ELEMENTE
DER NATURWISSENSCHAFT

Zeitschrift
herausgegeben von der Naturwissenschaftlichen Sektion am Goetheanum, Dornach

Über die Bewegung kleiner Teilchen im Licht (Photophorese)

Mario Howald-Haller

Felix Ehrenhaft (1879–1952) hat entdeckt, dass kleine Teilchen in luftverdünntem Raum unter intensiver Beleuchtung sich eigenartig bewegen. Im Folgenden wird zunächst ein knapper historischer Bericht über die dadurch angeregten Untersuchungen gegeben. Sodann hebe ich aufgrund eigener Beobachtungen in der Physikalischen Abteilung des Forschungslaboratoriums am Goetheanum, Dornach, aus dem Zeitraum 1962 bis 1964 einige Aspekte der Photophorese hervor. Schliesslich wird eine goetheanistische Hypothese der Photophorese entworfen.

Geschichtlicher Überblick

Felix Ehrenhaft (1910) hat bei seinen Beobachtungen zur Messung der Ladung kleiner Teilchen beachtet, dass die schwebenden Probekörper sich im intensiven Licht fortbewegen. Die erste Bemerkung hierüber lautet: «Nur eine Art von Störung kann nicht eliminiert werden. Ich hatte den Eindruck, dass eine bestimmte Teilchengrösse, die ruhig in vertikaler Bahn herabfiel, nur dann, wenn sie in die intensivste Spitze des Lichtkegels kam, manchmal ein Stückchen auffallend rasch in horizontaler Richtung fortgetragen wurde und, wenn sie diesen intensiven Teil verlassen hatte, wieder nach abwärts fiel. Ich kann dies nur dem Strahlungsdrucke, beziehungsweise einer Radiometerwirkung, welche sich bei einer bestimmten Grösse bemerkbar machten, zuschreiben und behalte mir die diesbezügliche Untersuchung vor» (l. c. 835/6).

In den Jahren 1909 bis 1913, zur selben Zeit wie *Felix Ehrenhaft,* hat auch *Robert Andrews Millikan* (1868–1953) Beobachtungen zur Messung der Elementarladung angestellt. Die beiden Beobachter gerieten aber in eine Kontroverse *(Felix Ehrenhaft* 1918 a).

Im Jahre 1918 erschien die erste grosse Veröffentlichung von *Felix Ehrenhaft* (1918b) über seine Entdeckung. Einige Hauptzüge dieser Arbeit seien hervorgehoben. Die Grundfrage ist in den folgenden Sätzen enthalten:

«Die beobachtete Erscheinung der *Fortbewegung* der *Materie im Lichte,* will ich der Kürze halber *Photophorese* nennen.

Wir legen uns nun die Frage vor, wovon die Photophorese abhängt bzw. wel-

cher Natur die Kräfte sind, welche die Photophorese bewirken. Sind die *photophoretischen Kräfte* insbesondere solche *erster* oder *zweiter Art?*» –

Eine Kraftwirkung erster Art läge vor, wenn ein ponderabler Körper im Vakuum durch Strahlung fortbewegt würde (Strahlungsdruck!). Eine Kraftwirkung zweiter Art wird beim Radiometer vorgestellt: sie rühre daher, dass das Temperaturgleichgewicht zwischen den einseitig berussten Blättchen und dem unter geringem Druck stehenden Gas gestört wird.

Da es aussichtslos ist, im absolut leeren Raum zu beobachten, hoffte *Felix Ehrenhaft,* aus feststellbaren Änderungen der Strahlungswirkungen an den Probekörperchen beim fortschreitenden Evakuieren die Art der Kraftwirkung erschliessen zu können. Auf Grund seiner Beobachtungen und Überlegungen kommt *Felix Ehrenhaft* zum Schluss, dass die photophoretischen Bewegungen auf das Wirken von Kräften erster Art zurückzuführen seien. Dass diese Bewegungen nicht einfach durch Strömungen des umgebenden Gases erklärbar sind, zeigt die in dem Teilchenstaub gleichzeitig beobachtbare lichtpositive und lichtnegative Bewegung in engbenachbarten Bereichen. *Lichtpositiv* bedeutet, dass die Bewegung mit dem Lichtstrom, *lichtnegativ,* dass sie gegen den Lichtstrom verläuft. Im Hin-und-her der bewegten Teilchen können auch ruhig schwebende Teilchen beobachtet werden; solche Teilchen verhalten sich *lichtneutral.* – Dass sowohl die lichtpositiven als auch die lichtnegativen photophoretischen Kräfte solche erster Art seien, meinte *Felix Ehrenhaft* aus deren angeblich gesicherter Unabhängigkeit vom Gasdruck ableiten zu können. Spätere Beobachtungen von *J. Mattauch* (1922) haben jedoch ergeben, dass die photophoretischen Bewegungen bei einem mit der Teilchengrösse zusammenhängenden Druck ein Maximum erreichen (dabei ist die Strahlungsintensität konstant).

Während die lichtpositive photophoretische Bewegung (als Wirkung einer Kraft erster Art aufgefasst) mit Hilfe der *Maxwellschen* Lichttheorie als Auswirkung des Strahlungsdruckes verständlich erscheinen kann, bietet die lichtnegative Photophorese dem Verständnis grössere Schwierigkeiten. *Felix Ehrenhaft* hat hierin eine absolut neuartige Erscheinung gesehen. Er schliesst seine Abhandlung mit den folgenden Sätzen:

«Vorliegende Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Kraftwirkungen zwischen Materie und Strahlung viel komplizierterer und mannigfacherer Art sind als jene Druckwirkungen des Lichtes, welche allein bisher vorausgesetzt wurden.

Hier habe ich versucht einen Weg anzubahnen, der zur Erforschung der Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie dienen könnte» (l. c. 128).

Die Anschauungen von *Felix Ehrenhaft* sind früh auf Skepsis gestossen. Die Gründe hierfür hat *A. Rubinowicz* (1920) kurz ausgesprochen: «Da ein ‚negativer' Lichtdruck nicht bekannt ist, würde die *Ehrenhaftsche* Auffassung, besonders bei der Deutung der negativen Photophorese, das Vorhandensein neuer, bisher unbekannter Naturkräfte postulieren, die die Einheitlichkeit unseres heutigen, recht harmonischen Weltbildes zerstören und daher mit gutem Grunde als äusserst unwillkommene Eindringlinge gelten müssen. So ist also das Streben wohl begreiflich, die *Ehrenhaftschen* Versuche ohne Annahme neuer Kräfte zu deuten.

Für eine derartige Erklärung wird man vor allem die Lichtdruck- und Radiometerkräfte in Betracht zu ziehen haben» (l. c. 691/2). Seinem Bestreben entsprechend stellt denn auch *A. Rubinowicz* eine Radiometertheorie auf und zeigt, dass für grössere Teilchen «eine *negative Radiometerkraft* zu erwarten ist» (l. c. 716) unter der Voraussetzung, dass die Strahlung das Teilchen im Wesentlichen ungeschwächt durchsetzt. Die Konsequenz ist schliesslich: «... die von *Ehrenhaft* ge-