

**5. Über einen großen Elektromagnet einfacher  
Bauart;  
von The Svedberg.**

---

Bei vielen magnetischen Untersuchungen, die eine sehr konstante Temperatur wesentlich oberhalb oder unterhalb der Zimmertemperatur erfordern, ist es, um genügend Raum für den Thermostat bzw. Kryostat zu bekommen, unbedingt nötig, ziemlich ausgedehnte magnetische Felder zur Verfügung zu haben. Wenn es sich um Feldstärken von mehr als ca. 1500 Gauss handelt, ist es in Anbetracht des großen Energieverbrauches von magnetisch stark wirksamen eisenlosen Spulen am vorteilhaftesten, sich eines großen Elektromagnets zu bedienen. Der Preis eines solchen Apparates in der üblichen Ausführung, z. B. von Weiss oder von du Bois ist recht hoch; es lassen sich aber bedeutende Vereinfachungen in der Bauart einführen, ohne daß der Magnet an Anwendbarkeit merklich einbüßt. Die Herstellungskosten können dadurch bis zu etwa ein Drittel des Preises eines Weissmagnets von entsprechender Größe herabgesetzt werden.

Um eine erfolgreiche Weiterführung der im hiesigen Chemischen Universitätslaboratorium begonnenen Untersuchungen über das Verhalten von anisotropen Flüssigkeiten in magnetischen Feldern<sup>1)</sup> zu ermöglichen, wurde beschlossen, einen vereinfachten Magnet von etwa derselben Größe wie die größten von der Société Genevoise regelmäßig fabrizierten Weissmagneten zu bauen. Der Apparat wurde nach einem von mir entworfenen Plane von der Akt.-Ges. J. L. Rose, Upsala-Stockholm, zur Ausführung gebracht. Da dieser Magnet an mehreren Punkten von den gebräuchlichen Modellen abweicht, dürfte eine kurze Beschreibung desselben nicht ohne Interesse sein.

---

1) Ann. d. Phys. 44. p. 1121. 1914; 49. p. 437. 1916; Jahrbuch d. Radioakt. 12. p. 129. 1915; Kolloid-Zeitschr. 18. p. 54, 101. 1916; 20. p. 73. 1917.

Die Berechnung des Magnets geschah auf Grundlage der von Weiss<sup>1)</sup> und du Bois<sup>2)</sup> gelieferten Daten. Der magnetische Kreis besteht aus zwei zylindrischen Polkernen von 147 mm Diameter und 235 mm Länge, die mit axialen Bohrungen von 12 mm Diameter versehen sind, und einem rechteckigen Rahmen für die Zurückleitung des Kraftflusses. Dieser Rahmen, der aus vier Balken von dem Querschnitt  $150 \times 75$  mm zusammengesetzt ist, hat eine äußere Länge von 770 mm und eine äußere Höhe von 550 mm. Die Polkerne sind innen an der Mitte der Giebelseiten des Rahmens einander gegenüber festgeschraubt. Als Fuß dient eine gußeiserne Platte, die mit dem Rahmen fest verbunden ist. Eine derartige Anordnung des magnetischen Kreises, die an diejenige der älteren Dynamomaschinen erinnert, ist in mehrfacher Hinsicht von Vorteil. Durch das Schließen des bei den Weiss'schen Magneten U-förmigen Verbindungsjoches zu einem vollen Rahmen wird in einfacher Weise große Stabilität und bequemer Aufbau des Magnets erreicht. Dank der guten Symmetrie kann der Magnet sowohl mit horizontaler als mit vertikaler Achse sowie mit horizontalem oder vertikalem Rahmen montiert werden, was für manche Untersuchungen von großem Vorteil ist. Der Nachteil, daß in der normalen Lage — Achse horizontal, Rahmen vertikal — der obere Verbindungsbalken hinderlich sein kann, fällt bei dem geräumigen inneren Abstand von 400 mm zwischen oberem und unterem Balken wenig ins Gewicht. Für Versuche, die unbedingt einen freien Raum oberhalb des Interferrikums erfordern, kann ja außerdem der Magnet mit horizontalem Rahmen montiert werden. Die Zerlegung des Eisens in sechs Teile erleichtert ferner die Herstellung; den Transport und die Montierung des Magnets ganz bedeutend. Um Wägungsversuche und derartiges zu ermöglichen, ist der obere Balken in der Mitte mit einem vertikalen Loche von 20 mm Diameter versehen. In dieses Loch kann ferner eine starke eiserne Öse zur Hilfe beim Aufbau des Magnets eingeschraubt werden. Die feste Montierung der Polkerne wird wohl manchem als ein großer Nachteil erscheinen. Diese Bauart bringt aber eine so bedeutende Vereinfachung in der mechanischen Ausführung mit sich, daß

---

1) P. Weiss, Journ. de Phys. 6. p. 353. 1907.

2) H. du Bois, Ann. d. Phys. 42. p. 953. 1913.

meines Erachtens nach die Opferung der stetigen Veränderlichkeit der Länge des Interferrikums in Fällen, wo es sich, wie bei diesem Magnet, hauptsächlich um Arbeiten bei größeren Polabständen handelt, rationell ist. Die Anpassung des Interferrikums für den Zweck einer speziellen Untersuchung erfolgt viel einfacher, präziser und billiger durch Anfertigung geeigneter Polschuhe. Für die meisten Zwecke dürfte ein Satz von fünf Paaren genügen, die folgende Interferrika liefern:

Länge des Interferrikums	Diameter des Interferrikums
80 mm	147 mm (durchbohrt)
80 "	120 "
60 "	90 "
40 "	60 "
20 "	30 "

Die Mantelflächen der vier letzten Paare liegen alle auf der Mantelfläche eines Doppelkonus von dem halben Winkel  $56^{\circ} 19'$ , dessen Spitze sich in der Mitte zwischen den Polen befindet. Dazu kommt noch das Interferrikum: Länge = 156 mm, Diameter = 147 mm, zwischen den nicht armierten Polkernen. Beim Arbeiten mit diesem Interferrikum werden die Löcher für die Gewindezapfen der Polschuhe mit geeigneten losen Zapfen gefüllt. Die 12 mm-Bohrungen durch die Polkerne können gleichfalls beim Nichtgebrauch mit Eisen ausgefüllt werden. Das Verhältnis zwischen dem Querschnitt der Polkerne und demjenigen der äußeren magnetischen Kreise (= doppeltem Querschnitt des Rahmens) ist 0,75, also nur wenig höher als für den großen Weiss'schen Magnet<sup>1)</sup> mit Polkernen von 150 mm Diameter und Schlußjoch von  $120 \times 210$  mm Querschnitt, d. h. mit dem Verhältnis 0,70. Sämtliche Teile des magnetischen Kreises sind aus bestem schwedischem Schmiedeeisen (Österby) hergestellt, die Polkerne und Polschuhe zudem ausgeglüht und langsam abgekühlt. Das Gewicht des magnetischen Kreises beträgt ohne Polschuhe 262 kg, dasjenige des gußeisernen Fußes 102 kg. Die Polschuhe wiegen pro Paar 9—12 kg.

1) P. Weiss, l. c.

Die Magnetisierungsspulen sind wie bei den Weisschen Magneten als zwei Polspulen mit gemeinsamer Achse angeordnet. Die äußeren Dimensionen sind: Diameter = 385 mm, Länge = 225 mm, Totalgewicht jeder Spule = 114,7 kg. Weil der Magnet besonders für Arbeiten mit größeren Polabständen bestimmt ist, so wurden die Windungen jedoch nicht so stark an die Pole gehäuft, wie es besonders bei den neueren Weisschen Magneten der Fall ist. Da uns eine hinreichende elektrische Betriebsleistung nur bei 420—480 Volt zur Verfügung stand, mußten die Spulen dieser Spannung angepaßt werden. Sie wurden mit 2,0 mm dickem, einfach mit Baumwolle besponnenem Kupferdraht bewickelt und für eine maximale Amperewindungszahl von 135 000 und eine normale von 85 000 berechnet. Das Gewicht des besponnenen Drahtes beträgt 113,9 kg, was einer Länge von ca. 4000 m entspricht. Der Widerstand der hintereinander geschalteten Spulen beträgt im kalten Zustande 20 Ohm, bei Dauerbelastung mit 20 Amp. ca. 22 Ohm, was also bei 420—480 Volt eine Stromstärke von ca. 21—24 bzw. 19—22 Amp. ergibt. Die Windungszahl ist etwa 4500, so daß die Amperewindungszahl 85 000 bei 19 Amp. erreicht wird. Dies entspricht einer Betriebsleistung von 8 Kilowatt. Um eine effektive Kühlung und gleichzeitig einen einfachen Aufbau und leichte Zerlegung der Spulen bei eventuellen Reparaturen zu erzielen, wurden dieselben folgenderweise gebaut. Jede Spule besteht aus sechs konaxialen, ineinander geschobenen, zylindrischen ringförmigen Teilspulen und einem äußeren ringförmigen Mantel für Wasserspülung. Diese sieben Individuen werden durch zwei Messingscheiben und vier Messingbolzen zusammengehalten. Jede Teilspule trägt vier Schichten von Draht mit je ca. 93 Windungen. Als Unterlage dazu dient eine Rolle aus Messing, deren Rohr doppelwandig ist und von Wasser durchspült wird. Vermittelst geeignet angeordneter Rippen wird das Spülwasser zickzackartig durch das Rohr geleitet. Zwei an einer der messingenen Endflächen befestigten Ansatzrohre dienen als Zu- und Abfluß. Die oben erwähnten äußeren Kühlmäntel sind in ähnlicher Weise eingerichtet. Je vier Drahtschichten sind also beiderseitig von Wassermänteln umgeben. Kein Punkt befindet sich mehr als 6 mm von einer gekühlten Messingfläche entfernt. Der Wickelungsraum wird

durch das Anbringen dieser Wassermäntel um ca. ein Drittel eingeschränkt; dafür hat man aber den Vorteil einer so effektiven Kühlung, daß der Draht ohne unzulässige Erwärmung sehr stark belastet werden kann. Die Widerstandszunahme des Drahtes nach Erreichen des stationären Zustandes betrug bei 20 Amp. ca. 10 Proz., bei 25 Amp. ca. 20 Proz. und bei 30 Amp. ca. 30 Proz. Wenn, wie üblich, die Belastungsgrenze bei einer Widerstandszunahme von 25 Proz. gesetzt wird, so folgt also, daß diese Spulen auch für Dauerversuche mit ca. 27 Amp. belastet werden können, was bei der Drahtdicke von 2,0 mm recht bemerkenswert ist. Der Wasserverbrauch beträgt bei den höchsten Belastungen ca. 2 Liter pro Minute pro Wassermantel, d. h. 28 Liter/Minuten für beide Spulen zusammen, kann aber bis zu 5 Liter/Minuten pro Wassermantel gesteigert werden. Bei geringerer Belastung braucht der Magnet nur sehr wenig Wasser. Die Zu- und Abfließröhren der Teilspulen sind sämtlich einander parallel geschaltet. Es liegt in der Natur der Sache, daß diese Art von Kühlung an Effektivität kaum der bekannten Weiss'schen Innenkühlung der Stromleitung gleichkommen kann. Da jedoch nach dem Weiss'schen Prinzip nur Spulen von verhältnismäßig kleinem Widerstande gebaut werden können, die folglich nur mit Stromquellen von niederer Spannung zu benutzen sind, so dürfte die oben beschriebene Kühlvorrichtung, die von dem Durchmesser der Stromleitung unabhängig ist, für den Magnetkonstrukteur nicht ohne Interesse sein. Die Spulen sind mit Klemmschrauben für jede Teilspule montiert, so daß der Magnet durch geeignete Parallelschaltung derselben auch für niedere Spannung des Betriebstromes brauchbar ist. Was die Isolation der Spulen betrifft, so waren dabei, infolge der Unmöglichkeit, während des Krieges geeignetes Isoliermaterial beschaffen zu können, einige Schwierigkeiten vorhanden. Bei elf der Teilspulen wurde sowohl zwischen Messing und Draht als zwischen den einzelnen Drahtschichten mit 0,5 mm Steriolit isoliert, bei einer Teilspule wurde versuchsweise zwischen Messing und Draht mit 0,7 mm Vulkanfiber und zwischen den Drahtschichten mit 0,4 mm Öltuch isoliert. Die äußerste Drahtschicht jeder Spule wurde mit Schellackfirnis bestrichen und dann mit 0,4 mm Öltuch umwickelt. Steriolit wurde wegen seiner großen Widerstandsfähigkeit gegen Erhitzung

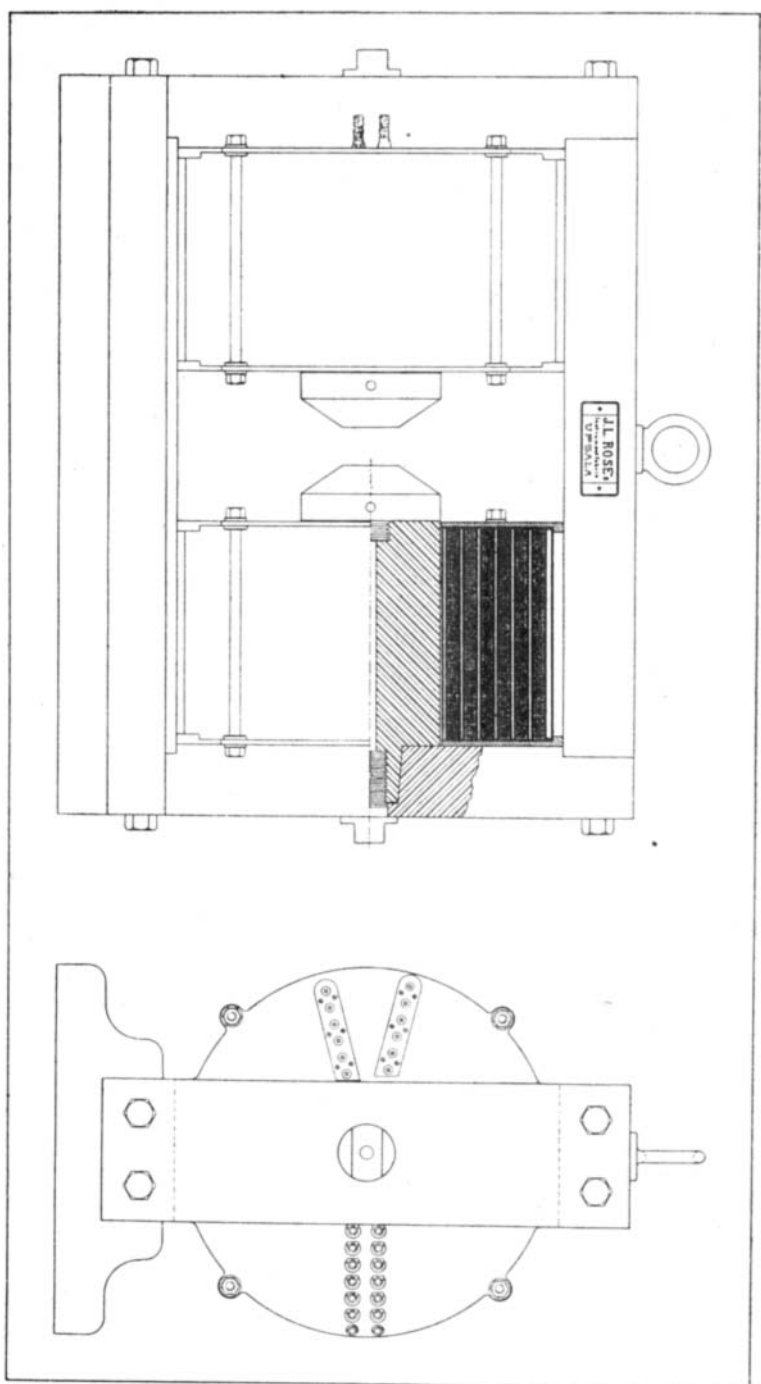


Fig. 1.

gewählt. Wie es das Verhalten des mit Vulkanfiber und Öltuch gewickelten Spule zeigte, dürfte aber diese Vorsichtsmaßregel überflüssig sein — dank der guten Kühlung wird die Temperatur der Spulen nicht höher, als es die Vulkanfiber-Öltuchisolation verträgt.

Die Figg. 1 und 2 demonstrieren die Konstruktion und das äußere Aussehen des Magnets.

Die mit diesem Magnet erreichten Feldwerte sind in beistehender Tabelle verzeichnet. Fig. 3 gibt dieselben graphisch wieder.

Länge des Interferrikums	Diameter des Interferrikums	Stromstärke	Feldstärke
156 mm	147 mm	5,0 Amp.	1560 Gauss
		10,0 "	2980 "
		15,0 "	3870 "
		20,0 "	4420 "
80 "	147 " (durchbohrt)	3,0 "	1980 "
		5,0 "	3230 "
		10,0 "	5300 "
		15,0 "	6260 "
		20,0 "	6880 "
80 "	120 "	3,0 "	2030 "
		5,0 "	2310 "
		10,0 "	5500 "
		15,0 "	6490 "
		20,0 "	7120 "
60 "	90 "	3,0 "	2690 "
		5,0 "	4500 "
		10,0 "	7170 "
		15,0 "	8300 "
		20,6 "	9200 "
40 "	60 "	3,0 "	3990 "
		5,0 "	6470 "
		10,0 "	10270 "
		15,0 "	11900 "
		20,3 "	12960 "
20 "	30 "	4,5 "	11930 "
		5,0 "	13040 "
		6,0 "	15150 "
		10,0 "	19200 "
		15,0 "	20750 "
		20,5 "	21500 "

Das Spulenfeld allein beträgt in der Mitte der Achse 80 .  $J$  Gauss, wenn  $J$  die Stromstärke in Ampere bedeutet.

Das Totalgewicht des Magnets beträgt ca. 600 kg.

Um die Beurteilung der Wirkung desselben zu erleichtern, sei erwähnt, daß der große Weissche Magnet mit Polkernen

von 150 mm Diameter bei der gleichen Amperewindungszahl und dem Interferrikum Länge = 20 mm, Diameter = 25 mm ein Feld von ca. 22000 Gauss ergab.

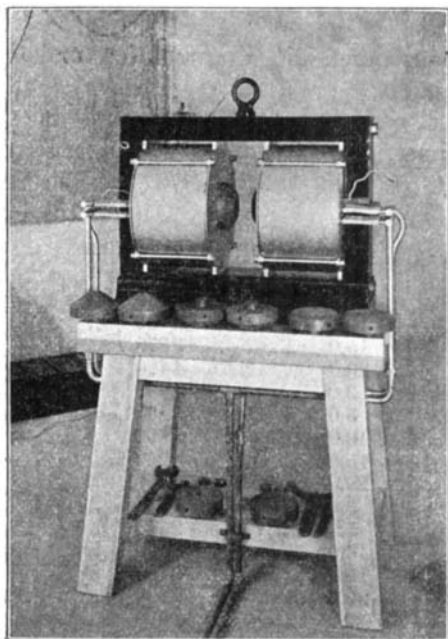


Fig. 2.

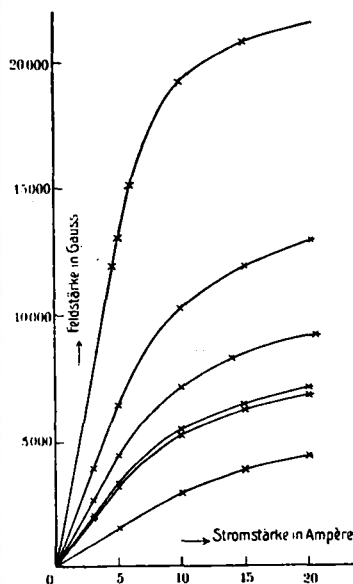


Fig. 3.

Herrn Professor O. Widman, dem ehemaligen Chef des Chemischen Universitätslaboratoriums, der mit großem Wohlwollen meinem Wunsche, einen Magnet zu bauen, entgegengekommen ist und mir die nötigen Geldmittel zur Verfügung stellte, spreche ich meinen ergebensten und herzlichsten Dank aus. Auch dem hiesigen Universitätsmechaniker und Direktor der Akt.-Ges. J. L. Rose, Herrn G. Rose, möchte ich für die einsichtsvolle Leitung der Arbeiten beim Bau des Magnets meinen Dank erstatten.

Upsala, Chem. Universitätslaboratorium, März 1917.

(Eingegangen 7. April 1917.)