



(10) **DE 10 2013 022 051 A1** 2015.06.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 022 051.3**
 (22) Anmeldetag: **23.12.2013**
 (43) Offenlegungstag: **25.06.2015**

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

(71) Anmelder:
**inodyn NewMedia GmbH Software und Elektronik,
 69151 Neckargemünd, DE**

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

(56) Ermittelter Stand der Technik:

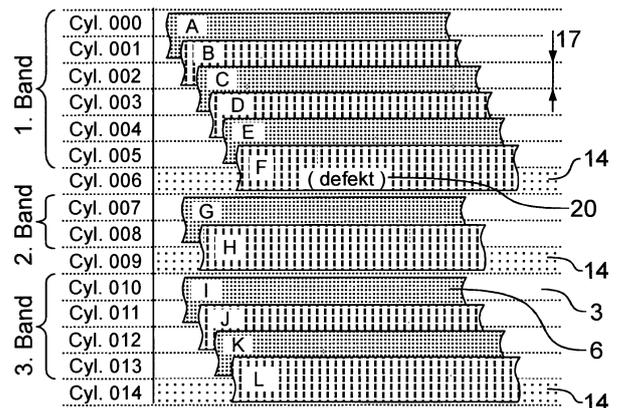
US	7 408 731	B2
US	8 179 627	B2
US	8 223 458	B2
US	8 432 633	B2
US	2012 / 0 082 019	A1
US	2013 / 0 148 225	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

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

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Austausch defekter Sektoren (20) bei Festplatten mit Shingled Magnetic Recording (SMR). Bänder aus Spuren (3) sind beim SMR durch Distanzbereiche (14) getrennt. Der Austausch eines defekten Sektors (20) erfolgt, indem ein Distanzbereich (14) auf die physikalische Position des defekten Sektors (20) gelegt wird. Je nach Ausführungsform werden dazu die Grenzen der Bänder, sowie der zugehörigen Distanzbereiche (14) verschoben. In einer Ausführungsform reduziert ein zusätzlicher Distanzbereich (14) die Write-Amplification. In anderen Ausführungsformen werden Distanzbereiche (14) auf Spuren (3) mit einer erhöhten Anzahl an primären Defekten gelegt.



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 Leseelemente, 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. 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. 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. Zur Erhöhung der Speicherkapazität von Festplatten wird unter anderem der Spurbestand 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 ei-

ne 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. 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 und US 8432633 beschreiben weite Details dieser Technik. 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. 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. 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. 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.

Darstellung der Erfindung

[0003] 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. 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.

[0004] 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. Die genannten und viele weitere Gesichtspunkte der Erfindung werden dem Fachmann nach dem Lesen der detaillierten Beschreibung zu den Ausführungsformen offenkundig.

Beschreibung der Zeichnungen

[0005] 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.

[0006] Fig. 1 SMR-Festplattenlaufwerk

[0007] Fig. 2 Plattenstapel in der Seitenansicht

[0008] Fig. 3 Aufteilung der Spuren in Bänder

[0009] Fig. 4 Schreiben von überlappenden Spuren beim SMR

[0010] Fig. 5 Lesen der überlappenden Spuren beim SMR

[0011] Fig. 6 Defekter Sektor im 2. Band auf Zylinder 006

[0012] Fig. 7 Austausch des defekten Sektors durch Verschieben der oberen Distanzspur

[0013] Fig. 8 Defekter Sektor im 2. Band auf Zylinder 007

[0014] Fig. 9 Austausch des defekten Sektors durch Verschieben der unteren Distanzspur

[0015] Fig. 10 Defekter Sektor im 2. Band auf Zylinder 008

[0016] Fig. 11 Austausch des defekten Sektors ohne read-modify-write

[0017] Fig. 12 Tabelle (G-Liste) für rekonfigurierte Bänder (Beispiel gemäß Fig. 6 und Fig. 7)

[0018] Fig. 13 Tabelle (G-Liste) für rekonfigurierte Bänder (Beispiel gemäß Fig. 10 und Fig. 11)

[0019] Fig. 14 Flussdiagramm der ersten Ausführungsform

[0020] Fig. 15 Zwei defekte Sektoren im 2. Band

[0021] Fig. 16 Austausch von zwei defekten Sektoren in einem Band

[0022] Fig. 17 Angleichen der Spuranzahl der benachbarten Bänder

[0023] Fig. 18 Zwei defekte Sektoren auf benachbarten Spuren im 3. Band

[0024] Fig. 19 Austausch von defekten Sektoren auf benachbarten Spuren

[0025] Fig. 20 Drei defekte Sektoren im 5. Band

[0026] Fig. 21 Austausch von drei defekten Sektoren in einem Band

[0027] Fig. 22 Plattenoberfläche mit geometrischen Sektoren

[0028] Fig. 23 Austausch von defekten Sektoren durch Verschieben einzelner Sektoren

[0029] Fig. 24 Defekter Sektor im 1. Band auf Zylinder 002

[0030] Fig. 25 Direkter Austausch des defekten Sektors ohne Korrektur der sequenziellen Reihenfolge

[0031] Fig. 26 Innerste Zone eines Plattenstapels mit drei Bändern

[0032] Fig. 27 Innerste Zone eines Plattenstapels mit diversen unzuverlässigen Sektoren

[0033] Fig. 28 Distanzbereiche werden bevorzugt auf Spuren mit vielen Fehlern positioniert

[0034] Fig. 29 Flussdiagramm für ein heuristisches Optimierungsverfahren

[0035] Fig. 30 Defekt im 2. Band bei einem Lesekopf- zu Schreibkopf-Verhältnis von 1:3

[0036] Fig. 31 Austausch von zwei benachbarten Defekten mit einem Distanzbereich

Ausführung der Erfindung

[0037] 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.

[0038] 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.

[0039] 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. 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. 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. 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. 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. 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.

[0040] 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. Das Leseelement 16 ist für die Spurbreite 17 der Spuren 3 ausgelegt bzw. optimiert. Dies gilt auch für die Spurbreite 17 des Schreibelements 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.

[0041] 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. 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

[0042] 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 Schreibelement **15** doppelt so breit ist wie das Leselement **16**. 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. 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“. 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.

[0043] 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.

[0044] 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.

[0045] 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 verkleinert 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.

[0046] 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. Die sequenzielle Reihenfolge der Sektor-Daten „A“ bis „L“ bleibt gemäß Fig. 6 und Fig. 7 auch nach der Rekonfiguration erhalten.

[0047] 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**. 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. 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. Auch in diesem Fall sorgt das geschilderte Verfahren dafür, dass die sequenzielle Reihenfolge der Sektor-Daten („A“ bis „L“) nach der Rekonfiguration erhalten bleibt.

[0048] 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. 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 (Sektor 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.

[0049] 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.

[0050] **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. **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. 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. 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.

[0051] **Fig. 14** zeigt das Flussdiagramm der ersten Ausführungsform. Dabei ist d die Zylindernummer eines defekten Sektors **20**. Die Zylindernummer 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.

[0052] 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:

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

[0053] 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 Festplattencontrollers **10** zwischengespeichert, die im Plattenstapel **13** zwischen der Zylindernummer a der oberen Distanzspur **14** und einschließlich der Zylindernummer

d des defekten Sektors **20** liegen. 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. 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:

$$C_{\text{neu}} = C_{\text{alt}} - 1$$

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

$$b_{\text{alt}} = b$$

[0055] Dann wird die untere Distanzspur **14** auf die Zylinder-Nummer d verlegt, indem der Eintrag in der G-Liste geändert wird:

$$b = d$$

[0056] Abschließend werden mit Operation **27** die zwischengespeicherten Sektoren **6** auf allen Plattenoberflächen **2** des Plattenstapels **13** zurückgeschrieben. Bis einschließlich zur ehemaligen Zylinder-Nummer der Distanzspur b_{alt} wird jeder Sektor **6** im Plattenstapel **13** um eine Zylinder-Nummer nach unten verschoben:

$$C_{\text{neu}} = C_{\text{alt}} + 1$$

wobei c die Zylinder-Nummer des jeweiligen Sektors **6** ist. Die restlichen zwischengespeicherten Sektoren **6** werden auf ihre ursprünglichen Zylinder **12** zurückgeschrieben.

Zweite Ausführungsform

[0057] 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**. 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**.

[0058] 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.

[0059] 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**. 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.

[0060] **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. 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**. Gleichermaßen 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. 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. 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.

[0061] 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. 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.

[0062] 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-Amplification 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-Amplification bei verteilten Schreibzugriffen nicht ins Gewicht fällt. 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. 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 kom-

pensieren somit das in der Breite auf zwei Spuren reduzierte 2. Band.

[0063] **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 unnummeriert werden, so dass aus dem 4. Band ein neues 3. Band wird.

[0064] 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**. 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. 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.

[0065] 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. 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. 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

der 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

[0066] In der zweiten Ausführungsform wird, wie dargestellt, 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**.

[0067] 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 Plattenoberfläche **2** ausgeführt werden und nicht im gesamten Plattenstapel **13**. Im Ausgangszustand haben die Bänder **18** der dritten Ausführungsform eine Breite von vier Spuren **3**. Eine beliebige andere Breite ist möglich. **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). 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. 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 geometrischem 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). 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.

[0068] 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. 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. **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. 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.

[0069] 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.

[0070] 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

[0071] 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**.

[0072] **Fig. 26** zeigt exemplarisch die innerste Zone **28** einer Plattenoberfläche **2** mit einer konventionellen Anordnung der Distanzspuren **14**. Die in-

nerste 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. 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**.

[0073] 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.

[0074] **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. 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. 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. 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**.

[0075] 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.

[0076] 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 Zylindernummer) 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 Zylindernummer 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, andernfalls wird der Kandidat verworfen (Operation **33**).
- Die Operationen **32** und **33** werden solange wiederholt, bis die Rangliste leer ist (Verzweigung **34**).

[0077] 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.

[0078] 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.

[0079] 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. Ein weiteres Kriterium, dass in den Optimierungsprozess einfließen kann, ist der Schweregrad von unzuverläss-

sigen 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.

[0080] 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**.

[0081] 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 „behoben“ 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.

[0082] 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.

[0083] Der Fachmann wird erkennen, dass in Abhängigkeit dieses Gesichtspunkts und in Abhängigkeit der Zielsetzung, unterschiedliche Ausführungsformen 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 Schreible-

seköpfe **8** durchzuwechseln. 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.

[0084] 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.

[0085] 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.

[0086] 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**.

[0087] 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 Zylindernummer 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 Zylindernummer) wer-

den abschließende Distanzspuren **14** positioniert, indem für diese Zylindernummer ein Eintrag in der P-Liste erfolgt (Operation **31**).

- Die Zylindernummer mit der höchsten Fehleranzahl (erster Eintrag) wird der Rangliste entnommen und aus der Rangliste gestrichen (Operation **32**). Die jeweils entnommenen Zylindernummern 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 Zylindernummer 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 **18** 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

[0088] In den Ausführungsformen gemäß **Fig. 3** bis **Fig. 29** wird ein Schreiblesekopf **8** verwendet, dessen Schreibelement **15** doppelt so breit ist wie das Leselement **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. 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 nunmehr zweispurigen Distanzbereichs **14** werden in dieser Ausführungsform separat pro Plattenoberfläche **2** verschoben, analog zur zweiten Ausführungsform.

[0089] 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**.

[0090] **Fig. 31** zeigt, wie ausschließlich die obere Bandgrenze des betroffenen 2. Bandes verschoben wird. Dazu wird der zweisepurige Distanzbereich **14** vom Zylinderpaar (005, 006) auf das Zylinderpaar (007, 008) verlegt, womit der Distanzbereich **14** beide Defekte abdeckt. 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.

[0091] 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.

[0092] 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. 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 zweisepuriger 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.

[0093] 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.

[0094] 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 Spiel-

raum 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** unnummeriert werden.

[0095] 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.

[0096] 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.

[0097] 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.

[0098] 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 sequenziellen Reihenfolge der Sektor-Daten **6** vorteil-

haft für die Zugriffszeiten ist und/oder andere Performance-Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind, wird sich der Fachmann für eine geeignete Variante entscheiden.

[0099] 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.

[0100] 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

[0101] 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. In einer sechste 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 (Sektor Spare Area) ausgelagert. 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.

[0102] 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	Leseelement 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?

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 8223458 [0002]
- US 8432633 [0002]

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 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 sequen-

zielle 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 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 Bän-

der (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) betroffen 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 Distanzbereiche (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

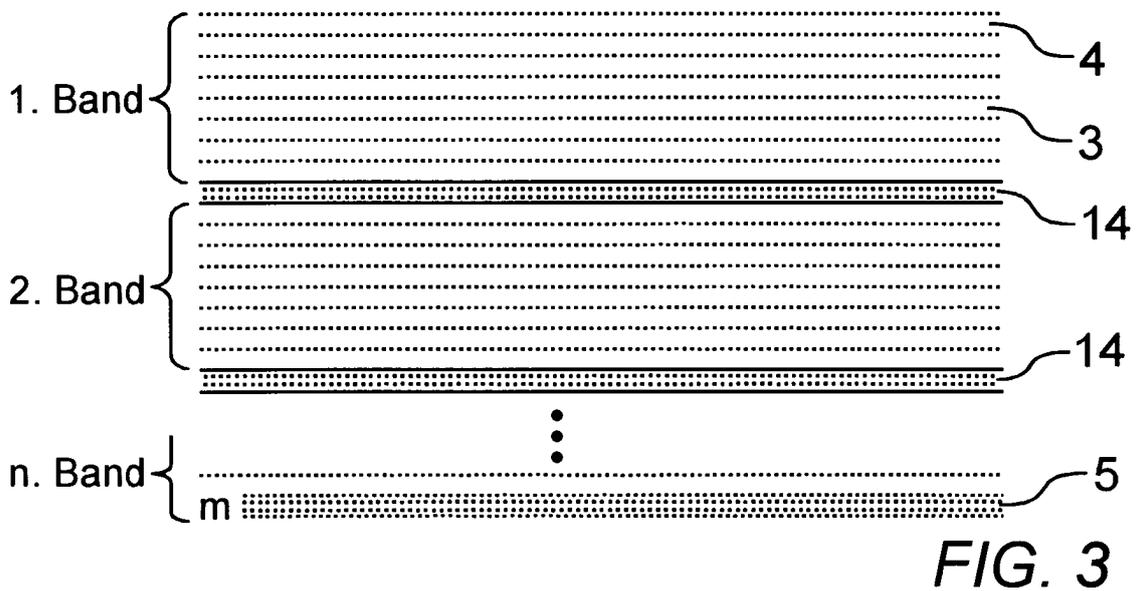
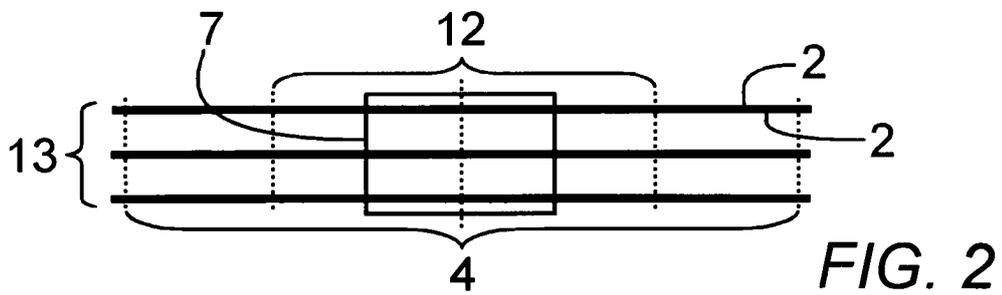
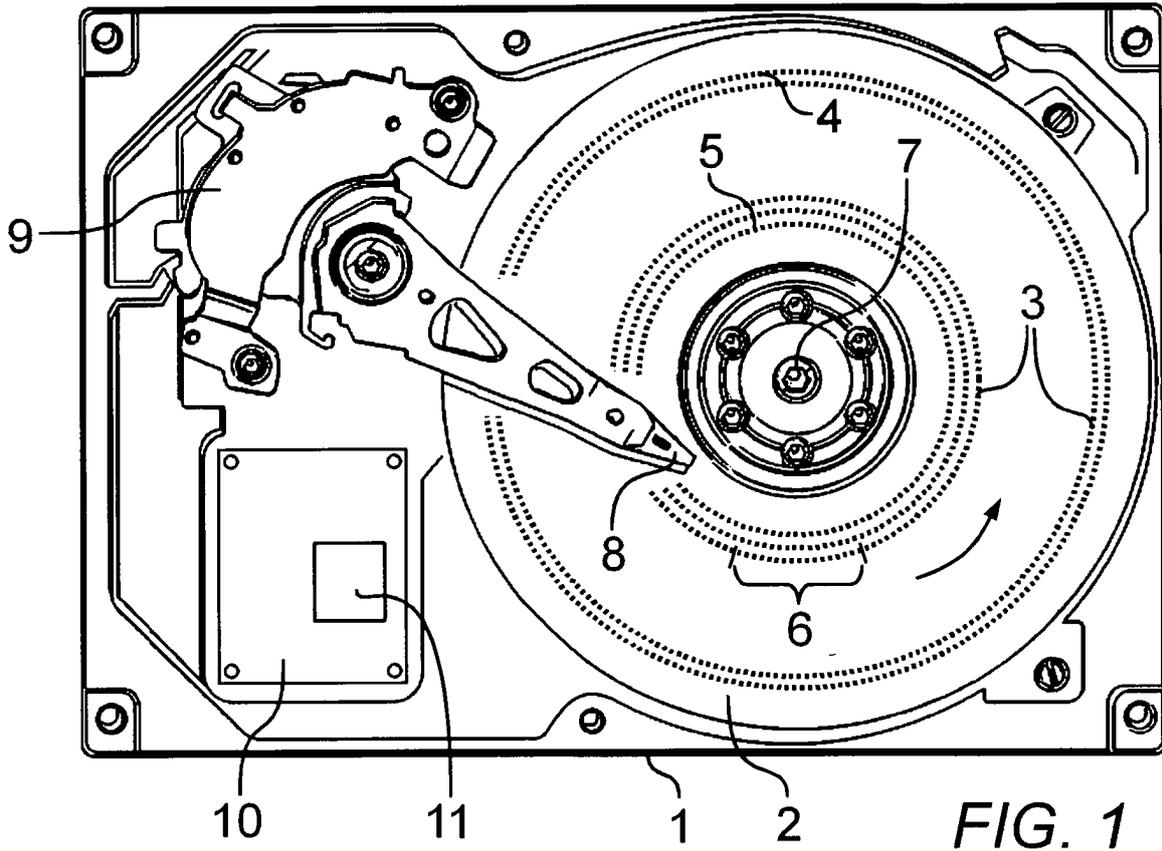
pro Gruppe (18), so optimiert sind, dass die Distanzspuren (14) möglichst oft auf Spuren (3) mit einer erhöhten Anzahl an unzuverlässigen Stellen (20) verortet sind.

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



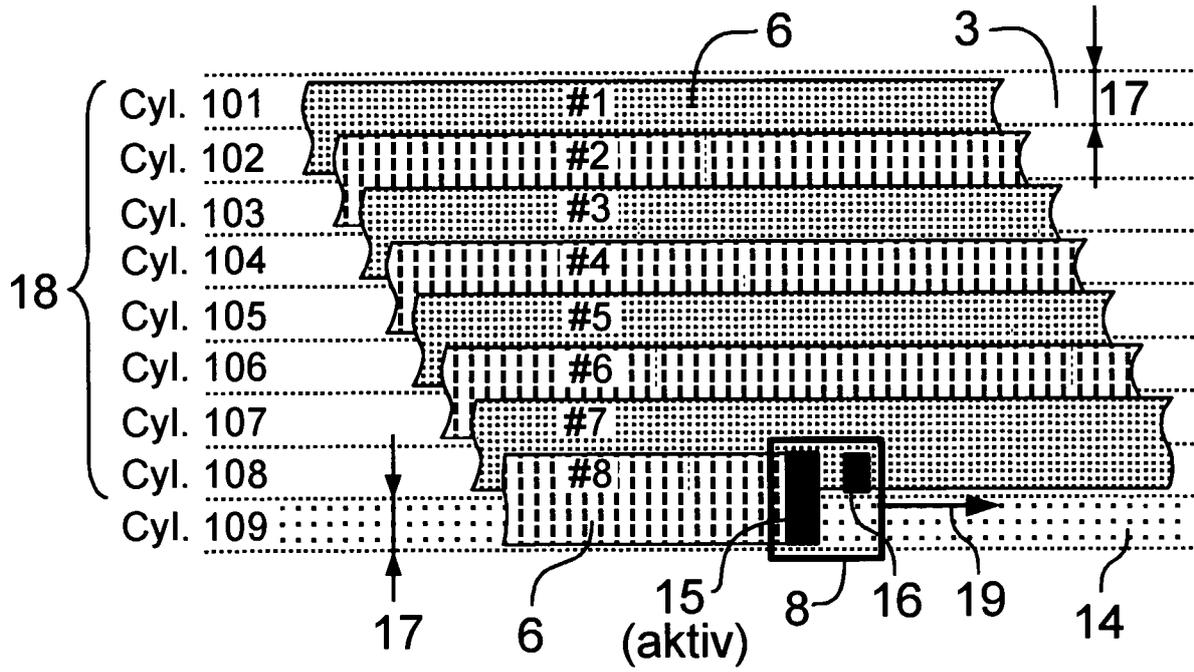


FIG. 4

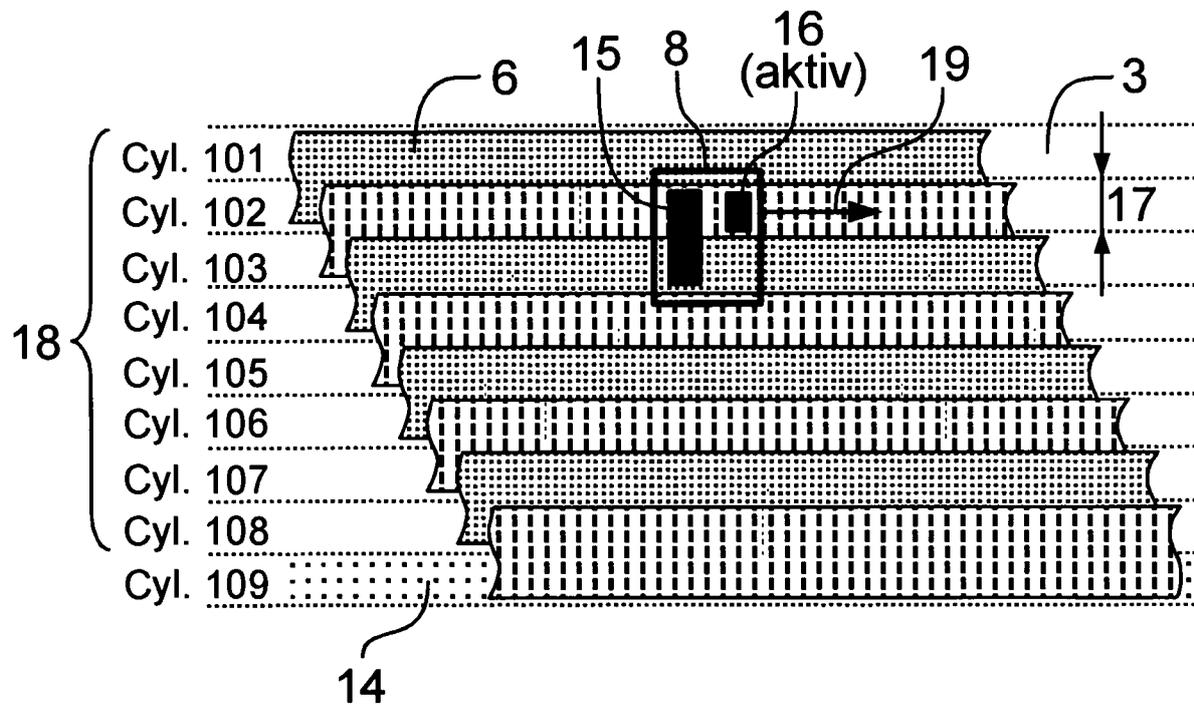


FIG. 5

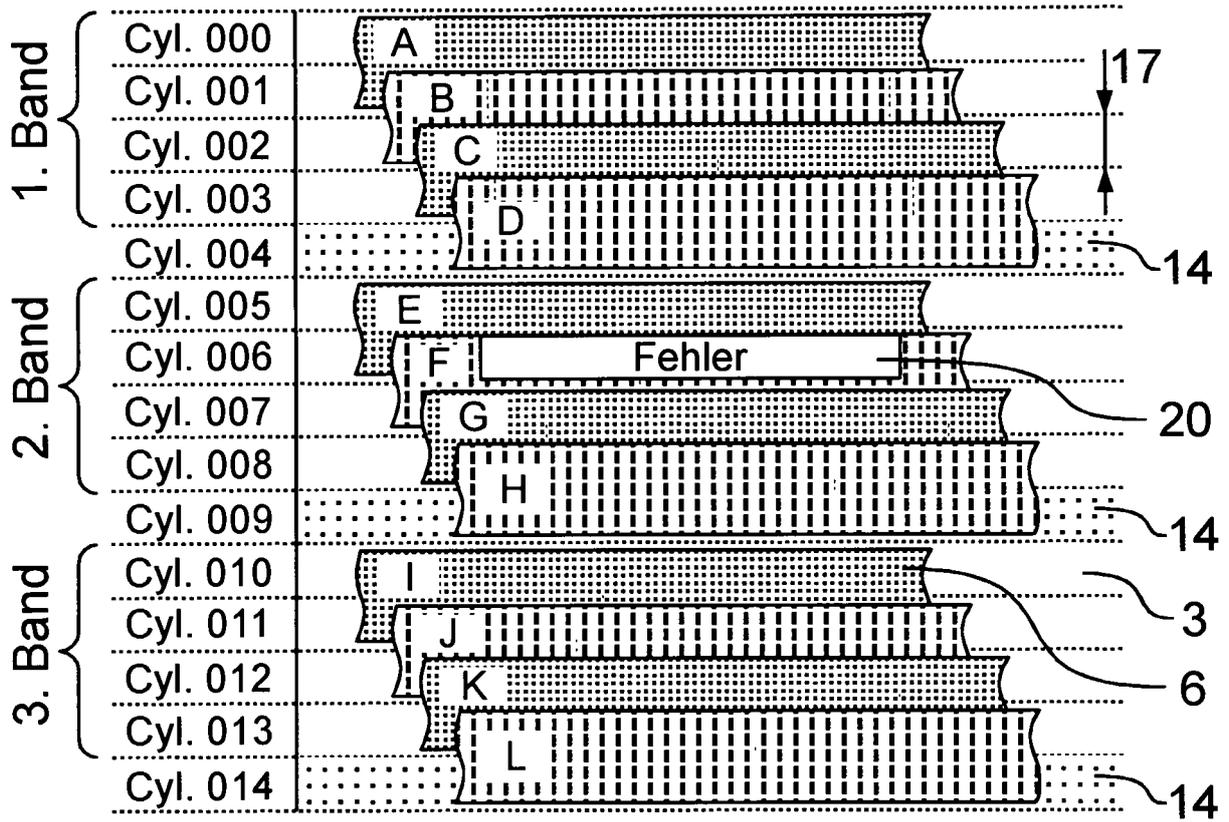


FIG. 6

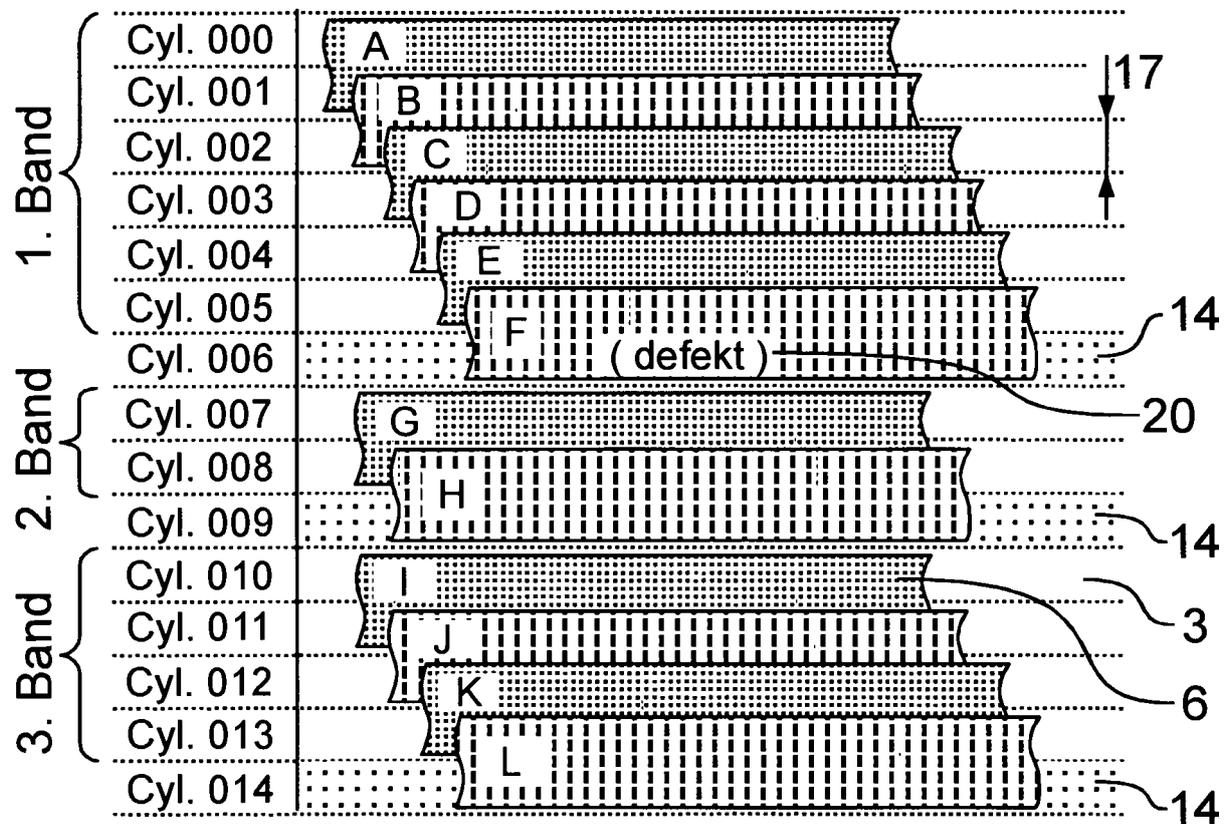


FIG. 7

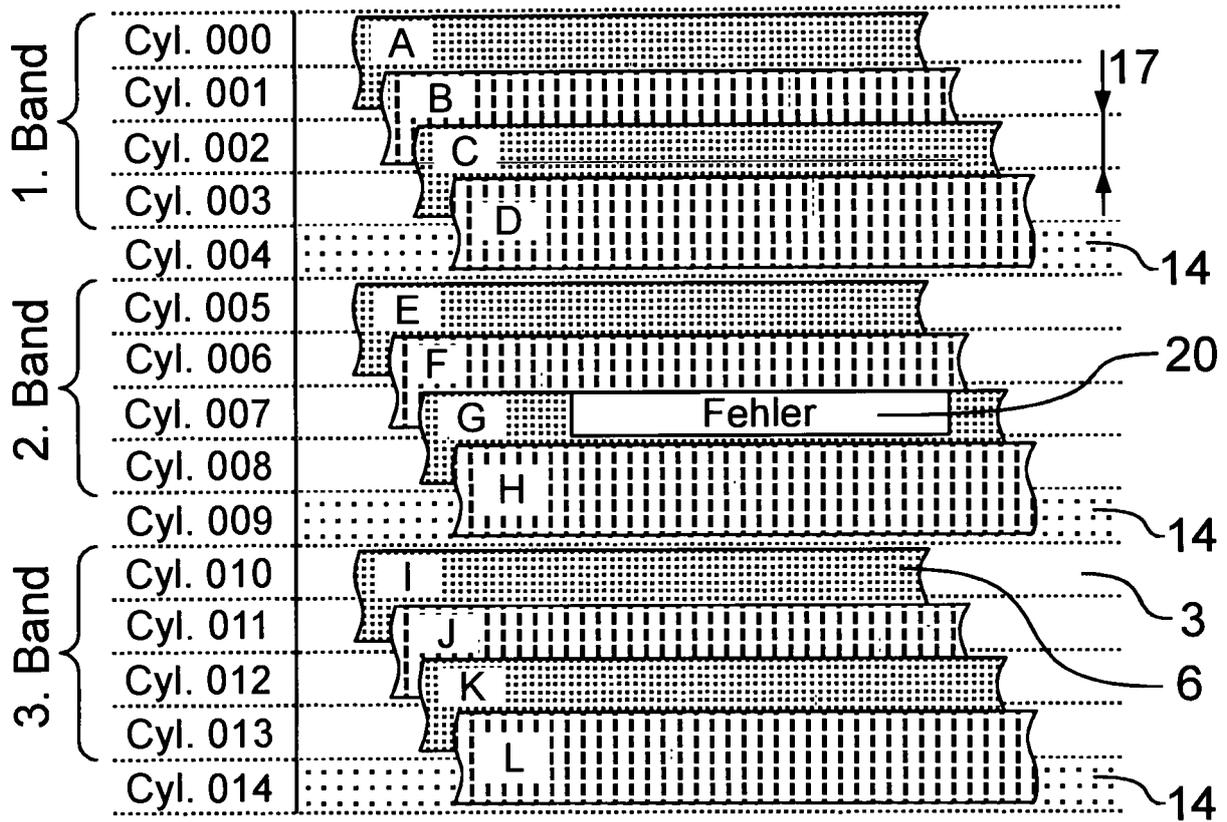


FIG. 8

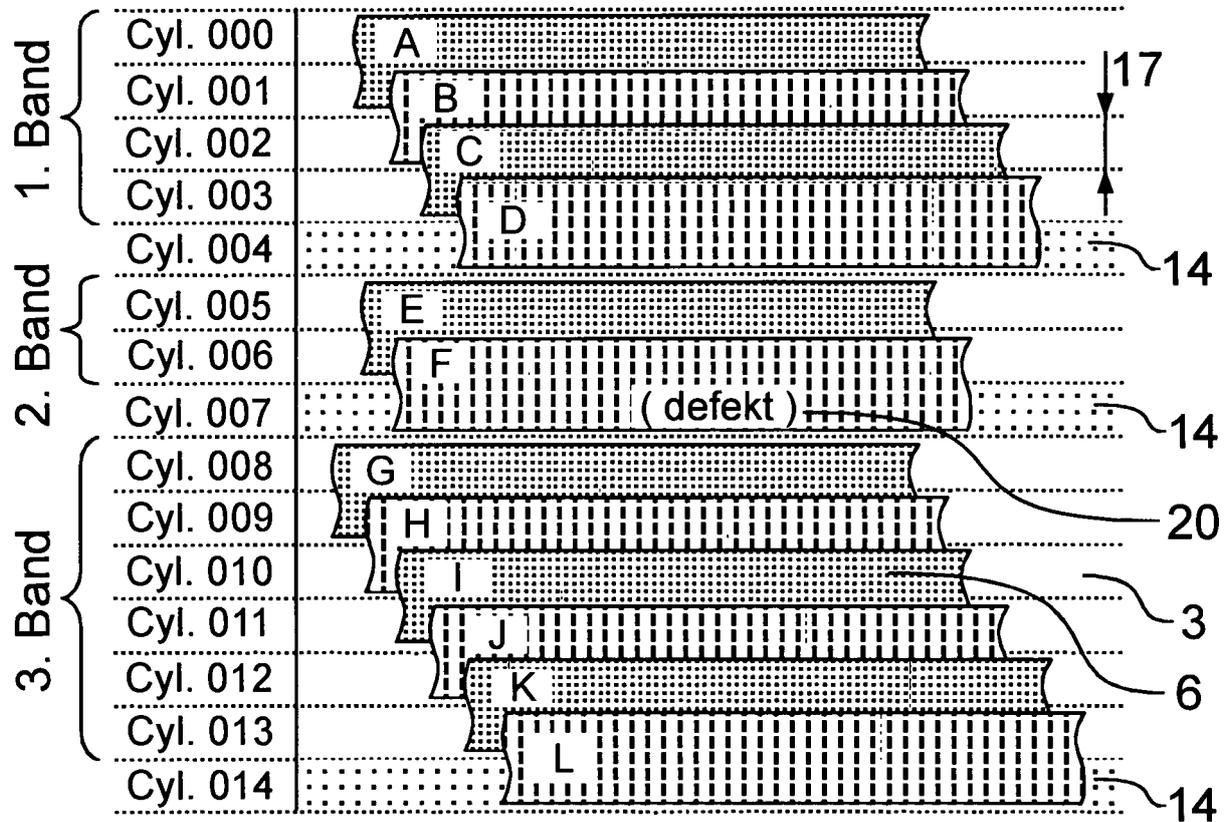


FIG. 9

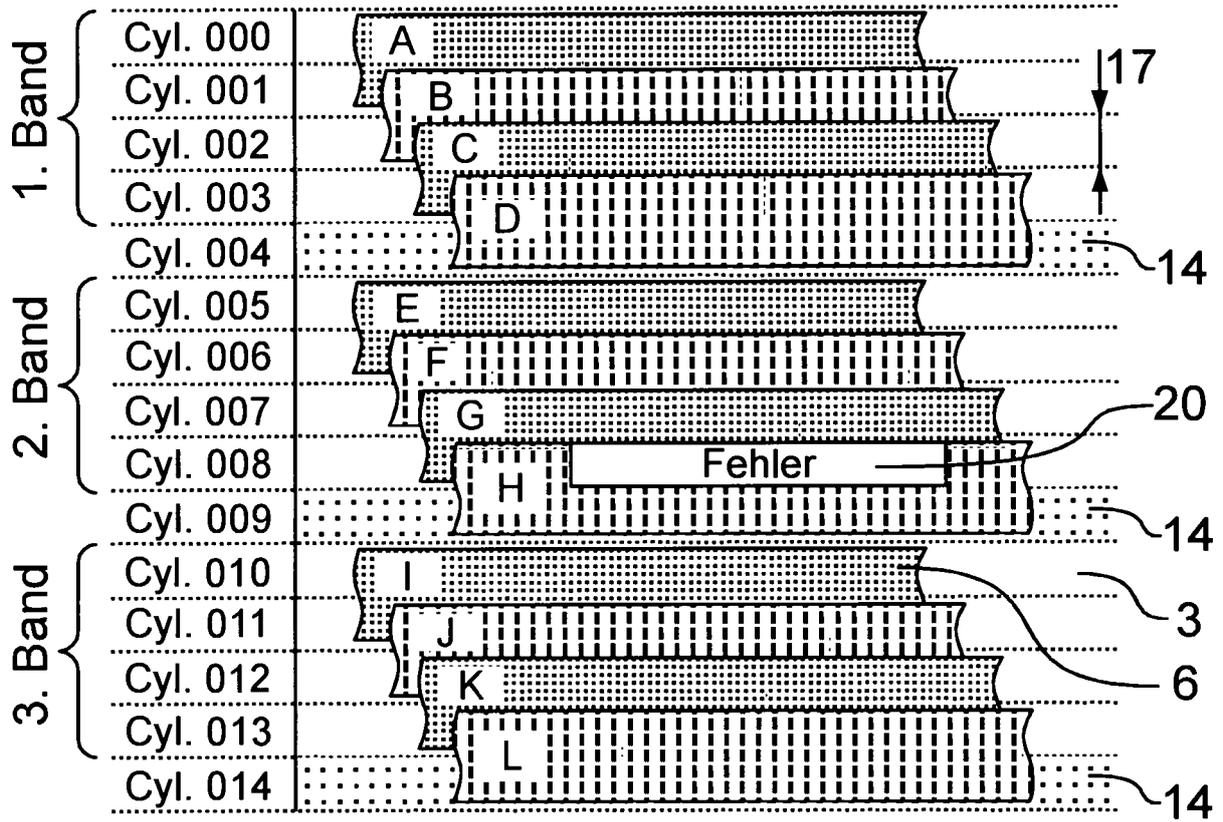


FIG. 10

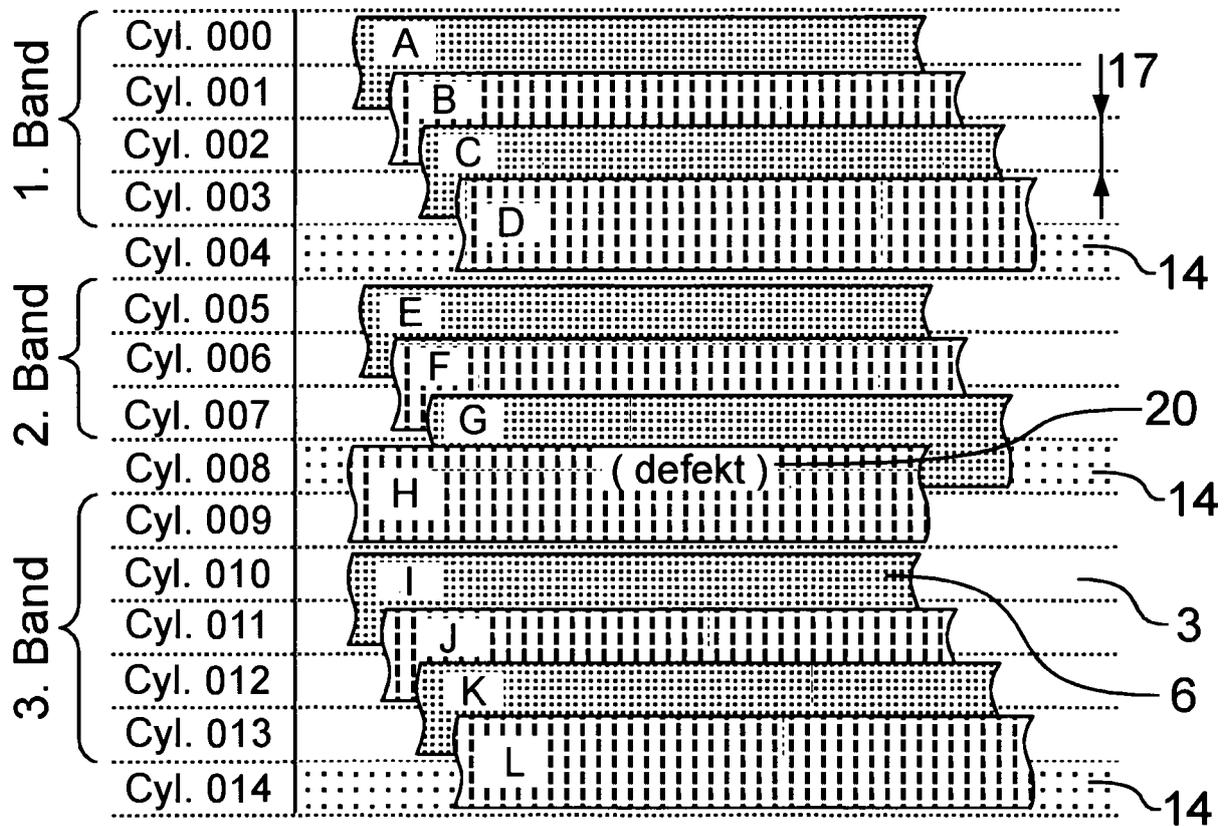


FIG. 11

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



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

FIG. 12

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



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

FIG. 13

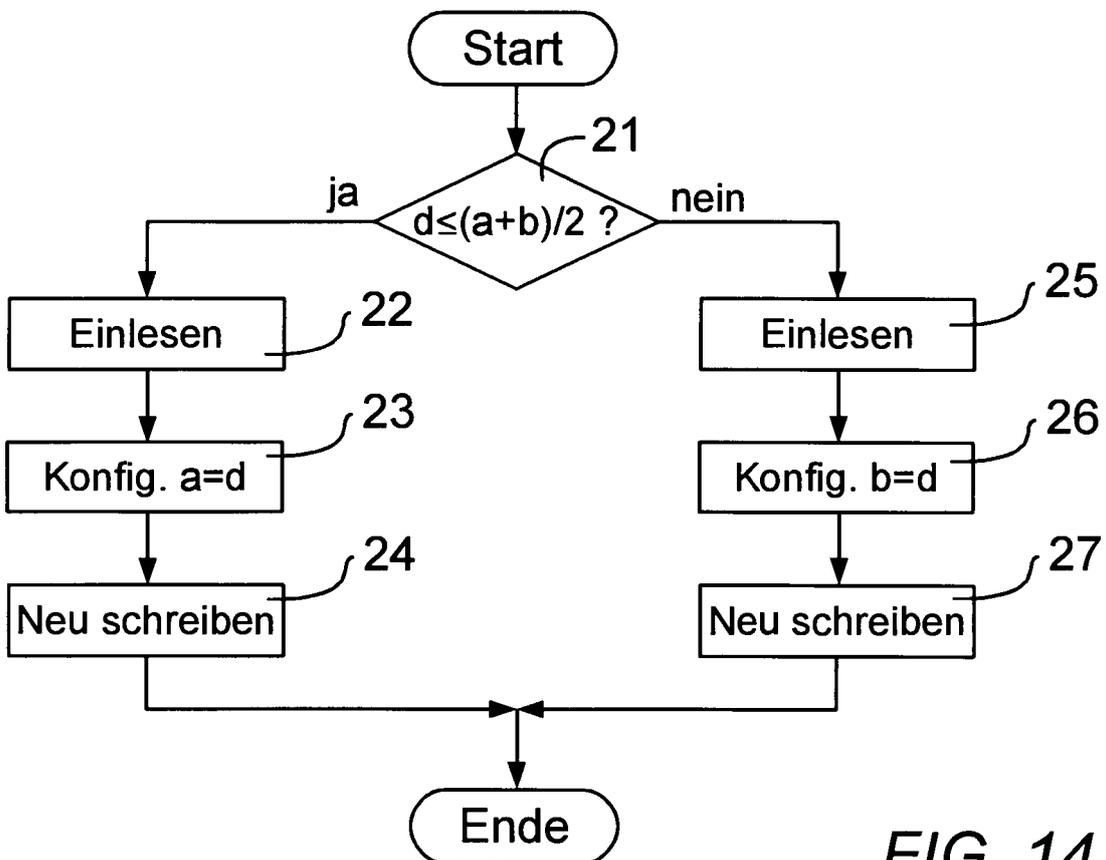


FIG. 14

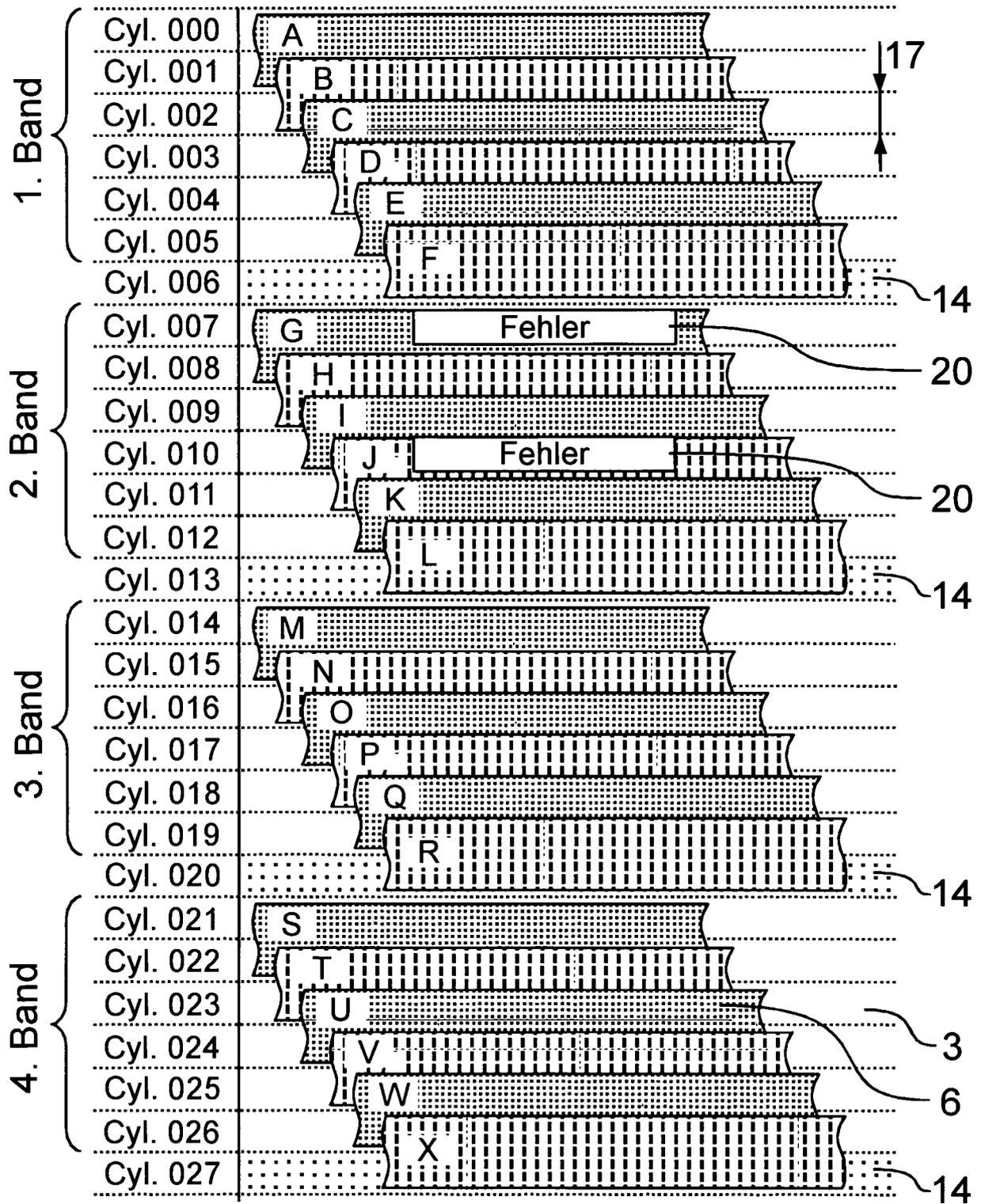


FIG. 15

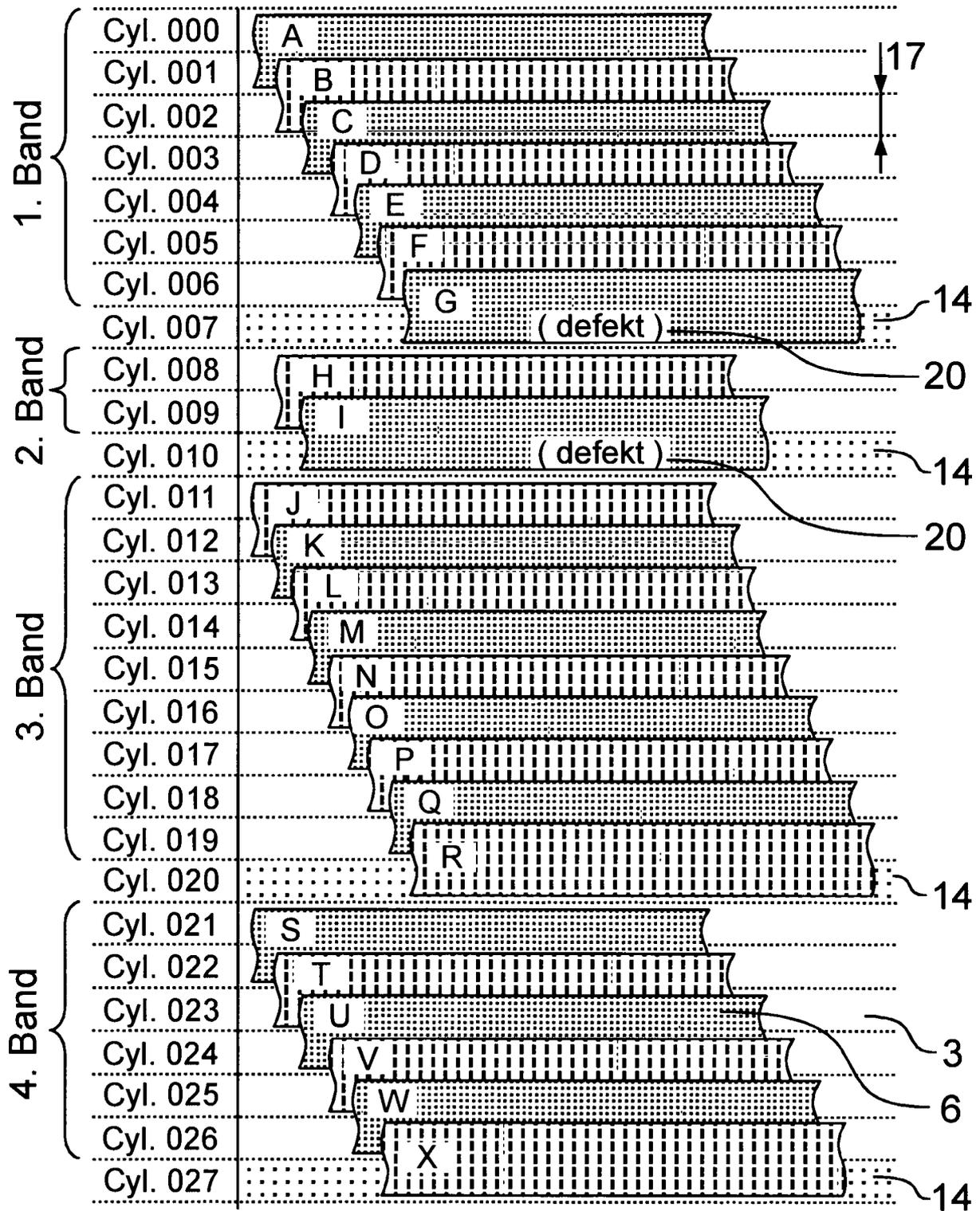


FIG. 16

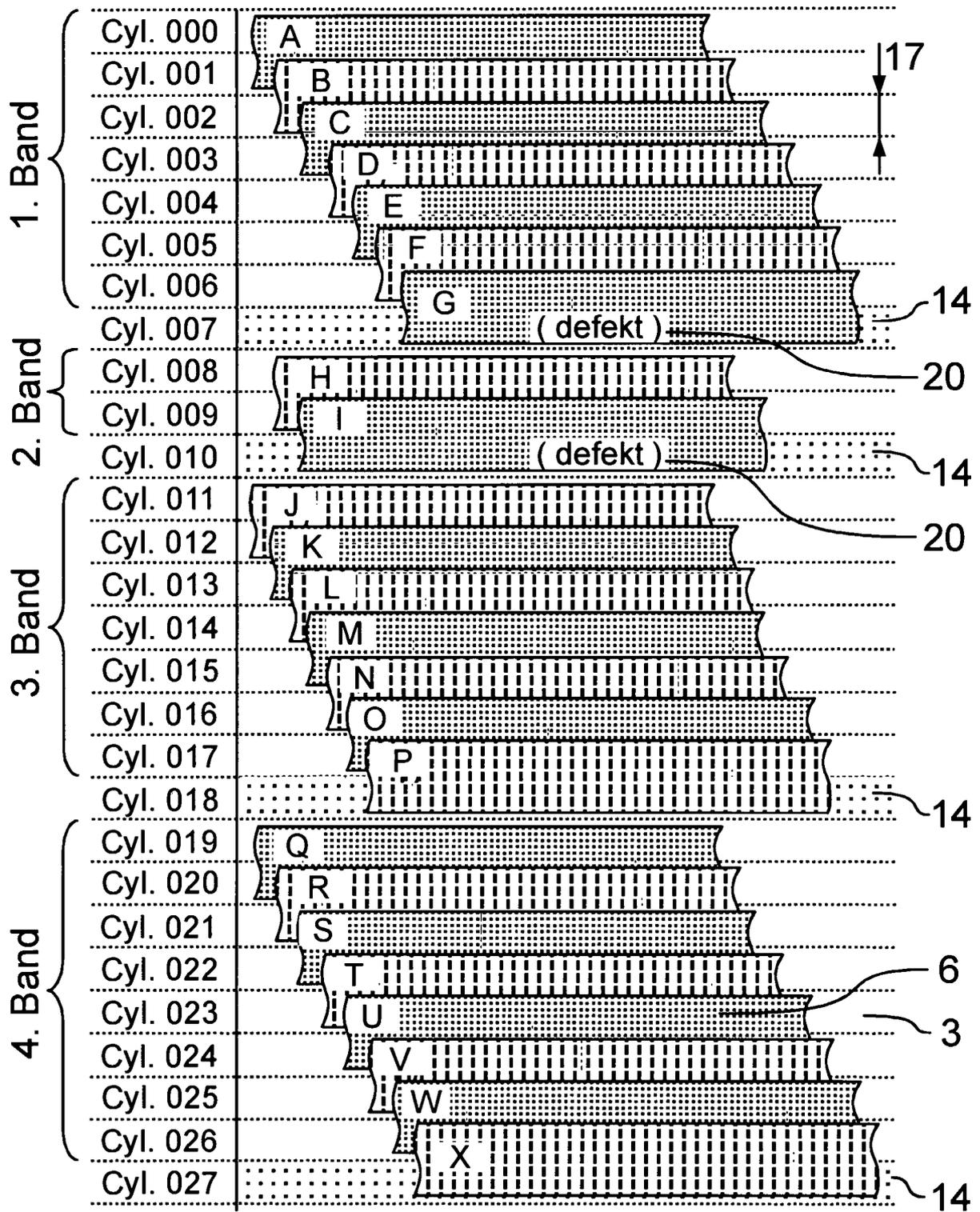


FIG. 17

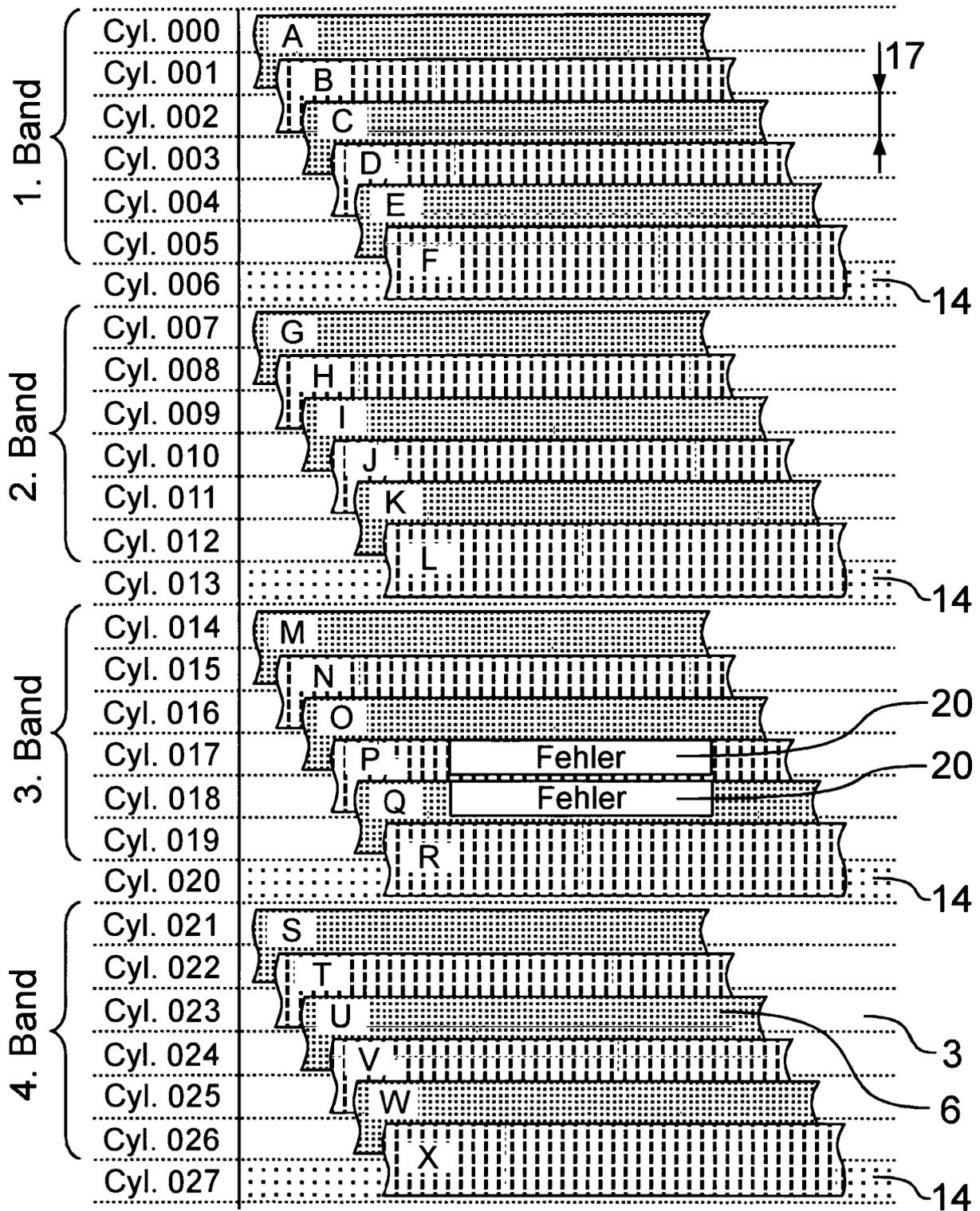


FIG. 18

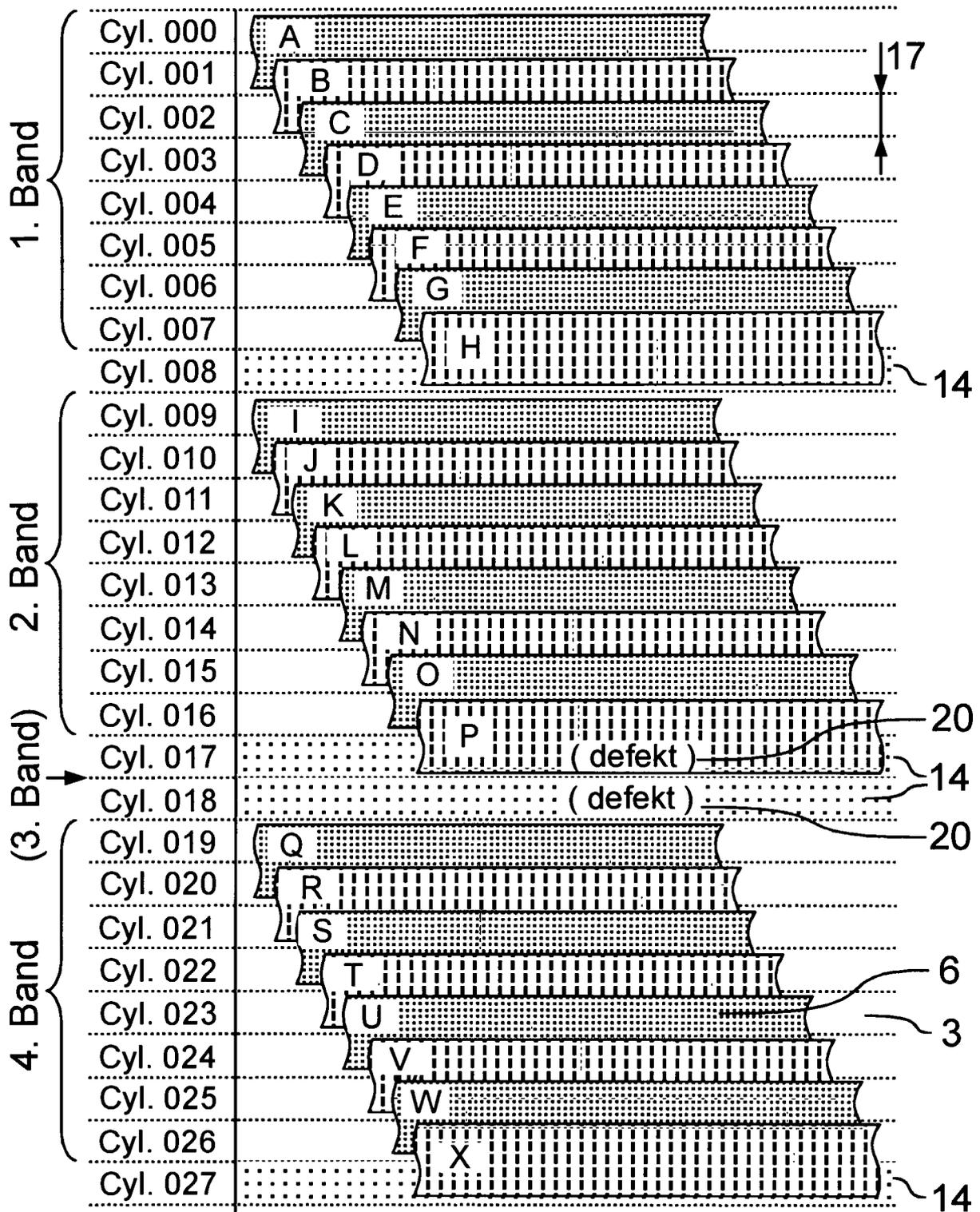


FIG. 19

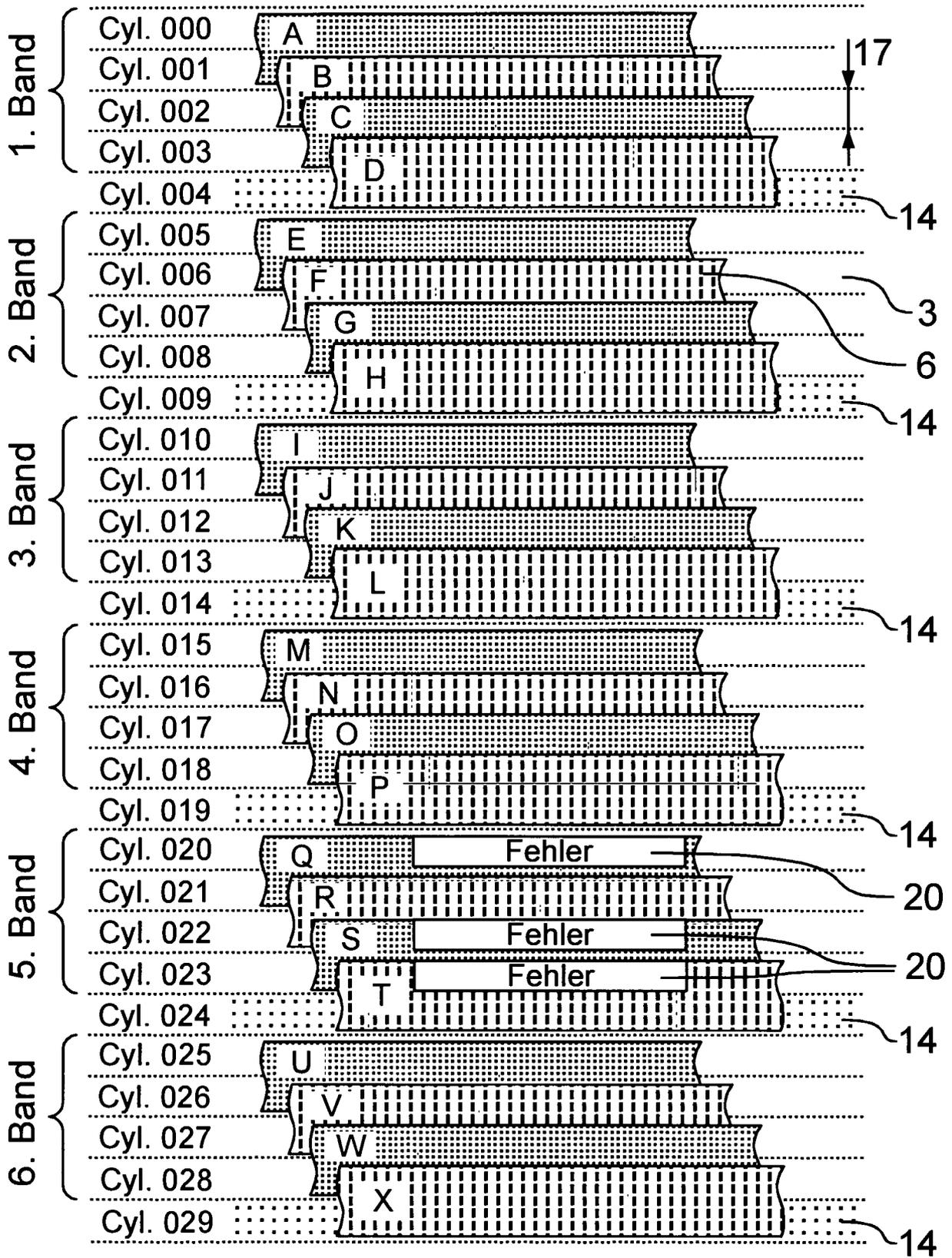


FIG. 20

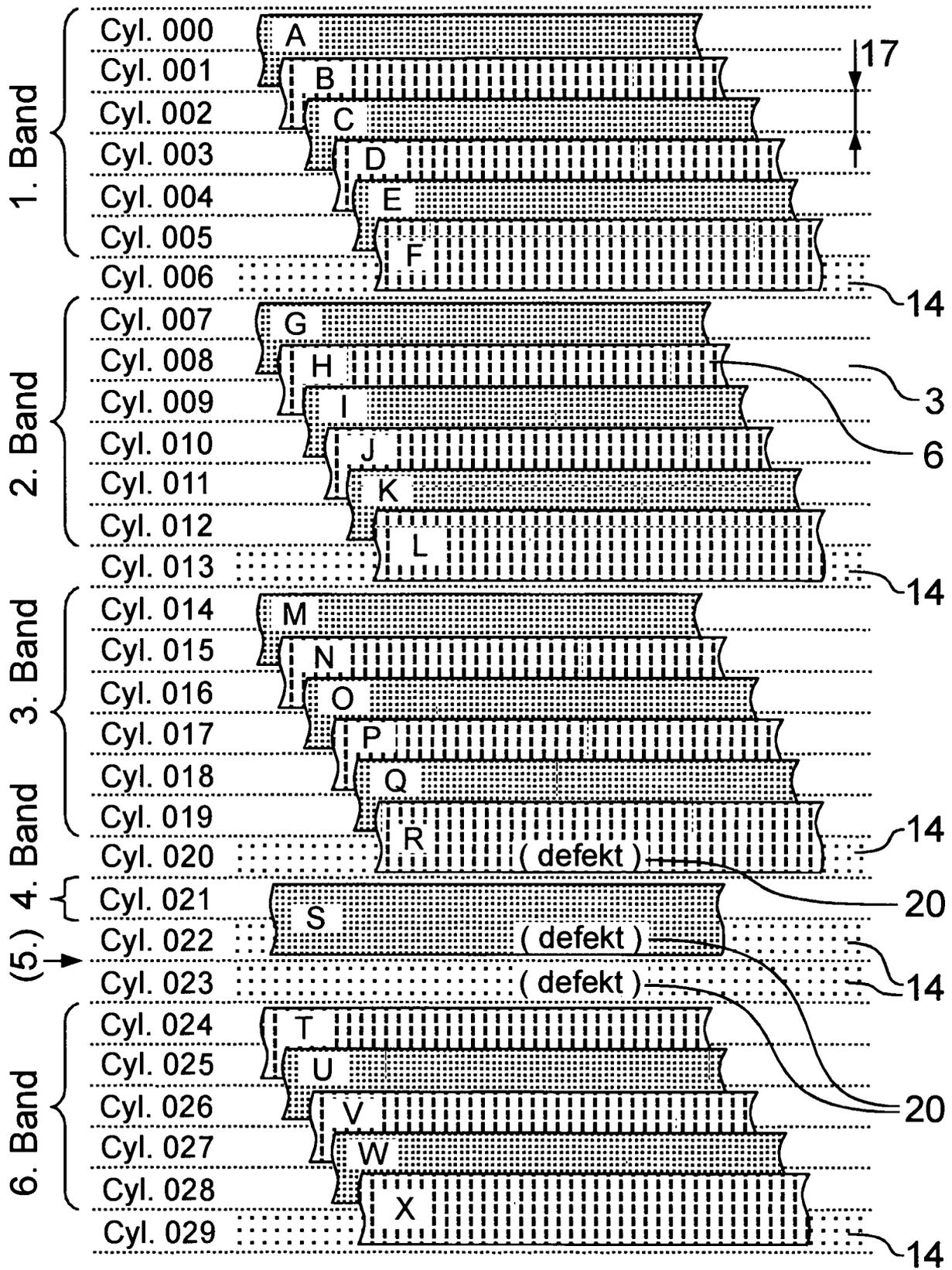


FIG. 21

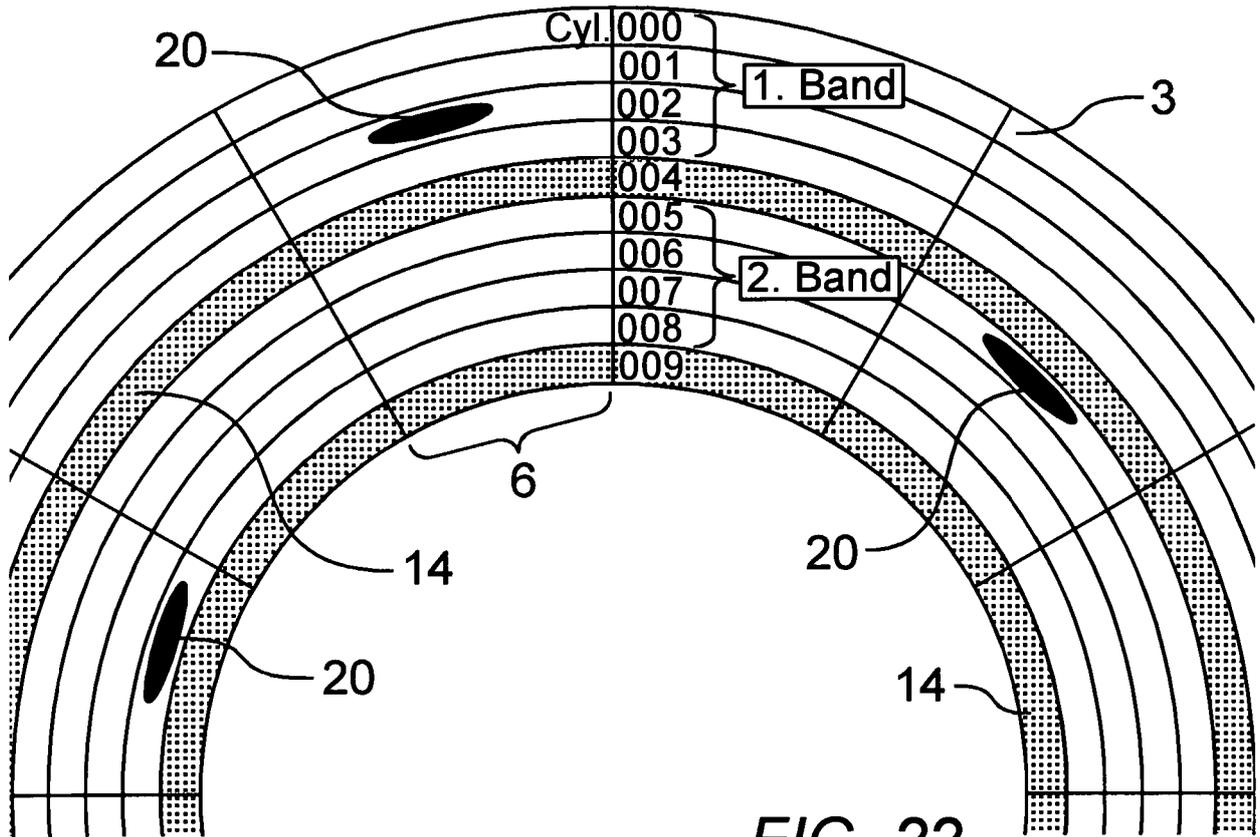


FIG. 22

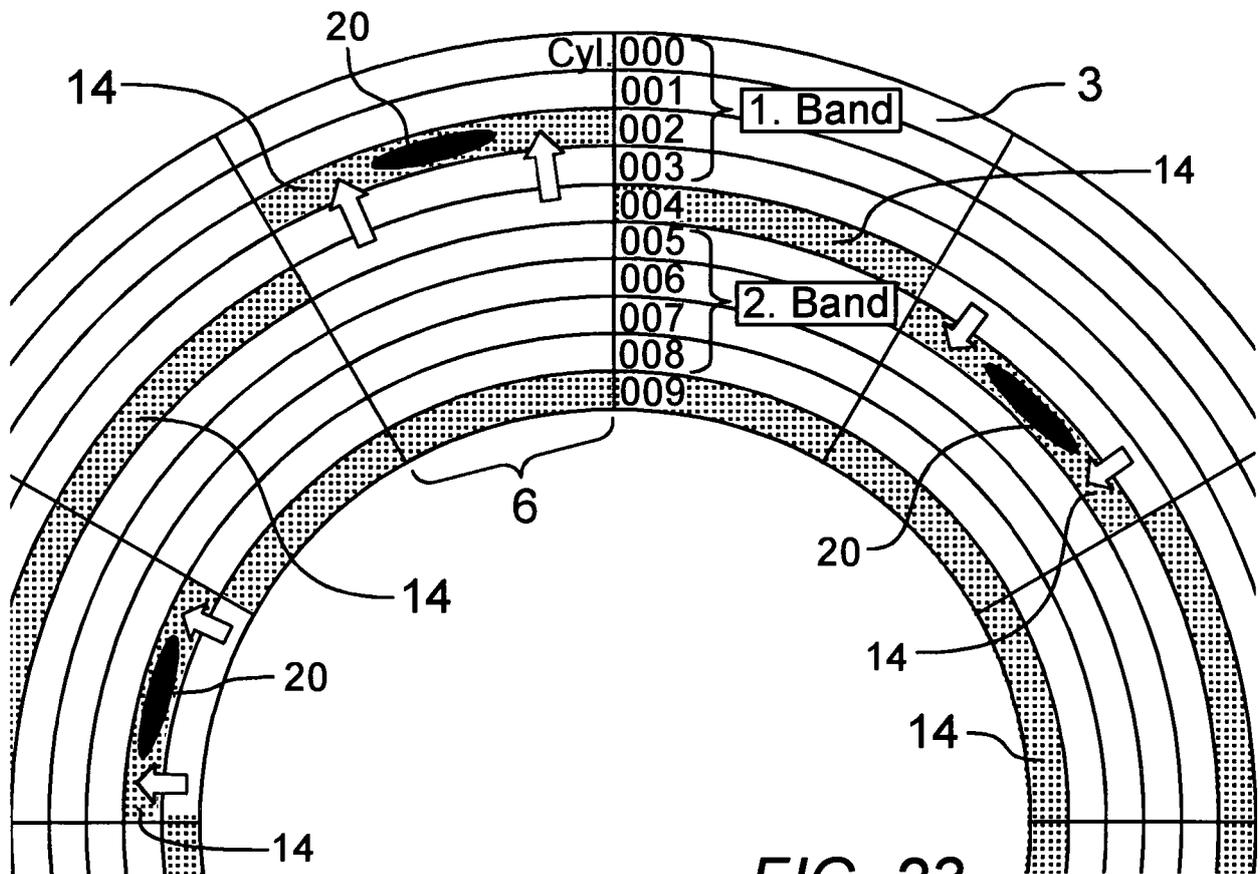


FIG. 23

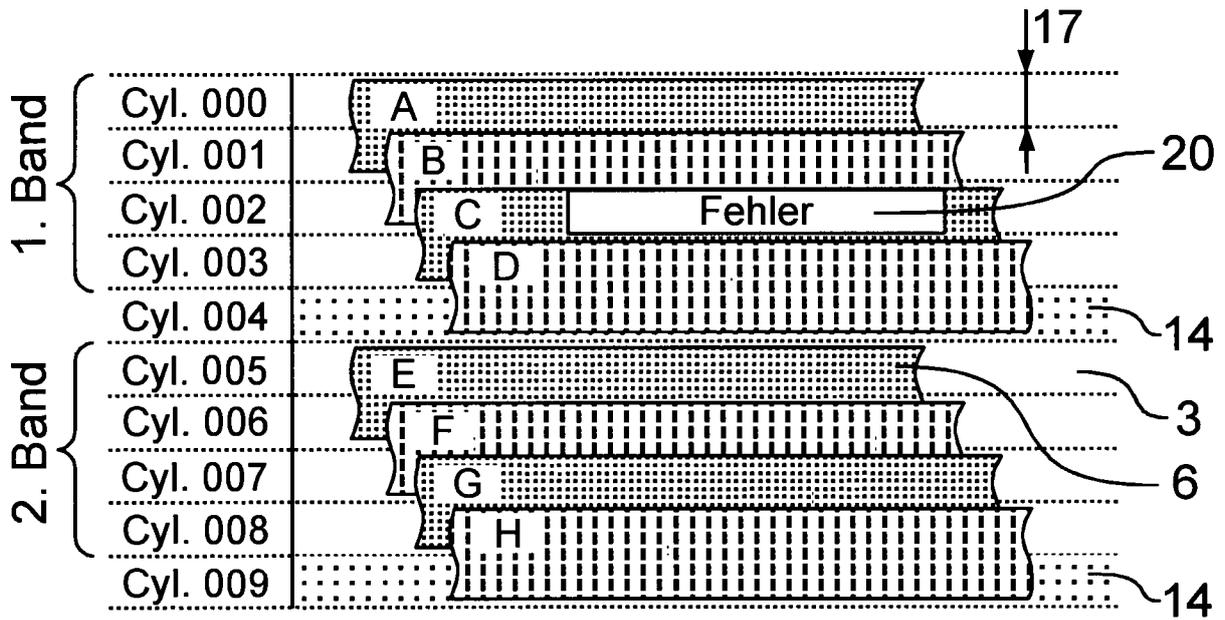


FIG. 24

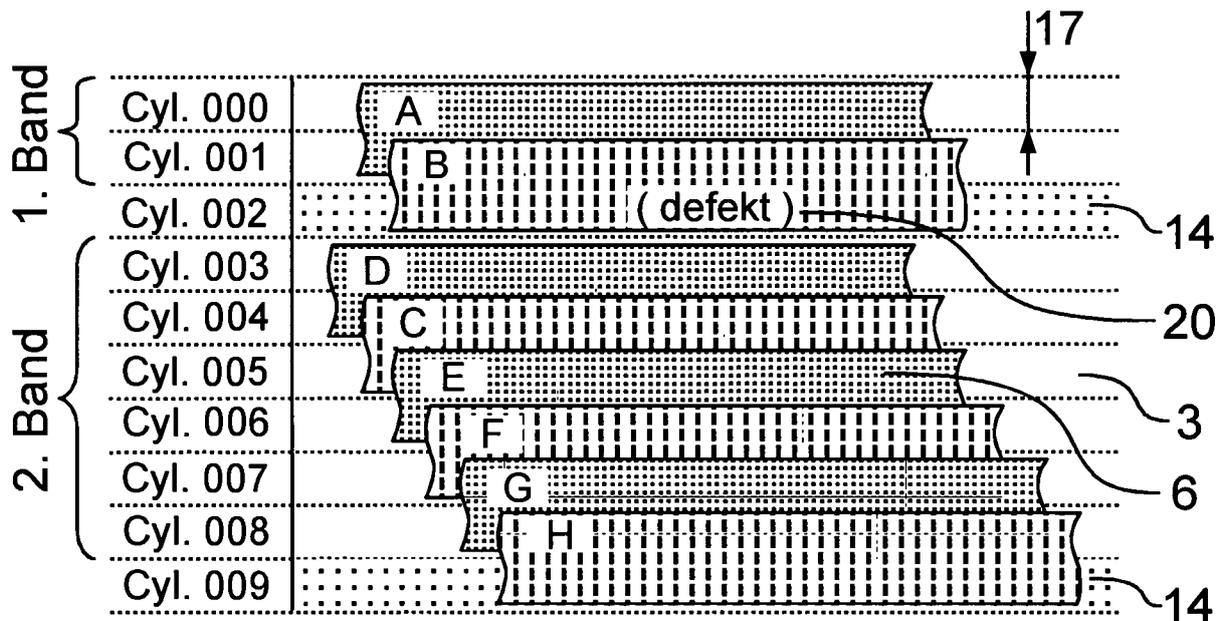


FIG. 25

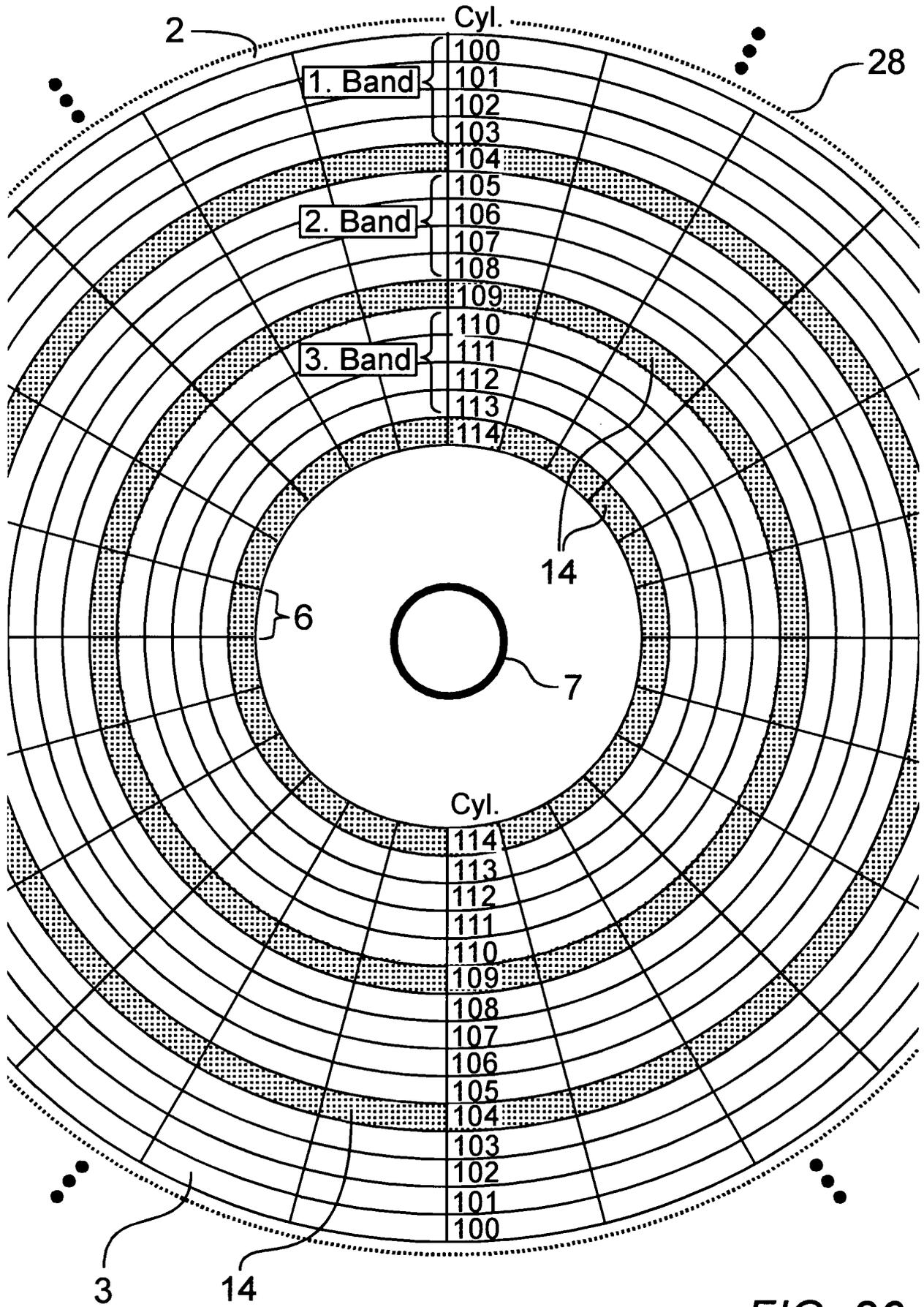


FIG. 26

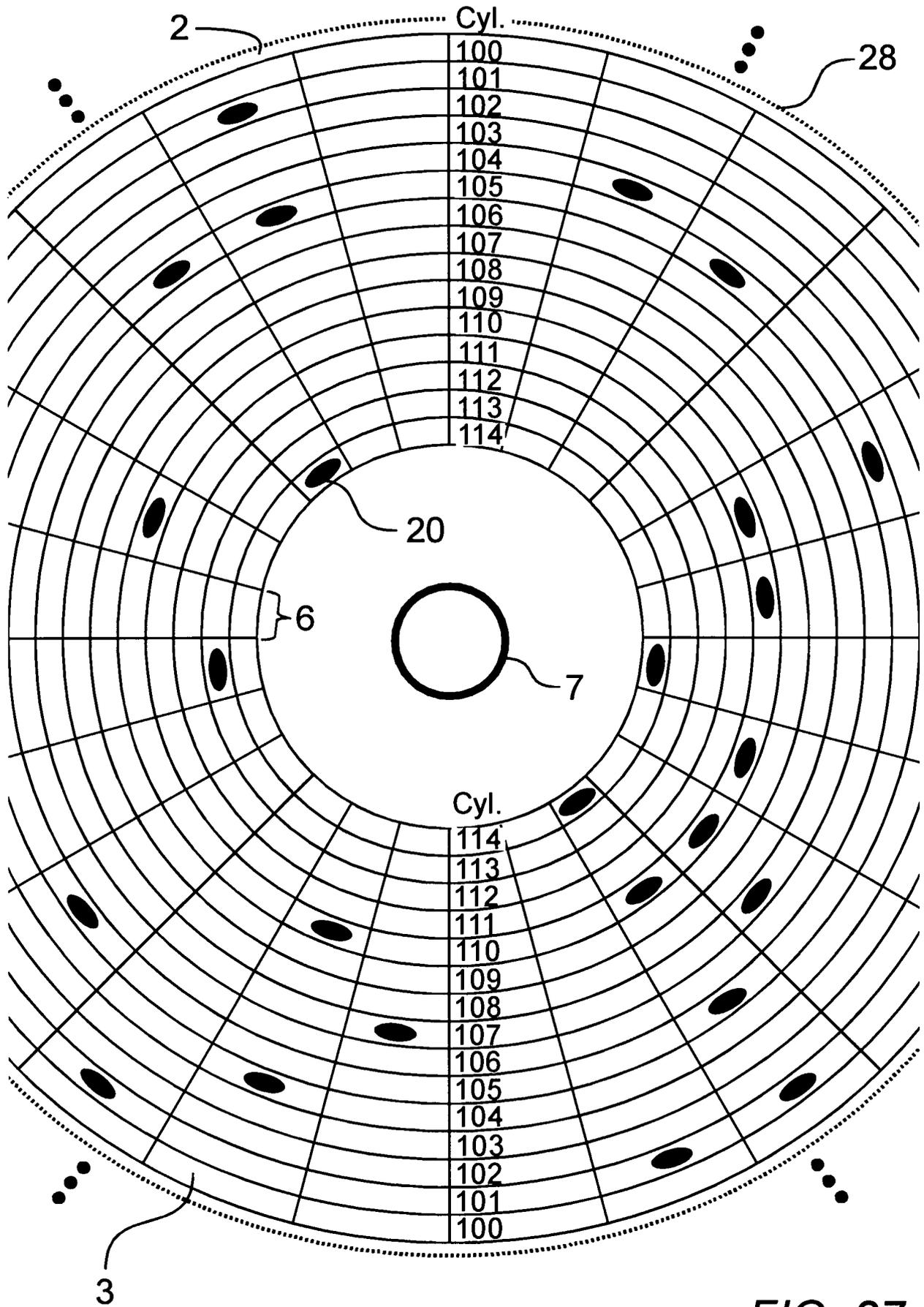


FIG. 27

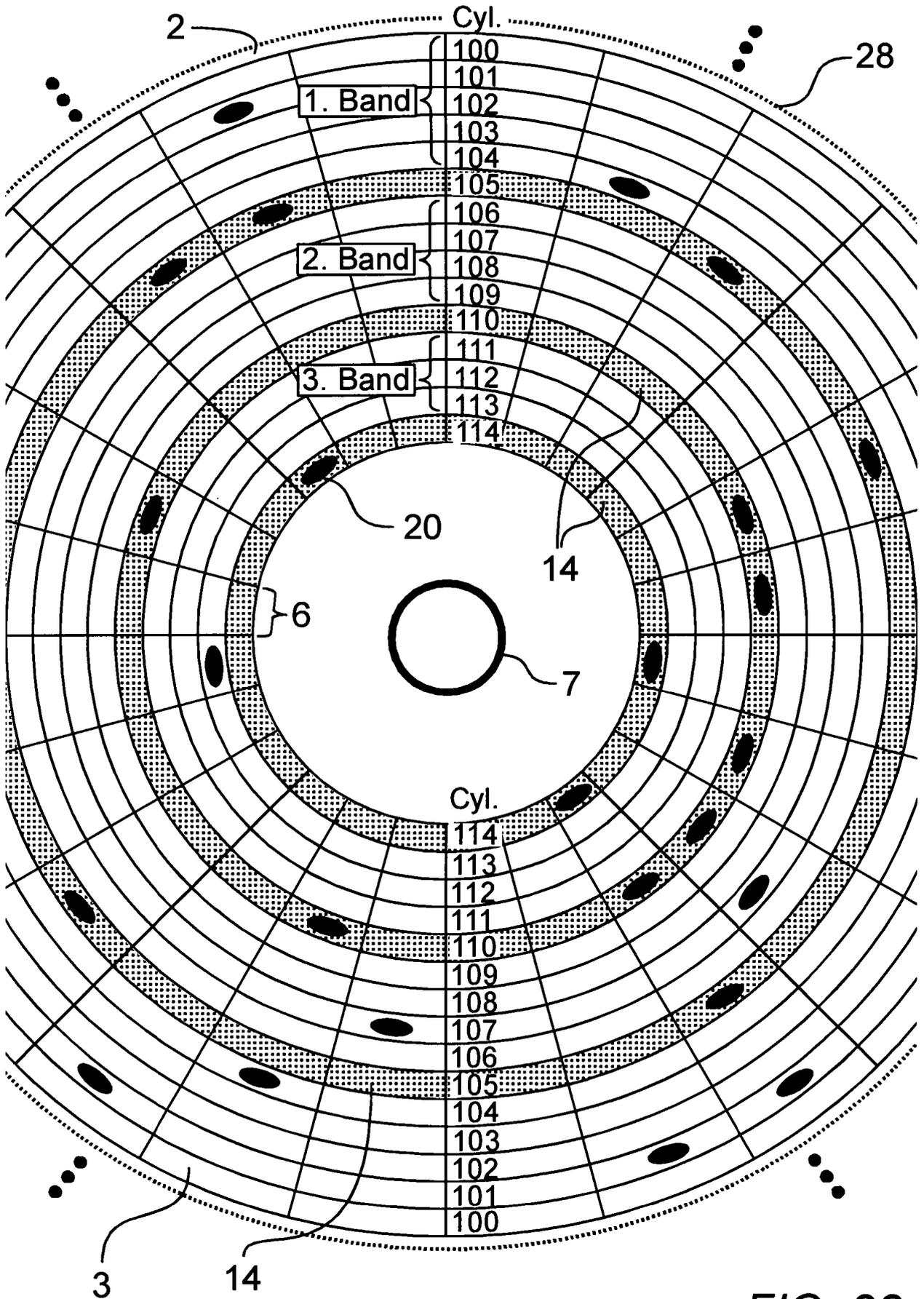


FIG. 28

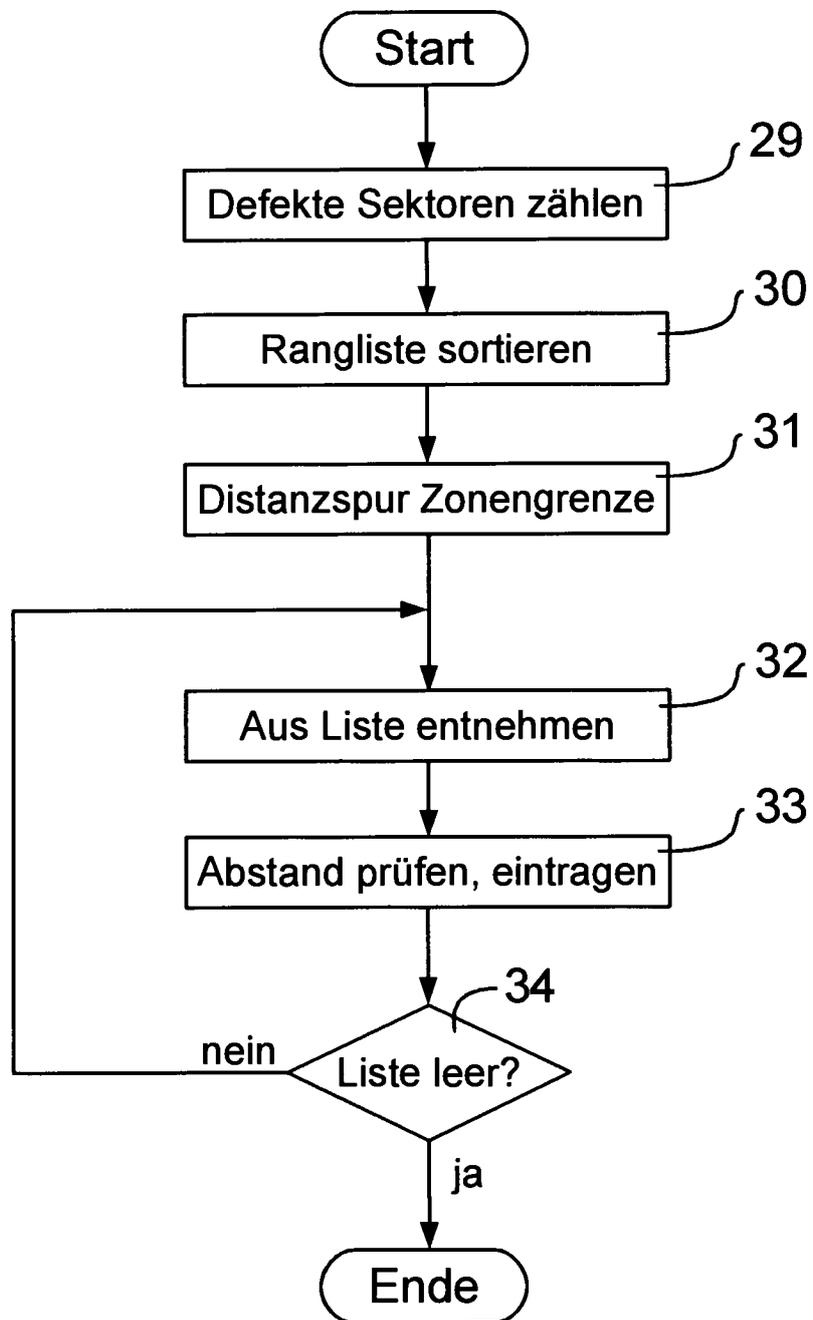


FIG. 29

