

## IX. Ueber die Verwendung des Manganin zu Widerstandsrollen; von Milthaler.

Bei Gelegenheit der Anfertigung von Widerstandskästen aus Manganin, einer Legirung von Kupfer (83 Proc.), Nickel (4 Proc.) und Mangan (13 Proc.)<sup>1)</sup> mit hohem specifischen Widerstand und sehr kleinem, negativen Temperaturcoefficienten, untersuchte ich die physikalischen Eigenschaften dieses neuen Materials genauer, insbesondere sein Verhalten gegenüber regelmässig abwechselnden Erhitzungen und Abkühlungen; ich will im Folgenden kurz hierüber berichten.

Aus Manganindraht von 0,50 mm und 0,25 mm Durchmesser war eine Anzahl Rollen gewickelt, deren Widerstand zwischen 5 S.E und 30 S.E schwankte. Nach einigen orientirenden Vorversuchen wurde ein Theil dieser Rollen 1½ stündigen Erhitzungen auf 100°, ein anderer 2½ stündigen von etwa 130° ausgesetzt. Die Erhitzungen auf 100° geschahen in einem Dampfapparat mit doppelter Wandung, wie er zur Bestimmung des Siedepunktes von Thermometern benutzt wird; die Rolle war dabei in eine Glasröhre eingeschlossen. Der Widerstand derselben wurde vor der Erhitzung bei Zimmertemperatur und dann während der Erhitzung bestimmt, sobald er constant geworden, was meist schon nach einer Stunde eintrat; nach 1½ stündiger Erhitzung wurde die Rolle aus dem Dampfapparat genommen und kühlte langsam ab. Es wurden gewöhnlich am Tage zwei Erhitzungen vorgenommen, jedoch wurden auch zwischen einzelnen Erhitzungen längere Pausen gelassen, um den Einfluss derselben zu studiren. Die Erhitzungen auf die höhere Temperatur geschahen in einem Luftbade; sie fanden täglich nur einmal statt, 2½ Stunden lang, und es wurde nur der Widerstand der abgekühlten Rolle gemessen. Da das Luftbad mit keinem Thermostaten verbunden war, so schwankte die Temperatur in den Grenzen

---

1) Feussner, Electrotechnische Zeitschrift, Band XIII. S. 99 (1892).

von  $5^{\circ}$ ; im Mittel betrug sie, mit wenigen Ausnahmen (vgl. Tabelle III, 5., 13. und 14. Erhitzung)  $130^{\circ}$ .

Zur Widerstandsbestimmung diente ein Differentialgalvanometer nach Wiedemann mit Siemens'schem Glockenmagneten. Da der Widerstand des Galvanometers verhältnissmässig klein war, so wurde einerseits der zu untersuchende Draht und die eine Galvanometerrolle hintereinander geschaltet, und andererseits der Widerstandskasten und die andere Galvanometerrolle. Zur genauen Abgleichung fand die Verzweigung auf einer Messbrücke mit 1 mm dickem Neusilberdraht statt, sodass 1 mm Verschiebung einer Aenderung des Widerstandes um 0,0004 S.E entsprach. Das Differentialgalvanometer wurde vorher durch eine Hilfswindung genau auf gleiche Wirkung und vor jeder Beobachtung auf gleichen Widerstand eingestellt. Das Auftreten thermoelectrischer Kräfte konnte leicht dadurch festgestellt werden, dass der Strom erst in einer Richtung und unmittelbar darauf in der entgegengesetzten durch das Galvanometer geschickt wurde; sie blieben während des Verlaufes der ganzen Untersuchung verschwindend klein. Als Stromquelle dienten, da bei dieser Methode der Strom immer nur ganz kurze Zeit geschlossen zu werden braucht, drei Gassner'sche Trockenelemente, wodurch die Beobachtungen sehr bequem wurden. Die Genauigkeit der einzelnen Messung beträgt  $1/40000$ , d. h. die Zahlen der Tabelle I und III sind bis auf 3 Einheiten, die der Tabelle II bis auf 5 Einheiten der 4. Decimale genau. Anfänglich wurde zur Widerstandsabgleichung ein Kasten von Hartmann und Braun mit Neusilberrollen benutzt, dessen Temperaturcoefficient durch einige Versuchsreihen zu  $+0.00030$  gefunden war; ausserdem wurde der benutzte Widerstandskasten, um etwaige Veränderungen festzustellen, von Zeit zu Zeit mit einigen Manganinrollen verglichen, die zu den Vorversuchen gedient hatten und durch eine grosse Reihe von Erhitzungen unveränderlich gemacht worden waren. In den während der Monate, Juli, August, September 1891 angestellten Beobachtungsreihen, von denen eine in der Tabelle I enthalten ist, blieb der Kasten vollkommen unverändert, zumal da in dem nach Norden gelegenen Arbeitszimmer während dieser Zeit eine ziemlich constante Temperatur herrschte, aber im October zeigte er plötzlich grosse

Unregelmässigkeiten: es wurde nämlich schwierig, die Galvanometernadel auf Null zu bringen. Wenn man den Nullpunkt gefunden zu haben schien, und dann den Strom auf kurze Zeit schloss, fing die Galvanometernadel an, sich unregelmässig zu bewegen, bald nach der einen Seite und bald nach der andern auszuschlagen, und diese Unregelmässigkeiten wurden um so stärker, je länger der Strom hindurchging. Anfangs wurden thermoelectrische Störungen vermuthet, genauere Untersuchungen deckten aber eine andere Ursache auf: die Rollen des benutzten Widerstandskastens waren nämlich nicht paraffinirt und es hatte sich wahrscheinlich auf der Seidenumspinnung eine Flüssigkeitsschicht niedergeschlagen; diese wirkte nun genau so, wie eine als Nebenschluss geschaltete electrolytische Zelle. Wenn Strom hindurchging, wurde die Zelle polarisirt und dadurch der Widerstand scheinbar vergrössert. Diese Störung konnte dadurch, dass der Kasten erwärmt, z. B. in die Sonne gesetzt wurde, beseitigt werden, stand er dann aber einige Zeit wieder im Beobachtungsraum, so traten dieselben Unregelmässigkeiten auf. Das Interesse, das diese für mich neue Erscheinung mir einflösste, bewog mich, ausser den sämmtlichen Rollen des Widerstandskastens, auch noch andere im Institut vorhandene Rollen z. B. von Inductionsapparaten, Telephonen u. s. w. nach dieser Richtung hin zu untersuchen: ich fand sie fast alle polarisirbar und besonders stark trat diese Eigenschaft bei einigen Rollen von kleinem Widerstande hervor. Geschieht die Widerstandsbestimmung wie hier, nach einer Nullmethode, so bleiben die Unregelmässigkeiten, da ja der Strom immer nur sehr kurze Zeit geschlossen wird, leicht unbemerkt, und die Bestimmungen können dadurch sehr fehlerhaft werden; bei einigen Rollen betrug die durch Polarisation entstandene scheinbare Vergrösserung des Widerstandes 10 Proc. des wahren Werthes. Diese Thatsachen sind, wie ich nach Abschluss meiner hierauf bezüglichen Untersuchungen fand, schon von Mendenhall<sup>1)</sup> beobachtet und von B. Thomas<sup>2)</sup> bestätigt. Um nun diese Fehlerquellen zu vermeiden, nahm ich statt des Hartmann' und Braun'schen Kastens, einen

1) Mendenhall, *Telegraphic Journal and Electrical Review*. **19**. p. 326 (1886).

2) B. Thomas, *Electrotechnische Zeitschrift*. **8**. p. 202 (1887).

von Siemens, dessen Rollen paraffinirt waren. Hier trat aber jetzt eine andere Schwierigkeit auf: die in dem Beobachtungszimmer stattfindenden Temperaturschwankungen von etwa  $6^{\circ}$  verhinderten, dieselbe Genauigkeit wie im Sommer zu erreichen; es konnte nur eine Genauigkeit von  $\frac{1}{2000}$ , also nur  $\frac{1}{20}$  der früheren erzielt werden. Als dann das Zimmer, in dem die Beobachtungen stattfanden, Tag und Nacht geheizt und dadurch die Temperaturschwankung auf die Hälfte, etwa  $3^{\circ}$  reducirt wurde, stieg die Genauigkeit auf etwa  $\frac{1}{4000}$ . Eine grössere Genauigkeit war, trotzdem der Widerstandskasten mit einer dicken, wärmeisolirenden Umhüllung versehen, und trotzdem die Temperatur in demselben bis auf  $\frac{1}{100}^{\circ}$  abgelesen wurde, nicht zu erlangen. Dass wirklich nur die Temperaturschwankungen die Ursache dieser Misserfolge waren, ging daraus hervor, dass wenn man Widerstandsbestimmungen ein und derselben Rolle, die zu derselben Zeit an verschiedenen Tagen gemacht waren, miteinander verglich, die Abweichungen viel geringer waren, als wenn man solche von verschiedenen Zeiten zusammenstellte. Inzwischen waren die Widerstandskästen aus Manganindraht fertig gestellt, wobei die gemachten Erfahrungen verwerthet wurden: der Manganindraht war 15 mal einer mehrstündigen Erhitzung von etwa  $120^{\circ}$  ausgesetzt und die Rollen waren sorgfältig paraffinirt. Die neuen Kästen bestanden aus 10 Rollen zu  $\frac{1}{10}$  S. E., 10 zu 1 S. E., 10 zu 10 S. E., 10 zu 100 S. E. und 10 Rollen zu 1000 S. E.: durch diese Anordnung wird die Aufstellung einer Correctionstafel sehr erleichtert, denn man hat nur die einzelnen Einheiten unter sich, und dann ihre Summe mit einer der nächst höheren Einheiten zu vergleichen.

Diese corrigirten Manganinwiderstandskästen wurden nun zu neuen Beobachtungsreihen — zwei davon sind in Tabellé II und III enthalten — benutzt. Es zeigte sich, dass trotz der noch immer vorhandenen Temperaturschwankungen dieselbe Genauigkeit wie früher im Sommer erreicht wurde und zwar mit noch geringerer Mühe, da es nicht nöthig war, die Temperatur des Kastens auf  $\frac{1}{100}^{\circ}$ , sondern nur auf  $\frac{1}{10}^{\circ}$  genau zu bestimmen. Aus den vorliegenden Beobachtungsreihen habe ich drei ausgewählt:

Tabelle I enthält die Ergebnisse einer 50 maligen  $1\frac{1}{2}$  stün-

digen Erhitzung eines 0,5 mm dicken Drahtes auf  $100^{\circ}$ , Tabelle II die einer 30 maligen  $1\frac{1}{2}$  stündigen Erhitzung eines nur 0,25 mm dicken Drahtes auf  $100^{\circ}$  und endlich Tabelle III die 20 malige  $2\frac{1}{2}$  stündige Erhitzung eines 0,5 mm dicken Drahtes auf etwa  $130^{\circ}$ .

Die Widerstände bei Zimmertemperatur sind auf  $20^{\circ}$ , die bei Erhitzung im Dampfapparat erhaltenen auf  $100^{\circ}$  reducirt worden.

Zur Berechnung des wahren Temperaturcoefficienten muss man die letzten Werthe der Tabelle benutzen, wo der Widerstand vor und nach einer Erhitzung sich nur sehr wenig verändert hat, auf diese Weise ergibt sich der Temperaturcoefficient zwischen  $20^{\circ}$  und  $100^{\circ}$  für den Draht I zu  $-0,0_4 220$ , für Draht II zu  $-0,0_4 212$ . Man erhält jedoch auch aus den früheren Werthen nur wenig von dem wahren abweichende Coefficienten, wenn man aus zwei aufeinander folgenden Widerständen bei  $20^{\circ}$  das Mittel nimmt, und diesen Werth als zugehörig zu dem dazwischenliegenden Widerstand bei  $100^{\circ}$  ansieht.

Tabelle 1.

Draht I vom Durchmesser 0,50 mm.

Datum	$W_{20}$ in S. E.	Differenz	Zahl der Erhitzung	$W_{100}$ in S. E.	Differenz
6. VII. 91	12,5927		1.	12,5278	
7. "	5492	0,0435	2.	5189	0,0089
7. "	5423	69	3.	5143	46
8. "	5378	45	4.	5107	37
8. "	5343	35	5.	5075	32
9. "	5302	41	6.	5044	31
9. "	5270	32	7.	5019	25
10. "	5255	15	8.	5014	5
10. "	5237	18	9.	4992	22
11. "	5220	17	10.	4979	13
11. "	5207	13	11.	4965	14
12. "	5194	13	12.	4951	14
13. "	5183	11	13.	4935	16
13. "	5164	19	14.	4917	18
14. "	5147	17	15.	4916	1
14. "	5145	2	16.	4907	9
15. "	5129	16	17.	4890	17
15. "	5114	15	18.	4871	19
16. "	5105	9	19.	4856	15
17. "	5087	18	20.	4854	2
17. "	5082	5	21.	4835	9
18. "	5072	10	22.	4833	2
		1			1

Datum	$W_{20}$ in S. E.	Differenz	Zahl der Erhitzung	$W_{100}$ in S. E.	Differenz
27. VII. 91	12,5071	0,0401	23.	12,4832	0,0001
27. "	5054	17	24.	4817	15
28. "	5049	5	25.	4817	0
28. "	5037	12	26.	4805	12
29. "	5031	6	27.	4801	4
29. "	5022	9	28.	4789	12
30. "	5016	6	29.	4786	3
31. VIII. 91	5015	1	30.	4779	7
31. "	5002	13	31.	4769	10
1. IX. 91	4985	17	32.	4769	0
3. "	4985	0	33.	4760	9
3. "	4981	4	34.	4751	9
4. "	4977	4	35.	4744	7
4. "	4970	7	36.	4737	7
5. "	4957	13	37.	4730	7
5. "	4954	3	38.	4722	8
6. "	4949	5	39.	4720	2
6. "	4946	3	40.	4716	4
7. "	4937	9	41.	4708	8
7. "	4937	0	42.	4705	3
8. "	4937	0	43.	4705	0
8. "	4924	13	44.	4697	8
9. "	4919	5	45.	4693	4
9. "	4914	5	46.	4687	6
10. "	4901	13	47.	4684	3
10. "	4900	1	48.	4679	5
11. "	4890	10	49.	4669	10
11. "	4890	0	50.	4667	2
12. "	4881	9			

Tabelle II.

Draht II vom Durchmesser 0,25 mm.

Datum	$W_{20}$ in S. E.	Differenz	Zahl der Erhitzung	$W_{100}$ in S. E.	Differenz
2. II. 92	21,4604	0,0702	1.	21,3548	0,0212
3. "	3902	223	2.	3336	136
3. "	3679	120	3.	3200	92
4. "	3559	86	4.	3108	76
4. "	3473	81	5.	3032	55
5. "	3392	51	6.	2977	52
6. "	3341	57	7.	2925	45
8. "	3284	51	8.	2880	40
8. "	3233	35	9.	2840	43
9. "	3198	42	10.	2797	26
9. "	3156	10	11.	2771	16
10. "	3146	40	12.	2755	34
10. "	3106	25	13.	2721	20
11. "	3081	18	14.	2701	27

Datum	$W_{20}$ in S. E.	Differenz	Zahl der Erhitzung	$W_{100}$ in S. E.	Differenz
12. II. 92	21,3063	0,0018	15.	21,2674	0,0027
12. "	3031	32	16.	2657	17
13. "	3012	19	17.	2637	20
13. "	2990	22	18.	2619	18
14. "	2973	17	19.	2596	23
14. "	2946	27	20.	2574	22
15. "	2926	20	21.	2555	19
15. "	2906	20	22.	2539	16
16. "	2895	11	23.	2524	15
16. "	2864	31	24.	2499	25
17. "	2860	4	25.	2495	4
17. "	2833	27	26.	2473	22
18. "	2821	12	27.	2460	13
11. III. 92	2803	18	28.	2431	29
11. "	2788	15	29.	2414	17
12. "	2772	16	30.	2406	8
12. "	2762	10			

Tabelle III.

Draht III vom Durchmesser 0,50 mm.

Datum	Zahl	Höhe	$W_{20}$ in S. E.	Differenz
	der Erhitzung			
20. II. 92			11,7019	
20. "	1.	130°	6198	0,0821
21. "	2.	130°	6085	113
22. "	3.	130°	5960	125
23. "	4.	130°	5906	54
24. "	5.	140°	5755	151
25. "	6.	130°	5725	30
26. "	7.	130°	5704	21
27. "	8.	130°	5674	30
28. "	9.	130°	5654	20
29. "	10.	130°	5627	27
1. III. 92	11.	130°	5602	25
2. "	12.	130°	5575	27
3. "	13.	135°	5530	45
4. "	14.	160° { sehr schwankend	5407	123
5. "	15.	130°	5389	18
6. "	16.	130°	5377	12
7. "	17.	130°	5347	30
8. "	18.	130°	5339	8
9. "	19.	130°	5323	16
10. "	20.	130°	5311	12

Aus den Tabellen folgt, dass regelmässig wiederholte Erhitzungen die Abnahme des Widerstandes einer Manganinrolle

bewirken. Diese Widerstandsänderung kann nun verschiedene Ursachen haben: erstens ist der Draht durch das Ziehen und Wickeln in einen Zwangszustand versetzt, der eine Erhöhung des Widerstandes bewirkt und dieser Zwangszustand wird durch die Erhitzung aufgehoben. Zweitens können durch die regelmässigen Erwärmungen in der ganzen Masse des Drahtes moleculare Umlagerungen entstehen und drittens endlich kann die Oberfläche durch die Erhitzungen chemisch verändert z. B. oxydirt<sup>1)</sup> werden. Was den ersten Punkt betrifft, so werden die grossen Veränderungen, die bei allen Drähten nach den ersten Erhitzungen eintreten, aller Wahrscheinlichkeit nach hervorgerufen von dem Aufhören des durch die mechanische Behandlung des Drahtes hervorgerufenen Spannungszustandes. Die weiteren kleinen, allmählich abnehmenden Veränderungen rühren, glaube ich, zum allergrössten Teil von molecularen Umlagerungen, und zum kleinsten, wenn überhaupt, von einer chemischen Aenderung der Oberfläche her. Für diese Ansicht sprechen folgende Gründe: würde die Oberflächenschicht chemisch verändert, so müsste bei gleichbleibenden äusseren Umständen die Dicke der Schicht bei Drähten von verschiedenem Durchmesser die gleiche bleiben und deshalb bei Drähten von kleinem Durchmesser die Veränderungen bedeutender sein, als bei solchen mit grösserem Durchmesser, weil bei den ersten die veränderte Schicht einen relativ grösseren Theil des ganzen Drahtes beträgt, als bei den letzteren. Bei dem Draht I vom Durchmesser 0,50 mm beträgt die Gesamtänderung 0,84 Proc. des ganzen Werthes, bei dem 0,25 mm dicken Draht II ebenfalls nur 0,86 Proc., es ist also kein Unterschied erkennbar. Bei Draht III beträgt die Veränderung allerdings 1,48 Proc.; dieselbe ist aber der höheren Erhitzung zuzuschreiben. Das Aussehen des erhitzten Drahtes ist ein wenig dunkler, als das des neuen Drahtes, aber dieses Dunklerwerden tritt schon ein beim Liegen an der Luft in gewöhnlicher Zimmertemperatur, und diese Veränderung ist lange nicht so bedeutend, wie der Unterschied zwischen einem frischen und einem alten Kupferdraht. Ferner wird die obige Ansicht unterstützt durch den Umstand, dass nach längerer Ruhepause, — bei Draht I nach der 22.

---

1) Feussner, *Electrotechnische Zeitschr.* 13. p. 99. 1892.



und 29. Erhitzung, bei Draht II nach der 27. Erhitzung —, die durch das Erwärmen hervorgerufenen Veränderungen grösser oder wenigstens regelmässiger zu werden scheinen, was bei der Annahme einer chemischen Aenderung der Oberfläche schwer zu erklären sein würde. Das wichtigste, was aus diesen Beobachtungen folgt, ist die Thatsache, dass es möglich ist, durch regelmässige, zweckmässig ausgeführte Erhitzungen den Widerstand eines Manganindrahtes allmählich immer weniger empfindlich gegen Temperaturänderungen zu machen, so dass er schliesslich fast constant bleibt: bis auf etwa  $\frac{1}{20000}$  seines Werthes bei einer Temperaturschwankung von  $80^{\circ}$ . Diese allmähliche Abnahme des Widerstandes bildet eine vollkommene Analogie zu der von Pernet beobachteten Erhöhung des Nullpunktes von Thermometern und der von Strouhal und Barus <sup>1)</sup> festgestellten Abnahme der Inconstanz des permanenten Magnetismus von Magnetstäben nach mehrfachem Erwärmen; man könnte deshalb diese Methode, durch regelmässige Erhitzungen die Unveränderlichkeit des Widerstandes einer Rolle zu erzeugen, ein „künstliches Altern“ der Widerstandsrolle nennen.

Zum Schluss fasse ich die gewonnenen Resultate kurz zusammen: Bei Verwendung von Manganindraht zu Widerstandsrollen (und wahrscheinlich auch bei Draht aus jeder andern Legirung) ist folgendes zu beachten:

1. Die Rollen müssen, um constant zu werden, etwa 30 mal einige Stunden lang einer Temperatur, die den Siedepunkt wenig übersteigt, etwa  $110^{\circ}$ , ausgesetzt werden; dadurch wird alle Feuchtigkeit sicher ausgetrieben und zugleich Oxydation der Oberfläche möglichst vermieden. Ausserdem ist es zweckmässig, die Rollen am Tage nur einmal zu erhitzen, so dass die Behandlung derselben etwa einen Monat dauert.

2. Die Rollen müssen, um das Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern, sorgfältig paraffinirt werden.

Königsberg i. Pr., Experim.-physik. Inst. März 1892.

---

1) Strouhal u. Barus, Wied. Ann. **20**. p. 662. 1883.