

**7. Über durch galvanische Zerstäubung her-
gestellte Eisenspiegel;
von Victor Biernacki.**

Es ist eine schon längst bekannte Tatsache, daß ein durch den galvanischen Strom zum Glühen gebrachter Platindraht zerstäubt. Viele Forscher haben die galvanische Zerstäubung der Platin-, sowie auch Palladium-, Rhodium- und Iridiumdrähte untersucht.¹⁾ Es zeigte sich, daß die den Draht umgebende Atmosphäre von Einfluß ist. So z. B. im Sauerstoff geht die Zerstäubung am schnellsten vor sich; sie findet aber auch im Wasserstoff und im Vakuum statt. Hierher gehört die Zerstäubung der Kohlenfäden in Glühlampen. Wahrscheinlich haben wir hier mit einem der Zerstäubung der Kathoden in den Crookeschen Röhren ganz analogen Vorgang zu tun.²⁾ Von dem glühenden Drahte fliehen die Partikelchen (Elektronen?) gewissermaßen in Kathodenstrahlen, deren Geschwindigkeit aber kleiner als in Crookeschen Röhren ist.³⁾ Somit ist die sogenannte Edisonsche Erscheinung in den Glühlampen leicht erklärbar. A. Kundt⁴⁾ benutzte die galvanische Zerstäubung zur Bereitung auf Glasplatten der Platinprismen, mit Hilfe deren er die Brechungsexponenten des Platins bestimmt hat. Die Zerstäubung geht ziemlich schnell nur bei hohen, der Weißglut entsprechenden Temperaturen vor sich. Deshalb vielleicht sind bisher fast ausschließlich nur die Platinmetalle in dieser Hinsicht untersucht. Reines Eisen schmilzt bei ca. 1600° C., läßt sich also bis zur Weißglut ohne zu

1) A. Berliner, Wied. Ann. **33**. p. 289. 1888; W. Stewart, Wied. Ann. **66**. p. 88. 1898; F. Emmich, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien **101**. p. 88. 1892; G. Aeckerlein, Ann. d. Phys. **12**. p. 535. 1903; L. Holborn, F. Hemring u. L. Austin, Wissensch. Abhandl. der Physik-Techn. Reichsanstalt **4**. p. 85. 1904.

2) J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. **31**. p. 109. 1887.

3) Vgl. J. Stark, Elektrotechn. Zeitschr. **21**. p. 151. 1900; J. J. Thomson, Conduction of electricity through gases 1903. p. 164.

4) A. Kundt, Wied. Ann. **34**. p. 473. 1888.

schmelzen erhitzen. Man kann deshalb auch ziemlich schnelle galvanische Zerstäubung des Eisens erwarten. Will man durch dieses Verfahren Eisenniederschläge bekommen, so muß das Glühen in einer sauerstofffreien Atmosphäre oder im Vakuum erfolgen. Da man aus einigen Versuchen von G. Aeckerlein¹⁾ schließen kann, daß die Zerstäubung im Vakuum schneller als im Wasserstoff erfolgt, so habe ich in meinen Versuchen die Zerstäubung des Eisens im Vakuum benutzt.

Die Herstellung der Eisenspiegel nach dieser Methode scheint einfacher als die galvanoplastische Abscheidung, welche A. Kundt benutzte²⁾, und sicherer als die Zerstäubung durch Kathodenstrahlen (A. Kundt³⁾, Dessau⁴⁾ und andere) zu sein. Die galvanoplastische Methode verlangt Platinspiegel (als Unterlage), deren Herstellung ziemlich schwierig ist; bei der Zerstäubung durch die Kathodenstrahlen muß man sehr sorgfältig jede Spur des Sauerstoffs vermeiden, sonst tritt die Oxydation ein. Selbst Platin oxydiert dabei. Schon Plücker⁵⁾ bemerkte braune Platinoxidspiegel auf der inneren Wandung der Spektralaröhren, die mit Platinelektroden versehen waren; er machte auch darauf aufmerksam, daß das Sauerstoffspektrum in solchen Röhren mit der Zeit immer schwächer wird. In der Röhre, in welcher man die Zerstäubung durch Kathodenstrahlen einstellen will, kann man den Druck nicht beliebig klein machen, sonst findet überhaupt keine Entladung durch die Röhre statt. Im Raume, wo der Metalldraht galvanisch zerstäubt wird, kann der Druck beliebig klein sein. Man kann außerdem diesen Raum vor dem Auspumpen sorgfältig, z. B. mit Wasserstoff, auswaschen. Folglich kann man vollständig jede Spur des Sauerstoffs leicht entfernen. Die Herstellung der Eisenspiegel ist somit leicht und sicher, und bei genügend hohem Glühgrade geht der ganze Vorgang viel schneller als man im voraus denken konnte.

Die Herstellungsart der Eisenspiegel nach der beschriebenen Methode ist recht einfach. Die Figur zeigt den Apparat,

1) G. Aeckerlein, l. c.

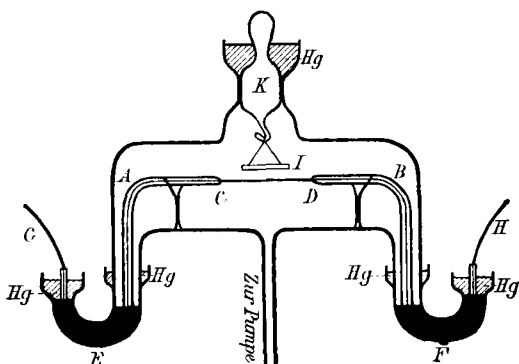
2) A. Kundt, Wied. Ann. 23. p. 228. 1884.

3) A. Kundt, Wied. Ann. 27. p. 59. 1886.

4) B. Dessau, Wied. Ann. 29. p. 353. 1886.

5) J. Plücker, Pogg. Ann. 105. p. 67. 1858.

welchen ich benutzt habe. AB ist ein Eisenstreifen, welcher in der Mitte (CD) auf einer Länge von ca. 4 cm eine Breite von ungefähr 1 mm und 0,2 mm Dicke hat. Die breiten Streifenenden sind mittels Kautschukkolophoniumkitt in ziemlich lange angeschliffene Seitenröhren E und F eingekittet. An die freien Enden sind die Kupferdrähte GH angelötet, womit der zu zerstäubende Streifen CD mit der Stromquelle verbunden wird. Die gut gereinigte Glasplatte¹⁾ J ist am unteren Ende des eingeschliffenen Glasstopfens K angehängt. Das beschriebene Glasrohr war mit der automatisch wirkenden Quecksilberluftpumpe nach Raps, welche mit dem McLeodschen Manometer versehen ist, verbunden. Nachdem die Luft im Apparat stark verdünnt ist (bis zu tausendstel Millimetern), schließt



man den Strom; man reguliert seine Stärke so, daß der mittlere Streifen CD hellrot glüht. Glüht der Streifen zu hell, so schmilzt er schnell durch; dadurch bekommt man gewöhnlich matte Spiegel, auf welchen man unter dem Mikroskop kleine glänzende, erstarrte Eisentropfen sehen kann.

Die so erhaltenen Eisenniederschläge zeichnen sich besonders durch ihren Metallglanz auf der Unterfläche (der Glasseite zugekehrten), sowie auf der Oberfläche aus. Die mit diesen Eisenniederschlägen bedeckten geschliffenen Spiegelglasplatten geben auf beiden Seiten gleich gute Spiegelbilder der Skala. Allerdings muß die zu belegende Platte während

1) Ich habe auch einige Eisenspiegel auf Glimmer- sowie Celluloidplättchen hergestellt.

des Bestäubens nicht zu nahe an dem Eisenstreifen CD (Figur) hängen; sonst bekommt man nicht genug ebenen Beschlag (d. h. einen Doppelkeil, dessen Kante parallel dem zerstäubenden Streifen liegt). Die Niederschläge behalten lange Zeit ihre guten Spiegeleigenschaften, wie es scheint, nahezu unveränderlich. Bei mikroskopischer Untersuchung (die durchsichtigen im durchgehenden, die undurchsichtigen im reflektierten Lichte) zeigen sich diese Niederschläge ganz kohärent, im Gegenteil zu den Niederschlägen, die M. Toepler¹⁾ und in letzter Zeit Ferd. Braun²⁾ durch Zerstäubung eines Platindrahtes vermittelst Entladung Leydener Batterie erhalten haben.

Die durch galvanische Zerstäubung erzeugten Eisenniederschläge besitzen einen sehr hohen remanenten Magnetismus. Durch Wägung der Platten vor und nach Bestäubung kann man die Massen der Niederschläge bestimmen. Man bestimmt die Schwingungsdauer der magnetisierten bestäubten Platten. Das Trägheitsmoment kann man leicht aus den Dimensionen und der Masse berechnen. Die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus war bekannt. Man kann aus diesen Daten das magnetische Moment berechnen, welches durch die Masse des Niederschlages dividiert, seine spezifische (remanente) Magnetisierung gibt. Obgleich besonders wegen der kleinen Massen der Niederschläge der wahrscheinliche Fehler jeder einzelnen Messung ziemlich groß war, kann man doch aus den von mir erhaltenen Resultaten gewisse sichere Schlüsse wenigstens über die Ordnung der gesuchten spezifischen remanenten Magnetisierung ziehen.

Die Niederschläge magnetisieren sich, und zwar ziemlich stark schon während der Bestäubung in dem magnetischen Felde der Erde und des zerstäubenden Stromes. Bringt man sie in ein starkes Magnetfeld (von ungefähr 5000 C.G.S.) eines Elektromagneten, so werden sie bis zur Sättigung magnetisiert. Ich gebe hier die Werte der spezifischen (remanenten) Magnetisierung einiger von mir untersuchten, bis zur Sättigung magnetisierten Eisenspiegel:

93—50—54—62—70—70 (C.G.S.)

Im Mittel: 67 ± 7 (C.G.S.).

1) M. Toepler, Wied. Ann. 65. p. 873. 1898.

2) F. Braun, Ann. d. Phys. 16. p. 1. 1905.

Solche spezifische (remanente) Magnetisierung ist sehr groß. Bedenkt man nur, daß in guten konstanten Stahlmagneten die spezifische Magnetisierung nicht größer als ca. 40 (C.G.S.) ist, und nur in langen dünnen Stahlspitzen kann man sie bis ungefähr 100 (C.G.S.) steigern.

Die spezifische remanente Magnetisierung des zerstäubten Eisens¹⁾ war sehr klein. So z. B. nach der Einwirkung eines kräftigen Magnetfeldes (von ungefähr 10 000 C.G.S.) auf eine kreisrunde Platte (15 mm Durchmesser) von diesem Eisenbleche zeigte sie eine remanente spezifische Magnetisierung von nur 0,1 C.G.S. Nach einmaligem freien Fall aus ungefähr 1 m Höhe blieb die spezifische Magnetisierung dieser Platte nur ca. 0,01 C.G.S. gleich. Eine Abnahme der Magnetisierung durch die Erschütterungen konnte ich bei den untersuchten Eisenspiegeln nicht konstatieren. Selbst nach einigen Monaten blieb die (remanente) Magnetisierung unverändert.²⁾

Es unterscheiden sich also in dieser Hinsicht unsere Eisenniederschläge stark von dem Eisen, durch deren Zerstäubung sie entstanden sind. Durch ihren großen remanenten Magnetismus sind sie mehr dem Stahle oder noch mehr dem Magneteisensteine ähnlich. Es ist ja bekannt, daß der Magneteisenstein, der natürliche oder künstlich hergestellte, den größten remanenten Magnetismus besitzt.³⁾

Man kann daher vermuten, daß unsere Niederschläge aus Eisenoxyden bestehen. Somit kann man sich leicht den hohen spezifischen remanenten Magnetismus und die schwere Oxydierbarkeit derselben an der Luft erklären. Dagegen widerspricht die Tatsache, daß sie sich in Schwefel- oder in Salzsäure mit Entwicklung des Wasserstoffs vollständig lösen. In Kupfervitriollösung (oder noch besser in Kupferoxydchloridlösung) bedecken sie sich mit Kupfer. Daraus kann man schließen, daß, wenn wir in unseren Niederschlägen ein Gemisch von Eisen und Eisenoxyden haben, so doch die Menge der Oxyde darin nur sehr klein sein kann. Allerdings ist es bekannt,

1) Bezogen als chemisch reines Eisen „pro analysi“ in Blechform von E. Merck in Darmstadt.

2) Allerdings waren während dieser Zeit die Eisenspiegel ohne äußere magnetische Beeinflussung.

3) G. Wiedemann, Elektrizität (2. Aufl.) 3. p. 624.

daß auch das elektrolytisch abgeschiedene Eisen hohen remanenten Magnetismus besitzt.

Die genannten Eigenschaften der durch galvanische Zerstäubung hergestellten Eisenspiegel gestatten, sie gleichzeitig als Magnete und Spiegel, und zwar beliebig leichte in der Galvanometertechnik anzuwenden, anstatt der schweren geschliffenen Stahlspiegel.

Ich verglich photometrisch diese Eisenspiegel mit Silberspiegeln. Das Reflexionsvermögen dieser Spiegel auf der Oberfläche der Eisenseite (guter, reiner, undurchsichtiger Exemplare auf geschliffenem Spiegelglase) für weißes Licht zeigte sich von ungefähr 62 Proz. des Reflexionsvermögens der Silberspiegel, was ca. 57 Proz. absoluten Reflexionsvermögens entspricht, welches gut mit den Resultaten, die H. Rubens¹⁾ und P. Drude²⁾ für geschliffene Eisenspiegel erhielten, übereinstimmt.

Dieses vorzügliche Reflexionsvermögen meiner Spiegel ließ die Vermutung nahe liegen, daß man sie zur Bestimmung der optischen Konstanten des Eisens nach der Reflexionsmethode benutzen kann. Obgleich P. Drude nach dieser Methode sehr genau die optischen Konstanten einer ganzen Reihe Metalle bestimmt hat, indem er das Schleifen und Polieren ohne Erzeugung von schädlichen Oberflächenschichten erlernte, so ist es doch sehr interessant, die optischen Konstanten eines Metallspiegels zu bestimmen, dessen Hochglanz ohne fremde Poliermittel erreicht ist. Außerdem ist die Kenntnis der Brechungsexponenten unserer Niederschläge für Strahlen verschiedener Gattung deshalb wichtig, weil man daraus endgültig schließen kann, ob wir es mit reinem Eisen oder mit seinen Oxyden zu tun haben. Die Dispersion des Eisens ist nämlich anomal, während die Eisenoxyde normale Dispersion besitzen. So fand z. B. A. Kundt³⁾ für Eisen:

$$n_{\text{rot}} = 1,81, \quad n_{\text{blau}} = 1,52$$

und für Eisenoxyd:

$$n_{\text{rot}} = 1,78, \quad n_{\text{blau}} = 2,36.$$

1) H. Rubens, Wied. Ann. **37**. p. 265. 1889.

2) P. Drude, Wied. Ann. **39**. p. 481. 1890.

3) A. Kundt, Wied. Ann. **34**. p. 469. 1888.

Die Brechungsexponenten bestimmte ich nach der bekannten Methode der Untersuchung der elliptischen Polarisation durch Reflexion von dem zu untersuchenden Spiegel geradlinig polarisierter Strahlen.¹⁾ Die Beobachtungen waren bei rotem und blauem Lichte ausgeführt. Für die Beobachtungen im Rot gingen die Strahlen einer „intensiven“ (250 Kerzen) Nernstschen Lampe durch rotes Glas; die mittlere Wellenlänge der somit erhaltenen roten Strahlen war gleich ca. $0,63\ \mu$. Für die Beobachtungen im Blau gingen die Strahlen durch ein blaues Glas und ein Gefäß mit mehr oder minder konzentrierter Lösung von Kupferoxydammoniak; die mittlere Wellenlänge der somit erhaltenen Strahlen war gleich ca. $0,43\ \mu$.

Zur Bestimmung der relativen Phasendifferenz diente ein Babinetscher Kompensator. Seine Konstante in Umdrehungen der Trommelschraube war: .

für das benutzte rote Licht	5,30
„ „ gelbe Na-Licht	4,73
„ „ „ blaue Licht	3,52—3,75

je nach der Konzentration der Kupferoxydammoniaklösung.

Die Empfindlichkeit meines Kompensators war, wie man aus diesen Zahlen sehen kann, recht klein. Außerdem kann überhaupt der Babinetsche Kompensator in seiner gewöhnlichen Gestalt (mit der Reihe dunkler und heller Streifen im Gesichtsfelde) bei der Reflexionsmethode keine genauen Werte der optischen Konstanten geben. Doch kann man aus den von mir erhaltenen Resultaten unzweideutige Schlüsse ziehen.

Zur Untersuchung benutzte ich nur ganz reine, frei von Rissen und Flecken, undurchsichtige, auf ganzer Oberfläche (Eisenfläche) gleichmäßig spiegelnde, auf Spiegelglasplatten hergestellte Eisenspiegel.

Im folgenden gebe ich die von mir erhaltenen Werte der Brechungsexponenten für rotes und blaues Licht.

1) Näheres darüber vgl. P. Drude, Wied. Ann. **34**. p. 489. 1888; **36**. p. 532. 1889.

$n_{\text{rot}} = 2,19$	$n_{\text{blau}} = 1,84$
2,52	1,85
2,49	2,14
2,24	1,78
2,35	1,91
2,21	1,79

Im Mittel: $n_{\text{rot}} = 2,33 \pm 0,06,$
 $n_{\text{blau}} = 1,89 \pm 0,05.$

Es ist also für unsere Eisenspiegel $n_{\text{rot}} > n_{\text{blau}}$. Daraus folgt übereinstimmend mit dem schon oben Angeführten, daß die Beimischung von Oxyden in den untersuchten Niederschlägen nur klein sein kann.

Ich hoffe in nächster Zeit mit vollkommeneren optischen Mitteln die optischen Konstanten der beschriebenen Eisenspiegel genauer bestimmen zu können.

Warschau, Physik. Laboratorium des Polytechn. Institutes,
 März 1905.

(Eingegangen 9. März 1905.)