

Zur Anomalie des Righi-Leduc-Effektes in der Legierungsreihe Ni – Cu

Von F. DANNHÄUSER und K. M. KOCH

Elektrotechnisches Institut der Technischen Hochschule Wien
(Z. Naturforsch. 16 a, 215–216 [1961]; eingeg. am 17. Dezember 1960)

1. Vor einiger Zeit hatten RINDNER und KOCH¹ in der Legierungsreihe Ni–Cu eine krasse Abweichung des RIGHI–LEDUC-Effektes von der theoretisch geforderten Beziehung zum HALL-Effekt und zur elektrischen Leitfähigkeit

$$R/S = 1/\sigma$$

beobachtet. Da diese Messungen jedoch zu unvollständig waren, um daraus weitgehende Schlüsse zu ziehen, und insbesondere ein dem des HALL-Koeffizienten entgegengesetztes Vorzeichen des RIGHI–LEDUC-Koeffizienten nur an einer einzigen Probe beobachtet wurde, wurden die Versuche mit einer verfeinerten Meßanordnung wiederholt. Wie aus der Publikation¹ hervorgeht, tritt diese Anomalie beim „außerordentlichen“ Koeffizienten des Materials (zur Begriffsbestimmung siehe Anm.¹) in einem Konzentrationsbereich auf, in dem die CURIE-Temperatur des ferromagnetischen Materials nahe der Meßtemperatur = Raumtemperatur liegt.

Bei den neuen Messungen wurde besonderer Wert darauf gelegt, daß die Temperaturdifferenz in Längsrichtung der Probe sehr klein gehalten wird ($\Delta T < 4^\circ\text{C}$), um den nicht klar beurteilbaren Einfluß der Inhomogenität der spontanen Magnetisierung, die durch den Temperaturgradienten bedingt ist, nach Möglichkeit zu unterdrücken. Dies ist deshalb von großer Bedeutung, da anzunehmen ist, daß dieser Einfluß in der Nähe des CURIE-Punktes besonders groß ist, andererseits die beobachtete Anomalie gerade in der Nähe des CURIE-Punktes auftritt. Überdies hatten Kontrollmessungen ergeben, daß die von RINDNER verwendeten mangelfreien Proben nicht völlig stabilisiert waren. Durch einstündiges Glühen im Hochvakuum bei 1000°C konnten die aus der Literatur bekannten Werte für die Sättigungsmagnetisierung erreicht werden.

2. An den derart vorbehandelten Proben wurden nun die vier thermo- und galvanomagnetischen Transversaleffekte gemessen. Es wurden hierzu die transversalen Spannungen bzw. Temperaturdifferenzen in Abhängigkeit vom Magnetfeld gemessen und aus den Steigungen der Anfangstangenten der Kurven die Koeffizienten der außerordentlichen Effekte des Ferromagnetikums ermittelt. Die Ergebnisse sind in Abb. 1 in Abhängigkeit von der Cu-Konzentration graphisch dargestellt. Man erkennt deutlich die Abnahme des absoluten Betrages des zunächst negativen RIGHI–LEDUC-Koeffizienten S mit steigender Cu-Konzentration, Nulldurchgang bei etwa 20% Cu und nachfolgendes Ansteigen zu positiven Werten. Bei 40% Cu liegt die CURIE-Temperatur bereits unter der Raumtemperatur, die Probe ist demnach paramagnetisch und der außerordentliche Effekt ist, wie auch die hier nicht wiedergegebenen $\Delta T_y(H)$ -Kurven

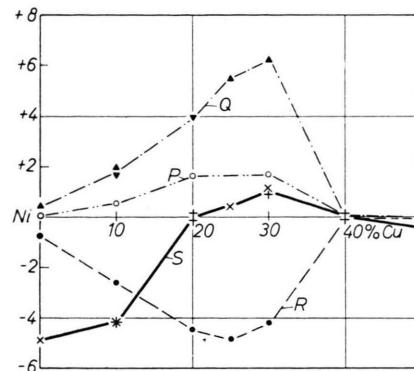


Abb. 1. Die Koeffizienten der außerordentlichen thermo- und galvanomagnetischen Transversaleffekte von ferromagnetischen Ni–Cu-Legierungen in Abhängigkeit von der Kupferkonzentration.

— $S \cdot 10^{-7}$ (RIGHI–LEDUC-Koeffizient;
— · — $Q \cdot 10^{-2}$ (NERNST-Koeffizient; ▲ Mn-frei, ▼ 1% Mn);
— · — $R \cdot 10^{-2}$ (HALL-Koeffizient);
— · · — $P \cdot 10^{-6}$ (ETTINGSHAUSEN-Koeffizient).

zeigen, verschwunden. Im Gegensatz zum RIGHI–LEDUC-Effekt zeigen alle übrigen Transversaleffekte ein starkes Anwachsen bei Zulegieren von Kupfer, bis die außerordentlichen Effekte schließlich beim Übergang zum Paramagnetismus verschwinden.

Messungen bei Feldstärken, die die Sättigungsfeldstärke des Materials überschreiten und die die Koeffizienten der „ordentlichen“ Effekte liefern, konnten nicht mit genügender Genauigkeit durchgeführt werden, um quantitative Angaben zu machen. Soweit erkennbar, ist das Vorzeichen des ordentlichen RIGHI–LEDUC-Effektes bei allen Proben negativ, so wie dies auch bei Kupfer der Fall ist. Eine Anomalie, entsprechend der beim außerordentlichen Effekt beobachteten, tritt also beim ordentlichen RIGHI–LEDUC-Effekt anscheinend nicht auf.

Eine theoretische Untersuchung zu einer möglichen Erklärung der beobachteten Anomalie des außerordentlichen RIGHI–LEDUC-Effektes ist derzeit bei uns im Gange und wird in Kürze veröffentlicht werden.

3. Da die beobachtete Anomalie des außerordentlichen RIGHI–LEDUC-Effektes im Zusammenhang mit einem Temperaturgradienten auftritt, könnte man weitere Informationen aus Messungen der Beeinflussung der Thermokraft durch ein Magnetfeld erwarten. An reinem Nickel wurde die magnetische Thermokraftänderung bereits von KOUSMINE² gemessen. Der Verlauf ist ähnlich dem der magnetischen Widerstandsänderung. Unterhalb der magnetischen Sättigung haben beide Effekte im longitudinalen und transversalen Feld entgegengesetztes Vorzeichen, offensichtlich durch eine Anisotropie von Thermokraft und elektrischem Widerstand in Richtung der spontanen Magnetisierung bedingt. Oberhalb der Sättigung verläuft die magnetische Widerstandsänderung bei $H \parallel$ und $H \perp$ parallel im Sinne einer Widerstandsabnahme. Hier überwiegt der Einfluß des

¹ W. RINDNER u. K. M. KOCH, Z. Naturforsch. 13 a, 26 [1958].

² T. KOUSMINE, Helv. Phys. Acta 7, 732 [1934].



Magnetfeldes auf die spontane Magnetisierung. Im Falle der Thermokraft ist der Verlauf oberhalb der Sättigung nicht so eindeutig wie im Falle der magnetischen Widerstandsänderung. Die Ursache könnte darin zu suchen sein, daß die spontane Magnetisierung infolge des Temperaturgradienten nicht überall längs der Probe denselben Wert hat und ihre Verteilung durch das Magnetfeld beeinflußt wird.

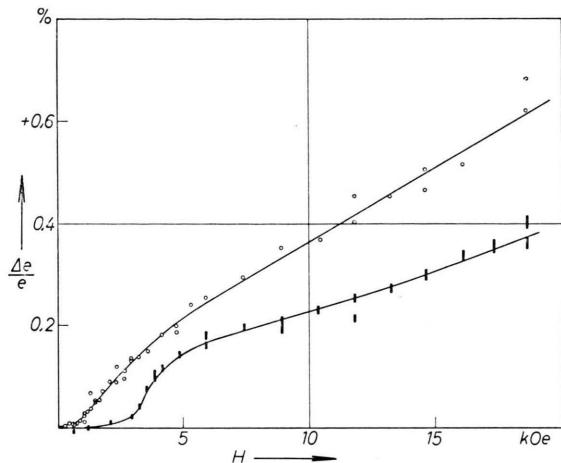


Abb. 2. Änderung der Thermokraft von Ni—Cu-Legierungen im transversalen Magnetfeld in Prozenten des Wertes der Thermokraft e der Legierung gegen Kupfer ohne Magnetfeld.

■ 10% Cu ($e = -2,19 \cdot 10^{-5}$ V/grad),
○ 25% Cu ($e = -3,3 \cdot 10^{-5}$ V/grad).

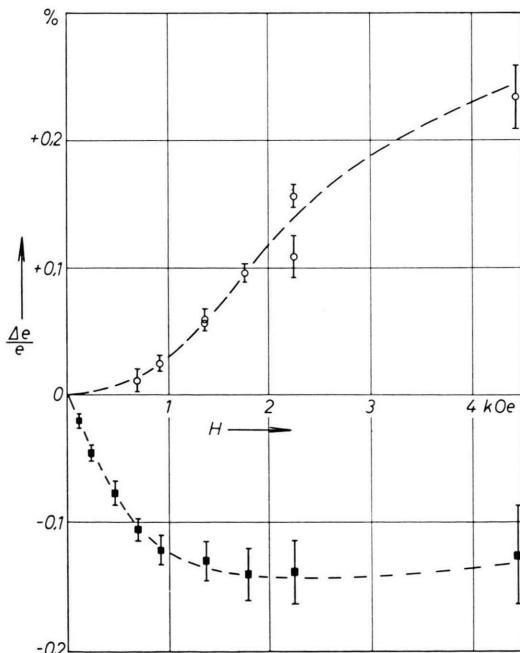


Abb. 3. Änderung der Thermokraft von Ni—Cu-Legierungen im longitudinalen Magnetfeld in Prozenten des Wertes der Thermokraft e der Legierung gegen Kupfer ohne Magnetfeld.

— ■ — ■ — 10% Cu ($e = -2,19 \cdot 10^{-5}$ V/grad),
— ○ — ○ — 25% Cu ($e = -3,3 \cdot 10^{-5}$ V/grad).

Unsere Messungen der magnetischen Thermokraftänderung wurden an denselben Proben durchgeführt wie die Messungen von HALL-, ETTINGHAUSEN-, NERNST- und RIGHI-LEDUC-Effekt. Die an den Proben angelegte Temperaturdifferenz wurde aus den schon früher erwähnten Gründen sehr klein ($\Delta T < 4$ °C) gehalten. Da die magnetischen Änderungen meist weniger als 1% des Wertes der Thermokraft gegen Kupfer betragen und Schwankungen der angelegten Temperaturdifferenz proportional dem vollen Wert der Thermokraft eingehen, mußte die Temperaturdifferenz bei den einzelnen Messungen bis auf weniger als ein tausendstel Grad konstant gehalten werden. Dies wurde mit Hilfe eines thermischen Analogons zu einer Spannungsteilerschaltung erreicht, d. h. die Probe lag in thermischem Nebenschluß zu einem längeren Kupferstab, an dessen Enden eine größere Temperaturdifferenz angelegt wurde.

Vergleichsmessungen an reinem Nickel zeigten gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von KOUSMINE. Die Ergebnisse unserer Messungen an Ni—Cu-Legierungen zeigen Abb. 2 und 3. Die durch die Ausrichtung der WEISSCHEN Bezirke verursachte Stufe bei kleinen Feldstärken wird durch die Zulegierung von Kupfer sehr stark verringert, hingegen wird die Steigung des nachfolgenden linearen Anstieges, die bei reinem Nickel noch fast unmerkbar und vom Übergangsbereich stark überdeckt ist, mit steigender Kupferkonzentration rasch größer. Bei Zulegieren von Kupfer ist der Verlauf der magnetischen Änderungen sowohl des Widerstandes³ als auch der Thermokraft mit steigender Cu-Konzentration sehr ähnlich dem Verlauf, der an reinem Nickel mit steigender Temperatur beobachtet wurde. Insbesondere zeigen unsere Messungen, daß die magnetische Thermokraftänderung bei höheren Cu-Konzentrationen im longitudinalen Feld das gleiche Vorzeichen annimmt wie im transversalen Feld, also eine Vorzeichenumkehr beim longitudinalen Effekt eintritt. Eine entsprechende Vorzeichenumkehr wurde von KOCH und EIDINGER⁴ auch an reinem Nickel in der Nähe des CURIE-Punktes (d. i. bei ca. 300 °C) beobachtet. Im betrachteten Konzentrationsbereich sind magnetische Widerstandsänderung und Thermokraftänderung nicht mehr durch die Ausrichtung der WEISSCHEN Bezirke, sondern durch den Einfluß des Feldes auf die spontane Magnetisierung verursacht (dementsprechend sollte es möglich sein, an diesen Legierungen den magnetokalorischen Effekt bei Raumtemperatur zu beobachten). Da die beobachtete Vorzeichenumkehr bei der magnetischen Thermokraftänderung zwischen 10 und 25% Cu erfolgt, ist ein enger Zusammenhang mit der Vorzeichenumkehr des RIGHI-LEDUC-Effektes (bei 20% Cu) sehr wahrscheinlich. Das Verhalten beider Effekte dürfte demnach auf die gleiche Ursache zurückgehen. Genauere Aussagen können allerdings erst auf Grund weiterer Messungen mit engeren Konzentrationsschritten gemacht werden. Derartige Messungen sind derzeit bei uns mit einer wesentlich verbesserten Apparatur im Gange. Wir werden über die Ergebnisse in Kürze berichten.

³ H. MASUMOTO u. Y. SHIRAKAWA, Sci. Rep. Tōhoku Imp. Univ. 1st ser. **25**, 104 [1935].

⁴ K. M. KOCH, Öst. Ingen. Arch. **5**, 278 [1951].