen 130a bzw. 130b in einer zur jeweiligen Wälzführungsstützkraft W_{Sa} , W_{Sb} parallelen Richtung senkrecht zu den Wälzkörperlaufbahnen 132 elastisch vorzuspannen, so dass auch ohne Lastbeaufschlagung der Führungswagen 110 die Wälzkörperführungen 130 mit einer Wälzkörpervorspannkraft W_V , die parallel zur Wälzkörperstützkraft W_S verläuft, beaufschlagt sind.

Um die Wälzkörpervorspannkraft W_{Va} und W_{Vb} aufzubringen, müssen sich die Führungsabschnitte 112a bzw. 112b des Führungswagens 110 wiederum auf den Gleitführungen 120a bzw. 120b abstützen, so dass als Reaktionskraft auf die Wälzkörpervorspannkraft W_{Va} bzw. W_{Vb} eine Gleitführungsvorspannkraft G_{Va} bzw. G_{Vb} auf die Gleitführungen 120 wirkt, wobei diese Gleitführungsvorspannkraft G_{Va} bzw. G_{Vb} in gleicher Richtung wie die jeweiligen

Gleitstützkräfte GSa bzw. GSb wirken und sich aus den Wälzkörpervorspannkräften WVa und WVb ergeben, wenn eine Kräftezerlegung nach parallel und senkrecht zur Führungssymmetrieebene 128 verlaufenden Komponenten erfolgt und berücksichtigt wird, dass sich die senkrecht zur Führungssymmetrieebene 128 verlaufenden Komponenten aufheben, wie im Zusammenhang mit den Gleitführungsstützkräften und den Wälzführungs Kräften bereits erläutert.

Somit besteht bei der erfindungsgemäßen Linearführung 50 die Möglichkeit, die Gleitführungen 120a bzw. 120b nicht als klassische Gleitführungen ohne Vorspannkraft zu betreiben, sondern als durch die Gleitführungsvorspannkräfte GVa, GVb vorgespannte Gleitführungen 120a bzw. 120b zu betreiben.

Durch diese Vorspannung lässt sich bereits ohne eine auf die Führungswagen 110 wirkende Last eine hohe Präzision der Führung der Führungswagen 110 in der Längsrichtung 52 der Führungsschiene 54 realisieren.

Durch die Wälzkörpervorspannkräfte WVa, WVb erfolgt beispielsweise eine Deformation der Wälzkörper, 116a, 116b so dass diese in einem Bereich zwischen 6 µm und mehr und 20 µm und weniger von der tatsächlichen Geometrie der Wälzkörper 116 abweichen. Durch diese elastische Deformation der Wälzkörper 116 und die daraus folgende Wirkung der Wälzkörper 116a bzw. 116b als elastisch vorgespannte Elemente können Abstandstoleranzen zwischen den Gleitstützflächen 124a, 124b und den Wälzkörperlaufbahnen 132a, 132b ausgeglichen werden, so dass die Gleitauflageflächen 126a, 126b des Führungswagens 110 stets dem Verlauf der Gleitstützflächen 124a, 124b exakt folgen.

Im Hinblick auf die vorgesehenen Flächenpressungen im Bereich der Gleitführungen 120a, 120b wurden bislang keine näheren Angaben gemacht.

So ist vorzugsweise dann, wenn die Gleitstützflächen 124a, 124b aus Eisen-guss hergestellt sind und die Führungsschiene 54 aus gehärtetem Stahl ist eine Flächenpressung von bis zu $2,5 \text{ N/mm}^2$ realisierbar.

Wird dagegen die Gleitstützfläche 124a, 124b aus mit amorphem Kohlenstoff beschichtetem Stahl hergestellt, so sind Flächenpressungen von bis zu 10 N/mm^2 realisierbar.

Diese Flächenpressungen sind bezogen auf die Richtung der Gleitstützkräfte GSa und GSb.

Hinsichtlich der Ausdehnung der Gleitstützflächen 124a, 124b und der Gleit-auflageflächen 126a, 126b senkrecht zur Hauptlastrichtung HLR wurden bislang ebenfalls keine näheren Angaben gemacht.

So ist vorzugsweise vorgesehen, dass diese Ausdehnung mehr als 20% einer Breite B der Fußstützfläche 64 der Führungsschiene 54 beträgt.

Vorzugsweise erstrecken sich dabei ebenfalls die Gleitstützflächen 124a, 124b über die gesamte Länge des Führungswagens 110 in der Längsrichtung 52 der Führungsschiene 54.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung ist vorgesehen, dass die Gleitstützflächen 124a und 124b und die Gleitauflageflächen 126a bzw. 126b relativ zueinander durch einen Schmierfilm 140a bzw. 140b geführt sind, wobei dieser Schmier-film 140a, 140b vorzugsweise als ein hydrodynamischer Schmierfilm ist, der sich aufgrund der Bewegung des Führungswagens 110 relativ zur Führungs-schiene 54 ausbildet.

Vorzugsweise weist dabei der Schmierfilm eine Dicke im Bereich von $2 \text{ }\mu\text{m}$ bis $6 \text{ }\mu\text{m}$ auf.

Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Linearführung 50', dargestellt in Fig. 6, sind zur Ausbildung der Gleitauflageflächen 126a und 126b in die Führungsabschnitte 112a, 112b Einsätze 142a bzw. 142b eingesetzt, so dass das Material zur Ausbildung der Gleitauflageflächen 126a, 126b unabhängig vom Material des Führungswagens 110 und insbesondere auch unabhängig von dem Material der Führungsabschnitte 112a, 112b gewählt werden kann.

Somit lassen sich beispielsweise durch die Einsätze 142a und 142b die Gleitauflageflächen 126a bzw. 126b durch Materialien wie Bronze, Kunststoff oder Keramik realisieren, so dass bei entsprechender Wahl der Führungsschiene 54 selbst die verschiedensten Gleitpaarungen für die aneinander gleitenden Materialien gewählt werden können.

Im Übrigen ist das zweite Ausführungsbeispiel in gleicher Weise ausgebildet wie das erste Ausführungsbeispiel, so dass zur Beschreibung der einzelnen Elemente vollinhaltlich auf die Ausführungen zum ersten Ausführungsbeispiel Bezug genommen werden kann.

Bei einem dritten Ausführungsbeispiel, dargestellt in Fig. 7 sind die Führungskontur 84a und der Führungsabschnitt 112a so ausgebildet, dass diese die Gleitführungen 120'a und 120'b bilden, wobei die Seitenflächen 94a und 96a mit deren entsprechenden Teilbereichen die Gleitstützflächen 124a und 124b bilden und der Führungsabschnitt 112a seinerseits die Gleitauflageflächen 126'a und 126'b bildet, welche an den Gleitstützflächen 124'a und 124'b gleitend anliegen.

Die Gleitstützflächen 124'a und 124'b sowie die Gleitauflageflächen 126'a und 126'b verlaufen dabei symmetrisch zu der Führungssymmetrieebene 128', die allerdings bei diesem Ausführungsbeispiel nicht in der Längsmittelebene 82 der Führungsschiene 54 zusammenfällt, sondern senkrecht zu dieser verläuft.

Ferner sind symmetrisch zur Führungssymmetrieebene 128' in den Führungsabschnitt 112b die Wälzkörper 116'a und 116'b in entsprechenden Wälzkörperaufnahmen 118'a und 118'b angeordnet, die sich ihrerseits an den Seitenflächen 94b und 96b unter Ausbildung der entsprechenden Wälzkörperlaufbahnen 132a bzw. 132b abstützen.

Somit verläuft bei dem dritten Ausführungsbeispiel die Hauptlastrichtung HLR' parallel zu der Führungssymmetrieebene 128', wobei in der Führungssymmetrieebene 128' auch die Gesamtgleitstützkraft GGS' liegt, die sich aus den von den Gleitführungen 120'a und 120'b aufgenommenen Gleitstützkraften GS'a und GS'b zusammensetzt.

In gleicher Weise ergeben die Wälzkörperstützkraften WSa und WSb insgesamt eine Gesamtwälzkörperstützkraft GWS, welche ebenfalls in der Führungssymmetrieebene 128' liegt, jedoch entgegengesetzt zur Gesamtgleitstützkraft GGS' gerichtet ist.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel lassen sich die Wälzkörperführungen 130'a, 130b, gebildet durch die in den Wälzkörperaufnahmen 118'a, 118'b aufgenommenen Wälzkörper 116'a, 116'b um die Wälzkörperlaufbahnen 132'a, 132'b in gleicher Weise vorspannen wie dies im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben ist, so dass auch eine Vorspannkraft auf die Gleitführungen 120'a bzw. 120'b in gleicher Weise wirkt, wie dies im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben wurde.

Bei einem vierten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Linearführung 50", dargestellt in Fig. 8, sind die Führungskonturen 84"a, 84"b der Führungsschiene 54" als Vorsprünge ausgebildet, wobei die Führungskontur 84"a die V-förmig zueinander verlaufenden Gleitstützflächen 124"a und 124"b trägt,

wobei diese Gleitstützflächen 124"a und 124"b symmetrisch zur Führungssymmetrieebene 128 verlaufen und somit mit Gleitführungsflächen 126"a und 126"b des Führungsabschnitts 112"a Gleitführungen 120"a und 120"b bilden, die symmetrisch zur Führungssymmetrieebene 128" angeordnet sind.

In gleicher Weise sind zwischen der Führungskontur 84"b und dem Führungsabschnitt 112"b Wälzkörperführungen 130"a und 130"b wirksam, die ebenfalls beispielsweise Kugeln als Wälzkörper 116"a und 116"b aufweisen, welche in Wälzkörperaufnahmen 118"a und 118"b gehalten sind und sich auf Wälzkörperlaufbahnen 132"a und 132"b abwälzen, die von der Führungskontur 84"b der Führungsschiene 54" gebildet werden.

Auch bei diesem Ausführungsbeispiel verläuft die Hauptlastrichtung HLR in der Führungssymmetrieebene 128" und die resultierende Gesamtgleitstützkraft GGS" liegt ebenfalls in der Führungssymmetrieebene 128, während eine resultierende Gesamtwälzkörperstützkraft GWS" ebenfalls in der Führungssymmetrieebene 128" liegt, jedoch entgegengesetzt zur resultierenden Gesamtgleitstützkraft GGS ausgerichtet ist.

Bei einem fünften Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Linearführung, dargestellt in Fig. 9, wird eine einzige Gleitführung 120"" gebildet durch einen Bereich der oberen Schiene 86 und einen Bereich einer unteren Führungswagenfläche 88, die der oberen Schienenfläche 86 zugewandt ist.

Dabei bildet die untere Führungswagenfläche die Gleitstützfläche 124" und die obere Schienenfläche 86 die Gleitauflagefläche 126"" der Gleitführung 120"".

Dadurch, dass sich die obere Schienenfläche 86 beispielsweise über die gesamte Breite der Führungsschiene 54 in gleicher Weise erstrecken kann, wie die untere Führungswagenfläche 88, bietet sich die Möglichkeit, die Gleitführung 120"" mit einer hohen Tragfähigkeit zu versehen.

Da die Gleitstützfläche 124'' und die Gleitauflagefläche 126'' sich senkrecht zur Hauptlastrichtung erstrecken, treten auch keine quer zur Führungssymmetrieebene 128 wirkenden Kräfte bei Belastung der Gleitführung 120'' in der Hauptlastrichtung HLR auf.

Im Bereich der Führungsabschnitte 112a und 112b sind die Wälzkörper 116a und 116b in gleicher Weise angeordnet, wie dies beim ersten Ausführungsbeispiel der Fall ist und bilden die Wälzkörperführungen 130a bzw. 130b in gleicher Weise wie im Zusammenhang beispielsweise mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben, so dass diesbezüglich auf die Ausführungen zum ersten Ausführungsbeispiel vollinhaltlich Bezug genommen werden kann.

Eine weitere Abstützung der Führungsabschnitte 112a und 112b an der Führungsschiene 54 erfolgt nicht. Insbesondere dienen die Seitenflächen 94a und 94b nicht mehr zur Ausbildung der Gleitstützflächen 124a, 124b.

Im Übrigen werden für die weiteren Teile der erfindungsgemäßen Linearführung 50'' gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel die für dieselben Teile dieselben Bezugszeichen wie bei den voranstehenden Ausführungsbeispielen verwendet, so dass vollinhaltlich auf die Ausführungen zu den voranstehenden Ausführungsbeispielen Bezug genommen werden kann.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Linearführung (50) für Werkzeugmaschinen (10), umfassend eine sich in einer Längsrichtung (52) erstreckende und in der Längsrichtung (52) eine konstante Querschnittsform (56) aufweisende Führungsschiene (54) sowie mindestens einen an der Führungsschiene (54) geführten und die Führungsschiene (54) in Teilbereichen der Querschnittsform (56) umgreifenden Führungswagen (110),
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Führungswagen (110) an der Führungsschiene (54) durch mindestens eine Gleitführung (120) geführt ist, welche mindestens eine an der Führungsschiene (54) vorgesehene Gleitstützfläche (124) aufweist, an welcher eine Gleitauflagefläche (126) des Führungswagens (110) anliegt, dass der Führungswagen (110) an der Führungsschiene (54) durch mindestens eine Wälzkörperführung (130) geführt ist, welche mindestens eine an der Führungsschiene (54) angeordnete Wälzkörperlaufbahn (132) und eine am Führungswagen (110) vorgesehene Wälzkörperanordnung (119) aufweist, deren Wälzkörper (116) sich abwälzend längs der Wälzkörperlaufbahn (132) der Führungsschiene (54) bewegbar sind, und dass die mindestens eine Gleitführung (120) und die mindestens eine Wälzkörperführung (130) so angeordnet und ausgebildet sind, dass sie auf den Führungswagen (110) und senkrecht zur Längsrichtung (52) der Führungsschiene (54) wirkende jedoch unterschiedlich ausgerichtete Stützkkräfte (GS, WS) aufnehmen.
2. Linearführung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Linearführung (50) eine Hauptlastrichtung (HLR) zugeordnet ist und dass die mindestens eine Gleitführung (120) so angeordnet ist, dass diese mindestens eine Komponente der in Hauptlastrichtung (HLR) auf den Führungswagen (110) wirkenden Kraft aufnimmt.

3. Linearführung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Gleitführung (120) so angeordnet ist, dass diese die in Hauptlastrichtung (HLR) wirkende Kraft aufnimmt.
4. Linearführung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Wälzkörperführung (130) und die mindestens eine Gleitführung (120) vorgespannt sind.
5. Linearführung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorspannung der mindestens einen Wälzkörperführung (130) die Vorspannung der mindestens einen Gleitführung (120) bewirkt.
6. Linearführung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Wälzkörperführung (130) durch eine senkrecht zur Längsrichtung (52) der Führungsschiene (54) wirkende Wälzkörpervorspannkraft (WV) vorgespannt ist, deren Reaktionskraft eine auf die Gleitführung wirkende Gleitführungsvorspannkraft (GV) ergibt.
7. Linearführung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorspannung der mindestens einen Wälzkörperführung (130) durch eine elastische Deformation der Wälzkörper (116) erfolgt.
8. Linearführung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Gleitstützfläche (124) und die mindestens eine Gleitauflagefläche (126) der Gleitführung (120) quer zur Hauptlastrichtung (HLR) verlaufen.
9. Linearführung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Gleitstützfläche (124) und die mindestens eine Gleitauflagefläche (126) der Gleitführung (120) in einem Winkel im Bereich von 40° bis 90° zur Hauptlastrichtung (HLR) verlaufen.

10. Linearführung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleitführung (120) auf eine Flächenbelastung von 50 N/mm² oder weniger ausgelegt ist, insbesondere auf eine Flächenbelastung von 15 N/mm² oder weniger ausgelegt ist.
11. Linearführung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleitführung (120) für eine Flächenbelastung von 5 N/mm² oder weniger ausgelegt ist.
12. Linearführung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleitführung (120) als Gleitpaarung eine der Kombinationen von Stahl mit Grauguss oder Stahl mit Bronze oder Stahl mit Kunststoff oder Grauguss mit Grauguss oder Grauguss mit Bronze oder Grauguss mit Kunststoff oder Keramik mit Stahl aufweist.
13. Linearführung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Summe aller Gleitstützflächen (124) der Linearführung (50) und eine Summe aller Gleitauflageflächen (126) der Linearführung (50) eine Ausdehnung quer zur Längsrichtung (52) der Führungsschiene (54) aufweisen, die mindestens das 1,5-fache einer Breite der Führungsschiene (54) beträgt.
14. Linearführung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass diese zwei Gleitführungen (120) umfasst.
15. Linearführung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleitführungen (120) beiderseits einer Führungssymmetrieebene (128) angeordnet sind.
16. Linearführung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleitstützflächen (124) und die Gleitauflageflächen (126) der Gleitführungen quer zur Führungssymmetrieebene (128) verlaufen.

17. Linearführung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleitstützflächen (124) und die Gleitauflageflächen (126) der beiden Gleitführungen spiegelsymmetrisch zur Führungssymmetrieebene (128) angeordnet sind.
18. Linearführung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gleitführungsstützkraft (GSa, GSb) jeder der Gleitführungen (120a, 120b) eine parallel (GSap, GSbp) und eine quer (GSas, GSbs) zur Führungssymmetrieebene (128) wirkende Kraftkomponente aufweist.
19. Linearführung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gleitführungsstützkraft (GSa) der einen Gleitführung (120a) und eine Gleitführungsstützkraft (GSb) der anderen Gleitführung (120b) einen Winkel im Bereich von 30° bis 150° oder von 210° bis 330° miteinander einschließen.
20. Linearführung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleitstützflächen (124) und die Gleitauflagefläche (126a) der einen Gleitführung (120a) und die Gleitstützfläche (124b) und die Gleitauflagefläche (126b) der anderen Gleitführung (120b) einen Winkel im Bereich von 30° bis 150° oder von 210° bis 330° miteinander einschließen.
21. Linearführung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Linearführung (50) zwei Wälzkörperführungen (130) umfasst.
22. Linearführung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Wälzkörperführungen (130) beiderseits einer Führungssymmetrieebene (128) angeordnet sind.

23. Linearführung nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine Wälzführungsstützkraft (WSa, WSb) jeder der Wälzkörperführungen (130) eine parallel und eine quer zur Führungssymmetrieebene (128) wirkende Kraftkomponente aufweist.
24. Linearführung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass eine Wälzführungsstützkraft (WSa) der einen Wälzkörperführung (130a) und eine Wälzführungsstützkraft (WSb) der anderen Wälzkörperführung (130b) einen Winkel im Bereich von 30° bis 150° oder von 210° bis 330° miteinander einschließen.
25. Linearführung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Gleitstützfläche (124) und der Gleitauflagefläche (126) der mindestens einen Gleitführung (120) ein Schmierfilm (140a, 140b) angeordnet ist.
26. Linearführung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass der Schmierfilm (140a, 140b) ein hydrodynamischer Schmierfilm ist.
27. Linearführung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke des Schmierfilms (140a, 140b) in jeder Position des Führungswagens (110) über der Ausdehnung der Führungsschiene (54) in der Längsrichtung (52) um weniger als 10% variiert.
28. Linearführung nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Schmierfilm (140a, 140b) eine Dicke im Bereich von 2 µm bis 6µm aufweist.

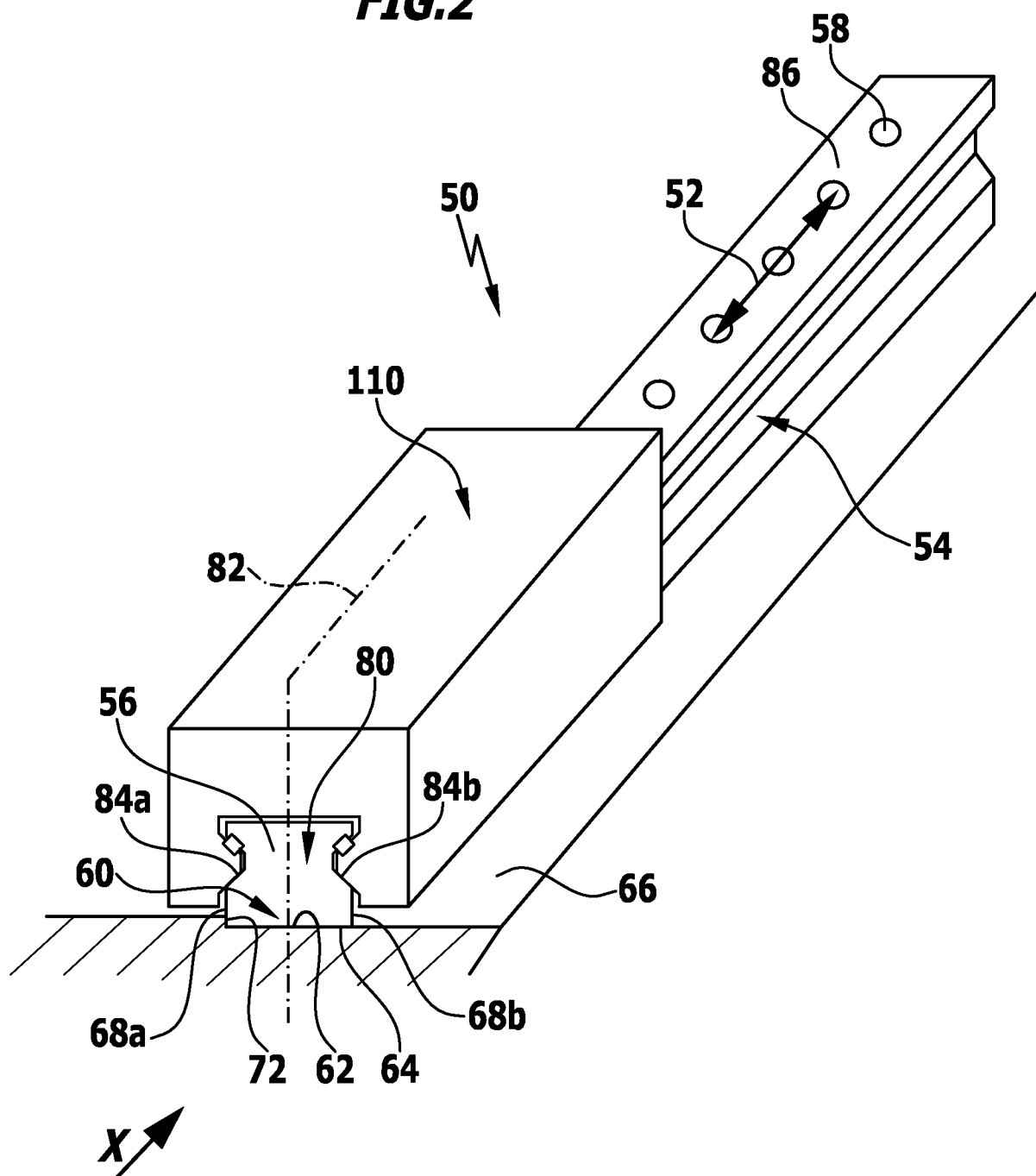
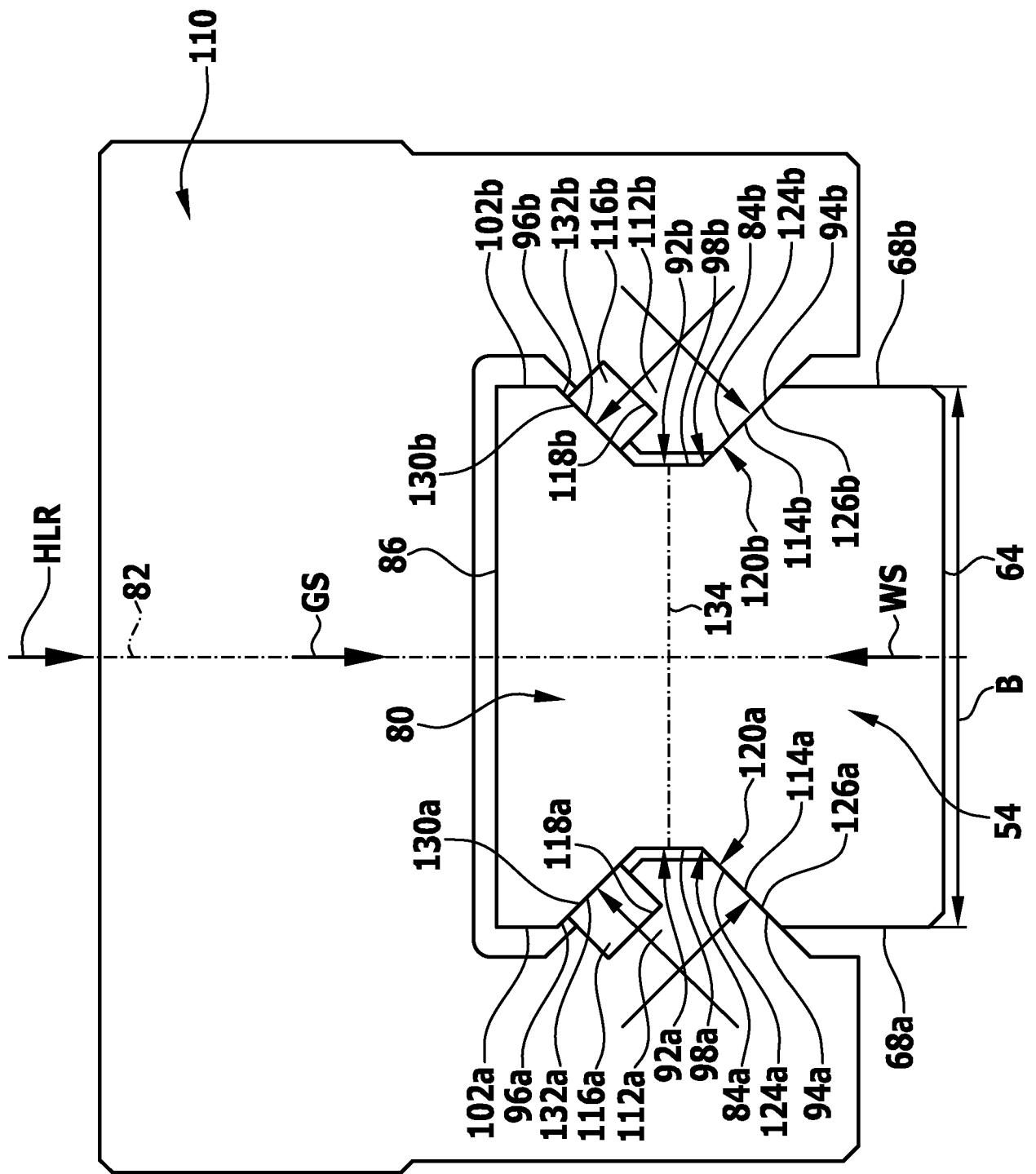
FIG.2

FIG. 3



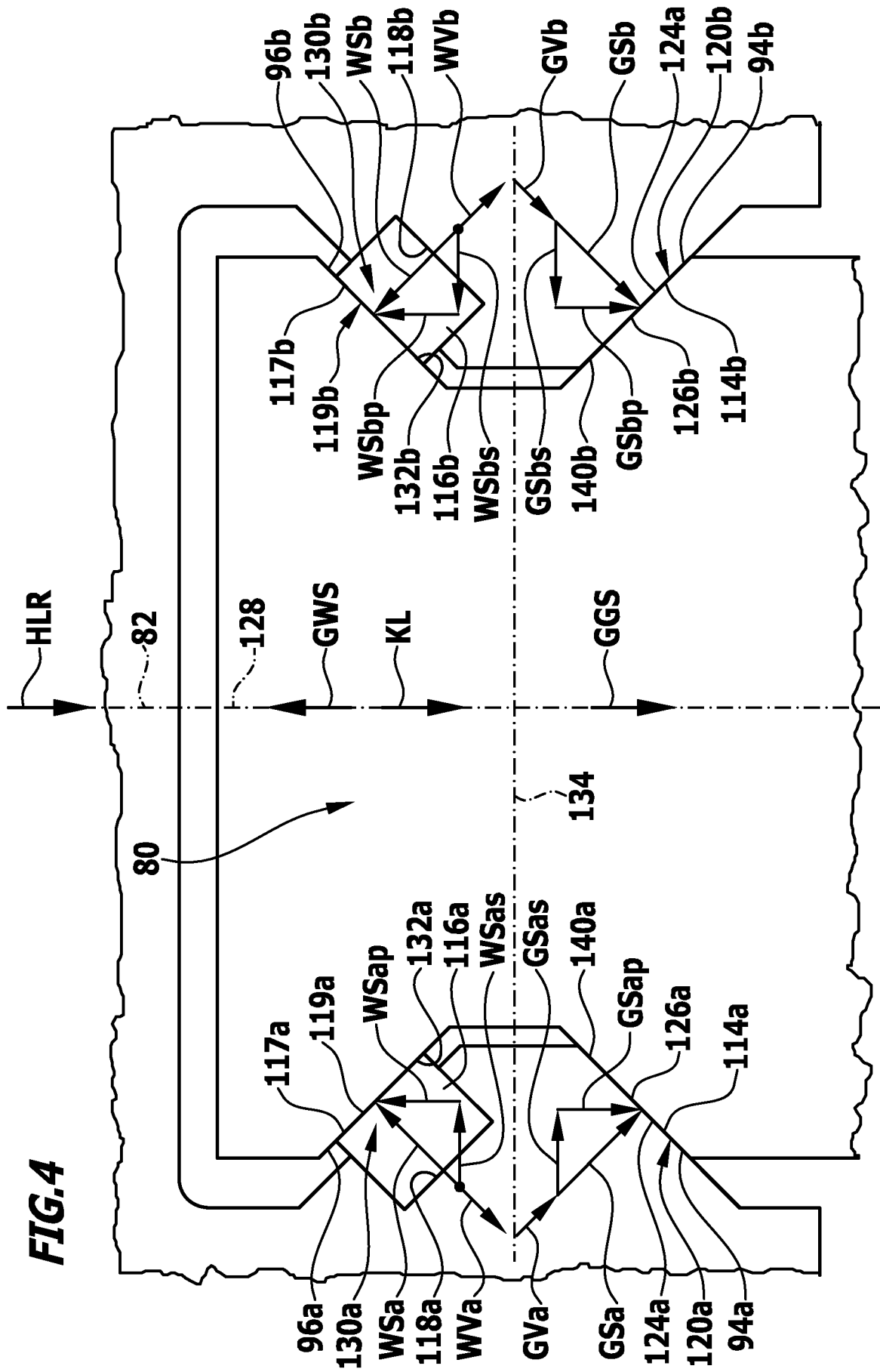
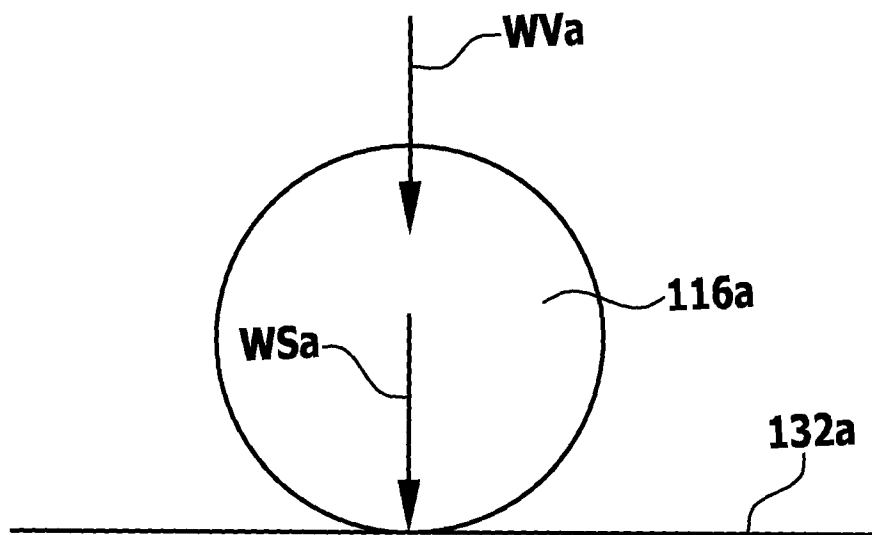


FIG.5

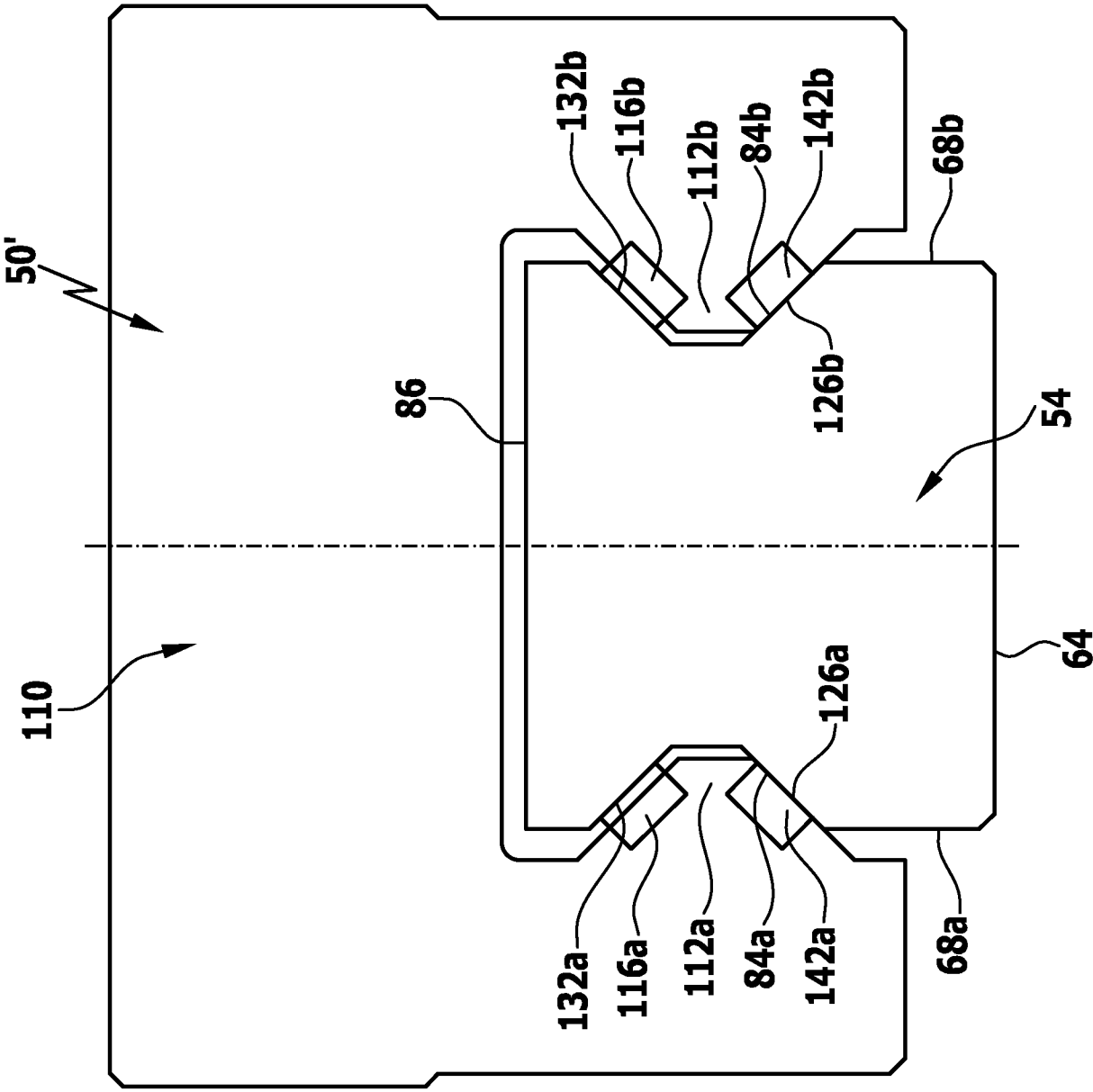
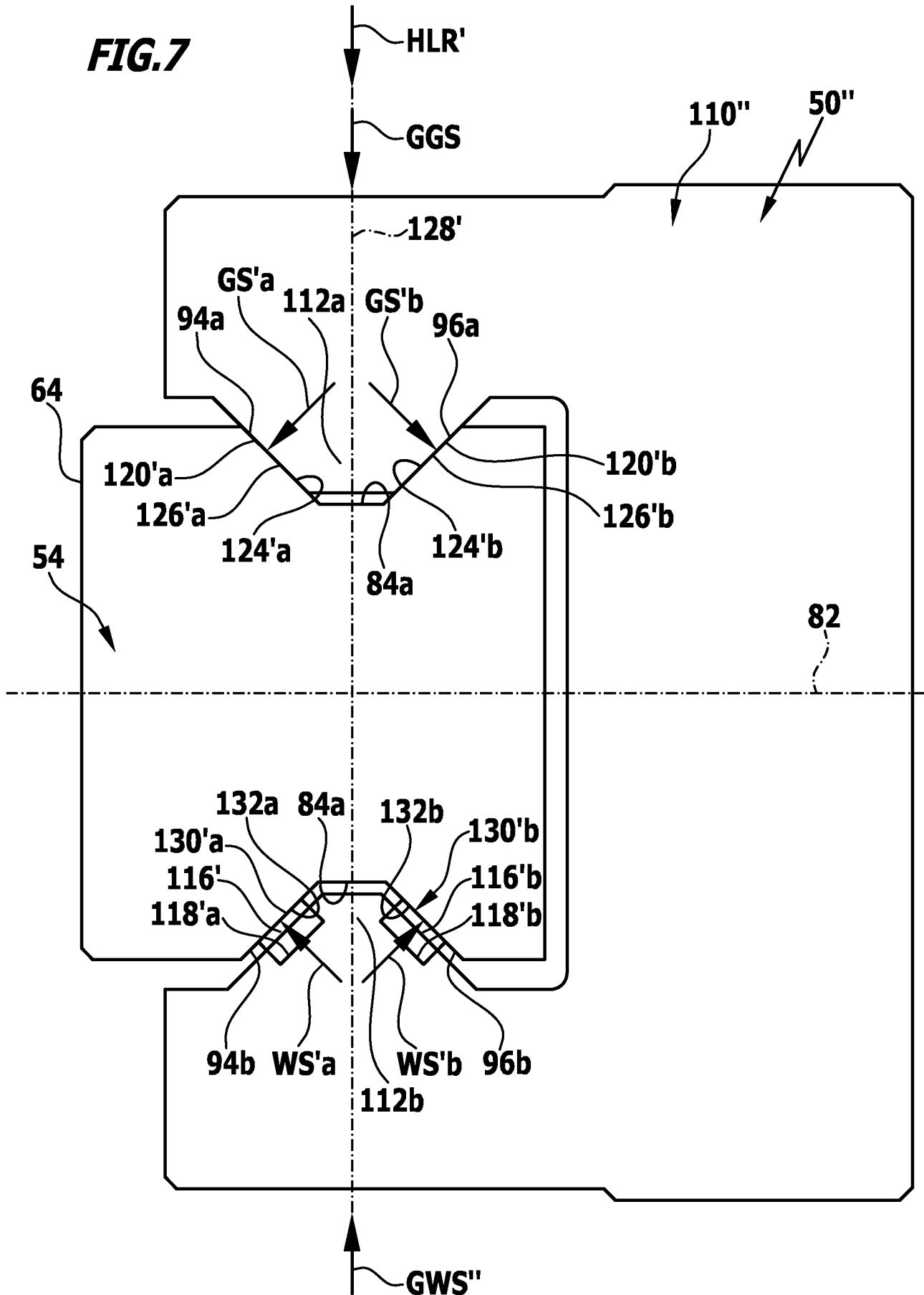


FIG. 6

FIG. 7



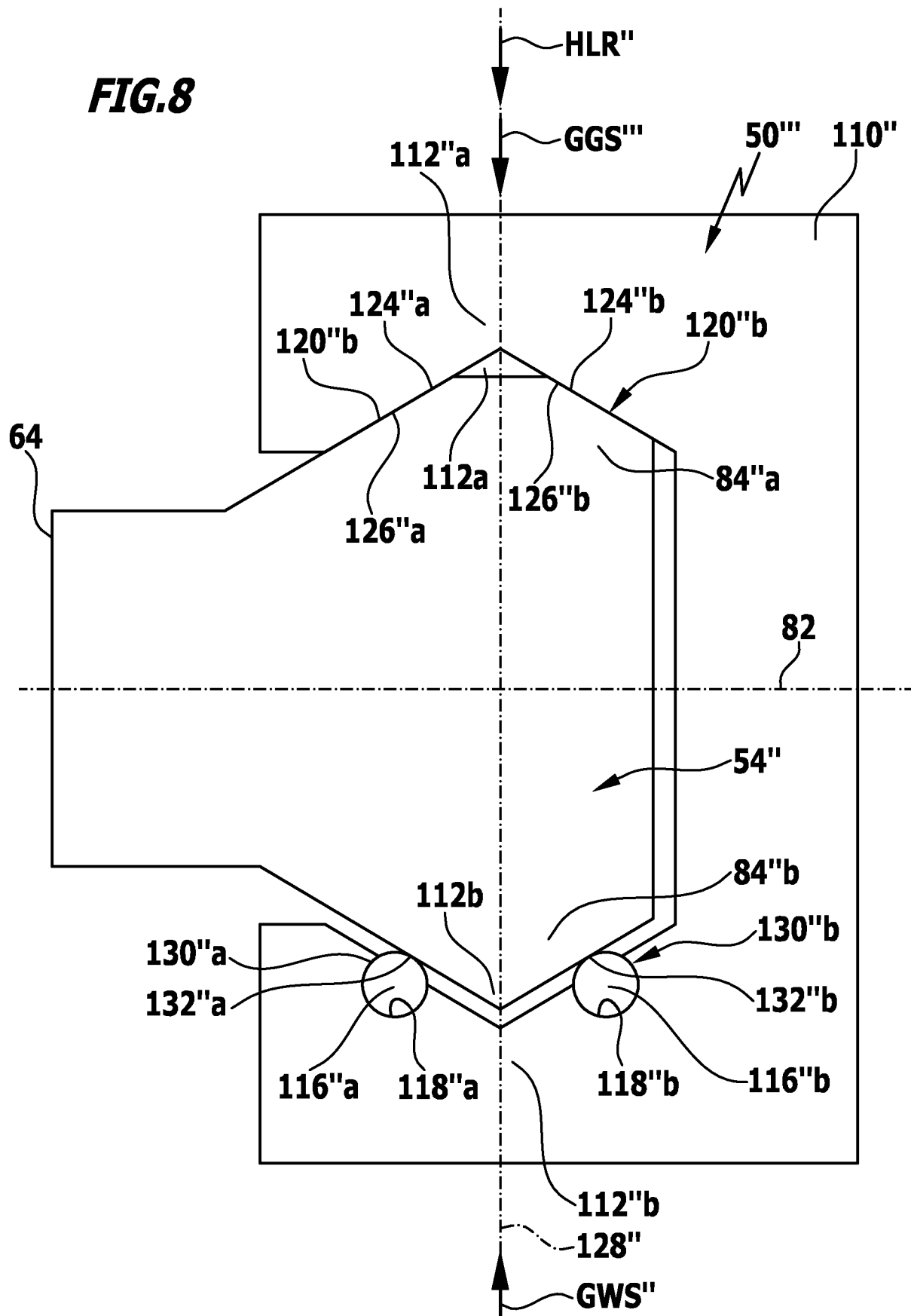


FIG.9

