

Über permanente Magnete aus steirischem Wolframstahl

Ignaz Klemenčič.

Aus dem physikalischen Institute der k. k. Universität in Innsbruck.

Die Frage der Herstellung guter permanenter Magnete ist mit Rücksicht auf die vielfache Verwendung solcher bei der Construction und Aichung von elektrotechnischen und physikalischen Apparaten, sowie bei erdmagnetischen Beobachtungen sowohl für den Elektrotechniker, als auch für den Physiker von grossem Interesse. Unter der Güte eines Magnets wird man wohl in erster Linie einen möglichst unveränderlichen Werth seines magnetischen Moments verstehen; dann aber sind auch andere Eigenschaften, wie ein hoher specifischer Magnetismus, ein geringer Inductionscoëfficient u. s. w. sehr schätzenswerth. Bekanntlich waren die älteren Magnete hinsichtlich der Haltbarkeit des magnetischen Moments sehr schlecht, indem es ja manchmal vorkam, dass das magnetische Moment im Verlaufe von einigen Monaten um viele Procente des ursprünglichen Werthes sank. In neuerer Zeit werden permanente Magnete erzeugt, welche in dieser Beziehung viel besser sind.

Zur Herstellung guter Magnete scheint der von der Gussstahlfabrik Gebrüder Böhler & Co. in Kapfenberg in Steiermark erzeugte Wolframstahl ganz besonders geeignet zu sein. Über einige Eigenschaften dieses steirischen Wolframstahls, namentlich über den Zusammenhang zwischen Härtungstemperatur und permanentem Magnetismus hat schon Holborn¹ in einer

Mittheilung aus der Physikalisch-technischen Reichsanstalt berichtet. Ebenso hat die Firma Siemens & Halske in Wien Bestimmungen über die Änderung der Tragkraft von Magneten aus diesem Stahl während eines Zeitraumes von 36 Tagen angestellt. Beide Untersuchungen haben sehr günstige Resultate geliefert.

Ich habe in letzterer Zeit mehrere Magnete aus dieser Stahlsorte nach verschiedenen Richtungen untersucht und erlaube mir nachfolgend einige Beobachtungen darüber mitzutheilen.

Die Stahlstäbe hat mir die Firma Gebrüder Böhler & Co. geliefert; auch hat sie die Härtung derselben vorgenommen, wofür ich ihr hiemit meinen Dank ausspreche.

Die Untersuchung erstreckte sich auf 15 verschiedene Magnete. Die Stäbe hatten quadratischen Querschnitt, der stärkste eine Seitenlänge von 0.78 cm , der dünnste eine solche von 0.4 cm . Die Längen der einzelnen Stücke waren so bemessen, dass sich Dimensionsverhältnisse von ungefähr 10, 15, 20 und 25 ergaben, wobei ich unter dem Dimensionsverhältniss das Verhältniss der Länge zur Seite verstehe.

Die Härtungstemperatur ist nach Holborn und Anderen von grossem Einfluss auf den specifischen Magnetismus. Es ist kaum anzunehmen, dass alle 15 Magnete unter genau gleichen Bedingungen gehärtet wurden. Aus diesem Umstande lässt sich manche kleine Unregelmässigkeit im Verhalten der einzelnen Magnete erklären.

Die Stäbe wurden im homogenen Feld einer Spirale von 40 cm Länge und 48 Windungen pro Centimeter magnetisirt. Die Feldstärke betrug mit einer einzigen Ausnahme immer 639 abs. E.

Das Moment bestimmte ich nach der Ablenkungsmethode an einem während der Dauer der Versuche fix aufgestellten Magnetometer.

Tabelle I gibt die verschiedenen Daten, durch welche die einzelnen Magnete charakterisirt sind. L bedeutet die Länge, S die Seite, d das Dimensionsverhältniss $= L/S$, G das Gewicht,

M das magnetische Moment¹ (am 20. Tage nach der Magnetisirung), m den specifischen Magnetismus, bezogen auf die Gewichtseinheit und v das Verhältniss des specifischen Magnetismus zum Dimensionsverhältniss.

Tabelle I.

Nr.	L cm	S cm	d	G g	M		v
1	16·7	0·73	23·0	68·6	3727	54·3	2·4
2	13·9	0·78	17·8	65·4	3200	48·9	
3	10·5	0·73	14·3	41·9	1281	30·5	2·1
4	6·9	0·72	9·7	27·8	596	21·4	
5	14·8	0·63	24·2	45·1	2700	60·0	
6	10·3	0·62	16·7	30·2	1161	38·4	2·3
	13·6	0·55	24·8	31·8	1980	62·2	2·5
8	8·0	0·54	14·8	18·2	667	36·7	
9	5·4	0·54	9·8	12·1	352	29·1	2·9
10	12·1	0·54	22·3	28·3	1550	54·8	
11	9·0	0·58	16·7	23·8	800	43·1	2·6
12	6·0	0·54	11·2	13·6	491	36·0	3·2
13	10·0	0·41	24·2	13·3	660	49·7	2·1
14	7·9	0·40	19·7	9·7	398	41·0	1
15	5·8	0·40	14·6	7·3	258	35·6	2·4

Der specifische Magnetismus fällt, wie bekannt, mit dem Dimensionsverhältniss, was ja auch aus den Zahlen dieser Tabelle hervorgeht; bemerkenswerth ist vielleicht dabei die

Es entsteht die Frage, ob dieses Moment (Feldstärke bei der Magnetisirung = 639 abs. E.) schon nahe am Maximum. Diese Werthe des magnetischen Moments zeigten gegen jene, welche bei einer früheren Magnetisirung im Felde von 356 abs. E. erhalten wurden, folgende procentische Zunahme bei den einzelnen Magneten:

Nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
 Zunahme... 3·2, 6·5, 5·7, 11·0, 3·7, 5·1, 3·6, 9·0, 13·6, 3·3, 6·2, 9·4, 2·3, 3·4, 4·0.

Die Zunahme fällt bei den Nummern mit einem kleinen Dimensionsverhältniss am grössten aus; doch ist die grösste Zunahme nur 11⁰/₁₀, obwohl das Feld in einem Falle doppelt so stark war wie im anderen. Man kann daher sagen, dass die oben angeführten Momente schon nahe beim Maximum liegen.

Thatsache, dass für dieses Intervall v nahezu einen constanten Werth von 2.5 besitzt. Aus den Abmessungen der Magnete und aus deren Gewicht folgt im Mittel ein specifisches Gewicht von 7.75.

1. Die Änderung des magnetischen Moments.

Sämmtliche Stäbe wurden am 7. Jänner d. J. im Felde von 639 abs. E. magnetisirt, und zwar geschah die Magnetisirung in der Weise, dass der Stab in die Spule eingelegt und sodann der Magnetisierungsstrom ungefähr 4 Secunden lang geschlossen wurde. Hierauf wurde der Strom unterbrochen, der Magnet aus der Spule genommen und sofort am Magnetometer untersucht. Die Änderungen des Moments ΔM sind in der nachfolgenden Tabelle II angegeben. Die grösste Änderung in 20 Tagen beträgt 3.6% bei Nr. 3, davon entfällt aber eigentlich der beträchtlichste Theil auf den ersten Tag. Ein Einfluss des Dimensionsverhältnisses auf die Grösse der Änderung lässt sich kaum erkennen, eher würde man sagen, dass die Änderungen bei den dicken Stäben etwas grösser ausfallen als bei den dünnen.

Tabelle II.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ΔM in Proc.	1. Tag	1.4	1.6	3.2	3.0	1.1	2.0	1.0	1.3	2.0	0.7	2.1	1.2	1.4	0.5	0.9
	20. Tag	3.1	2.7	3.6	3.1	1.6	2.6	1.3	1.4	2.0	1.0	2.6	1.3	1.7	0.7	0.9

Nach dem 20. Tage blieb das Moment nahezu ganz unverändert. In Tabelle III werden speciell einige Beobachtungen an drei Stäben angeführt, die einen Zeitraum von ungefähr sechs Monaten umfassen. Statt der Momente sind direct die Magnetometerablenkungen zu verschiedenen Zeiten angegeben.

Die Magnetometerablenkungen zeigen allerdings auch nach dem 27./I. (nach dem 20. Tage) kleine Verschiedenheiten, die zum Theile vielleicht in einer wirklichen vorübergehenden Änderung des Moments, zum grössten Theile aber wahrscheinlich in einer Änderung der Constanten des Magnetometers liegen.

Tabelle III.

Nr.	Magnetometerablenkungen und Datum der Beobachtung											
	7./1.	8./1.	12./1.	27./1.	20./2.	8./3.	17./3.	11./4.	8./5.	4./6.	23./6.	1./7.
1	702·5	692·5	689·4	681·4	677·7	680·2	678·6	681·5	681·4	682·8	678·6	680·5
9	65·6	64·3	64·3	64·5	64·0	64·2	63·9	64·4	63·8	64·1	63·8	63·9
11	149·9	146·8	145·5	146·1	144·4	145·3	144·7	145·1	145·3	145·8	145·0	145·1

Jedenfalls lässt sich aus den angeführten Zahlen eine dauernde Abnahme des Moments nach dem 20. Tage kaum constatiren. Die übrigen Magnete zeigten alle ein ebensolches Verhalten, sie wurden jedoch nicht so lange beobachtet, da ich sie mittlerweile in anderen Richtungen untersuchte. Es sei noch erwähnt, dass die Magnete während der Beobachtungszeit ruhig liegen blieben und den Temperaturschwankungen, wie sie eben in einem Locale durch die Jahresverhältnisse bedingt sind, ausgesetzt waren.

Die Stäbe Nr. 2, 5, 7, 8 und 14 wurden im genannten Magnetfeld am 19./4. neu magnetisirt, diesmal jedoch so, dass die Stromrichtung in der Spirale 50mal gewechselt wurde und die Magnete daher 50 Polwechsel durchmachten. Auch diese Magnete blieben hierauf längere Zeit ruhig liegen. Tabelle IV gibt einige Daten, welche das Moment dieser Magnete betreffen.

Tabelle IV

Nr.	Magnetometerablenkungen und Datum der Beobachtung						
	10./4.	20./4.	30./4.	8./5.	4./6.	23./6.	1./7.
2	594·0	591·7	589·7	591·1	591·9	590·3	590·9
5	503·3	501·4	499·2	500·6	501	499·6	500·0
7	368·0	367·6	367·1	367·7	368·4	366·8	366·8
8	121·5	120·8	120·8	121	121·0	120·3	120·6
14	73·5	73·1	73·2	73·3	73·4	73·1	73·2

Die Zahlen dieser Tabelle zeigen ganz deutlich den ausserordentlich günstigen Einfluss der mehrmaligen Ummagneti-

sirung auf die Haltbarkeit des magnetischen Moments. Die Änderungen übersteigen selbst innerhalb des ersten Tages nirgends 0.5% . Was den absoluten Werth des magnetischen Moments anbelangt, so ist dieses nach einer 50maligen Magnetisirung gar nicht grösser als nach der einmaligen.

Schliesslich unterzog ich ($25./4.$ — $2./5.$) die Magnete Nr. 3, 4, 6, 10, 12 und 13 dem Verfahren von Strouhal und Barus, indem ich sie in Wasserdampf kochte, und zwar zuerst 2, dann 4, wieder 4 und schliesslich 6 Stunden lang. In jeder Pause wurden die Magnete 50mal hin- und hermagnetisirt. Durch das oftmalige Kochen sank schliesslich der spezifische Magnetismus um 10 — 20% . Die Änderungen des magnetischen Moments bei diesen Stäben waren ebenso gering wie bei jenen der Tabelle IV. Ein besonderer Vorzug des Auskochens konnte innerhalb der Dauer der Beobachtungen bei diesem Material nicht constatirt werden.

2. Der Inductionscoefficient.

Bringt man einen Magnetstab in ein schwaches magnetisches Feld, so wird sein permanentes Moment vorübergehend verändert, und zwar je nach der Richtung des Feldes wird es vergrössert oder verkleinert. Man versteht unter dem Inductionscoefficienten eines Magnets die vorübergehende Änderung des magnetischen Moments, bezogen auf 1 g und auf die Feldstärke 1 .

Bezeichnen wir den Inductionscoefficienten mit Δ , mit δm die Gesamtänderung des magnetischen Moments in abs. E. im schwachen Felde von der Intensität H und ist G das Gewicht des Stabes, so ist

$$\Delta = \frac{\delta m}{GH}.$$

Die Bestimmung von Δ wurde nach der Methode von Kohlrausch¹ (l. c.) mit Hilfe einer langen, bifilar gewickelten Spirale vorgenommen. Innerhalb der benützten Felder von

¹F. Kohlrausch, Wied. Ann., XXII, 417; Praktische Physik, 7 Auflage, S. 336.

0.99, 1.55, 2.74 und 3.70 abs. E. erwies sich der Inductionscoëfficient bei allen Stäben als constant, und zwar wurden folgende Werthe erhalten:

Nr.	3,	6,	8,	9,	10,	12,	13.
Δ	.0.228,	0.160,	0.140,	0.141,	0.180,	0.154,	0.191.

Mit Ausnahme von Nr. 3 besitzen alle Magnete einen sehr kleinen Inductionscoëfficienten, und zwar fällt er umso kleiner aus, je niedriger das Dimensionsverhältniss des betreffenden Stabes liegt. Die Abweichung bei Nr. 3 dürfte wohl auf eine Anomalie in der Härtung zurückzuführen sein. Kohlrausch gibt (l. c.) als Grenzen für den Inductionscoëfficienten gewöhnlicher Magnete die Werthe 0.2—0.3 an, welche weit über unseren Zahlen liegen.

Die Bestimmungen wurden nach dem Auskochen der Magnete zum Theile wiederholt und folgende Daten gefunden:

Nr.	6,	12,	13.
Δ	.0.220,	0.182,	0.171, 0.220.

Die Inductionscoëfficienten sind also bis auf Nr. 3, welches wieder ein abnormales Verhalten zeigt, durch das Auskochen grösser geworden.

3. Dauernde Änderungen des Moments durch schwache Felder.

In vielen Fällen ist es interessant und wichtig zu wissen, welchen schwachen Feldern man einen Magnet noch aussetzen darf, ohne sein Moment dauernd zu verändern. Um einige diesbezügliche Werthe zu erhalten, habe ich die Stäbe in derselben Spule, welche zur Bestimmung der Inductionscoëfficienten diente, schwachen Feldern ausgesetzt, und zwar wurde jedes Feld etwa 20mal gewechselt, während sich der Magnet in der Spule befand. In allen Fällen, wo überhaupt eine Änderung auftrat, war eine Verminderung zu constatiren. In Tabelle V sind einige Resultate angegeben.

Im Mittel betragen die Änderungen im Felde von 3.7 abs. E. 0.10%, und selbst im Felde von 5.6 erreichen sie nirgends die

Höhe von 1⁰/₀. Beobachtungen, welche H. Sack¹ mit einigen Magneten in ähnlicher Richtung angestellt, zeigen bei zwei Parallelepipedern (bezogen von Hartmann und Braun) entschieden grössere Verluste in diesen Feldern, während ein Cylindermagnet aus englischem Gussstahl von Burys & Co. etwa das gleiche Verhalten zeigte wie die hier untersuchten. Das Auskochen ändert wenig an dem Verhalten der Magnete in dieser Beziehung; doch scheinen die Änderungen bei den ausgekochten Magneten etwas früher einzusetzen.

Tabelle V

Feld- stärke	Verluste in Procenten						
	Nr. 3	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 10	Nr. 12	Nr. 6	Nr. 13
2·1	0	0	0	0	0	0	0
2·7	0	0·1	0	0·1	0	0	0
3·7	0	0·2	0·2	0·2	0·1	0	0·1
5·6	0·7	0·3	0·3	0·8	0·7	0·4	0·5
9·4	3·5	1·0	0·8	1·9	2·3	0·8	1·8

4. Der Einfluss der Erschütterungen.

Über den Einfluss der Erschütterungen hat bereits Holborn (l. c.) einige Beobachtungen mit zwei Magneten aus steirischem Wolframstahl und zwei Magneten aus Werkzeugstahl von Marsh Brothers & Co. gemacht. Er liess die Magnete 1 *m* hoch auf Holz oder Messing fallen. Beide Sorten lieferten das gleiche Resultat, nämlich eine Abnahme des Moments um einige Procente, wenn der Stab mehrmals von 1 *m* Höhe auf Messing fiel bei frisch magnetisirten Stäben. Nach dem Auskochen der Magnete war der Einfluss der Erschütterung nur mehr äusserst gering. Ich liess die Magnete Nr. 3, 5, 6 und 7 von 1 *m* Höhe auf eine Steinplatte fallen. Die Magnete 3 und 6 waren ausgekocht. Es wurden folgende procentische Abnahmen constatirt:

Nr.	3,	5,	6,	
Abnahme nach 1maligem Fallen	0·1,	0·5,	0·3,	0·3
10	0·4,	1·1,	0·6,	1 1

Hier zeigt sich ganz entschieden die günstige Wirkung des Auskochens. Im Allgemeinen folgt aber aus den Zahlen, dass bei dieser Stahlsorte der Einfluss der Erschütterung nicht gross ist und dass eine Änderung des magnetischen Moments durch zufällige Erschütterungen nicht zu befürchten ist.

5. Der Einfluss der Berührung durch Eisen oder Stahl.

Nach einer Ausmessung der Dicke einiger Magnete mit einem Dickemesser zeigten alle diese Stäbe eine Abnahme des magnetischen Moments um etwa 3⁰/₀. Es zeigte sich, dass das Berühren der Stäbe mit der eisernen Spindel und dem eisernen Anschlagzapfen des Dickmessers das magnetische Moment vermindert. Ich machte nun weitere Versuche in dieser Richtung und fand, dass eine blossе Berührung des Magnets mit einem Stab aus weichem Eisen oder Stahl, sei es am Pol oder an der Seite, das Moment gar nicht verändert; sobald man jedoch mit dem Stab ein wenig längs des Magnets streicht, wird das Moment sofort beträchtlich vermindert. Ich nahm Cylinder aus weichem Eisen, 0·7 *cm* dick und 20, respective 10 *cm* lang, die ich etwa mit 1 und 2 bezeichnen will.

Nun habe ich folgende Versuche gemacht:

Magnet Nr. 2.

Moment	= 513·5 Scth.,
Cyl. 2 an Magnet parallel angelegt und	
parallel abgezogen	= 465·9
dasselbe viermal wiederholt	= 395
20mal mit Cyl. 1	= 331·4
100 1	= 283·5

Magnet Nr. 8.

Moment	= 99·6 Scth.,
Streichen mit der Messerklinge vom Nord-	
pol zum Südpol	= 98·5

Streichen mit Cyl. 1 einmal	= 94·5 Scth.,
1 zehnmal.	= 84·6

Magnet Nr. 6.

Moment	= 212·0 Scth.,
Cyl. 1 parallel abgezogen einmal	= 200·7
1 20mal..	= 140·2
1 40	= 133·8

Aus diesen Daten geht zur Genüge hervor, wie gefährlich es ist, einen Magnet mit weichem Eisen oder Stahl in Berührung zu bringen. Man wird daher gut thun, Magnete, bei denen man ein constantes Moment zu haben wünscht, einzeln etwa in Glas- oder Messingröhren aufzubewahren, wenn dies sonst die Umstände erlauben.

Fasst man die hier gefundenen Resultate zusammen, so ergeben sie für die untersuchte Stahlsorte eine grosse Haltbarkeit des magnetischen Moments, einen hohen specifischen Magnetismus und einen kleinen Inductionscoëfficienten. Was insbesondere die Haltbarkeit des magnetischen Moments anbelangt, so liess sich innerhalb der Beobachtungszeit (ausgenommen die ersten Tage nach der Magnetisirung) keine dauernde Abnahme des Moments constatiren. Allerdings differirten die zu verschiedenen Zeiten gemachten Bestimmungen bei der Gruppe 1, 9, 11 in maximo um etwa 1⁰/₀ und bei der Gruppe 2, 5, 7, 8 und 14 in maximo um etwa 0·5⁰/₀, doch liegen die betreffenden maximalen Differenzen in einer Weise über die ganze Beobachtungszeit vertheilt, dass man sie wohl nur vorübergehenden Schwankungen des Moments (bedingt zum Theile durch den Temperatureinfluss), dann aber auch den Änderungen der Magnetometerconstanten zuschreiben muss. In dieser Beziehung ist ein Vergleich der hier gefundenen Zahlen mit den von H. du Bois¹ angeführten Beobachtungen Hibbert's über seine Feldetalons interessant. Auch Hibbert

findet bei seinen Etalons zu verschiedenen Zeiten maximale Differenzen von $0.5—1.0\%$. Die mitangeführten Temperaturangaben lehren jedoch, dass die Temperaturschwankungen allein nicht eine genügende Erklärung der Differenzen geben. Es wäre wünschenswerth zu constatiren, wie viel von den beobachteten Differenzen thatsächlich in vorübergehenden Schwankungen der Momente liegt und wodurch diese bedingt sind.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1896

Band/Volume: [105_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Klemencic Ignaz

Artikel/Article: [Über permanente Magnete aus steirischem Wolframstahl 635-645](#)