



(10) **DE 10 2013 022 051 B4** 2022.07.21

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 022 051.3**
 (22) Anmeldetag: **23.12.2013**
 (43) Offenlegungstag: **25.06.2015**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **21.07.2022**

(51) Int Cl.: **G11B 5/012 (2006.01)**
G11B 5/127 (2006.01)
G11B 20/18 (2006.01)
G11B 20/12 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**inodyn NewMedia GmbH Software und Elektronik,
 69151 Neckargemünd, DE**

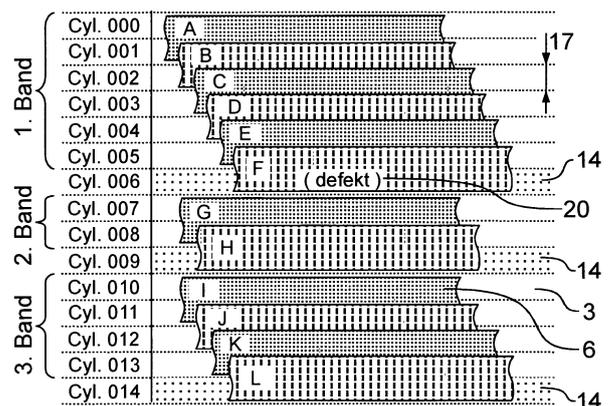
(72) Erfinder:
Pantel, Lothar, 69151 Neckargemünd, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	7 408 731	B2
US	8 179 627	B2
US	8 223 458	B2
US	8 432 633	B2
US	2012 / 0 082 019	A1
US	2013 / 0 148 225	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Austausch defekter Sektoren bei SMR-Festplatten**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Austausch einer unzuverlässigen Stelle (20) auf einer Datenträger-Oberfläche (2) von einer Speichervorrichtung (1) mit einem Schreibelement (15), dessen Spurbreite (17) größer ist als die Spurbreite (17) eines Leseelements (16), wobei das Schreibelement (15) überlappende Spuren (3) schreibt, deren resultierende Spurbreite (17) vom Leseelement (16) gelesen werden kann und wobei mindestens eine Teilmenge der Spuren (3) in Bänder (18) gruppiert ist, wobei es zu jedem Band (18) mindestens einen Distanzbereich (14) gibt, dadurch gekennzeichnet, dass der Austausch der unzuverlässigen Stelle (20) erfolgt, indem mindestens ein Distanzbereich (14) auf die physikalische Position der unzuverlässigen Stelle (20) gelegt wird, dergestalt, dass der Distanzbereich (14) die unzuverlässige Stelle (20) vollständig abdeckt.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft das Gebiet der Datenspeicherung, im Besonderen ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Austausch defekter Sektoren bei Festplatten mit Shingled Magnetic Recording (SMR).

Stand der Technik

[0002] Gebräuchliche Festplatten bestehen aus Scheiben, typischerweise in einem Plattenstapel, mit einer magnetischen Schicht auf den Plattenoberflächen. Diese Platten rotieren um eine Achse, auch Spindel genannt, auf der die einzelnen Platten übereinander montiert sind. Jede Plattenoberfläche wird von einem beweglichen Schreib- und Leseelement in kreisförmigen, konzentrischen Spuren beschrieben und gelesen. Als Technologie für das Schreiben und Lesen ist Perpendicular Magnetic Recording (PMR) üblich. Bewegt werden die Schreib- und Leselemente, welche auch als Schreibleseköpfe (Heads) bezeichnet werden, von einem Actuator, so dass die Köpfe jede Spur vom minimalen Durchmesser bis zum maximalen Durchmesser des beschreibbaren Bereichs auf der Platte ansteuern können. Der Actuator wird von einem Festplattencontroller gesteuert, welcher sich als interne Logik auch um die Optimierung der Schreib- und Lesezugriffe kümmert. Ebenfalls zu den Aufgaben des Festplattencontrollers gehört es, die einzelnen Spuren und Plattenoberflächen in einer geeigneten Reihenfolge zu beschreiben.

[0003] Alle konzentrischen Spuren, die übereinander im Plattenstapel liegen, werden Zylinder genannt. Die Begriffe Spur und Zylinder werden häufig synonym verwendet. Jede Spur auf den Plattenoberflächen wird in kleine, logische Einheiten unterteilt, Sektoren genannt. Die Sektoren auf den Spuren werden auch als Blöcke oder Datenblöcke bezeichnet und dürfen nicht mit dem geometrischen Sektor, dem Kreisabschnitt, verwechselt werden. Die Sektoren auf den Spuren werden nachfolgend kurz Sektoren genannt. Ein Sektor enthält traditionell 512 Byte, mittlerweile häufig 4 KB. Mittels Kontrollinformationen bzw. Fehlerkorrekturinformationen wird sichergestellt, dass die eingelesenen Daten des Sektors valide sind. Per Logical Block Addressing werden die Sektoren als kleinste adressierbare Einheiten vom Dateisystem eines Betriebssystems verwendet.

[0004] Die Plattenoberflächen werden in Zonen aufgeteilt, wobei innerhalb einer Zone alle Spuren die gleiche Anzahl an Sektoren haben (Zone bit recording). Von außen nach innen reduziert sich die Anzahl der Sektoren von Zone zu Zone.

[0005] Zur Erhöhung der Speicherkapazität von Festplatten wird unter anderem der Spurbstand bzw. die Spurbreite der einzelnen konzentrischen Spuren auf der Platte verkleinert. Damit geht eine Verkleinerung der Schreib- und Leseköpfe einher. Ohne neue Speichertechniken ist jedoch mittlerweile eine Verkleinerung des Schreibkopfs kaum noch möglich, da anderenfalls das erzeugbare Magnetfeld zu klein für eine ausreichende Magnetisierung der einzelnen Bits auf der Speicherplatte ist. Die minimale Spurbreite eines aktiven Schreibvorgangs ist also limitiert.

[0006] Als Lösungsweg ist die Technik „Shingled Magnetic Recording“ (SMR) bekannt, bei der die Spuren vom Schreibkopf überlappend geschrieben werden, vergleichbar mit Dachschindeln. Die Patente US 8223458 B2 und US 8432633 B2 beschreiben weite Details dieser Technik.

[0007] Beim SMR werden die überlappenden Spuren in Abschnitte, sogenannte Bänder eingeteilt, welche jeweils durch einen Distanzbereich oder eine Distanzspur von einander getrennt sind (inter-band gaps, guard bands). Wenn der Inhalt eines Sektors in einem bereits belegten Bereich der Festplatte geändert werden soll, so werden alle nachfolgenden Spuren des jeweiligen Bandes zunächst ausgelesen und gepuffert und anschließend wieder neu geschrieben, da anderenfalls der breite Schreibkopf die nachfolgenden Spuren zerstören würde. Dies wird als read-modify-write bezeichnet oder als Write-Amplification.

[0008] Eingelesene Sektoren werden einer so genannten Vorwärts-Fehlerkorrektur (forward error correction) unterzogen. Dazu sind im Sektor zusätzliche Fehlerkorrektur-Informationen (error-correcting code) enthalten. Dennoch können die Sektoren so schlecht lesbar sein, dass z.B. mehrere Leseversuche notwendig sind, und/oder die Fehlerkorrektur kritisch ist. Ist der Sektor nicht mehr lesbar, so wird ein CRC-Fehler gemeldet.

[0009] Im Rahmen eines Tests der Festplatte beim Hersteller können fehlerhafte oder unzuverlässige Sektoren aufgespürt werden und in einer P-Liste (Primary Defects) vermerkt werden, so dass die Festplatte diese defekten Sektoren überspringt.

[0010] Des weiteren „reparieren“ moderne Festplatten fehlerhafte Sektoren selbständig im regulären Betrieb. Der Festplattencontroller kann defekte oder schlecht lesbare Sektoren ausblenden und in einen Reservebereich (Sector Spare Area) einblenden. Der defekte Sektor wird remappt, d.h. an einer anderen Stelle gespeichert. Der Verweis auf die Ersatz-Sektoren wird in einer G-Liste (Grown Defects) gespeichert. Für den Computer erscheint der Sektor weiterhin fehlerfrei. Jedoch können Sektoren, die

sich in der G-Liste befinden, die Zugriffszeiten der Festplatte nachteilig beeinflussen, und wenn die G-Liste vollständig gefüllt ist, ist es Zeit die Festplatte auszutauschen. Per S.M.A.R.T. wird dieser Vorgang protokolliert.

[0011] Die Patentanmeldung US 2012/0082019 A1 beschreibt eine weitere Methode wie mit defekten Sektoren verfahren werden kann. Auch die Patentschrift US 7408731 B2 beschreibt ein Verfahren zum Auswechseln defekter Spuren, wobei sowohl überlappende Spuren als auch konventionelle Spuren benötigt werden. Per SMR geschriebene Daten lassen sich mit dem in der Patentanmeldung US 2013/0148225 A1 vorgeschlagenen Verfahren verifizieren. Mittels der im Patent US 8179627 B2 vorgestellten Methode lassen sich SMR-Bänder flexibel ändern.

Darstellung der Erfindung

[0012] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zu schaffen, welches es ermöglicht, bei Festplatten mit Shingled Magnetic Recording den Reservebereich für defekte Sektoren (Sector Spare Area) zu verkleinern oder komplett entfallen zu lassen. Des Weiteren sollen die Zugriffszeiten auf Sektoren aus der G-Liste (Grown Defects) reduziert werden. Weitere Ziele und Vorteile können der Beschreibung zu den Ausführungsformen entnommen werden.

[0013] Die Aufgabe wird mit den Merkmalen aus den unabhängigen Ansprüchen 1 und 14 gelöst, welche ein Verfahren und eine Vorrichtung beschreiben. Vorteilhafte Ausgestaltungen, mögliche Alternativen und optionale Funktionalitäten sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0014] Den Ansprüchen entsprechend, erfolgt der Austausch eines defekten Sektors, indem ein Distanzbereich auf die Position der Spur (oder der Spuren) mit dem defekten Sektor verlegt wird und indem die Grenze zwischen den Bändern auf die Höhe dieses neu positionierten Distanzbereichs verschoben wird. Es entstehen Bänder mit variabler Spuranzahl, welche durch die nunmehr als Distanzbereich fungierende defekte Spur (oder Spuren) getrennt werden. Es kann auch mit zusätzlichen Distanzbereichen und einer variablen Anzahl von Bändern gearbeitet werden.

[0015] Die genannten und viele weitere Gesichtspunkte der Erfindung werden dem Fachmann nach dem Lesen der detaillierten Beschreibung zu den Ausführungsformen offenkundig.

Figurenliste

[0016] Weitere Ziele, Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens ergeben sich aus den Zeichnungen. Dabei bilden, unabhängig von der Zusammenfassung in einzelnen Ansprüchen, alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung.

Fig. 1 SMR-Festplattenlaufwerk

Fig. 2 Plattenstapel in der Seitenansicht

Fig. 3 Aufteilung der Spuren in Bänder

Fig. 4 Schreiben von überlappenden Spuren beim SMR

Fig. 5 Lesen der überlappenden Spuren beim SMR

Fig. 6 Defekter Sektor im 2. Band auf Zylinder 006

Fig. 7 Austausch des defekten Sektors durch Verschieben der oberen Distanzspur

Fig. 8 Defekter Sektor im 2. Band auf Zylinder 007

Fig. 9 Austausch des defekten Sektors durch Verschieben der unteren Distanzspur

Fig. 10 Defekter Sektor im 2. Band auf Zylinder 008

Fig. 11 Austausch des defekten Sektors ohne read-modify-write

Fig. 12 Tabelle (G-Liste) für rekonfigurierte Bänder (Beispiel gemäß **Fig. 6** und **Fig. 7**)

Fig. 13 Tabelle (G-Liste) für rekonfigurierte Bänder (Beispiel gemäß **Fig. 10** und **Fig. 11**)

Fig. 14 Flussdiagramm der ersten Ausführungsform

Fig. 15 Zwei defekte Sektoren im 2. Band

Fig. 16 Austausch von zwei defekten Sektoren in einem Band

Fig. 17 Angleichen der Spuranzahl der benachbarten Bänder

Fig. 18 Zwei defekte Sektoren auf benachbarten Spuren im 3. Band

Fig. 19 Austausch von defekten Sektoren auf benachbarten Spuren

Fig. 20 Drei defekte Sektoren im 5. Band

Fig. 21 Austausch von drei defekten Sektoren in einem Band

Fig. 22 Plattenoberfläche mit geometrischen Sektoren

Fig. 23 Austausch von defekten Sektoren durch Verschieben einzelner Sektoren

Fig. 24 Defekter Sektor im 1. Band auf Zylinder 002

Fig. 25 Direkter Austausch des defekten Sektors ohne Korrektur der sequenziellen Reihenfolge

Fig. 26 Innerste Zone eines Plattenstapels mit drei Bändern

Fig. 27 Innerste Zone eines Plattenstapels mit diversen unzuverlässigen Sektoren

Fig. 28 Distanzbereiche werden bevorzugt auf Spuren mit vielen Fehlern positioniert

Fig. 29 Flussdiagramm für ein heuristisches Optimierungsverfahren

Fig. 30 Defekt im 2. Band bei einem Lesekopf- zu Schreibkopf-Verhältnis von 1:3

Fig. 31 Austausch von zwei benachbarten Defekten mit einem Distanzbereich

Ausführung der Erfindung

[0017] **Fig. 1** zeigt ein SMR-Festplattenlaufwerk 1. Die Platten mit einer magnetischen Schicht auf den Plattenoberflächen 2 drehen um die Drehachse der Spindel 7, an der die einzelnen Platten als Plattenstapel befestigt sind. Die zugehörigen Schreibleseköpfe 8 des Plattenstapels steuern eine Zylinderposition an und schreiben/lesen auf/von den Spuren 3 dieses Zylinders. Jede Spur 3 ist in Sektoren 6 unterteilt. Der Actuator 9 bewegt den Schreiblesekopf 8 zwischen dem äußersten Zylinder 4 und dem innersten Zylinder 5 an die gewünschte Position. Der Actuator 9 wird vom Festplattencontroller 10 gesteuert. Der Festplattencontroller 10 verfügt über einen Speicher 11. Der Speicher 11 des Festplattencontrollers 10 beinhaltet unter anderem eine P-Liste und eine G-Liste und puffert Sektoren 6.

[0018] **Fig. 2** zeigt einen Plattenstapel 13 in der Seitenansicht, welcher in diesem Beispiel aus drei Platten besteht. Jede Platte hat mit der Ober- und Unterseite zwei magnetische Schichten. Mithin gibt es im Beispiel sechs Plattenoberflächen 2. Der Zylinder 12 umfasst alle konzentrischen Spuren 3, die übereinander im Plattenstapel 13 liegen. Den größten Durchmesser hat der äußerste Zylinder 4.

[0019] Für das Shingled Magnetic Recording werden die Spuren 3 auf den Plattenoberflächen 2 in Bänder gruppiert. Dies ist in **Fig. 3** dargestellt. Alle Spuren 3 sind in Form einer Zylinder Nummer von Null bis m durchnummeriert. In diesem Beispiel beginnt das 1. Band beim äußersten Zylinder 4. Das letzte Band n endet beim innersten Zylinder 5. Jedes Band besteht hier beispielsweise aus acht

Spuren 3. Zwischen den einzelnen Bändern befindet sich jeweils ein Distanzbereich 14 (inter-band gaps, guard bands).

Die Notwendigkeit des Distanzbereichs 14 verdeutlicht **Fig. 4**, welche ein Band 18 für Shingled Magnetic Recording zusammen mit einem passenden Schreiblesekopf 8 zeigt.

[0020] Dargestellt ist im Einzelnen ein kurzer und stark vergrößerter Ausschnitt aus mehreren Sektoren 6, deren Daten auf ihre jeweiligen Spuren 3 geschrieben sind. Das Band 18 besteht in diesem Beispiel aus acht Spuren 3 und zwar aus den Spuren der Zylinder (Cyl.) 101 bis 108. Die punktiert dargestellte Spur 3 auf Zylinder 109 ist ein Distanzbereich 14. In der dargestellten Konfiguration belegt der Distanzbereich 14 eine einzelne Spur 3 und wird im folgenden als Distanzspur 14 bezeichnet. In diesem Beispiel und in den folgenden Ausführungsformen entspricht die Breite des Distanzbereichs 14 somit der Spurbreite 17 oder ist ein Vielfaches der Spurbreite 17.

[0021] Die Distanzspur 14 wird benötigt, um das Band 18 abzuschließen bzw. abzugrenzen, so dass das breite Schreibelement 15 keine Spuren 3 eines nachfolgenden Bandes 18 überschreibt. Der Schreiblesekopf 8 besteht in diesem Beispiel aus einem Schreibelement 15, welches doppelt so breit ist wie das Leseelement 16. Der Pfeil 19 gibt die relative Bewegungsrichtung des Schreiblesekopfes 8 an. Gemäß **Fig. 4** schreibt das aktive Schreibelement 15 die gemustert dargestellten Sektor-Daten 6. Um wie dargestellt, die Spur 3 auf Zylinder 108 mit Sektor-Daten 6 zu beschreiben, muss das breite Schreibelement 15 auf den Spuren 3 des Zylinderpaars (108, 109) positioniert werden.

[0022] In der Zeichnung werden zwei verschiedene Muster verwendet, um die Sektor-Daten 6 auf den einzelnen Spuren 3 besser kenntlich zu machen. Die Nummerierung #1 bis #8 verdeutlicht die Reihenfolge, in der die einzelnen Spuren 3 mit dem überbreiten Schreibelement 15 beschrieben werden, damit eine überlappende Struktur entsteht. Durch das Überlappen der geschriebenen Sektor-Daten 6 halbiert sich die effektive Spurbreite 17.

[0023] In der Zeichnung sind die kurzen Ausschnitte aus den Sektor-Daten 6 entlang der Schreibrichtung 19 leicht versetzt dargestellt, damit die Überlappungen sichtbar werden. Reale Sektoren 6 setzen sich in beide Richtungen entlang der Spuren 3 fort.

[0024] Aus dem Beispiel gemäß **Fig. 4** ist ersichtlich, dass falls der Sektor 6 auf der ersten Spur (Cyl. 101) geändert bzw. neu geschrieben werden soll, die Daten aller nachfolgenden Spuren 3 bis zur Distanzspur 14 zunächst ausgelesen werden müssen, in einem Speicher 11 gepuffert werden müssen

und anschließend zurückgeschrieben werden müssen, da beim Schreibvorgang der Inhalt der jeweils nachfolgenden Spur 3 zerstört wird. Dies ist die sogenannte Write-Amplification.

[0025] In **Fig. 5** ist dargestellt, wie aus dem vollständig belegten Band 18 die Spur auf Zylinder 102 ausgelesen werden kann. Der Schreiblesekopf 8 wird dazu so positioniert, dass sich das aktive Leseelement 16 auf dem Zylinder 102 befindet. Die relative Bewegungsrichtung des Schreiblesekopfes 8 ist mit dem Pfeil 19 angegeben.

[0026] Das Leseelement 16 ist für die Spurbreite 17 der Spuren 3 ausgelegt bzw. optimiert. Dies gilt auch für die Spurbreite 17 des Schreiblelements 15, welches in diesem Beispiel für das Schreiben von doppelt so breiten Datenspuren ausgelegt ist. Die in dieser Patentschrift verwendete Definition einer Spurbreite 17 bei Shingled Magnetic Recording beruht auf der Breite der verbleibenden, lesbaren Spur 3 nach dem Überlappen durch die Daten der benachbarten Spur 3.

[0027] Sektoren 6 sind Abschnitte einer Spur 3. Die Begriffe „Sektor“ und „Spur“ sind daher technisch eng verwandt und je nach gewünschter Ausführungsform oft gleichermaßen zutreffend. Häufig steht der Überbegriff „Spur“ auch stellvertretend für einen Abschnitt aus der betrachteten Spur 3, mithin für einen Sektor 6. Immer wenn von einer Spur 3 die Rede ist, kann sich dies auch nur auf einen darauf befindlichen Sektor 6 beziehen. Umgekehrt, wenn von einem Sektor 6 die Rede ist, kann die betreffende Operation alternativ auch auf die gesamte Spur 3 angewendet werden.

[0028] Die Begriffe „Zylinder“ (bzw. Zylindernummer) und „Spur“ (bzw. Spurnummer) sind ebenfalls technisch eng verwandt. Immer wenn davon die Rede ist, dass ein Vorgang auf einer Spur 3 stattfindet, so betrifft dies in gleicher Weise auch den zugehörigen Zylinder 12. Umgekehrt, wenn eine Zylindernummer erwähnt wird, so betrifft dies implizit auch mindestens eine der Spuren 3 auf diesem Zylinder 12.

Wenn davon die Rede ist, dass eine Spur 3 oder ein Band 18 „weiter oben“, „oberhalb“ oder „vorherig“ ist, so ist damit gemeint, dass sich diese Spur 3 oder dieses Band 18 weiter außen auf den konzentrischen Spuren 3 der Plattenoberfläche 2 befindet und/oder eine kleinere Zylindernummer hat. Ist eine Spur 3 oder ein Band 18 „weiter unten“, „unterhalb“ oder „nachfolgend“, so befindet sich diese Spur 3 oder dieses Band 18 weiter innen auf den konzentrischen Spuren 3 der Plattenoberfläche 2 und/oder hat eine größere Zylindernummer.

Erste Ausführungsform

[0029] **Fig. 6** bis **Fig. 14** zeigen eine erste Ausführungsform. Wie im Beispiel gemäß **Fig. 4** und **Fig. 5** wird auch hier ein Schreiblesekopf 8 verwendet, dessen Schreiblelement 15 doppelt so breit ist wie das Leseelement 16.

[0030] Die drei gezeigten Bänder 18 der ersten Ausführungsform bestehen in der Ausgangssituation aus je vier Spuren 3. Eine beliebige andere Breite ist möglich. Die Breite von vier Spuren wird hier aufgrund der besseren Darstellbarkeit gewählt.

[0031] Zwischen den Bändern 18 befinden sich die Distanzspuren 14. Im Beispiel sind alle Bänder 18 vollständig belegt. Jede Spur 3 ist mit Sektor-Daten 6 beschrieben, markiert mit den Buchstaben „A“ bis „L“.

[0032] Im 2. Band auf der Spur des Zylinders 006 befindet sich gemäß **Fig. 6** ein nur noch schlecht lesbarer Sektor 20 („Fehler“), markiert mit dem Buchstaben „F“. Diese unzuverlässige Stelle 20 ist während des Betriebs der Festplatte 1 erkannt worden.

[0033] Wenn ein Sektor 6 im Betrieb schlecht lesbar ist, wird er üblicherweise remappt, d.h. an einer anderen Stelle gespeichert. Hierfür ist ein Reservebereich (Sector Spare Area) vorgesehen. Der Festplattencontroller 10 blendet den defekten Sektor 20 aus und blendet stattdessen einen Sektor 6 aus dem Reservebereich ein (G-List Remapping). Dieses Verfahren ist Stand der Technik.

[0034] In der ersten Ausführungsform und in weiteren Ausführungsformen kann der Reservebereich für das G-List Remapping hingegen kleiner ausfallen oder ganz entfallen. Stattdessen werden erfindungsgemäß defekte Sektoren 20 zur Distanzspur 14 umdeklariert. Der Anteil der Plattenoberfläche 2, welcher für die Distanzspuren 14 benötigt wird, fungiert somit gleichzeitig als Reservebereich für defekte Sektoren 20. Damit eine Spur 3 mit einem defekten Sektor 20 als Distanzspur 14 fungieren kann, wird die Distanzspur 14 auf die Position der Spur 3 mit diesem defekten Sektor 20 verlegt, und die Grenze zwischen den Bändern 18 wird auf die Höhe dieser neu positionierten Distanzspuren 14 verschoben. Dadurch entstehen zwei Bänder 18 mit variabler Spuranzahl, welche durch die nunmehr als Distanzspur 14 fungierende defekte Spur getrennt werden.

[0035] Basierend auf der Ausgangssituation aus **Fig. 6** wird in **Fig. 7** das 2. Band „repariert“, indem im Plattenstapel 13 alle Distanzspuren 14 vom Zylinder 004 auf den Zylinder 006 verlegt werden - welcher den defekten Sektor 20 enthält. Das 1. Band vergrößert sich somit von vier Spuren auf sechs Spuren (Cyl. 000 bis Cyl. 005) und das 2. Band verklei-

nert sich von vier Spuren auf zwei Spuren (Cyl. 007 und Cyl. 008). Weiterhin sind auch nach der Modifikation alle Spuren 3 der voll belegten Bänder 18 untergebracht.

[0036] Für die Modifikation der Spuranzahl des 1. und 2. Bandes ist es in diesem Beispiel ausreichend, zwei Zylinder 12 des Plattenstapels 13 neu zu beschreiben: Die Sektor-Daten „E“ und alle weiteren Sektoren 6 des Zylinders 005 werden zunächst ausgelesen und dann mit dem doppelt so breiten Schreibelement 15 auf alle Spuren 3 des Zylinderpaars (004, 005) geschrieben. Anschließend werden die schlecht lesbaren Sektor-Daten „F“ sowie alle weiteren Sektoren 6 des Zylinders 006 ausgelesen und mit dem Schreibelement 15 auf das Zylinderpaar (005, 006) geschrieben, wobei im Plattenstapel 13 die Spuren auf Zylinder 006 als neue Distanzspuren 14 fungieren.

[0037] Die sequenzielle Reihenfolge der Sektor-Daten „A“ bis „L“ bleibt gemäß **Fig. 6** und **Fig. 7** auch nach der Rekonfiguration erhalten.

[0038] Je nachdem, ob sich ein defekter Sektor 20 in der oberen oder in der unteren Hälfte des betroffenen Bandes 18 befindet, wird die obere oder die untere Grenze des Bandes 18 verschoben. **Fig. 8** zeigt ein Beispiel, bei dem sich der defekte Sektor auf Zylinder 007 des 2. Bandes befindet und somit in der unteren Hälfte dieses Bandes 18.

[0039] Zur „Reparatur“ werden im Bereich, der unmittelbar von der Verschiebung der unteren Band-Grenze betroffen ist, alle Daten vom gesamten Zylinder 12 ausgelesen, im Speicher 11 gepuffert und um eine Spur verschoben zurückgeschrieben. Im Beispiel gemäß **Fig. 8** und **Fig. 9** werden die Sektor-Daten 6 aller Spuren 3 im Plattenstapel 13 zwischen einschließlich Zylinder 007 und Zylinder 013 eingelesen und im Speicher 11 gepuffert. Anschließend werden die Sektor-Daten 6 der Zylinder 007 und 008, verschoben um eine Spur nach unten, auf die Spuren der Zylinder 008 und 009 zurückgeschrieben. In dieser Ausführungsform werden die Daten um eine Spur 3 verschoben, da der Distanzbereich 14 eine Spur 3 breit ist: Die Sektor-Daten G verschieben sich von Zylinder 007 auf Zylinder 008 und die Sektor-Daten „H“ verschieben sich von Zylinder 008 auf 009.

[0040] Abschließend müssen, aufgrund der überlappenden Struktur der Spuren 3, die Sektor-Daten 6 von den restlichen Zylindern 12 des 3. Bandes ebenfalls neu geschrieben werden (Zylinder 010 bis Zylinder 013), bis die Distanzspur 14 auf Zylinder 014 erreicht ist. Die Sektor-Daten „I“, „J“, „K“ und „L“ werden mithin neu geschrieben, jedoch nicht in ihrer Position verschoben.

[0041] Auch in diesem Fall sorgt das geschilderte Verfahren dafür, dass die sequenzielle Reihenfolge der Sektor-Daten („A“ bis „L“) nach der Rekonfiguration erhalten bleibt.

[0042] Im günstigsten Fall sind für die Rekonfiguration keinerlei Lese- und Schreibvorgänge notwendig: **Fig. 10** zeigt einen defekten Sektor „H“ auf Zylinder 008. Gemäß **Fig. 11** werden zur „Reparatur“ die Distanzspuren 14 des Plattenstapels 13 vom Zylinder 009 auf den Zylinder 008 verlegt und die untere Grenze des 2. Bandes wird um eine Spur nach oben verschoben, so dass das 2. Band nunmehr aus drei Spuren besteht und das 3. Band aus fünf Spuren. Die Position der Sektor-Daten „H“ wird vom Zylinder 008 auf Zylinder 009 verlegt. Da die Sektor-Daten „H“ (und alle anderen Sektoren 6 auf diesem Zylinder 12) aufgrund des breiten Schreibelements 15 bereits auf die ehemalige Distanzspur 14 des Zylinders 009 geschrieben worden ist, ist für die Rekonfiguration in diesem Fall kein Lese- und Schreibvorgang notwendig.

[0043] Aus der rekonfigurierten Anordnung der Bänder 18 gemäß **Fig. 7**, **Fig. 9** und **Fig. 11** ergibt sich kein nachteiliger Einfluss auf die Performance bei Lesevorgängen. Dies unterscheidet die erste Ausführungsform von konventionellen Lösungen mit einem separaten Reservebereich (Sector Spare Area). Insbesondere sind die Sektoren 6 nach wie vor in der selben Reihenfolge auf den Spuren 3 abgelegt. Demnach kann das Leseelement 16 große Dateien kontinuierlich von Spur zu Spur einlesen, ohne dass der Schreiblesekopf 8 größere Distanzen bei den Spurwechseln zurücklegen muss. Die erste Ausführungsform und weitere nachfolgende Ausführungsformen verfügen mithin trotz defekter Sektoren 20 über minimale Spurwechselzeiten, welche einer fehlerfreien SMR-Festplatte 1 mit intakten Sektoren 6 entspricht. Bei der Inanspruchnahme eines konventionellen Reservebereichs kann es hingegen zu größeren Spurwechselzeiten kommen.

[0044] Konventionelle Festplatten speichern in der G-Liste (Grown Defects) einen Verweis auf einen Ersatz-Sektor aus einem Reservebereich, welcher den defekten Sektor ersetzt (Remapping). In der ersten Ausführungsform werden in der G-Liste zusätzliche Informationen über die Rekonfiguration der Bänder 18 gespeichert. Dazu ist es ausreichend, pro Band 18 die Zylindernummer der nachfolgenden Distanzspur 14 zu speichern. Der Anfang eines Bandes 18 lässt sich ermitteln, indem zur Zylindernummer der vorherigen Distanzspur 14 die Zahl Eins addiert wird. Das Ende eines Bandes 18 lässt sich ermitteln, indem von der Zylindernummer der nachfolgenden Distanzspur 14 die Zahl Eins subtrahiert wird.

[0045] Fig. 12 zeigt den Vorgang der Rekonfiguration für das Beispiel aus Fig. 6 und Fig. 7. Dargestellt sind die ersten Einträge in einer G-Liste für Bandgrenzen. In der Ausgangssituation sind die Bandnummern den Zylindernummern 004, 009 und 014 der Distanzspuren zugeordnet. Nach der Rekonfiguration ändert sich der erste Eintrag von Zylinder 004 auf Zylinder 006.

[0046] Fig. 13 zeigt den Vorgang der Rekonfiguration für das Beispiel aus Fig. 10 und Fig. 11. Hier ändert sich der zweite Eintrag von Zylinder 009 auf Zylinder 008.

[0047] Neben dem Remapping der Bandgrenzen und der Distanzbereiche 14 müssen außerdem Verweise zur neuen Position von verschobenen Sektor-Daten 6 (oder Spuren 3) in der G-Liste gespeichert werden. Die Vorgehensweise entspricht einem Verweis auf Sektoren 6 in einem Reservebereich, nur dass sich das Ziel des Verweises bei der ersten Ausführungsform und bei weiteren Ausführungsformen im regulären Daten-Bereich der SMR-Festplatte 1 befindet.

[0048] Eine bekannte Technik für diese Vorgehensweise ist das Logical Block Addressing (LBA), bei der ein logischer Sektor auf einen physikalischen Sektor abgebildet wird. Wenn beispielsweise der mit „E“ markierte Sektor in Fig. 6 die logische Adresse „3457“ hat, so wird diese Adresse per LBA einer physikalischen Position auf einer Spur des Zylinders 005 zugeordnet. Nach der Rekonfiguration gemäß Fig. 7 wird der logischen Adresse „3457“, gemäß den Einträgen in der G-Liste, hingegen eine physikalische Position auf der Spur des Zylinders 004 zugeordnet, die in diesem Fall zuvor als Distanzspur 14 eingesetzt worden ist.

[0049] Fig. 14 zeigt das Flussdiagramm der ersten Ausführungsform. Dabei ist d die Zylinder Nummer eines defekten Sektors 20. Die Zylinder Nummer a ist die Position der oberen Distanzspur 14, welche an der oberen Grenze des betroffenen Bandes 18 angrenzt und b ist die Position der unteren Distanzspur 14, welche an der unteren Grenze des Bandes 18 angrenzt.

[0050] Im Rahmen der Verzweigung 21 wird zunächst geprüft, ob der defekte Sektor 20 in der oberen oder in der unteren Hälfte des Bandes 18 liegt:

$$d \leq \frac{a+b}{2}$$

[0051] Trifft die Ungleichung zu, so wird der defekte Sektor 20 der oberen Hälfte zugeordnet und mit Operation 22 werden alle Sektor-Daten 6 der Spuren 3 eingelesen und im Speicher 11 des Festplattencont-

rollers 10 zwischengespeichert, die im Plattenstapel 13 zwischen der Zylinder Nummer a der oberen Distanzspur 14 und einschließlich der Zylinder Nummer d des defekten Sektors 20 liegen.

[0052] Als nächstes wird in Operation 23 die Distanzspur 14 auf die Zylinder Nummer d verlegt: $a = d$. Dazu wird gemäß der Beschreibung zu Fig. 12 und Fig. 13 der Eintrag in der G-Liste geändert, womit gleichzeitig auch die Grenzen der Bänder 18 verschoben sind.

[0053] Abschließend werden mit Operation 24 die zwischengespeicherten Sektoren 6 auf allen Plattenoberflächen 2 des Plattenstapels 13 zurückgeschrieben, und zwar verschoben um jeweils eine Zylinder Nummer nach oben:

$$c_{neu} = c_{alt} - 1$$

wobei c die Zylinder Nummer des jeweiligen Sektors 6 ist.

[0054] Liegt der defekte Sektor 20 in der unteren Hälfte, so werden in Operation 25 alle Sektor-Daten 6 im Plattenstapel 13 eingelesen und im Speicher 11 zwischengespeichert, beginnend mit der Zylinder Nummer d des defekten Sektors 20 bis zum Ende des nachfolgenden Bandes 18.

[0055] In Operation 26 erfolgt die Rekonfiguration der Bänder. Die bisherige Zylinder Nummer der unteren Distanzspur 14 wird als Variable b_{alt} zwischengespeichert:

$$b_{alt} = b$$

[0056] Dann wird die untere Distanzspur 14 auf die Zylinder Nummer d verlegt, indem der Eintrag in der G-Liste geändert wird:

$$b = d$$

[0057] Abschließend werden mit Operation 27 die zwischengespeicherten Sektoren 6 auf allen Plattenoberflächen 2 des Plattenstapels 13 zurückgeschrieben.

[0058] Bis einschließlich zur ehemaligen Zylinder Nummer der Distanzspur b_{alt} wird jeder Sektor 6 im Plattenstapel 13 um eine Zylinder Nummer nach unten verschoben:

$$c_{neu} = c_{alt} + 1$$

wobei c die Zylinder Nummer des jeweiligen Sektors 6 ist.

[0059] Die restlichen zwischengespeicherten Sektoren 6 werden auf ihre ursprünglichen Zylinder 12 zurückgeschrieben.

Zweite Ausführungsform

[0060] In der ersten Ausführungsform wird bei einem neu erkannten defekten Sektor 20 die obere oder die untere Grenze der betroffenen Bänder 18 im gesamten Plattenstapel 13 angepasst, mithin auf allen Plattenoberflächen 2.

[0061] In einer zweiten Ausführungsform werden hingegen nur die Grenzen der Bänder 18 auf der betroffenen Plattenoberfläche 2 angepasst. Dies bedeutet, dass jede Plattenoberfläche 2 individuell positionierte Bänder 18 und Distanzspuren 14 verwendet, die auf die lokalen Gegebenheiten (d.h. defekte Sektoren 20) angepasst sind und die sich von Plattenoberfläche 2 zu Plattenoberfläche 2 im Plattenstapel 13 unterscheiden können. Die Menge an Daten, die während einer Rekonfiguration zwecks „Reparatur“ eines defekten Sektors 20 eingelesen und neu geschrieben werden muss, reduziert sich in der zweiten Ausführungsform auf eine Plattenoberfläche 2.

[0062] Die Bänder 18 und rekonfigurierten Sektoren 6 werden analog zur Vorgehensweise in der ersten Ausführungsform in einer G-Liste verwaltet, wobei dies getrennt und unabhängig für jede Plattenoberfläche 2 geschieht.

[0063] Gemäß **Fig. 15** haben die Bänder 18 im Beispiel der zweite Ausführungsform eine Breite von sechs Spuren 3. Dies ist die Breite im Ausgangszustand, d.h. ohne defekte Sektoren 20.

[0064] Auf Zylinder 007 und Zylinder 010 befinden sich je ein defekter Sektor 20. In diesem Beispiel liegen die beiden defekten Sektoren 20 mithin auf unterschiedlichen Spuren 3 der selben Plattenoberfläche 2 und insbesondere liegen beide fehlerhaften Spuren im selben Band 18. Dennoch kann der Defekt „repariert“ werden, indem sowohl die obere Grenze als auch die untere Grenze des 2. Bandes verschoben werden.

[0065] **Fig. 16** zeigt die „reparierten“ Bänder 18 nach der Rekonfiguration, wobei die Rekonfiguration nur für die betroffene Plattenoberfläche 2 erfolgt, mithin für die Plattenoberfläche 2 mit den zwei defekten Sektoren 20. Die Positionen der Bänder 18 und Distanzspuren 14 auf allen anderen Plattenoberflächen im Plattenstapel 13 bleiben unverändert.

[0066] Auf der betroffenen Plattenoberfläche 2 ist gemäß **Fig. 16** die Distanzspur 14 oberhalb des 2. Bandes von Zylinder 006 auf Zylinder 007 verlegt worden, mithin auf die Spur 3 mit dem defekten Sektor 20. Gleichmaßen ist die Distanzspur 14 unterhalb des 2. Bandes von Zylinder 013 auf Zylinder 010 verlegt worden. Dementsprechend reduziert sich die Breite des 2. Bandes auf zwei Spuren und die Breite

des 1. Bandes erhöht sich auf sieben Spuren. Die Breite des 3. Bandes erhöht sich auf neun Spuren. Entsprechend der Vorgehensweise gemäß der ersten Ausführungsform wird die neue Position einer jeden Distanzspur 14 (und damit mittelbar auch die Position und Breite der Bänder 18) in einer G-Liste vermerkt.

[0067] Die zwei ehemaligen Distanzspuren 14 auf Zylinder 006 und 013 stehen nach der Rekonfiguration als Ersatzspuren zur Verfügung, so dass sich trotz der vollständig belegten Bänder 18 alle Sektoren 6 unterbringen lassen.

[0068] Grundsätzlich werden in den Bereichen, die unmittelbar von der Verschiebung der Band-Grenzen betroffenen sind, alle Daten von den Spuren 3 ausgelesen, im Speicher 11 gepuffert und um die Breite des Distanzbereichs 14 verschoben zurückgeschrieben. Dies entspricht der Vorgehensweise aus der ersten Ausführungsform, wobei die Modifikation diesmal sowohl an der oberen als auch an der unteren Grenze des 2. Bandes erfolgt.

[0069] Im konkreten Beispiel aus **Fig. 15** und **Fig. 16** werden die Sektor-Daten „G“ und alle weiteren Sektoren 6 auf der Spur des Zylinders 007 eingelesen, gepuffert und mit dem breiten Schreibelement 15 auf die Spuren des Zylinderpaars (006, 007) zurückgeschrieben, wobei die defekte Spur auf Zylinder 007 als neue Distanzspur 14 fungiert.

[0070] An der unteren Grenze des 2. Bandes werden die Sektor-Daten 6 aller Spuren 3 von einschließlich Zylinder 010 bis einschließlich Zylinder 019 eingelesen und im Speicher 11 gepuffert. Anschließend werden die Sektor-Daten 6 von den Spuren der Zylinder 010 bis 012, verschoben um eine Spur nach unten, auf die Spuren der Zylinder 011 bis 013 zurückgeschrieben. Die in **Fig. 15** und **Fig. 16** dargestellten Sektor-Daten „J“ verschieben sich somit von Zylinder 010 auf Zylinder 011. Die Sektor-Daten „K“ verschieben sich von Zylinder 011 auf 012 und die Sektor-Daten „L“ von Zylinder 012 auf 013. Abschließend müssen, aufgrund der überlappenden Struktur der Spuren 3, die Sektoren 6 von den restlichen Spuren des 3. Bandes ebenfalls neu geschrieben werden (Zylinder 014 bis Zylinder 019), bis die Distanzspur 14 auf Zylinder 020 erreicht ist. Die Sektor-Daten „M“, „N“, „O“, „P“, „Q“ und „R“ werden mithin neu geschrieben, jedoch nicht in ihrer Position verschoben. Die sequenzielle Reihenfolge („A“ bis „X“) bleibt nach der Rekonfiguration erhalten.

[0071] Das 3. Band ist nach der Rekonfiguration gemäß **Fig. 16** mit neun Spuren deutlich breiter. Um zu vermeiden, dass bei verteilten Schreibzugriffen auf das 3. Band die Write-Amplifikation übermäßig groß ist, kann optional eine Umverteilung der

Spuren 3 auf die Nachbarbänder erfolgen. Dies ist in **Fig. 17** dargestellt: Die Distanzspur 14 zwischen dem 3. Band und dem 4. Band ist von Zylinder 020 auf Zylinder 018 um zwei Spuren nach oben verschoben worden. Das Auslesen, Puffern und erneute Schreiben der Sektor-Daten 6 zwecks Rekonfiguration im betroffenen Bereich erfolgt auf die gleiche Weise wie für die untere Grenze des 2. Bandes (gemäß **Fig. 16**). Das 3. Band besteht nunmehr aus sieben Spuren und hat somit nur eine Spur mehr als im Ausgangszustand, so dass die zusätzliche Write-Amplifikation bei verteilten Schreibzugriffen nicht ins Gewicht fällt.

[0072] Das 4. Band besteht in der Darstellung aus **Fig. 17** aus acht Spuren. Um auch hier eine optimale Verteilung der zusätzlichen Spuren 3 zu erreichen, kann optional die Distanzspur 14 an der unteren Grenze des 4. Bandes von Zylinder 027 auf Zylinder 026 verlegt werden, wodurch das 4. Band um eine Spur schmaler wird und das 5. Band um eine Spur breiter wird.

[0073] Im Ergebnis haben durch diese zusätzliche Optimierung das 1. Band, das 3. Band, das 4. Band und das 5. Band eine zusätzliche Spur aufgenommen und kompensieren somit das in der Breite auf zwei Spuren reduzierte 2. Band.

[0074] **Fig. 18** zeigt eine Situation, in der sich defekte Sektoren 20 auf zwei direkt benachbarten Spuren 3 befinden und zwar die Spuren der Zylinder 017 und 018, welche sich beide im 3. Band befinden. Auch in diesem Fall ist eine „Reparatur“ möglich, wie in **Fig. 19** dargestellt: Die Distanzspur 14 zwischen dem 2. und 3. Band wird vom Zylinder 013 auf Zylinder 017 verschoben und die Distanzspur 14 zwischen dem 3. und 4. Band wird vom Zylinder 020 auf Zylinder 018 verschoben, indem die entsprechenden Einträge in der G-Liste geändert werden. Das 3. Band wird faktisch komplett aufgelöst. Aus den Einträgen in der G-Liste lässt sich ableiten, dass es Null Spuren enthält. In der zweiten Ausführungsform wird die ursprüngliche Nummerierung der Bänder 18 dennoch beibehalten. In anderen Ausführungsformen können die Bänder 18 auch umnummeriert werden, so dass aus dem 4. Band ein neues 3. Band wird.

[0075] Des Weiteren zeigt das Beispiel gemäß **Fig. 19**, wie die vormaligen Daten des leeren 3. Bandes gleichmäßig auf das 1. Band, das 2. Band und das 4. Band verteilt werden, so dass jedes dieser drei Bänder 18 mit acht Spuren pro Band 18 zwei zusätzliche Spuren 3 enthält. Die Distanzspur 14 zwischen dem 1. und 2. Band wird dazu vom Zylinder 006 auf den Zylinder 008 verschoben. Diese Vorgehensweise entspricht dem Beispiel aus **Fig. 17**.

[0076] Die Reorganisation der Spuren 3 von der Konfiguration aus **Fig. 18** zur Konfiguration aus **Fig. 19** lässt sich anhand der Sektor-Daten 6 nachvollziehen, die zu diesem Zweck mit Buchstaben („A“ bis „X“) versehen sind. Das für die Rekonfiguration notwendige Lesen, Puffern und erneute Schreiben erfolgt auf die bereits beschriebene Weise.

[0077] Weitere defekte Sektoren 20 auf weiteren Spuren 3 im selben Band 18 können kompensiert werden, indem mit jeder zusätzlichen Spur 3 mit defektem Sektor 20 ein weiteres Nachbarband hinzugezogen wird. Falls im Beispiel gemäß **Fig. 19** ein Sektor auf Zylinder 016 ebenfalls defekt ist, kann mit der Distanzspur 14 auf Zylinder 008 eine Ersatzspur zur Verfügung gestellt werden.

[0078] Für den Fall, dass drei Spuren in einem Band 18 defekte Sektoren 20 enthalten, zeigen **Fig. 20** und **Fig. 21** ein Beispiel. Aus darstellungstechnischen Gründen bestehen die Bänder 18 in diesem Beispiel aus je vier Spuren.

[0079] Gemäß **Fig. 20** liegen im 5. Band drei defekte Sektoren 20 auf den Spuren der Zylinder 020, 022 und 023, womit das 5. Band größtenteils defekt ist. Dennoch ist eine „Reparatur“ möglich: Gemäß **Fig. 21** werden die Distanzspuren vom Zylinder 014, 019 und 024 auf die drei defekten Sektoren (Cyl. 020, Cyl. 022 und Cyl. 023) verlegt.

[0080] Außerdem, damit das 3. Band nicht übermäßig breit wird, wird die Distanzspur vom Zylinder 009 auf Zylinder 013 verlegt und die Distanzspur vom Zylinder 004 wird auf Zylinder 006 verlegt. Die resultierenden Bänder 18 erhalten somit eine ausgeglichene Spuranzahl. Mit Ausnahme des 6. Bandes nehmen alle Bänder 18 zwei zusätzliche Spuren 3 auf. Im Ergebnis besteht das 1. Band, das 2. Band und das 3. Band aus je sechs Spuren. Aufgrund des Defekts besteht das 4. Band aus nur einer Spur und das 5. Band hat formal Null Spuren und entfällt. Das 6. Band besteht aus fünf Spuren.

Dritte Ausführungsform

[0081] In der zweiten Ausführungsform wird, wie dargelegt, bei einem neu erkannten defekten Sektor 20 die obere und/oder untere Grenze der betroffenen Bänder 18 auf der zugehörigen Plattenoberfläche angepasst, und zwar jeweils für die gesamte Spur 3. Wenn eine Spur 3 oder eine Distanzspur 14 verschoben wird, so geschieht dies für alle Sektoren 6 dieser Spur 3.

[0082] In der nachfolgenden dritten Ausführungsform gemäß **Fig. 22** und **Fig. 23** werden hingegen nur einzelne Sektoren 6 auf andere Spuren 3 verschoben, wobei, wie bei der zweiten Ausführungsform, diese Änderungen nur auf der betroffenen Plat-

tenoberfläche 2 ausgeführt werden und nicht im gesamten Plattenstapel 13.

[0083] Im Ausgangszustand haben die Bänder 18 der dritten Ausführungsform eine Breite von vier Spuren 3. Eine beliebige andere Breite ist möglich.

[0084] **Fig. 22** zeigt die Sektoren 6 als Abschnitte auf den konzentrischen Spuren 3. Jeweils ein defekter Sektor 20, dargestellt durch eine schwarz ausgefüllte Ellipse, befindet sich auf Zylinder 002 (links von der Mitte), Zylinder 005 (rechts von der Mitte) und Zylinder 008 (links von der Mitte).

[0085] Zur „Reparatur“ gemäß **Fig. 23** wird in der dritten Ausführungsform nicht die gesamte Distanzspur 14 verschoben, sondern lediglich ein als Distanzspur 14 fungierender Sektor 6, im folgenden Distanzbereich-Abschnitt 14 genannt. Auch die Grenzen der Bänder 18 werden individuell pro geometrischem Sektor (Kreisausschnitt) verschoben.

[0086] Für den defekten Sektor 20 auf Zylinder 002 befindet sich gemäß **Fig. 22** der nächstgelegene Distanzbereich-Abschnitt 14 auf Zylinder 004. Dies ist die untere Grenze des 1. Bandes im zugehörigen geometrischen Sektor. Wie in **Fig. 23** dargestellt, wird ausschließlich der Distanzbereich-Abschnitt 14 von Zylinder 004 auf Zylinder 002 verschoben, womit sich die Aktion auf einen einzelnen geometrischen Sektor beschränkt. Die restliche Distanzspur 14 in den anderen geometrischen Sektoren bleibt auf ihrer alten Position (Cyl. 004).

[0087] Auf Zylinder 005 befindet sich ein weiterer defekter Sektor 20. Dementsprechend wird gemäß **Fig. 23** der zugehörige Distanzbereich-Abschnitt 14 vom Zylinder 004 auf Zylinder 005 verschoben, mithin auf den defekten Sektor 20. Selbiges geschieht mit dem defekten Sektor 20 auf Zylinder 008: Der benachbarte Distanzbereich-Abschnitt 14 von Zylinder 009 wird auf den defekten Sektor 20 von Zylinder 008 verschoben.

[0088] Auch in der dritten Ausführungsform werden die Bänder 18 und die verschobenen Sektoren 6 in einer G-Liste verwaltet, wobei dies getrennt und unabhängig für jeden geometrischen Sektor der Plattenoberflächen 2 geschieht.

[0089] Im Gegensatz zur ersten und zweiten Ausführungsform wird die sequenzielle Reihenfolge der Sektor-Daten 6 jedoch nicht aufrecht erhalten. Mit Ausnahme des defekten Sektors 20, welcher auf die ehemalige Position des Distanzbereich-Abschnitts 14 verlegt wird, bleiben alle Sektor-Daten 6 auf ihrer alten Position.

[0090] **Fig. 24** und **Fig. 25** zeigen ein Beispiel: Der dargestellte Ausschnitt aus Spuren 3 und Sektoren 6

repräsentiert lediglich einen einzelnen geometrischen Sektor einer einzelnen Plattenoberfläche 2. Es handelt sich um den geometrischen Sektor links von der Mitte aus **Fig. 22**. Die anderen geometrischen Sektoren haben ihre eigene individuelle Anordnung der Bänder 18, die von dem dargestellten Beispiel abweichen kann.

[0091] Gemäß **Fig. 22** und **Fig. 24** liegt der defekte Sektor auf Zylinder 002. Gemäß **Fig. 25** wird der Distanzbereich-Abschnitt 14 von Zylinder 004 auf Zylinder 002 verschoben. Im Gegenzug gelangen die Sektor-Daten „C“ vom defekten Sektor 20 auf die ehemalige Position des verschobenen Distanzbereich-Abschnitts 14, mithin von Zylinder 002 auf Zylinder 004.

[0092] Da beim Auslesen und erneuten Schreiben die Sektor-Daten „D“ nicht wie in der ersten und zweiten Ausführungsform verschoben wurden, ergibt sich nach der Rekonfiguration die nicht sequenzielle Reihenfolge „A“, „B“, „D“, „C“, „E“, usw. Der Fachmann wird erkennen, dass diese Vorgehensweise die Häufigkeit eines Versatzes zu benachbarten geometrischen Sektoren minimiert und dass, je nach Zielsetzung, eine geeignete Variante zu wählen ist, welche vorteilhaft für die Zugriffszeiten ist.

[0093] Die resultierenden Bänder 18 des betrachteten geometrischen Sektors haben nach der Rekonfiguration gemäß **Fig. 25** eine Breite von zwei Spuren (1. Band) sowie eine Breite von sechs Spuren (2. Band).

Vierte Ausführungsform

[0094] Die Festplattengeometrie, also die Aufteilung der Festplatte in Zylinder 12, Bänder 18, Zonen 28, Sektoren 6 und Schreibleseköpfe 8 wird als Bestandteil der Firmware im Festplattencontoller 10 festgelegt und gespeichert. Zonen 28 sind Bereiche, in denen die Spuren 3 die gleiche Anzahl an Sektoren 6 haben (Zone bit recording). Von außen nach innen reduziert sich die Anzahl der Sektoren 6 von Zone 28 zu Zone 28. Eine Zone 28 enthält mindestens ein Band 18.

[0095] **Fig. 26** zeigt exemplarisch die innerste Zone 28 einer Plattenoberfläche 2 mit einer konventionellen Anordnung der Distanzspuren 14. Die innerste Zone 28 besteht aus 15 Spuren, nummeriert von Zylinder 100 bis Zylinder 114. Die Zylindernummern 000 bis 099 stehen somit stellvertretend für die nicht dargestellten Spuren 3 der äußeren Zonen 28. Die niedrige Spuranzahl in den Zeichnungen ist ausschließlich aus darstellungstechnischen Gründen gewählt worden.

[0096] Im Beispiel gemäß **Fig. 26** ist die Firmware des Festplattencontollers 10 so programmiert, dass

die innerste Zone 28 in drei Bänder 18 aufgeteilt ist, wobei jedes Band 18 aus vier Spuren besteht -jeweils getrennt durch einen Distanzbereich 14.

[0097] Bei der Herstellung einer Festplatte 1 gibt es auf den neuen Plattenoberflächen 2 unzuverlässige Stellen 20, welche im Rahmen des Produktionsverfahrens (Servowriter, „low-level format“, Test-Phase usw.) als potentiell defekte Sektoren 20 erkannt werden. Diese defekten Sektoren 20 werden beispielsweise mittels einer „Sector Slipping“ genannten Technik übersprungen. Da die Festplatte 1 zu diesem Zeitpunkt noch nicht mit Daten gefüllt ist, kann der defekte Sektor 20 ausgelassen werden, indem der nachfolgende Sektor 6 die logische Adressnummer des defekten Sektors 20 übernimmt und indem die Adressen aller nachfolgenden Sektoren 6 ebenfalls um Eins verschoben werden. Die sequenzielle Anordnung der intakten Sektoren 6 bleibt erhalten. Diese neue Zuordnung der logischen Sektoren zu den tatsächlichen physikalischen Sektoren (Logical Block Addressing, LBA) wird in einer so genannten P-Liste (Primary Defects) als Bestandteil der Firmware gespeichert. Um defekte Sektoren 20 auf die beschriebene Weise auszusortieren, muss die Festplatte 1 hierfür einen Reservebereich (Sector Spare Area) vorhalten. Diese Vorgehensweise ist Stand der Technik.

[0098] Fig. 27 zeigt als Beispiel unzuverlässige oder defekte Sektoren 20 auf der innersten Zone 28 einer Plattenoberfläche 2. Die defekten Sektoren 20 sind bei der Herstellung im Rahmen einer Testphase ermittelt worden. Alle defekte Sektoren 20 sind in den folgenden Zeichnungen als schwarz ausgefüllte Ellipsen dargestellt. Beispielsweise ist die Spur auf Zylinder 100 fehlerfrei und die Spur auf Zylinder 101 enthält vier defekte Sektoren 20. Aus darstellungstechnischen Gründen wird im folgenden angenommen, dass sich in den rechts und links abgeschnittenen Bereichen der Zeichnungen keine defekten Sektoren 20 befinden.

[0099] Bei der konventionellen Anordnung gemäß Fig. 26 ist auf jede fünfte Spur 3 eine Distanzspur 14 platziert worden, entsprechend der Vorgabe, dass die Bänder 18 vier Spuren breit sind. Auf die Position möglicher defekter Sektoren 20 ist dabei keine Rücksicht genommen worden.

[0100] Hingegen wird in einer vierten Ausführungsform gemäß Fig. 28 erfindungsgemäß die Breite der Bänder 18 so variiert, dass die Distanzspuren 14 möglichst oft auf einer Spur 3 zu liegen kommen, deren Anzahl an unzuverlässigen oder defekten Sektoren 20 erhöht ist. Für die minimal und die maximal zulässige Spuranzahl eines Bandes 18 lassen sich Grenzwerte definieren. Im dargestellten Beispiel könnte bei einer Zielvorgabe von vier Spuren pro Band 18 die minimal zulässige Breite des Bandes

18 bei drei Spuren liegen und die maximal zulässige Breite bei fünf Spuren.

[0101] Beispielsweise hat gemäß Fig. 28 das 3. Band nur drei Spuren, da sich auf der Spur des Zylinders 110 insgesamt sieben defekte Sektoren 20 befinden. Die Spur auf Zylinder 110 bietet sich somit als Distanzspur 14 an, denn auf der benachbarten Spur des Zylinders 109, die gemäß Fig. 26 regulär für die Distanzspur 14 vorgesehen ist, gibt es keine defekten Sektoren 20. Würde der reguläre Zylinder 109 für die Distanzspur 14 verwendet werden, so würden sich die defekten Sektoren 20 von der Spur des Zylinders 110 als Kapazitätsverlust niederschlagen. Der Reservebereich (Sector Spare Area) kann kleiner ausfallen. Die Gesamtkapazität der SMR-Festplatte 1 erhöht sich. Die defekten Sektoren 20 auf der Spur des Zylinders 110 haben keine relevanten Nachteile für die Distanzspuren 14.

[0102] Defekte Sektoren 20, die aufgrund ihrer Position und aufgrund der gesetzten Limits hinsichtlich einer minimal und einer maximal zulässigen Spuranzahl pro Band 18 nicht von einem Distanzbereich 14 abgedeckt werden können, können auf konventionelle Weise per „Sector Slipping“ übersprungen werden. Sowohl die optimierten Positionen der Distanzbereiche 14, als auch die per „Sector Slipping“ übersprungenen defekten Sektoren 20, können bei der Herstellung der Festplatte 1 in einer P-Liste gespeichert werden.

[0103] Das Flussdiagramm gemäß Fig. 29 zeigt ein einfaches, heuristisches Verfahren, wie im Rahmen der Herstellung der SMR-Festplatte 1 vorteilhafte Spuren 3 für die Distanzbereiche 14 gefunden werden können. Das Verfahren wird separat pro Zone 28 und pro Plattenoberfläche 2 durchgeführt. Ausgangspunkt ist ein Test bzw. Scann aller Sektoren 6 der Festplatte 1, mit dem die unzuverlässigen oder defekten Sektoren 20 ermittelt worden sind. Das Ergebnis, also die optimierten Positionen der Distanzspuren 14, wird analog zur Vorgehensweise aus Fig. 12 und Fig. 13 in einer P-Liste (Primary Defects) gespeichert. Die Position und die Breite der Bänder 18 ergeben sich dann mittelbar aus den gespeicherten Positionen der Distanzspuren 14. Gemäß dem Flussdiagramm aus Fig. 29 werden die folgenden Operationen durchgeführt:

- Die Fehleranzahl pro Spur wird ermittelt, indem die unzuverlässigen und defekten Sektoren 20 gezählt werden (Operation 29).
- Die Fehleranzahl pro Spur 3 wird für alle Spuren 3 in der Zone 28 der Größe nach sortiert, so dass die Spur 3 mit den meisten defekten Sektoren 20 an erster Stelle in der Rangliste steht (Operation 30).
- Auf der innersten Spur 3 der Zone 28 (d.h. der Spur 3 mit der größten Zylinder Nummer) wird

eine abschließende Distanzspur 14 positioniert, indem die Distanzspur 14 in die P-Liste eingetragen wird (Operation 31).

- Die Spur 3 mit der höchsten Fehleranzahl (erster Eintrag) wird der Rangliste entnommen und aus der Rangliste gestrichen (Operation 32). Die jeweils entnommenen Spuren 3 sind Kandidaten für die Position einer weiteren Distanzspur 14. Die Position wird dann in der P-Liste gespeichert, welche, wie beschrieben, die Breite der einzelnen Bänder 18 definiert.

- Es wird geprüft, ob sich innerhalb der minimal zulässigen Breite eines Bandes 18 bereits ein Eintrag in der P-Liste befindet, d.h. ausgehend von der Zylinder Nummer des Kandidaten wird beidseitig geprüft, ob in der P-Liste bereits eine Distanzspur 14 auf einer der benachbarten Spuren 3 eingetragen ist oder ob der Kandidat zu dicht an der äußeren Zonengrenze liegt. Ist die minimale Breite gewährleistet, so wird der Kandidat als neue Distanzspur 18 in die P-Liste eingetragen, anderenfalls wird der Kandidat verworfen (Operation 33).

- Die Operationen 32 und 33 werden solange wiederholt, bis die Rangliste leer ist (Verzweigung 34).

[0104] Die unteren Einträge in der Rangliste enthalten die Fehleranzahl Null. Diese Einträge füllen im weiteren Verlauf des Verfahrens die Lücken zwischen den bereits platzierten Distanzspuren 14 auf -jeweils unter Einhaltung des Mindestabstands zu den nächstliegenden Distanzspuren 14. Die Vorgehensweise lässt sich am Beispiel gemäß **Fig. 27** und **Fig. 28** nachvollziehen.

[0105] Das Verfahren kann weiter optimiert werden, indem z.B. am Anfang alle Einträge in der Rangliste gelöscht werden, die keine defekten Sektoren enthalten (Fehleranzahl Null). Stattdessen wird abschließend in einem zweiten Schritt dafür Sorge getragen, dass die Lücken zwischen den bereits platzierten Distanzspuren 14 möglichst gleichmäßig und mit einer Breite nahe dem Soll-Wert gefüllt werden.

[0106] Alternativ zu dieser einfach gehaltenen Vorgehensweise kann eine Vielzahl an bekannten Verfahren zur Lösung des Optimierungsproblems herangezogen werden, insbesondere Approximationsalgorithmen und Heuristiken aus dem Gebiet der Ganzzahligen Optimierung. Dabei können im Rahmen der Bewertungsfunktion des Optimierungsalgorithmus die einzelnen Randbedingungen wie z.B. minimale und maximale Spuranzahl der Bänder 18 und die gleichmäßige Verteilung der Distanzspuren 14 auch unterschiedlich stark gewichtet werden.

[0107] Ein weiteres Kriterium, dass in den Optimierungsprozess einfließen kann, ist der Schweregrad von unzuverlässigen Stellen (20). Insbesondere eine Einschätzung, wie kritisch die Situation auf den benachbarten Sektoren 6 der selben Spur 3 ist (oder auch auf den benachbarten Spuren 3), kann dabei helfen, eine optimale Entscheidung zu treffen, auf welcher Spur 3 ein Distanzbereich 14 zu positionieren ist. Wenn benachbarte Sektoren 6 eine grenzwertige Qualität aufweisen, so spricht dies beispielsweise dafür, die entsprechende Spur 3 als Distanzspur 14 auszuwählen.

[0108] Die vierte Ausführungsform und das heuristische Verfahren gemäß **Fig. 29** führen die Optimierung separat pro Zone 28 durch. Dadurch ist gewährleistet, dass jede Spur 3 die gleiche Anzahl an Sektoren 6 hat und der direkte Vergleich der Anzahl an defekten Sektoren 20 pro Spur 3 zulässig ist. Anderenfalls, wenn in einer anderen Ausführungsform die Anzahl an Sektoren 6 pro Spur 3 in der betrachteten Region variiert, so ist die Anzahl an defekten Sektoren 20 pro Spur 3 in Relation zu setzen zur Anzahl an Sektoren 6 pro Spur 3.

[0109] Das Optimierungs-Verfahren gemäß **Fig. 28** und **Fig. 29** kann nicht nur während der Herstellung der SMR-Festplatte 1 angewendet werden. Dem Endanwender kann auch ein Optimierungs-Tool als Software zur Verfügung gestellt werden. Bekannt sind Software-Tools zur Reinitialisierung der Festplatte (zero-fill diagnostic utility, „low-level-format“, „mid-level-format“) mit denen defekte Sektoren 20 erkannt und „behooben“ werden können. Im Rahmen einer solchen Oberflächen-Diagnose und Reinitialisierung kann auch eine Optimierung der Distanzspur-Positionen von diesem Software-Tool durchgeführt werden. Dem Endanwender steht somit die Möglichkeit offen, eine lange betriebene SMR-Festplatte 1 wieder in einen performanten Zustand zu versetzen.

[0110] Hinsichtlich der Reihenfolge, in der die einzelnen Spuren 3 auf den Plattenoberflächen 2 beschrieben werden, kann der Festplattencontroller 10 unterschiedliche Strategien verwenden. Beispielsweise können beim Befüllen der Festplatte 1 mit Daten zunächst alle Schreibleseköpfe 8 (mithin alle Plattenoberflächen 2 im Plattenstapel 13) durchgewechselt werden, bevor zum nächsten Zylinder 12 gewechselt wird, oder es wird zunächst eine einzelne Plattenoberfläche 2 beschrieben, indem der Schreiblesekopf 8 über alle Spuren 3 bewegt wird, und erst danach wird auf den nächsten Schreiblesekopf 8 der nächsten Plattenoberfläche 2 im Plattenstapel 13 umgeschaltet.

[0111] Der Fachmann wird erkennen, dass in Abhängigkeit dieses Gesichtspunkts und in Abhängigkeit der Zielsetzung, unterschiedliche Ausführungs-

rungsformen der Erfindung vorteilhaft sind. Beispielsweise werden in der ersten Ausführungsform die Distanzspuren 14 im gesamten Plattenstapel 13 angepasst, was zu der Strategie passt, zunächst alle Schreibleseköpfe 8 durchzuwechseln.

[0112] Die zweite und die vierte Ausführungsform kann vom Fachmann beispielsweise dann bevorzugt werden, wenn die Festplatte 1 mit einer Strategie angesteuert wird, bei der zunächst die Nachbarspuren auf der selben Plattenoberfläche 2 beschrieben werden.

[0113] Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass alle Beispiele und alle Zeichnungen zu den beschriebenen Ausführungsformen in gleichartiger Weise auch mit jeder anderen dieser Ausführungsformen und mit weiteren Ausführungsformen umgesetzt werden können. Die Beispiele sind somit als universell anzusehen. Das Verschieben von Bandgrenzen, das Verschieben von Distanzbereichen bzw. Distanzbereich-Abschnitten 14 sowie die neue Anordnung von Sektor-Daten 6 ist möglich, unabhängig davon, ob die zugrunde liegende Organisation der Bänder 18 pro geometrischem Sektor (dritte Ausführungsform), pro Plattenoberfläche (zweite und vierte Ausführungsform) oder im gesamten Plattenstapel 13 (erste Ausführungsform) erfolgt.

[0114] Beispielsweise wird der Fachmann erkennen, dass in der vierten Ausführungsform gemäß **Fig. 28** und **Fig. 29** die optimale Verteilung der Distanzspuren 14 nicht notwendigerweise separat pro Plattenoberfläche 2 erfolgen muss. Die Breite der Bänder 18 kann auch so variiert werden, dass die Distanzspuren 14 im Plattenstapel 13 möglichst oft auf einem Zylinder 12 zu liegen kommen, dessen Gesamtanzahl an defekten Sektoren 20 stark erhöht ist.

[0115] In diesem Fall repräsentieren die in **Fig. 27** und **Fig. 28** dargestellten Ellipsen die unzuverlässigen Stellen 20 aus dem gesamten Plattenstapel 13. D.h. in der Abbildung sind pro Zylinder 12 alle defekten Sektoren 20 von allen Plattenoberflächen 2 vermerkt, unabhängig davon, von welcher konkreten Plattenoberfläche 2 der Fehler stammt. Beispielsweise ist in diesem Fall der gesamte Zylinder 100 fehlerfrei und der gesamte Zylinder 101 enthält als Summe aller Plattenoberflächen vier defekte Sektoren 20.

[0116] Das Flussdiagramm gemäß **Fig. 29** wird dazu so modifiziert, dass vorteilhafte Zylindernummern für die Distanzspuren 14 gefunden werden, was beispielsweise mit den folgenden Operationen möglich ist:

- Die Anzahl der defekten Sektoren 20 aller Spuren 3 in einem Zylinder 12 werden addiert, so

dass die Fehleranzahl pro Zylinder 12 im Plattenstapel 13 vorliegt (Operation 29).

- Die Fehleranzahl pro Zylinder 12 wird für alle Zylinder 12 in der Zone 28 der Größe nach sortiert, so dass die Zylinder Nummer mit den meisten defekten Sektoren 20 an erster Stelle in der Rangliste steht (Operation 30).

- Auf dem innersten Zylinder 12 der Zone 28 (d.h. der Spur 3 mit der größten Zylinder Nummer) werden abschließende Distanzspuren 14 positioniert, indem für diese Zylinder Nummer ein Eintrag in der P-Liste erfolgt (Operation 31).

- Die Zylinder Nummer mit der höchsten Fehleranzahl (erster Eintrag) wird der Rangliste entnommen und aus der Rangliste gestrichen (Operation 32). Die jeweils entnommenen Zylinder Nummern sind Kandidaten für die Position von Distanzspuren 14. Diese Position wird in der P-Liste gespeichert.

- Es wird geprüft, ob sich innerhalb der minimal zulässigen Breite eines Bandes 18 bereits ein Eintrag in der P-Liste befindet, d.h. ausgehend von der Zylinder Nummer des Kandidaten wird beidseitig geprüft, ob in der P-Liste bereits eine Distanzspur 14 auf einem der benachbarten Zylinder 12 eingetragen ist oder ob der Kandidat zu dicht an der äußeren Zonengrenze liegt. Ist die minimale Breite gewährleistet, so wird der Kandidat als neue Distanzspur 14 in der P-Liste eingetragen, anderenfalls wird der Kandidat verworfen (Operation 33).

- Die Operationen 32 und 33 werden solange wiederholt, bis die Rangliste leer ist (Verzweigung 34).

Fünfte Ausführungsform

[0117] In den Ausführungsformen gemäß **Fig. 3** bis **Fig. 29** wird ein Schreiblesekopf 8 verwendet, dessen Schreibelement 15 doppelt so breit ist wie das Leseelement 16. Es können aber auch Ausführungsformen mit einem anderen Verhältnis realisiert werden. Allgemein betrachtet kann die Spurbreite 17 des Schreibelements 15 das n-fache der Spurbreite 17 des Leselements 16 betragen, wobei n eine rationale Zahl größer Eins ist.

[0118] In einer fünften Ausführungsform gemäß **Fig. 30** beträgt die Spurbreite 17 des Schreibelements 15 das dreifache der Spurbreite 17 des Leselements 16. Die zwei dargestellten Bänder 18 haben eine Spuranzahl von je fünf Spuren 3. Der Distanzbereich 14 ist in dieser Ausführungsform doppelt so breit und befindet sich auf zwei benachbarten Spuren 3. Dies ist notwendig, damit das nunmehr dreimal so breite Schreibelement 15 nicht in die erste Spur 3 des nächsten Bandes 18 hineinschreibt. Die Grenzen der Bänder 18 und die Position des nun-

mehr zweispurigen Distanzbereichs 14 werden in dieser Ausführungsform separat pro Plattenoberfläche 2 verschoben, analog zur zweiten Ausführungsform.

[0119] Gemäß **Fig. 30** befinden sich im 2. Band auf den Spuren der Zylinder 007 und 008 je ein defekter Sektor 20, mithin zwei Fehler auf zwei benachbarten Spuren 3 auf der selben Plattenoberfläche 2. Da der Distanzbereich 14 in dieser Ausführungsform aus zwei Spuren 3 besteht, ist es dennoch ausreichend, nur eine Bandgrenze zu verschieben. Dies unterscheidet die fünfte Ausführungsform von der zweiten Ausführungsform gemäß dem Beispiel aus **Fig. 18** und **Fig. 19**.

[0120] **Fig. 31** zeigt, wie ausschließlich die obere Bandgrenze des betroffenen 2. Bandes verschoben wird. Dazu wird der zweispurige Distanzbereich 14 vom Zylinderpaar (005, 006) auf das Zylinderpaar (007, 008) verlegt, womit der Distanzbereich 14 beide Defekte abdeckt.

[0121] Auf eine gleichmäßige Verteilung der Spuranzahl pro Band 18 wurde in **Fig. 31** aus platztechnischen Gründen verzichtet. Auch in der fünften Ausführungsform kann eine Optimierung der Bänder 18 analog zum Beispiel aus **Fig. 17** erfolgen.

[0122] Die mit der fünften Ausführungsform eingeführte Variante, dass der Distanzbereich 14 eine Breite von zwei oder mehr Spuren 2 aufweist, kann in gleichartiger Weise auch mit allen anderen aufgeführten Ausführungsformen umgesetzt werden. Dies wird typischer Weise dann geschehen, wenn die Spurbreite des Schreibelements 15 und des Leselements 16 ein entsprechendes Verhältnis aufweisen.

[0123] Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass auch die Distanzbereiche 14 in der vierten Ausführungsform gemäß **Fig. 28** aus mehr als einer Spur 3 bestehen können. Der Optimierungsalgorithmus zur Positionierung der Distanzbereiche 14 wird in diesem Fall die Anzahl an unzuverlässigen Stellen (20) auf benachbarten Spuren 3 bzw. benachbarten Zylindern 12 berücksichtigen. Ebenso können Sektoren von grenzwertiger Qualität für die Optimierung herangezogen werden.

[0124] Wenn beispielsweise ein defekter Sektor 20 auf einer Spur 3 mit der Zylinder Nummer 010 vorliegt und keine Defekte auf der oberen Nachbarspur (Zylinder 009) sowie ein Sektor 6 von grenzwertiger Qualität auf der unteren Nachbarspur (Zylinder 011), so wird ein zweispuriger Distanzbereich 14 zweckmäßigerweise auf das Zylinderpaar (010, 011) positioniert, um bei dieser Gelegenheit auch den grenzwertigen Sektor 6 auszuklammern. Dies ist möglich,

ohne dass dadurch zusätzliche Speicherkapazität verloren geht.

[0125] Der Fachmann wird erkennen, dass es vielfältige weitere Kombinationsmöglichkeiten und Varianten gibt. Beispielsweise können mit der ersten, zweiten und fünften Ausführungsform auch Spuren 3 „repariert“ werden, deren defekte Sektoren 20 sich nicht im selben geometrischen Sektor befinden. Selbiges gilt für den Fall, dass sich bei den genannten Ausführungsformen mehr als ein defekter Sektor 20 in der selben Spur 3 befindet. Analog zur vierten Ausführungsform deckt die Distanzspur 14 dann mehrere defekte Sektoren 20 ab.

[0126] Es ist auch möglich, die Grenze zwischen zwei Zonen des „Zone Bit Recordings“ zu verschieben, um auf diese Weise einen defekten Sektor 20 auf die Zonengrenze zu setzen oder um mehr Spielraum bei der Anpassung und Optimierung der Spuranzahl pro Band 18 zu haben. Ebenfalls ist es möglich, dass eine Zone 28 jeweils aus genau einem Band 18 besteht, womit Zone 28 und Band 18 eine Einheit bilden, die dann entsprechend der vorhandenen defekten Sektoren 20 gemeinsam angepasst und verwaltet wird. Des Weiteren kann mit einer variablen Anzahl an Bändern 18 gearbeitet werden: Je nachdem wie dicht die Spuren 3 mit defekten Sektoren 20 zusammen liegen, werden zusätzliche Bänder 18 eingeführt oder mehrere Bänder 18 werden zu einem „Super-Band“ zusammengelegt. Optional können die neu eingeteilten Bänder 18 umnummeriert werden.

[0127] In den beschriebenen Ausführungsformen entspricht die Breite des Distanzbereichs 14 der Spurbreite 17 oder einem Vielfachen der Spurbreite 17. Die Distanzbereiche 14 fügen sich folglich exakt in das Raster der Spuren 3 bzw. der Zylinder 12 ein. Die Distanzbereiche 14 können aber auch in einer anderen Breite ausgeführt werden, die insbesondere kein Vielfaches der Spurbreite 17 ist, beispielsweise das 1.5-fache oder das 2.5-fache.

[0128] Des Weiteren können Distanzbereiche 14 mit einer variablen Breite ausgeführt werden, beispielsweise um den Schweregrad eines defekten Sektors (20) oder die Anzahl an defekten Sektoren (20) auf einer Spur (3) zu berücksichtigen. In der vierten Ausführungsform kann im Rahmen des Herstellungsprozesses die Breite der Distanzbereiche 14 individuell von Distanzbereich 14 zu Distanzbereich 14 variiert werden, um primäre Defekte (defekte Sektoren 20, die bei der Herstellung erkannt werden) optimal abzudecken oder es wird eine Breite für den Distanzbereich 14 verwendet, welche kein Vielfaches der Spurbreite 17 ist. In diesen Fällen verschieben sich die nachfolgenden Spuren 3 entsprechend um die Breite des Distanzbereichs 14. Da die Festplatte 1 zum Zeitpunkt der Herstellung keine Nutzdaten

enthält, ist ein entsprechendes Vorgehen im Rahmen des „low-level-format“ möglich.

[0129] In der dritten Ausführungsform wird gezeigt, wie ein Distanzbereich-Abschnitt 14 die Position mit den Sektor-Daten 6 des defekten Sektors 20 tauscht, wobei alle anderen Sektor-Daten 6 auf ihrer alten Position verbleiben und die sequenzielle Reihenfolge der Sektor-Daten 6 nicht aufrecht erhalten bleibt. Diese Vorgehensweise ist auch bei anderen Ausführungsformen möglich, beispielsweise bei der ersten, zweiten und fünften Ausführungsform. In diesem Fall tauscht die Distanzspur 14 oder der Distanzbereich 14 die Position mit der gesamten Spur 3 oder mit mehreren benachbarten Spuren 3, auf denen sich die defekten Sektoren 20 befinden, wobei alle anderen Sektor-Daten 6 auf ihren jeweiligen Spuren 3 verbleiben. Je nachdem, ob eine Aufrechterhaltung der sequenzielle Reihenfolge der Sektor-Daten 6 vorteilhaft für die Zugriffszeiten ist und/oder andere Performance-Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind, wird sich der Fachmann für eine geeignete Variante entscheiden.

[0130] Des weiteren wird der Fachmann erkennen, dass Bänder 18 oder Sektor-Daten 6 im Rahmen einer Rekonfiguration der Band-Grenzen nicht neu geschrieben werden müssen, wenn das betroffene Band 18 nur Sektoren 6 enthält, die leer sind oder deren Inhalt vom Dateisystem freigegeben ist.

[0131] Aus darstellungstechnischen Gründen und um die Größe der dargestellten Zylindernummern überschaubar zu halten, bestehen in den Zeichnungen dieser Patentschrift alle Bänder 18, Zonen 28 oder Ausschnitte der Plattenoberfläche 2 aus verhältnismäßig wenigen Spuren 3. Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass andere reale Ausführungsformen auch eine Spuranzahl von beispielsweise mehreren Hunderttausend Spuren haben können und dass alle in dieser Patentschrift beschriebenen Verfahren mit beliebig großen Spuranzahlen ausführbar sind.

Sechste Ausführungsform

[0132] In den zuvor beschriebenen Ausführungsformen wird die Position einer ehemaligen Distanzspur (14) ersatzweise zur Speicherung von Nutzdaten herangezogen, insbesondere um die Daten unterzubringen, die sich auf dem defekten Sektor (20) befinden.

[0133] In einer sechsten Ausführungsform werden die Daten, welche sich auf dem defekten Sektor 20 befinden oder die Daten, die sich auf der Spur 3 mit dem defekten Sektor 20 befinden, auf konventionelle Weise in einen Reservebereich (Sector Spare Area) ausgelagert.

[0134] Der defekte Sektor 20 oder die gesamte Spur 3, auf der sich der defekte Sektor 20 befindet, wird stattdessen als zusätzlicher Distanzbereich-Abschnitt 14 oder als zusätzliche Distanzspur 14 verwendet. Durch die Unterteilung des betroffenen Bandes 18 mit einem zusätzlichen Distanzbereichs 14 auf der Höhe des defekten Sektors 20 entstehen zwei „Unterbänder“ mit einer reduzierten Spuranzahl. Die reduzierte Spuranzahl pro „Unterband“ reduziert die Write-Amplification bei verteilten Schreibzugriffen.

[0135] Die aufgeführten Ausführungsformen beschreiben die Erfindung am Beispiel einer SMR-Festplatte 1. Alle Ausführungsformen und weitere Ausführungsformen können aber auch mit anderen Datenträgern umgesetzt werden, welche beispielsweise auf magnetischer oder optischer Basis arbeiten. Dazu zählen Bandspeicher, welche nach der Methodik des Shingled Magnetic Recording aufzeichnen. Beispielsweise werden bei LTO-Bändern die Daten seit einiger Zeit ebenfalls überlappend aufgezeichnet.

Bezugszeichenliste

1	Festplattenlaufwerk mit Shingled Magnetic Recording
2	Plattenoberfläche (Datenträger)
3	Spur
4	Äußerster Zylinder (maximaler Durchmesser)
5	Innerster Zylinder (minimaler Durchmesser)
6	Sektor bzw. Sektor-Daten
7	Drehachse mit Spindel
8	Schreiblesekopf mit Schreib- und Leseelement
9	Actuator
10	Festplattencontroller
11	Speicher des Festplattencontrollers
12	Zylinder
13	Plattenstapel
14	Distanzbereich (Distanzspur, Distanzbereich-Abschnitt)
15	Schreibelement des Schreiblesekopfes
16	Leselement des Schreiblesekopfes
17	Spurbreite
18	Band
19	Aufnahmerichtung

- 20 Defekter, schlecht lesbarer oder unzuverlässiger Sektor
- 21 Defekter Sektor in oberer oder unterer Bandhälfte?
- 22 Sektor-Daten einlesen
- 23 Obere Bandgrenze auf defekten Sektor setzen
- 24 Gepufferte Sektor-Daten neu schreiben
- 25 Sektor-Daten einlesen
- 26 Untere Bandgrenze auf defekten Sektor setzen
- 27 Gepufferte Sektor-Daten neu schreiben
- 28 Zone
- 29 Defekte Sektoren pro Spur zählen
- 30 Fehleranzahl pro Spur in Rangliste sortieren
- 31 Distanzspur auf innere Zonengrenze
- 32 Höchste Fehleranzahl aus Rangliste entnehmen
- 33 Abstand prüfen und Distanzspur positionieren
- 34 Ist die Rangliste leer?

Patentansprüche

1. Verfahren zum Austausch einer unzuverlässigen Stelle (20) auf einer Datenträger-Oberfläche (2) von einer Speichervorrichtung (1) mit einem Schreibelement (15), dessen Spurbreite (17) größer ist als die Spurbreite (17) eines Leseelements (16), wobei das Schreibelement (15) überlappende Spuren (3) schreibt, deren resultierende Spurbreite (17) vom Leseelement (16) gelesen werden kann und wobei mindestens eine Teilmenge der Spuren (3) in Bänder (18) gruppiert ist, wobei es zu jedem Band (18) mindestens einen Distanzbereich (14) gibt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Austausch der unzuverlässigen Stelle (20) erfolgt, indem mindestens ein Distanzbereich (14) auf die physikalische Position der unzuverlässigen Stelle (20) gelegt wird, dergestalt, dass der Distanzbereich (14) die unzuverlässige Stelle (20) vollständig abdeckt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Austausch der unzuverlässigen Stelle (20) erfolgt, indem mindestens ein Distanzbereich (14) auf die physikalische Position der unzuverlässigen Stelle (20) verschoben wird, und indem der frei gewordene, vormalige Distanzbereich (14) ersatzweise zur Speicherung von Daten verwendet wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Distanzbereich (14) aus einer einzelnen Spur (3), aus mehreren benachbarten Spuren (3), einem einzelnen Spur-Abschnitt (6) oder aus mehreren benachbarten Spur-Abschnitten (6) besteht, und dass der Austausch der unzuverlässigen Stelle (20) erfolgt, indem mindestens jener Distanzbereich (14) auf die Position der unzuverlässigen Stelle (20) verschoben wird, der am nächsten zur unzuverlässigen Stelle (20) liegt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** Bänder (18) zwischen deren Grenzen jeweils ein zugehöriger Distanzbereich (14) liegt, und wobei der Austausch der unzuverlässigen Stelle (20) erfolgt, indem die Grenzen der Bänder (18) so verschoben werden, dass der zugehörige Distanzbereich (14) auf der unzuverlässigen Stelle (20) zu liegen kommt, und indem die Breite der angrenzenden Bänder (18) um die Anzahl an Spuren (3) vergrößert oder verkleinert wird, um den der Distanzbereich (14) verschoben worden ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gespeicherten Daten, die auf den Spuren (3) im halboffenen Intervall ab der vormaligen Position des Distanzbereichs (14) bis einschließlich der neuen Position des Distanzbereichs (14) liegen, verschoben werden, und zwar um die Anzahl an Spuren (3), die der Breite des Distanzbereichs (14) entspricht, dergestalt, dass die sequenzielle Reihenfolge der gespeicherten Daten durchgängig erhalten bleibt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den Fall, dass zwei oder mehrere unzuverlässige Stellen (20) in einem Band (18) vorhanden sind, welche zu weit auseinander liegen, um sie mit der Breite eines einzelnen Distanzbereichs (14) abzudecken, sowohl die obere als auch die untere Grenze des betroffenen Bandes (18) verschoben wird, so dass die zugehörigen Distanzbereiche (14) auf den unzuverlässigen Stellen (20) zu liegen kommen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den Fall, dass zwei oder mehrere unzuverlässige Stellen (20) in einem Band (18) auf benachbarten Spuren (3) liegen, deren gemeinsame Breite zu groß ist, um sie mit einem einzelnen Distanzbereich (14) abzudecken, sowohl die obere als auch die untere Grenze des betroffenen Bandes (18) zusammengezogen wird, bis das betroffene Band (18) leer ist, und zwar dergestalt, dass der zugehörige obere Distanzbereich (14) und der zugehörige untere Distanzbereich (14) nebeneinander auf den Spuren (3) mit den unzuverlässigen Stellen (20) zu liegen kommen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass Bänder (18) mit ungleichmäßig verteilter Anzahl an Spuren (3) derart angeglichen werden, indem die Grenzen, respektive die zugehörigen Distanzbereiche (14) von benachbarten Bändern (18) verschoben werden, dergestalt, dass der Unterschied in der Anzahl an Spuren (3) besagter Bänder (18) reduziert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spuren (3) in Sektoren (6) aufgeteilt sind, die innerhalb ihres geometrischen Sektors zu Bändern (18) gruppiert sind, wobei zwischen den Grenzen der Bänder (18) mindestens ein Sektor (3) als Distanzbereich-Abschnitt (14) fungiert, und dass die defekte Stelle (20) einen defekten Sektor verursacht, und dass der Austausch des defekten Sektors (20) erfolgt, indem mindestens eine Grenze der Bänder (18) innerhalb ihres geometrischen Sektors so verschoben wird, dass der zugehörige Distanzbereich-Abschnitt (14) auf dem defekten Sektor (20) zu liegen kommt, und indem die Breite der angrenzenden Bänder (18) um die Anzahl an Spuren (3) vergrößert oder verkleinert wird, um den der Distanzbereich-Abschnitt (14) verschoben worden ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass Datenträger-Oberflächen (2) in einem Plattenstapel (13) angeordnet sind, und dass das Verschieben von mindestens einem Distanzbereich (14) sowie der Grenzen der Bänder (18) gleichermaßen auf mehreren oder auf allen Datenträger-Oberflächen (2) des Plattenstapels (13) ausgeführt wird, dergestalt, dass auf den besagten Datenträger-Oberflächen (2) die Distanzbereiche (14) und Bänder (18) übereinander jeweils auf den selben Zylindern (12) zu liegen kommen, oder dass das Verschieben von mindestens einem Distanzbereich (14) sowie der Grenzen der Bänder (18) individuell auf der Datenträger-Oberfläche (2) ausgeführt wird, die von der unzuverlässigen Stelle (20) betroffenen ist.

11. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Austausch der unzuverlässigen Stelle (20) erfolgt, indem mindestens ein zusätzlicher Distanzbereich (14) auf die physikalische Position der unzuverlässigen Stelle (20) gelegt wird und indem vorhandene und/oder künftige Daten, deren ursprüngliche Speicherposition an der unzuverlässigen Stelle liegt, stattdessen in einem Reservebereich gespeichert werden.

12. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die unzuverlässigen Stellen (20) auf den Spuren (2) in einem Plattenstapel (13) ermittelt werden und die Anzahl der unzuverlässigen Stellen (20) pro Zylinder (12) gezählt wird, und dass mittels eines Optimierungsalgorithmus die Distanz-

bereiche (14) bevorzugt auf Zylinder (12) positioniert werden, die eine erhöhte Anzahl an unzuverlässigen Stellen (20) enthalten.

13. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die unzuverlässigen Stellen (20) auf den Spuren (2) mindestens einer Datenträger-Oberfläche (2) ermittelt werden und dass pro besagter Datenträger-Oberfläche (2) die Anzahl der unzuverlässigen Stellen (20) pro Spur (12) gezählt wird, und dass individuell pro besagter Datenträger-Oberfläche (2) mittels eines Optimierungsalgorithmus die Distanzbereiche (14) bevorzugt auf Spuren (3) positioniert werden, die eine erhöhte Anzahl an unzuverlässigen Stellen (20) enthalten.

14. Speichervorrichtung (1) mit mindestens einem Leseelement (16) und mit mindestens einem Schreibelement (15), dessen Spurbreite (17) größer ist als die Spurbreite (17) des Leseelements (16), sowie mit mindestens einer Datenträger-Oberfläche (2) mit einer Vielzahl an Spuren (3), wobei eine Anzahl an unzuverlässigen Stellen (20) zufällig über die Spuren (3) verteilt ist und wobei sich jeweils auf einer Spur (3) mehrere unzuverlässige Stellen (20), eine einzelne unzuverlässige Stelle (20) oder keine unzuverlässige Stelle (20) befindet, **dadurch gekennzeichnet**, dass Gruppen von Spuren (3) jeweils durch eine Distanzspur (14) oder durch mehrere benachbarte Distanzspuren (14) separiert sind, wobei die Positionen der Distanzspuren (14), unter Berücksichtigung einer minimal und/oder einer maximal zulässigen Spuranzahl pro Gruppe (18), so optimiert sind, dass die Distanzspuren (14) möglichst oft auf Spuren (3) mit einer erhöhten Anzahl an unzuverlässigen Stellen (20) verortet sind.

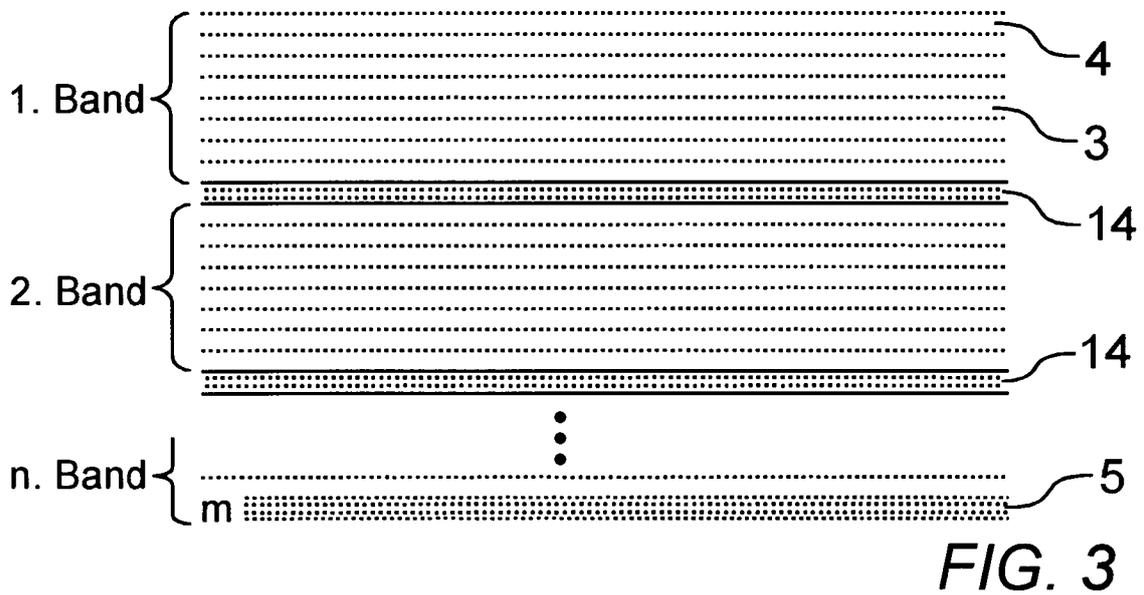
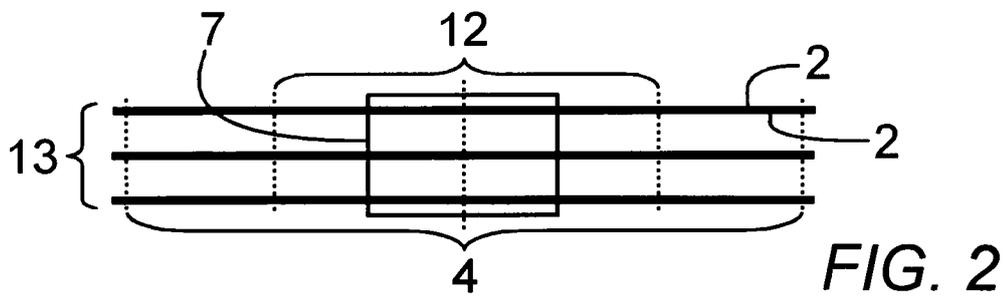
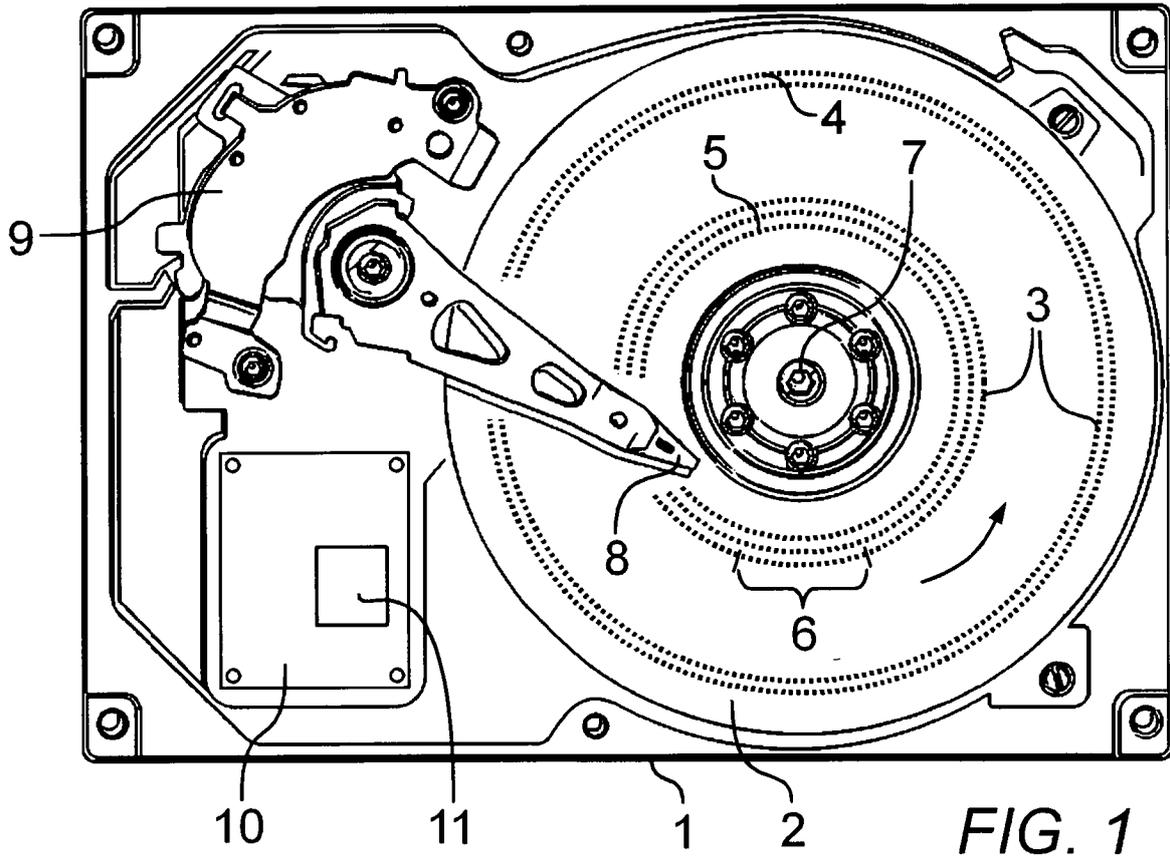
15. Speichervorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Speichervorrichtung (1) ein Festplattenlaufwerk mit Shingled Magnetic Recording ist, dass sich mehrere Datenträger-Oberflächen (2) in einem Plattenstapel (13) befinden, dass Spuren (3), die übereinander im Plattenstapel (13) liegen, sich auf konzentrischen Zylindern (12) befinden, dass die Gruppen von Spuren (3) Bänder (18) sind, dass die unzuverlässigen Stellen (20) defekte Sektoren sind und dass die Anzahl an Spuren (3) pro Band (18) so variiert ist, dass die Distanzspuren (14) im Plattenstapel (13) möglichst oft auf Zylindern (12) mit einer erhöhten Anzahl an defekten Sektoren (20) zu liegen kommen, wobei pro Zylinder (12) die Summe der defekten Sektoren (20) aus allen Spuren (2) berücksichtigt ist, und wobei die Distanzspuren (14) im Plattenstapel (13) durchgängig übereinander liegen.

16. Speichervorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Speichervorrichtung (1) ein Festplattenlaufwerk mit Shingled

Magnetic Recording ist, dass die Gruppen von Spuren (3) Bänder (18) sind, dass die unzuverlässigen Stellen (20) defekte Sektoren sind und dass individuell für jede Datenträger-Oberfläche (2) die Anzahl an Spuren (3) pro Band (18) so variiert ist, dass die Distanzspuren (14) auf der jeweiligen Datenträger-Oberfläche (2) möglichst oft auf Spuren (3) mit einer erhöhten Anzahl an defekten Sektoren (20) zu liegen kommen.

Es folgen 20 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



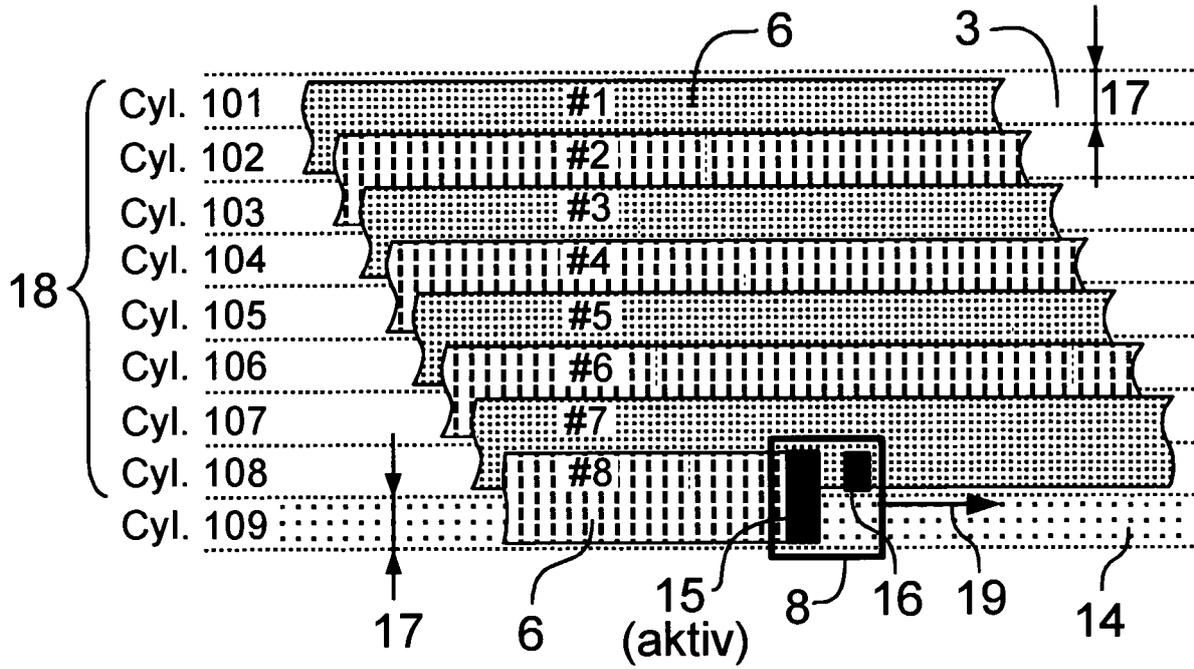


FIG. 4

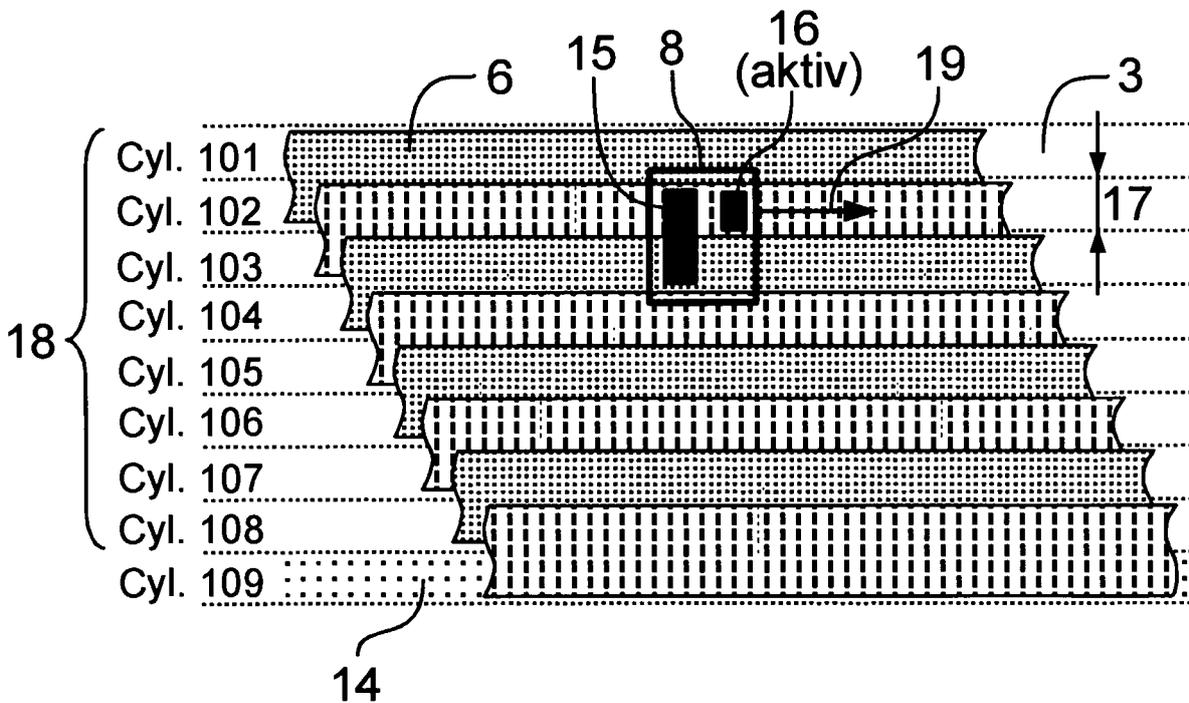


FIG. 5

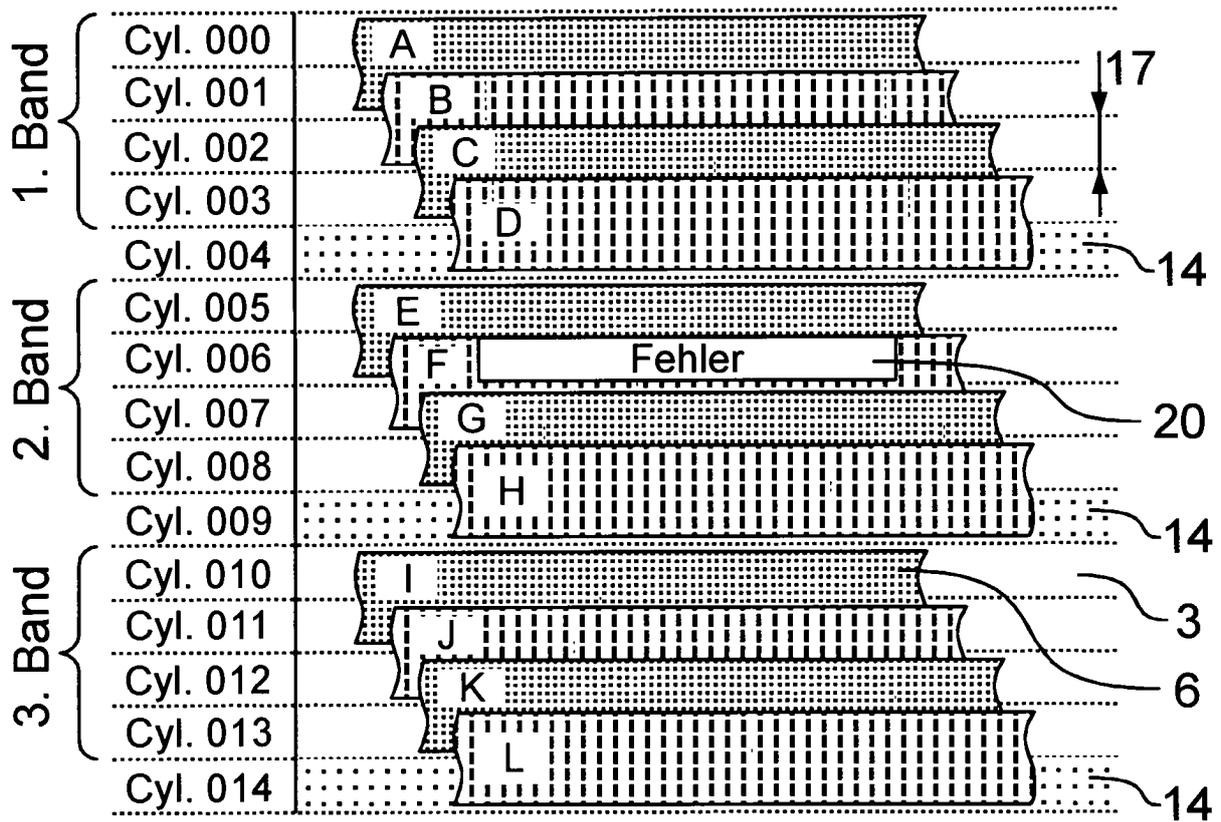


FIG. 6

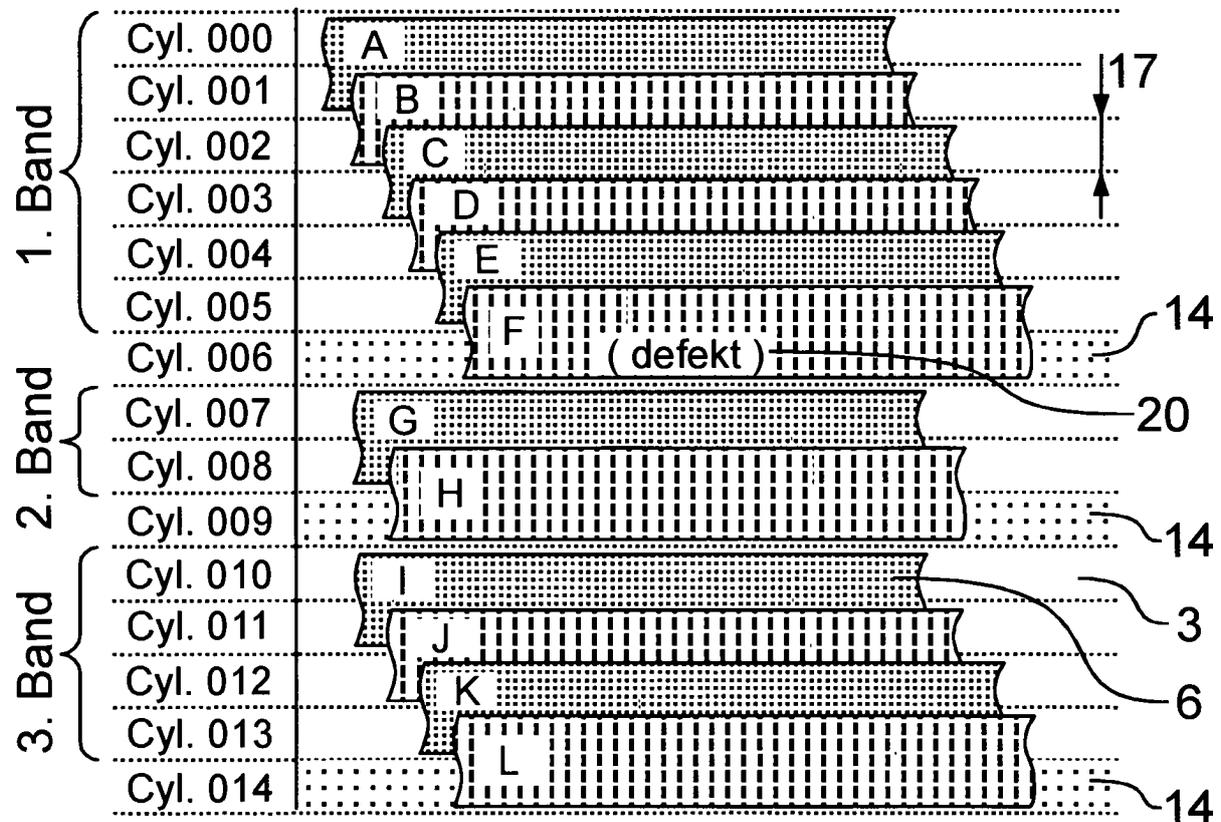


FIG. 7

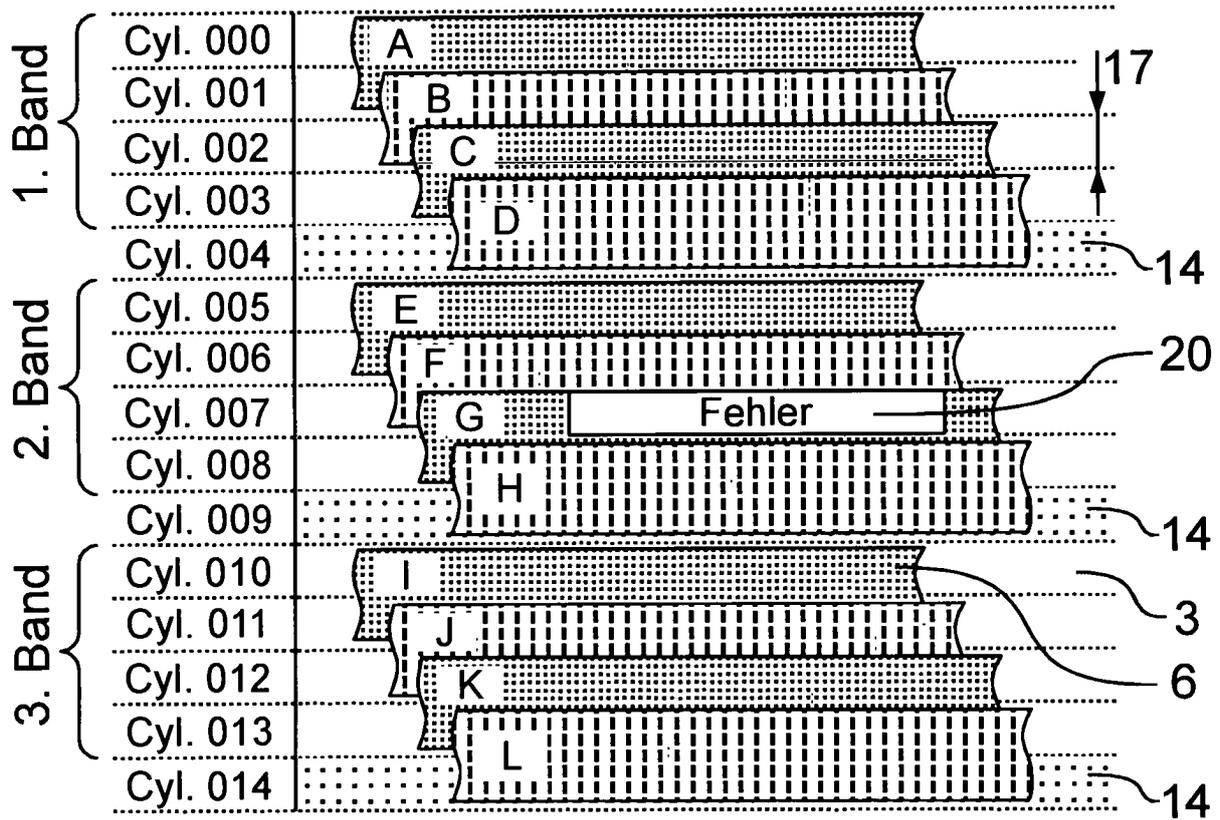


FIG. 8

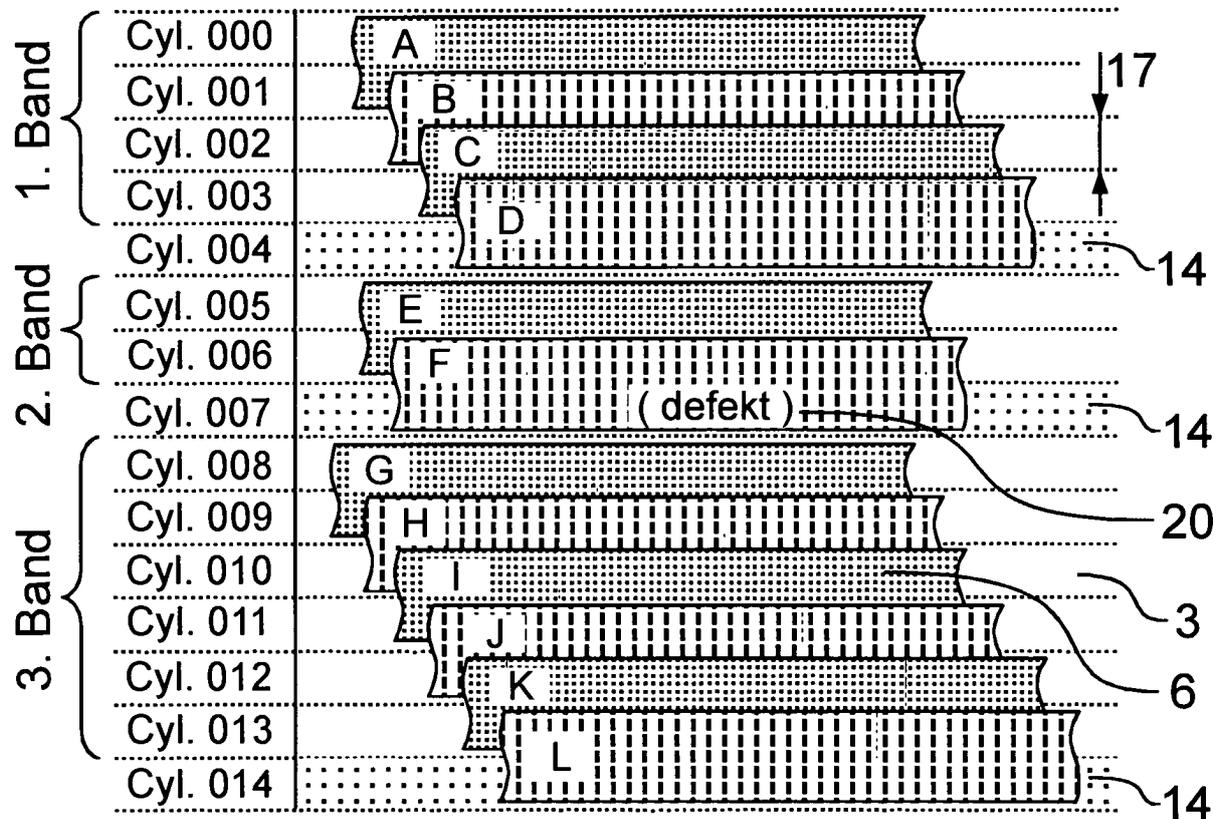


FIG. 9

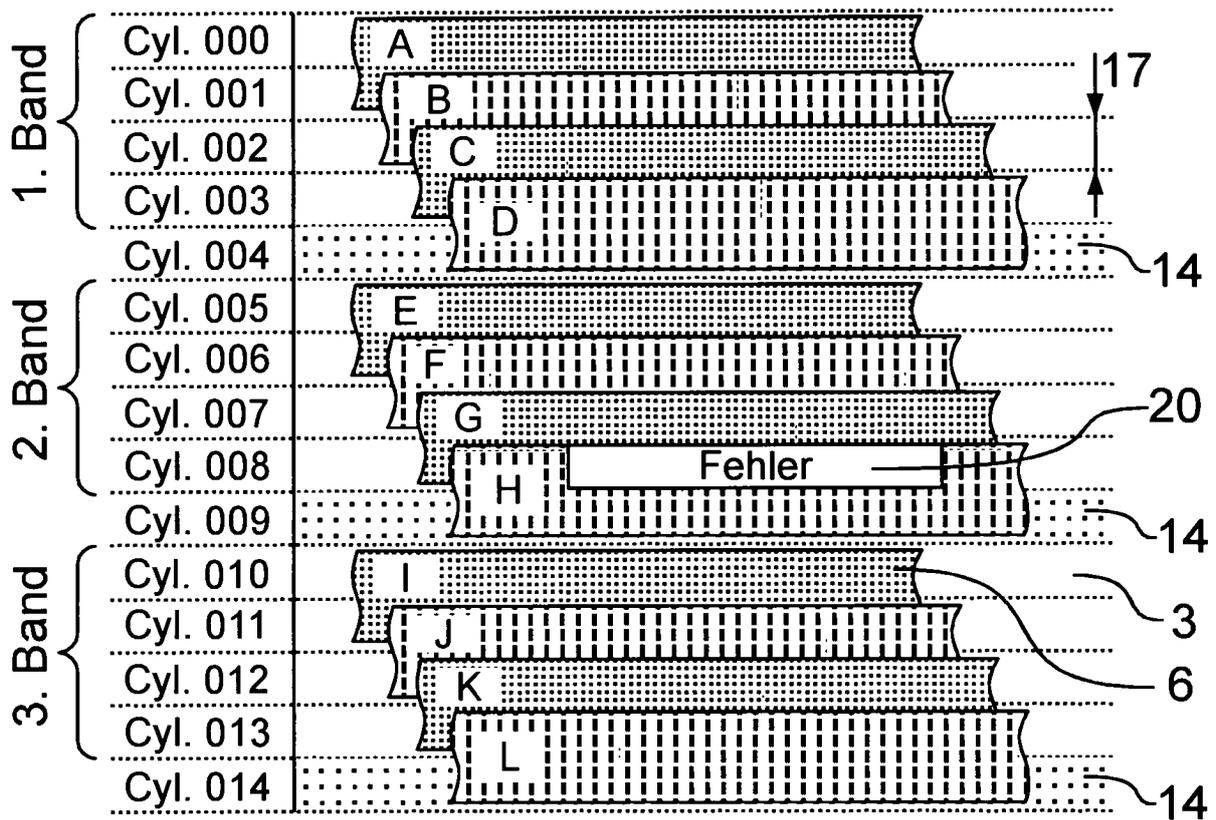


FIG. 10

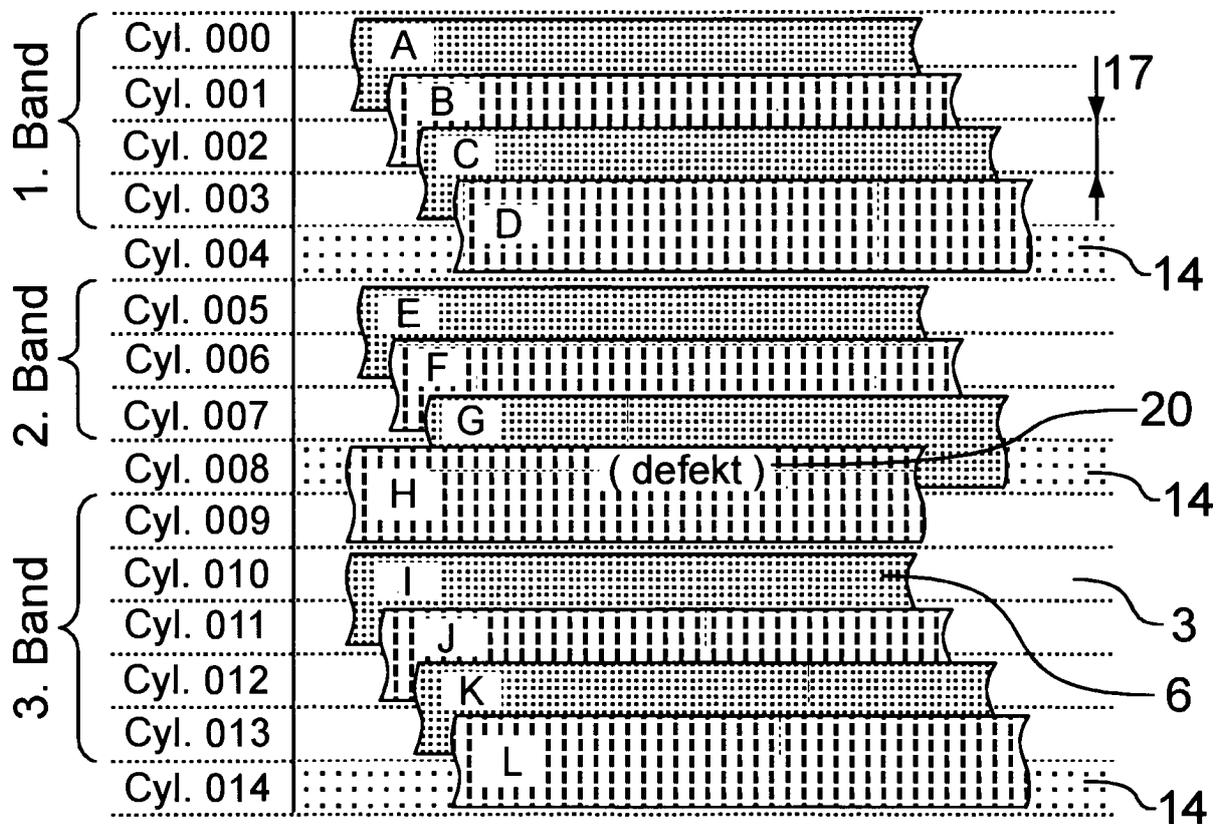


FIG. 11

Band-Nummer	1	2	3	...
Zylinder Distanzspur	004	009	014	...

↓ Rekonfiguration

Band-Nummer	1	2	3	...
Zylinder Distanzspur	006	009	014	...

FIG. 12

Band-Nummer	1	2	3	...
Zylinder Distanzspur	004	009	014	...

↓ Rekonfiguration

Band-Nummer	1	2	3	...
Zylinder Distanzspur	004	008	014	...

FIG. 13

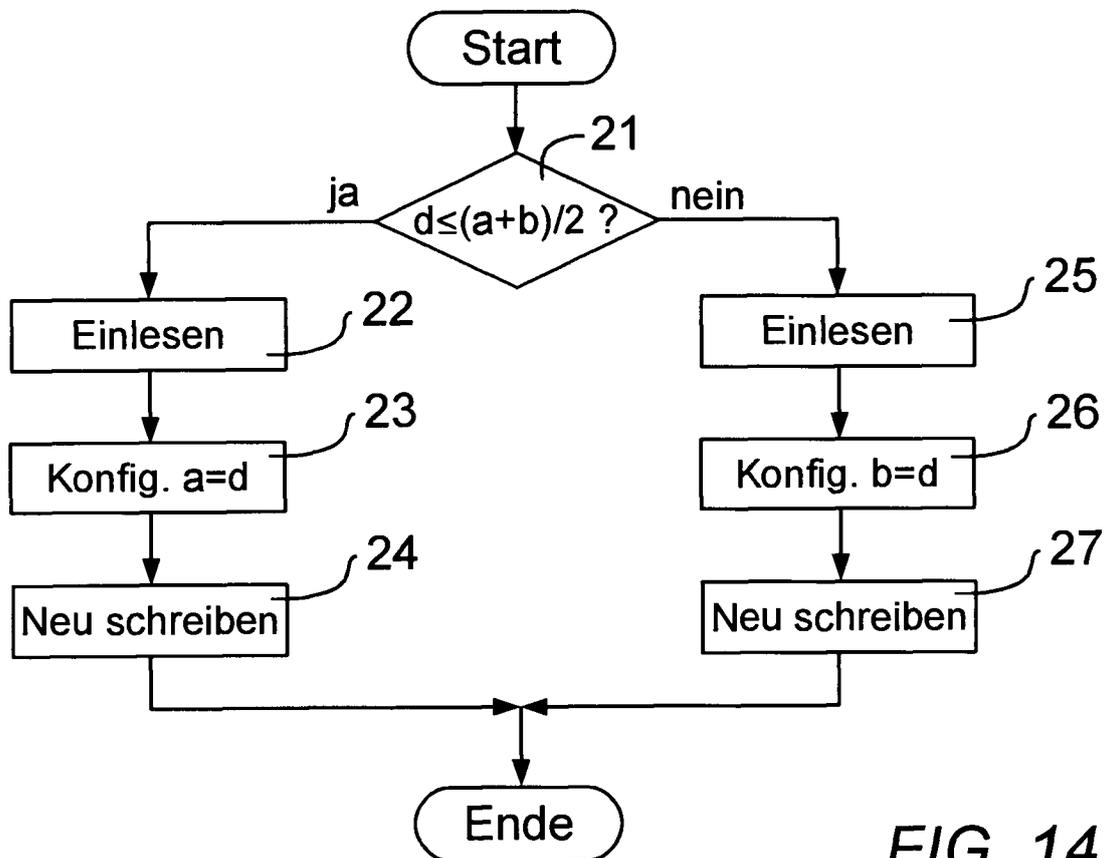


FIG. 14

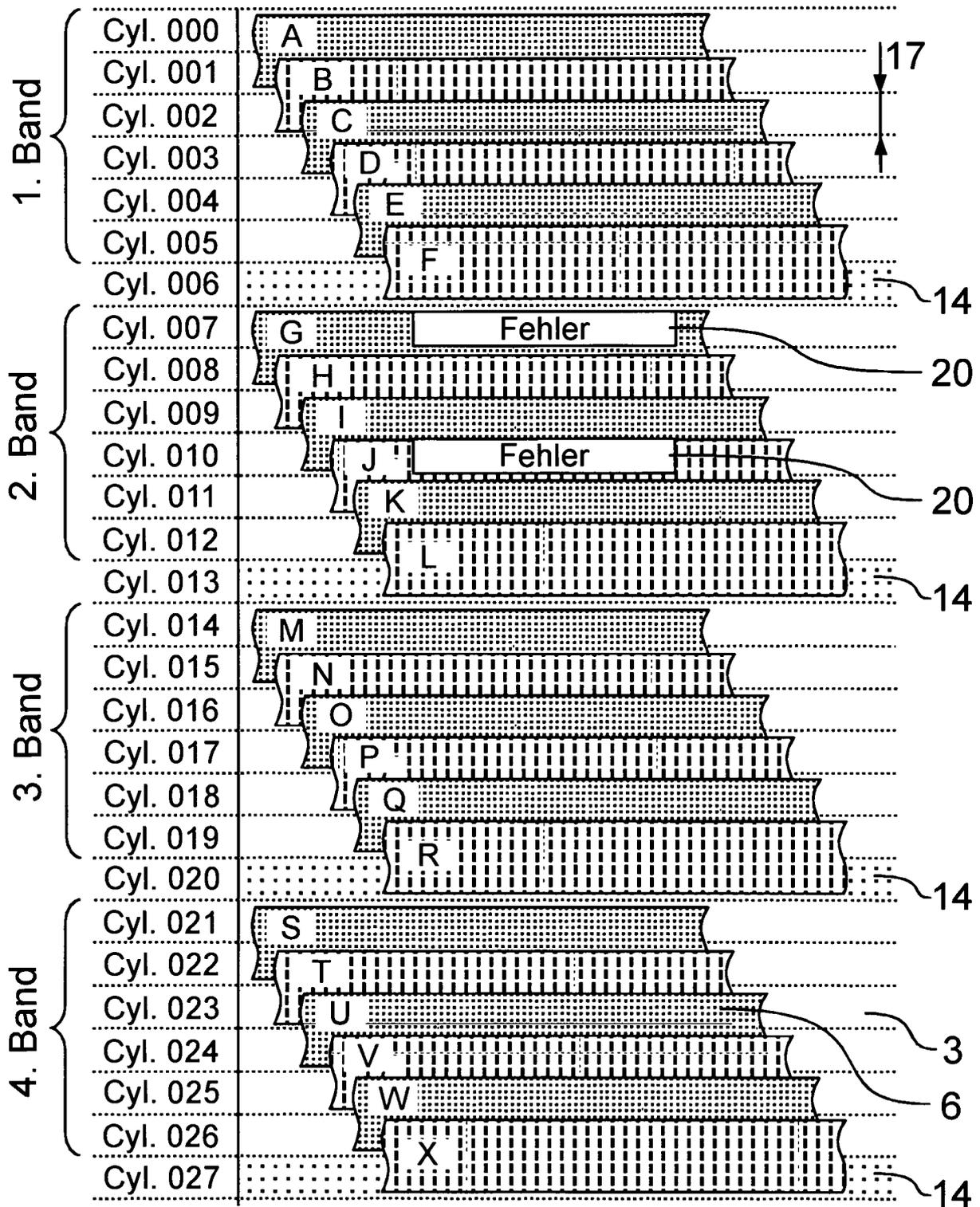


FIG. 15

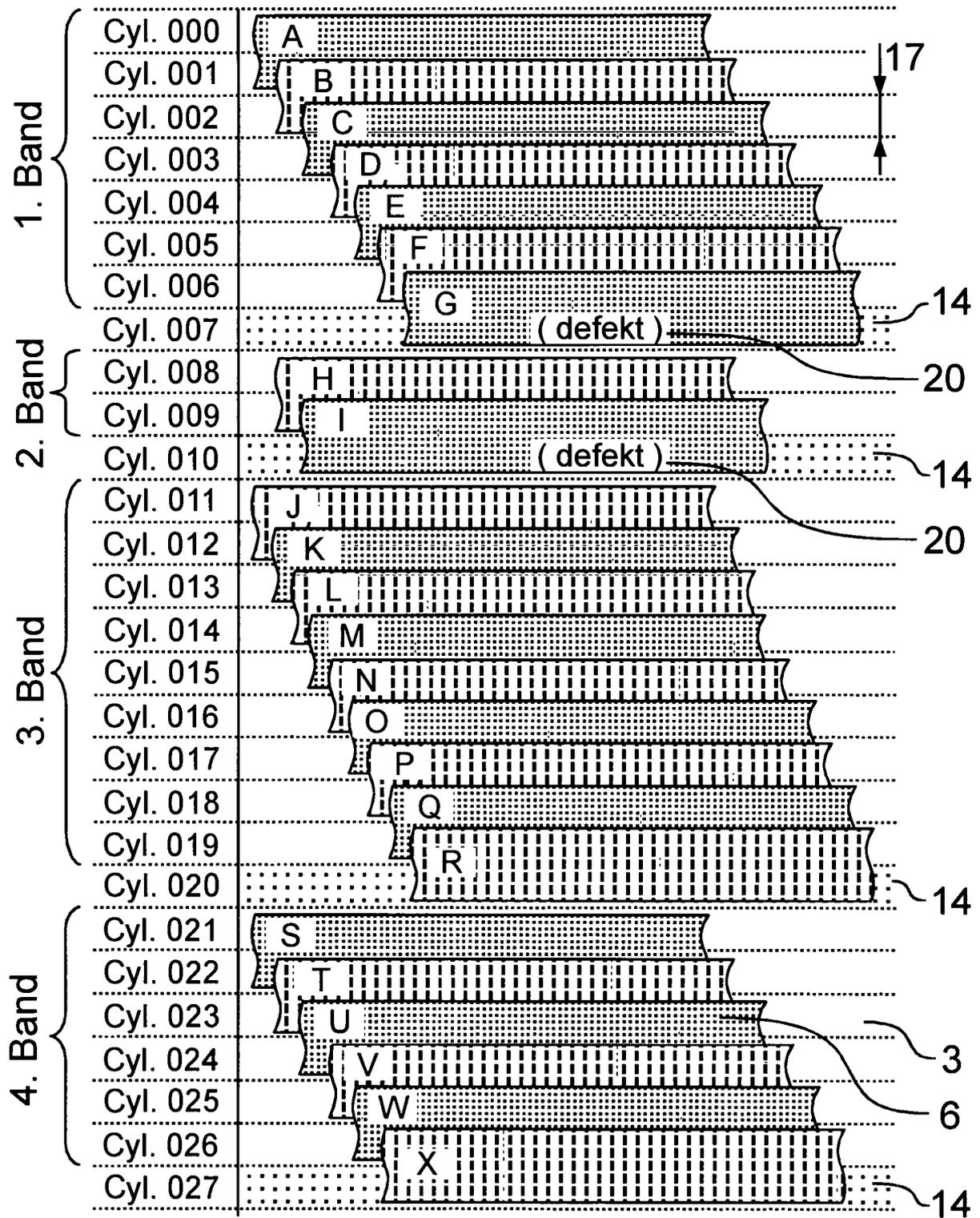


FIG. 16

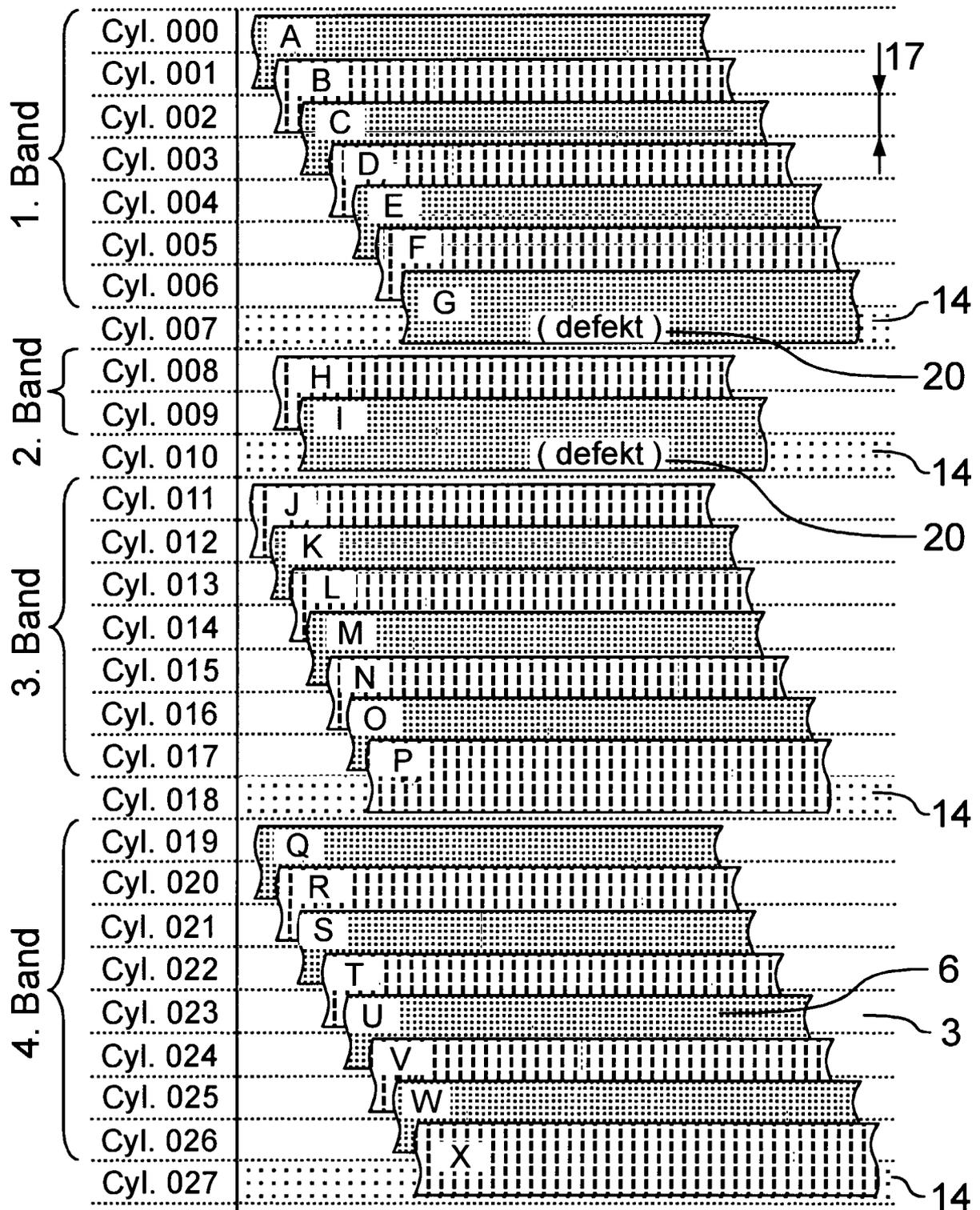


FIG. 17

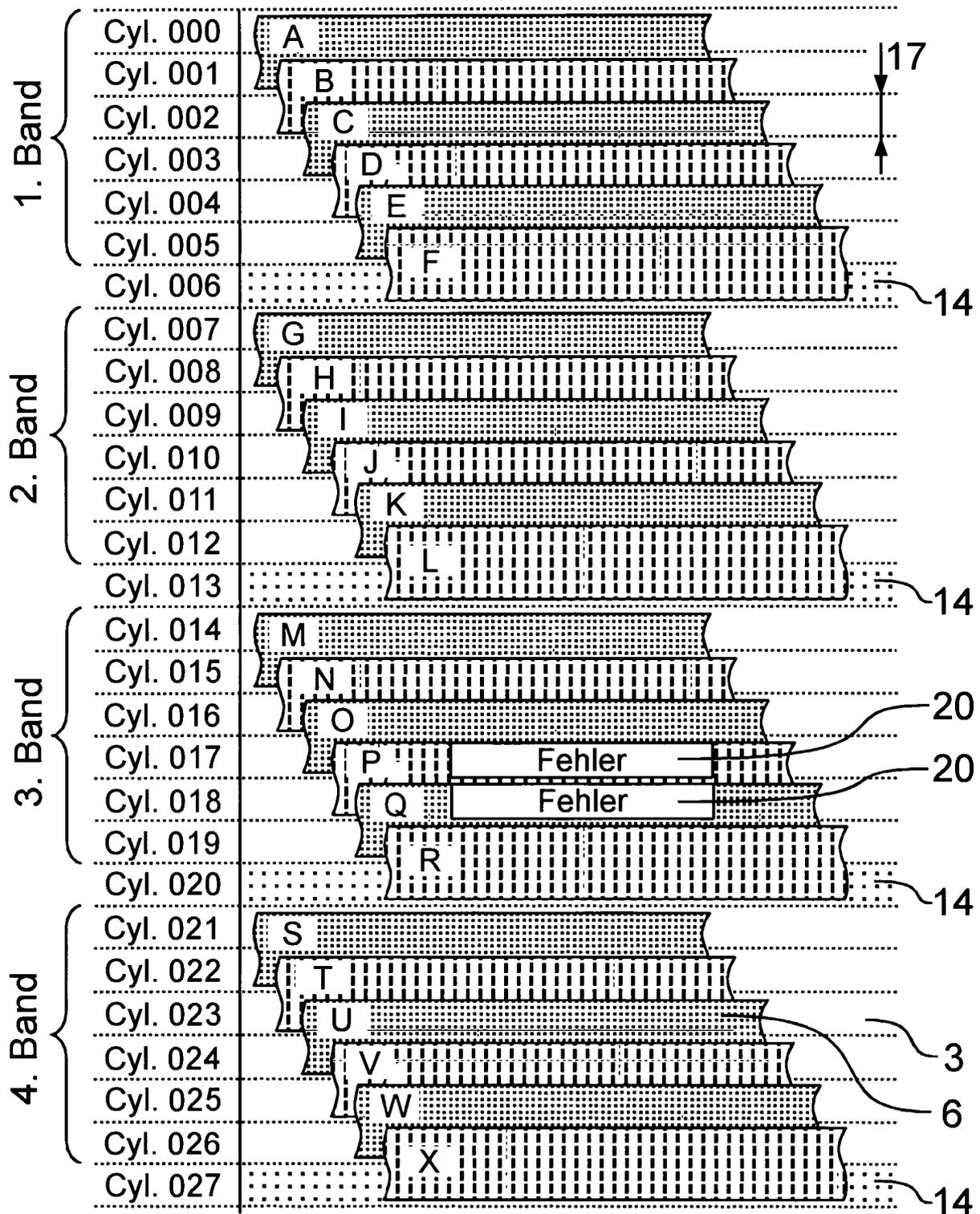


FIG. 18

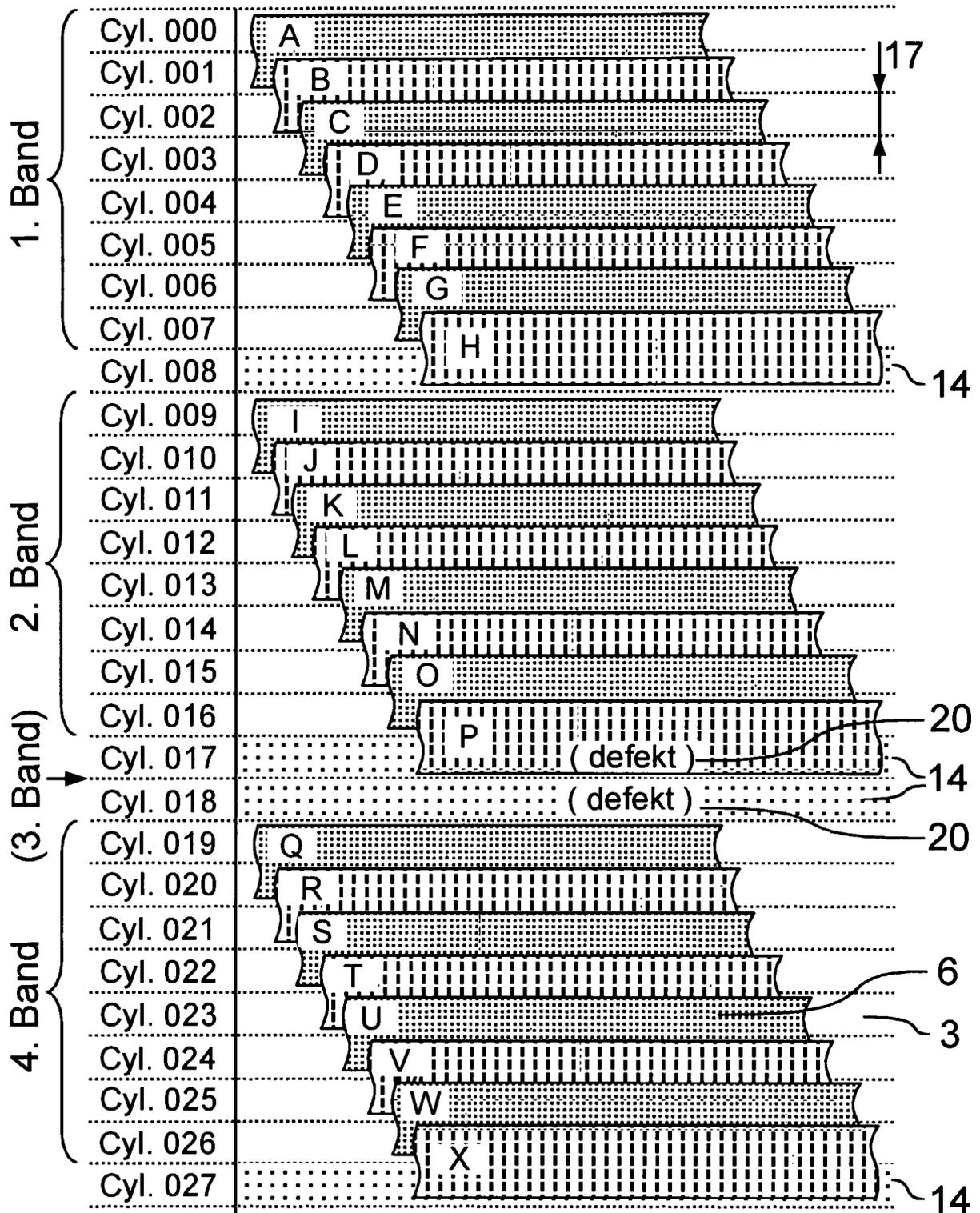


FIG. 19

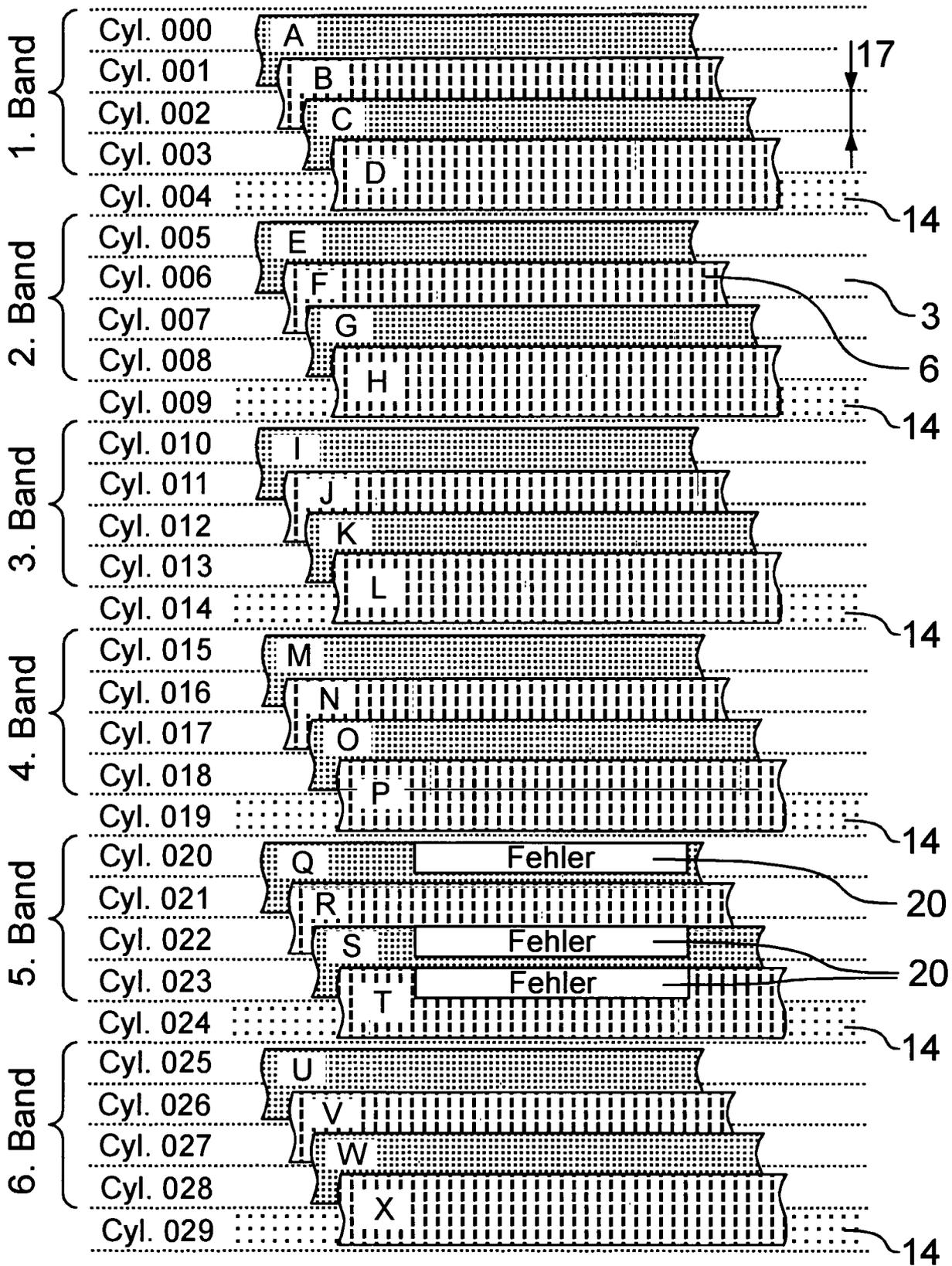


FIG. 20

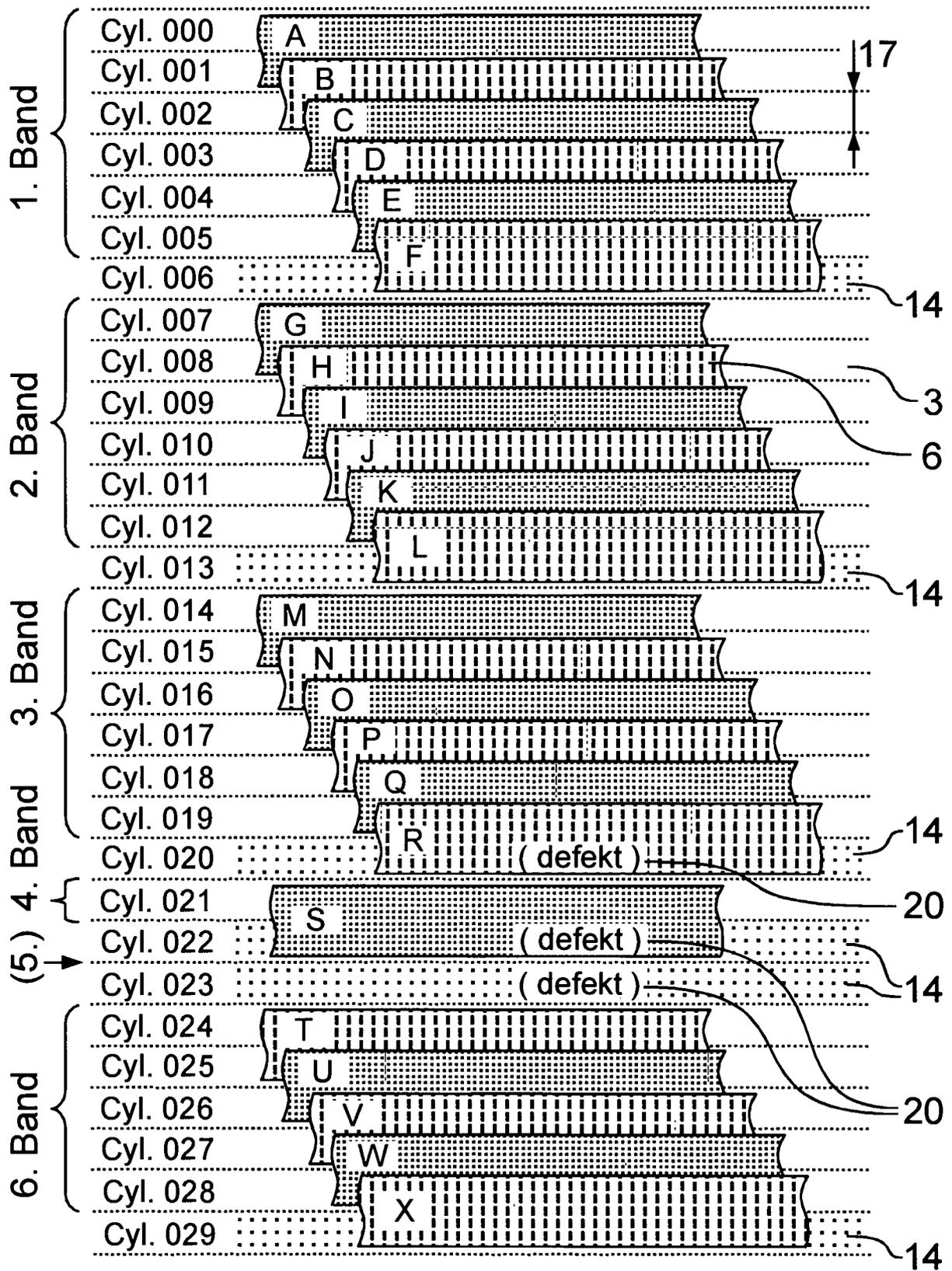
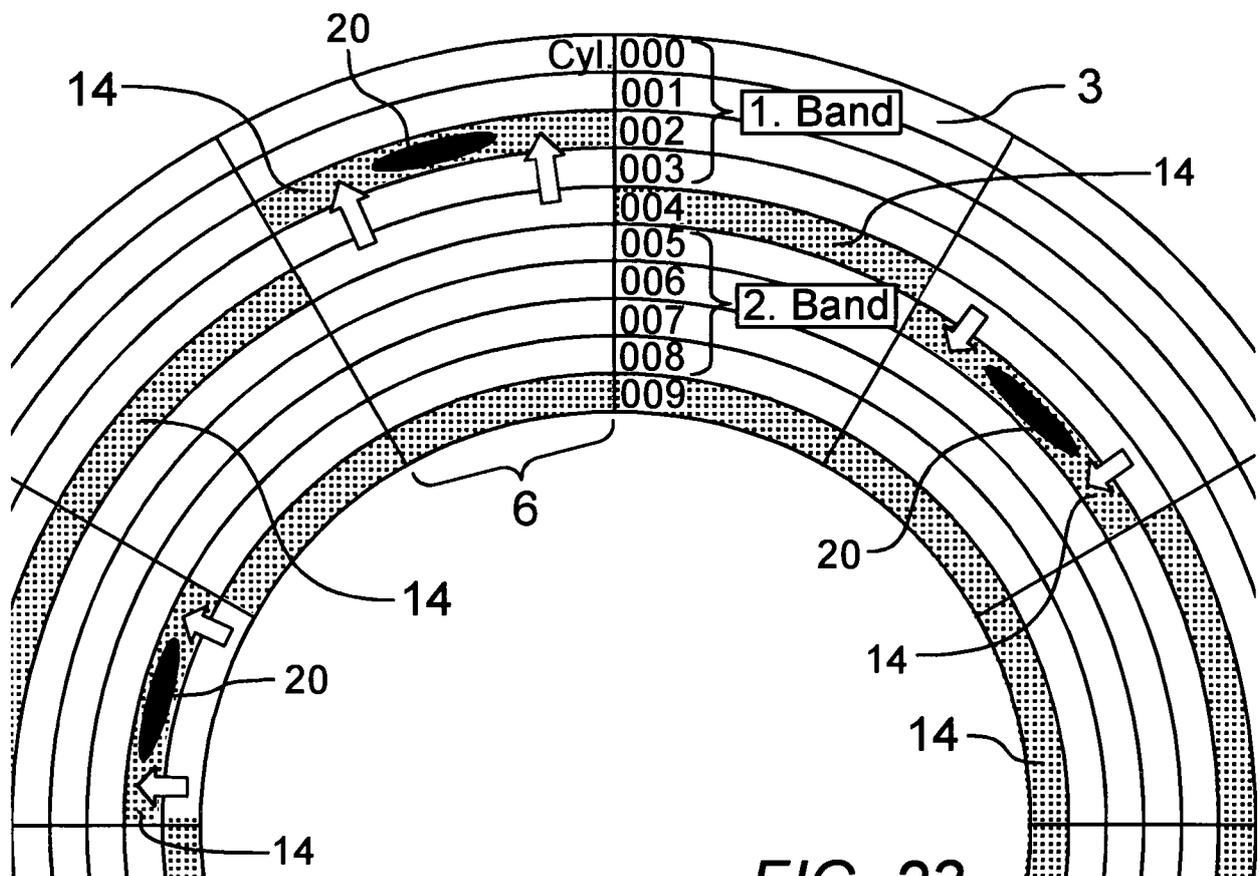
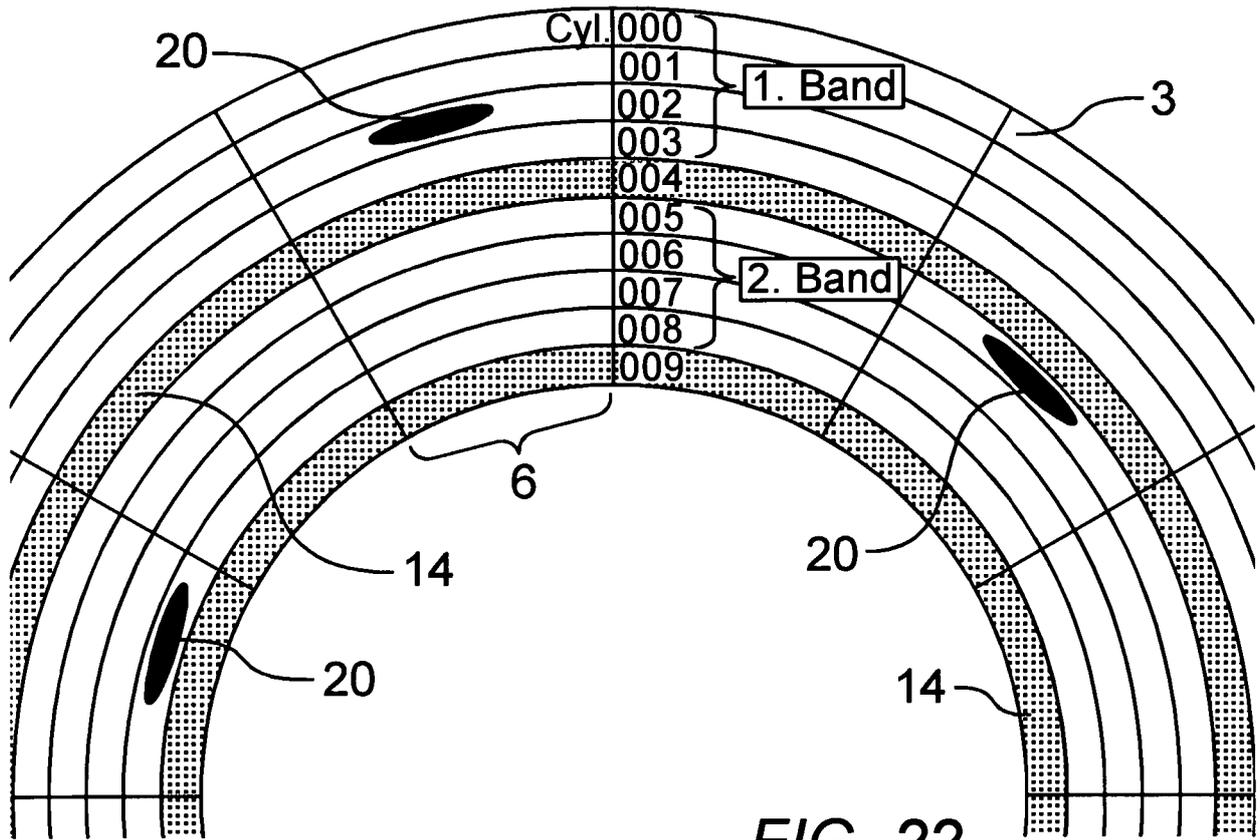


FIG. 21



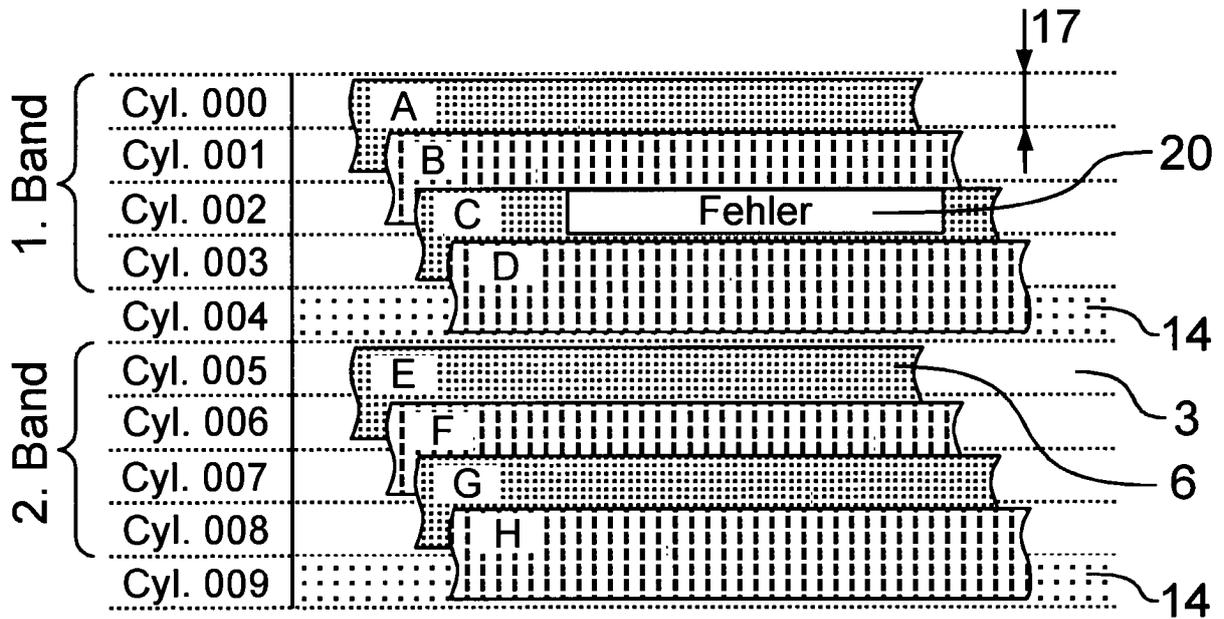


FIG. 24

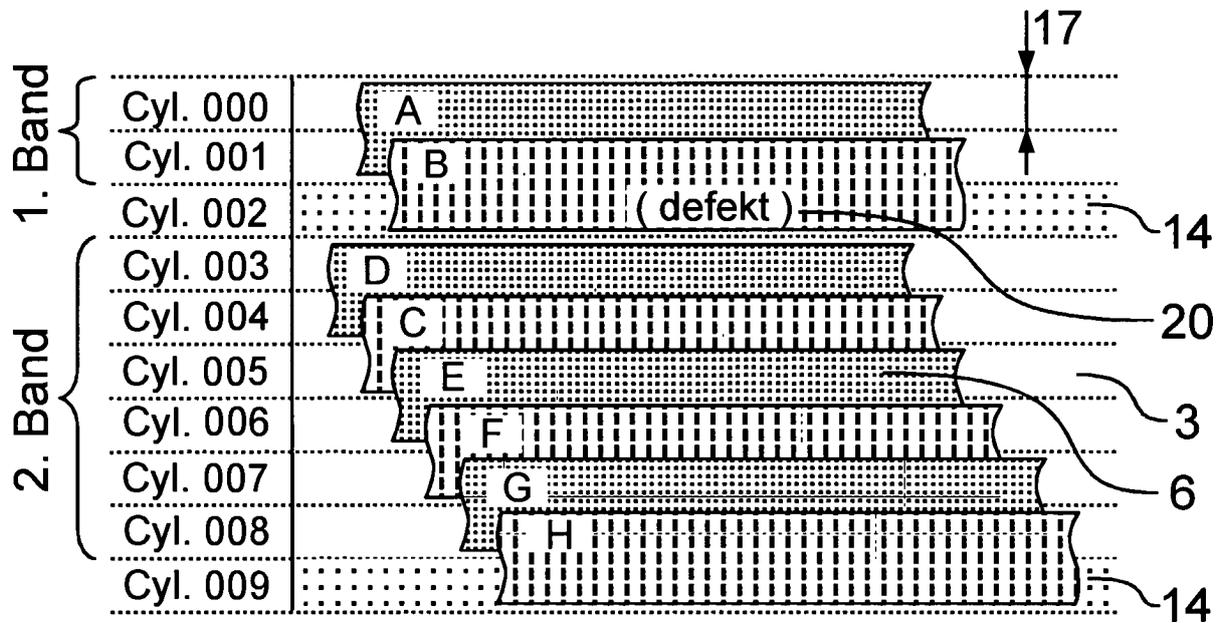


FIG. 25

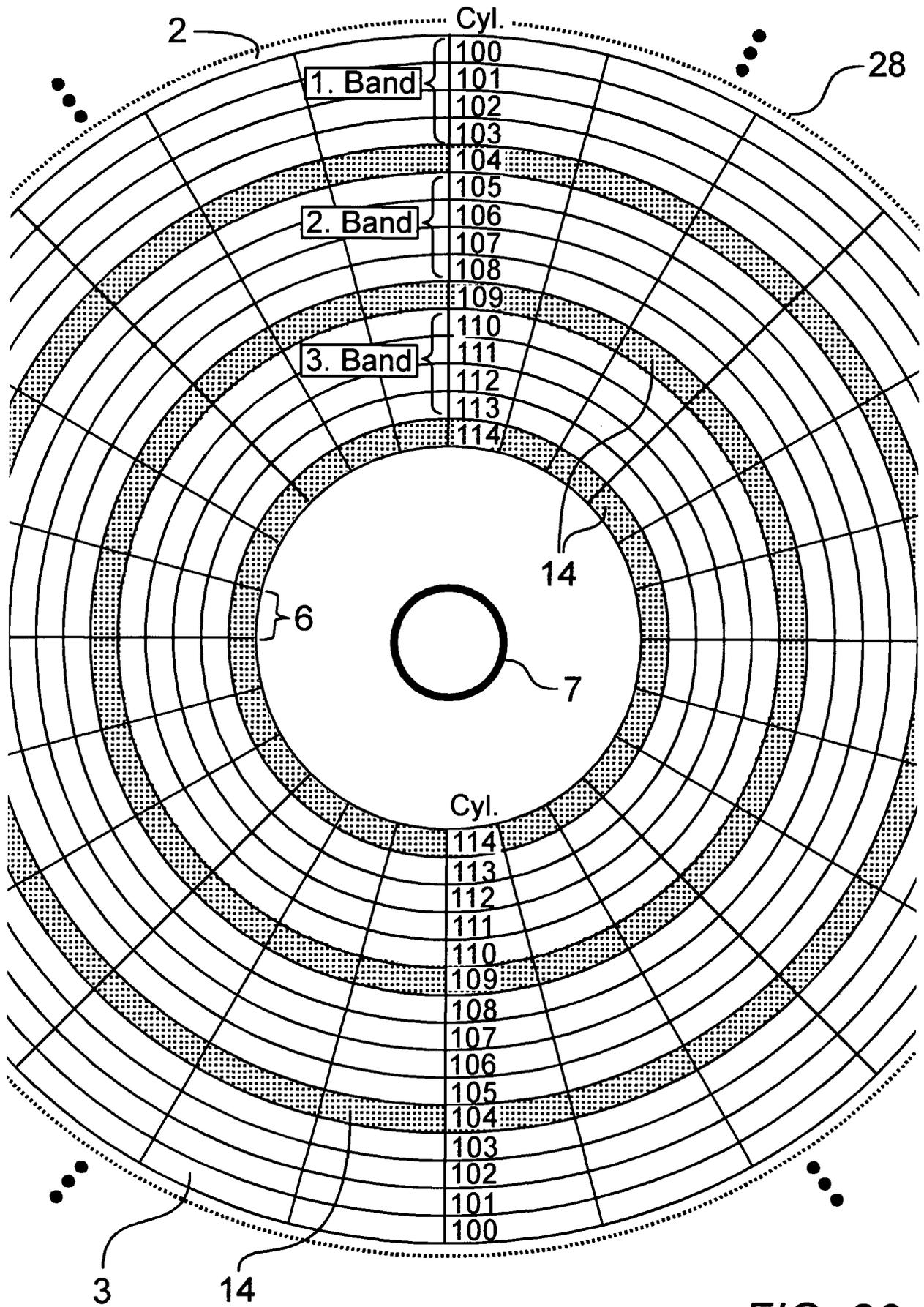


FIG. 26

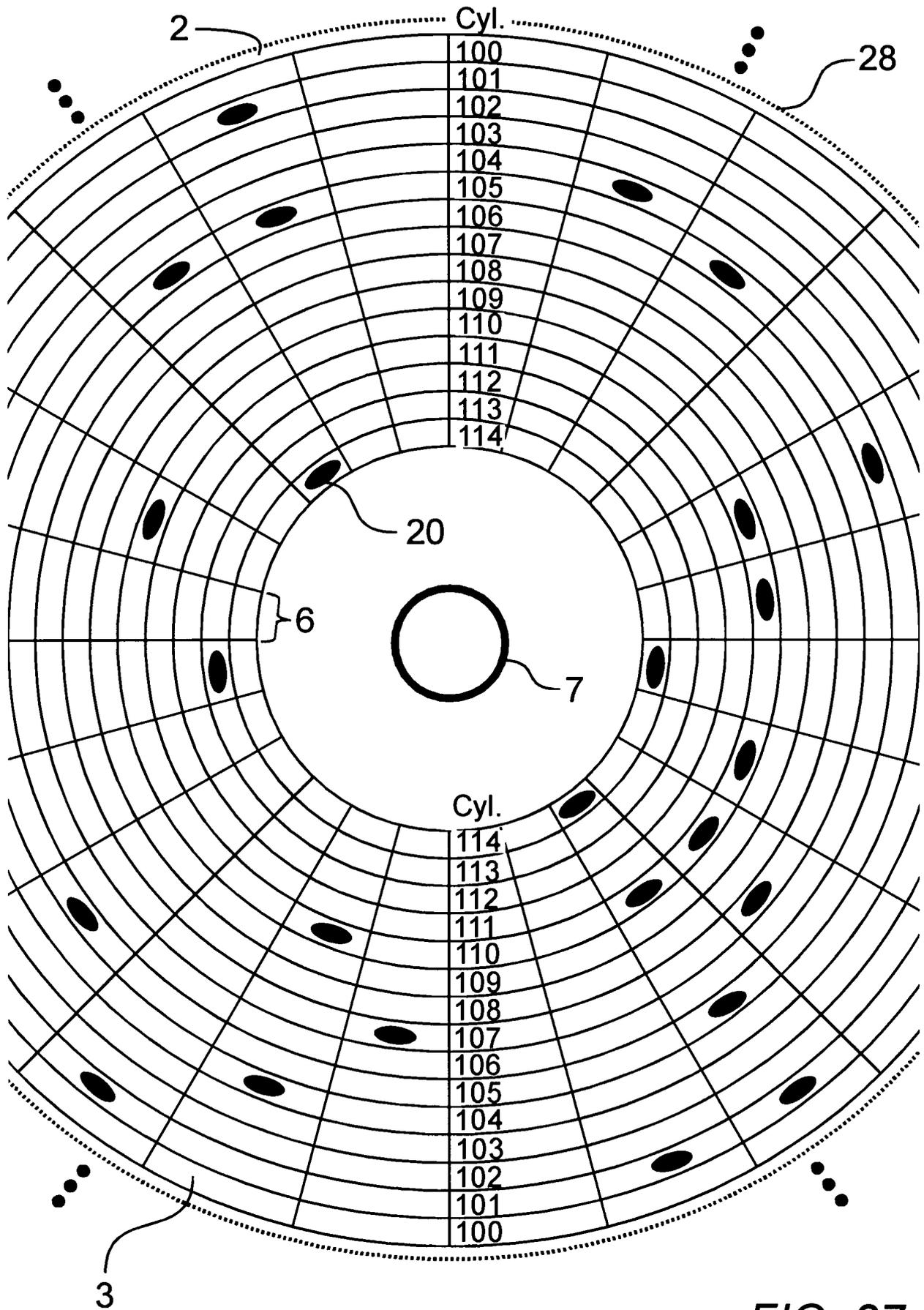


FIG. 27

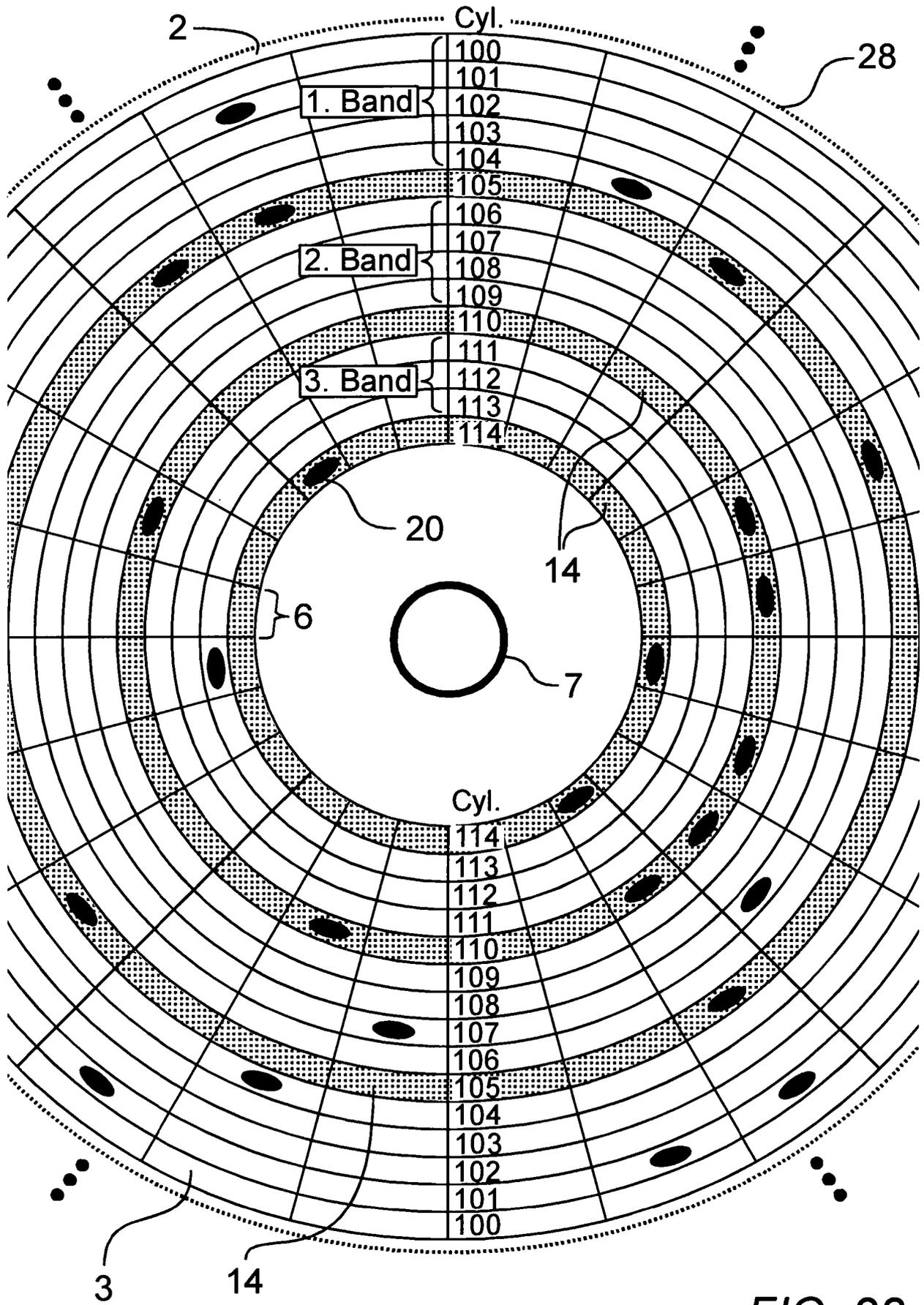


FIG. 28

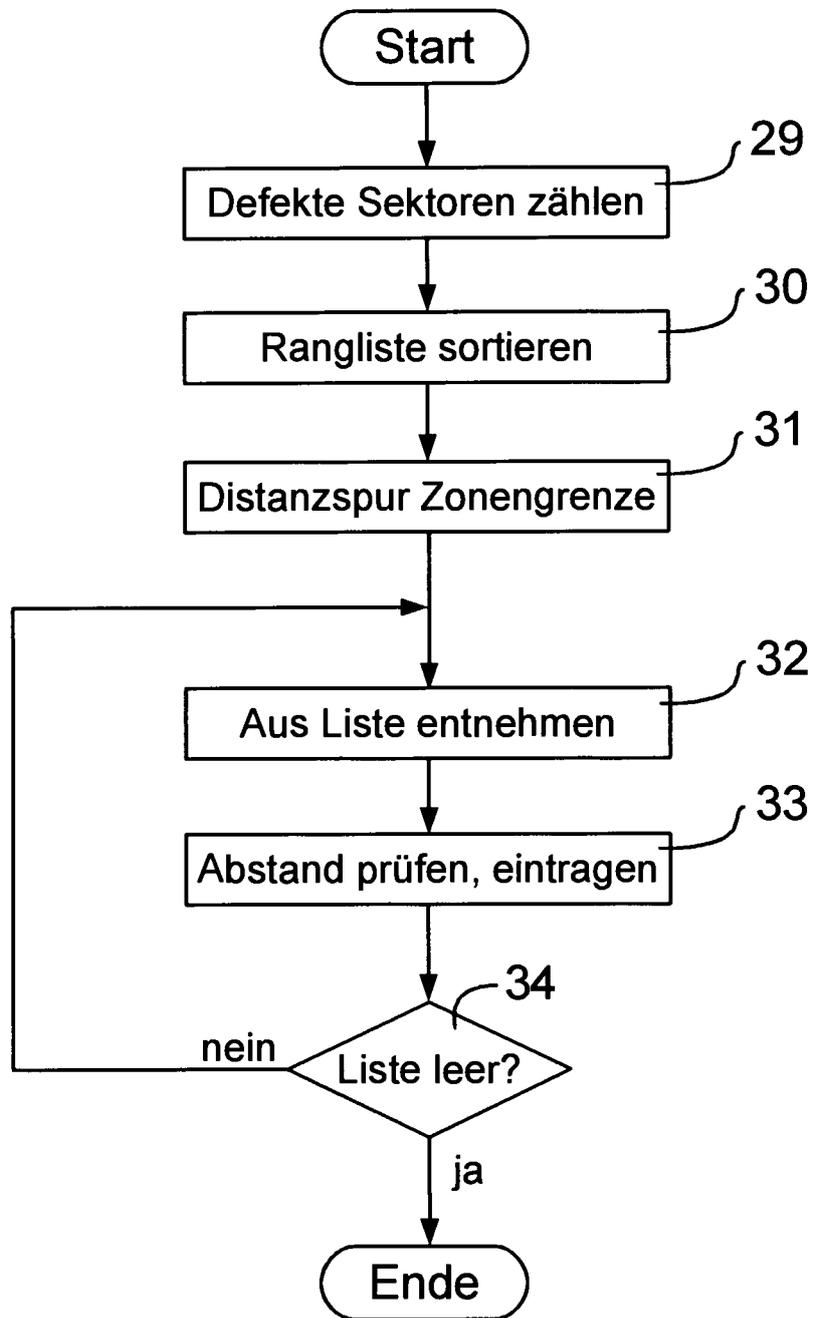


FIG. 29

