

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 87111574.7

51 Int. Cl.4: H05H 7/04, H01F 7/20

22 Anmeldetag: 10.08.87

30 Priorität: 28.01.87 DE 3702389

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.08.88 Patentblatt 88/31

84 Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI SE

71 Anmelder: Siemens Aktiengesellschaft Berlin
und München
Wittelsbacherplatz 2
D-8000 München 2(DE)

72 Erfinder: Marsing, Helmut
Lärchenweg 8
D-8524 Neunkirchen(DE)
Erfinder: Jahnke, Andreas, Dr.
Tannenweg 4
D-8550 Forchheim(DE)
Erfinder: Meier, Konrad
Wacholderweg 21
D-8520 Erlangen(DE)

54 **Magneteinrichtung mit gekrümmten Spulenwicklungen.**

57 Eine Magneteinrichtung ist in einem gekrümmten Abschnitt der Bahn elektrisch geladener Teilchen einer Beschleunigeranlage um eine Strahlführungskammer angeordnet. Sie enthält gekrümmte, aus supraleitenden Rechteckleitern aufgebaute Spulenwicklungen, die konvex geformte Außenseiten, konkav geformte Innenseiten sowie Übergangsbereiche an den Wickelköpfen zwischen diesen Seiten aufweisen. Erfindungsgemäß sind die supraleitenden Spulenwicklungen (4a) zumindest mit ihren konvexen Außenseiten (53) und konkaven Innenseiten (54) bildenden Wicklungsteilen (57 bzw. 58) in Nuten entsprechend geformter Spulenkörper der Magneteinrichtung angeordnet, wobei die Nuten zumindest annähernd senkrecht zu der durch die Teilchenbahn festgelegten Ebene (x-y-Ebene) in die Tiefe gehen. Außerdem sind die supraleitenden Spulenwicklungen (4a') im Bereich ihrer Wickelköpfe (55') sattelartig aufgebogen. Mit diesen Maßnahmen läßt sich ein Einfluß unerwünschter Leiterbewegungen auf die Genauigkeit des von den Spulenwicklungen erzeugenden Magnetfeldes zumindest weitgehend ausschließen.

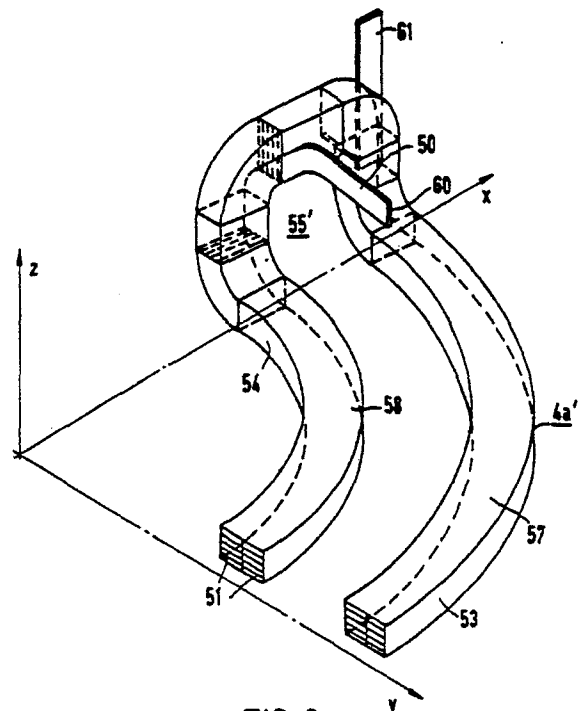


FIG 2

Magneteinrichtung mit gekrümmten Spulenwicklungen

Die Erfindung bezieht sich auf eine Magneteinrichtung in einem gekrümmten Abschnitt der Bahn elektrisch geladener Teilchen einer Beschleunigeranlage, wobei die Magneteinrichtung um eine die Teilchenbahn umgebende Strahlführungskammer angeordnet ist und gekrümmte Spulenwicklungen enthält, die konvex geformte Außenseiten, konkav geformte Innenseiten und Übergangsbereiche an den Wickelköpfen zwischen diesen Seiten aufweisen und aus supraleitenden Rechteckleitern aufgebaut sind. Eine supraleitende Spulenwicklung für eine derartige Magneteinrichtung geht z.B. aus der EP-A-0 190 623 hervor.

Beschleunigeranlagen für geladene Teilchen wie z.B. Elektronen weisen vielfach Speicherringe auf, die wegen ihrer gekrümmten Teilchenbahnen mit entsprechend gekrümmten Dipolmagneten zu versehen sind. Derartige Anlagen können insbesondere auch vom sogenannten Rennbahn-Typ sein. Ihre Teilchenbahn setzt sich dann aus zwei Halbkreisen mit jeweils einem entsprechenden 180°-Ablenkmagneten und aus zwei geraden Bahnabschnitten zusammen (vgl. "Nucl. Instrum. and Meth.", Vol. 177, 1980, Seiten 411 bis 416, oder Vol. 204, 1982, Seiten 1 bis 20). Werden hohe Endenergien angestrebt, können die Magnetfelder derartiger Ablenkmagnete insbesondere mit supraleitenden Spulenwicklungen erzeugt werden.

Auch die aus der DE-OS 35 30 446 bekannte Synchrotronstrahlungsquelle weist einen Elektronenspeicherring vom Rennbahn-Typ auf. Die Synchrotronstrahlung, d.h. die relativistische Strahlungsemission der Elektronen, die nahezu mit Lichtgeschwindigkeit umlaufen und durch Ablenken in einem magnetischen Feld auf der vorgeschriebenen Teilchenbahn gehalten werden, liefert eine Röntgenstrahlung mit paralleler Strahlungsscharakteristik und großer Intensität. Diese Synchrotronstrahlung kann vorteilhaft für eine Röntgenstrahl-Lithographie verwendet werden, welche insbesondere bei einer Herstellung von integrierten Schaltkreisen zur Erzeugung von Mikrostrukturen geeignet ist.

Bei einer Herstellung der für einen Speicherring benötigten gekrümmten Magneteinrichtungen werden hohe Anforderungen an die Maßhaltigkeit ihrer supraleitenden Wicklungen gestellt, um die notwendige Feldhomogenität zu gewährleisten. Entsprechende Wicklungen können beispielsweise aus supraleitenden Rechteckleitern nach einem Verfahren aufgebaut werden, wie es aus der eingangs genannten EP-A zu entnehmen ist. Dementsprechend werden die Leiter um einen zentralen Wickelkern mit konvexer Außenseite und

konkaver Innenseite sowie jeweils dazwischenliegendem Übergangsbereich an einem Wickelkopf gewickelt und fixiert. Es ergibt sich so eine in einer Ebene liegende Wicklung, wobei deren einzelne Windungen in dieser Ebene radial bzgl. des Krümmungsradius der Wicklung nebeneinandergereiht sind. In der Magneteinrichtung werden dann die hergestellten Wicklungen so angeordnet, daß ihre Wickelebenen zumindest weitgehend parallel zu der durch die Teilchenbahn festgelegten Ebene zu liegen kommen.

Bei einem derartigen radialen Aufbau einer gekrümmten supraleitenden Spulenwicklung besteht jedoch die Gefahr, daß bei einem Abkühlen ihrer Supraleiter auf die Betriebstemperatur von beispielsweise 4,2 K Längenänderungen auftreten, die zudem noch wegen der gekrümmten Wickelform an der konvexen Außenseite deutlich von denen an der konkaven Innenseite verschieden sind. Damit kann aber insbesondere an den Wickelköpfen eine gegenseitige Verschiebung der einzelnen Leiter verbunden sein, die zu unerwünschten Feldinhomogenitäten führen.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, die Magneteinrichtung der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, daß die Gefahr solcher Leiterverschiebungen deutlich vermindert ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Maßnahmen gelöst.

Die mit einer entsprechenden Ausgestaltung der Magneteinrichtung verbundenen Vorteile sind insbesondere darin zu sehen, daß durch eine genaue Fertigung und Position der vertikal bezüglich der Teilchenbahnebene ausgedehnten Nutenquerschnitte radiale Bewegungen der supraleitenden Rechteckleiter praktisch auszuschließen sind. An den Wicklungsköpfen lassen sich die Wicklungen sattelartig senkrecht nach oben oder nach unten mit verhältnismäßig kleinem Krümmungsradius aufgebogen ausbilden. Dort sind eventuelle derartige Bewegungen wegen des größeren Abstandes von der Teilchenbahn entsprechend weniger kritisch. Darüber hinaus kann auf die einzelnen Leiterstapel in den Nuten in bekannter Weise eine vertikale Vorspannung ausgeübt werden. Auf diese Weise lassen sich Längenänderungen der Leiter und insbesondere Verschiebungen ihrer Enden weitgehend ausschließen.

Ein Problem bei der Auslegung von Magneteinrichtungen mit hohen Anforderungen an die Feldhomogenität stellt ferner die störungsfreie Lage der Stromzuführungen an den Leiterenden dar. Da der

störende Einfluß mit dem Abstand zur Teilchenbahn abnimmt, können die Zuleitungen die Wicklungen vorteilhaft an den Wickelköpfen verlassen. Auf diese Weise ist der Effekt der Zuleitungen vernachlässigbar, während sich die Krümmung der gesamten Wickelpakete nach oben bzw. unten bei der Feldgestaltung ohne weiteres berücksichtigen läßt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Magneteinrichtung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung Bezug genommen, deren Figur 1 schematisch einen Teil einer Synchrotronstrahlungsquelle mit einer erfindungsgemäß gestalteten Magneteinrichtung zeigt. In den Figuren 2 und 3 sind je eine Ausführungsform einer Teilwicklung für eine derartige Magneteinrichtung schematisch veranschaulicht.

Beim Aufbau der in Figur 1 angedeuteten Strahlungsquelle wird von bekannten Ausführungsformen, insbesondere vom Rennbahntyp, ausgegangen (vgl. z.B. DE-PS 35 11 282, DE-OS 35 30 446 oder die Veröffentlichung des "Institute for Solid State Physics" of the University of Tokyo, Japan, Sept. 1984, Ser. B., No. 21, Seiten 1 bis 29 mit dem Titel: "Superconducting Racetrack Electron Storage Ring and Coexistent Injector Microtron for Synchrotron Radiation"). In der Figur ist ein Querschnitt im Bereich ihrer um 180° gekrümmten Teilchenbahn 2 mit einer entsprechenden erfindungsgemäßen Magneteinrichtung 3 dargestellt. Der Krümmungsradius ist dabei mit R bezeichnet. Diese Magneteinrichtung enthält zu beiden Seiten der durch die Teilchenbahn 2 aufgespannten, in x-y-Richtung eines rechtwinkligen x-y-z-Koordinatensystems liegenden Äquatorialebene E je eine gekrümmte supraleitende Dipolspulenwicklung 4 bzw. 5 und gegebenenfalls noch zusätzliche supraleitende Spulenwicklungen wie z.B. Korrekturspulenwicklungen 6. Die supraleitenden Spulenwicklungen mit konvexer Außenseite, konkaver Innenseite und Wickelköpfen zwischen diesen Seiten werden vorteilhaft in baugleichen oberen und unteren Rahmenstrukturen 7 bzw. 8 gehalten, die in der Äquatorialebene E zusammenzufügen sind und dabei eine die Teilchenbahn 2 umschließende Strahlführungskammer 10 aufnehmen. Innerhalb dieser Kammer 10 ist ein Dipolfeld B hinreichender Qualität ausgebildet. Die Kammer 10 geht radial oder tangential nach außen hin eine äquatoriale, einseitig offene Austrittskammer 12 mit einer Austrittsöffnung oder -mündung 13 für die durch einen Pfeil 14 angedeutete Synchrotronstrahlung über. Die Austrittskammer kann insbesondere schlitzförmig ausgebildet sein, wobei der entsprechende Schlitz den gesamten 180° -Bogen des gekrümmten Teilchenbahnabschnittes ausmachen

kann.

Die einzelnen supraleitenden Dipolspulenwicklungen 4 und 5 befinden sich zumindest mit ihren die konvexe Außenseite und konkave Innenseite festlegenden Wicklungsteilen in azimuth umlaufenden Nuten 20 entsprechend ausgebildeter, einzelner Spulenkörper 15 und 16 aus Metall oder Kunststoff-Verbundwerkstoff. Diese Spulenkörper sind in ein oberes bzw. unteres Rahmenstück 17 bzw. 18 der jeweiligen Rahmenstruktur 7 bzw. 8 eingepaßt und werden senkrecht zur Äquatorialebene x-y-Ebene E mit Schrauben 19 gehalten. Der Wicklungsaufbau kann dabei vorteilhaft von dem jeweiligen Nutengrund des Spulenkörpers in Richtung auf die Äquatorialebene E hin oder auch in umgekehrter Richtung erfolgen. Hierbei sichert je ein abgestuft ausgeführtes Klammerteil 21 bzw. 22 die exakten Abstände und Positionen der jeweiligen Wicklungskanten zur Äquatorialebene einerseits und erhöht andererseits durch einen Formschluß mit den Spulenkörpern 15 bzw. 16 und den Rahmenstücken 17 bzw. 18 die Steifigkeit der gesamten Konstruktion im Hinblick auf radial gerichtete Lorentzkräfte. Die Klammerteile 21 und 22 können außerdem mit Hilfe von Schrauben 23 und 24 die einzelnen Wicklungen verdichten und somit Leiterbewegungen im Betrieb der Magneteinrichtung 3, die zu einem vorzeitigen, unerwünschten Übergang des supraleitenden Materials in den normalleitenden Zustand, d.h. zu einem sogenannten Quenchen der Wicklungen führen können, verhindern. Hierzu dienen insbesondere auch stempelartige Druckleisten 27 am jeweiligen Nutengrund, die über Schrauben 28 gegen die jeweiligen Wicklungsteile zu pressen sind. Auf diese Weise ist die Wicklung innerhalb der Nuten von zwei Seiten vertikal zusammenzupressen. Darüber hinaus können die Wicklungen oder Teile von ihnen gegebenenfalls auch in den Nuten vergossen werden.

Die Rahmenstücke 17 und 18 der Rahmenstrukturen 7 und 8 sind starr mit einem oberen bzw. unteren Plattenelement 31 bzw. 32 verbunden. Es ist so eine sehr genaue Positionierung der einzelnen supraleitenden Spulenwicklungen 4 bis 6 zur Teilchenbahn 2 gewährleistet. Am peripheren Außenrand der Magneteinrichtung 3 im Bereich der schlitzförmigen Austrittsöffnung 13 für die Synchrotronstrahlung 14 sind die oberen und unteren Plattenelemente 31 und 32 der Rahmenstrukturen 7 bzw. 8 gegen ringartige, kraftübertragende Verteilerstücke 34 und 35 verspannt. Zwischen diesen Verteilerstücken hindurch erstreckt sich die schlitzartige Austrittskammer 12 nach außen hin. Dabei ist der gegenseitige Abstand und eine Kraftabstützung zwischen den Verteilerstücken 34 und 35 über mindestens ein Stützelement 40 gewährleistet, das sich radial weiter außen als die Mündung der Austrittsöffnung 13 befindet. Da die

Verteilerstücke 34 und 35 innerhalb eines Kryostaten Teile eines kalten Heliumgehäuses 42 zur Aufnahme von flüssigem Helium zur Kühlung der supraleitenden Spulenwicklungen darstellen, befindet sich auch das zwischen ihnen verlaufende Stützelement 40 etwa auf dieser Temperatur.

Mit den Rahmenstrukturen 7 und 8, den Verteilerstücken 34 und 35 sowie dem mindestens einen Stützelement 40 ist somit eine verhältnismäßig einfache und sichere Abstützung und Halterung der zu beiden Seiten der Äquatorialebene E liegenden supraleitenden Spulenwicklungen zu gewährleisten.

Mit dieser Konstruktion können außerdem vorteilhaft die in der Figur nicht ausgeführten Aufhängungs- und Positionierelemente der Magnetanordnung innerhalb eines ebenfalls nicht dargestellten Vakuumgehäuses des Kryostaten direkt an den Verteilerstücken 34 und 35 und damit in unmittelbarer Nähe zu den supraleitenden Spulenwicklungen 4 bis 6 ansetzen. Dies bringt eine entsprechend hohe Positioniergenauigkeit der Wicklungen hinsichtlich der Teilchenbahn mit sich.

Der auf das Stützelement 40 auftreffende Anteil der Synchrotronstrahlung 14 wird von einem Strahlungsabsorber 46 aufgefangen, der zweckmäßig gekühlt wird. Als bevorzugtes kryogenes Kältemedium ist hierzu flüssiger Stickstoff anzusehen.

Im allgemeinen ist jede der Spulenwicklungen 4 und 5 aus mehreren Teilwicklungen aufgebaut, die sich gegenseitig schalenförmig umschließen. Gemäß dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel stellen drei solcher Teilwicklungen jeweils eine Spulenwicklung dar. Eine dieser Teilwicklungen, die in Figur 1 mit 4a bezeichneten Wicklung der Spulenwicklung 4 weitgehend entspricht, ist in Figur 2 als Schrägansicht näher veranschaulicht. Diese mit 4a' gekennzeichnete Teilwicklung ist aus einem supraleitenden Rechteckleiter 50 erstellt, mit dem sogenannte "Pancakes" 51 aus jeweils zwei in einer Ebene nebeneinander angeordneten Windungen ausgebildet sind. Hierzu wird der Rechteckleiter 50 mit seiner Breitseite in Nuten entsprechend angepaßter radialer Ausdehnung Lage für Lage eingelegt. Das so entstandene Wickelpaket wird dann in den Nuten, welche in der Figur aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt sind, fixiert. Diese Nuten verlaufen dabei in mindestens einem ebenfalls nicht eingezeichneten Spulenkörper derart, daß sich die gekrümmte Form der Teilwicklung 4a' mit einer konvexen Außenseite 53 und einer konkaven Innenseite 54 ergibt. In den beiden Übergangsbereichen zwischen diesen Seiten 53 und 54 sind zwei Wickelköpfe ausgebildet. Von diesen Wickelköpfen ist in der Figur nur einer ausgeführt und mit 55' bezeichnet.

Wie aus Figur 2 deutlich hervorgeht, liegt der

Wickelkopf 55' der Teilwicklung 4a' nicht in einer gemeinsamen Ebene mit den die Seiten 53 und 54 bildenden, gekrümmten Wicklungsteilen 57 und 58. Die für die Wicklungsteile 57 und 58 gemeinsame Ebene liegt dabei parallel zu der durch die x- und y-Koordinaten des x-y-z-Koordinatensystems nach Figur 1 aufgespannten Ebene. Vielmehr ist erfindungsgemäß die Teilwicklung 4a' im Bereich des Wickelkopfes 55' gegenüber dieser gemeinsamen Ebene sattelartig bzw. nach Art eines Bettgestells aufgebogen, d.h. aus dieser Ebene herausgeführt. Insbesondere kann dort die Wicklung soweit aufgebogen sein, daß sie in eine vertikale Ebene zu liegen kommt, die parallel zu der durch die x- und z-Ebene des Koordinatensystems aufgespannten Ebene verläuft. Dabei kann vorteilhaft ein verhältnismäßig kleiner Biege- oder Krümmungsradius vorgesehen werden. Mit diesem Aufbiegen der Teilwicklung 4a' an dem Wickelkopf 55' wird nicht nur der Einfluß von eventuellen Leiterbewegungen auf die Feldhomogenität reduziert; vielmehr wird auch ein störender Einfluß der Leitenden der Wicklung bzw. ihrer Stromzuführungen aufgrund des entsprechend größeren Abstandes zur Teilchenbahn vermindert. In der Figur sind der Wicklungsanfang und das Wicklungsende an dem Wickelkopf 55' mit 60 bzw. 61 bezeichnet.

Bei dem vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiel wurde davon ausgegangen, daß die supraleitenden Spulenwicklungen 4 und 5 nur mit ihren in einer Ebene liegenden Wicklungsteilen 57 und 58 innerhalb von Nuten einzelner Spulenkörper verlaufen, während an den Wickelköpfen 55' keine Nuten vorgesehen sind. Selbstverständlich ist es jedoch auch möglich, für diese Teile der Wicklungen entsprechend geformte Nuten auszubilden, wie sie z.B. für nicht-gekrümmte, sattelartige Magnetspulen an sich bekannt sind (vgl. z.B. die DE-PS 1 514 445).

Außerdem brauchen die beiden gekrümmten Wicklungsteile der Teilwicklung 4a' nicht, wie in Figur 2 angenommen, in einer gemeinsamen Ebene angeordnet sein, die parallel zu der durch die Teilchenbahn festgelegten Ebene verläuft. Wie nämlich bereits aus Figur 1 deutlich hervorgeht, können die beiden gekrümmten Wicklungsteile auch in zwei verschiedene Ebenen mit verschiedenen Abständen zur Teilchenbahnebene zu liegen kommen. Eine entsprechende Ausführungsform der Teilwicklung 4a ist aus Figur 3 ersichtlich, für die eine Figur 2 entsprechende Darstellung gewählt ist.

Dementsprechend enthält die in Figur 3 nur teilweise ausgeführte Teilwicklung 4a einen die konkave Innenseite 54 bildenden, gekrümmten Wicklungsteil 64, der in einer ersten Ebene E1 verläuft. Bei dieser Ebene handelt es sich gemäß der Darstellung der Figur beispielsweise um die x-

y-Ebene eines rechtwinkligen x-y-z-Koordinatensystems. Ein zu diesem Wicklungsteil 64 parallel verlaufender, die konvexe Außenseite 53 der Teilwicklung 4a bildender Wicklungsteil 63 liegt dann in einer parallelen zweiten Ebene E2, die gegenüber der Ebene E1 um eine Distanz d beabstandet ist. Innerhalb der Teilwicklung 4a kann diese Distanz beispielsweise am Wickelkopf 55 dadurch ausgeglichen werden, daß man ein in z-Richtung verlaufendes, gerades Zwischenstück 66 mit entsprechender Ausdehnung zwischen gekrümmten Wicklungsteilen vorsieht. Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Zwischenstück 66 dem inneren Wicklungsteil 64 zum Niveaueausgleich gegenüber dem äußeren Wicklungsteil 63 zuzuordnen. Durch geeignete Wahl unterschiedlicher Abstände des inneren und äußeren Wicklungsteils 64 bzw. 63 gegenüber der Teilchenbahnebene ist es dann gegebenenfalls sogar möglich, daß auf eine besondere Gradientenspule, wie sie z.B. gemäß der DE-OS 35 30 446 vorgesehen ist, verzichtet werden kann.

Die erfindungsgemäße Magneteinrichtung kann zwar vorteilhaft gemäß dem in Figur 1 angedeuteten Ausführungsbeispiel für eine Synchrotronstrahlungsquelle mit radialer Austrittsöffnung für die Synchrotronstrahlung konzipiert werden. Die erfindungsgemäßen Maßnahmen lassen sich jedoch ebenso gut auch für andere Typen von Beschleunigeranlagen mit gekrümmten Bahnen ihre elektrisch geladenen Teilchen einsetzen.

Ansprüche

1. Magneteinrichtung in einem gekrümmten Abschnitt der Bahn elektrisch geladener Teilchen einer Beschleunigeranlage, wobei die Magneteinrichtung um eine die Teilchenbahn umgebende Strahlführungskammer angeordnet ist und gekrümmte Spulenwicklungen enthält, welche konvex geformte Außenseiten, konkav geformte Innenseiten sowie Übergangsbereiche an den Wickelköpfen zwischen diesen Seiten aufweisen und aus supraleitenden Rechteckleitern aufgebaut sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die supraleitenden Spulenwicklungen (4, 5) zumindest mit ihren die konvexen Außenseiten (53) und konkaven Innenseiten (54) bildenden Wicklungsteilen (57 bzw. 58; 63 bzw. 64) in Nuten entsprechend geformter Spulenkörper (15, 16) der Magneteinrichtung (3) angeordnet sind, wobei die Nuten zumindest annähernd senkrecht zu der durch die Teilchenbahn (2) festgelegten Ebene (E) in die Tiefe gehen, und daß die supraleitenden Spulenwicklungen (4, 4a, 4a', 5) im Bereich ihrer Wickelköpfe (55, 55') sattelartig aufgebogen sind.

2. Magneteinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Nuten (20) in den Spulenkörpern (15, 16) auch die Bereiche der Wickelköpfe (55, 55') mit erfassen.

3. Magneteinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Spulenkörper (15, 16) in mindestens einer Rahmenstruktur (7, 8) der Magneteinrichtung (3) starr befestigt sind.

4. Magneteinrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei zumindest weitgehend baugleiche Rahmenstrukturen (7, 8) vorgesehen sind, die in der Teilchenbahnebene (E) zusammenzufügen sind.

5. Magneteinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß Vorrichtungen zur mechanischen Fixierung der Spulenwicklungen (4, 5) in den Nuten (20) vorgesehen sind.

6. Magneteinrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß am Nutengrund jeder Nut (20) mindestens eine Druckleiste (27) angeordnet ist, mit welcher die jeweilige Spulenwicklung (4, 5) gegen mindestens ein die Nutenöffnung verschließendes Abschlußteil (Klammerteil 21) zu pressen ist.

7. Magneteinrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest Teile der Spulenwicklungen (4, 5) in den Nuten (20) vergossen sind.

8. Magneteinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die radiale Ausdehnung der Nuten (20) an die Breite der Rechteckleiter (50) angepaßt ist.

9. Magneteinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rechteckleiter (50) in den Nuten (20) mit ihrer Breitseite dem Nutengrund zugewandt stapelartig übereinander angeordnet sind.

10. Magneteinrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß je zwei nebeneinanderliegende Teile (51) des Rechteckleiters (50) eine Lage des Leiterstapels in den Nuten (20) bilden.

11. Magneteinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Wicklungsanfang (60) und das Wicklungsende (61) jeder Spulenwicklung (4, 5) in den Bereich ihres Wickelkopfes (55, 55') gelegt sind.

12. Magneteinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die die konvexen Außenseiten (53) bildenden Wicklungsteile (63) gegenüber den die konkaven Innenseiten (54) bildenden Wicklungsteilen (64) unterschiedliche Abstände zu der Teilchenbahnebene (E) haben.

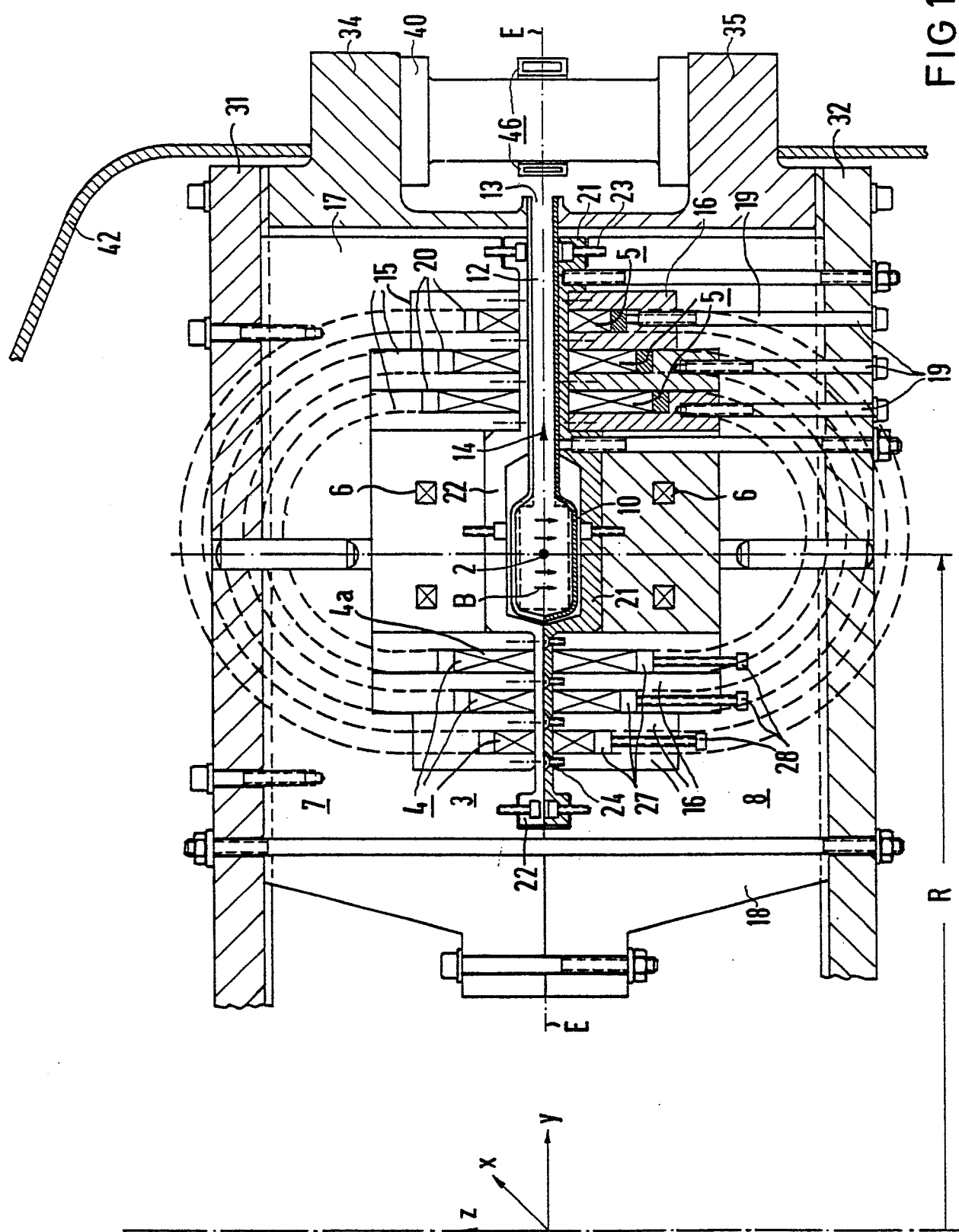


FIG 1

Figure 1 consists of a 4x4 grid of 16 small plots. Each plot shows a spatial distribution of the number of eggs per plant. The plots are arranged in a 4x4 grid, with each plot showing a different spatial pattern of egg counts across a grid of plants. The plots are arranged in a 4x4 grid, with each plot showing a different spatial pattern of egg counts across a grid of plants.

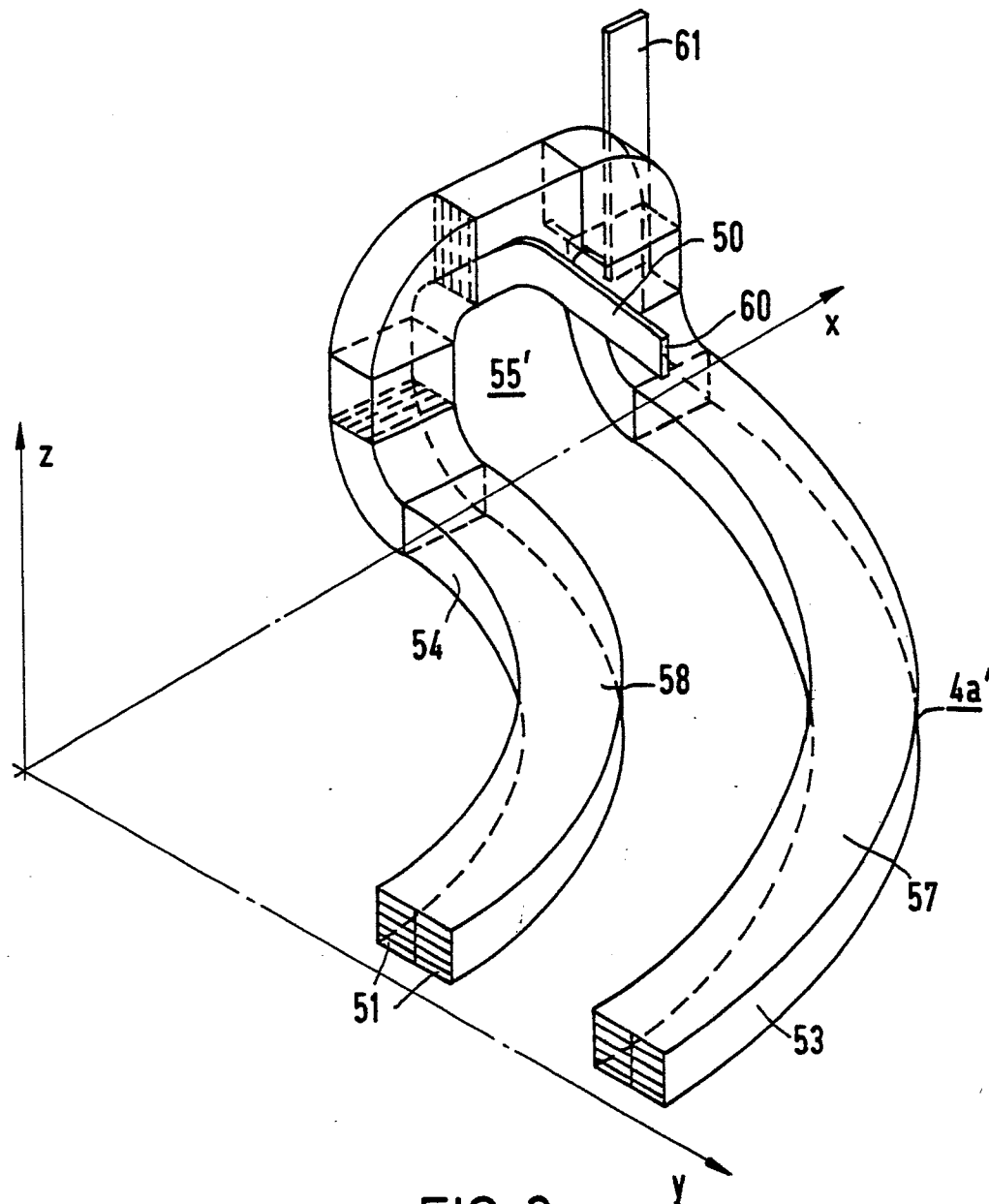


FIG 2

