

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 79105292.1

51 Int. Cl.³: **H 01 F 7/22**

22 Anmeldetag: 20.12.79

30 Priorität: 15.01.79 DE 2901333

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.07.80 Patentblatt 80/15

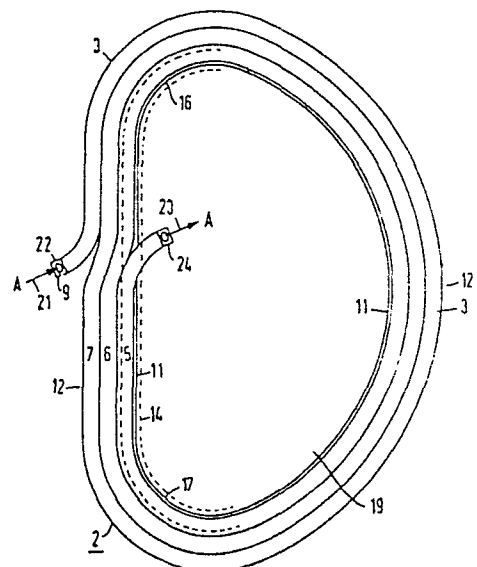
64 Benannte Vertragsstaaten:
CH FR GB SE

71 Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** Berlin
und München
Postfach 22 02 61
D-8000 München 22(DE)

72 Erfinder: **Hieronymus, Hans**
Bunsenstrasse 60
D-8520 Erlangen(DE)

54 **Anordnung zur Kühlung einer supraleitenden Magnetspulenwicklung.**

57 Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur forcierten Kühlung einer Magnetspulenwicklung mit Kühlmittelanschlußstellen zur Einspeisung und Ausleitung eines Kühlmittels in die bzw. aus der Wicklung, deren supraleitende Leiter durch Stromdichte I , Feldstärke H und Temperatur T festgelegte Arbeitspunkte haben, die von dem jeweils nächstliegenden Sprungpunkt des supraleitenden Materials verschieden weit entfernt sind. Bei diesen bekannten Kühlanordnungen wird jedoch eine Ausbreitung einer von einem kritischen Leiterbereich ausgehenden normalleitenden Zone durch das Kühlmittel noch unterstützt, da bisher das Kühlmittel immer an diesem kritischen Leiterbereich in die Wicklung eingespeist wurde. Die Erfindung sieht deshalb vor, daß an der Kühlmittelanschlußstelle (24) mit der geringsten Entfernung zu dem Leiterbereich (14) der Wicklung (2), dessen Arbeitspunkt einem Sprungpunkt am nächsten liegt, eine Ausleitung des Kühlmittels (A) aus der Wicklung (2) vorgesehen ist. Die Supraleiter können insbesondere als Hohlleiter gestaltet sein. Derartige Kühlanordnungen können insbesondere für supraleitende Großmagnete mit beispielsweise D-förmiger Gestalt vorgesehen werden (Einzige Figur).



SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Berlin und München

Unser Zeichen
VPA 79 P 7 5 0 1 EUR

5 Anordnung zur Kühlung einer supraleitenden Magnet-
spulenwicklung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur
Kühlung einer Magnetspulenwicklung, die mittels einer
10 forcierten Strömung eines an mindestens einer Kühl-
mittelanschlußstelle in die Wicklung eingespeisten
und an mindestens einer weiteren Kühlmittelanschluß-
stelle aus der Wicklung wieder abgeleiteten Kühlmittels
gekühlte Leiter aus supraleitendem Material enthält,
15 die in Leiterbereiche unterteilt sind, deren durch
die Stromdichte I , Feldstärke H und Temperatur T
festgelegten Arbeitspunkte von dem in einem I-H-T-Raum
jeweils nächstliegenden, durch die kritische Strom-
dichte I_c , kritische Feldstärke H_c und kritische
20 Temperatur T_c festgelegten Sprungpunkt des supralei-
tenden Materials vom supraleitenden in den normalei-
tenden Zustand verschieden weit entfernt sind.

Zur Erzeugung starker Magnetfelder mit großer räumlicher Ausdehnung können vorteilhaft Magnetwicklungen mit Supraleitern verwendet werden. Als Leitermaterialien kommen hierfür z.B. Niob-

5 Zirkon- oder Niob-Titan-Legierungen sowie Niob-Zinn-Verbindungen in Frage. Leiter aus diesen Supraleitermaterialien sind im allgemeinen mit normalleitendem Material stabilisiert, beispielsweise in eine Matrix aus diesem Material eingebettet. Mit dieser Maßnahme

10 soll eine Zerstörung der Supraleiter im Falle eines unkontrollierten Übergangs seiner aus dem Supraleitermaterial bestehenden Teile vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand verhindert werden.

15 Zur Kühlung von supraleitenden Großmagneten wird vielfach eine sogenannte "forcierte" Kühlung vorgesehen (vgl. CERN-Report 68-17, Nuclear Physics Division, Genf, 13. Mai 1968). Bei dieser Kühltechnik wird ständig ein Kühlmittel, beispielsweise flüssiges

20 Helium, durch diskrete Kühlkanäle hindurchgepumpt, die in der Wicklung ausgebildet sind. Als Kühlkanäle können insbesondere entsprechende Hohlräume in den supraleitenden Leitern selbst vorgesehen sein. Solche Leiter werden deshalb allgemein als Hohlleiter be-

25 zeichnet. Bei dieser Kühltechnik kann ein zur Kühlung der Wicklung der Magnetspule erforderlicher Heliumbad-Kryostat entfallen und durch eine einfache, die Wicklung umschließende Vakuumkammer ersetzt werden, die lediglich zur thermischen Isolation der Wicklung

30 nach außen dient. Ferner kann bei einer Magnetwicklung mit Hohlleitern oder entsprechenden, zwischen benachbarten Leitern geführten Kühlkanälen die zur Kühlung der Wicklung erforderliche Menge an flüssigem Kühlmittel gegenüber einem etwa gleich großen

35 Magneten mit Kühlmittelbadkühlung erheblich verringert

- werden. Dies ist insbesondere im Falle eines Übergangs der Wicklung vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand von Vorteil, weil dann nur verhältnismäßig wenig flüssiges Kühlmittel verdampfen kann. Außer-
- 5 dem können Magnetwicklungen mit Hohlleitern im Gegensatz zu den meisten Wicklungen mit Badkühlung beliebig im Raum orientiert werden. Auch Lageänderungen während des Betriebs sind dann möglich.
- 10 Die Betriebswerte für die Leiter einer solchen Magnet-
spulenwicklung sind während eines ungestörten Betriebs innerhalb der Wicklung verschieden. Dies bedeutet, daß die Wicklung Leiterbereiche hat, deren Betriebs-
- 15 werte in Bezug auf die supraleitenden Eigenschaften des Leitermaterials kritischer sind als die Werte benachbarter Leiterbereiche. Der durch die Betriebs-
- werte festgelegte Arbeitspunkt eines solchen kritischen Leiterbereichs liegt somit näher bei dem nächstge-
- 20 legenen, durch die kritischen Werte des supraleitenden Materials der Leiter festgelegten Sprungpunkt vom supra-
- leitenden in den normalleitenden Zustand als vergleichs-
- weise die Arbeitspunkte anderer Leiterbereiche. Dieser Sprungpunkt ist hauptsächlich durch die kritische
- 25 Stromdichte I_c , die kritische Feldstärke H_c bzw. die kritische magnetische Induktion B_c und die kritische Temperatur T_c des Leitermaterials festgelegt und
- liegt auf einer dreidimensionalen Fläche im I-H-T-Raum, welche die Kombinationen von I-H-T, bei denen der supraleitende Zustand vorhanden ist, von denjenigen
- 30 trennt, bei denen nur Normalleitung herrscht (Proc. IEE, IEE Reviews, Vol. 119, No. 8R, Aug. 1972, Seite 1007). Befindet sich also beispielsweise ein Leiterbereich in einer Zone besonders hoher magnetischer Feldstärke, die größer als die Feldstärke

- 4 - VPA 79 P 7 5 0 1 EUR

in benachbarten Leiterbereichen ist, so liegen die Betriebswerte dieses Leiterbereichs näher bei dem zuzuordnenden Sprungpunkt als in den benachbarten Leiterbereichen, falls die Temperatur- und Strom-
5 dichteverhältnisse in den miteinander verglichenen Leiterbereichen zumindest annähernd gleich sind.

Ein unbeabsichtigter Übergang einer supraleitenden Magnetwicklung in den normalleitenden Zustand, der
10 auch als "Quench" bezeichnet wird, geht vielfach von einem solchen kritischen Leiterbereich der Wicklung aus, der besonders extremen Bedingungen ausgesetzt ist, zum Beispiel besonders hoher magnetischer Feldstärke oder besonders großer Wärmeeinwirkung. Um
15 zu verhindern, daß durch Wärmeleitung sich die normalleitende Zone im Falle eines solchen Quenches verhältnismäßig schnell über die ganze Spule ausbreiten kann und somit entsprechend viel Energie aus dem Magneten ausgekoppelt werden muß, ist man im allge-
20 meinen bestrebt, eine besonders gute Kühlung dieser kritischen Bereiche zu erhalten. Dies wurde bisher dadurch zu gewährleisten versucht, daß man zumindest in der Nähe dieser kritischen Bereiche das Kühlmittel in den Magneten einleitete, da es dann noch am
25 kältesten ist und somit die meiste Wärme abführen kann. Wird jedoch die Wicklung an diesem kritischen Leiterbereich normalleitend, z.B. wegen der dort herrschenden besonders hohen Feldstärke, so wird die durch den fließenden elektrischen Strom entstehende
30 erhöhte Temperatur nicht nur aufgrund von Wärmeleitung längs und quer zum Leiter an benachbarte Leiterbereiche weitergegeben, sondern auch durch das aufgeheizte Kühlmittel in diese Leiterbereiche transportiert.

- 5 - VPA 79 P 7 5 0 1 EUR

Die Erfindung beruht somit auf der Erkenntnis, daß die bekannten Anordnungen zur forcierten Kühlung von supraleitenden Magnetwicklungen eine Ausbreitung der normalleitenden Zone durch das Kühlmittel noch
5 unterstützen. Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, eine Anordnung zur Kühlung einer supraleitenden Magnetwicklung zu schaffen, bei der diese Gefahr nicht besteht.

10 Diese Aufgabe wird für eine Kühlanordnung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß an der Kühlmittelanschlußstelle mit der vergleichs-
weise geringsten Entfernung zu dem Leiterbereich der Wicklung, dessen Arbeitspunkt einem Sprung-
15 punkt des supraleitenden Materials im I-H-T-Raum vergleichsweise am nächsten liegt, eine Ausleitung des Kühlmittels aus der Wicklung vorgesehen ist.

Unter einer Ausleitung des Kühlmittels aus der Wicklung
20 ist dabei zu verstehen, daß das Kühlmittel in der Nähe dieser kritischsten Stelle der Wicklung entnommen wird und zu keiner weiteren Kühlung von Leitern der Wicklung dient. Beispielsweise kann das Kühlmittel dann direkt einer Kühlmittelversorgungseinheit zuge-
25 leitet werden. Die Lage und Anzahl der Kühlmittelanschlußstellen der Wicklung sind dabei im allgemeinen aus konstruktionsbedingten Gründen vorgegeben.

Bei dieser Kühlanordnung ist gewährleistet, daß das
30 Kühlmittel zu der Stelle hinströmen muß, die erfahrungsgemäß zuerst vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand übergeht, und von dieser Stelle aus höchstens nur noch einen verhältnismäßig kleinen Weg durch die Wicklung nimmt, bevor es aus
35 dieser ausgeleitet wird. Auf diese Weise wird eine

Weiterleitung der an dieser kritischen Stelle auf
das Kühlmittel übertragene Wärme an benachbarte
Wicklungsteile weitgehend vermieden. Diese Vorteile
dieser Maßnahmen liegen somit darin, daß sich ein
5 Quench infolgedessen wesentlich langsamer oder
überhaupt nicht weiter in der Wicklung ausbreitet.

Bei einer scheibenförmigen Magnetspulenwicklung mit
beispielsweise D-förmiger Gestalt, deren Leiter im
10 ungestörten Betriebszustand in allen Leiterbereichen
zumindest annähernd gleiche Stromdichte I und etwa
gleiche Temperatur T haben, wird vorteilhaft eine
Ausleitung des Kühlmittels an einer an der Innenseite
der Wicklung vorgesehenen Kühlmittelanschlußstelle
15 vorgenommen, da im allgemeinen dort die Leiterbe-
reiche mit der höchsten Magnetfeldstärke H bzw.
magnetischen Induktion B liegen.

Weitere Ausbildungen der Erfindung sind in den übrigen
20 Unteransprüchen gekennzeichnet.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird
auf die Zeichnung Bezug genommen, in deren
Figur eine Magnetspulenwicklung mit einer Anordnung
25 zur Kühlung gemäß der Erfindung schematisch veran-
schaulicht ist.

Die in der Figur nur angedeutete, im Querschnitt
scheibenförmige Spulenwicklung 2 hat eine etwa
30 D-förmige Gestalt. Eine Vielzahl solcher Spulen
können zu einem toroidalen Magnetsystem vereinigt
werden, wie es beispielsweise für Tokamak-Fusions-
reaktoren vorgesehen ist (vgl. zum Beispiel "Rev.
Mod.Phys.", Vol. 47, Nr. 1, Januar 1975, Seiten 15
35 bis 21). Die Spule ist aus einem supraleitenden Hohl-

- 7 - VPA 79 P 7 5 0 1 EUR

leiter 3 gewickelt, dessen supraleitendes Material, beispielsweise Niob-Titan oder Nb_3Sn , mit normalleitendem Material stabilisiert ist. Entsprechende Leiter sind zum Beispiel aus den deutschen Offenlegungsschriften 26 26 914 und 26 02 735 bekannt. In der Figur ist der Übersichtlichkeit wegen auf eine Darstellung der erforderlichen elektrischen und thermischen Isolationseinrichtungen der Spule verzichtet und sind nur drei Windungen 5 bis 7 einer einzigen Wicklungslage aus dem supraleitenden Hohlleiter 3 übertrieben groß veranschaulicht. Die Spule kann auch aus mehreren solcher Wicklungslagen aufgebaut sein. Sie ist ferner gegen eine irreversible Schädigung im Falle eines Normalleitend-Werdens geschützt. Eine entsprechende, in der Figur nicht ausgeführte Maßnahme besteht darin, die Feldenergie in einen außerhalb der Wicklung liegenden ohmschen Widerstand auszukoppeln, in dem dann die Energie verbraucht wird (vgl. "Cryogenics", Juni 1964, Seiten 153 bis 165).

Zur Kühlung der Spulenwicklung 2 ist eine forcierte Strömung eines Kühlmittels A, beispielsweise flüssigen Heliums, vorgesehen, das hierzu durch mindestens einen Hohlraum 9 im Inneren des supraleitenden Hohlleiters 3 gepumpt wird.

Im Betriebszustand sind bei solchen Spulenwicklungen im allgemeinen die an der Innenseite 11 verlaufenden Leiter größeren Magnetfeldstärken ausgesetzt als die Leiter auf der Außenseite 12 der Wicklung. Unter der Annahme, daß die Wärmeeinleitung von außen auf die Spulenwicklung 2 und die Stromdichte an jeder Stelle der Spule in dem Hohlleiter 3 annähernd gleich sind, haben die an der Innenseite 11 der Wicklung 2 ange-

ordneten Leiter 5 Betriebswerte ihres supraleitenden Materials, die dem aus den drei genannten kritischen Größen festgelegten Sprungpunkt des supraleitenden Materials am nächsten kommen. In der Figur ist ein
5 entsprechender Leiterbereich durch eine gestrichelte Linie begrenzt und mit 14 bezeichnet, wobei zusätzlich berücksichtigt ist, daß dieser Leiterbereich insbesondere auch die Stellen 16 und 17 der Magnetwicklung umfaßt, die bei der D-förmigen Gestalt
10 der Wicklung einen besonders kleinen Krümmungsradius haben. Erfindungsgemäß neigen die Leiter 5 der Spule 2 in diesem Bereich 14 am ehesten zum Quenchen. Gemäß der Erfindung ist deshalb vorgesehen, daß in diesem Bereich 14 das durch den Leiter 5 fließende Kühlmittel
15 aus der Spulenwicklung herausgeführt wird, d.h., daß eine weitere Kühlung von Leitern der Wicklung mit diesem Kühlmittel dann nicht mehr vorgesehen ist. Um eine entsprechende Kühlmittelströmung zu gewährleisten, ist zur Herstellung der Spulenwicklung
20 gemäß dem Ausführungsbeispiel der Leiter 3 um einen zentralen, D-förmigen Wickelkern 19 von innen nach außen gewickelt worden und wird zum Betrieb der fertig erstellten Spule das Kühlmittel A, wie durch einen Pfeil 21 dargestellt ist, an dem außenliegenden
25 Ende 22 der Wicklung in diese eingespeist. Nachdem das Kühlmittel den Hohlleiter von außen nach innen durchströmt hat, wird es, wie durch einen Pfeil 23 ebenfalls angedeutet ist, an einer Austrittsstelle 24 am geraden Teil der Innenseite der Spule 2 wieder
30 ausgeleitet. Es läßt sich auf diese Weise verhindern, daß ein sich im Bereich 14 der Wicklung ausbildender Quench durch das sich dabei erwärmende Kühlmittel in benachbarte Bereiche der Wicklung übertragen wird.

- 9 - VPA 79 P 7 5 0 1 EUR

Im Ausführungsbeispiel nach der Figur wurde angenommen, daß die forcierte Kühlung der Leiter durch Strömungen eines Kühlmittels durch Hohlräume in diesen Leitern erfolgt. Es kann jedoch ebensogut eine entsprechende
5 Strömung auf der Außenseite der Leiter, beispielsweise durch entsprechende Längskanäle an den Leitern oder in Isolationsteilen zwischen benachbarten Leitern, vorgesehen werden.

4 Patentansprüche

1 Figur

Patentansprüche

1. Anordnung zur Kühlung einer Magnetspulenwicklung, welche mittels einer forcierten Strömung eines an
5 mindestens einer Kühlmittelanschlußstelle in die
Wicklung eingespeisten und an mindestens einer wei-
teren Kühlmittelanschlußstelle aus der Wicklung
wieder abgeleiteten Kühlmittels gekühlte Leiter
aus supraleitendem Material enthält, die in Leiter-
10 bereiche unterteilt sind, deren durch die Stromdichte
 I , Feldstärke H und Temperatur T festgelegten Arbeits-
punkte von dem in einem I-H-T-Raum jeweils nächst-
liegenden, durch die kritische Stromdichte I_c , kritische
Feldstärke H_c und kritische Temperatur T_c festgelegten
15 Sprungpunkt des supraleitenden Materials vom supra-
leitenden in den normalleitenden Zustand verschieden
weit entfernt sind, $\text{d a d u r c h g e k e n n -}$
 z e i c h n e t , daß an der Kühlmittelanschluß-
stelle (24) mit der vergleichsweise geringsten Ent-
20 fernung zu dem Leiterbereich (14) der Wicklung (2),
dessen Arbeitspunkt einem Sprungpunkt des supralei-
tenden Materials im I-H-T-Raum vergleichsweise am
nächsten liegt, eine Ausleitung des Kühlmittels (A)
aus der Wicklung (2) vorgesehen ist.

25

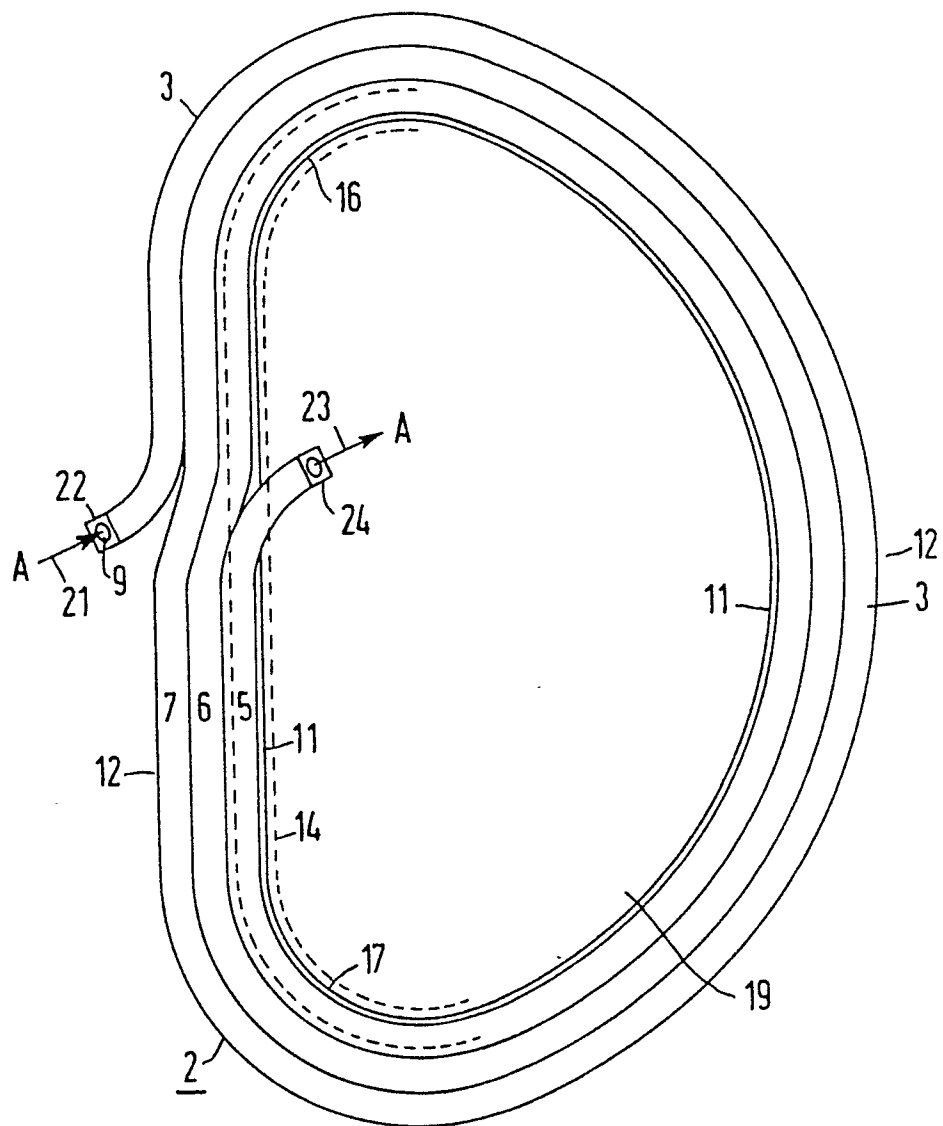
2. Anordnung zur Kühlung nach Anspruch 1, g e -
 $\text{k e n n z e i c h n e t}$ durch eine Einleitung
des Kühlmittels (A) an einer Kühlmittelanschlußstelle,
die einem Leiterbereich am nächsten liegt, dessen
30 Arbeitspunkt von dem Sprungpunkt des supraleitenden
Materials weiter entfernt ist als der Arbeitspunkt
jedes der übrigen Leiterbereiche der Wicklung (2).

3. Anordnung zur Kühlung einer scheibenförmigen
35 Magnetspulenwicklung nach Anspruch 1 oder 2, deren Lei-

- 2 - VPA 79 P 7 5 0 1 EUR

ter im ungestörten Betriebszustand in allen Leiter-
bereichen eine zumindest annähernd gleiche Strom-
dichte I und gleiche Temperatur T haben, g e -
k e n n z e i c h n e t durch eine Ausleitung
5 des Kühlmittels (A) an einer an der Innenseite (11)
der Wicklung (2) vorgesehenen Kühlmittelanschluß-
stelle (24).

4. Anordnung zur Kühlung nach einem der Ansprüche
10 1 bis 3, g e k e n n z e i c h n e t durch supra-
leitende Hohlleiter (3).





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. ³)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch	
	<p>CRYOGENICS, Band 8, Nr. 6, Dezember 1968, Seiten 397-398 I.V. KURCHATOV ATOMIC ENERGY INSTITUTE: "Forced-cooled superconducting coil"</p> <p>* Seite 397, rechte Spalte, Zeile 8 - Ende; Seiten 398, linke Spalte *</p> <p>--</p>	1-4	H 01 F 7/22
	<p><u>DE - B - 1 280 440 (SIEMENS)</u></p> <p>* Spalte 4, Zeilen 57-59 *</p> <p>--</p>	1-4	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (int. Cl. ³)
A	<p>PHILIPS TECHNISCHE TIJDSCHRIFT, Band 29, Nr. 10, 1968, Seiten 317-330 A.L. LUITEN: "Supergeleidende magneten"</p> <p>* Seiten 317-330 *</p> <p>--</p>		H 01 F 7/22
A	<p>IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Band MAG-11, Nr. 2, März 1975, Seiten 569-572 O. MITCHELL: "Dense Supercritical Helium Cooled Superconductors for Large High Field Stabilized Magnets"</p> <p>* Seiten 569-572 *</p> <p>--</p>		KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE
A	<p><u>DE - A - 1 514 708 (SIEMENS)</u></p> <p>----</p>		<p>X: von besonderer Bedeutung</p> <p>A: technologischer Hintergrund</p> <p>O: nichtschriftliche Offenbarung</p> <p>P: Zwischenliteratur</p> <p>T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</p> <p>E: kollidierende Anmeldung</p> <p>D: in der Anmeldung angeführtes Dokument</p> <p>L: aus andern Gründen angeführtes Dokument</p> <p>&: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>
<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.</p>			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
Den Haag	02-04-1980	VANHULLE	