



(11)

EP 3 001 256 B2

(12) **NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**  
Nach dem Einspruchsverfahren

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:  
**07.02.2024 Patentblatt 2024/06**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**G04B 15/08** (2006.01)      **G04B 15/14** (2006.01)

(45) Hinweis auf die Patenterteilung:  
**09.09.2020 Patentblatt 2020/37**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**G04B 15/08; G04B 15/14**

(21) Anmeldenummer: **14185997.5**

(22) Anmeldetag: **23.09.2014**

(54) **Ankerhemmung**

Anchor escapement

Échappement à ancre

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 1 233 314 EP-A1- 2 236 455  
EP-B1- 0 732 635 EP-B1- 1 622 826  
EP-B1- 1 904 901 EP-B1- 2 107 434  
WO-A1-2004/092049 WO-A1-2009/049591  
CH-A- 357 021 CH-A- 357 021  
CH-A3- 612 308 CH-A3- 6 123 08G  
CH-B5- 567 293 DE-A1- 10 317 889  
DE-A1- 10 317 889 FR-A- 1 485 813  
SU-A1- 47 937 SU-A1- 47 937**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**30.03.2016 Patentblatt 2016/13**

- Eingabe Dritter vom 15.09.2010 mit Anlagen.
- Eingabe Dritter vom 16.08.2012 mit Anlagen zur EP 1 904 901 B1 (D6)
- Internet-Veröffentlichung: Protron Mikrotechnik
- Auszug aus Chronos, Magazin für Uhren, Verlag: Ebner Media Group, Ausgabe 04.2011, Seiten 60 - 68
- Homepage-Auszug "Die Hemmung", abgerufen unter [www.damasko.de](http://www.damasko.de), per "wayback machine" (archive.org), am 29.Dezember 2005 und in der am 12. April 2010
- Auszüge aus dem Originalkatalog "MunichTime10?", Uhren Ausstellung Hotel Bayrischer Hof 05.-07.11.2010

(73) Patentinhaber: **GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH  
89081 Ulm (DE)**

(72) Erfinder:  

- GLUCHE, Peter  
89287 Bellenberg (DE)
- GRETZSCHEL, Ralph  
89231 Neu-Ulm/Offenhausen (DE)

(74) Vertreter: **Pfenning, Meinig & Partner mbB  
Patent- und Rechtsanwälte  
Theresienhöhe 11a  
80339 München (DE)**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Ankerhemmung für einen mechanischen Zeitmesser umfassend einen schwenkbaren Anker mit Ankerpaletten und ein mit einem Drehmoment beaufschlagbaren Ankerrad, das über seinen Außenumfang etwa radial nach außen gerichtete Zähne aufweist. Die vorderen Flanken der Paletten sind dabei so ausgebildet, dass sie bei jedem Kontakt, mit der vorderen Flanke der Zähne des Rades, immer mit der gleichen Kontaktfläche im Eingriff stehen.

**[0002]** Die Hemmung einer Uhr ist diejenige Baugruppe in Räderuhren, die die Verbindung zwischen dem Räderwerk und dem Gangregler herstellt. Sie besteht in der Regel aus dem Ankerrad und dem Hemmstück dem Anker. Der Gangregler bewirkt dabei über das in das Ankerrad eingreifende Hemmstück das periodische Anhalten (Hemmen) des Räderwerks und damit den regelmäßigen Gang der Uhr.

**[0003]** Im Stand der Technik sind dabei verschiedene Hemmungen vorgeschlagen worden. In der Zwischenzeit sind praktisch alle mechanischen Uhren mit dem gleichen Typ ausgerüstet, nämlich mit der sogenannten "Schweizer Ankerhemmung". In einer "Schweizer Ankerhemmung" umfassen die beiden Arme des Ankers je einen Ankerstein (Palette), die meist aus Rubin, Saphir oder Granat bestehen. Diese Ankersteine sind in den beiden Armen des Ankers entweder eingesetzt oder werden bei mikrotechnisch gefertigten Ankern also aus Silizium oder Diamant aus einem Stück zusammen mit dem Anker angefertigt. Die Ankersteine greifen abwechselnd in je einen Zahn des Hemmungsrades und halten es so fest.

**[0004]** Ankerrad und Anker befinden sich dann in Ruhe um sogleich beim Nulldurchgang der Unruh wieder beschleunigt zu werden. Jedes Mal, wenn die Unruh die Nulllage in der einen oder anderen Richtung passiert, greift sie über den sogenannten Hebelstein in die Anker-gabel ein. Dadurch gibt der Anker über seine jeweilige Palette je einen Zahn des Hemmungsrades frei, das damit kurz vorrückt und einen winzigen Energiebruchteil über den Anker an den Hebelstein und damit die Unruh zurückführt. Bei der Kraftübertragung zwischen den Zähnen des Ankerrades und den Paletten des Ankers bewegen sich diese beiden Teile unter Druck gegeneinander. Zu Beginn der Bewegung liegt eine Palette an einer Fläche eines Ankerzahnrades der sogenannten Ruhefläche an. Bei der Bewegung der Palette gegen das Ankerrad tritt eine Reibungskraft auf. Die Reibung zwischen den Paletten und dem Ankerrad kann jedoch die Ganggenauigkeit und die Lebensdauer eines Uhrwerks beeinflussen.

**[0005]** Ein typisches Ankerrad weist ca. 20 Zähne auf die auf dem Umfang äquidistant verteilt sind. Der Anker typischerweise 2 Paletten. Bei jeder Umdrehung des Ankerrades wird jeder Kolbenzahn mit jeder Palette in Kontakt gebracht. Somit erfährt jede Palette des Ankers den n-fachen (mit n=Anzahl der Zähne des Rades) Ver-

schleiß im Vergleich zu einem Kolbenzahn des Ankerrades. So führt insbesondere die Reibung zwischen den Zähnen des Ankerrades und den Paletten des Ankers zu einem Materialabtrag, also zu einem Verschleiß an den Kontaktflächen von Paletten und Ankerrad, wodurch die Ganggenauigkeit reduziert werden kann und die betreffenden Teile von Zeit zu Zeit ersetzt werden müssen. Dies ist auch der Grund weshalb die Paletten aus einem härteren Material, nämlich typischerweise aus Rubin, gefertigt sind.

**[0006]** Die Hemmung setzt etwa 60% der Energie des Uhrwerks um. Vor allem Reibungsverluste als auch das ständige beschleunigen und Abbremsen von Rad und Anker sind für den niedrigen Wirkungsgrad verantwortlich. In der Vergangenheit wurde deshalb versucht das Trägheitsmoment des Rades zu minimieren. Dies wurde einerseits durch einen möglichst hohen Grad der Skeletierung (Entfernen von allen überflüssigen Volumenanteilen), sowie andererseits durch Realisierung eines möglichst dünnen Rades, erreicht (ca. 100 $\mu\text{m}$ ). Als Konsequenz müssen die Ankerpaletten eine gewisse Mindestdicke aufweisen (z.B. 200 $\mu\text{m}$ ), um noch ein sicheres Eingreifen des Rades in die Paletten zu gewährleisten.

**[0007]** Es hat deshalb nicht an Versuchen gefehlt, dieses Problem zu minimieren. So wird in der FR 1485813 vorgeschlagen, die Zähne von Hemmungsrädern abschrägen, um eine Kontaktfläche zwischen den Zähnen und den Ankerpaletten mit einer kleineren Breite zu erzeugen. Ferner wurde in der EP 1 622 826 B1 vorgeschlagen, andere Materialien, wie z.B. Silizium oder Diamant einzusetzen, welche aufgrund von höherer Härte und geringeren Reibkoeffizienten Vorteile gegenüber geschmierten Hemmungen haben sollen. Zur Verschleiß- und Reibungsminimierung werden bei konventionellen Hemmungen mit Stahlankerrad und Rubinpaletten zu dem obligatorisch Öle eingesetzt.

**[0008]** CH 612 308 A3 betrifft eine Schweizer Ankerhemmung, die vereinfacht herstellbar ist, beinhaltend einen einteiligen, dünnen, flachen Hebel von gleicher Dicke über den gesamten Körper, so dass er durch einen Stanzvorgang und einen Biegevorgang für den Anreißer erhalten werden kann. Diese beiden Vorgänge können darüber gleichzeitig mit demselben Werkzeug ausgeführt werden.

**[0009]** Die neuen Werkstoffe, Silizium und Diamant haben aber eine größere Härte als Stahl. Wenn diese Werkstoffe ohne Schmierung als Hemmbauteile eingesetzt werden, resultieren hieraus somit auch technische Probleme. Es zeigt sich nämlich, dass die Bauteile eine sogenannte Einlaufphase aufweisen. Durch den Reibkontakt werden offensichtlich Mikrorauheiten auf der Oberfläche eingeebnnet. Hierdurch reduziert sich der Gleitreibkoeffizient und in Konsequenz steigt die Amplitude der Unruh. Üblicherweise tritt vor dem Anstieg der Amplitude zunächst ein Abfall der Amplitude ein, der durch die Akkumulation von Fremdkörpern (z.B. Abrieb, Staub, organische Partikel, o.ä.), welche ähnlich dem Prinzip eines Schneepfluges aufgrund der bestehenden

Oberflächenrauheit in die Oberfläche eingearbeitet werden und den Reibkoeffizient erhöhen. Um diesen Effekt zu vermeiden, wird im Stand der Technik gem. EP 2 107 434 vorgeschlagen, die Kontaktflächen der Zähne des Zahnrades so klein wie möglich auszustalten. Gleichermaßen gilt für den Abrieb, der ebenfalls auf der Oberfläche eingearbeitet werden kann. Dieser Effekt kann im schlimmsten Fall sogar zum Stillstand der Uhr führen. Um diesen Effekt zu übergehen, werden derartige Bauteile im Stand der Technik aufgrund von phänomenologischen Beobachtungen meist einer Tauchschmierung unterzogen. Der verbleibende, dünne Ölfilm auf der Oberfläche verdampft mit der Zeit und ermöglicht eine nahezu konstante Unruhamplitude während der Einlaufphase. Aus diesem Grund werden beispielsweise Bauteile aus Silizium in einem Benzin/Öl Gemisch vor dem Einbau ins Uhrwerk getaucht.

**[0010]** Aus durchgeföhrten Untersuchungen geht hervor, dass die phänomenologisch beobachtete Einlaufphase ihre Ursache in der Einebnung einer mikroskopisch kleinen Rauheit hat. Da die neuen Materialien, insbesondere Diamant eine deutlich größere Härte als Stahl aufweisen, ist folglich auch eine längere Einlaufphase zu beobachten, da die nach der Bearbeitung verbleibende Mikrorauheit langsamer eingeebnet wird. Im Fall von Diamant ist der Verschleiß sogar so gering, dass selbst bei sehr glatten Oberflächen (z.B. 20nm Rms, quadratische Rauheit, root-mean-squared-roughness) noch eine mehr als 100-tägige Einlaufphase zu beobachten ist. Um diese zu minimieren, kann beispielsweise eine weniger harte Schicht auf die Diamantoberfläche zusätzlich aufgebracht werden (siehe beispielsweise EP 2 236 455), die dafür Sorge trägt, dass die in Kontakt stehenden Reibflächen schneller glatt werden. Trotz Einsatz von solchen Schichten, beträgt die Einlaufphase dann immer noch ca. 40 Tage. Nachteilig ist hierbei, dass sich die Reibeigenschaften über einen längeren Zeitraum ändern und somit ein zuverlässiges und schnelles Reglage (einstellen der richtigen Ganggenauigkeit) der Uhr nicht möglich ist.

**[0011]** Typisch für den Einsatz von neuen Materialien und mikrotechnischer Fertigungsverfahren ist auch, dass die Funktionsflächen der Bauteile (die Seitenflanken) nie vollständig vertikal-bezogen auf die Ober und Unterseite des Bauteils ausgerichtet werden können. Dies liegt an der aus der Halbleiterindustrie adaptierten Fertigungstechnik, bei der aus einer Platte (sog. Wafer) mittels Photolithographie und Trockenätzverfahren die Bauteile aus der Platte herausgeätzt werden. In Konsequenz können die Seitenflanken von Anker (insbesondere die Paletten) und Ankerrad (insbesondere die Kontaktflächen der Kolbenzähne) entweder planparallel oder entgegengesetzt angeordnet werden. Im 2. Fall ergibt sich aus dem typischen Aufbau der Hemmung mit dünnem Rad und dicker Ankerpalette, dass immer das Rad eine definierte Kontaktfläche aufweist, wie es auch in der EP 2 107 434 B1 beschrieben ist. Unter definierter Kontaktfläche wird hier eine Kontaktfläche verstanden, die bei jeder Berührung

der Bauteile im Kontakt steht. Diese ist aufgrund der nichtvertikalen Anordnung im Fall von Diamant sehr klein und weist die Form einer 2-4 $\mu\text{m}$  breiten Rechteckes auf. Diese Fläche wird auch geometrische Kontaktfläche  $A_0$  genannt. Diese "Kontaktlinie" greift etwa mittig in die Ankerpalette. Je nach Lage des Uhrwerks, bedingt durch das Lagerspiel der einzelnen Bauteile, verändert sich die relative Position von Anker und Rad, so dass sich auch die Kontaktfläche des Ankers relativ zum Rad verschiebt. Üblicherweise ist deshalb eine 30-50 $\mu\text{m}$  breite Verschleißzone auf dem Anker im Rasterelektronenmikroskop sichtbar. Die Kontaktzone des Rades hingegen, ist aufgrund der nichtvertikalen Anordnung unabhängig von der relativen Lage von Rad und Anker somit definitionsgemäß "definiert" und steht unabhängig von der relativen Lage der Uhrwerkskomponenten zueinander immer in Kontakt. Bei allen klassischen Hemmungen hat somit immer die Ankerpalette die Einlaufphase dominiert, sodass diese deshalb aus dem härteren Werkstoff Rubin gefertigt wurde.

**[0012]** Ferner zeigte sich bei den Untersuchungen, dass die Einlaufphase durch die Kontaktflächen und deren Beschaffenheit dominiert wird. Betrachtet man die definierte, in Form eines Rechtecks ausgeprägte Kontaktfläche eines Kolbenzähnes, so stellt man fest, dass nur ein Bruchteil der geometrischen Kontaktfläche  $A_0$  tatsächlich mit dem Gegenstück in Reibkontakt steht. Dies liegt an der mikroskopisch vorhanden nanoskaligen Oberflächenrauheit. Untersucht man den sogenannten Tragflächenanteil  $T$  der definierten Kontaktfläche, d.h. das Verhältnis von tatsächlich in Kontakt stehender Fläche  $A_R$  bezogen auf die geometrische Kontaktfläche  $A_0$  so lassen sich zu Beginn der Einlaufphase Werte von  $T=10\%-30\%$  und bei abgeschlossener Einlaufphase von mehr als 50% beobachten. Da nach Abschluss der Einlaufphase keine weitere Veränderung (Verschleiß, Abtrag) der Kontaktflächen beobachtet werden konnte, deutet viel darauf hin, dass sich ab diesem Zeitpunkt ein Tribofilm auf der Diamantoberfläche ausbilden kann, auf den die Reduktion des Gleitreibkoeffizienten und damit der Amplitudenanstieg der Uhr zurückzuführen ist.

**[0013]** Um eine möglichst kurze Einlaufphase zu erhalten, muss deshalb möglichst rasch ein Tragflächenanteil der definierten Kontaktfläche von mehr als 50% hergestellt werden. Dies kann einerseits über den Fertigungsprozess durch eine Reduktion der Oberflächenrauheit erreicht werden, oder eben durch eine Erhöhung des Verschleißes der definierten Kontaktfläche.

**[0014]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, eine Ankerhemmung vorzuschlagen, die in Bezug auf die Reibung und Verschleiß zwischen den Zähnen des Zahnrades und den Paletten des Ankers gegenüber dem Stand der Technik deutlich verbessert ist, so dass die Ganggenauigkeit und die Lebensdauer eines Räderwerks einer Uhr verbessert werden kann und gleichzeitig auf lange Einlaufphasen im schmierungsfreien Lauf verzichtet werden kann.

**[0015]** Die Aufgabe wird durch die gekennzeichneten

Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Die Unteransprüche zeigen vorteilhafte Weiterbildungen auf.

[0016] Erfindungsgemäß werden somit nun die definierten geometrischen Kontaktflächen  $A_0$  durch eine veränderte geometrische Anordnung vertauscht, mit dem Ziel, die Kontaktfläche der Ankerpaletten zu fixieren (somit definierte Kontaktfläche) und die des Rades variabel zu halten. Grund für diese Anordnung ist, den Verschleiß des Ankers, entgegen aller bisherigen Lehren, zu beschleunigen, um die Dauer Einlaufphase zu reduzieren. Besitzt der Anker die definierte geometrische Kontaktfläche  $A_0$ , so muss diese Fläche zwangsläufig den n-fachen Verschleiß erfahren (mit n= Anzahl der Kolbenzähne des Rades). Erstaunlicherweise stellt sich exakt dieser Effekt ein und die Einlaufphase im Fall von Diamant verschwindet nahezu vollständig.

[0017] Die industrielle Umsetzung einer solchen invertierten Anordnung muss auch einen sicheren Eingriff von Rad und Anker ermöglichen. In Konsequenz muss das Rad, zumindest aber die Dicke des Kolbenzahnes deutlich dicker als die der Ankerpalette ausgeführt werden. Hieraus resultiert wiederum, dass das Rad ein größeres Trägheitsmoment aufweist und damit der Wirkungsgrad der Hemmung sinkt. Vorteilhaft wirkt sich hier der Einsatz der neuen Materialien aus (Si, Diamant), die einerseits eine deutlich geringere Dichte als Stahl aufweisen und andererseits, im Fall von Diamant, ein sehr hohes Elastizitätsmodul (700 GPa-1100 GPa) bei gleichzeitig hoher Biegebruchspannung (1 GPa-10GPa) aufweisen. Letztere Parameter erlauben nämlich die Komponenten noch stärker zu skelettieren, das Trägheitsmoment dadurch zu verringern und damit den Wirkungsgrad der Hemmung wieder zu erhöhen. Die neuen Materialien haben aber eine deutlich geringere Dichte als metallische Werkstoffe und durch die neuen Bearbeitungsverfahren kann ein höherer Grad der Skelettierung erreicht werden. Bevorzugt beträgt die Dichte weniger als 4,5 g/cm<sup>3</sup>, besonders bevorzugt von 1-4 g/cm<sup>3</sup>. Ferner kann das Rad in einer sogenannten mehr Niveau Technik ausgeführt werden, wobei zunächst aus einer dickeren Platte (sogenannter Wafer) mittels Photolithographie und reaktivem Ionenätzen z.B. die Außenkontur des Ankerrades herausgeätzt wird. Vorteilhaft ist hierbei, dass das Rad noch mit kleinen Stegen im verbleibenden Wafer gehalten wird, um nicht jedes Bauteil einzeln manipulieren zu müssen. In einem weiteren Schritt wird über einen weiteren Photolithographieschritt, welcher genau zum ersten Ätzschritt positioniert bzw. justiert wird, der innere Bereich des Zahnrades abgedünnt. Hierbei kann der zweite Schritt auch von der Rückseite des Wafers aus erfolgen. Ggf. kann dieser Schritt auch vor dem Freilegen der Außenkontur des Ankerrades erfolgen. Beispiele für diese Technologie können u.a. aus [www.Sigatec.ch](http://www.Sigatec.ch) entnommen werden.

[0018] Alle bisherigen Ansätze in der Uhrmacherei verfolgten grundsätzlich den Ansatz den Verschleiß zu minimieren sowie das Trägheitsmoment der Komponenten so klein wie möglich zu halten. Deshalb wurde das An-

kerrad immer so dünn wie möglich ausgeführt. Überraschenderweise wurde nun festgestellt, dass es im Fall von harten Werkstoffen wie Diamant oder Silizium vorteilhafter ist, den Verschleiß gezielt zu stimulieren. Erfindungsgemäß wird somit vorgeschlagen, die Anordnung der Hemmung derart zu invertieren, dass der Anker die sogenannte definierte geometrische Kontaktfläche  $A_0$  aufweist. Durch den Einsatz von Werkstoffen mit geringer Dichte und hoher mechanischer Festigkeit, kann nun das Ankerrad (oder zumindest die Kolbenzähne des Ankerrades) dicker ausgeführt werden als die Paletten des Ankers.

[0019] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass die Dicke der Paletten 50 bis 180 µm und die Dicke der Zähne des Zahnrades 100 bis 500 µm betragen, wobei es vorteilhaft ist, die Dicke der Paletten kleiner ist als die Dicke der Zähne auszuführen. Erfindungsgemäß wird unter der Dicke jeweils der vertikale Abstand der Oberseite zur Unterseite des Zahnes bzw. der Palette verstanden.

[0020] Erfindungsgemäß ist, wie vorstehend dargestellt, die Flanke der Paletten so ausgebildet, dass bei jedem Kontakt mit der vorderen Flanke der Zähne des Rades immer die vordere Flanke der Paletten mit der gleichen geometrischen Kontaktfläche  $A_0$  im Eingriff steht. Erfindungsgemäß sind dazu die vorderen Flanken der Paletten und die vorderen Flanken der Zähne, die eine Nicht-Vertikalität aufweisen, so zueinander angeordnet, dass eine symmetrische Nicht-Vertikalität (Freiwinkel  $\alpha$ ) von mindestens 0,5°, bevorzugt 1°, besonders bevorzugt 2° entsteht. Typisch sind dabei etwa 1° je Bauteilflanke. Es ist dabei auch nicht erforderlich, dass die jeweiligen Bauteile die gleiche Abweichung aus der Idealen aufweisen.

[0021] Bei einer derartigen erfindungsgemäßen Anordnung entstehen nun bei Betrieb der Hemmung, in Richtung der Relativbewegung, in den vorderen Flanken der Zähne, die schon vorstehend genannten definierten geometrischen Kontaktflächen  $A_0$  in Form eines Bandes, die eine Breite von 0,5 bis 5 µm besitzen.

[0022] Diese geometrischen Kontaktflächen  $A_0$  entstehen offensichtlich durch den Abrieb der rauen Bauteiloberflächen gegeneinander. Es hat sich nun gezeigt, dass neben der geometrischen Kontaktfläche  $A_0$  beim Einlaufen der Hemmung sich dann noch eine weitere, und zwar eine polierte oder an polierte reale Kontaktfläche  $A_R$  ausbildet, die nur eine Teilfläche der geometrischen Kontaktfläche  $A_0$  ist. Es hat sich gezeigt, dass das Verhältnis der realen Kontaktfläche  $A_R$  zur geometrischen Kontaktfläche  $A_0$  zwischen 20 und 90% liegt.

[0023] Bezuglich der geometrischen Anordnung der Flanken der Paletten ist es bevorzugt, wenn die vordere Flanke der Palette dachförmig mit einem mittigen Grat oder zylindrisch mit einer nach außen gewölbten Fläche (bombiert) ausgebildet ist.

[0024] Erfindungsgemäß besteht eine weitere Ausführungsform darin, dass die vordere Flanke der Paletten in einer nicht-vertikalen Anordnung in Bezug zur Oberseite

bzw. Unterseite der Palette ausgebildet ist. Für diesen Fall kann die vordere Flanke der Paletten als glatte ebene Fläche ausgebildet sein, die um maximal  $t\ 3^\circ$ , bevorzugt  $\pm 1^\circ$ , besonders bevorzugt um weniger als  $\pm 0,5^\circ$  von der Senkrechten in Bezug zur Oberfläche der Paletten abweicht.

**[0025]** Die Erfindung umfasst aber auch alle weiteren Ausführungsformen, bei denen die vordere Flanke der Paletten eine derartige Ausbildung hat, dass eine definierte geometrische Kontaktfläche  $A_0$  in der vorderen Flanke der Zähne des Rades entsteht.

**[0026]** Bei einer alternativen Ankerhemmung, die nicht Teil der Erfindung ist, werden die Paletten gegen die Kontaktfläche des Ankerzahnrades schräg gestellt, so dass nicht die ebenfalls seitliche Endfläche des Ankerzahnrades sondern nur die obere Kante des Zahnes an der Palette anliegt und quer zur Richtung der Kante über diese Fläche gleitet.

**[0027]** Bevorzugt ist es weiterhin, wenn auch das Ankerrad aus Silizium gefertigt ist und mindestens die Kontaktbereiche der Zähne des Zahnrades ebenfalls analog der Paletten eine Hartstoffbeschichtung, vorzugsweise aus Diamant aufweisen.

**[0028]** Im bevorzugten Falle sind somit sowohl die Ankerpaletten wie auch das Zahnrad und die radial nach außen gerichteten Zähne aus Silizium gefertigt und weisen eine Hartstoffbeschichtung auf.

**[0029]** Die Hartstoffbeschichtung der Zähne und der Paletten besitzt dabei eine Schichtdicke von 1 bis 100  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 5 bis 50  $\mu\text{m}$  und ist ausgewählt aus Siliziumdioxid, nicht stöchiometrischen Oxiden mit der Formel  $\text{Si}_x\text{O}_y$ , wobei x und y ganze Zahlen sind, aus Siliziumoxynitriden oder aus Siliziumcarbiden, Siliziumnitrid und/oder Diamant. Im Fall von Siliziumbauteilen können die Kontaktflächen auch einfach thermisch oxydiert werden (z.B. gem. EP 1 904 901).

**[0030]** Bevorzugt ist es dabei, wenn die Hartstoffbeschichtung eine Beschichtung aus nanokristallinem Diamant ist. Insbesondere diejenigen Ausführungsformen, bei denen sowohl das Zahnrad wie auch die Paletten eine Hartstoffbeschichtung aus nanokristallinem Diamant besitzt, sind bevorzugt. Bevorzugt sind dabei Beschichtungen, die 96 bis 97%  $\text{sp}^3$  gebundenen Kohlenstoff bei einer Korngröße von 9 nm aufweisen.

**[0031]** Es hat sich weiterhin gezeigt, dass es günstig ist, wenn die nanokristalline Diamantschicht eine Oberflächenrauheit von 3 bis 100 nm Rms, bevorzugt 1 bis 30 nm Rms, besonders bevorzugt 1-7nm Rms aufweist. Unter der Rauheit Rms wird die quadratische Rauheit, die dem quadratischen Mittel entspricht, verstanden. Eine nanokristalline Diamantschicht mit einer derart geringen Oberflächenrauigkeit benötigt entsprechend weniger Einlaufweg/Anlaufzeit, was zu einer kürzeren Einlaufphase führt, um einen minimalen und konstanten Reibungskoeffizienten zu erreichen.

**[0032]** Bevorzugt ist es weiterhin, wenn die kristallinen Domänen der nanokristallinen Diamantschicht eine mittlere Korngröße  $d_{50}$  von 0,5 nm bis 50 nm, bevorzugt von

1 nm bis 20 nm, besonders bevorzugt von 1 nm bis 10nm aufweisen. Der Vorteil einer derartigen Ausführungsform besteht darin, dass eine möglichst homogene und einheitliche nanokristalline Diamantschicht mit einer wie vorstehend beschrieben, sehr kleinen Korngröße entsteht. Durch kleinere Körner erhöht sich zwangsläufig das Korngrenzenvolumen. Sind die Körner klein im Verhältnis zur Oberflächenrauheit, kann die Einlaufphase zudem beschleunigt werden. Die Zusammenhänge sind

5 in Figur 7 dargestellt. Bevorzugt ist dabei ein Korngrenzvolumen von 0 bis 50%, bevorzugt von 10 bis 30%. Denn das Heraustrennen eines einzelnen Kornes aus dem Verbund ist einfacher, als das Glattschleifen eines großen Kornes. Deshalb ist es vorteilhaft wenn die kristallinen Domänen kleiner als  $0,5xR_t$ , bevorzugt  $0,2xR_t$ , besonders bevorzugt  $0,1xR_t$  der verbleibenden Oberflächenrauheit betragen. Bei der Rauheit  $R_t$  ist allerdings in diesem Fall die absolute Oberflächenrauheit  $R_t$  (Rautiefe), gemessen als peak-to-valley Wert, anzusetzen.  $R_t$  berechnet sich aus der Differenz der maximalen Peakhöhe  $R_p$  zur maximalen Peaktiefe  $R_v$ .

**[0033]** Da sowohl reines Silizium als auch Diamant elektrische Isolatoren sind, wird ferner vorgeschlagen beide Werkstoffe elektrisch zu dotieren, so dass sie zumindest eine geringe elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Hierdurch können elektrostatische Aufladungseffekte vermieden werden. Die Dotierverfahren von Silizium sind hinreichend in der Literatur beschrieben. Bei Diamant wird vorgeschlagen entweder auf die Dotierung mit Bor oder mit Stickstoff bzw. Ammoniak zurückzugreifen. (N. Wiora et al., Synthesis and Characterization of n-type Nitrogenated, Nanocrystalline Diamond Micron Materials and Nanomaterials, 15:96-98). Ferner wird vorgeschlagen, dass im Falle von isolierenden Werkstoffen die Reibpartner aus dem gleichen Werkstoff bestehen, somit die gleiche Austrittsarbeit aufweisen. Hierdurch kann eine elektrostatische Aufladung aufgrund des bloßen Reibkontakts weitestgehend ausgeschlossen werden.

**[0034]** Die Erfindung wird nachfolgend lediglich bei spihaft anhand mehrerer Figuren näher beschrieben.

Figur 1 zeigt schematisch die Draufsicht auf eine Schweizer Ankerhemmung in den beiden Ruhelagen.

Figur 2 zeigt den dynamischen Impulsionsvorgang einer Schweizer Ankerhemmung wie in Figur 1 dargestellt.

Figur 3 zeigt nun in vergrößerter Darstellung das Verhalten der Kontaktflächen einer Schweizer Ankerhemmung des Standes der Technik während des Impulsionsvorgangs.

Figur 4 zeigt eine entsprechende schematische Darstellung bei einer Lageveränderung der Uhr.

Figur 5 zeigt nun eine erfindungsgemäße Konfigu-

ration der Kontaktflächen wie sie sich während des Impulsionsvorgangs bei der Erfindung darstellen.

Figur 6 zeigt die erfindungsgemäße Ausführungsform in vergrößerter Darstellung bei einer Lagerveränderung der Uhr.

Figur 7 zeigt eine grafische Darstellung, wie sich die Korngröße zum Korngrenzvolumen verhält.

Figur 8 zeigt Rasterelektronenmikroskopaufnahmen eines Kolbenzahns nach 9 Tagen ununterbrochenen Lauf der Hemmung.

Figur 9 zeigt die geometrische Kontaktfläche  $A_0$  in vergrößerter Darstellung sowie die reale Kontaktfläche  $A_R$ .

Figur 10 zeigt experimentell ermittelte Amplituden und Gangwerte eines ETA-Kalibertyps 2892A2 bestückt mit einer konventionellen diamantbeschichteten Hemmung.

Figur 11 zeigt nun zum Vergleich ebenfalls die experimentell ermittelten Amplituden und Gangwerte eines ETA-Kalibertyps 2892A2 bestückt mit einer erfindungsgemäßen diamantbeschichteten Hemmung.

Figuren 12 bis 14 zeigen weitere erfindungsgemäße Ausführungsformen in schematischer Darstellung, wie sie sich während des Impulsionsvorganges bei der Erfindung darstellen.

**[0035]** Figur 1 zeigt nun in der Draufsicht eine Schweizer Ankerhemmung. Die Figur 1A zeigt dabei den Zustand des Ankers 1 und des Rades 4 beim Start und die Figur 1B nach dem Nulldurchgang der Unruhe.

**[0036]** Wie aus der Figur 1A zu entnehmen ist, weist das Ankerrad 4 im hier dargestellten Fall 20 Kolbenzähne 5 auf. Der Anker 1 besitzt eine Eingangspalette 2 und eine Ausgangspalette 2', welche abwechselnd mit den Kolbenzähnen 5 des Rades 4 im Eingriff stehen. Die Figuren 1A und 1B zeigen dabei jeweils die Ruhezustände. In Figur 1B ist auch die neue Position des Kolbenzahnes 5 dargestellt. Der Stopper 20 dient dem Anker 4 als Anschlag. Alternativ kann auch auf einen derartigen Anschlag verzichtet werden und zwar durch das Einbringen eines Absatzes in den Ankerpaletten. Eine derartige Ausführungsform ist zum Beispiel in der Schweizer Patentschrift CH 5 67293, hier insbesondere die Figuren 5 und 6, beschrieben. Wesentlich ist nun, dass bei einer Schweizer Ankerhemmung des Standes der Technik bei jeder Umdrehung des Rades 4 alle 20 Kolbenzähne 5 des Rades 4 jeweils einmal sowohl mit der Eingangspalette 2 als auch mit der Ausgangspalette 2' wechseln. In der Figur 1 ist die Drehrichtung jeweils durch den Pfeil angezeigt.

**[0037]** Figur 2 zeigt nun die in der Figur 1 näher beschriebene Schweizer Ankerhemmung, hier während des in dynamischen Impulsionsvorgang (Wechselwirkung zwischen Kolbenzahn 5 und Ankerpalette 2 bzw. 2'). In der vergrößerten Darstellung (Detail A) sind die wesentlichen Bereiche vergrößert dargestellt. Der Kolbenzahn 5 des Rades 4 hat bereits die Ruhefläche 22 verlassen und befindet sich auf der Hebefläche 23 der Eingangspalette 2. Durch das anliegende Drehmoment des Räderwerks gleitet nun der Kolbenzahn 5 über die Hebefläche 23 der Eingangspalette 2 und drückt dabei die Ankerpalette 2 zurück. Zum besseren Verständnis des Ablaufes wird auf Figur 3 verwiesen. Mit 21 ist dabei die Position gezeigt, mit der die Palette 2 mit dem Anker 5 im Eingriff steht.

**[0038]** Figur 3 zeigt nun in vergrößerter Darstellung, wie sich die Kontaktflächen zueinander verhalten. Um sicherzustellen, dass die Kolbenzähne 5 des Ankerrades 4 sicher in die Paletten 2, 2' des Ankers 1 eingreifen, werden die Paletten 2, 2' des Ankers 1 dicker ausgeführt als die Kolbenzähne 5 des Rades. Dies ist insbesondere aus dem Schnitt A-A zu entnehmen. Zum besseren Verständnis des Ablaufes des Impulsionsvorganges bei einer Schweizer Ankerhemmung des Standes der Technik ist im Detail B näher dargestellt, mit 25 ist wieder die Stelle gezeigt, bei der die Palette 2 mit dem Zahn 5 im Eingriff steht. Durch den Herstellungsprozess bedingt weisen die Flanken 12 des Zahnes 5 sowie die Flanken 8 der Paletten 2 der Bauteile nie einen Winkel von  $90^\circ$  zur Oberfläche auf (sogenannte Nicht-Vertikalität). Als Konsequenz können die Bauteile somit so eingebaut werden, dass die Funktionsflächen planparallel zueinander stehen. Üblicherweise werden die Bauteile nun so montiert, dass die Flanken gegeneinander ausgerichtet sind, so dass sich ein Freiwinkel  $\alpha$  ergibt. Im hier dargestellten Fall, wurde eine symmetrische Nicht-Vertikalität von jeweils  $2^\circ$  angenommen. Typisch sind etwa  $1^\circ$  je Bauteilflanke. Hierbei ist es nun nicht notwendig, dass die Funktionsflächen von Rad 4 und Anker 1 die gleiche Abweichung aus der Idealen aufweisen müssen.

**[0039]** Figur 4 zeigt nun noch das Verhalten der Bauteile zueinander bei einer Lagerveränderung der Uhr. In Figur 4 ist im linken Teil bei Schnitt A-A und Detail C die Ausgangslage dargestellt, wie sie vorher schon bei Figur 3 näher beschrieben worden ist. Wenn nun eine Lageänderung der Uhr eintritt, so verändert sich auch das Lagerspiel, d.h. die relative Lage der Bauteile zueinander. Hierdurch kommt es zu einer Verschiebung  $\Delta h$  zwischen dem Kolbenzahn 5 und der Eingangspalette 2, wie es im Detail B in der rechten Hälfte der Figur 4 dargestellt ist. Wichtig ist dabei, dass der Kolbenzahn 5 des Rades 4 bedingt durch den Freiwinkel  $\alpha$  nun an der Stelle 25 im Eingriff steht, aber immer noch auf der gleichen Kontaktfläche  $A_0$  arbeitet. Die Kontaktstelle 25 der Hebefläche 23 der Eingangsseite 2 hingegen, ist nun um den Betrag  $\Delta h$  verschoben.

**[0040]** Figur 5 zeigt nun eine erfindungsgemäße Ausführungsform. Analog zur vorstehend beschriebenen

Ausführungsform des Standes der Technik weisen wiederum bedingt durch den Herstellungsprozess die Flanken 12 des Kolbenzahnes 5 wie auch die Flanke 8 der Palette 2 eine Nicht-Vertikalität auf. Auch bei der erfindungsgemäßen Lösung werden die Bauteile so montiert, dass die Flanken 8, 12 gegeneinander ausgerichtet sind, so dass sich analog zu den Figuren 3 und 4 ein Freiwinkel  $\alpha$  ergibt. Dies ist wiederum in Figur 5 im Detail B dargestellt. Bei der Ausführungsform nach der Figur 5 wurde wiederum eine symmetrische Nicht-Vertikalität von jeweils  $2^\circ$  angenommen. Auch bei der Erfindung sind etwa  $1^\circ$  je Bauteilflanke 8 bzw. 12 bevorzugt. Hierbei ist es ebenfalls nicht notwendig, dass die Funktionsflächen von Rad 4 und Anker 1 die gleiche Abweichung aus der idealen aufweisen müssen. Abweichend zum Stand der Technik ist aber nun, dass der Kolbenzahn 5 des Rades dicker ausgeführt wurde als die Dicke der Paletten 2 des Ankers 4. Somit wird auch wieder ein sicheres Eingreifen der Kolbenzähne 5 in die Ankerpalette 2 sichergestellt. Mit 30 ist wieder die Kontaktstelle bezeichnet. Die nun durch die erfindungsgemäße Anordnung bedingte verbesserte Funktion ergibt sich aus Figur 6.

**[0041]** Figur 6 zeigt die Schnittdarstellung aus Figur 5 nun bei Eintritt einer Lagerveränderung der Uhr. Diese tritt wieder ein, wenn die Uhr beispielsweise gedreht wird. Durch das Lagerspiel ändert sich die relative Lage der Bauteile zueinander. Hierdurch kommt es auch zu einer Verschiebung  $\Delta h$  der Kontaktstellen 30 zwischen Kolbenzahn 5 und Eingangspalette 2. Erfindungswesentlich ist nun, dass die Hebelfläche der Palette 2 bedingt durch den Freiwinkel  $\alpha$  nun immer noch auf der gleichen geometrischen Kontaktfläche  $A_0$  arbeitet (definierte Kontaktflächen). Die Kontaktstelle 30 des Kolbenzahnes 5 des Ankerrades 4 hingegen ist um den Betrag  $\Delta h$  verschoben.

**[0042]** Entscheidend ist nun, dass im Vergleich zum Stand der Technik die definierte Kontaktfläche der Ankerpalette durch diese Anordnung den n-fachen Verschleiß erfährt, so dass diese schneller einlaufen kann. Durch die erfindungsgemäße inverse Anordnung wird somit ein deutlich verbessertes Einlaufverhalten der Bauteile erreicht, so dass die Uhr zu einem früheren Zeitpunkt bereits betriebsbereit ist.

**[0043]** Figur 7 zeigt nun wie sich das Korngrenzvolumen zur Korngröße verhält. Wie aus Figur 7 hervorgeht, wird durch kleinere Körner zwangsläufig ein erhöhtes Korngrenzvolumen erreicht. Bevorzugt ist ein Korngrenzvolumen von 0 bis 50%, bevorzugt von 10 bis 30%.

**[0044]** Figur 8 zeigt in vergrößerter Darstellung (Figur 8a) einen Kolbenzahn 5 und in Figur 8b den in Figur 8a gekennzeichnet vergrößerten Abschnitt

**[0045]** Die Darstellung in Figur 8b zeigt einen erfindungsgemäßen Kolbenzahn 5 nach 9 Tagen ununterbrochener Lauf der Hemmung. Die geometrische Kontaktfläche  $A_0$ , die durch den dunklen Teil dargestellt wird, kann eine Breite von 0,5 bis 20  $\mu\text{m}$ , bevorzugt von 1 bis 10  $\mu\text{m}$ , ganz besonders bevorzugt von 1 bis 5  $\mu\text{m}$  aufweisen. Die reale Kontaktfläche  $A_R$  (heller Streifen) ist

aufgrund der Nicht-Vertikalität des Bauteils auf den äußersten oberen Teil des Bauteils beschränkt. Unter 25.000facher Vergrößerung wird erkennbar, dass die geometrische Kontaktfläche  $A_0$  im Beispieldfall lediglich etwa 1,5 bis 2  $\mu\text{m}$  breit ist. Die die geometrische Kontaktfläche  $A_0$  umsäumende dunkle Farbe resultiert durch den Abrieb der ursprünglich noch mikroskopisch rauen Bauteiloberfläche. Der helle Bereich wurde durch die Funktion des Bauteils poliert und befindet sich tatsächlich in Kontakt mit den Paletten (2,2'). Dies wird erfindungsgemäß als reale Kontaktfläche  $A_R$  bezeichnet. Durch den Helligkeitsunterschied ist es möglich, die geometrische und reale Kontaktfläche zu ermitteln und den Quotienten zu bilden.

**[0046]** Dies wird unter anderem auch in Figur 9 dargestellt, bei der ebenfalls wieder in Figur 9a die geometrische Kontaktfläche  $A_0$  und in Figur 9b die reale Kontaktfläche  $A_R$  dargestellt ist. Bildet man nun das Verhältnis  $A_R$  zu  $A_0$ , so ergibt sich im vorliegenden Fall 74,6%. Während der Einlaufphase vergrößert sich die reale Kontaktfläche so lange bis typischerweise ein Tragflächenanteil  $T$  von mehr als 50% erreicht ist. Ähnliche Auswertungen wurden auch mit einem weiteren Kaliber vom Typ ETA 2824A2 (ebenfalls Pointage 20.3, also gleiche Hemmabauteile) welches allerdings mit einem deutlich höheren Drehmoment arbeitet. Hieraus resultiert auch eine deutlich höhere Flächenpressung. Auch hier wurde festgestellt, dass ein Tragflächenanteil von mindestens 50% für den Abschluss der Einlaufphase notwendig ist.

**[0047]** In Figur 10 sind nun experimentell ermittelte Amplituden und Gangwerte eines ETA-Kalibertyps 2892A2 bestückt mit einer konventionellen diamantbeschichteten Hemmung mit sp<sup>2</sup>-haltiger Abschlusschicht gemäß dem Europäischen Patent EP 2 236 455 B2 dargestellt. Diese Hemmung ist schmierungsfrei.

**[0048]** Die Amplitudenwerte (Fig. 10a) werden mittels einer Zeitwaage Typ Witschi M1 (akustisch) gemessen und optisch kontrolliert. Bei den dargestellten Werten handelt es sich um arithmetische Mittelwerte aus je 6 Lagen (Ziffernblatt oben, unten; Krone oben, rechts, unten, links) Das Messintervall betrug jeweils 30 Sekunden, Die Stabilisierungszeit ebenfalls 30s. Bei der mittleren Gangabweichung (Fig. 10b) handelt es sich ebenfalls um arithmetische Mittelwerte aus je 6 Lagen (siehe Amplitudennmessung).

**[0049]** Gut zu erkennen ist der typische Amplitudenabfall innerhalb der ersten 7 Tage. Im Anschluss steigt die Amplitude dann wieder langsam an und erreicht nach ca. 40 Tagen Ihren Startwert. Dieses Verhalten erklärt sich auch dem Einlaufen der Bauteile. Die Definierte Kontaktfläche des Rades wird durch den Reibkontakt mit den Ankerpaletten poliert. Ist der Tragflächenanteil von mehr als 50% erreicht, findet kein weiterer Abtrag statt, und es kann sich auf den Kontaktflächen ein Tribofilm bilden.

**[0050]** Die gestrichelte Linie zeigt, wann die Einlaufphase abgeschlossen ist.

In Figur 11 sind die experimentell ermittelten Amplituden und Gangwerte eines ETA Kalibers Typ

2892A2 bestückt mit der erfindungsgemäß diamantbeschichteten Hemmung ohne weiche sp<sub>2</sub>-haltige Abschlusschicht gem. EP 2 236 455. Die Hemmung läuft schmierungsfrei.

**[0051]** Die Amplitudenwerte (Fig. 11a) werden wiederum mittels einer Zeitwaage Typ Witschi M1 (akustisch) gemessen und optisch kontrolliert. Bei den dargestellten Werten handelt es sich wiederum um arithmetische Mittelwerte aus je 6 Lagen (Ziffernblatt oben, unten; Krone oben, rechts, unten, links) Das Messintervall betrug jeweils 30 Sekunden, Die Stabilisierungszeit ebenfalls 30s. Bei der mittleren Gangabweichung (Fig. 11b) handelt es sich ebenfalls um arithmetische Mittelwerte aus je 6 Lagen (siehe Amplitudenmessung).

**[0052]** Gut zu erkennen ist, dass der typische Amplitudenabfall nun innerhalb der ersten 2 Tage stattfindet (konventionell etwa 7). Im Anschluss steigt die Amplitude dann sehr schnell wieder an und übertrifft bereits nach ca. 10 Tagen Ihren Startwert. Dieses Verhalten erklärt sich auch dem Einlaufen der Bauteile. Die definierte Kontaktfläche des Ankers wird durch den Reibkontakt mit den Ankerpaletten poliert. Ist der Tragflächenanteil von mehr als 50% erreicht, findet kein weiterer Abtrag statt, und es kann sich auf den Kontaktflächen ein Tribofilm bilden. Dadurch das die definierte Kontaktfläche den 20 fachen Verschleiß eines Kolbenzahnes erfährt, ist die Einauffase entsprechend verkürzt. Ferner zeigt sich eine deutlich höherer Stabilität in der Ganggenauigkeit.

**[0053]** Die Figuren 12 bis 14 zeigen nun weitere erfindungsgemäß Ausführungsformen, wie und in welcher Weise der Kolbenzahn 5 und die Palette 2 ausgebildet sein können, um die erfindungsgemäß geometrische Kontaktfläche A<sub>0</sub> zu ermöglichen.

**[0054]** In Figur 12a ist eine derartige Ausführungsform in der Draufsicht dargestellt und in Figur 12b der in Figur 12a gekennzeichnete Schnitt.

**[0055]** Im Unterschied zur Ausführungsform nach der Figur 5 ist nun in der Ausführungsform nach Figur 12 die Palette 2 bezüglich seiner Flanke zweifach abgeschrägt, so dass dann wiederum eine definierte Kontaktstelle 30 beim Eingriff mit dem Zahn 5 entsteht.

**[0056]** In Figur 13 ist eine weitere Ausführungsform dargestellt und zwar hier nun eine Ausführungsform, bei der die Palette 2 eine abgerundete Flanke besitzt. In Figur 13b ist wieder ausschnittsweise schematisch die Draufsicht einer derartigen Konfiguration gezeigt und in den Figuren 13a und 13b in jeweils vergrößerter Darstellung die Kontaktstelle 30. In Figur 14 ist nun noch eine weitere Ausführungsform gezeigt, wobei hier die Palette 2 eine Ausbildung besitzt, wie sie bereits in der Figur 12 beschrieben worden ist, jedoch ist hier nun der Kolbenzahn 5 gewinkelt ausgebildet. In der Figur 14 ist wiederum in A ausschnittsweise die Draufsicht auf die Konfiguration dargestellt und in den Figuren 14b und 14c jeweils vergrößerte Darstellungen, wobei auch hier wiederum die Kontaktstelle 30 ersichtlich ist, so dass sich dann auch hier wieder eine geometrische Kontaktfläche A<sub>0</sub> bilden kann.

## Patentansprüche

- Ankerhemmung für einen mechanischen Zeitmesser umfassend einen schwenkbaren Anker (1) mit Ankerpaletten (2,2') und ein mit einem Drehmoment beaufschlagbares Ankerrad (4), das über seinen Außenumfang nach außen gerichtete Zähne (5,5',5") aufweist wobei beim Betrieb der Hemmung eine gleitende Relativbewegung entsteht bei der die vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') nacheinander und abwechselnd mit den vorderen Flanken der Zähne (5,5',5") in Kontakt stehen, wobei

sich bei Betrieb der Hemmung in Richtung der Relativbewegung in den vorderen Flanken (12) der Zähne (5,5',5") geometrische Kontaktflächen A<sub>0</sub> in Form eines Bandes bilden, die eine Breite von 0,5 bis 5 µm besitzen und die vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') so ausgebildet sind, dass bei Betrieb der Hemmung in Richtung der Relativbewegung, bei jedem Kontakt einer der vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') mit einer der vorderen Flanken (12) der Zähne (5,5',5") des Rades (4), immer die gleiche Kontaktfläche A<sub>0</sub> der vorderen Flanke (8) der Paletten (2,2') im Eingriff mit der vorderen Flanke (12) der Zähne (5,5',5") des Rades (4) steht, wobei mindestens die Flanken (8) der Paletten (2,2') und die vordere Flanke (12) der Zähne (5,5',5") eine Hartstoffbeschichtung aufweisen, wobei in der geometrischen Kontaktfläche A<sub>0</sub> eine polierte oder anpolierte reale Kontaktfläche A<sub>R</sub> gebildet ist, wobei das Verhältnis A<sub>R</sub>/A<sub>0</sub> zwischen 20 und 90% liegt

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Hartstoffbeschichtung eine Schichtdicke von 1 bis 100 µm aufweist und ausgewählt ist aus Siliciumoxid, insbesondere SiO<sub>2</sub>, oder nichtstöchiometrischen Oxiden mit der Formel Si<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, wobei x und y ganze Zahlen sind, oder aus Siliciumcarbiden oder Siliciumnitrid oder Diamant, insbesondere nanokristallinem Diamant, oder diamantartigem Kohlenstoff (DLC) oder Rubin oder Saphir.

- Ankerhemmung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') und die vorderen Flanken (12) der Zähne (5,5',5") eine Nicht-Vertikalität besitzen und so zueinander angeordnet sind, dass ein Freiwinkel α von mindestens 0,1°-5°, bevorzugt 0,1°-3° und besonders bevorzugt von 0,1°-1° entsteht.
- Ankerhemmung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') dachförmig mit einem mittigen Grat oder zylindrisch mit einer nach außen gewölbte Fläche, ausgebildet sind, wobei die geometrische Kontaktfläche A<sub>0</sub> durch den mittigen Grat bzw.

durch die nach außen gewölbte Fläche gebildet wird.

4. Ankerhemmung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vorderen Flanken (8) der Paletten (2,2') als glatte ebene Flächen ausgebildet sind, die um maximal  $\pm 2^\circ$ , bevorzugt  $1^\circ$ , besonders bevorzugt weniger als  $0,5^\circ$  von den senkrechten, im Bezug zur Oberseite der Paletten, abweichen, wobei die geometrische Kontaktfläche  $A_0$  durch die nach außen stehende Kante gebildet wird. 10
5. Ankerhemmung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke der Paletten (2,2') 50 bis 180  $\mu\text{m}$  und die Dicke der Zähne (5,5',5") des Zahnrades (4) 100 bis 250  $\mu\text{m}$  beträgt wobei die Dicke der Paletten (2,2') kleiner ist als die Dicke der Zähne (5,5',5") des Zahnrades (4), jeweils bezogen auf die senkrechte im Bezug zur Oberseite. 15
6. Ankerhemmung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hartstoffbeschichtung eine Schichtdicke von 5 bis 50  $\mu\text{m}$  aufweist. 20
7. Ankerhemmung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die nanokristalline Diamantschicht mindestens eine der folgenden Eigenschaften aufweist: 30
  - a) die nanokristalline Diamantschicht weist eine Biegebruchspannung von 1 bis 10 GPa, bevorzugt von mindestens 2 GPa, bevorzugt von mindestens 5 GPa und besonders bevorzugt mindestens 7 GPa auf, 35
  - b) die nanokristalline Diamantschicht weist eine Schichtdicke im Kontaktbereich von 0,5  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 2-50  $\mu\text{m}$  und besonders bevorzugt 2-10  $\mu\text{m}$  auf und 40
  - c) die nanokristalline Diamantschicht weist ein E-Modul von 700 GPa bis 1143 GPa, bevorzugt von 400 GPa bis 900 GPa auf.
8. Ankerhemmung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens das Ankerrad aus einem Material gefertigt wurde, dass eine Dichte von 0,5 g/cm<sup>3</sup> bis 4,5 g/cm<sup>3</sup>, besonders bevorzugt von 1 bis 4 g/cm<sup>3</sup> aufweist. 45
9. Ankerhemmung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Paletten (2,2') und/oder der Anker (1) und/oder das Rad (4) aus Silicium gefertigt und mit der Hartstoffschicht versehen sind. 55

## Claims

1. Escapement for a mechanical time-measuring device comprising pivotable pallets (1) with pallet-stones (2, 2') and a pallet wheel (4), to which a torque can be applied and which has outwardly directed teeth (5, 5', 5") over its outer circumference, a sliding relative movement being produced during operation of the escapement, in which the front flanks (8) of the pallet-stones (2, 2') are in contact in succession and alternately with the front flanks of the teeth (5, 5', 5").  
geometric contact faces  $A_0$  in the form of a band being formed in the front flanks (12) of the teeth (5, 5', 5") during operation of the escapement, in the direction of the relative movement, which contact faces have a width of 0.5 to 5  $\mu\text{m}$ , and the front flanks (8) of the pallet-stones (2, 2') being configured such that, during operation of the escapement in the direction of the relative movement, during each contact of one of the front flanks (8) of the pallet-stones (2, 2') with one of the front flanks (12) of the teeth (5, 5', 5") of the wheel (4), the same contact face  $A_0$  of the front flank (8) of the pallet-stones (2, 2') is always engaged with the front flank (12) of the teeth (5, 5', 5") of the wheel (4), wherein at least the flanks (8) of the pallet-stones (2, 2') and the front flank (12) of the teeth (5, 5', 5") have a hard material coating, wherein a polished or slightly polished real contact face  $A_R$  is formed in the geometric contact face  $A_0$ , wherein the ratio  $A_R/A_0$  is between 20 and 90%,  
**characterised in that** the hard material coating has a layer thickness of 1 to 100  $\mu\text{m}$  and is selected from silicon oxide, in particular  $\text{SiO}_2$ , or non-stoichiometric oxides with the formula  $\text{Si}_x\text{O}_y$ , x and y being whole numbers, or from silicon carbides or silicon nitride or diamond, in particular nanocrystalline diamond, or diamond-like carbon (DLC) or ruby or sapphire.
2. Escapement according to claim 1, **characterised in that** the front flanks (8) of the pallet-stones (2, 2') and the front flanks (12) of the teeth (5, 5', 5") have non-verticallity and are disposed relative to each other such that a free angle  $\alpha$  of at least  $0.1^\circ$  -  $5^\circ$ , preferably  $0.1^\circ$  -  $3^\circ$  and particularly preferably of  $0.1^\circ$  -  $1^\circ$ , is produced.
3. Escapement according to one of the claims 1 to 2, **characterised in that** the front flanks (8) of the pallet-stones (2, 2') are configured in the shape of a roof with a central burr or cylindrically with an outwardly curved face, the geometric contact face  $A_0$  being formed by the central burr or by the outwardly curved face.

4. Escapement according to one of the claims 1 to 3, **characterised in that** the front flanks (8) of the pallet-stones (2, 2') are configured as smooth flat faces which deviate by max.  $\pm 2^\circ$ , preferably  $1^\circ$ , particularly preferably less than  $0.5^\circ$ , from the vertical, relative to the upper side of the pallet-stones, the geometric contact face  $A_0$  being formed by the outwardly positioned edge. 5
5. Escapement according to one of the claims 1 to 4, **characterised in that** the thickness of the pallet-stones (2, 2') is 50 to 180  $\mu\text{m}$  and the thickness of the teeth (5, 5', 5") of the toothed wheel (4) is 100 to 250  $\mu\text{m}$ , the thickness of the pallet-stones (2, 2') being less than the thickness of the teeth (5, 5', 5") of the toothed wheel (4), respectively relative to the vertical with respect to the upper side. 10 15
6. Escapement according to at least one of the claims 1 to 5, **characterised in that** the hard material coating has a layer thickness of 5 to 50  $\mu\text{m}$ . 20
7. An anchor escapement according to one of the preceding claims, **characterized in that** the nanocrystalline diamond layer has at least one of the following properties: 25
- a) the nanocrystalline diamond layer has a transverse rupture stress of 1 to 10 GPa, preferably of at least 2 GPa, preferably of at least 5 GPa and particularly preferably at least 7 GPa, 30
  - b) the nanocrystalline diamond layer has a layer thickness in the contact region of 0.5  $\mu\text{m}$  to 100  $\mu\text{m}$ , preferably 2 - 50  $\mu\text{m}$  and particularly preferably 2-10  $\mu\text{m}$ , and 35
  - c) the nanocrystalline diamond layer has a modulus of elasticity of 700 GPa to 1,143 GPa, preferably of 400 GPa to 900 GPa.
8. Escapement according to at least one of the preceding claims, **characterised in that** at least the escape wheel was manufactured from a material which has a density of 0.5 g/cm<sup>3</sup> to 4.5 g/cm<sup>3</sup>, particularly preferably of 1 to 4 g/cm<sup>3</sup>. 40
9. Escapement according to at least one of the claims 1 to 8, **characterised in that** the pallet-stones (2, 2') and/or the pallets (1) and/or the wheel (4) are manufactured from silicon and are provided with the hard material layer. 45 50

## Revendications

1. Échappement pour un chronomètre mécanique comprenant une ancre pivotante (1) avec des palettes d'ancrage (2, 2') et une roue d'ancre (4) pouvant être sollicitée par un couple, qui comprend des dents 55

(5, 5', 5") orientées vers l'extérieur sur sa circonference extérieure, dans lequel, lors du fonctionnement de l'échappement, un mouvement relatif glissant a lieu, dans lequel les flancs avant (8) des palettes (2, 2') entrent en contact successivement et de manière alternée avec les flancs avant des dents (5, 5', 5"), dans lequel

lors du fonctionnement de l'échappement, dans les flancs avant (12) des dents (5, 5', 5"), dans la direction du mouvement relatif, apparaissent des surfaces de contact géométriques  $A_0$  sous la forme d'une bande, qui présentent une largeur de 0,5 à 5  $\mu\text{m}$ , et les flancs avant (8) des palettes (2, 2') sont conçus de façon à ce que, lors du fonctionnement de l'échappement dans la direction du mouvement relatif, à chaque contact d'un des flancs avant (8) des palettes (2, 2') avec un des flancs avant (12) des dents (5, 5', 5") de la roue (4), toujours la même surface de contact  $A_0$  du flanc avant (8) des palettes (2, 2') est emboîtée avec le flanc avant (12) des dents (5, 5', 5") de la roue (4), dans lequel au moins les flancs (8) des palettes (2, 2') et le flanc avant (12) des dents (5, 5', 5") comprennent un revêtement en matériau dur, une surface de contact réelle  $A_R$  polie ou adoucie étant formée dans la surface de contact géométrique  $A_0$ , le rapport  $A_R/A_0$  se trouvant entre 20 et 90 %,

**caractérisé en ce que** le revêtement en matériau dur présente une épaisseur de couche de 1 à 100  $\mu\text{m}$  et est sélectionné parmi un oxyde de silicium, plus particulièrement du SiO<sub>2</sub>, ou des oxydes non stoechiométriques de formule Si<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, dans lesquels x et y sont des nombres entiers, ou parmi des carbures de silicium ou du nitrure de silicium ou du diamant, plus particulièrement un diamant nanocristallin, ou un carbone de type diamant (DLC) ou un rubis ou un saphir.

2. Échappement selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les flancs avant (8) des palettes (2, 2') et les flancs avant (12) des dents (5, 5', 5") présentent une non-verticalité et sont disposés les uns par rapport aux autres de façon à ce qu'il en résulte un angle libre  $\alpha$  d'au moins  $0,1^\circ$  à  $5^\circ$ , de préférence de  $0,1^\circ$  à  $3^\circ$  et plus particulièrement de préférence de  $0,1^\circ$  à  $1^\circ$ .
3. Échappement selon l'une des revendications 1 à 2, **caractérisé en ce que** les flancs avant (8) des palettes (2, 2') se présentent sous la forme d'un toit avec une crête centrale ou présentent une forme cylindrique avec une surface bombée vers l'extérieur, la surface de contact géométrique  $A_0$  étant formée par la crête centrale, respectivement par la surface bombée vers l'extérieur.

4. Échappement selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les flancs avant (8) des palettes (2, 2') présentent la forme de surfaces lisses et planes qui s'écartent au plus de  $\pm 2^\circ$ , de préférence  $1^\circ$ , plus particulièrement de préférence de moins de  $0,5^\circ$  de la perpendiculaire, par rapport au côté supérieur des palettes, dans lequel la surface de contact géométrique  $A_0$  est constituée de l'arête orientée vers l'extérieur. 5
- 10
5. Échappement selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'épaisseur des palettes (2, 2') est de 50 à 180  $\mu\text{m}$  et l'épaisseur des dents (5, 5', 5") de la roue dentée (4) est de 100 à 250  $\mu\text{m}$ , dans lequel l'épaisseur des palettes (2, 2') est inférieure à l'épaisseur des dents (5, 5', 5") de la roue dentée (4), relativement à la perpendiculaire par rapport au côté supérieur. 15
6. Échappement selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le revêtement en matériau dur présente une épaisseur de couche de 5 à 50  $\mu\text{m}$ . 20
7. Échappement selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche de diamant nanocristallin présente au moins une des propriétés suivantes : 25
- a) la couche de diamant nanocristallin présente une résistance à la rupture par flexion de 1 à 10 GPa, de préférence d'au moins 2 GPa, de préférence d'au moins 5 GPa et plus particulièrement de préférence de 7 GPa, 30
- b) la couche de diamant nanocristallin présente une épaisseur de couche dans la zone de contact de 0,5  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$ , de préférence de 2 à 50  $\mu\text{m}$  et plus particulièrement de préférence de 2 à 10  $\mu\text{m}$  et 35
- c) la couche de diamant nanocristallin présente un module d'élasticité de 700 GPa à 1143 GPa, de préférence de 400 GPa à 900 GPa. 40
8. Échappement selon au moins l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au moins la roue d'ancre a été réalisée à partir d'un matériau qui présente une densité de 0,5 g/cm<sup>3</sup> à 4,5 g/cm<sup>3</sup>, plus particulièrement de préférence de 1 à 4 g/cm<sup>3</sup>. 45
9. Échappement selon au moins l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** les palettes (2, 2') et/ou l'ancre (1) et/ou la roue (4) sont réalisées en silicium et sont pourvues de la couche de matériau dur. 50

FIG 1

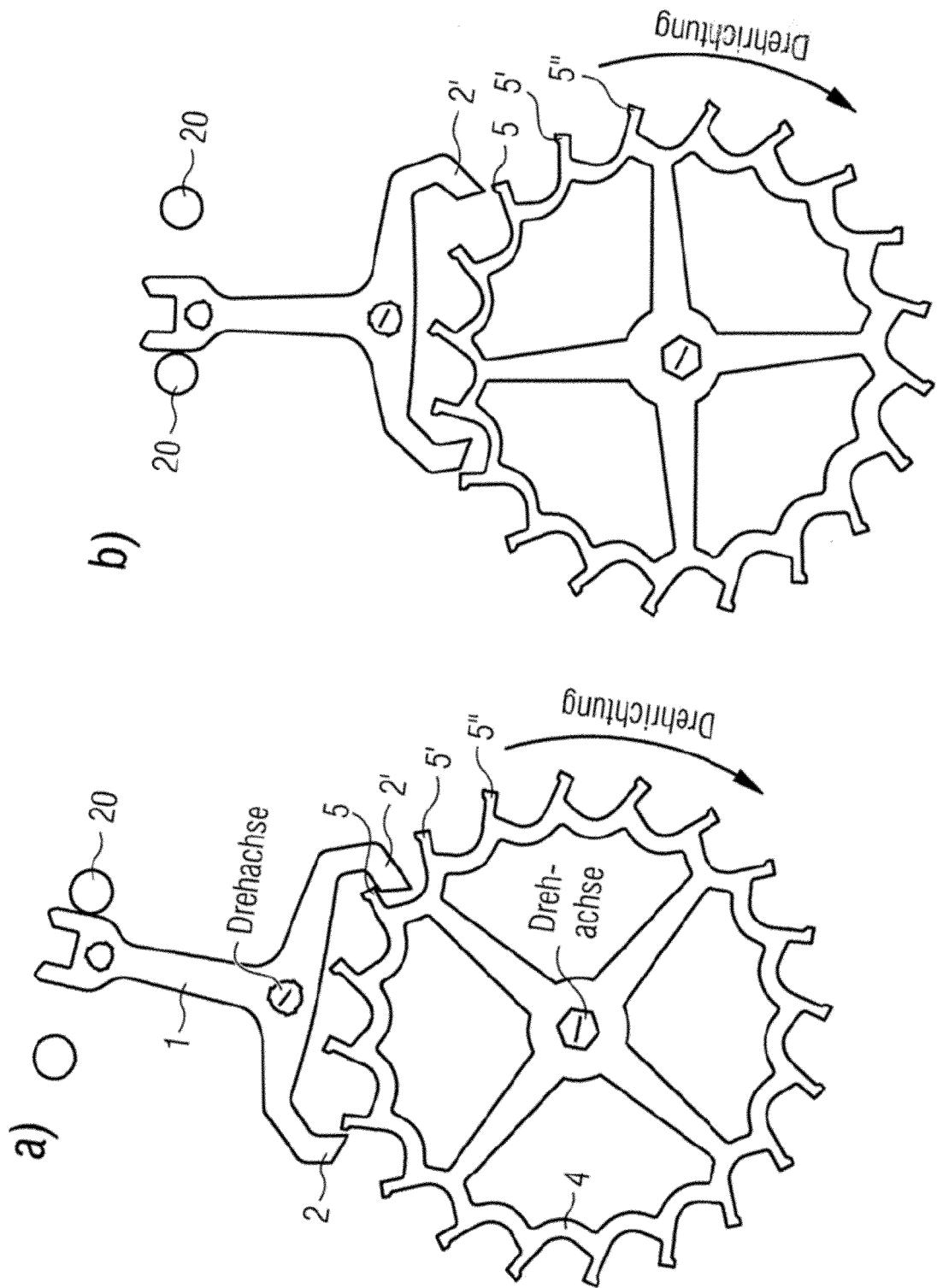
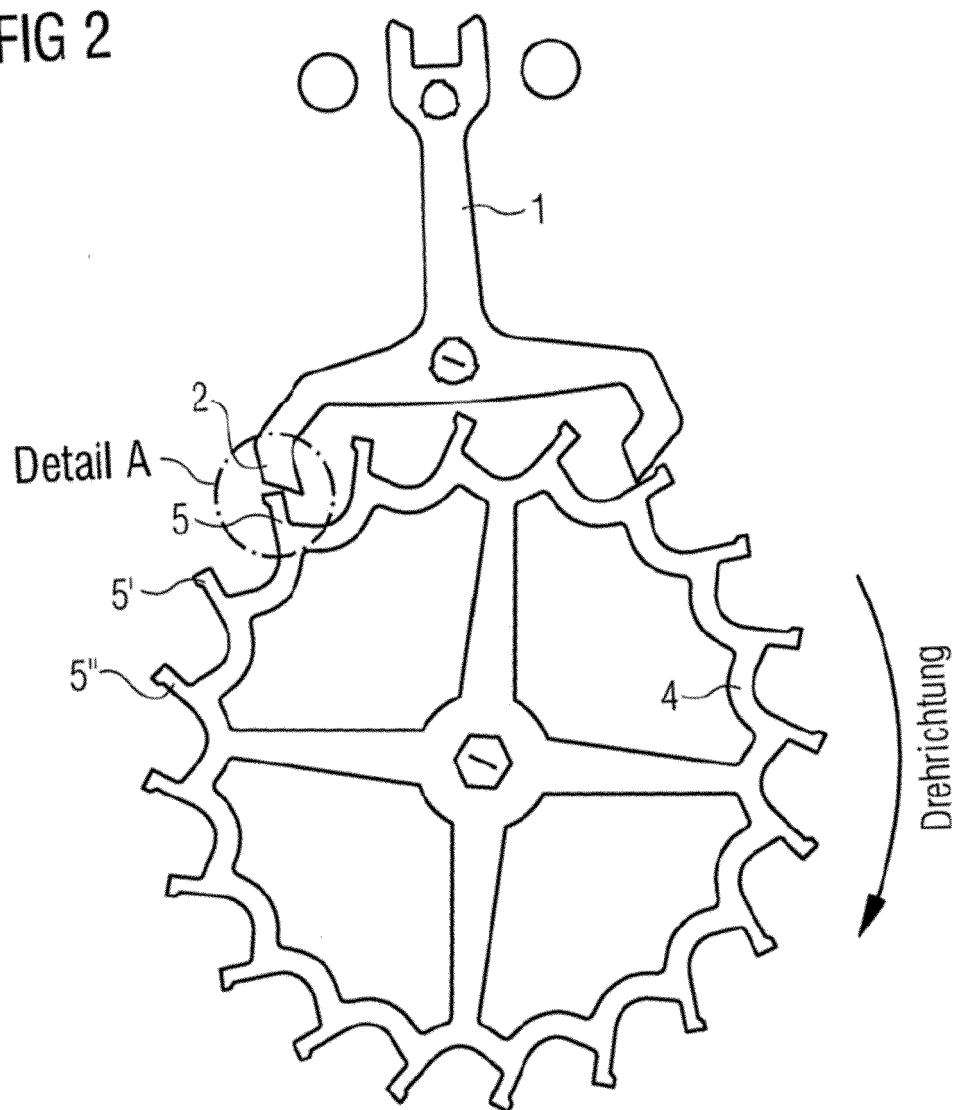
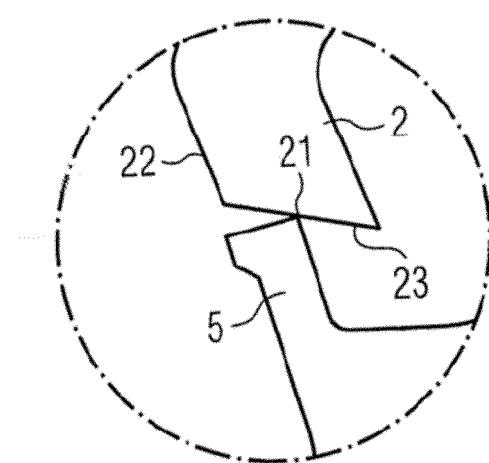


FIG 2

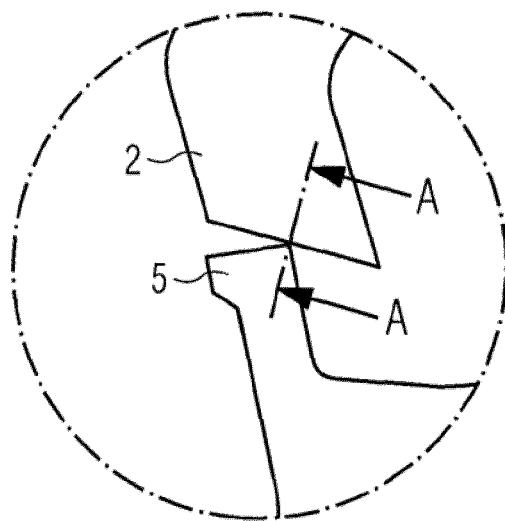


Detail A

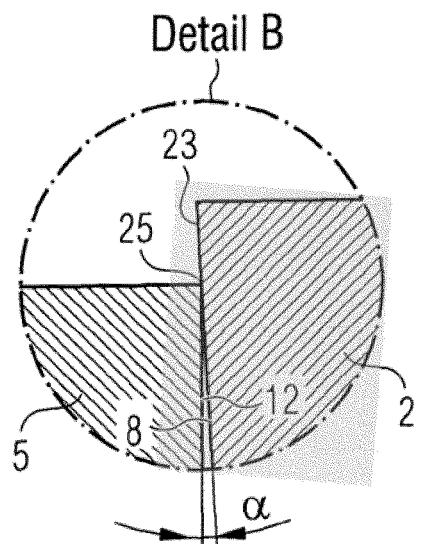
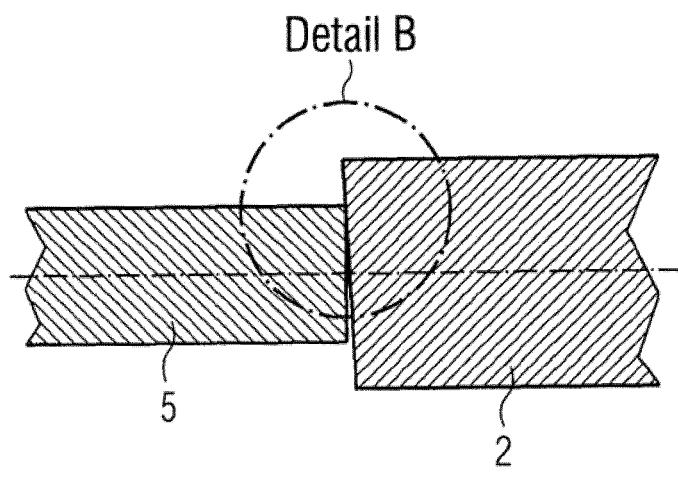


## Konventionelle Anordnung

FIG 3



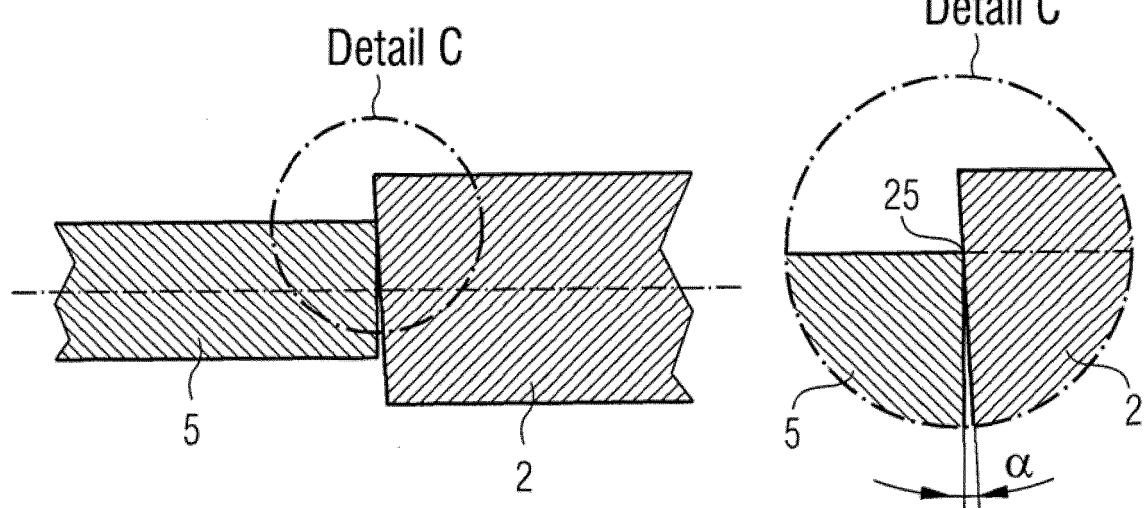
Schnitt A-A



## Konventionelle Anordnung

FIG 4

Schnitt A-A



Schnitt A-A

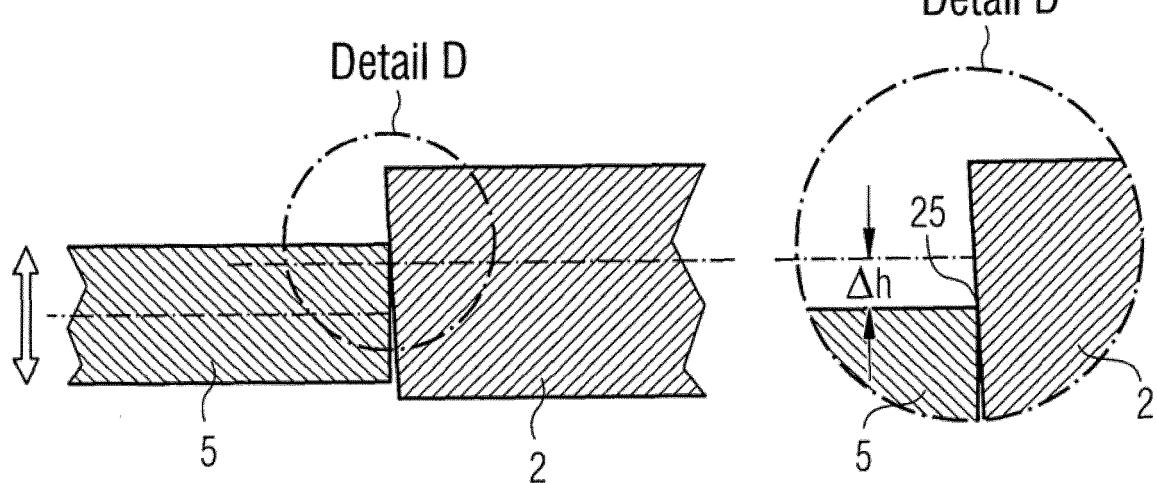
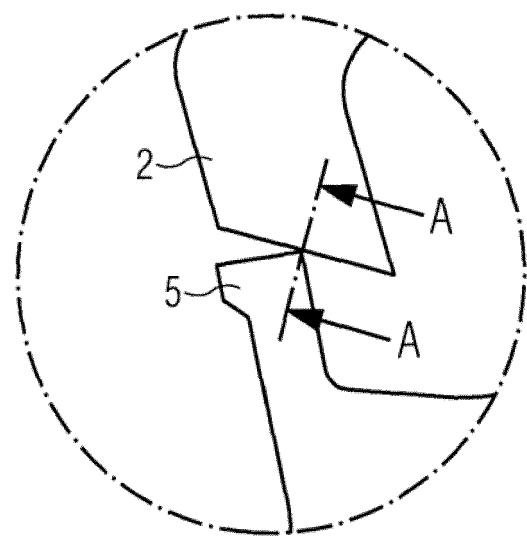
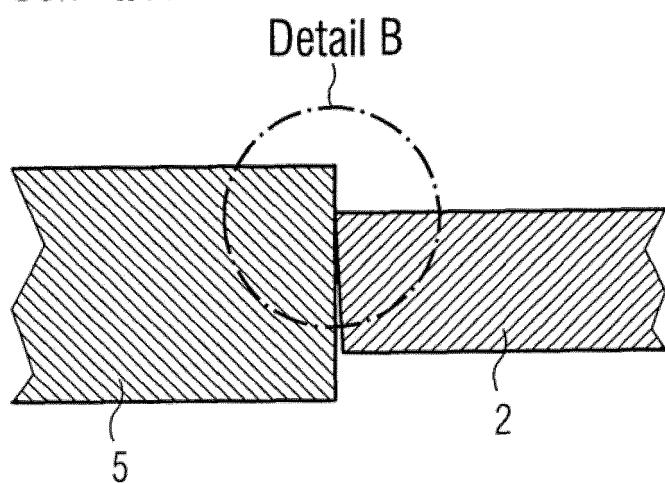


FIG 5



Schnitt A-A



Detail B

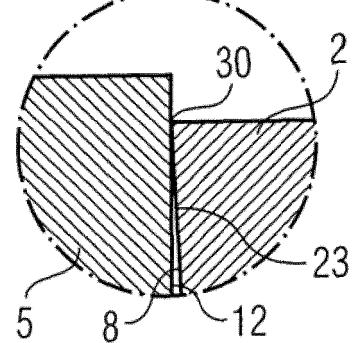
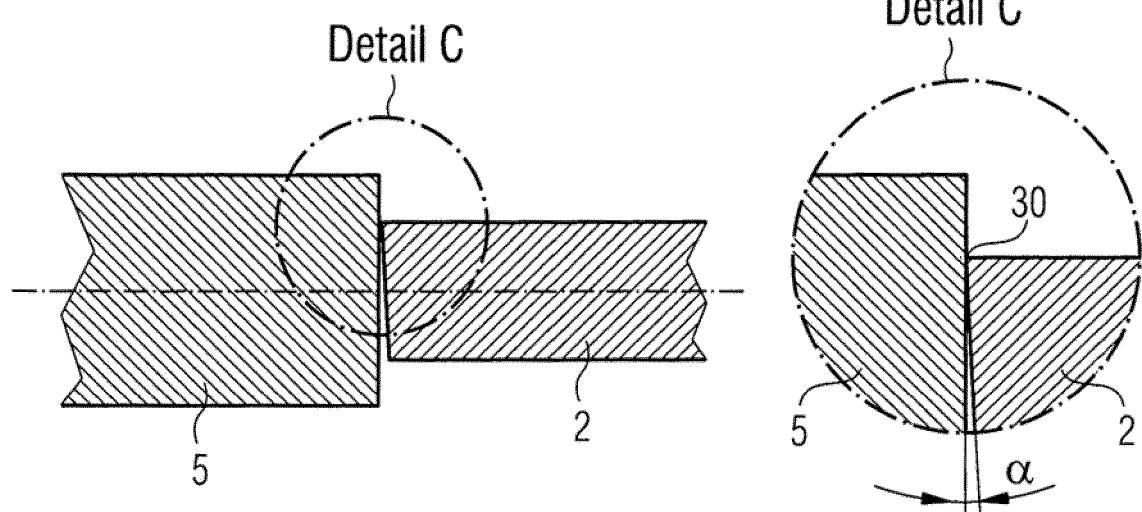


FIG 6

Schnitt A-A



Schnitt A-A

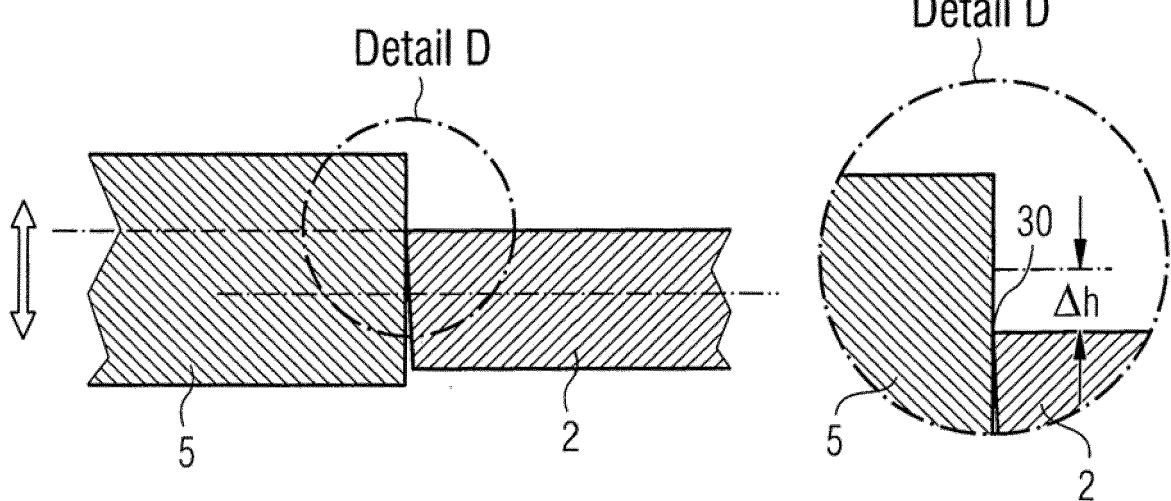
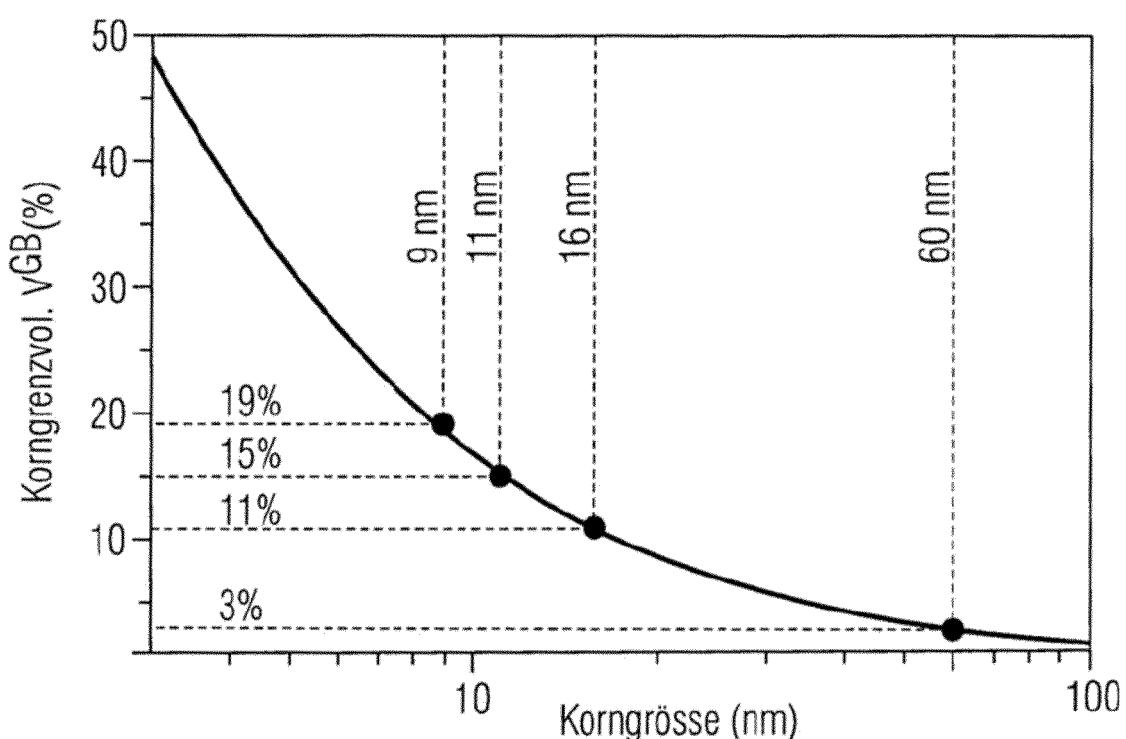


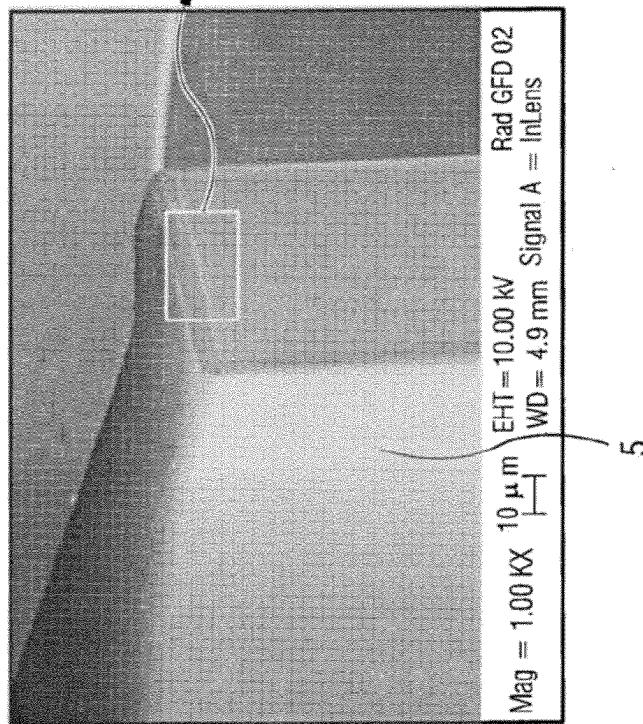
FIG 7



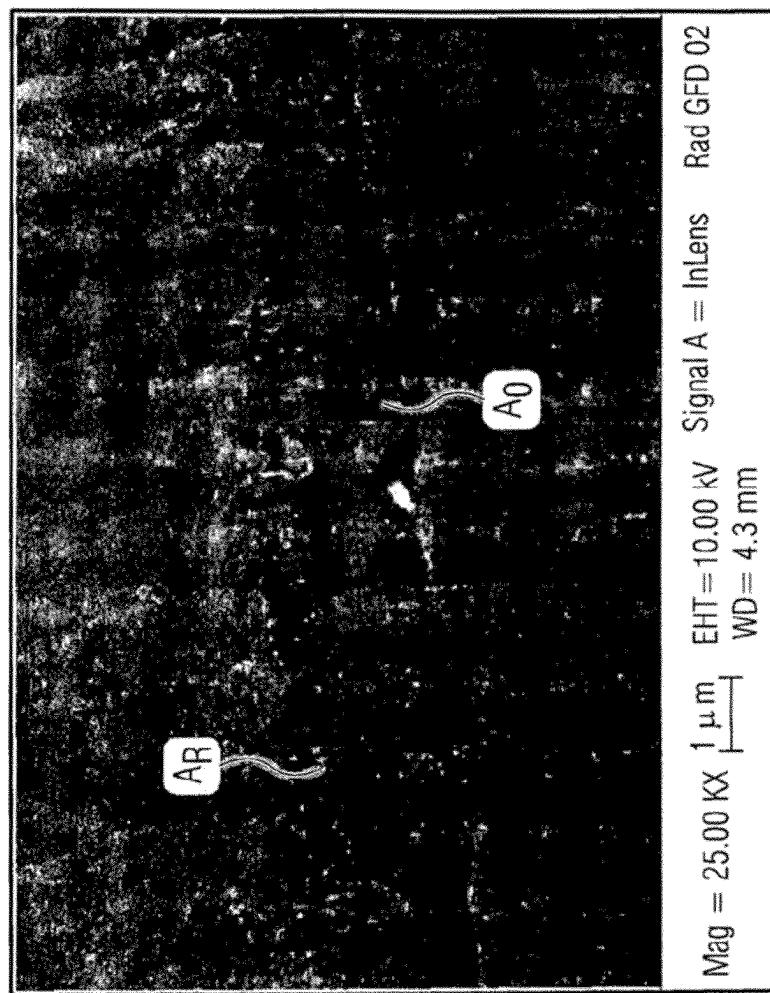
Konventionelle  
Anordnung

FIG 8

a)



b)



Konventionelle  
Anordnung

FIG 9  
a)  $A_0$   
b)  $A_R$

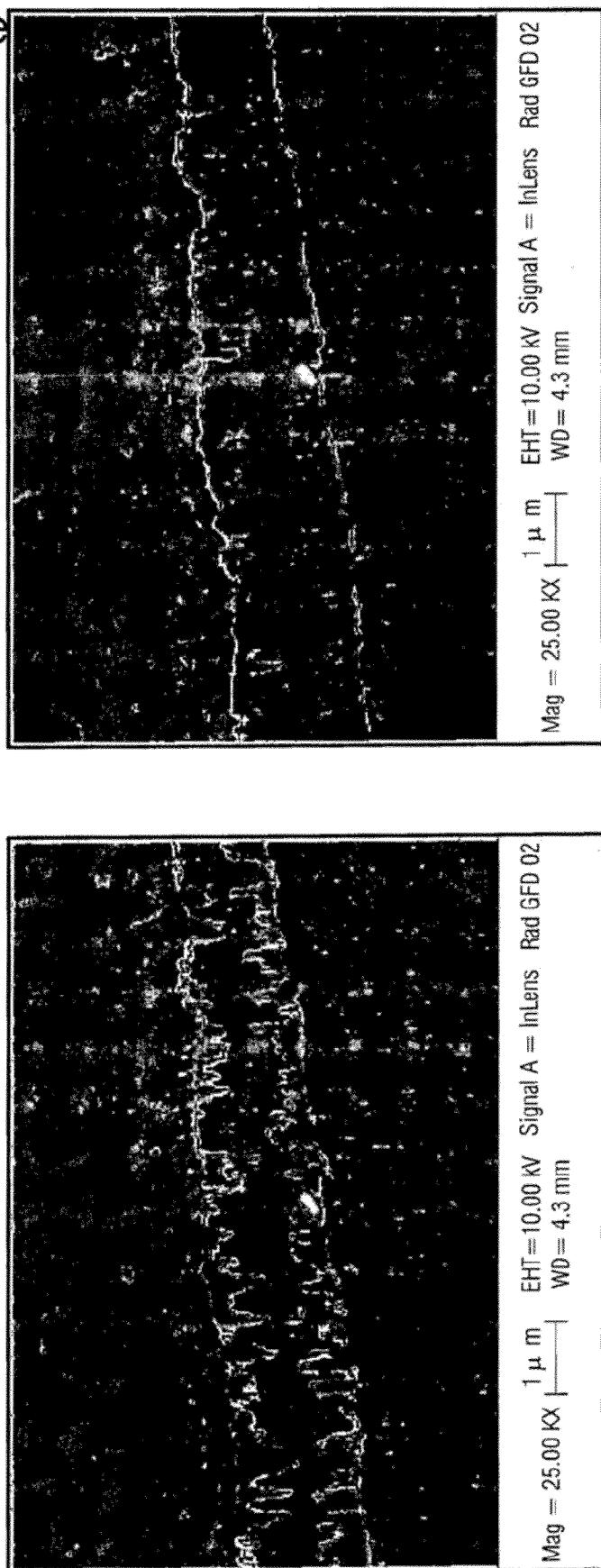
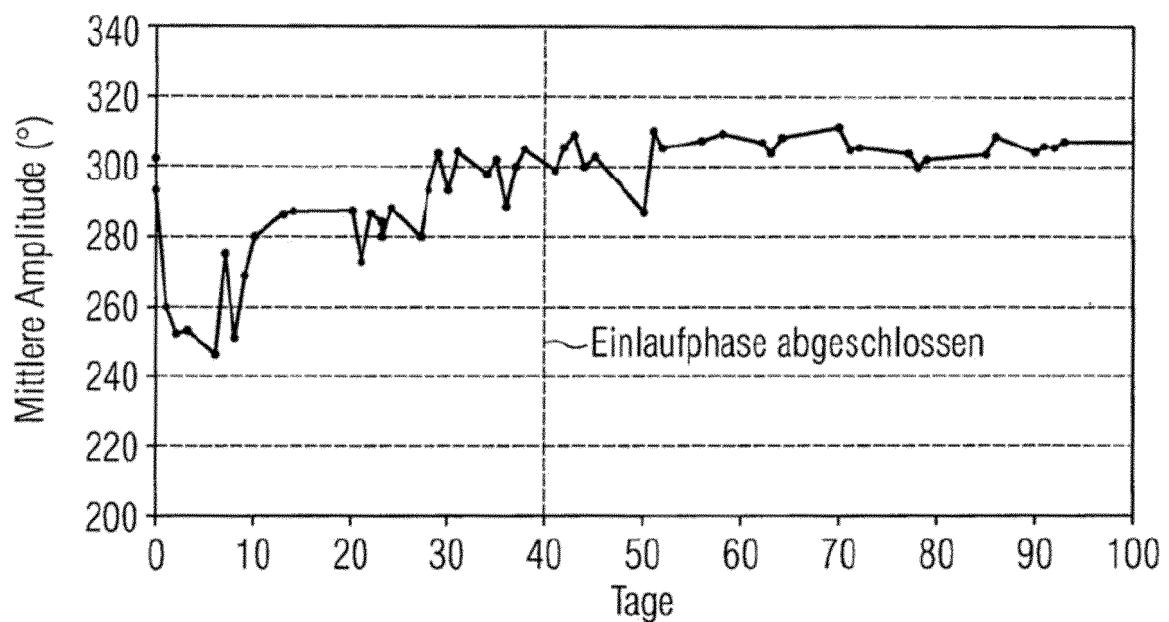


FIG 10 Konventionelle Anordnung

a)

Mittlere Amplitude (6 Lagen)



b)

Mittlere Gangabweichung (6 Lagen)

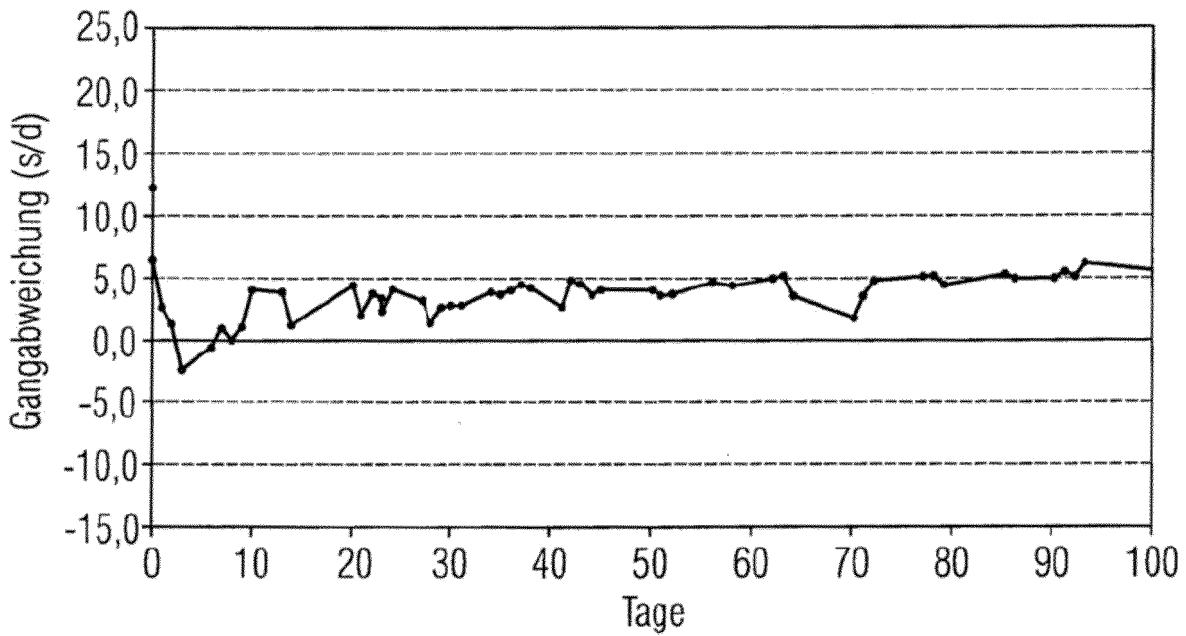
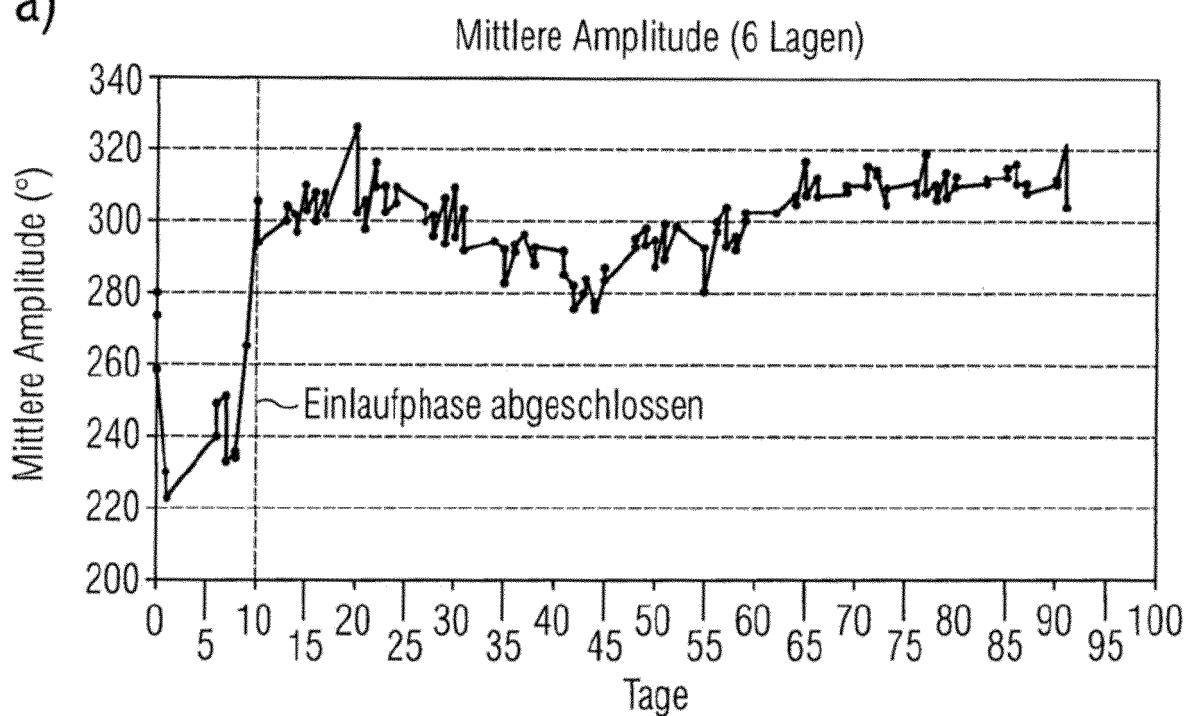


FIG 11

a)



b)

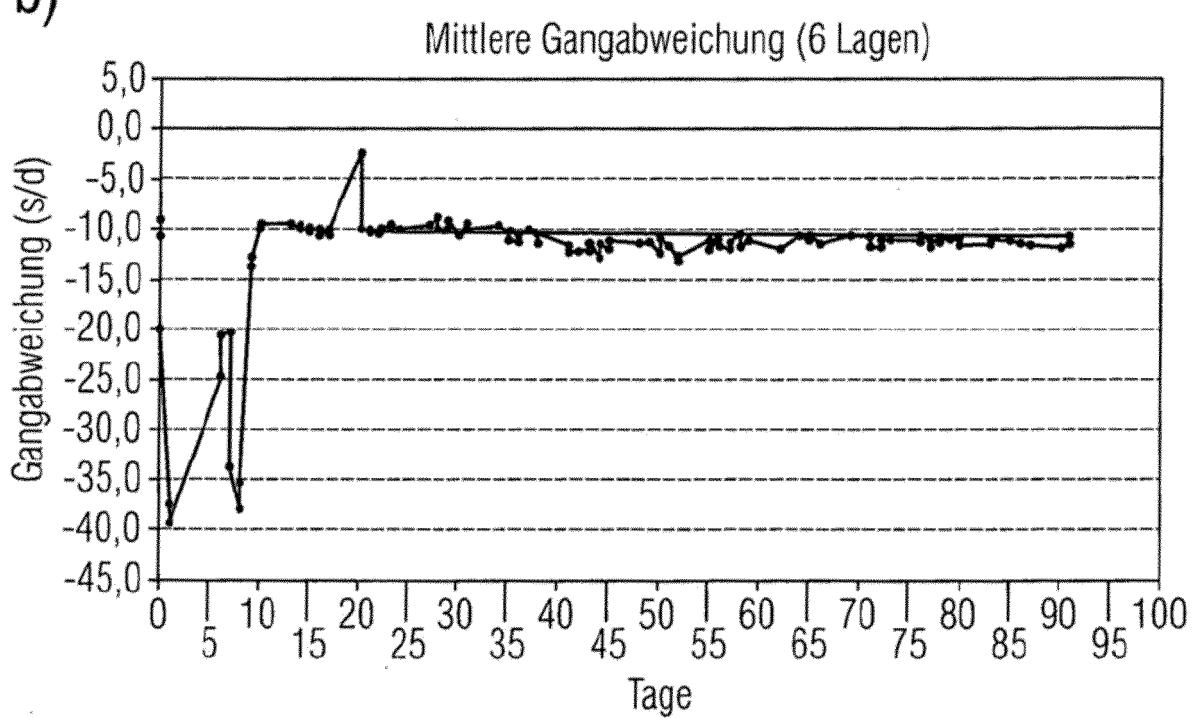


FIG 12

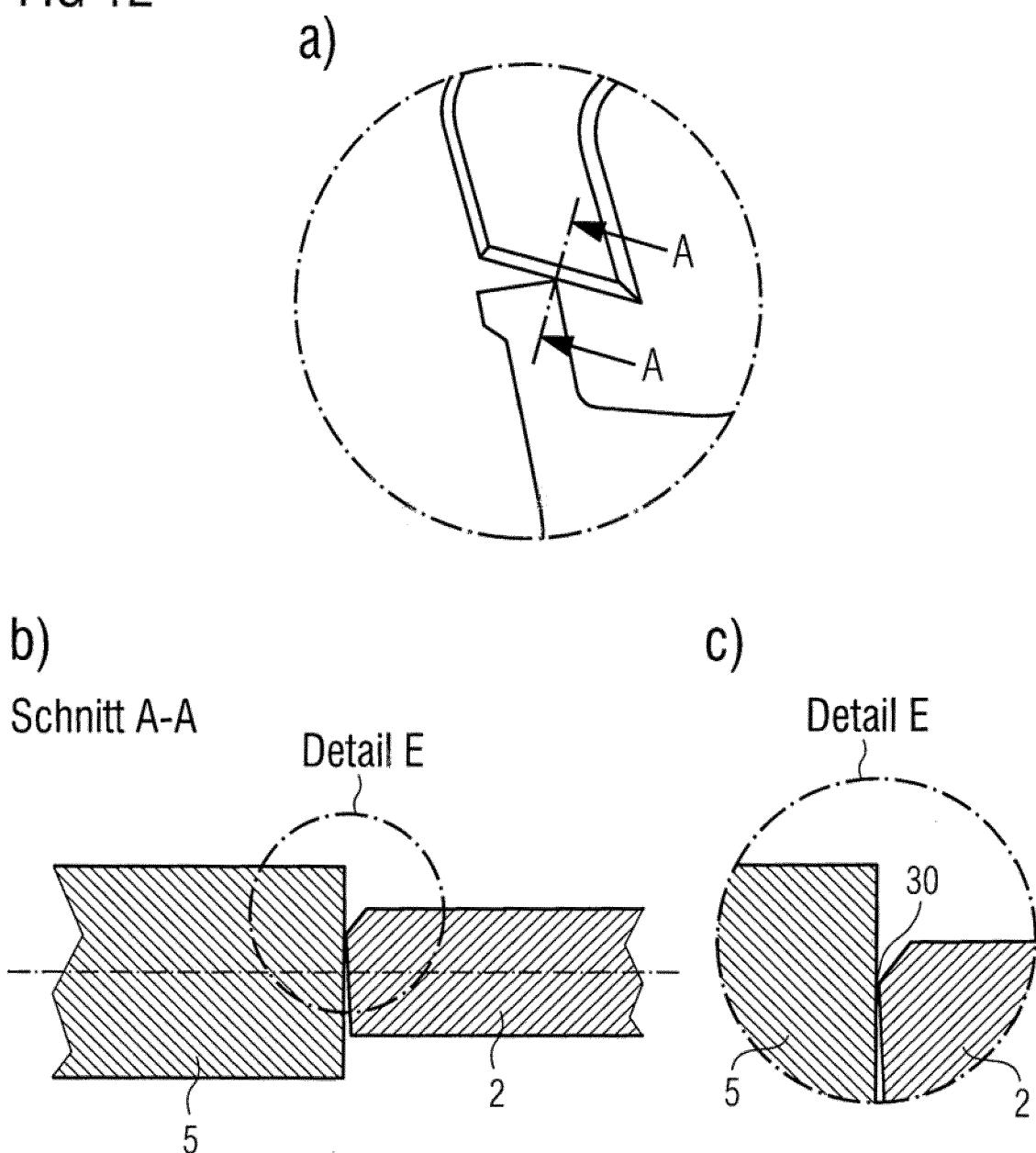


FIG 13

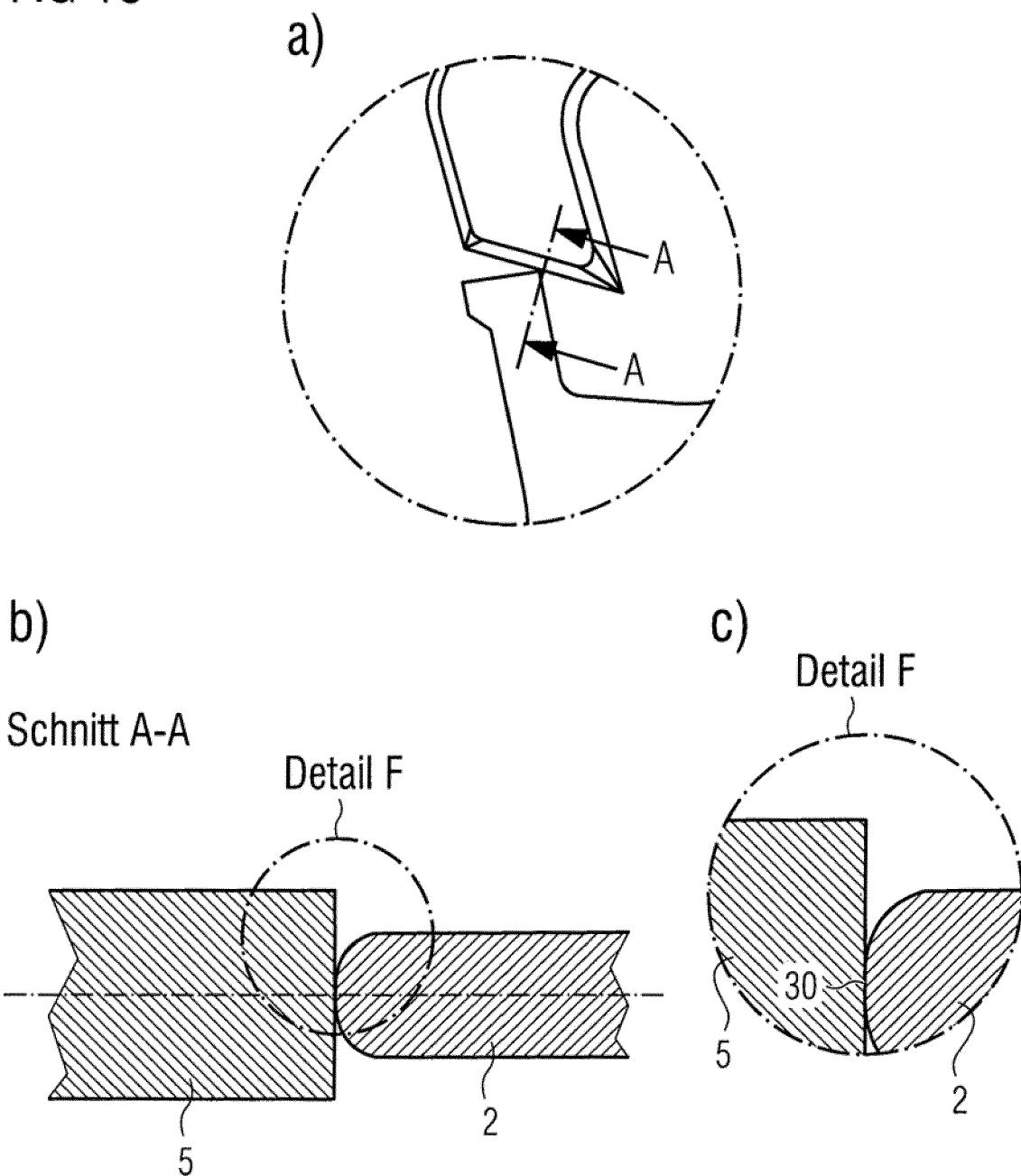
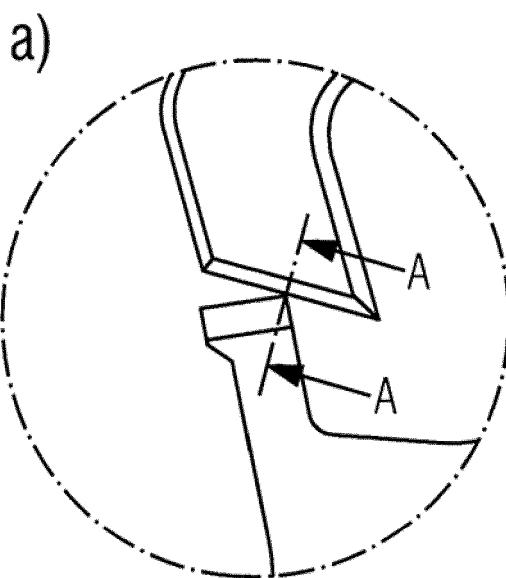
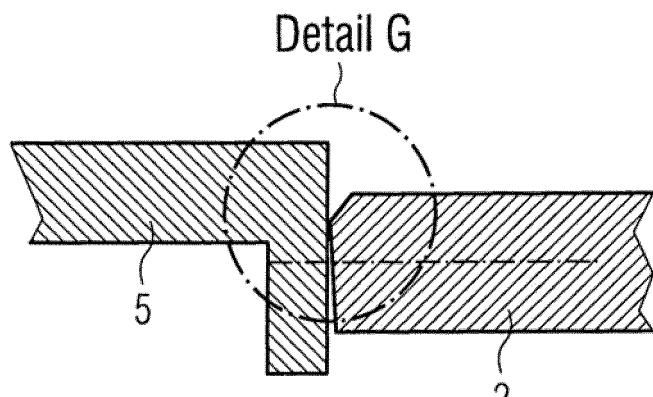


FIG 14



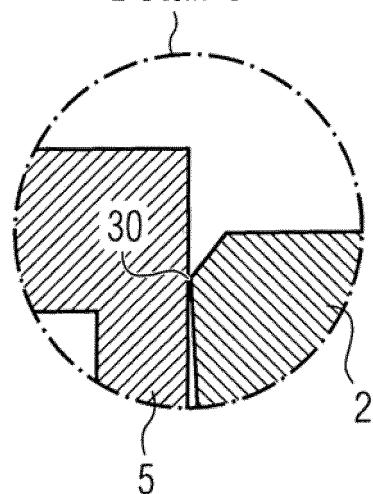
b)

Schnitt A-A



c)

Detail G



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- FR 1485813 [0007]
- EP 1622826 B1 [0007]
- CH 612308 A3 [0008]
- EP 2107434 A [0009]
- EP 2236455 A [0010] [0050]
- EP 2107434 B1 [0011]
- EP 1904901 A [0029]
- CH 567293 [0036]
- EP 2236455 B2 [0047]

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- N. WIORA et al. *Synthesis and Characterization of n-type Nitrogenated, Nanocrystalline Diamond Micro Materials and Nanomaterials*, vol. 15, 96-98 [0033]