

P. SPITTA

"Vergleich von Kompensationsspulen"

Die Absolutmessung der Komponenten H und Z des erdmagnetischen Feldes wird in vielen Observatorien mit einem Spulenmagnetometer (Protonenmagnetometer mit Kompensationsspulen) durchgeführt. Auch in Göttingen sollen derartige Absolutmessungen durchgeführt werden. Deshalb war es notwendig, verschiedene Typen von Kompensationsspulen zu vergleichen, um bei möglichst kleinem Aufwand den besten Spulentyp herauszufinden. An die Spule werden verschiedene Anforderungen gestellt: Der Innenraum der Spule muß gut zugänglich sein, und der homogene Bereich im Inneren der Spule sollte möglichst groß bei möglichst kleinen äußeren Abmessungen sein. Es werden deshalb nur Spulen nach BRAUNBECK (1934) oder SAUTER (1944) betrachtet. Um vergleichbare Verhältnisse bei allen Spulen zu erhalten, wurden Radius und Stromstärke des inneren Spulenpaares auf 50 cm bzw. 1 A festgelegt. Dann sind bei der Braunbeckspule alle weiteren Abmessungen gegeben, die Stromstärke in dem äußeren Spulenpaar ist die gleiche wie in den inneren Spulen. Bei der Sauterspule sind die Radien aller Stromringe gleich, aber die Stromstärke ist innen und außen verschieden, das Stromverhältnis beträgt 1:2,26044. Um auch bei der Sauterspule mit der gleichen Stromstärke innen und außen arbeiten zu können, kann das Stromverhältnis näherungsweise durch verschiedene Windungszahlen realisiert werden. Hier wurde ein Windungszahlverhältnis innen zu außen von 5:11 gewählt, das einem Stromverhältnis von 1:2,2 entspricht. Um den großen Homogenitätsbereich zu behalten, mußten die Abstände der Spulenringe geringfügig vergrößert werden. Sie sind - wie auch die Abmessungen der Braunbeckspule - in Tab.1 angegeben.

Beim Bau von Kompensationsspulen mit kreisförmigen Stromringen reicht oft die nutzbare Spitzenhöhe der in feinmechanischen Werkstätten vorhandenen Dreh- und Fräsbänke nicht aus, um Spulen mit größeren Abmessungen herzustellen. Deshalb wurde auf eine Arbeit von BLOOM et al. (1965) zurückgegriffen, in der Spulen mit kreisförmigen und achteckigen Stromringen verglichen werden. Bei der Potentialentwicklung nach Kugelfunktionen eines Spulenfeldes, das von N symmetrischen Stromringen erzeugt wird, werden alle Glieder von Ordnung 2 bis $2N-2$ zum Verschwinden gebracht, das erste nichtverschwindende Glied hat die Ordnung $2N$. Nach BLOOM et al. muß jeder

Tabelle 1:

	Spulen nach:		
	Braunbeck kreisförmig	Sauter kreisförmig	Sauter achteckig
Radius der inneren Spule R_1^*	50.0 cm	50.0 cm	50.0 cm
" " äußeren " R_2^*	38.193 cm	50.0 cm	50.0 cm
Abstand der inneren Spule vom Spulenmittelpunkt D_1	13.903 cm	12.673 cm	13.0 cm
Abstand der äußeren Spule vom Spulenmittelpunkt D_2	42.288 cm	48.421 cm	49.64 cm
Stromstärke durch die innere Spule I_1	1.0 A	1.0 A	1.0 A
Stromstärke durch die äußere Spule I_2	1.0 A	2.2 A	2.2 A

* bei der achteckigen Spule: Radius des Inkreises

der N Stromringe die Form eines Polygons mit mindestens 2N Kanten haben, um den gleichen homogenen Bereich wie die entsprechende Kreisspule zu erzielen. Man kann also eine Braunbeck- oder Sauterspule mit 4 kreisförmigen Stromringen ersetzen durch eine Spule, deren 4 Stromringe jeweils mindestens 8 Ecken besitzen und deren Kanten die entsprechenden kreisförmigen Stromringe tangieren. Dieser Spulentyp wurde als "achteckige Sauterspule" in die Tabelle mit aufgenommen.

Die Feldstärkewerte auf den Spulenachsen und die Konturlinie 10^{-5} der relativen Abweichung vom Mittelpunktswert der achteckigen Sauterspule sind mit Hilfe des Biot-Savartschen Gesetzes gewonnen worden, für die Konturlinien der Braunbeck- und der kreisförmigen Sauterspule wurde die Integration des Biot-Savartschen Gesetzes durch eine Summe ersetzt (P.J. HART, 1967), die zu Näherungslösungen außerhalb der Achse führt. Die Kompensation soll bei einer Totalfeldstärke von 50 000 nT auf 1 nT genau vorgenommen werden. Deshalb wird die Grenze des homogenen Bereiches bei 10^{-5} angesetzt. Abb.1 zeigt, daß die achteckige Sauterspule einen größeren homogenen Bereich auf der Achse besitzt als die beiden anderen Spulentypen. Dies wird auch auf Abb.2 deutlich, in der die Konturlinien der Abweichung 10^{-5} in der Ebene Spulenachse - Radius (bzw. Mitte der Seite

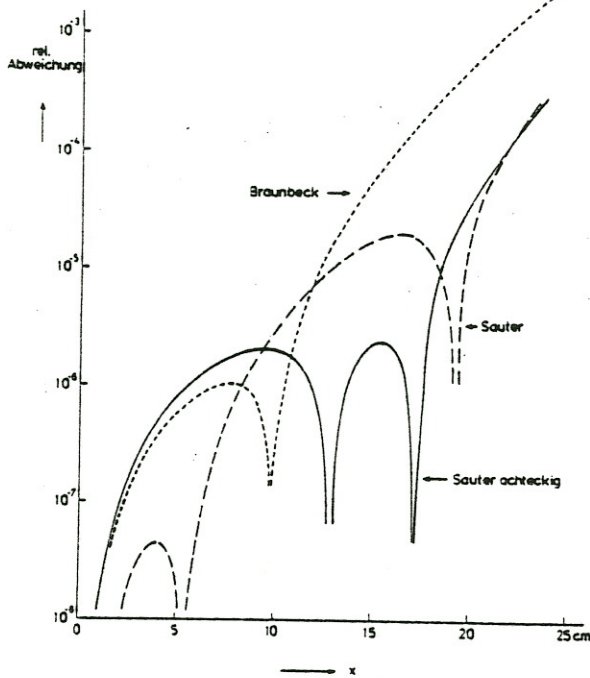


Abb.1: Rel. Abweichung der Feldstärke auf der Spulenachse vom Mittelpunktswert.

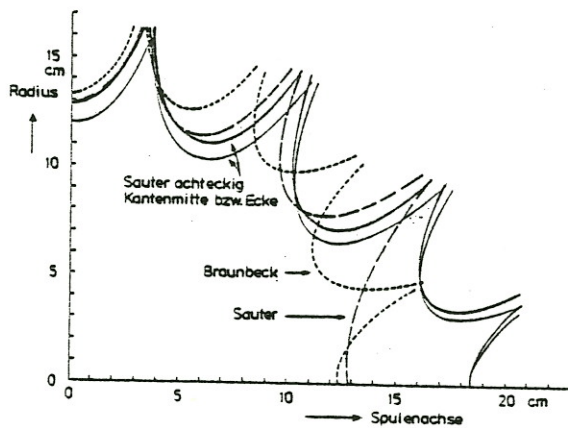


Abb.2: Konturlinie der rel. Abweichung 10^{-5} der Feldstärkekomponente H_x (parallel zur Spulenachse) vom Mittelpunktswert auf der Ebene Spulenachse-Radius. Die Konturlinie der dazu senkrechten Komponente H_y (parallel zum Radius) erreicht ihre größte Annäherung an den Mittelpunkt der Spule jeweils zwischen zwei H_x -Maxima, sie ist hier nicht dargestellt.

eines Achtecks) aufgetragen ist. Eine geringfügige Verminderung des homogenen Bereiches tritt nur bei den Ebenen auf, die durch die Ecken des Achtecks gehen.

Die genauen Maße, die in der Tab.1 angegeben sind, lassen sich bei der Herstellung der Spulen nur mit großen Schwierigkeiten einhalten. Um abzuschätzen, was für eine Auswirkung eine Ungenauigkeit von 0,1 mm bei den Radien und Abständen für den Homogenitätsbereich hat, wurden weitere Rechnungen durchgeführt, bei denen die Radien und/oder Abstände um 0,1 mm vergrößert oder verkleinert wurden. Es zeigte sich, daß der homogene Bereich längs der Spulenachse der Braunbeckspule von 12,3 cm auf 4,6 cm, der kreisförmigen Sauterspule von 12,8 cm auf 5,2 cm und der achteckigen Sauterspule von 18,7 cm

auf 5,1 cm schrumpfte. Dabei ist eine Toleranz von 0,1 mm bei einem Spulendurchmesser von 1 m schon an der Grenze der Meß- und Fertigungsgenauigkeit.

Die Sauterspule hat einige konstruktive Vorteile gegenüber der Braunbeckspule: Bei der Sauterspule haben alle vier Stromringe die gleichen Abmessungen, sie können einfach zusammengeschaubt werden, die Abstandstücke zwischen den Stromringen müssen nur den genauen Abstand einhalten. Da auch die Toleranz der Sauterspule gegenüber Maß-

ungenauigkeiten etwas größer ist als bei der Braunbeckspule, wurden in unserer Institutswerkstatt zwei achteckige Sauterspulen für die Kompensation von H und Z gebaut (Abb.3). Die beiden Spulen sind ineinandergeschachtelt und stützen sich gegenseitig. Als Unterbau wurde der Untersatz eines alten Sinusgalvanometers verwendet, dessen horizontaler Teilkreis Ableseungen auf 1' gestattet. Das Spulenmagnetometer wird in einer eisenfreien Meßhütte aufgestellt, zur Vermeidung von Störfeldern wird die dazugehörige Elektronik in einer weiteren Hütte untergebracht. Wir hoffen, daß die ersten Absolutwerte im Herbst 1982 vorliegen.

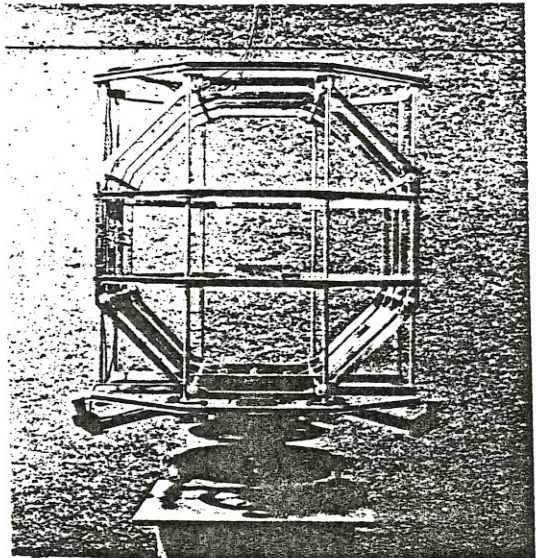


Abb.3: Achteckige Sauterspulen zur Kompensation der erdmagnetischen Komponenten H und Z.

Literatur:

Bloom, A.L., D.J. Innes, R.C. Rempel, and K.A. Ruddock: Octogonal Coil System for Canceling the Earth's Magnetic Field.

J. appl. Physics, 36, 2560-2565, 1965.

Braunbeck, W.: Die Erzeugung weitgehend homogener Magnetfelder durch Kreisströme. Z. f. Physik, 88, 399-402, 1934.

Hart, P.J.: Universal Tables for Magnetic Fields of Filamentary Distributed Circular Currents. American Elsevier Publishing Company, New York, 1967.

Sauter, A. and F. Sauter: Die Erzeugung von möglichst homogenen Magnetfeldern durch Stromsysteme. Z. f. Physik, 122, 120-136, 1944.