



(10) **DE 10 2014 014 148 B4** 2017.07.20

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 014 148.9**
 (22) Anmeldetag: **04.03.2014**
 (43) Offenlegungstag: **10.09.2015**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **20.07.2017**

(51) Int Cl.: **G11B 5/012 (2006.01)**
G11B 5/00 (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).

(62) Teilung aus:
10 2014 003 205.1

(73) Patentinhaber:
inodyn NewMedia GmbH, 69151 Neckargemünd, DE

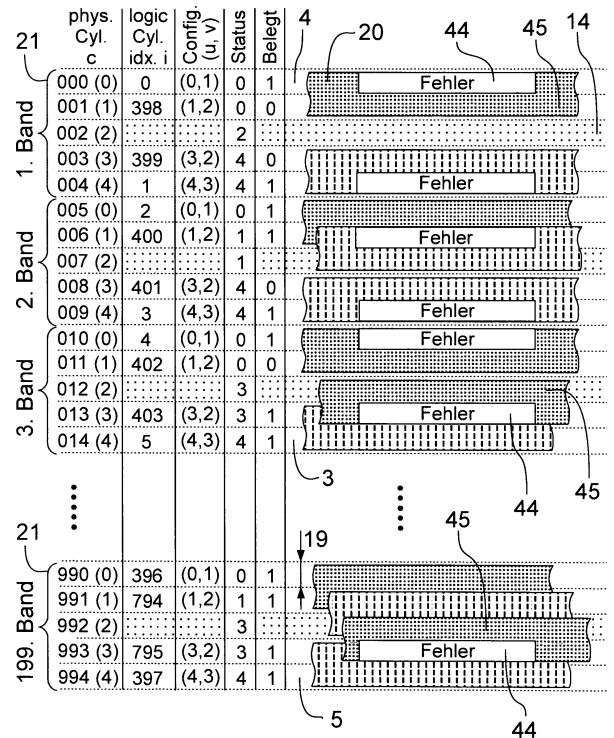
(72) Erfinder:
Pantel, Lothar, 69151 Neckargemünd, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2013 022 051	A1
US	8 223 458	B2
US	8 432 633	B2
US	2007 / 0 174 582	A1
US	2007 / 0 183 071	A1
US	2013 / 0 170 061	A1
US	2015 / 0 062 739	A1
JP	2015- 49 915	A

(54) Bezeichnung: **Kompensation von Lesefehlern bei Fesplatten mit Shingled Magnetic Recording**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Kompensation von Lesefehlern auf einer Datenträgeroberfläche (2) von einer Speichervorrichtung (1) konfiguriert für überlappende Datenspuren (20) mit einem Schreibelement (16), dessen effektive Spurbreite um eine Überbreite (18) größer ist als die Spurbreite (19) eines Leseelements (17), dadurch gekennzeichnet, dass, falls beim Lesen einer Spur (3) mittels des Leseelements (17) die Daten eines defekten Bereichs (44) nicht in ausreichender Qualität eingelesen werden können, mittels Informationen aus Verwaltungsdaten oder durch Ähnlichkeitsvergleich geprüft wird, ob ein Spurabschnitt (45) aus mindestens einer Spur (3) in der Nachbarschaft oder aus einem benachbarten Distanzbereich (14) existiert, welcher aufgrund der Überbreite (18) des Schreibelements (16) mit identischen Daten beschrieben ist, und falls dies zutrifft, die Daten dieses Spurabschnitts (45) zusätzlich oder als Ersatz für die Daten des defekten Bereichs (44) verwendet werden.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft das Gebiet der Datenspeicherung, im Besonderen ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erhöhung der Datensicherheit bei Speichervorrichtungen mit überlappenden Datenspuren.

Stand der Technik

[0002] Eine Festplatte ist eine Speichervorrichtung, welche aus Platten besteht, deren Plattenoberflächen mit einer magnetischen Schicht beschichtet sind. Diese Platten rotieren um eine Achse, auch Spindel genannt, auf der die einzelnen Platten übereinander in einem Plattenstapel montiert sind. Jede Plattenoberfläche wird als Datenträgeroberfläche von einem beweglichen Schreib- und Leseelement in kreisförmigen, konzentrischen Spuren beschrieben und ausgelesen. 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 im beschreibbaren Bereich der Plattenoberflächen 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 Form von Spurabschnitten in logische Einheiten unterteilt, in die sogenannten Sektoren. Diese Sektoren bilden Daten-Einheiten auf den einzelnen Spuren und werden häufig auch als Blöcke oder Datenblöcke bezeichnet und dürfen nicht mit dem geometrischen Sektor, dem Kreisabschnitt, verwechselt werden. Im folgenden wird ein Sektor, der sich auf einer Spur befindet, in Kurzform als Sektor bezeichnet.

[0004] Ein Sektor enthält traditionell 512 Byte, mittlerweile häufig 4 KB. Mittels Kontrollinformationen bzw. Fehlerkorrekturinformationen wird sichergestellt, dass die eingelesenen Daten des Sektors valide sind. Ein Sektor ist die kleinste adressierbare Daten-Einheit eines Dateisystems. Der Zugriff auf den Adressbereich der einzelnen Sektoren erfolgt seitens des Betriebssystems per Logical Block Addressing. 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] 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.

[0006] Mittels Verwaltungsdaten „reparieren“ moderne Festplatten defekte Sektoren selbständig im regulären Betrieb. Der Festplattencontroller kann defekte oder schlecht lesbare Sektoren ausblenden und in einen Reservebereich (Sector Spare Area) einblenden. Die defekten Sektoren werden remappt, d. h. an einer anderen Stelle gespeichert. Der Verweis auf die Ersatz-Sektoren wird in einer G-Liste (Grown Defects List) gespeichert. Für den Computer erscheinen die Sektoren 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.

[0007] In der zum Prioritätsdatum der vorliegenden Patentschrift noch unveröffentlichten Offenlegungsschrift DE 10 2013 022 051 A1 wird ein Verfahren beschrieben, wie defekte Sektoren lokal, d. h. ortsnahe ausgetauscht werden können. Somit ergibt sich eine Alternative zur Verwendung eines dezidierten Reservebereichs (Sector Spare Area).

[0008] Zur Erhöhung der Speicherkapazität von Festplatten wird unter anderem der Spurbstand bzw. die Spurbreite der einzelnen konzentrischen Spuren auf den Plattenoberflächen verkleinert. Damit geht eine Verkleinerung der Schreib- und Leselemente einher. Ohne neue Speichertechniken ist jedoch mittlerweile eine Verkleinerung des Schreibelements kaum noch möglich, da anderenfalls das erzeugbare Magnetfeld zu klein für eine ausreichende Magnetisierung der einzelnen Bits auf der Plattenoberfläche ist. Die minimale Spurbreite eines aktiven Schreibvorgangs ist also limitiert.

[0009] Als Lösungsweg ist die Technik „Shingled Magnetic Recording“ (SMR) bekannt, bei der die Datenspuren mit einem überbreiten Schreibelement überlappend geschrieben werden, vergleichbar mit Dachschindeln. Die Patente US 8223458 B2 und US 8432633 B2 beschreiben weite Details dieser Technik.

[0010] Beim SMR werden die überlappenden Datenspuren in sogenannten Bändern gruppiert, welche je-

weils durch Inter-Band Gaps oder Guard Bands von einander getrennt sind. Diese Inter-Band Gaps oder Guard Bands werden im folgenden als Distanzbereiche bezeichnet oder auch als Distanzspuren, wenn die Breite des Distanzbereichs der Spurbreite entspricht.

[0011] Wenn der Inhalt eines Sektors in einem bereits belegten Bereich der SMR-Festplatte geändert werden soll, so müssen alle nachfolgenden Spuren des betroffenen Bandes bis hin zum Distanzbereich zunächst ausgelesen und gepuffert werden und anschließend wieder zurückgeschrieben werden, da anderenfalls das breite Schreibelement die Daten der nachfolgenden Spur bzw. Spuren überschreiben würde.

[0012] Bereits eine kleine Änderung des Inhalts im ersten Sektor eines Bandes macht es erforderlich, dass zusätzlich der gesamte Rest des Bandes eingelesen und zwischengespeichert wird, und dass nach der Aktualisierung des Inhalts im ersten Sektor das gesamte restliche Band wieder zurückgeschrieben wird. Aufgrund der sequenziellen und überlappenden Natur von SMR resultiert mithin aus einer kleinen Änderung in den zu speichernden Daten ein um Größenordnungen größerer Aufwand, der das Einlesen und erneute Schreiben eines ganzen Bandes umfassen kann und zu signifikanten Verzögerungen führen kann.

[0013] Der beschriebene Effekt wird als Read-Modify-Write oder als Write-Amplification bezeichnet und tritt insbesondere bei verteilten Schreibzugriffen zu Tage, wie sie z. B. in einer Datenbank vorkommen können, bei der häufig kleine Datenblöcke aktualisiert werden müssen.

[0014] Die Offenlegungsschrift US 2007/0174582 A1 mit dem Titel „Mutable association of a set of logical block addresses to a band of physical storage blocks“ beschreibt, wie die Write-Amplification mittels einer variablen Zuordnung zwischen logischen Blockadressen (LBAs) und physikalischen Sektoren reduziert werden kann. Im Wesentlichen werden die Daten in den Bändern in einer „fragmentierten“ Weise gespeichert und das Verwaltungsschema sieht vor, dass für Schreibzugriffe geeignete, freie Stellen („holes“) in den Bändern ermittelt werden, an denen ohne Read-Modify-Write geschrieben werden kann.

[0015] Die Offenlegungsschrift US 2007/0183071 A1 mit dem Titel „Track allocation method of disk drive“ beschreibt einen Datenträger mit mindestens einem Bereich mit überlappenden Spuren („shingled tracks“, ST) und mindestens einem Bereich mit konventionellen, nicht überlappenden Spuren („tiled tracks“, TT). Speicherplatz, der aufgrund defekter Spuren fehlt, wird kompensiert, in-

dem die Bereiche mit überlappenden Spuren („shingled tracks“, ST) um zusätzliche überlappende Spuren ergänzt werden. Beim Schreiben der Bänder werden defekte Spuren übersprungen, d. h. ausgelassen.

[0016] Die Offenlegungsschrift US 2013/0170061 A1 mit dem Titel „System, method and apparatus for shingled magnetic recording in disk drives“ behandelt das gezielte Überschreiben bzw. Löschen von Nutzdaten auf einer Spur, die sich per Shingled Magnetic Recording mit benachbarten Spuren überlappt.

[0017] In der zum Prioritätsdatum der vorliegenden Patentschrift noch unveröffentlichten Offenlegungsschrift JP 2015-049915 A, auch veröffentlicht unter US 2015/0062739 A1 mit dem Titel „Information recording device and data recovery method“, wird beschrieben, wie sich die Stelle (Spur, Sektor) auf einem Datenträger wiederfinden lässt, an der ein aktiver Schreibvorgang außerplanmäßig unterbrochen wurde, beispielsweise durch einen Stromausfall oder eine Stromabschaltung.

Darstellung der Erfindung

[0018] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zu schaffen, welches es ermöglicht, Festplatten mit Shingled Magnetic Recording so zu betreiben, dass das Risiko eines Datenverlusts reduziert wird.

[0019] Die Aufgabe wird mit den Merkmalen aus den unabhängigen Ansprüchen 1 und 9 gelöst, welche ein Verfahren und eine Vorrichtung definieren. Vorteilhafte Ausgestaltungen, mögliche Alternativen und optionale Funktionalitäten sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0020] Den Ansprüchen entsprechend handelt es sich um eine Speichervorrichtung und um ein Verfahren zum Speichern von Daten auf einer Datenträgeroberfläche unter Verwendung eines Leseelements und eines Schreibelements, wobei die Breite der vom Schreibelement geschriebenen Datenspur um eine Überbreite größer ist als die reguläre Spurbreite des Leseelements.

[0021] Mindestens eine Teilmenge der Spuren auf der Datenträgeroberfläche ist in Bändern gruppiert. Je nach Ausführungsform befindet sich in der Nähe der Mitte eines Bandes oder bei den Bandgrenzen jeweils ein Distanzbereich, welcher zwischen den angrenzenden Spuren für einen Mindestabstand sorgt.

[0022] Falls beim Lesen einer Spur ein Lesefehler durch einen defekten Sektor oder einen defekten Spurabschnitt auftritt, wird mittels Verwaltungsdaten oder durch einen Ähnlichkeitsvergleich geprüft, ob eine Nachbarspur oder eine weitere in der Nähe lie-

gende Spur existiert, welche aufgrund der Überbreite des Schreibelements mit identischen Sektordaten beschrieben ist.

[0023] Optional kann ein Austausch eines defekten Sektors oder eines defekten Spurabschnitts erfolgen, indem der Distanzbereich auf die physikalische Position des defekten Sektors oder des defekten Spurabschnitts verschoben wird, und indem der frei gewordene, vormalige Distanzbereich ersatzweise zur Speicherung von Daten verwendet wird.

[0024] Die genannten und viele weitere Gesichtspunkte der Erfindung werden dem Fachmann nach dem Lesen der detaillierten Beschreibung zu den Ausführungsformen offenkundig.

Beschreibung der Zeichnungen

[0025] Zusätzliche Details zu den Ausführungsformen sowie beispielhafte Abläufe und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den bildlich dargestellten Merkmalen in den Zeichnungen.

[0026] Fig. 1 zeigt ein exemplarisches Festplattenlaufwerk.

[0027] Fig. 2 illustriert einen Plattenstapel in der Seitenansicht.

[0028] Fig. 3 veranschaulicht die konventionelle Aufteilung der Spuren in Bänder.

[0029] Fig. 4 zeigt ein konventionelles Band mit überlappenden Spuren.

[0030] Fig. 5 zeigt ein symmetrisches Band mit einem Distanzbereich in der Mitte.

[0031] Fig. 6 veranschaulicht das Lesen einer Spur mittels Leseelement.

[0032] Fig. 7 zeigt ein symmetrisches Band mit Distanzspuren an den Bandgrenzen.

[0033] Fig. 8 zeigt die Befüllung einer SMR-Festplatte; erste Phase; Füllstand 50%.

[0034] Fig. 9 zeigt die Befüllung einer SMR-Festplatte; zweite Phase; vollständig belegt.

[0035] Fig. 10 veranschaulicht die Befüllung einer SMR-Festplatte, wobei das Schreibelement die 3-fache Breite des Leselements hat.

[0036] Fig. 11 zeigt konventionelle SMR-Bänder, wobei das Schreibelement die 3-fache Breite des Leselements hat.

[0037] Fig. 12 stellt eine Ausführungsform mit „Config“- und „Status“-Informationen dar. Der Inhalt aller dargestellten defekten Sektoren lässt sich mittels einer benachbarten Spur wiederherstellen.

[0038] Fig. 13 zeigt Bänder mit defekten Sektoren, die repariert werden können.

[0039] Fig. 14 zeigt rekonfigurierte Bänder, in denen die defekten Sektoren repariert sind.

[0040] Fig. 15 veranschaulicht in einem Flussdiagramm die Rückgewinnung von Daten, die durch defekte Sektoren verloren gegangen sind, sowie die Reparatur defekter Sektoren.

Ausführung der Erfindung

[0041] Fig. 1 und Fig. 2 zeigen ein SMR-Festplattenlaufwerk **1** als Beispiel für eine Speichervorrichtung. Die Platten mit magnetischen Schichten auf den Plattenoberflächen **2** drehen um die Drehachse der Spindel **7**, an der die einzelnen Platten als Plattenstapel **13** befestigt sind. Die Spuren **3** auf den Plattenoberflächen **2** sind in Form von Spurabschnitten in Sektoren **6** unterteilt.

[0042] Zum Schreiben und Lesen von Spuren **3** werden die Schreibleseköpfe **8** des Plattenstapels **13** vom Actuator **9** auf die gewünschte Zylinderposition **12** bewegt, und zwar innerhalb des beschreibbaren Bereichs zwischen der äußersten Spur **4** und der innersten Spur **5**. Der Actuator **9** wird vom Festplattencontroller **10** gesteuert. Der Festplattencontroller **10** verfügt über einen Speicher **11**, welcher unter anderem die Nutzdaten von Sektoren **6** oder Spuren **3** puffert.

[0043] Fig. 2 zeigt den 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.

[0044] Die Spuren **3** sind in Form einer Zylindernummer durchnummeriert, gemäß Fig. 3 von Null bis m. Des Weiteren werden die Spuren **3** für das Shingled Magnetic Recording in Bänder **15** gruppiert. Dementsprechend beginnt das 1. Band bei der äußersten Spur **4** und das n. Band endet bei der innersten Spur **5**.

[0045] Im Beispiel gemäß Fig. 3 bestehen die Bänder **15** aus je acht Spuren **3**, die zur Speicherung von Daten verwendet werden. Die jeweils neunte Spur fungiert als Distanzbereich **14**, auch bekannt als Inter-Band Gap oder Guard Band. Die Begriffe Inter-Band Gap oder Guard Band legen eine Eigenständig-

keit nahe im Sinne eines separaten Platzhalters, welcher zwischen den einzelnen Bändern **15** für Distanz sorgt. Jedoch werden in dieser Patentschrift, je nach Ausführungsform, die Distanzbereiche **14** aus strukturellen Gründen als integraler Bestandteil der Bänder definiert.

[0046] Fig. 4 zeigt ein einzelnes Band **15**, und zwar als stark vergrößerter Ausschnitt von physikalischen Spuren **3**. Auf den Spuren **3** der Zylinder (Cyl.) 101 bis 108 sind Datenspuren **20** geschrieben, die Sektordaten enthalten. Die punktiert dargestellte Spur **3** auf Zylinder 109 ist der Distanzbereich **14**. Der Pfeil am Schreiblesekopf **8** gibt die relative Bewegungsrichtung an. Das Schreibelement **16** im Schreiblesekopf **8** ist um eine Überbreite **18** breiter als das Leselement **17**. In diesem Beispiel schreibt das Schreibelement **16** Datenspuren **20**, die doppelt so breit sind, wie die Spurbreite **19**, für die das Leselement **17** ausgelegt ist. Um wie dargestellt, die Spur **3** auf Zylinder 108 mit Sektordaten zu beschreiben, muss das breite Schreibelement **16** auf den Spuren **3** des Zylinderpaars (108, 109) positioniert werden.

[0047] In den Zeichnungen werden zwei verschiedene Muster verwendet, um die vom Schreibelement **16** geschriebenen Datenspuren **20** auf den einzelnen Spuren **3** besser kenntlich zu machen. Außerdem sind die kurzen Ausschnitte aus den Datenspuren **20** entlang der Schreibrichtung leicht versetzt dargestellt, damit die Überlappungen sichtbar werden. Die realen Sektoren **6**, welche per Datenspur **20** geschrieben werden, setzen sich in beide Richtungen entlang der Spuren **3** fort.

[0048] Die dargestellten Überlappungen verdeutlichen die Reihenfolge, in der die einzelnen Datenspuren **20** vom breiten Schreibelement **16** beschrieben werden. Durch das Überlappen halbiert sich in diesem Fall die resultierende Spurbreite **19**. Der Distanzbereich **14** wird benötigt, um das Band **15** abzugrenzen, so dass das breite Schreibelement **16** keine Spuren **3** eines nachfolgenden Bandes **15** überschreibt. In der dargestellten Konfiguration belegt der Distanzbereich **14** eine einzelne Spur **3** und wird in diesem Fall als Distanzspur **14** bezeichnet. In anderen Ausführungsformen kann je nach Beschaffenheit des Schreiblesekopfes **8** die Breite des Distanzbereichs **14** auch größer sein, beispielsweise ein Vielfaches der Spurbreite **19**.

[0049] Aus dem Beispiel gemäß Fig. 4 ist ersichtlich, dass falls die Sektordaten auf der ersten Spur (Cyl. 101) geändert bzw. neu geschrieben werden sollen, 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 bei Schreibvorgängen der Inhalt der jeweils nachfol-

genden Spur **3** zerstört wird. Hierdurch entsteht eine Write-Amplifikation.

[0050] Fig. 5 zeigt ein neuartiges symmetrisches Band **21**. Auch in diesem Beispiel wird ein Schreiblesekopf **8** verwendet, dessen Schreibelement **16** um eine Überbreite **18** breiter ist als das Leseelement **17**. Das Schreibelement **16** erzeugt effektive Datenspuren **20**, die doppelt so breit sind wie die zugrunde gelegte Spurbreite **19**. Die Anzahl an Spuren **3** pro Band **21**, die zur Speicherung von Daten verwendet werden können, entspricht ebenfalls dem Beispiel aus Fig. 4. Hingegen unterscheidet sich das neuartige symmetrische Band **21** von konventionellen Bändern **15** durch die Position des Distanzbereichs bzw. der Distanzspur **14**, welche sich nunmehr in der Mitte des Bandes **21** befindet und zwar in diesem Beispiel auf Zylinder 105. Somit ist die Distanzspur **14** ein integraler Bestandteil des Bandes **21**. Mehrere symmetrische Bänder **21** können aneinander gereiht werden, ohne dass ein weiterer, separater Distanzbereich **14** an den Grenzen der Bänder **21** für Abstand sorgt.

[0051] Die überlappenden Datenspuren **20** werden innerhalb eines Bandes **21** von außen nach innen beschrieben und zwar von beiden Seiten. Es ergibt sich eine Überlappung in zwei Richtungen, symmetrisch zur Distanzspur **14**. In Fig. 5 zeigen die gemustert dargestellten Datenspuren **20**, in welcher Reihenfolge die einzelnen Spuren **3** des Bandes **21** beschrieben werden müssen: Beispielsweise zuerst die Spur **3** des Zylinders 101 an der oberen Grenze des Bands **21**; dann Zylinder 109 an der unteren Grenze des Bands **21**; anschließend mit Zylinder 102 wieder eine Spur **3** aus der oberen Hälfte usw.

[0052] Die Überbreite **18** des Schreibelements **16** ist dabei immer zur Mitte hin auszurichten, damit die äußeren, bereits beschriebenen Spuren **3** nicht wieder überschrieben werden. Entscheidend ist, dass beim Beschreiben der beiden innersten Spuren **3** (Cyl. 104 und Cyl. 106), das Schreibelement **16** in beiden Fällen so positioniert wird, dass die Überbreite **18** des Schreibelements **16** von der Distanzspur **14** aufgefangen wird. Im Gegensatz zu der Anordnung aus Fig. 4 wird die Distanzspur **14** also gleichermaßen für zwei Spuren **3** des Bandes **21** als Ausweichbereich genutzt.

[0053] Da der Inhalt der Distanzspur **14** irrelevant ist, kann der zuvor von der oberen Spur (Cyl. 104) geschriebene Inhalt mit der unteren Spur (Cyl. 106) überschrieben werden. Dieser Zustand entspricht der Darstellung in Fig. 5: Das aktive Schreibelement **16** schreibt mittels einer Datenspur **20** Sektordaten auf die letzte freie Spur (Cyl. 106) des Bandes **21**. Dazu muss das Schreibelement **16** über die Spuren **3** des Zylinderpaars (105, 106) positioniert werden. Die Distanzspur **14** auf Zylinder 105 wird dabei von der Datenspur **20** mit überschrieben. Der ehemalige In-

halt auf Zylinder 105 wird jedoch nicht benötigt, da er auf Zylinder 104 verortet ist.

[0054] Im Vergleich zur konventionellen Anordnung der Spuren **3** im Band **15** gemäß **Fig. 4** reduziert sich bei der neuen symmetrischen Anordnung die maximale Write-Amplification um mehr als die Hälfte: Wenn Sektordaten auf der ersten Spur (Cyl. 101) geändert werden sollen, müssen nur noch Daten von maximal drei statt zuvor maximal sieben Spuren **3** zusätzlich eingelesen und erneut geschrieben werden. Die benötigte Zeit für das Update eines Sektors **6** im voll belegten Band **21** reduziert sich signifikant und in diesem Maße erhöht sich folglich die durchschnittliche Übertragungsrate bei verteilten Schreibzugriffen.

[0055] In **Fig. 6** ist dargestellt, wie aus dem vollständig belegten symmetrischen Band **21** die Spur **3** auf Zylinder 102 ausgelesen wird. Der Schreiblesekopf **8** wird dazu so positioniert, dass das aktive Leseelement **17** den Zylinder 102 auslesen kann. Die relative Bewegungsrichtung ist mit dem Pfeil am Schreiblesekopf **8** angegeben. Das Leseelement **17** ist für die Spurbreite **19** der Spuren **3** ausgelegt bzw. optimiert.

[0056] Die symmetrische Überlappung der geschriebenen Datenspuren **20** lässt sich auch in entgegengesetzter Richtung anordnen. Dies ist in **Fig. 7** dargestellt. Anstelle eines Distanzbereichs **14** in der Mitte des Bandes **21** laufen die Überlappungen der Datenspuren **20** in dieser Variante zwischen den Zylindern 104 und 105 auseinander. Die Distanzspuren **14** befinden sich stattdessen an der oberen und an der unteren Grenze des Bandes **22**. Die Distanzspuren **14** sind in diesem Fall separat und nicht als integraler Bestandteil der Bänder **22** definiert und werden sowohl vom vorhergehenden Band **22** als auch vom nachfolgenden Band **22** verwendet.

[0057] In **Fig. 7** zeigen die gemustert dargestellten Datenspuren **20**, in welcher Reihenfolge die einzelnen Spuren **3** des Bandes **22** beschrieben werden müssen, um die gewünschten Überlappungen zu erreichen, beispielsweise zuerst Zylinder 104 und Zylinder 105, dann Zylinder 103, dann Zylinder 106 usw. Die Übertragungsrate bei verteilten Schreibzugriffen entspricht den Werten des zuvor beschriebenen Bandes **21** gemäß **Fig. 5**.

[0058] 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 Spurbereich aus der betrachteten Spur **3**. 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** oder einem Spurbereich die Rede ist, kann die betreffende Operation

alternativ auch auf die gesamte Spur **3** angewendet werden.

[0059] Die Begriffe „Zylinder“ (bzw. Zylindernummer) und „Spur“ (bzw. Spurnummer) sind ebenfalls technisch eng verwandt. Immer wenn eine Zylindernummer erwähnt wird, so betrifft dies implizit mindestens eine der Spuren **3** auf diesem Zylinder **12**.

[0060] Wenn davon die Rede ist, dass eine Spur **3**, ein Band **15**, **21**, **22** oder Sektordaten „weiter oben“, „oberhalb“ oder „vorherig“ sind bzw. „weiter unten“, „unterhalb“ oder „nachfolgend“, so ist damit gemeint, dass sich diese Spur **3**, dieses Band **15**, **21**, **22** oder diese Sektordaten weiter außen oder weiter innen auf den konzentrischen Spuren **3** der Plattenoberfläche **2** befinden und/oder, je nach Richtung der Nummerierung, eine größere oder kleinere Zylindernummer haben.

[0061] Die in dieser Patentschrift verwendete Definition der Spurbreite **19** bei Shingled Magnetic Recording beruht auf der Breite der verbleibenden lesbaren Datenspur **20** nach dem Überlappen durch die benachbarte Datenspur **20**. Diese verbleibende lesbare Datenspur **20** ergibt die Spur **3**, für die das Leseelement **17** ausgelegt bzw. optimiert ist.

[0062] **Fig. 8** und **Fig. 9** zeigen als Beispiel, wie eine Plattenoberfläche **2** mit Daten gefüllt wird. Wie in den vorangegangenen Beispielen wird ein Schreiblesekopf **8** verwendet, dessen Schreibelement **16** im Vergleich zum Leseelement **17** für das Schreiben von doppelt so breiten Datenspuren **20** ausgelegt ist.

[0063] Der Übersichtlichkeit halber und um die Größe der dargestellten Zahlen in den Zeichnungen überschaubar zu halten, enthält eine Plattenoberfläche **2** in dieser Ausführungsform nur 995 Spuren, gezählt von Zylinder 000 bis Zylinder 994. Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass andere reale Ausführungsformen auch eine Spurnzahl von beispielsweise mehreren Hunderttausend Spuren haben können und dass alle in dieser Patentschrift beschriebenen Verfahren mit beliebig großen Spurnzahlen ausführbar sind.

[0064] Des Weiteren sei darauf hingewiesen, dass die Zeichnungen lediglich eine Plattenoberfläche **2** repräsentieren. Weitere Plattenoberflächen **2** werden in gleicher Weise befüllt. Für den Sonderfall, dass die SMR-Festplatte **1** nur aus einer Plattenoberfläche **2** besteht, veranschaulichen die Zeichnungen somit alle Spuren **3** dieser SMR-Festplatte **1**.

[0065] Die Spuren **3** werden in symmetrische Bänder **21** (analog zu **Fig. 5**) gruppiert, die in diesem Fall pro Band **21** aus vier nutzbaren Datenspuren **3** und einer in der Mitte liegenden Distanzspur **14** bestehen. Aufgrund der insgesamt 995 Spuren pro Plattenober-

fläche **2** gibt es in dieser Ausführungsform 199 Bänder.

[0066] Mit der Spezifikation „ATA-2“ ist die Adressierungsmethode „Logical Block Addressing“ (LBA) definiert. Der Computer adressiert einen bestimmten Sektor **6** über eine fortlaufende Nummer, beginnend mit Null. Die Umrechnung zwischen dieser LBA-Nummer eines Sektors **6** und der physikalischen Zylinder/Kopf/Sektor-Position auf der SMR-Festplatte **1** erfolgt durch den Festplattencontroller **10**. Je nach vorhandener Festplattegeometrie muss bei der Umrechnung unter anderem auch die Aufteilung der Plattenoberflächen **2** in Zonen (Zone bit recording) berücksichtigt werden. Weitere Details, insbesondere eine variable Zuordnung der LBA-Nummern zu den physikalischen Sektor-Positionen, werden in der bereits genannten Offenlegungsschrift US 2007/0174582 A1 beschrieben.

[0067] Fig. 8 und Fig. 9 veranschaulichen, wie die Spuren **3** einer SMR-Festplatte **1**, basierend auf einer Index-Funktion $f(i)$, schrittweise gefüllt werden. Die Funktionswerte der Index-Funktion $f(i)$ können den Spalten „logic Cyl. idx. i“ und „phys. Cyl. c“ der Tabellen in Fig. 8 und Fig. 9 entnommen werden. Der Eingabewert „logic Cyl. idx. i“ ist ein logischer Zylinderindex i und der Funktionswert „phys. Cyl. c“ ist der physikalische Zylinder c .

[0068] Fig. 8 zeigt die Belegung der Spuren **3** auf einer Plattenoberfläche **2** bei einem Füllstand von 50%, d. h. die Hälfte aller verfügbaren Spuren **3** sind belegt. Verfügt die SMR-Festplatte **1** über weitere Plattenoberflächen **2**, so sind deren Spuren **3** auf die gleiche Weise belegt.

[0069] Beim Beschreiben der Plattenoberfläche **2** werden die ersten Sektoren **6** entsprechend der Index-Funktion $f(i)$ und mit $i = 0$ in die Spur **3** des physikalischen Zylinders 000 geschrieben. Das Schreibelement **16** mit Überbreite **18** wird dazu auf dem Zylinderpaar (000, 001) positioniert. Im Anschluss wird mit dem logischen Zylinderindex $i = 1$ die Spur **3** des Zylinders 004 gefüllt, indem das Schreibelement **16** eine Datenspur **20** auf den Spuren **3** des Zylinderpaars (003, 004) schreibt.

[0070] Sobald die beiden äußeren Spuren **3** vom 1. Band gefüllt sind, wird dieser Vorgang im 2. Band fortgesetzt: Mit Zylinderindex $i = 2$ werden die physikalischen Spuren der Zylinder 005 und 006 von der breiten Datenspur **20** beschrieben. Der Zylinderindex $i = 3$ positioniert das Schreibelement **16** auf das Zylinderpaar (008, 009) usw. Die Überbreite **18** des Schreibelements **16** wird immer nach innen zur Mitte des jeweiligen Bandes **21** ausgerichtet.

[0071] Je nach Ausführungsform wird vom Festplattencontroller **10** für jeden Sektor **6** ein Flag verwaltet,

welches anzeigt, ob der Sektor **6** belegt ist. Sobald ein Sektor **6** geschrieben wird, wird das zugehörige Flag gesetzt. Dies ist in der Spalte „Belegt“ in der Tabelle aus Fig. 8 dargestellt: Die äußeren Spuren **3** eines jeden Bandes **21** enthalten den Wert „1“ (d. h. „belegt“), die inneren Spuren **3** den Wert „0“.

[0072] Optional und je nach Ausführungsform können z. B. mittels einer ATA Trim-Funktion vormals belegte Sektoren **6** vom Betriebssystem als ungültig bzw. frei markiert werden und zum direkten Überschreiben freigegeben werden. Dies wird erreicht, indem das Flag „Belegt“ wieder gelöscht, d. h. auf „0“ gesetzt wird.

[0073] Beim Befüllen einer leeren SMR-Festplatte **1**, welche aus mehreren Plattenoberflächen **2** besteht, werden zunächst die Spuren **3** des Zylinderpaars (000, 001) auf der ersten Plattenoberfläche **2** beschrieben. Anschließend, beim fortlaufenden Befüllen, erfolgt ein Spurwechsel zum Zylinderpaar (003, 004) und dann zum Zylinderpaar (005, 006) usw. – bis die erste Plattenoberfläche **2**, wie in Fig. 8 dargestellt, zur Hälfte gefüllt ist. Erst dann erfolgt ein Umschalten des Schreiblesekopfs **8** auf die nächste, noch unbeschriebene Plattenoberfläche **2** im Plattenstapel **13**. Diese zweite Plattenoberfläche **2** sowie alle nachfolgenden Plattenoberflächen **2** werden auf die gleiche Weise (beispielsweise von außen nach innen) gefüllt, bis schlussendlich die gesamte SMR-Festplatte **1** zur Hälfte gefüllt ist.

[0074] Wie aus Fig. 8 ersichtlich, entspricht die Distanz, die der Schreiblesekopf **8** bei einem Spurwechsel innerhalb einer Plattenoberfläche **2** zurücklegen muss, in etwa der Distanz, die der Schreiblesekopf **8** auch bei einer konventionellen Festplatte ohne SMR zurücklegen müsste. Lediglich bei jedem zweiten Spurwechsel (innerhalb eines Bandes **18**) vergrößert sich die Distanz des Spurwechsels um die Breite der Distanzspur **14**, mithin um die halbe Breite einer konventionellen Spur.

[0075] Aus Fig. 8 ist ferner ersichtlich, dass es in der ersten Phase zu keinen Überlappungen der geschriebenen Datenspuren **20** kommt. Solange die SMR-Festplatte **1** nicht mehr als zu 50% gefüllt ist, erreicht die SMR-Festplatte **1** bei verteilten Schreibzugriffen folglich eine Performance, die in etwa einer konventionellen Festplatte ohne SMR entspricht. Alle Daten können ohne Zeitverlust (d. h. ohne Write-Amplification) direkt überschrieben werden. Ein Auslesen, Puffern und erneutes Schreiben von überlappenden Datenspuren **20** ist nicht notwendig.

[0076] In vielen typischen Anwendungsszenarien, beispielsweise im Home-/Office-Bereich, ist eine Festplatte lange Zeit nur teilweise belegt.

[0077] Die erste Phase ist abgeschlossen sobald die letzte Spur **3** auf der letzten verfügbaren Plattenoberfläche **2** im Plattenstapel **13** beschrieben ist: In **Fig. 8** ist dies die Datenspur **20** auf dem Zylinderpaar (993, 994) aus dem 199. Band. Diese hat den Zylinderindex $i = 397$. Die SMR-Festplatte **1** hat nunmehr einen Füllstand von 50%.

[0078] Bei fortgesetzter Befüllung der SMR-Festplatte **1** mit Daten werden von nun an die beiden inneren Spuren **3** eines jeden Bandes **21** belegt. Dies ist in **Fig. 9** dargestellt. Die Überbreite **18** der Datenspur **20** des Schreibelements **16** wird von der Distanzspur **14** aufgefangen, an welche die beiden inneren Spuren **3** angrenzen. Der Inhalt auf der Distanzspur **14** wird nicht benötigt. Daher kann die Distanzspur **14** von beiden Seiten mit der Überbreite **18** des Schreibelements **16** überschrieben werden.

[0079] Mit jedem neu beschriebenen Sektor **6** oder, je nach Ausführungsform, mit jeder neu geschriebenen Spur **3** ist das Flag „Belegt“ zu setzen, um zu vermerken, dass der Sektor **6** oder die Spur **3** gültige Daten enthält.

[0080] Entsprechend der Index-Funktion $f(i)$ wird in der zweiten Phase mit $i = 398$ zunächst das Zylinderpaar (001, 002) mit einer Datenspur **20** beschrieben. Anschließend wechselt das Schreibelement **16** mit $i = 399$ zum Zylinderpaar (002, 003), dann mit $i = 400$ zum Zylinderpaar (006, 007) und so weiter, bis mit $i = 795$ und dem Beschreiben der Spuren **3** des Zylinderpaars (992, 993) die erste Plattenoberfläche **2** vollständig belegt ist. Je nach Anzahl an Platten im Plattenstapel **13** wird dieser Vorgang auf den verbleibenden Plattenoberflächen **2** wiederholt, bis die gesamte SMR-Festplatte **1** vollständig belegt ist. Dieser Zustand ist in **Fig. 9** dargestellt.

[0081] Die beschriebene Reihenfolge sorgt dafür, dass neu geschriebene Datenspuren **20** möglichst lange in ihrer vollen Breite erhalten bleiben, bevor sie teilweise (d. h. überlappend) von der Nachbarspur überschrieben werden.

[0082] **Fig. 10** zeigt ein weiteres Beispiel. Das Verhältnis der Spurbreite **19** des Leselements **17** zur Spurbreite des Schreibelements **16** beträgt nunmehr 1 zu 3. Dies ist aus dem in **Fig. 10** dargestellten Schreiblesekopf **8** ersichtlich. Die Überbreite **18** des Schreibelements **16** ist in dieser Patentschrift immer als Differenz aus der gesamten Spurbreite des Schreibelements **16** und der Spurbreite **19** des Leselements **17** definiert. Dementsprechend ergibt sich die Überbreite **18** aus der Summe der rechts und links überstehenden Teilbereiche des Schreibelements **16**, die in **Fig. 10** mit Pfeilen bemaßt sind.

[0083] Das Schreibelement **16** schreibt eine Datenspur **20** mit dreifacher Spurbreite **19**. Dementspre-

chend wird ein Distanzbereich **14** benötigt, der mindestens die Breite von zwei Spuren **3** einnimmt, mithin die doppelte Spurbreite **19**. Es werden symmetrische Bänder **21** mit einem Distanzbereich **14** in der Mitte verwendet. Pro Band **21** können acht Spuren **3** zum Speichern von Daten verwendet werden. Auf einer Plattenoberfläche **2** befinden sich 990 Spuren, gezählt von Zylinder 000 bis Zylinder 989, die in diesem Fall zu 99 Bändern gruppiert sind. 80% der Plattenoberfläche **2** werden zum Speichern von Daten genutzt, 20% sind für die Distanzbereiche **14** reserviert.

[0084] **Fig. 10** zeigt das Ende einer ersten Befüllungs-Phase welche bei einem logischen Zylinderindex von $i = 395$ erreicht ist, beziehungsweise sobald 50% jeder Plattenoberfläche **2** beschrieben ist. Mithin ist pro Band **21** von den acht verfügbaren Spuren **3** eine Teilauswahl von vier Spuren **3** belegt. Belegte Spuren **3** sind in der Tabellenspalte „Belegt“ mit einer „1“ vermerkt. Die Überbreite **18** des Schreibelements **16** wird durch die unbelegten Nachbarspuren oder den Distanzbereich **14** aufgefangen. Mit Ausnahme des Distanzbereichs **14** gibt es keine überlappenden Datenspuren **20**.

[0085] **Fig. 11** zeigt ein Beispiel, bei dem ein konventionelles Band **15** gemäß **Fig. 4** verwendet wird, bei dem die Überlappungen der Datenspuren **20** nur in einer Richtung erfolgt, beispielsweise von oben nach unten.

[0086] Das Verhältnis der Spurbreite **19** des Leselements **17** zur Spurbreite des Schreibelements **16** beträgt auch in diesem Beispiel 1 zu 3. Die Distanzbereiche **14** belegen somit die doppelte Spurbreite **19**. Pro Band **15** können sechs Spuren **3** zum Speichern von Daten verwendet werden. Auf einer Plattenoberfläche **2** befinden sich in diesem Fall 992 Spuren, gezählt von Zylinder 000 bis Zylinder 991 und gruppiert in 124 Bändern.

[0087] **Fig. 11** zeigt den Zustand einer vollständig belegten Plattenoberfläche **2** am Ende einer sechsten und letzten Befüllungs-Phase. Die Phasen eins bis fünf können anhand der Tabellenspalte „logic Cyl. idx. i“ nachvollzogen werden. Demnach erfolgt das Befüllen der einzelnen Bänder **15** von oben nach unten. Bezogen auf das 1. Band wird beispielsweise in der ersten Phase zunächst nur die Spur **3** auf Zylinder 000 belegt, in der zweiten Phase dann die Spur **3** auf Zylinder 001, in der dritten Phase die Spur **3** auf Zylinder 003 usw.

[0088] Beim Schreiben einer Datenspur **20** mit dem breiten Schreibelement **16** wird neben der eigentlichen Spur **3** auch eine Nachbarspur (oder je nach Überbreite **18** mehrere Nachbarspuren) beschrieben, welche als systemimmanente Backup-Spuren genutzt werden können. Wenn beim Lesen ein Sektor

6 defekt ist (z. B. ein CRC-Fehler) oder schlecht lesbar ist (mehrere Leseversuche, kritische Fehlerkorrektur), kann geprüft werden, ob sich auf der Nachbarspur (oder einer der Nachbarspuren) eine besser lesbare Kopie befindet. Die Verfügbarkeit dieser Sicherheitskopie hängt vom Füllstand der SMR-Festplatte **1** ab, beziehungsweise von der konkreten Belegung des jeweiligen Bandes. Dieses Konzept wird anhand einer exemplarischen Ausführungsform dargestellt, kann aber auch in anderen Ausführungsformen umgesetzt werden, beispielsweise in einer Ausführungsform gemäß **Fig. 10** oder **Fig. 11**, bei der die effektive Spurbreite des Schreibelements **16** drei mal so breit ist wie die Spurbreite **19** des Leseelements **17**.

[0089] Die Ausführungsform gemäß **Fig. 12** entspricht weitestgehend dem Beispiel aus **Fig. 8** und **Fig. 9**, mit dem Unterschied, dass zusätzlich zum Flag „Belegt“ Informationen über die Konfiguration („Config.“) der Bänder **21** sowie Informationen über die Verwendung („Status“) der einzelnen Sektoren **6** auf den Spuren **3** verwaltet werden.

[0090] Für „Config.“ und „Status“ wird eine lokale Index-Nummerierung der Spuren **3** eines jeden Bandes **21** eingeführt. Dazu werden die fünf Spuren **3** pro Band **21** von „0“ bis „4“ durchnummeriert, einschließlich der Distanzspur **14**. Die lokale Index-Nummer ist in **Fig. 12** und in den nachfolgenden Figuren in Klammern hinter der Zylindernummer „phys. Cyl. c“ angegeben. Beispielsweise bedeutet „009 (4)“, dass die Spur des Zylinders 009 die lokale Index-Nummer „4“ hat.

[0091] Die Einträge unter „Config.“ stellen ein Spurpaar dar, welches angibt, auf welchen benachbarten Spuren **3** das Schreibelement **16** mit seiner Überbreite **18** schreiben soll. Die einzelnen Werte dieses Spurpaars werden als lokale Index-Nummer ausgedrückt, mithin mit Werten zwischen „0“ und „4“, für Zylinder 008 beispielsweise (3, 2). Der erste Wert des Zahlenpaars repräsentiert die Spur **3**, aus der der Sektor **6** später mit dem Leselement **17** ausgelesen werden soll, also die offizielle Position der Daten. Der zweite Wert des Zahlenpaars definiert die Spur **3**, welche die Überbreite **18** des Schreibelements **16** auffängt. Dieser zweite Wert ist immer um Eins größer oder kleiner als der erste Wert. Im Ausgangszustand ist der erste Wert des Zahlenpaars unter „Config.“ identisch mit der lokalen Index-Nummer des Sektors **6**.

[0092] Der Eintrag unter „Status“ gibt an, welcher Spur **3** die geschriebenen Daten zugeordnet sind. Die Einträge protokollieren die Schreibtätigkeit des breiten Schreibelements **16**. Beispielsweise enthalten in **Fig. 12** die beiden Sektoren **6** auf den Spuren **3** des Zylinderpaars (008, 009) beide den Status „4“, was bedeutet, dass es sich um Daten handelt, die der

Spur **3** mit der lokalen Index-Nummer „4“ zugeordnet sind, siehe die Zahl in Klammern hinter der Zylindernummer: „009 (4)“. Die beiden untereinander stehenden Einträge (4|4) unter „Status“ sind beim letzten Schreibvorgang des breiten Schreibelements **16** in der Tabelle eingetragen worden. Dass der Sektor **6** auf Zylinder „008 (3)“ den Status „4“ hat, bedeutet, dass dieser Sektor **6** zur Zeit die selben Daten enthält wie der Sektor **6** auf Zylinder „009 (4)“.

[0093] Der Status-Wert „4“ des Sektors **6** auf Zylinder „008 (3)“ bedeutet des weiteren, dass hier zur Zeit keine eigenen Daten abgelegt sind. Würde dieser Sektor **6** eigene Daten enthalten, so wäre der Status auf „3“ gesetzt, also auf den Wert der lokalen Index-Nummer dieser Spur **3**.

[0094] **Fig. 12** zeigt exemplarisch unterschiedlich stark belegte Bänder **21** mit diversen defekten Sektoren **44**, deren Lesefehler sich jeweils durch einen Backup-Spurabschnitt **45** abfangen lassen: Beispielsweise hat die Spur **3** auf Zylinder 000 einen CRC-Fehler oder einen anderen Defekt, der sich nicht mit Hilfe von Fehlerkorrektur-Informationen beheben lässt. In der Spalte „Status“ zeigen die zwei untereinander stehenden Einträge mit identischem Zahlenwert (0|0) an, dass die nach innen benachbarte Spur **3** auf Zylinder 001 die gleichen Daten enthält und folglich als Backup ausgelesen werden kann. Eine CRC-Fehlermeldung oder eine andere Fehlermeldung an das Betriebssystem kann vermieden werden und die Daten sind nicht verloren.

[0095] Die Datenrettung der übrigen in **Fig. 12** eingezeichneten defekten Sektoren **44** („Fehler“) erfolgt analog: Das 1. Band ist zur Hälfte belegt und für beide äußeren Spuren **3** (lokale Index-Nummer 0 und 4) gibt es ein Backup. Das 2. Band ist zu dreiviertel belegt, und es gibt eine Backup-Option für die beiden Spuren **3** mit den lokalen Index-Nummern 1 und 4, mithin Zylinder „006 (1)“ und „009 (4)“. Das 3. Band ist ebenfalls zu dreiviertel belegt, und es gibt eine Backup-Option für die Spuren **3** auf Zylinder „010 (0)“ und „013 (3)“.

[0096] Bei einem vollständig belegten Band **21** gibt es nur eine Spur **3**, für welche ein Backup existiert: Gemäß **Fig. 12** ist das 199. Band vollständig belegt, und mit Zylinder „992 (2)“ gibt es eine Backup-Option für den defekten Sektor **44** auf der Spur **3** des Zylinders „993 (3)“ mit der lokalen Index-Nummer 3, zu erkennen an den beiden übereinander stehenden Einträgen (3|3) unter „Status“.

[0097] Durch die Existenz der Backup-Spuren **45** lässt sich die Gesamtkapazität der SMR-Festplatte **1** erhöhen, indem vorhandene Spielräume bei der Fehlertoleranz stärker ausgeschöpft werden: So lässt sich die Aufzeichnungsdichte auf den Plattenoberflächen **2** erhöhen, und die Fehlerkorrektur kann weni-

ger umfassend implementiert werden, so dass sich der Platzbedarf für zusätzliche Fehlerkorrektur-Informationen reduziert. Die erhöhte Wahrscheinlichkeit, dass es nach dem Ausschöpfen dieser Fehlertoleranz-Reserven zu nicht korrigierbaren Lesefehlern kommt, wird durch die häufige Existenz einer Backup-Spur **45** abgefangen.

[0098] In der exemplarischen Ausführungsform gemäß **Fig. 12** wird, wie dargestellt, mittels der Tabelleneinträge unter „Status“ ermittelt, ob der Sektor **6** auf der Nachbarspur die gleichen Informationen enthält und somit als Backup zur Verfügung steht. In anderen Ausführungsformen kann stattdessen ein direkter Vergleich des Inhalts der benachbarten Spuren **3** erfolgen, wie nachfolgend beschrieben:

Sobald die unzureichend abgesicherten Daten eines defekten Sektors **44** eingelesen sind, werden in dieser Variante die Sektordaten auf der zuständigen Nachbarspur testhalber ebenfalls eingelesen. Je nach Ausführungsform können auch die Nachbarspuren auf beiden Seiten zum defekten Sektor **44** eingelesen werden oder weitere Spuren **3** in der Nähe. Die eingelesenen Daten der benachbarten Spur **3** bzw. Spuren **3** werden nun mit den Daten des defekten Sektors **44** auf Ähnlichkeit verglichen. Es lässt sich ein Schwellwert definieren, ab dem die unzureichend abgesicherten Daten des defekten Sektors **44** als identisch mit den Sektordaten einer benachbarten Spur **3** gelten. Basierend auf dem Ergebnis dieses Vergleichs, lässt sich ermitteln, ob auf einer der Nachbarspuren ein Backup verfügbar ist. Diese alternative Ausführungsform benötigt folglich keine „Status“-Spalte in der Tabelle, mit der die Schreibfähigkeit des breiten Schreibelements **16** protokolliert wird.

[0099] Wenn ein defekter Sektor **44** schlecht lesbar ist, wird er üblicherweise remappt, d. h. an einer anderen Stelle gespeichert. Hierfür ist ein Reservebereich (hot-fix-area) vorgesehen. Der Festplattencontroller **10** blendet den defekten Sektor **6** aus und blendet stattdessen einen Sektor **6** aus dem Reservebereich ein. Dieses Verfahren ist Stand der Technik.

[0100] In einer möglichen Ausführungsform kann hingegen dieser Reservebereich kleiner ausfallen oder ganz entfallen. Stattdessen werden innerhalb eines Bandes **21** defekte Sektoren **44** oder ganze Spuren **3** mit mindestens einem defekten Sektor **44** zur Distanzspur **14** oder zum Distanzbereich **14** umdekliert. Der Anteil von 20% der Plattenoberfläche **2**, welcher beispielsweise in der Ausführungsform gemäß **Fig. 12** für die Distanzspuren **14** benötigt wird, fungiert somit gleichzeitig als Reservebereich für defekte Sektoren **44** oder fehlerhafte Spuren **3**.

[0101] Als Ausgangssituation zeigt **Fig. 13** pro Band **21** einen defekten Sektor **44** (z. B. CRC-Fehler), welcher noch nicht „repariert“ ist: Die defekten Sektoren **44** befinden sich auf den Zylindernummern 001 (im 1.

Band), 008 (im 2. Band), 014 (im 3. Band) und 990 (im 199. Band). Die hier beschriebene Methode zur „Reparatur“ defekter Sektoren **44** ist stets durchführbar, unabhängig davon, ob zum defekten Sektor **44** ein Backup-Spurabschnitt **45** existiert. Beispielsweise ist im Fall des 1. Bandes, des 2. Bandes und 3. Bandes je ein Backup-Spurabschnitt **45** verfügbar, während im 199. Band kein passender Backup-Spurabschnitt **45** vorhanden ist. Ungeachtet eines potentiellen Datenverlustes kann der defekte Sektor **44** im 199. Band „repariert“ werden.

[0102] **Fig. 14** zeigt rekonfigurierte Bänder, in denen die defekten Sektoren **44** „repariert“ sind. Die Reorganisation erfolgt durch die Einträge in den Konfigurations-Informationen („Config.“) der Bänder. Nach der Rekonfiguration befindet sich die Distanzspur **14** des jeweiligen Bandes genau auf der Spur **3** des defekten Sektors **44**. Der auf diesen Ersatz-Distanzspuren **14** geschriebene Inhalt wird im regulären Betrieb nicht benötigt, so dass die Schäden auf diesen Spuren **3** nicht ins Gewicht fallen.

[0103] Gemäß **Fig. 14** ist im 1. Band die Position der Distanzspur **14** von der intakten Spur **3** des Zylinders 002 auf den defekten Sektor **44** des Zylinders 001 verschoben worden. Dadurch steht dem 1. Band nunmehr mit dem Sektor **6** auf Zylinder 002 ein intakter Ersatz für den defekten Sektor **44** zur Verfügung. Die Anordnung der überlappenden Datenspuren **20** innerhalb des rekonfigurierten Bandes wird nun angepasst und neu in dieses Band geschrieben, so dass diesem Band weiterhin seine volle Spüranzahl (hier: vier) zur Verfügung steht. Damit der Festplattencontroller **10** künftig auf die richtigen Spuren **3** und Spurpaare zugreift, wird die Rekonfiguration in der Tabelle unter „Config.“ abgespeichert.

[0104] Basierend auf der Index-Funktion $f(i)$ verweist der logische Zylinder-Index („logic Cyl. Idx i “) mit $i = 0$ als erstes auf Zylinder „000 (0)“. Hier, auf Zylinder 000, verweist das Zahlenpaar aus der Konfigurations-Information („Config.“) auf die lokalen Index-Nummern (0, 1). Somit verbleibt die Datenspur **20** unverändert auf dem Zylinderpaar (000, 001). Mit $i = 1$ verweist der logische Zylinder-Index als nächstes auf Zylinder „004 (4)“. Hier verweisen die lokalen Index-Nummern des Zahlenpaars (4, 3) unter „Config.“ auf Zylinder „004 (4)“ und Zylinder „003 (3)“. Auch diese Datenspur **20** bleibt folglich unverändert.

[0105] Als nächstes wird im 1. Band mit dem logischen Zylinder-Index $i = 398$ auf den Zylinder 001 verwiesen und dort, auf Zylinder „001 (1)“, verweist „Config.“ auf die lokalen Index-Nummern (3, 2). Die zugehörige Datenspur **20** wurde aufgrund des Defekts im Band auf das Spurpaar mit den lokalen Index-Nummern (3, 2) verschoben, mithin auf das Zylinderpaar (003, 002).

[0106] Auf der Spur des Zylinders 003 (Zylinder-Index $i = 399$) verweist „Config.“ auf die lokalen Index-Nummern (2, 1), also auf die beiden Zylinder „002 (2)“ und „001 (1)“. Dieser Sektor **6** ist im Beispiel gemäß **Fig. 14** noch nicht belegt („Belegt“ = 0). Sobald der Sektor **6** beschrieben wird, wird das breite Schreibelement **16** über dem Zylinderpaar (002, 001) positioniert, so dass der defekte Sektor **44** auf Zylinder 001 als Distanzspur **14** fungiert und somit sind, trotz des Defekts, alle vier Spuren **3** im 1. Band verfügbar.

[0107] Das 2. Band ist im Beispiel vollständig belegt, und die Reorganisation erfolgt analog zum 1. Band, jedoch mit dem Unterschied, dass die Distanzspur **14** diesmal nach unten auf Zylinder 008 verschoben wird, da sich dort der defekte Sektor **44** befindet. Die neue Belegung und Reihenfolge ist in den Konfigurations-Informationen („Config.“) wie folgt festgelegt: Die Position der Spur **3** auf Zylinder 005 (Zylinder-Index $i = 2$) verbleibt mit den lokalen Index-Nummern (0, 1) unverändert. Auch die Spuren **3** auf Zylinder 009 und 006 (Zylinder-Index $i = 3$ und $i = 400$) bleiben unverändert. Für die Spur **3** auf Zylinder 008 (Index-Nummer $i = 401$) verweist „Config.“ auf die lokalen Index-Nummern (2, 3). Die Sektordaten werden somit auf der Spur **3** des Zylinders 007 gespeichert, so dass die defekte Spur **3** auf Zylinder 008 nicht mehr stört.

[0108] Das 3. Band ist in diesem Beispiel in einem halb belegten Zustand. Der defekte Sektor **44** befindet sich auf Zylinder 014, also an der unteren Grenze des Bandes. Um das 3. Band dennoch bei Bedarf vollständig füllen zu können, wird die Distanzspur **14**, wie bei einem konventionellen Band **15**, an die untere Bandgrenze auf Zylinder 014 verschoben. Die vier intakten Spuren **3** oberhalb der neuen Distanzspur **14** werden nacheinander von oben nach unten mit der Datenspur **20** beschrieben.

[0109] Die Position der Spur **3** auf Zylinder 010 (Zylinder-Index $i = 4$) verbleibt unverändert. Für den Zylinder-Index $i = 5$ sorgt die Konfigurations-Information („Config.“) für einen Verweis auf das Zylinderpaar (011, 012). Für Zylinder-Index $i = 402$ erfolgt ein Verweis auf das Zylinderpaar (012, 013) usw.

[0110] Das dargestellte Beispiel auf dem 199. Band entspricht dem 3. Band, mit dem Unterschied, dass diesmal die Distanzspur **14** an die obere Grenze des Bandes verlegt wird, mithin auf den defekten Sektor **44** des Zylinders 990. Dementsprechend wird das 199. Band nunmehr von unten nach oben beschrieben. Im Einzelnen wird auf die folgenden Spuren **3** geschrieben: Für die lokale Index-Nummer $i = 396$ das Zylinderpaar (994, 993), für $i = 397$ das Zylinderpaar (993, 992), für $i = 794$ das Zylinderpaar (992, 991) und zum Schluss mit $i = 795$ das Zylinderpaar (991, 990), wobei die neue Distanzspur **14** auf Zylinder 990 die Überbreite **18** des Schreibelements **16** aufnimmt.

[0111] Da die Konfigurations-Informationen „Config“ im Fall eines defekten Sektors **44** die neue Anordnung des betroffenen Bandes enthalten, können sowohl Bänder **21** im Ausgangszustand als auch rekonfigurierte Bänder vom Schreiblesekopf **8** bzw. Actuator **9** angesteuert werden.

[0112] Das Flussdiagramm aus **Fig. 15** zeigt am Beispiel der Ausführungsform gemäß **Fig. 13** und **Fig. 14** den prinzipiellen Ablauf, wie nach einem fatalen Lesefehler (z. B. CRC-Fehler) geprüft werden kann, ob die betroffenen Sektordaten als Backup vorliegen und wie im Anschluss der defekte Sektor **44** „repariert“ werden kann, indem das Band rekonfiguriert wird.

[0113] In der ersten Operation **46** nimmt der Festplattencontroller **10** vom Computer die LBA-Nummer eines Sektors **6** entgegen, der gelesen werden soll. Die nachfolgende Operation **47** berechnet den zugehörigen physikalischen Zylinder **12** und positioniert das Leseelement **17** auf die benötigte Spur **3**, so dass im Anschluss mit Operation **48** der angeforderte Sektor **6** eingelesen werden kann. Im Rahmen der Verzweigung **49** wird nun geprüft, ob der Sektor **6** lesbar war. D. h. mögliche Lesefehler werden mit den verfügbaren Fehlerkorrektur-Informationen behoben und falls diese Vorwärts-Fehlerkorrektur erfolgreich ist, ist der Lesevorgang für diesen Sektor **6** abgeschlossen.

[0114] Anderenfalls, wenn die Fehler im Sektor **6** nicht mehr korrigierbar sind, wird im Rahmen der Verzweigung **50** geprüft, ob ein Backup-Spurabschnitt **45** verfügbar ist, welcher eine Kopie des defekten Sektors **44** enthält. Zu diesem Zweck wird zunächst das Flag „Belegt“ der Nachbarspur ausgewertet, und zwar von der Nachbarspur in Richtung der Mitte des Bandes, mithin in Richtung der Distanzspur **14**. Falls es sich bei dieser Nachbarspur um die Distanzspur **14** handelt, so kann dieser erste Schritt übersprungen werden. Falls das „Belegt“-Flag der Nachbarspur den Wert „1“ enthält, ist die Nachbarspur in der Regel mit eigenen Daten belegt und ein Backup ist nicht verfügbar, so dass direkt zur Rekonfiguration des Bandes ab Operation **53** gesprungen wird. (Evtl. wird ein CRC-Fehler an das Betriebssystem ausgegeben.)

[0115] In allen anderen Fällen werden in einem zweiten Schritt die Einträge in der Tabelle unter „Status“ ausgewertet. Enthält der Sektor **6** auf der Nachbarspur bzw. der Distanzspur **14**, falls diese der Nachbar ist, unter „Status“ den selben Zahlenwert wie der defekte Sektor **44**, so ist ein Backup verfügbar, welches mit Operation **51** und Operation **52** ausgelesen wird. Anderenfalls, wenn die Zahlenwerte unterschiedlich sind, existiert kein Backup und es geht mit der Rekonfiguration des Bandes ab Operation **53** weiter.

[0116] Zum Auslesen des Backups wird mit Operation **51** das Leseelement **17** auf der entsprechenden Nachbarspur bzw. auf der Distanzspur **14** positioniert und mit Operation **52** wird das Backup vom zugehörigen Sektor **6** eingelesen.

[0117] Im Anschluss erfolgt die Rekonfiguration des betroffenen Bandes, welches den defekten Sektor **44** enthält. Hierzu wird zunächst in Operation **53** geprüft, um welchen Fall es sich handelt, mithin an welcher Position innerhalb des Bandes sich die Spur **3** mit dem defekten Sektor **44** befindet. Entsprechend der vier Fälle gemäß dem Beispiel aus **Fig. 14** wird die Distanzspur **14** um eine Spur nach oben oder nach unten verschoben oder an eine der Grenzen des Bandes verlegt. Die vier Fälle werden im folgenden auch „Band-Typ“ genannt. Wenn sich der neue Ort der Distanzspur **14** an einer Grenze des Bandes befindet, so wird auf ein Band **15** mit konventioneller Anordnung umgeschaltet, bei der alle Spuren **3** in eine Richtung überlappen.

[0118] Mit Operation **54** wird als nächstes das gesamte Band eingelesen und im Pufferspeicher **11** zwischengespeichert. (In einigen Fällen der Rekonfiguration reicht es auch aus, nur Sektoren **6** von einer Teilmenge der Spuren **3** einzulesen und neu zu schreiben.) Anschließend werden mit Operation **55** die Einträge in der Tabelle unter „Config“ den neuen Gegebenheiten angepasst, so dass die neue Anordnung in der richtigen Reihenfolge geschrieben wird. Bei der neuen Anordnung handelt es sich um einen der vier Band-Typen, der in Operation **53** ermittelt worden ist. Die benötigten Tabellen-Einträge für die Konfigurations-Information „Config“ sind in **Fig. 14** dargestellt. Abschließend, nach der erfolgten Rekonfiguration der Tabelle, werden mit Operation **56** die im Pufferspeicher **11** zwischengespeicherten Sektor-daten an ihre neuen Positionen zurückgeschrieben.

[0119] Falls sich in einem Band zwei fehlerhafte Spuren **3** befinden, kann eine zweite Ersatzspur gewonnen werden, indem das betroffene Band mit einem fehlerfreien Nachbarband zu einem doppelt so breiten Band zusammengelegt wird, nachfolgend Superband genannt. Das benötigte Nachbarband kann sich je nach Verfügbarkeit und Ausführungsform oberhalb oder unterhalb des defekten Bandes befinden. Weitere fehlerhafte Spuren **3** im selben defekten Band können kompensiert werden, indem mit jeder zusätzlichen fehlerhaften Spur **3** ein weiteres Nachbarband in das Superband aufgenommen wird.

[0120] Wenn Festplattenbereiche vom Dateisystem freigegeben werden, beispielsweise im Rahmen einer Defragmentierung, so kann ein Band, das von defekten Sektoren **44** betroffen ist, bei dieser Gelegenheit ohne zusätzliche Schreibvorgänge rekonfiguriert werden.

[0121] Alle beschriebenen Verfahren zur Rekonfiguration der Bänder lassen sich je nach Ausführungsform auf die Sektoren **6** eines geometrischen Sektors (Kreisausschnitt der Plattenoberfläche **2**) anwenden oder auf die gesamten konzentrischen Spuren **3** der von der Rekonfiguration betroffenen Bänder. Der Fachmann wird erkennen, dass die letztere Vorgehensweise einen Versatz zu benachbarten Sektoren **6** vermeidet und dass, je nach Zielsetzung, eine geeignete Variante zu wählen ist, welche vorteilhaft für die Zugriffszeiten ist.

[0122] Defekte Sektoren **44**, die aufgrund ihrer Position und aufgrund eines gesetzten Limits hinsichtlich einer maximal zulässigen Spuranzahl pro Band nicht von einem Distanzbereich **14** abgedeckt werden können, können auf konventionelle Weise mittels eines Reservebereichs (hot-fix-area) ausgetauscht werden.

[0123] In den beschriebenen Ausführungsformen entspricht die Breite des Distanzbereichs **14** der Spurbreite **19** oder einem Vielfachen der Spurbreite **19**. 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 **19** ist, beispielsweise in 1.5-facher oder 2.5-facher Spurbreite **19**. Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass auch die Distanzbereiche **14** in der Ausführungsform gemäß **Fig. 12** bis **Fig. 15** aus mehr als einer Spur **3** bestehen können.

[0124] Aus darstellungstechnischen Gründen bestehen in den Zeichnungen dieser Patentschrift viele Bänder aus verhältnismäßig wenigen Spuren **3**. Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass andere Ausführungsformen auch eine größere Spuranzahl pro Band haben können.

[0125] 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, beispielsweise mit Band-speicher oder Wechselspeicher.

[0126] Die Schreibelemente **16** und/oder Leselemente **17** können dabei beispielsweise auf magnetischer oder optischer Basis arbeiten oder auch mit Hitzeeinwirkung. Ebenso können magnetische oder optische Speichervorgänge durch gezielte Hitze unterstützt werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Festplattenlaufwerk mit Shingled Magnetic Recording
- 2 Plattenoberfläche (Datenträger)
- 3 Spur
- 4 Äußerste Spur (maximaler Durchmesser)
- 5 Innerste Spur (minimaler Durchmesser)
- 6 Sektor
- 7 Spindel mit Drehachse
- 8 Schreiblesekopf
- 9 Actuator
- 10 Festplattencontroller
- 11 Speicher des Festplattencontrollers
- 12 Zylinder
- 13 Plattenstapel
- 14 Distanzbereich bzw. Distanzspur
- 15 Konventionelles Band
- 16 Schreibelement des Schreiblesekopfes
- 17 Leseelement des Schreiblesekopfes
- 18 Überbreite des Schreibelements
- 19 Spurbreite
- 20 Datenspur des Schreibelements
- 21 Symmetrisches Band mit Distanzbereich in der Mitte
- 22 Symmetrisches Band mit Distanzbereichen an den Bandgrenzen
- 44 Defekter Sektor (nicht lesbar/schlecht lesbar)
- 45 Systemimmanente Backup-Spur bzw. Spurabschnitt
- 46 Sektoradresse a entgegennehmen;
- 47 Zylinder berechnen, Leseelement positionieren;
- 48 Sektordaten einlesen;
- 49 Sektordaten lesbar?
- 50 Kopie auf Backup-Spur verfügbar?
- 51 Leseelement auf Backup-Spur positionieren;
- 52 Backup-Daten einlesen;
- 53 Benötigten Band-Typ ermitteln;
- 54 Band einlesen und puffern;
- 55 Rekonfiguration der Tabelle „Config.“;
- 56 Band aus Puffer zurückschreiben;

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation von Lesefehlern auf einer Datenträgeroberfläche (2) von einer Speichervorrichtung (1) konfiguriert für überlappende Datenspuren (20) mit einem Schreibelement (16), dessen effektive Spurbreite um eine Überbreite (18) größer ist als die Spurbreite (19) eines Leseelements (17), **dadurch gekennzeichnet**, dass, falls beim Lesen einer Spur (3) mittels des Leseelements (17) die Daten eines defekten Bereichs (44) nicht in ausreichender Qualität eingelesen werden können, mittels Informationen aus Verwaltungsdaten oder durch Ähnlichkeitsvergleich geprüft wird, ob ein Spurabschnitt (45) aus mindestens einer Spur (3) in der Nachbarschaft oder aus einem benachbarten Distanzbereich (14) existiert, welcher aufgrund der Über-

breite (18) des Schreibelements (16) mit identischen Daten beschrieben ist, und falls dies zutrifft, die Daten dieses Spurabschnitts (45) zusätzlich oder als Ersatz für die Daten des defekten Bereichs (44) verwendet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Folge eines erkannten Lesefehlers Verwaltungsdaten zur Belegung der Spuren (3) und/oder Spurabschnitte (6) ausgewertet werden, wobei ermittelt wird, ob mindestens ein Spurabschnitt (45) aus einer weiteren Spur (3) oder aus einem Distanzbereich (14) mit identischen Daten belegt ist und wobei, falls dies zutrifft, die Daten des ermittelten Spurabschnitts (45) mittels des Leseelements (17) eingelesen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Folge eines erkannten Lesefehlers mittels des Leseelements (17) die Daten eines zum defekten Bereich (44) korrespondierenden Spurabschnitts (45) von mindestens einer Spur (3) oder einem Distanzbereich (14) aus der Nachbarschaft eingelesen werden und dass diese eingelesenen Daten mit den eingelesenen Daten des defekten Bereichs (44) auf Ähnlichkeit verglichen werden, und falls basierend auf einem Entscheidungskriterium die Ähnlichkeit bejaht wird, die Daten des besagten Spurabschnitts (45) verwendet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass Spuren (3) zu einem Band (21) gruppiert werden, dessen Distanzbereich (14) sich in der Nähe der Mitte des Bandes (21) befindet, und dass die Überlappungen der Datenspuren (20) des Schreibelements (16) innerhalb des Bandes (21) beidseitig, ausgehend von den beiden äußeren Grenzen des Bandes (21), nach innen in Richtung des Distanzbereichs (14) angeordnet werden und beidseitig auf dem Distanzbereich (14) zusammenlaufen, wobei die beiden zum Distanzbereich (14) benachbarten Spuren (3) so beschrieben werden, dass mindestens ein Teil der Überbreite (18) des Schreibelements (16) jeweils auf dem Distanzbereich (14) zu liegen kommt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Austausch eines defekten Bereichs (44) in einem betroffenen Band (21) erfolgt, indem der Distanzbereich (14) des betroffenen Bandes (21) ersatzweise zur Speicherung von Daten verwendet wird und indem stattdessen die Anordnung und Reihenfolge der Überlappungen der Datenspuren (20) innerhalb des betroffenen Bandes (21) so angepasst werden, dass die Überbreite (18) der Datenspuren (20) auf der Spur (3) mit dem defekten Bereich (44) ausläuft.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Schreibelement

(16) und das Leseelements (17) per Shingled Magnetic Recording aufzeichnet respektive liest.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Speichervorrichtung ein Festplattenlaufwerk (1) ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spurabschnitte Sektoren (6) sind und dass der defekte Bereich ein defekter Sektor (44) ist.

9. Speichervorrichtung mit mindestens einer Datenträgeroberfläche (2) konfiguriert für überlappende Datenspuren (20), sowie mit mindestens einem Leseelement (17) und mit mindestens einem Schreibelement (16), wobei die effektive Spurbreite des Schreibelements (16) um eine Überbreite (18) größer ist als die Spurbreite (19) des Leseelements (17) und wobei das Schreibelement (16) und das Leseelement (17) mit einer Steuereinheit (9, 10) verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (10) so konfiguriert ist, dass, falls beim Lesen einer Spur (3) mittels des Leseelements (17) die Daten eines defekten Bereichs (44) nicht in ausreichender Qualität eingelesen werden, mittels Informationen aus Verwaltungsdaten oder durch Ähnlichkeitsvergleich geprüft wird, ob ein Spurabschnitt (45) aus mindestens einer Spur (3) in der Nachbarschaft oder aus einem benachbarten Distanzbereich (14) existiert, welcher aufgrund der Überbreite (18) des Schreibelements (16) mit identischen Daten beschrieben ist und falls dies zutrifft, die Daten dieses Spurabschnitts (45) zusätzlich oder als Ersatz für die Daten des defekten Bereichs (44) verwendet werden.

10. Speichervorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Speichervorrichtung ein Festplattenlaufwerk (1) ist, und dass das Schreibelement (16) und das Leseelements (17) per Shingled Magnetic Recording aufzeichnet respektive liest, und dass die Spuren (3) in Spurabschnitte aufgeteilt sind, wobei ein Spurabschnitt ein Sektor (6) ist und der defekte Bereich ein defekter Sektor (44) ist.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

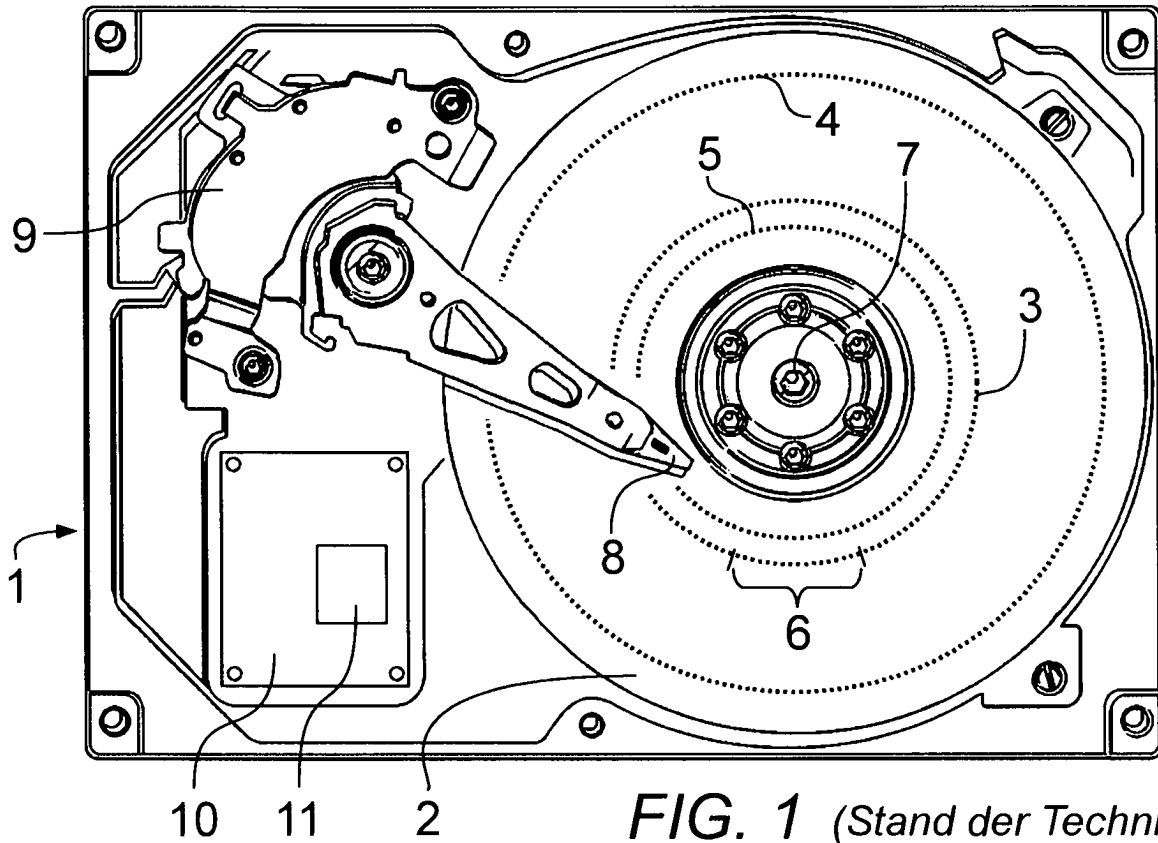


FIG. 1 (Stand der Technik)

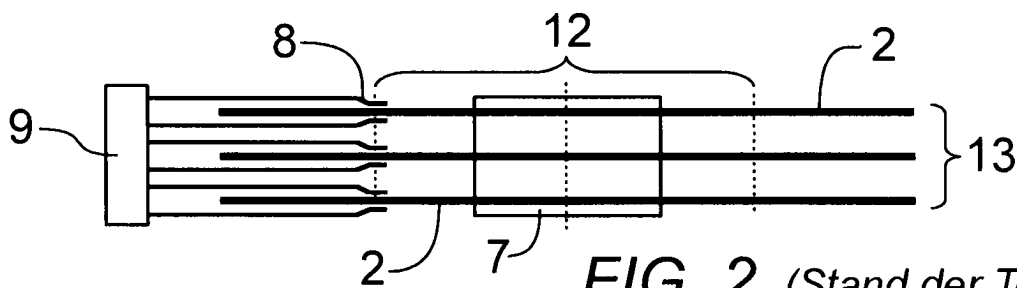


FIG. 2 (Stand der Technik)

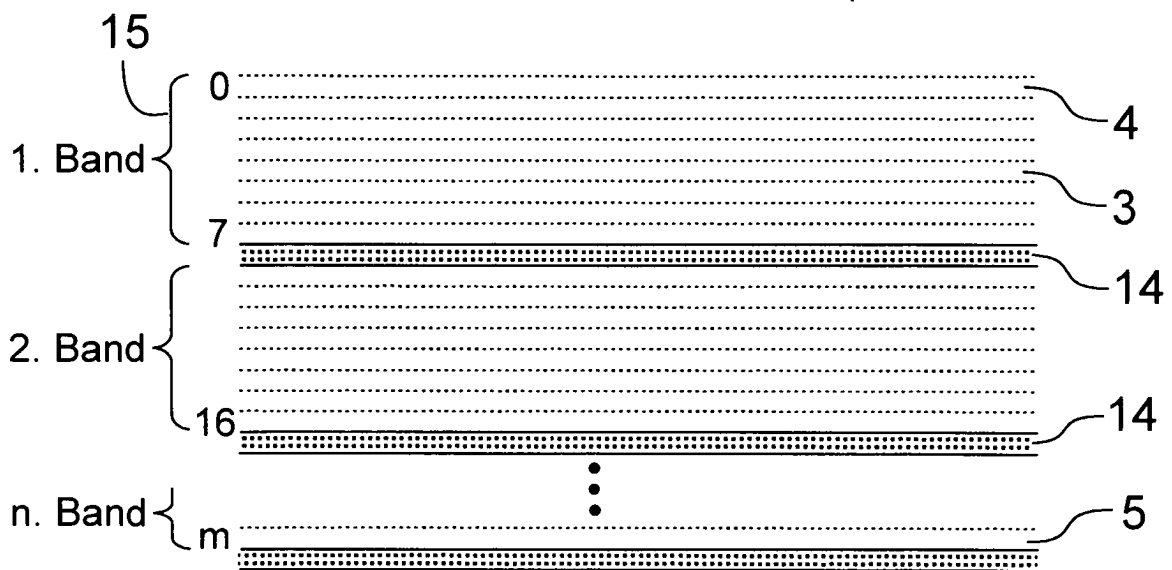


FIG. 3 (Stand der Technik)

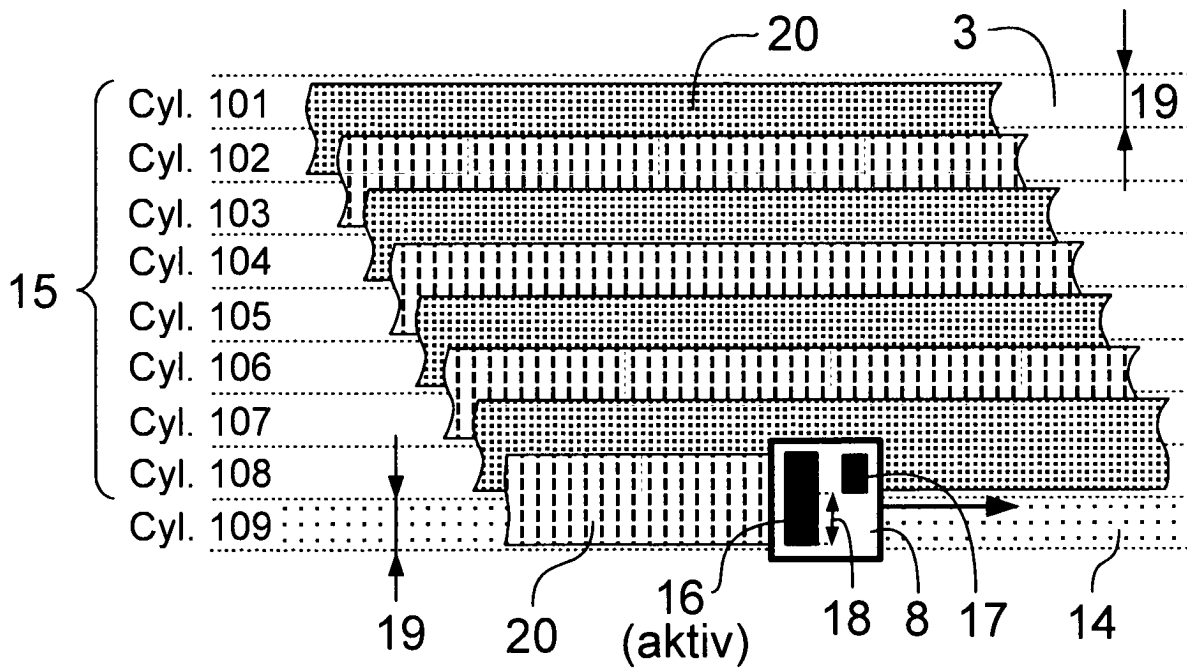


FIG. 4 (Stand der Technik)

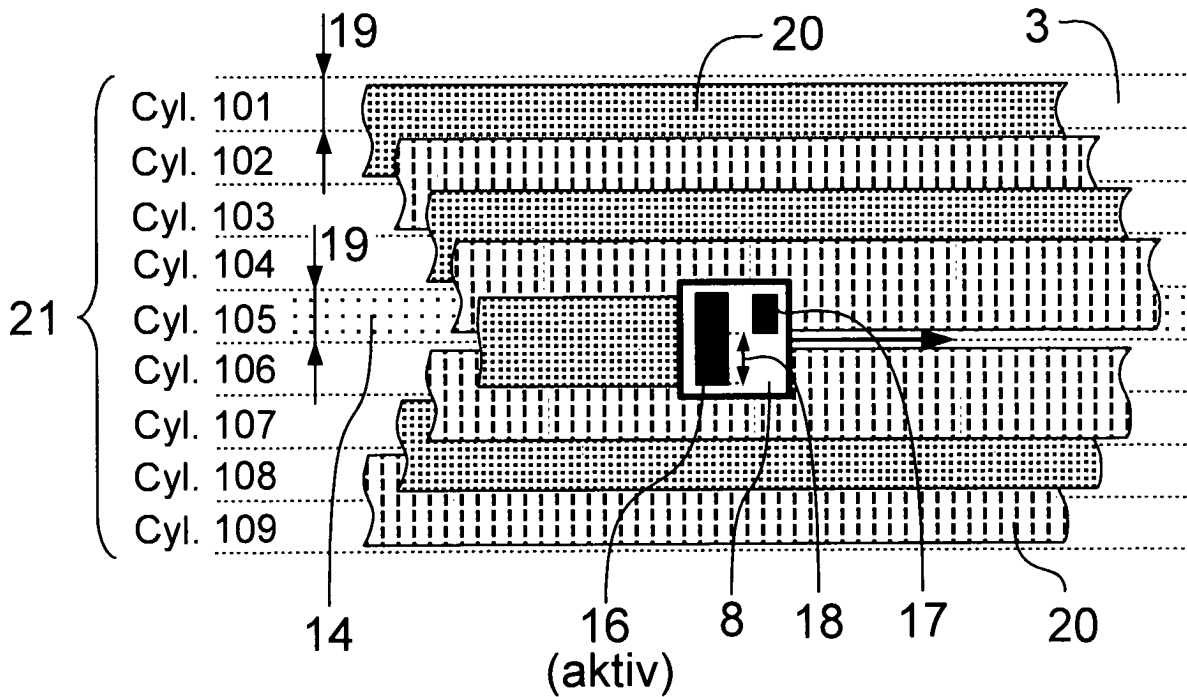


FIG. 5

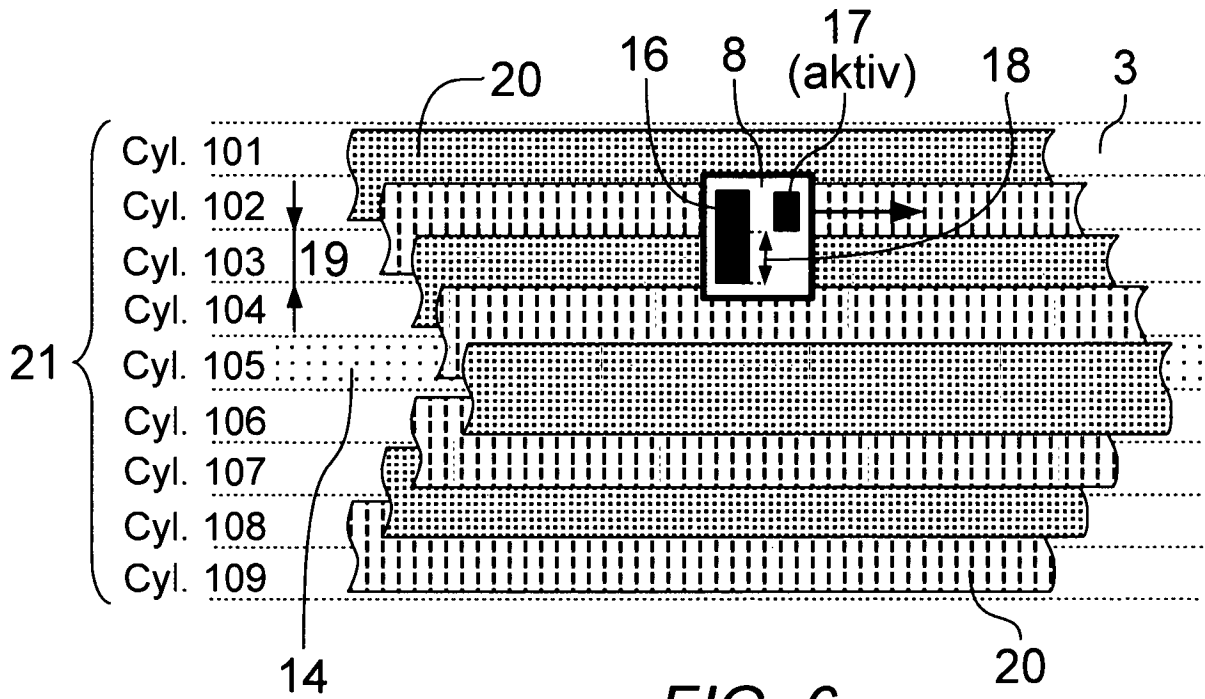


FIG. 6

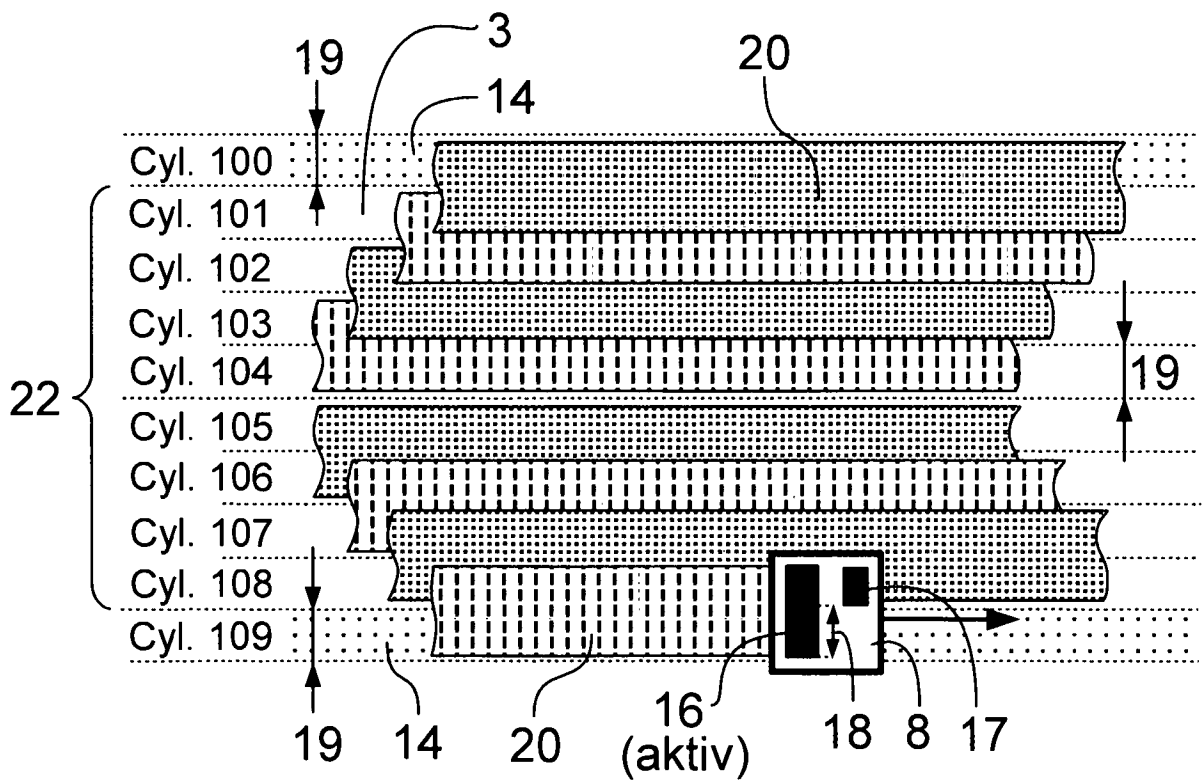


FIG. 7

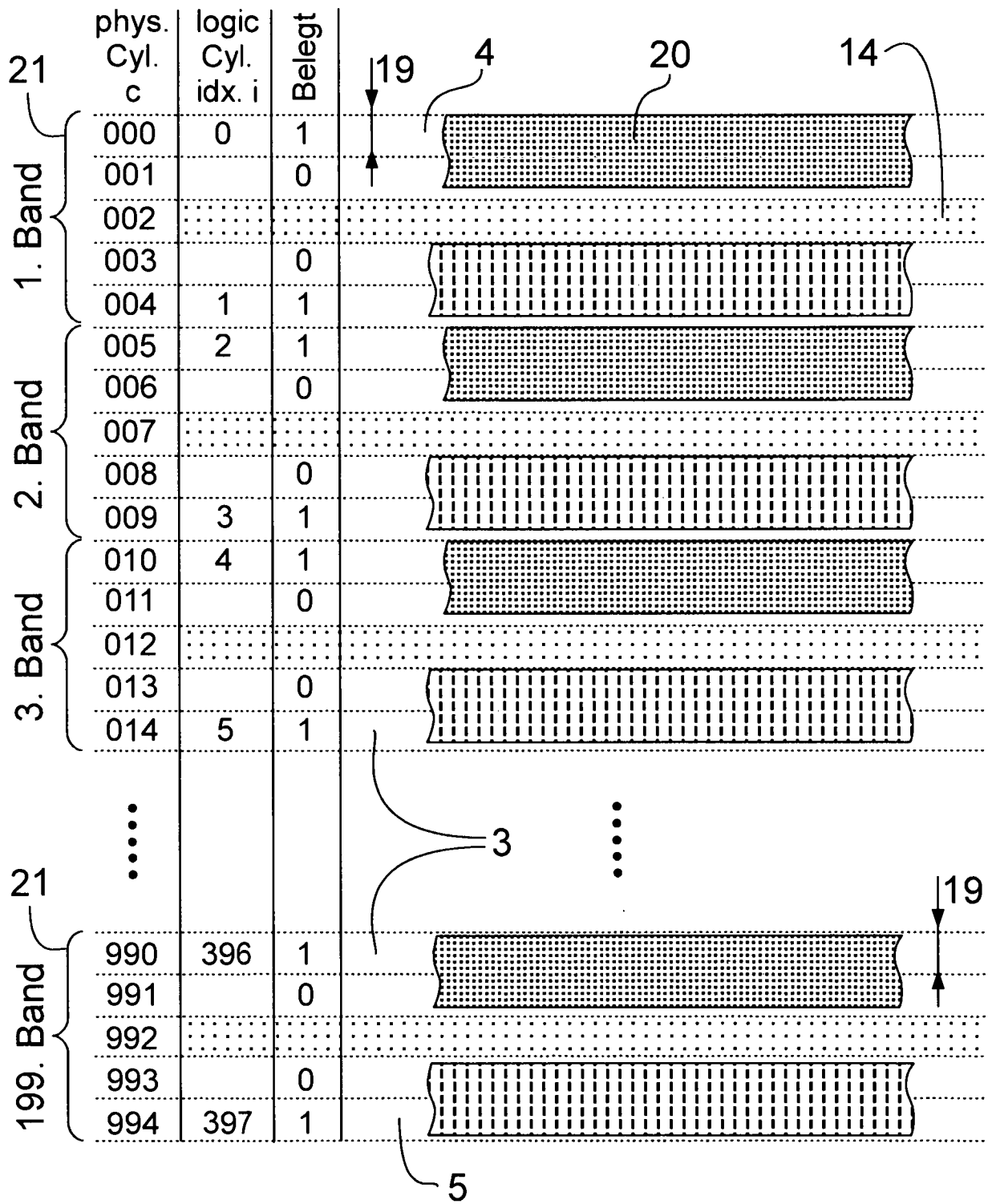


FIG. 8

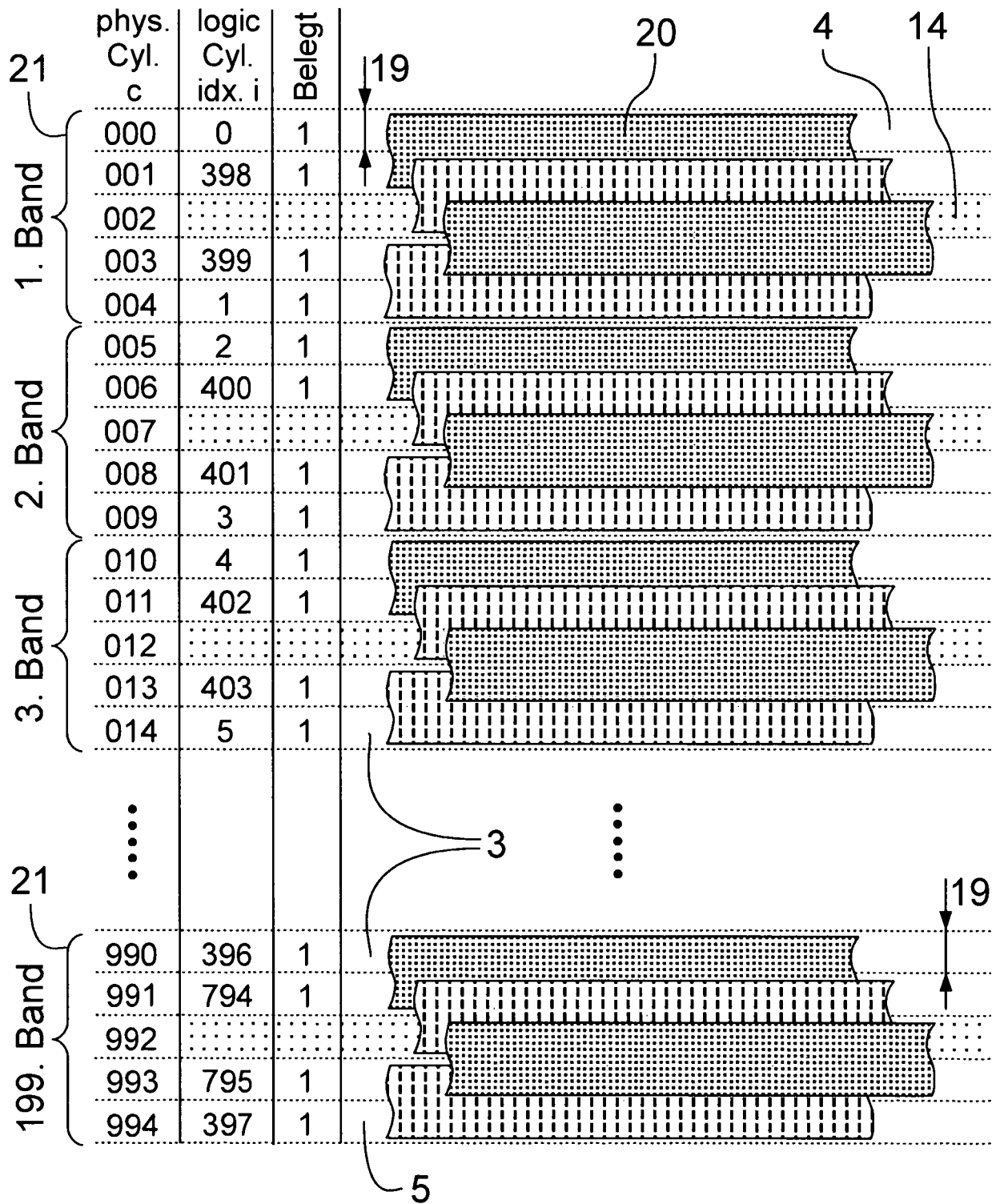


FIG. 9

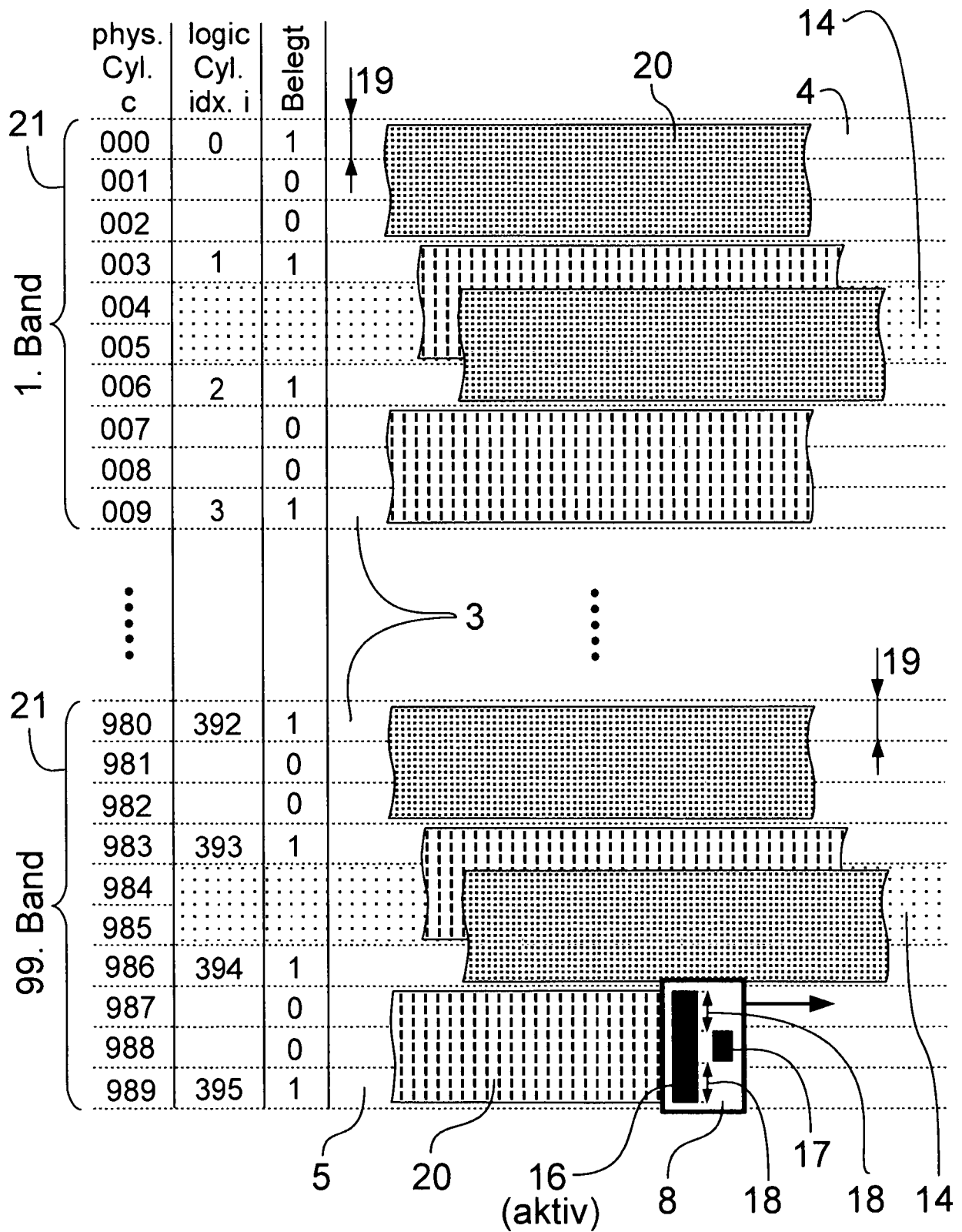


FIG. 10

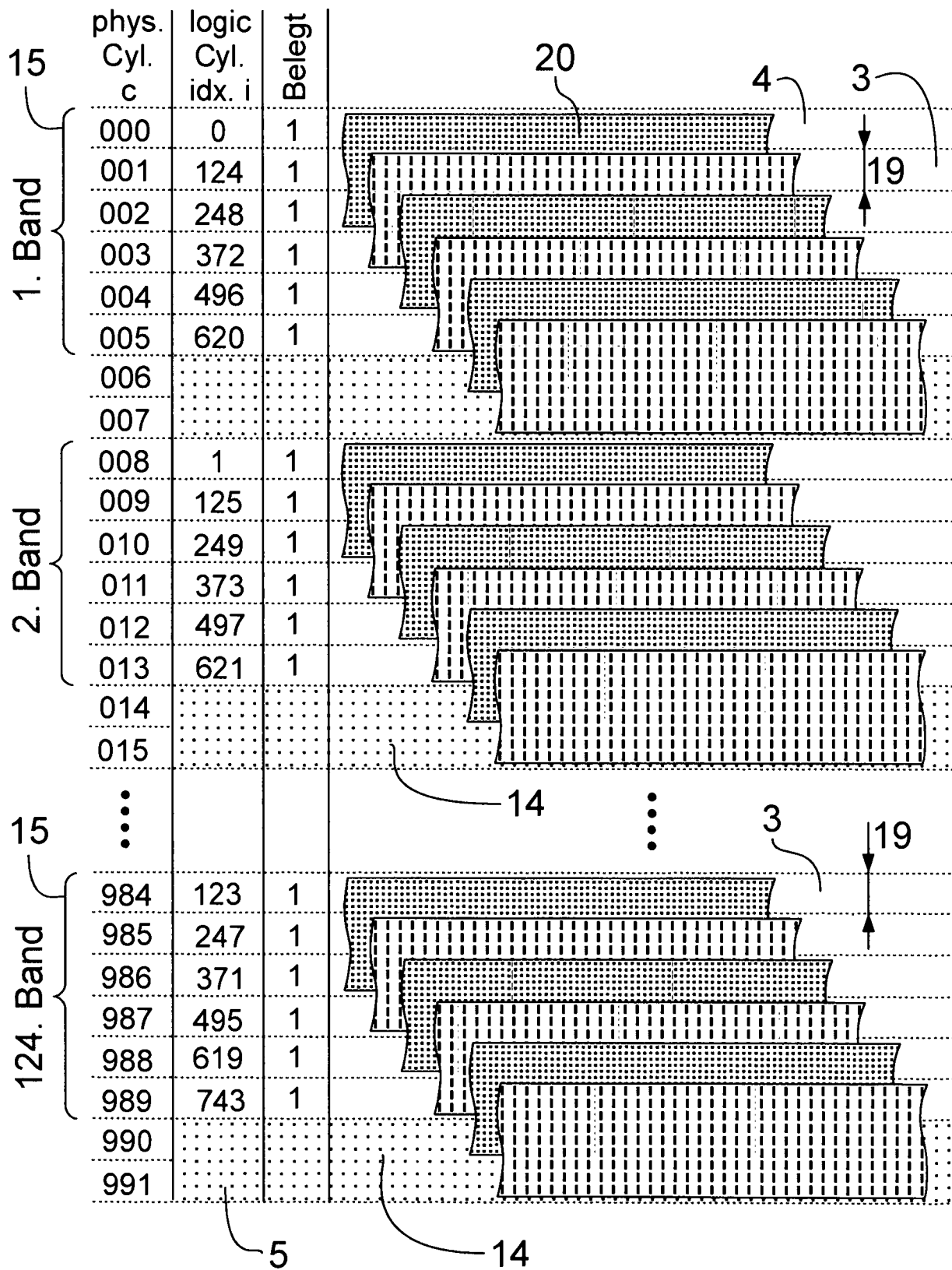


FIG. 11

	phys. Cyl. c	logic Cyl. idx. i	Config. (u, v)	Status	Belegt	
1. Band	000 (0)	0	(0,1)	0	1	
	001 (1)	398	(1,2)	0	0	
	002 (2)			2		
	003 (3)	399	(3,2)	4	0	
2. Band	004 (4)	1	(4,3)	4	1	
	005 (0)	2	(0,1)	0	1	
	006 (1)	400	(1,2)	1	1	
	007 (2)			1		
3. Band	008 (3)	401	(3,2)	4	0	
	009 (4)	3	(4,3)	4	1	
	010 (0)	4	(0,1)	0	1	
	011 (1)	402	(1,2)	0	0	
...	012 (2)			3		
	013 (3)	403	(3,2)	3	1	
	014 (4)	5	(4,3)	4	1	
	...					
199. Band	990 (0)	396	(0,1)	0	1	
	991 (1)	794	(1,2)	1	1	
	992 (2)			3		
	993 (3)	795	(3,2)	3	1	
	994 (4)	397	(4,3)	4	1	

FIG. 12

	phys. Cyl. c	logic Cyl. idx. i	Config. (u, v)	Status	Belegt	
1. Band	000 (0)	0	(0,1)	0	1	
	001 (1)	398	(1,2)	1	1	
	002 (2)			1		
	003 (3)	399	(3,2)	4	0	
2. Band	004 (4)	1	(4,3)	4	1	
	005 (0)	2	(0,1)	0	1	
	006 (1)	400	(1,2)	1	1	
	007 (2)			3		
3. Band	008 (3)	401	(3,2)	3	1	
	009 (4)	3	(4,3)	4	1	
	010 (0)	4	(0,1)	0	1	
	011 (1)	402	(1,2)	0	0	
...	012 (2)			2		
	013 (3)	403	(3,2)	4	0	
	014 (4)	5	(4,3)	4	1	
	...					
199. Band	990 (0)	396	(0,1)	0	1	
	991 (1)	794	(1,2)	1	1	
	992 (2)			3		
	993 (3)	795	(3,2)	3	1	
	994 (4)	397	(4,3)	4	1	

FIG. 13

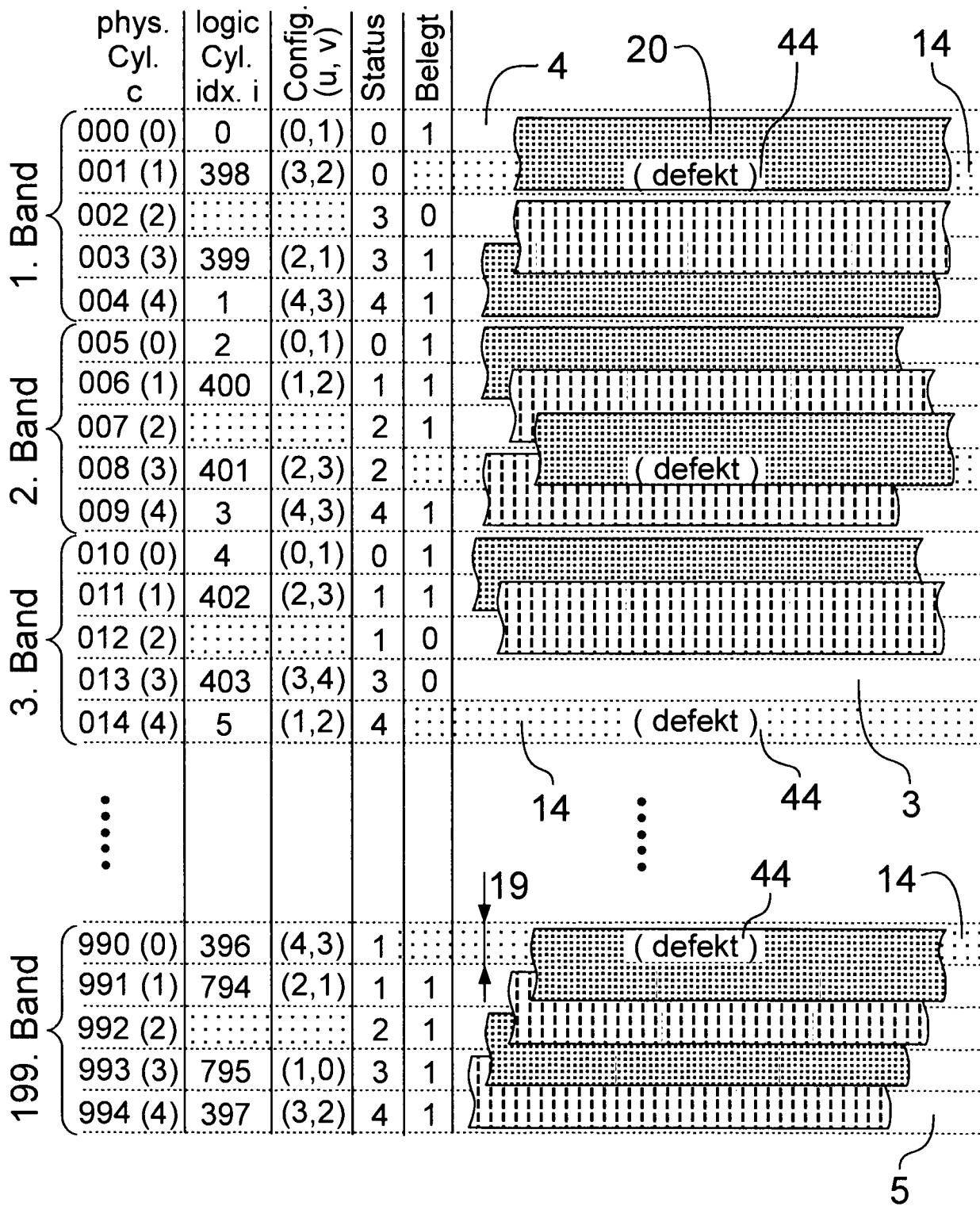


FIG. 14

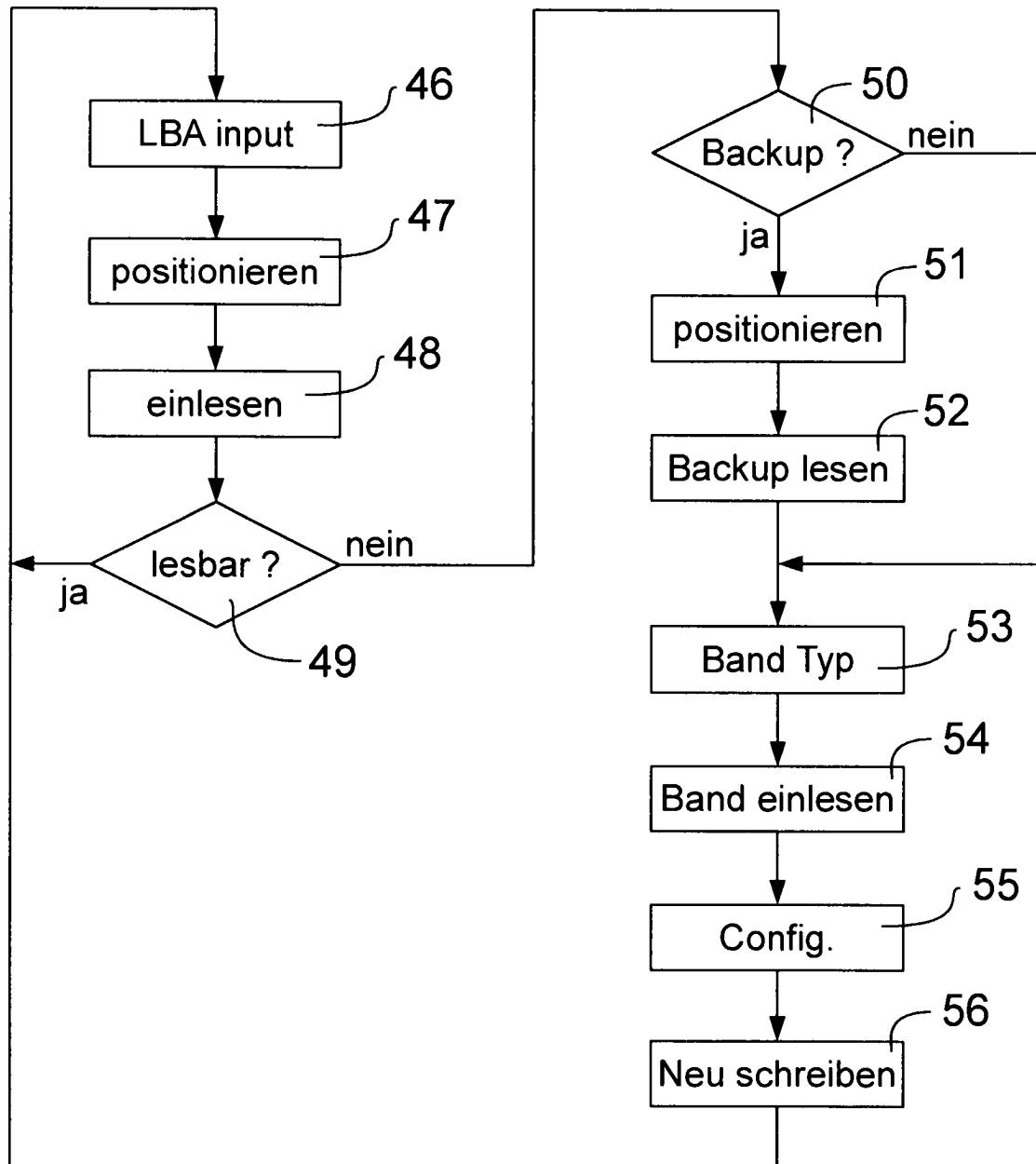


FIG. 15