2. Ueber die thermische und elektrische Leitfähigkeit von Kupfer-Phosphor und Kupfer-Arsen; von A. Rietzsch.

(Auszug aus der Leipziger Dissertation.)

Im Jahre 1860 veröffentlichten Matthiessen und Holzm ann¹⁾ eine Arbeit über die elektrische Leitfähigkeit des reinen Kupfers und deren Verminderung durch Metalloide. Die Verfasser bringen da vor allem das merkwürdige Resultat, dass die elektrische Leitfähigkeit des reinen Kupfers durch geringe Zusätze von Phosphor und Arsen ganz bedeutend herabgemindert wird; sie geben, wenn man die elektrische Leitfähigkeit des Silbers = 100 setzt, die des reinen Kupfers zu 93,08 bei 18,9° an und finden, dass dieselbe durch einen Zusatz von 0,13 Proc. Phosphor bereits auf 67,67 und bei Zusatz von 2,5 Proc. auf 7,24 sinkt. Aehnliche Resultate ergeben sich für Kupfer-Arsen; die elektrische Leitfähigkeit ist hier für Kupfer mit 2,8 Proc. Arsen = 13,14 und bei Zusatz von 5,4 Proc. Arsen = 6,18.

Einige Jahre früher hatten G. Wiedemann und R. Franz²⁾ Untersuchungen über die Leitfähigkeit der Metalle für Electricität und Wärme angestellt und hatten das Gesetz aufgestellt und bestätigt, dass die Leitfähigkeit der Metalle für Wärme proportional ihrer elektrischen Leitfähigkeit sei. In einer späteren Arbeit³⁾ bestätigt G. Wiedemann dieses Gesetz für Legirungen. Neuere Untersuchungen⁴⁾ haben nun allerdings ergeben, dass das Wiedemann-Franz'sche Gesetz

1) A. Matthiessen u. M. Holzm ann, Pogg. Ann. **110**. p. 222. 1860.

2) G. Wiedemann u. R. Franz, Pogg. Ann. **89**. p. 497. 1853.

3) G. Wiedemann, Pogg. Ann. **108**. p. 393. 1859.

4) F. Kohlrausch, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1899. p. 711; W. Jaeger u. H. Diesselhorst, l. c. 1899. p. 719.

nicht streng ist; immerhin ist schon die annähernde Erfüllung auffallend, wenn man bedenkt, innerhalb welcher Grenzen die Leitfähigkeiten variiren.

Die vorliegende Arbeit soll nun untersuchen, *ob das Wiedemann-Franz'sche Gesetz annähernd wenigstens richtig bleibt für Verbindungen von Metallen mit Metalloiden*, speciell für Kupfer-Phosphor und Kupfer-Arsen.

Das zu untersuchende Material bestand aus gegossenen Stäben und Platten und war von der Giesserei von Gebrüder Köhler in Altenburg hergestellt worden. Die Stäbe wurden abgefraist und so alle auf den Durchmesser von ca. 5 mm gebracht; etwaige Gussfehler machten sich sofort beim Fraisen durch Zerbrechen des Stabes bemerkbar. Bei der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit zeigte es sich, dass die Stäbe sonst im allgemeinen gut homogen waren. Die Platten wurden abgehobelt und die homogensten Stücke ausgesägt und zur Messung benutzt. Der Phosphor- resp. Arsen-Gehalt wurde durch das Versuchslaboratorium von Hrn. Dr. Röhrig, sowie zum Teil im ersten chemischen Laboratorium der Universität unter Leitung des Hrn. Hofrat Dr. Guthzeit von den Herren Fritz Müller und Paul Wand bestimmt; ich bin diesen Herren zu grossem Danke verpflichtet. Bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit wurde dafür Sorge getragen, dass die Oberflächen des Kupfers und der Bronzen sämtlich die gleichen waren, was durch einen sehr dünnen, blanken Silberüberzug erreicht wurde; dieser wurde hergestellt durch ein Gemenge von Silbernitrat und weinsaurem Kali; bei der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit wurde diese Versilberung wieder beseitigt.

Im Folgenden soll zunächst die Bestimmung der thermischen, sodann der elektrischen Leitfähigkeit der Bronzen beschrieben werden.

Wärmeleitfähigkeit.

I. Stabmethode.

Es wird die relative Wärmeleitfähigkeit, d. h. das Verhältnis der inneren zur äusseren Wärmeleitfähigkeit nach Fourier durch die folgenden Betrachtungen abgeleitet:

Ist in einer Metallstange vom Querschnitt $= q$ und vom Umfang $= s$ ein stationäres Temperaturgefälle vorhanden und bestimmt man die Temperaturen t_0 , t_1 und t_2 irgend dreier, in gleichen Abständen $= d$ voneinander entfernter Punkte, so findet zwischen diesen Temperaturen die folgende Relation statt:

$$\frac{t_0 + t_2}{t_1} = e^{d \sqrt{\frac{\alpha \cdot s}{\lambda \cdot q}}} + e^{-d \sqrt{\frac{\alpha \cdot s}{\lambda \cdot q}}},$$

dabei ist λ die innere, α die äussere Leitfähigkeit der Stäbe.

Setzen wir in dieser Formel:

$$e^{d \sqrt{\frac{\alpha \cdot s}{\lambda \cdot q}}} = x \quad \text{und} \quad \frac{t_0 + t_2}{t_1} = c,$$

so ergibt sich:

$$x = \frac{c}{2} \pm \sqrt{\frac{c^2}{4} - 1},$$

wobei das obere Zeichen nur Sinn hat, da $x > 1$ sein muss.

Setzen wir nun

$$\sqrt{\frac{\alpha \cdot s}{\lambda \cdot q}} = y,$$

so folgt:

$$d \cdot y = \lg \text{nat } x = 2,3026 \cdot \log x,$$

wobei $\log x$ den Brigg'schen Logarithmus bedeuten soll. Wir erhalten also, wenn wir noch $(y/2,3026) = z$ setzen:

$$z = \frac{\log x}{d} = \frac{1}{2,3026} \sqrt{\frac{\alpha \cdot s}{\lambda \cdot q}},$$

Es ergibt sich daher:

$$\frac{\lambda}{\alpha} = \frac{q}{s} \cdot \frac{1}{z^2 (2,3026)^2}.$$

Der zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit benutzte Apparat ist derselbe, mit dem bereits Wiedemann und Franz¹⁾ ihre Messungen ausgeführt haben, und ist in folgender Weise gebaut:

1) G. Wiedemann u. R. Franz, Pogg. Ann. 89. p. 501. 1853.

Eine tubulirte Glasglocke, 50 cm lang, 16 cm im Durchmesser, ist auf einen 16 cm langen Cylinder = k von starkem Kupferblech luftdicht aufgekittet, dieser trägt an seinem der Glasglocke abgekehrten Ende einen 25 mm breiten und 12 mm dicken Ring von Messing, auf welchen eine gleichfalls 12 mm dicke Messingscheibe aufgeschliffen ist und durch mehrere Schrauben = $s s$ luftdicht aufgedrückt wird. Diese Messingscheibe trägt in ihrer Mitte eine Hülse = c von 9 mm Lichtweite, in die der ebenso starke, 45 cm lange Kupferstab = a , welcher an die zu untersuchenden Stäbe angelötet wurde, genau hineinpasst. Um die Stäbe nun auch an dem Tubulus = $d d$

Fig. 1.

Fig. 2.

des Glascylinders zu befestigen, wurde, da die zu untersuchenden Stäbe = x nur 13 cm lang waren, ein 9 mm dicker und 35 cm langer, reiner Kupferstab = z an den Bronzestab angelötet und durch einen Kork gehalten.

Um die auf diese Weise in der Axe der Glasglocke aufgespannten Stäbe zu erwärmen, wird auf dem Fortsatze von z ein 50 mm weiter und 8 cm langer Cylinder = w von Messingblech aufgeschoben, durch den beständig Wasserdampf strömt, der im Kolben = u entwickelt wird. Um den Erwärmungsapparat selbst vor Luftströmung zu schützen, ist der ganze Cylinder = w , sowie das Dampfzuleitungsrohr aus dem Kolben mit einer dicken Schicht Watte umwunden (Fig. 1).

Auf diese Weise teilt sich die Wärme des Wasserdampfes dem Kupferstab = z mit und durch diesen auch dem in der Glocke in z und a eingelöteten Bronzestab = x . Um nun die

Temperatur von x an verschiedenen Stellen genau bestimmen zu können, dient die folgende Vorrichtung: Die Messingscheibe ist oberhalb c durchbrochen und trägt dort ein 14 cm langes und 25 mm weites Messingrohr, das bei r in eine Stopfbüchse endigt. In dieser Stopfbüchse ist durch eine hölzerne Handhabe $= v$ ein 90 cm langes, in Centimeter geteiltes Messingrohr $= qq'$ verschiebbar; damit es die richtige Lage bewahre, ist es an seinem im Innern der Glasglocke gelegenen Ende q' mit einem kleinen Ringe versehen, der sich auf der in der Glasglocke befestigten Schiene $= c$ fortschieben lässt; letztere ist zwischen dem in der Glocke festgekitteten Messingreifen $= p$ und dem Kupfercylinder $= k$ ausgespannt. An dem Rohre $= qq'$ ist am Ende $= q'$ eine ziemlich starke Stahlfeder $= Z$ angebracht, die an ihrem unteren Ende das Thermoelement $= T$ trägt. An der Feder $= Z$ ist ein 30 mm langes und 16 mm breites Elfenbeinplättchen festgeschraubt, in das ein 20 mm langer und 10 mm breiter Einschnitt gemacht ist, in welchem das Thermoelement ausgespannt ist; der Einschnitt verjüngt sich an seiner offenen Seite bis zu einer Länge von 6 mm, damit immer dieselbe Stelle des Thermoelementes den Stab berührt. Unter der Lötstelle ist ferner noch der Elfenbeinzapfen $= z'$ angebracht, damit bei dem festen Andrücken des Elementes an den Stab dieses nicht zerreißen kann (Fig. 2). Das Thermoelement selbst besteht aus zwei aneinander gelöteten Eisen- und Neusilberdrähten von nur 0,5 mm Dicke; an den Enden dieser beiden Drähte sind die durch qq' zum Galvanometer führenden Kupferdrähte angelötet. Der ganze bisher beschriebene Apparat liegt in einem grossen Kasten $= A$ von Zinkblech, der mit Wasser von constanter Temperatur (15°C.) gefüllt ist. Aus diesem Kasten $= A$ ragt nur der zur Erwärmung der Stäbe dienende Teil und die Stopfbüchse heraus.

Da man durch diese Methode nur das Verhältnis der äusseren Wärmeleitfähigkeit $= \alpha$ zur inneren $= \lambda$ erhält, so wurde dafür gesorgt, dass erstere bei den Stäben constant blieb, was durch die oben (p. 404) beschriebene Versilberung erreicht wurde.

Nachdem ein Bronzestab auf die oben beschriebene Weise in den Apparat eingeführt und durch zweistündiges Heizen des

Erwärmungsapparates auf constante Temperatur gebracht worden war, wurde durch Umdrehen des Rohres $q\ q'$ um sich selbst das Thermoelement in Abständen von Centimeter zu Centimeter gegen den Stab gedrückt; nach kaum 6 Secunden hatte das Galvanometer eine constante Ablenkung erhalten. Nach Ablesung des Ausschlages wurde das Element wieder zurückgedreht, sodass der Rücken des Elfenbeinplättchens die Glaswand wieder berührte; durch dieses Verfahren wurde erreicht, dass die zweiten Lötstellen, d. h. die Stellen, an denen das Element an die zum Galvanometer führenden Drähte angelötet ist, eine stets constante Temperatur erhielten. Das Thermoelement wurde stets nur so fest an den Stab gedrückt, dass sich der Ausschlag nicht mehr vergrösserte, wenn es noch fester angedrückt wurde; es wurde also stets das Maximum des Ausschlages abgewartet. Jeder Stab wurde mehrere Male untersucht und aus diesen Untersuchungen das Mittel genommen; ebenso wurde das Thermoelement an jede Stelle 6—10 mal gedrückt und aus den Beobachtungen der Mittelwert genommen. Sämliche Stäbe wurden vom kalten Ende nach dem heissen zu untersucht.

In den folgenden Tabellen sind die nach der beschriebenen Methode gewonnenen Resultate eingetragen; überall giebt die erste Columne in Centimetern die Entfernung der Stellen der Stäbe, deren Temperatur beobachtet wurde, vom kalten Ende an gerechnet. In der zweiten Columne sind die beobachteten Ausschläge, in der dritten sind die Werte für z verzeichnet, mit deren Hülfe man das Verhältniss der inneren zur äusseren Wärmeleitfähigkeit berechnet. Es sollte z constant sein, falls die Wärmeleitfähigkeiten von der Temperatur unabhängig sind.

I. Reines Kupfer (Stab Nr. 0).

Das Kupfer war gezogen und chemisch rein; es wurden zwei Stäbe (Nr. 0 und Nr. 0') untersucht, von denen der erste (Nr. 0) einige Riefen hatte, die beim Ziehen entstanden waren. Er war nur blank polirt, nicht abgefraist und 5,495 mm dick; der zweite (Nr. 0') war abgefraist und hatte eine sehr gute Oberfläche; sein Durchmesser betrug 5,02 mm.

Erster Kupferstab (Nr. 0). Durchmesser = 5,495 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen.			Mittel aus 6 Beobachtungen.		
1.	194,0		1.	206,0	
2.	208,2	z	2.	220,0	z
3.	224,0	$d = 6 \text{ cm } 0,0225$	3.	241,5	$d = 6 \text{ cm } 0,0314$
4.	241,5	$d = 5 \text{ cm } 0,0220$	4.	265,5	$d = 5 \text{ cm } 0,0276$
5.	259,5	0,0208	5.	287,0	0,0289
6.	278,5	0,0212	6.	305,5	0,0346
7.	298,0	$d = 4 \text{ cm } 0,0260$	7.	327,0	$d = 4 \text{ cm } 0,0143$
8.	318,0	0,0217	8.	348,0	0,0206
9.	340,0	0,0188	9.	373,0	0,0290
10.	360,0	0,0197	10.	402,0	0,0366
11.	381,0	0,0190	11.	436,0	0,0401
12.	405,0	Mittel: 0,0213	12.	470,5	Mittel: 0,0292
13.	431,0		13.	510,5	

Zweiter Kupferstab (Nr. 0'). Durchmesser = 5,02 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen		Mittel aus 6 Beobachtungen		Mittel aus 6 Beobachtungen	
1.	188,4	z	205,0	z	206,0
2.	204,0	$d = 5 \text{ cm } 0,0244$	225,0	$d = 5 \text{ cm } 0,0217$	229,5
3.	220,6	0,0186	250,0	0,0148	253,0
4.	243,3	$d = 4 \text{ cm } 0,0218$	269,5	$d = 4 \text{ cm } 0,0237$	276,0
5.	264,6	0,0232	294,0	0,0219	301,0
6.	282,5	0,0202	318,0	0,0227	324,5
7.	304,5	0,0150	343,0	(0,0120)	348,0
8.	328,0	Mittel: 0,0205	368,0	Mittel: 0,0210	375,0
9.	351,5		397,0		402,0
10.	374,0		424,0		425,0
11.	399,0		451,0		452,0
12.	419,0		471,0		487,0

Wir erhalten hier für z zwei Werte, je nachdem wir den Mittelwert aus allen 5 Beobachtungsreihen oder nur aus den drei übereinstimmendsten nehmen und zwar wird $z = 0,0218$ oder $z = 0,0209$. Ich habe den ersten Wert der Berechnung zu Grunde gelegt, obwohl er der Mittelwert von fünf schlecht übereinstimmenden Beobachtungsreihen ist; wie sich später zeigen wird, ist der Einfluss nicht so bedeutend, ob man den

ersten oder zweiten Wert von z nimmt, als es für den ersten Anblick zu sein scheint. Die Beobachtungsreihen selbst sind an verschiedenen Tagen gemacht worden und es mag die Verschiedenheit der Reihen ihren Grund darin haben, dass der Stab nicht absolut genau in der Axe der Glasglocke war und sich beim Andrücken des Thermoelementes etwas durchbog, sodass er nicht immer von derselben Stelle des Thermoelementes berührt wurde.

II. Kupfer mit 0,34 Proc. Phosphor (Stab Nr. 1).

Durchmesser = 5,13 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen.			Mittel aus 4 Beobachtungen.		
1.	93,0	z	1.	97,9	z
2.	122,0	$d = 5 \text{ cm } 0,0458$	2.	120,0	$d = 5 \text{ cm } 0,0429$
3.	145,9	0,0459	3.	135,6	0,0446
4.	173,4	$d = 4 \text{ cm } 0,0382$	4.	160,7	$d = 4 \text{ cm } 0,0393$
5.	201,5	0,0435	5.	189,6	0,0418
6.	230,5	0,0498	6.	217,4	0,0427
7.	259,5	0,0476	7.	244,1	0,0456
8.	296,6	Mittel: 0,0451	8.	273,0	Mittel: 0,0428
9.	330,1		9.	306,4	
10.	376,4		10.	347,4	
11.	423,6		11.	390,9	
12.	477,8		11.	434,1	

Mittel aus beiden Beobachtungsreihen: $z = 0,0440$.

III. Kupfer mit 0,87 Proc. Phosphor (Stab Nr. 2).

Durchmesser = 5,03 mm.

Mittel aus 12 Beobachtungen.		
1.	60,0	z
2.	87,1	$d = 5 \text{ cm } 0,0555$
3.	114,6	$d = 4 \text{ cm } 0,0495$
4.	141,7	0,0556
5.	170,7	0,0622
6.	201,4	Mittel: 0,0557
7.	232,0	
8.	271,0	
9.	317,5	
10.	369,1	
11.	427,7	

IV. Kupfer mit 1,79 Proc. Phosphor (Stab Nr. 3).

Durchmesser = 5,34 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen.

1.	54,5	α
2.	89,0	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0595
3.	121,5	0,0615
4.	156,0	$d = 3 \text{ cm}$ 0,0570
5.	193,5	0,0607
6.	238,0	0,0571
7.	282,0	0,0648
8.	332,5	Mittel: 0,0601
9.	392,0	
10.	465,5	

V. Kupfer mit 2,08 Proc. Phosphor (Stab Nr. 4).

Durchmesser = 5,37 mm.

Mittel aus 8 Beobachtungen.

1.	24,3	α
2.	42,9	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0730
3.	63,8	0,0731
4.	84,8	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0627
5.	109,5	0,0714
6.	133,7	0,0742
7.	163,7	0,0770
8.	195,0	Mittel: 0,0719
9.	232,2	
10.	284,5	
11.	343,1	
12.	407,4	

Mittel aus 8 Beobachtungen.

1.	24,7	α
2.	44,4	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0723
3.	65,3	0,0736
4.	87,5	$d = 3 \text{ cm}$ 0,0727
5.	112,8	0,0696
6.	140,1	0,0745
7.	172,8	0,0764
8.	207,8	Mittel: 0,0732
9.	252,8	
10.	307,9	

Mittel aus beiden Beobachtungsreihen: $\alpha = 0,0725$.

VI. Kupfer mit 2,35 Proc. Phosphor (Stab Nr. 5).

Durchmesser = 5,38 mm.

Mittel aus 14 Beobachtungen.

1.	24,0	
2.	40,4	α
3.	56,4	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0808
4.	78,5	0,0806
5.	100,5	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0803
6.	125,5	0,0825
7.	153,4	0,0826
8.	188,5	0,0820
9.	234,5	Mittel: 0,0815
10.	286,6	
11.	343,5	
12.	411,3	

VII. Kupfer mit 5,25 Proz. Phosphor (Stab Nr. 6).

Durchmesser = 5,19 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen.			Mittel aus 6 Beobachtungen.		
1.	9,4		1.	5,0	
2.	23,4	α	2.	15,4	α
3.	35,5	$d = 5 \text{ cm}$ 0,1111	3.	30,0	$d = 5 \text{ cm}$ 0,1160
4.	53,4	0,1060	4.	45,0	0,1112
5.	71,5	$d = 4 \text{ cm}$ 0,1024	5.	63,0	$d = 4 \text{ cm}$ 0,1092
6.	90,2	0,1103	6.	82,8	0,1137
7.	120,9	0,1094	7.	110,2	0,1171
8.	158,4	0,1045	8.	144,7	0,1117
9.	202,0	Mittel: 0,1073	9.	190,3	Mittel: 0,1132
10.	258,4		10.	249,6	
11.	339,9		11.	331,5	
12.	422,0		12.	411,6	

Mittel aus beiden Beobachtungsreihen: $\alpha = 0,1102$.

VIII. Kupfer mit 1,04 Proc. Arsen (Stab Nr. 1').

Durchmesser = 5,28 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen.			Mittel aus 6 Beobachtungen.		
1.	101,9		1.	103,6	
2.	129,3	α	2.	132,1	α
3.	154,9	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0376	3.	157,6	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0358
4.	182,5	0,0452	4.	184,6	0,0415
5.	209,8	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0336	5.	212,4	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0312
6.	240,6	0,0371	6.	240,9	0,0383
7.	272,0	0,0392	7.	270,8	0,0417
8.	302,9	0,0505	8.	303,0	0,0443
9.	337,9	Mittel: 0,0405	9.	338,9	Mittel: 0,0388
10.	380,2		10.	380,0	
11.	425,0		11.	424,5	
12.	490,0		12.	472,5	

Mittel aus beiden Beobachtungsreihen: $\alpha = 0,0397$.

IX. Kupfer mit 1,80 Proc. Arsen (Stab Nr. 2').

Durchmesser = 5,01 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen.			Mittel aus 6 Beobachtungen.		
1.	79,4	α	1.	64,0	α
2.	109,7	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0460	2.	88,0	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0467
3.	136,9	0,0550	3.	108,3	0,0497
4.	171,1	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0423	4.	136,5	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0387
5.	212,4	0,0394	5.	171,7	0,0434
6.	250,2	0,0547	6.	201,5	0,0485
7.	278,7	0,0564	7.	230,1	0,0536
8.	322,6	Mittel: 0,0490	8.	260,6	Mittel: 0,0468
9.	378,1		9.	301,4	
10.	424,0		10.	347,6	
11.	492,6		11.	398,6	
12.	563,2		12.	449,5	

Mittel aus beiden Beobachtungsreihen: $\alpha = 0,0479$.

X. Kupfer mit 2,66 Proc. Arsen (Stab Nr. 3').

Durchmesser = 5,24 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen.			Mittel aus 6 Beobachtungen.		
1.	54,3	α	1.	54,9	α
2.	76,5	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0582	2.	80,5	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0578
3.	101,4	0,0575	3.	106,6	0,0600
4.	127,0	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0517	4.	135,0	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0539
5.	154,4	0,0562	5.	165,2	0,0548
6.	183,4	0,0598	6.	199,4	0,0604
7.	217,1	0,0586	7.	234,0	0,0610
8.	253,7	Mittel: 0,0570	8.	274,4	Mittel: 0,0580
9.	292,2		9.	317,1	
10.	340,5		10.	370,1	
11.	398,0		11.	435,6	
12.	456,2		12.	502,8	

Mittel aus beiden Beobachtungsreihen: $\alpha = 0,0575$.

XI. Kupfer mit 3,00 Proc. Arsen (Stab Nr. 4').

Durchmesser = 5,18 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen.			Mittel aus 6 Beobachtungen.		
1.	49,0	α	1.	45,9	α
2.	75,0	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0572	2.	70,0	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0597
3.	100,1	0,0584	3.	93,7	0,0579
4.	127,6	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0575	4.	119,6	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0604
5.	154,9	0,0569	5.	151,2	0,0577
6.	189,5	0,0590	6.	186,1	0,0571
7.	223,7	0,0585	7.	223,9	0,0565
8.	263,4	Mittel: 0,0579	8.	263,8	Mittel: 0,0582
9.	305,2		9.	304,5	
10.	357,2		10.	356,0	
11.	415,1		11.	417,6	
12.	477,4		12.	481,0	

Mittel aus beiden Beobachtungsreihen: $\alpha = 0,0581$.

XII. Kupfer mit 5,02 Proc. Arsen (Stab Nr. 5').

Durchmesser = 5,08 mm.

Mittel aus 6 Beobachtungen.			Mittel aus 6 Beobachtungen.		
1.	8,0	α	1.	11,0	α
2.	23,0	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0964	2.	26,0	$d = 5 \text{ cm}$ 0,0947
3.	38,6	0,1011	3.	41,4	0,0976
4.	55,0	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0844	4.	57,4	$d = 4 \text{ cm}$ 0,0887
5.	74,5	0,0919	5.	75,6	0,0920
6.	96,0	0,1037	6.	98,1	0,0980
7.	118,5	0,1044	7.	123,7	0,1012
8.	149,6	Mittel: 0,0970	8.	154,1	Mittel: 0,0954
9.	188,3		9.	193,5	
10.	242,0		10.	245,0	
11.	315,0		11.	313,8	
12.	393,5		12.	394,6	

Mittel aus beiden Beobachtungsreihen: $\alpha = 0,0962$.

In der folgenden Tabelle sind die Werte von α , λ/α , s/q und den Durchmessern in Millimetern = D , die die Berechnung für die einzelnen Stäbe ergab, eingetragen:

Stab	α	D	$\frac{s}{q}$	$\frac{\lambda}{\alpha}$	Procentgehalt an P oder As
Nr. 0	0,0218	5,21 ¹⁾	0,7678	304,14	0,00 Proc. P
„ 1	0,0440	5,13	0,7797	76,06	0,34
„ 2	0,0557	5,03	0,7952	48,36	0,87
„ 3	0,0601	5,34	0,7491	39,11 (31,0)	1,79
„ 4	0,0725	5,37	0,7449	26,71	2,08
„ 5	0,0815	5,38	0,7435	21,13	2,35
„ 6	0,1102	5,19	0,7707	11,96	5,25
„ 1'	0,0397	5,28	0,7576	90,85	1,04 Proc. As
„ 2'	0,0479	5,01	0,7984	65,74	1,80
„ 3'	0,0575	5,24	0,7634	43,56	2,66
„ 4'	0,0581	5,18	0,7722	43,22	3,00
„ 5'	0,0962	5,08	0,7874	16,05	5,02

Aus der Tabelle ergibt sich ein stetiges Abnehmen der Leitfähigkeiten $= \lambda$ mit wachsendem Phosphor- bez. Arsen-Gehalt. Trägt man die Resultate graphisch ein, so zeigt der Stab Nr. 3 eine Abweichung im glatten Verlauf der Curve. Aus der Curve würde sich der in Klammern beigefügte Wert ergeben. Ich halte diesen für den wahrscheinlicheren Wert von λ/α , während die beobachteten Störungen vielleicht durch Inhomogenität dieses Stabes hervorgebracht sind.

Da es im Folgenden immer nur auf die Verhältnisse der inneren Wärmeleitfähigkeiten der Stäbe ankommt, so ist es bequem, alle Zahlen auf den Wert $\lambda:\alpha=100$ zu reduciren. Man erhält dann folgende Tabelle:

Stab	$\lambda:\alpha$	Stab	$\lambda:\alpha$
Nr. 0	100	Nr. 0	100
„ 1	25	„ 1'	30
„ 2	16	„ 2'	21,6
„ 3	14 (10,2)	„ 3'	14,3
„ 4	9	„ 4'	14,2
„ 5	7	„ 5'	5,3
„ 6	4		

Die Resultate werden durch die Curven λ Figg. 5 und 6, p. 425 graphisch dargestellt, wobei in Fig. 5 für den Stab 3 der in Klammern gesetzte Wert benutzt ist.

1) Hier ist der mittlere Durchmesser der beiden reinen Kupferstäbe Nr. 0 und Nr. 0' genommen.

II. Plattenmethode.

Um eine gute Controle über die erlangten Resultate der Wärmeleitfähigkeit zu haben, bediente ich mich ferner der Voigt'schen Isothermenmethode¹⁾; zu diesem Zwecke hatte ich mir gleichzeitig mit den Stäben Platten von denselben Legirungen wie diese giessen lassen.

Die Theorie dieser Methode sagt aus, dass die Leitfähigkeiten λ_1 und λ_2 zweier Substanzen 1 und 2, die in einer Grenzlinie = s zusammenstossen, sich verhalten wie die Tangenten der Winkel, welche die Isothermen in jeder der Substanzen mit der Grenzlinie = s bilden.

Fig. 3.

Zweckmässig lässt man die beiden Substanzen eine rechteckige Doppelplatte zusammensetzen (Fig. 3). Ist abc eine Isotherme, wie sie z. B. als Schmelzcurve eines geeigneten Wachsüberzuges sichtbar gemacht werden kann, so ist also:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi_2}.$$

Um das Verhältnis der Leitfähigkeiten möglichst gut bestimmen zu können, war das Seitenverhältnis der Platten ungefähr dem Wärmeleitfähigkeitsverhältnis gleich gemacht worden²⁾; die einzelnen Platten wurden so zusammengestellt: reines Kupfer wurde mit der bestleitenden Phosphor- bez. Arsen-Bronze, diese mit der nächstbestleitenden etc. verbunden und das Tangentenverhältnis bestimmt. Bei dieser Methode ist als Nachteil zu bedenken, dass sich bei den Beobachtungen an der ersten Platte (Nr. 0 mit Nr. 1) gemachte Beobachtungsfehler zu denen an der zweiten Platte etc. addiren; dieser Nachteil wird aber durch das günstigere Winkelverhältnis aufgehoben, welches solche der Reihe nach zusammengesetzte Platten bieten. Verbunden wurden die Platten durch ein möglichst feines Zinnlot und dann gut polirt; war dieses Lot nicht fein genug, was sich sofort dadurch bemerkbar

1) W. Voigt, Wied. Ann. **60**. p. 350ff. 1897.

2) W. Voigt, Wied. Ann. **64**. p. 97. 1898.

machte, dass die Isothermen von zwei Punkten der Diagonale ausgingen, so wurde es erneuert.

Eine so hergestellte Doppelplatte wurde nun mit einem frischen Gemisch von absolutem Alkohol und Elaidinsäure (am besten war: 5 ccm abs. Alkohol und 0,35 g Elaidinsäure) stark mit einem Pinsel befeuchtet und dann stark, aber möglichst gleichmässig angeblasen, sodass der Alkohol schnell verdunstete und sich möglichst kleine Elaidinsäurekrystalle bilden konnten; während dieses Verfahrens lag die Platte auf einem mit Papier belegten Holzblock; an den Stellen, wo die Platte nicht auf dem Papier lag, bildeten sich helle Flecke aus und der Ueberzug musste erneuert werden. Diese Platte wurde nun mit der kurzen Seite des besser leitenden Materiales an einen auf ca. 100° C. erhitzten, ebenfalls gut polirten Kupferblock angelegt und wenn die Elaidinsäure bis zu einem bestimmten Punkte der Diagonale abgeschmolzen war, auf einer dicken, ebenen Eisenplatte schnell abgekühlt. Durch dieses Verfahren wurden Isothermen auf die Platte aufgezeichnet, die an Schärfe nichts zu wünschen übrig liessen und deren Knickungswinkel zur Diagonale sehr genau bestimmt werden konnten. Eine Platte mit solchem Isothermenpaar hat zu beiden Seiten desselben völlig verschiedenes Aussehen: soweit die Wärme in ihr sich fortgepflanzt hat, ist die Elaidinsäure scheinbar beinahe gänzlich verschwunden, man sieht eine blanke Metallfläche; wo die Wärme keinen Einfluss hatte, ist die Platte weiss und hat das Aussehen, als wäre sie bereift.

Bei den folgenden Beobachtungen sind die Winkel φ_1 und φ_2 auf jeder Platte an drei verschiedenen Stellen, in der Mitte und je einer gleich weit rechts und links davon, je 12 mal gemessen worden, so dass also das Tangentenverhältnis aus diesen 36 beobachteten Isothermen mit hinreichender Sicherheit angegeben werden kann. Bemerken will ich hier noch, dass die endgültige Feststellung der Isothermen und der Diagonale stets einer je zehnmaligen Einstellung des Fadenskreuzes bedurfte.

Zur Beobachtung selbst ward der drehbare Tisch eines Polarisationsapparates benutzt, dessen Nicols entfernt waren und bei dem das Mikroskop durch ein Fernrohr ersetzt war, welches eine ungefähr vierfache Vergrösserung gewährte.

Es wurden folgende Platten benutzt:

Reines Kupfer (gegossen)	Platte Nr. 0
Kupfer mit 0,30 Proc. Phosphor	„ „ 1
„ „ 0,76 „ „	„ „ 2
„ „ 1,19 „ „	„ „ 3
„ „ 1,56 „ „	„ „ 4
„ „ 1,73 „ „	„ „ 5
„ „ 3,15 „ „	„ „ 6
Kupfer mit 1,99 Proc. Arsen	Platte Nr. 1'
„ „ 2,78 „ „	„ „ 2'
„ „ 4,83 „ „	„ „ 3'

Es ergaben sich folgende Resultate:

Phosphor-Kupfer.

1. Platte Nr. 0 mit Nr. 1 combinirt:

	links	Mitte	rechts	Mittel
$\frac{\text{tg } \varphi_0}{\text{tg } \varphi_1} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1} =$	2,36	1,96	1,78	2,03

Dieselbe Platte von neuem gelötet, um zu sehen, was das Lot ausmacht:

	links	Mitte	rechts	Mittel
$\frac{\text{tg } \varphi_0}{\text{tg } \varphi_1} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1} =$	2,16	1,97	1,79	1,97

Für dieselbe Platte ergab sich als Mittelwert von 12 Beobachtungen, die an beliebigen Stellen gemacht worden waren:

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_1} = \frac{\text{tg } \varphi_0}{\text{tg } \varphi_1} = 2,01.$$

2. Platte Nr. 1 mit Platte Nr. 2:

	links	Mitte	rechts	Mittel
$\frac{\text{tg } \varphi_1}{\text{tg } \varphi_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} =$	2,03	2,08	2,02	2,04

3. Platte Nr. 2 mit Platte Nr. 3:

$\frac{\text{tg } \varphi_2}{\text{tg } \varphi_3} = \frac{\lambda_2}{\lambda_3} =$	1,51	1,36	1,36	1,41

4. Platte Nr. 3 mit Platte Nr. 4:

$\frac{\text{tg } \varphi_3}{\text{tg } \varphi_4} = \frac{\lambda_3}{\lambda_4} =$	1,27	1,26	1,36	1,30

5. Platte Nr. 4 mit Platte Nr. 5:

	links	Mitte	rechts	Mittel
$\frac{\text{tg } \varphi_4}{\text{tg } \varphi_5} = \frac{\lambda_4}{\lambda_5} = 1,22$	1,22	1,18	1,26	1,22

6. Platte Nr. 5 mit Platte Nr. 6:

$\frac{\text{tg } \varphi_5}{\text{tg } \varphi_6} = \frac{\lambda_5}{\lambda_6} = 1,82$	1,82	1,82	1,82 ₅	1,82

Arsen-Kupfer.

7. Platte Nr. 0 mit Platte Nr. 1':

	links	Mitte	rechts	Mittel
$\frac{\text{tg } \varphi_0}{\text{tg } \varphi_{1'}} = \frac{\lambda_0}{\lambda_{1'}} = 3,07$	3,07	2,48	3,22	2,92

8. Platte Nr. 1' mit Platte Nr. 2':

$\frac{\text{tg } \varphi_{1'}}{\text{tg } \varphi_{2'}} = \frac{\lambda_{1'}}{\lambda_{2'}} = 1,44$	1,40	1,43	1,42

9. Platte Nr. 2' mit Platte Nr. 3':

$\frac{\text{tg } \varphi_{2'}}{\text{tg } \varphi_{3'}} = \frac{\lambda_{2'}}{\lambda_{3'}} = 2,51$	2,39	2,46	2,45

Setzt man nun die Leitfähigkeit des reinen Kupfers gleich 100, so ergeben sich aus obigen Resultaten folgende Leitfähigkeiten der Legirungen:

Phosphor—Kupfer:					λ	Arsen—Kupfer:					λ
Platte	Nr.	0	.	.	100	Platte	Nr.	0	.	.	100
"	"	1	.	.	49,8	"	"	1'	.	.	34,3
"	"	2	.	.	24,4	"	"	2'	.	.	24,1
"	"	3	.	.	17,3	"	"	3'	.	.	9,8
"	"	4	.	.	13,3						
"	"	5	.	.	10,9						
"	"	6	.	.	6,0						

Die Resultate sind graphisch dargestellt in den Curven λ auf Figg. 7 und 8, p. 425. Dass diese Curven nicht mit den obigen Curven λ auf Figg. 5 und 6 zusammenfallen, hat wahrscheinlich darin seinen Grund, dass der Kupferstab gezogen,

während die reine Kupferplatte gegossen war; ferner wird auch die verschiedene Bearbeitung der Stäbe und Platten, erstere waren abgefräist, letztere abgehobelt, nicht ohne Einfluss auf das Resultat gewesen sein.

Zur Controle wurde noch combinirt:

10. Platte Nr. 0 mit Platte Nr. 3'. Es ergab sich hier:

	links	Mitte	rechts	Mittel
$\frac{\text{tg } \varphi_0}{\text{tg } \varphi_3} = \frac{\lambda_0}{\lambda_3} =$	8,86	7,89	9,11	8,62

Dass dieser Wert so schlecht mit dem durch die aufeinander folgenden Beobachtungen (Nr. 0 mit Nr. 1'), (Nr. 1' mit Nr. 2'), (Nr. 2' mit Nr. 3') gefundenen Wert 10,17 übereinstimmt, wird wohl ohne Zweifel nur von dem ungünstigen Winkelverhältnis

$$\varphi_0 = 67^\circ \text{ bis } 73^\circ, \quad \varphi_3' = 14^\circ \text{ bis } 18^\circ$$

herrühren.

Es ist zu bemerken, dass die Resultate für die Wärmeleitfähigkeit der Arsenplatten ziemlich unsicher sind und wesentlich ungenauer als die Resultate, welche an den Stäben und den Phosphorplatten gewonnen wurden, weil schon der Sprung in der Wärmeleitfähigkeit des reinen Kupfers und der Platte Nr. 1' zu gross war. Leider war eine Platte, die einen geringeren Procentgehalt an Arsen hatte, als die Platte Nr. 1', zu diesen Messungen gänzlich untauglich, da sie zu grosse Gussblasen hatte.

Elektrische Leitfähigkeit.

Zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit der Stäbe und Platten bediente ich mich einer Nullmethode. Die Spulen eines Thomson'schen Galvanometers sind gegeneinander geschaltet und liegen im Nebenschluss; die eine Spule ist stets mit dem reinen Kupferstab (Platte), die andere mit der zu untersuchenden Bronze verbunden. Der Nebenschluss wurde für jeden Stab durch eine Ebonitklemme von geeigneter Form bewirkt.

Der Kupferstab (Platte) und der zu untersuchende Bronzestab (Platte) lagen im Hauptschluss, sie waren durch einen ebenso starken Draht, als der Zuleitungsdraht war, verbunden. Erst hatte ich beide Stäbe direct aneinander gelötet, das gab aber starke Störungen, da sich die Lötstellen, an denen die Zuleitungsdrähte einmündeten und die eine Verbindungs-lötstelle der Stäbe durch den elektrischen Strom ungleich erwärmten und abkühlten, was thermoelektrische Strömungen zur Folge hatte; diese wurden durch den dünnen Verbindungsdraht vermieden, da jetzt vier gleiche Lötstellen vorhanden waren. Durch den Hauptstromkreis wurde ein Strom von 4 Amp. geschickt, der einer Accumulatorenbatterie entnommen, also fast constant war. In dem Nebenschlusskreise, der von der zu untersuchenden Bronze ausging, war ein Stöpselrheostat eingeschaltet; der ganze Aufbau war demnach der nachstehende (vgl. Fig. 4).

Beobachtet (bez. interpolirt) wurde der Widerstand w_0 , welcher im Rheostaten R die Nulllage des Galvanometers G herbeiführte.

Während die Klemme, in der der reine Kupferstab (Platte) lag, immer in derselben Lage liegen blieb, wurde die, in der der Bronzestab (Platte) befestigt war, nach jeder Untersuchung ver-

schoben und der Widerstand von neuem gemessen; es wurden diese mehrfachen Untersuchungen gemacht, um die Homogenität der Stäbe (Platten) zu controliren. Im ganzen wurde der Nullwiderstand $= w_0$ für jeden Bronzestab 4 mal, für jede Bronzeplatte, da sie kürzer als die Stäbe waren, 3 mal gemessen und aus diesen Messungen das Mittel gezogen.

In der beistehenden Tabelle sind die Nullwiderstände $= w_0$, welche erhalten wurden, falls der Strom an verschiedenen Stellen des Stabes (Platte) abgezweigt wurde, und die Querschnitte $= q$ der Stäbe und Platten verzeichnet.

Fig. 4.

G = Galvanometer. S_1 und S_2 = dessen Spulen. R = Rheostat. r_1 = Kupferstab. r_2 = Bronzestab. W = Stromwender. A = Accumulatorenbatterie.

A. Stäbe.							
Nr.	q	w_0					Mittel
0	0,198 qcm	—	—	—	—	—	—
1	0,207 „	3,65 Ω	3,62 Ω	3,59 Ω	3,55 Ω	3,60 Ω	
2	0,199 „	9,08	9,08	9,31	9,75	9,29	
3	0,224 „	14,16	14,29	14,32	—	14,26	
5	0,227 „	18,92	18,88	18,87	18,75	18,86	
6	0,212 „	39,30	39,15	39,37	39,17	39,25	
1'	0,219 „	3,28	3,36	3,31	3,26	3,30	
2'	0,197 „	7,06	7,18	7,35	7,44	7,25	
3'	0,216 „	9,92	9,82	9,86	9,91	9,88	
4'	0,211 „	12,25	12,23	12,13	12,23	12,21	
5'	0,203 „	35,20	34,47	34,21	34,00	34,47	

B. Platten.						
Nr.	q	w_0				Mittel
0	0,0413 qcm	—	—	—	—	—
1	0,0453 „	1,22 Ω	1,19 Ω	1,20 Ω	1,21 Ω	
2	0,0520 „	3,97	3,85	3,80	3,87	
3	0,0514 „	6,58	6,49	6,45	6,51	
4	0,0500 „	8,63	8,69	8,68	8,67	
5	0,0550 „	8,19	8,24	8,13	8,19	
6	0,0430 „	23,67	24,74	25,08	24,49	
1'	0,0465 „	—	2,99	2,97	2,98	
3'	0,0441 „	20,74	20,70	20,43	20,62	

Bemerken will ich hier noch, dass bei der Stromzuführung durch die Platten die Platinspitzen, welche zum Nebenschluss führten, mindestens 1 cm vom Zuleitungsdraht entfernt aufgesetzt wurden, nachdem ich mich vorher mit Hülfe einer kleinen Klemme mit nur 2 cm Spitzenabstand überzeugt hatte, dass es in dem Bereiche, je 1 cm rechts und links vom Ende der Platte entfernt, gleichgültig war, wo die Platinspitzen aufgesetzt wurden; selbstverständlich wurde der Platinspitzenabstand möglichst parallel der Längsaxe der Platte gemacht.

Nachdem nun alle diese Widerstände bestimmt waren, bedurfte es noch mehrerer anderer Bestimmungen, deren Resultate mit in Rechnung zu ziehen sind; es mussten noch die Widerstände der Galvanometerspulen, der Zuleitungsdrähte und noch eine Galvanometer-Constante bestimmt werden, die sich aus der Ungleichheit der beiden Spulen ergab.

Was die Bestimmung des Gesamtwiderstandes des Galvanometers, sowie der einzelnen Spulen betraf, so musste ich mich der Wheatstone'schen Brücke bedienen; als Untersuchungs-galvanometer benutzte ich ein G. Wiedemann'sches. Es ergab sich:

Gesamtwiderstand	= 5,890 Ω
Widerstand der rechten Spule	= 3,000 „
Widerstand der linken Spule	= 2,895 „

Dabei ist noch zu bemerken, dass die rechte Spule stets mit dem reinen Kupfer-, die linke mit dem Bronze-Stab (Platte) verbunden war.

Der Widerstand der Zuleitungsdrähte und der Klemmen wurde auch mit Hilfe der Wheatstone'schen Brücke gemessen; die Galvanometerspulen wurden dabei hinter einander geschaltet. Es ergab sich für die Zuleitungsdrähte und Klemme der rechten Spule ein Widerstand von 0,1081 Ohm, für die der linken ein solcher von 0,1191 Ohm. Wir haben demnach in sämtlichen Rechnungen, wo der Widerstand der Spulen vorkommt, zu diesen den Widerstand der Leitung addirt und erhalten:

für die rechte Spule = g_1 den Widerstand = w_1	= 3,108 Ω
für die linke Spule = g_2 den Widerstand = w_2	= 3,014 Ω .

Wenn die beiden Spulen von demselben Strom durchflossen wurden, so ergab sich nicht derselbe Ausschlag. Durch besondere Versuche wurde festgestellt, dass die Spule 2 im Verhältnis $k:1$ stärker wirkte, als die Spule 1. Es wurde gefunden $k=1,18$ für Stäbe; bei der Untersuchung der Platten musste diese Constante, da das Galvanometer anders aufgestellt worden war, nochmals bestimmt werden, es ergab sich $k=1,21$.

Für den Ausschlag Null muss also sein:

$$i_1 = k \cdot i_2,$$

falls i_1 und i_2 die Ströme in den Spulen 1 und 2 sind.

Nennt man die zu messenden Widerstände (vgl. Fig. 4) r_1 und r_2 , so ergibt eine einfache Rechnung, da die r_1 und r_2 gegen die w_1 und w_2 zu vernachlässigen waren¹⁾

$$\frac{r_1}{r_2} = k \cdot \frac{w_1}{w_2 + w_0}.$$

1) Beim reinen Kupferstab war der Widerstand = 0,000073 Ω , bei der reinen Kupferplatte war er = 0,00027 Ω .

Nennt man nun die Leitfähigkeiten des rechten Stabes (Platte) = σ_0 , die des linken = σ , ferner l_1 und l_2 die Distanzen der Abzweigstellen in beiden Stäben (Platten) [$l_1 = 9,96$ cm, $l_2 = 6,95$ cm für die Stäbe, $l_1 = 7,75$ cm, $l_2 = 5,20$ cm für die Platten], so folgt:

$$r_1 = \frac{l_1}{q_1 \cdot \sigma_0}, \quad r_2 = \frac{l_2}{q_2 \cdot \sigma}, \quad \text{d. h.} \quad \frac{\sigma}{\sigma_0} = k \cdot \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{w_1}{w_2 + w_0}.$$

Nach dieser Formel berechnet, wurden die folgenden Werte erhalten:

A. Stäbe.

1. Phosphor-Kupfer.

Nr. 1	$\frac{\sigma}{\sigma_0} = 0,3665$
„ 2	„ = 0,2055
„ 3	„ = 0,1299
„ 5	„ = 0,1011
„ 6	„ = 0,0562

2. Arsen-Kupfer.

Nr. 1'	$\frac{\sigma}{\sigma_0} = 0,3622$
„ 2'	„ = 0,2482
„ 3'	„ = 0,1807
„ 4'	„ = 0,1566
„ 5'	„ = 0,0661

Anmerkung. Der Stab Nr. 4 war bei einer Wärmeleitfähigkeitsuntersuchung zerbrochen.

B. Platten.

1. Phosphor-Kupfer.

Nr. 1'	$\frac{\sigma}{\sigma_0} = 0,5451$
„ 2'	„ = 0,2910
„ 3'	„ = 0,2130
„ 4	„ = 0,1785
„ 5	„ = 0,1692
„ 6	„ = 0,0881

2. Arsen-Kupfer.

Nr. 1'	$\frac{\sigma}{\sigma_0} = 0,3738$
„ 3'	„ = 0,09998

Anmerkung. Es konnten nur die beiden Platten 1' und 3' auf elektrische Leitfähigkeit untersucht werden, da die übrigen zu grosse Gussblasen hatten.

Setzen wir die elektrische Leitfähigkeit des reinen Kupfers = 100, so folgt:

A. Stäbe.

1. Phosphor-Kupfer.

Nr. 0	100
„ 1	36,7
„ 2	20,6
„ 3	13,0
„ 5	10,1
„ 6	5,6

2. Arsen-Kupfer.

Nr. 0	100
„ 1'	36,2
„ 2'	24,8
„ 3'	18,1
„ 4'	15,7
„ 5'	6,6

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

B. Platten.

1. Phosphor-Kupfer.

Nr. 0	100
„ 1	54,5
„ 2	29,1
„ 3	21,3
„ 4	17,9
„ 5	16,9
„ 6	8,8

2. Arsen-Kupfer.

Nr. 0	100
„ 1'	37,4
„ 3'	10,0

Anmerkung. In den Figg. 8 bis 11 sind diese Resultate durch die Curven = σ graphisch dargestellt.

Vergleichen wir nun diese Resultate mit den von Matthiessen¹⁾ gefundenen, so sehen wir aus der Curve, dass sie mit diesen gut übereinstimmen.

In der folgenden Tabelle sind nun sämtliche Resultate für Wärme- und Elektricitäts-Leitfähigkeit zusammengestellt; sowohl bei den Stäben als auch bei den Platten ist die elektrische Leitfähigkeit = σ und die Wärmeleitfähigkeit = λ des reinen Kupfers = 100 angenommen. Zum Vergleich sind die Zahlen von Matthiessen und Holzmann¹⁾, in nachstehender Tabelle mit Sternchen bezeichnet, mit eingetragen, nachdem sie auf reines Kupfer = 100 umgerechnet worden sind.

A. Stäbe.

Nr. 0	Procentgehalt		λ	σ
	0	Proc. Phosphor	100	100
a)	0,13	„ „	—	72,7*
Nr. 1	0,34	„ „	25	36,7
„ 2	0,87	„ „	16	20,6
„ 3	1,79	„ „	14 (10,2)	13,0
„ 4	2,08	„ „	9	—
„ 5	2,35	„ „	7	10,1
b)	2,5	„ „	—	7,77*
Nr. 6	5,25	„ „	4	5,6
Nr. 1'	1,04	Proc. Arsen	30	36,2
„ 2'	1,80	„ „	21,6	24,8
„ 3'	2,66	„ „	14,3	18,1
a')	2,8	„ „	—	14,12*
Nr. 4'	3,00	„ „	14,2	15,7
„ 5'	5,02	„ „	5,3	6,6
b')	5,4	„ „	—	6,63*

1) A. Matthiessen u. M. Holzmann, Pogg. Ann. **110**. p 222. 1860.

B. Platten.

	Procentgehalt		λ	σ
Nr. 0	0	Proc. Phosphor	100	100
„ 1	0,80	„ „	49,8	54,5
„ 2	0,76	„ „	24,4	29,1
„ 3	1,19	„ „	17,3	21,3
„ 4	1,56	„ „	13,3	17,9
„ 5	1,73	„ „	10,9	16,9
„ 6	3,15	„ „	6,0	8,8
Nr. 1'	1,99	Proc. Arsen	34,3	38,0
„ 2'	2,78	„ „	24,1	—
„ 3'	4,83	„ „	9,8	10,0

Wie aus dieser Tabelle klar hervorgeht, *nimmt das Wärmeleitvermögen des Kupfers durch geringe Verunreinigungen von Phosphor oder Arsen stärker ab, als das für Elektrizität.*

Die Correction des Wiedemann-Franz'schen Gesetzes findet also hier bei der Verunreinigung des Metalles durch Phosphor und Arsen gerade im entgegengesetzten Sinne statt, wie es kürzlich von Jaeger und Diesselhorst¹⁾ bei Mischungen von nur metallischen Bestandteilen gefunden wurde.

Der Verfasser ist dem inzwischen verstorbenen Director des physikalischen Institutes, Hrn. Geheimrat Prof. Dr. G. Wiedemann, sowie Hrn. Prof. Dr. P. Drude für die Anregung zu dieser Arbeit und die fördernden Ratschläge zu Dank verpflichtet.

---

1) W. Jaeger u. H. Diesselhorst, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1899. p. 719.