

# Karl Schwarzschild zu seinem 50. Todestag

Dr. EWALD GERTH, Potsdam

Am 11. Mai 1966 jährte sich zum 50. Mal der Todestag von KARL SCHWARZSCHILD.



Nicht nur dem Fachmann, der sich mit Fragen der wissenschaftlichen Photographie befaßt, sondern auch dem etwas anspruchsvolleren photographischen Praktiker ist der sogenannte „*Schwarzschild-Effekt*“ zu einem feststehenden Begriff geworden. Als SCHWARZSCHILD-Effekt wird heute allgemein die an photographischen Schichten zu beobachtende Erscheinung bezeichnet, daß z.B. eine Verdopplung der Belichtungszeit eine andere Schwärzung als eine Verdopplung der Belichtungsintensität hervorbringt. Dieser Effekt ist ursprünglich (1874) von ABNEY entdeckt worden; die entscheidenden Verdienste SCHWARZSCHILDS bei der meßtechnischen und analytischen Erschließung dieser Erscheinung führten aber dazu, daß eine spätere Physikergeneration mit dem genannten Effekt ausschließlich den Namen SCHWARZSCHILDS verband.

---

<sup>1)</sup> Der vorliegende Beitrag wurde im Jahre 2013 vom Verfasser wortgetreu digitalisiert und in das Internet eingestellt unter der Adresse [www.ewald-gerth.de/20.pdf](http://www.ewald-gerth.de/20.pdf).

SCHWARZSCHILD gab nach eingehenden quantitativen Untersuchungen an photographischen Schichten eine für die photographische Meßtechnik so überaus wichtige analytische Formulierung dieses Effektes an, die als das „SCHWARZSCHILDsche Schwärzungsgesetz“ bezeichnet wird. Dieses Gesetz stellt eine Abänderung des allgemein für photochemische Reaktionen gültigen, von BUNSEN und ROSCOE 1862 aufgestellten Reziprozitätsgesetzes

$$E \cdot t = \text{const} \quad (1)$$

dar, in dem für eine bestimmte photochemische Wirkung die Intensität  $E$  und die Zeit  $t$  der Belichtung in einem Reziprozitätsverhältnis zueinander stehen. Man nahm anfangs an, daß das BUNSEN-ROSCOE'sche Reziprozitätsgesetz auch für die durch die Belichtung auf photographischen Schichten hervorgerufenen Schwärzungen gelte. Nachdem aber bereits ABNEY, SCHEINER und MICHALKE festgestellt hatten, daß das Reziprozitätsgesetz bei photographischen Schichten im allgemeinen nicht erfüllt ist, wandte sich SCHWARZSCHILD der Aufgabe zu, die sogenannten „Reziprozitätsabweichungen“ quantitativ und analytisch zu erfassen. Die Lösung dieser Aufgabe war für SCHWARZSCHILD im Hinblick auf die von ihm betriebene photographische Photometrie der Sterne vorwiegend von experimentell-wissenschaftlichem Interesse. Er erkannte aber sehr bald auch die Bedeutung seiner Untersuchungen für die wissenschaftliche Photographie.

Für die Formulierung des für konstante Schwärzung  $S$  gültigen Schwärzungsgesetzes gab SCHWARZSCHILD zwei in mathematischer Hinsicht gleichwertige Versionen an:

$$Et^p = \text{const} \quad (2)$$

und

$$E^q t = \text{const.} \quad (3)$$

Die Schwärzung  $S$  ist dabei eine – z. B. durch die Schwärzungskurve darstellbare – Funktion der „SCHWARZSCHILD-Produkte“  $Et^p$  bzw.  $E^q t$ , d. h., für konstante Schwärzungen sind auch die Argumente der Funktionen  $S = f(Et^p)$  bzw.  $S = f(E^q t)$  gemäß Gl. (2) bzw. Gl. (3) konstant.

Die Größen  $p$  und  $q$ , die zueinander reziprok sind,

$$q = \frac{1}{p}, \quad (4)$$

werden als SCHWARZSCHILD-Exponenten bezeichnet. SCHWARZSCHILD fand, daß diese Exponenten in weiten Belichtungsbereichen – insbesondere bei der von ihm untersuchten Langzeitbelichtung – konstant sind. Er schloß aber eine funktionelle Abhängigkeit der Exponenten  $p$  und  $q$  von Intensität und Zeit der Belichtung nicht aus. Spätere Untersuchungen von SHEPPARD und MEES sowie KRON zeigten dann auch, daß unter Zugrundelegung einer SCHWARZSCHILD-Formel wie nach Gl. (2) für den gesamten, meßtechnisch erfaßbaren Belichtungsbereich der SCHWARZSCHILD-Exponent  $p$  eine charakteristische Abhängigkeit von der Belichtungszeit bzw. der Belichtungsintensität besitzt. Für lange Belichtungszeiten und niedrige Intensitäten ist  $p$  konstant und liegt etwa bei 0,8, stets aber zwischen 0,5 und 1; für kurze Belichtungszeiten und hohe Intensitäten nimmt dagegen  $p$  einen weitgehend konstanten Wert zwischen 1 und 2 an. Dazwischen liegt ein Gebiet des kontinuierlichen Überganges. Die Stelle, an der  $p$  den

Wert 1 annimmt, wird nach KRON als das Belichtungsoptimum bezeichnet, da die Belichtung mit den hierzu gehörigen Werten der Intensität und der Zeit ihren größten Wirkungsgrad besitzt. Das SCHWARZSCHILDSche Schwärzungsgesetz nach Gl. (2) bzw. (3) mit konstanten Exponenten  $p$  bzw.  $q$  erwies sich damit als ein Grenzfall für lange und – mit anderen Werten der Exponenten – auch für kurze Belichtungszeiten.

In der Praxis wird meistens das Schwärzungsgesetz in der Form von Gl. (2) benutzt. Für bestimmte Fälle, so z.B. für die Berechnung von Doppel- und Mehrfachbelichtungen, erweist sich aber die andere Form dieses Gesetzes nach Gl. (3) als besonders vorteilhaft, weil hierin die Zeit  $t$  linear auftritt. Es wurde bereits von SCHWARZSCHILD erkannt, daß die Schwärzungswirkung einer Doppelbelichtung – und in sinngemäßer Erweiterung auch einer Mehrfachbelichtung – durch Summation von Gliedern der Bauart gemäß Gl. (3) beschrieben werden kann,

$$\sum_{k=1}^n E_k^q t_k = E_g^q t_g. \quad (5)$$

In Gl. (5) kennzeichnet der Laufindex  $k = 1, 2, 3, 4, \dots, n$  die Nummer der einzelnen aufeinanderfolgenden Belichtungen, deren Gesamtzahl  $n$  beträgt. Die Summation der einzelnen Belichtungen wirkt sich so aus, als hätte man nur eine Belichtung mit der Intensität  $E_g$  (Gesamtintensität) und der Zeit  $t_g$  (Gesamtzeit) durchgeführt. SCHWARZSCHILD wandte die Doppelbelichtung zur Empfindlichkeitssteigerung der für Sternaufnahmen verwendeten photographischen Platten an und benötigte deshalb für die photometrische Auswertung der Platten auch ein Schwärzungsgesetz der Doppelbelichtung. Die Empfindlichkeitssteigerung wurde dadurch erreicht, daß die Platte vor der eigentlichen Sternaufnahme mit einer bestimmten Lichtmenge gleichmäßig belichtet wurde, die zwar noch nicht ausreichte, um den Schleier merklich zu vergrößern, die aber doch groß genug war, um auch Sterne, die auf der Platte normalerweise wegen schwacher, noch unterschwelliger Belichtung keine Schwärzung erzeugen, über den sog. Schwellenwert der Schwärzungskurve anzuheben und damit deutlich hervortreten zu lassen und der Auswertung zugänglich zu machen.

Das Gesetz der Mehrfachbelichtung Gl.(5) wird in der photographischen Technik vielfach angewendet. Neben der Empfindlichkeitssteigerung durch Doppelbelichtung sei als ein weiteres Anwendungsbeispiel die Überblendung von einer Filmszene zur anderen genannt, die ebenfalls durch eine Doppelbelichtung erfolgt und nur durch das in Gl. (5) enthaltene Gesetz der Doppelbelichtung in sensitometrisch richtiger Weise durchgeführt werden kann.

Das SCHWARZSCHILDSche Schwärzungsgesetz muß in der Sensitometrie stets berücksichtigt werden, wenn bei der Belichtung Intensitäts- und Zeitvariation gleichzeitig auftreten.

Dieses so eindeutig aus der Erfahrung deduzierte SCHWARZSCHILDSche Schwärzungsgesetz widersetzte sich aber lange Zeit hartnäckig einer theoretischen Deutung. Erst die moderne Festkörperphysik, die hier speziell auf die Quantenabsorption und die Leitungsvorgänge im Kristallgitter des Silberbromids angewandt wird, hat einige Aufklärung über die Ursachen des SCHWARZSCHILD-Effektes gebracht, ohne daß man heute schon sagen kann, daß alle diesbezüglichen Fragen beantwortet seien.

Das SCHWARZSCHILDSche Schwärzungsgesetz muß sich als Grenzfall aus der Theorie des photographischen Prozesses ergeben; ja, die Möglichkeit einer solchen Herleitung kann geradezu als ein Prüfstein für die Theorie angesehen werden. Die Forschungen auf diesem Gebiet sind noch in vollem Gange.

Der Beitrag SCHWARZSCHILDS zur wissenschaftlichen Photographie ist so gewichtig, daß damit allein sein Name schon unvergänglich in die Geschichte der Wissenschaft eingegangen wäre; und doch waren SCHWARZSCHILDS Arbeiten zur wissenschaftlichen Photographie, die sich hauptsächlich auf das Schwärzungsgesetz und den damit zusammenhängenden Intermittenzeffekt beziehen und durch welche sein Name breitesten Kreisen der photographisch interessierten Fachwelt bekannt wurde, nur ein kleiner Teil seines umfangreichen und vielseitigen wissenschaftlichen Gesamtwerkes. Entsprechend dem Themenkreis dieser Zeitschrift soll die Würdigung SCHWARZSCHILDS vornehmlich von seinen Verdiensten auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Photographie ausgehen. (Eine Übersicht über das umfangreiche wissenschaftliche Werk SCHWARZSCHILDS vermitteln die ausführlichen Nekrologe von SOMMERFELD [1] und BLUMENTHAL [3] sowie die Gedenkschrift zum 50. Geburtstag SCHWARZSCHILDS von OPPENHEIM [5]).

Sein Lebensweg sei im folgenden kurz skizziert:

KARL SCHWARZSCHILD wurde am 9. Oktober 1873 in Frankfurt am Main geboren.

Seine Schulbildung erhielt er in dem dortigen Städtischen Gymnasium. Sehr früh trat bei ihm eine eminente mathematische Begabung und seine Neigung zur Astronomie hervor. Bereits als 15jähriger Gymnasiast verfaßte er – angeregt durch eine Arbeit von BRUNS – zwei Aufsätze über die Bahnbestimmung von Planeten, Kometen und Doppelsternen, die in den Astronomischen Nachrichten 1890 veröffentlicht wurden. Nach abgelegter Reifeprüfung bezog er 1891 die Universität Straßburg, ging aber später zur Fortsetzung seiner Studien zu v. SEELIGER nach München. 1896 promovierte er unter v. SEELIGER mit einer Dissertation zum Thema „Die Poincaré'sche Theorie des Gleichgewichts einer homogenen rotierenden Flüssigkeitsmasse“. Nach der Promotion nahm er eine Assistentenstelle an der v. KUFFNERSchen Sternwarte in Wien-Ottakring an. In diese Zeit fallen seine ersten Untersuchungen über die photometrische Bestimmung von Sternhelligkeiten mit Hilfe photographischer Schichten, die auf das nach ihm benannte Schwärzungsgesetz führten. 1899 kehrte er nach München zurück, um sich dort als Privatdozent zu habilitieren. 1901 wurde er als außerordentlicher Professor der Universität und Direktor der Sternwarte nach Göttingen berufen. Auf Grund seiner erfolgreichen wissenschaftlichen Tätigkeit wurde er 1905 in die „Gesellschaft der Wissenschaften“ gewählt. 1909 folgte er einem Ruf als Direktor des Astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam. Die Anerkennung seiner wissenschaftlichen Leistungen durch die zeitgenössischen Fachkollegen kommt besonders in seiner Wahl zum Mitglied der „Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin“ im Jahre 1915 zum Ausdruck. In die Zeit der höchsten Entfaltung seiner wissenschaftlichen Schöpferkraft fällt der Ausbruch des 1. Weltkrieges. Der hochbegabte Wissenschaftler stand seit September 1914 an der Front. Aber auch dort setzte er – besessen vom Forschungsdrang – viele seiner wissenschaftlichen Arbeiten fort, von denen besonders seine letzte, erst kurz vor dem Tode fertiggestellte Abhandlung „Zur Quantentheorie“ hervorgehoben sei, in der die HAMILTON-JACOBISCHE Theorie in Analogie zu der Himmelsmechanik auf das Atom angewandt und eine Vereinigung mit der PLANCKSchen Quantentheorie versucht wurde.

Im März 1916 kehrte KARL SCHWARZSCHILD mit einer bösartigen Hautkrankheit aus dem Felde zurück, an der er am 11. Mai 1916 verstarb.

Das auf uns überkommene wissenschaftliche Erbe SCHWARZSCHILDS ist außerordentlich reich und vielseitig. Er hat nicht nur in der Astronomie, die er besonders durch seine Arbeiten zur Aktinometrie der Sterne und zur Stellarstatistik bereichert hat, sondern auch auf anderen Gebieten der Physik Hervorragendes geleistet. Dazu gehören von seinen mehr als hundert Publikationen Arbeiten zur Elektrodynamik, Untersuchungen zur geometrischen Optik, eine Theorie der Zerlegung der Spektrallinien lichtemittierender Stoffe im magnetischen und im elektrischen Felde sowie Ausführungen zur EINSTEINSchen Gravitationstheorie.

Viele Begriffe der Physik sind für allezeit fest mit seinem Namen verbunden: *Schwarzschild-Effekt*, *Schwarzschild'sches Schwärzungsgesetz*, *Schwarzschild-Exponent*, *Schwarzschild-Objektiv* (mit asphärischer Optik), *Schwarzschild-Metrik*, *Schwarzschild-Radius*, *Schwarzschild-Singularität*, *Schwarzschild-Gleichung*, *Schwarzschild-Lösung* (der EINSTEINSchen Feldgleichung). –

KARL SCHWARZSCHILD gehört ebenbürtig zu den großen Physikern seiner Zeit wie MAX PLANCK und ALBERT EINSTEIN.

Alle zur Abfassung dieses kurzen Lebensabrisses benutzten Nekrologe heben die menschlichen Eigenschaften SCHWARZSCHILDS hervor.

Der Mensch KARL SCHWARZSCHILD kann kaum besser gewürdigt werden als durch das treffende Zitat von Mitarbeitern, die ihm persönlich nahestanden:

A. SOMMERFELD beschließt seinen Nekrolog [1] mit folgenden Worten: „SCHWARZSCHILD war ein außerordentlich guter, einfacher und natürlicher Mensch. Sein Urteil über andere Verdienste war stets wohlwollend, seine eigenen Leistungen kamen ihm kaum ins Bewußtsein. Wie man auch mit ihm zusammenkommen mochte, in fröhlicher, vielleicht durch seine Laune angeregter, übermütiger Gesellschaft, in ernstem fachlichem Gespräch, auf Bergtouren (bei denen übrigens die fachlichen Gespräche selten aussetzten), immer fühlte man sich in seiner Gegenwart selbst gesünder, rühriger und jünger. Ein eigentümlicher Hauch geistiger Energie und Gesundheit ging von ihm aus. Er konnte zu jeder Zeit, unvermittelt und ungestört durch seine Umgebung, arbeiten und arbeitete mit unglaublicher Intensität und Schnelligkeit, ohne sich je zu überarbeiten.“

Ungeachtet seiner wachsenden Bedeutung als Wissenschaftler aber auch seiner Popularität besonders unter Anwendern der bildgestaltenden Photographie blieb SCHWARZSCHILD immer ein bescheidener Mensch. So schreibt ein Kollege und Freund der Familie Schwarzschild, der Mathematiker OTTO BLUMENTHAL, in seinem Nekrolog [3]: „Wer von Schwarzschild spricht, muss tönende Worte durchaus vermeiden. Sie stünden in grellem Gegensatz zu der Schlichtheit und Natürlichkeit des Mannes. Und doch charakterisiert ihn nichts besser als die Aussage: Er war ein genialer Mensch. Sein Wesen war völlig harmonisch und klar. Im Leben wie in der Wissenschaft fand er instinktiv den richtigen Weg. So erklärt sich die zwingende Macht seiner Persönlichkeit: sein Auftreten war gänzlich anspruchslos, vielfach etwas verlegen, aber bald brach seine natürliche, zwanglose Heiterkeit durch, und wen er dann mit seinen blanken Augen anlachte, der gewann ihn lieb und spürte den Hauch seines Geistes.“

Und auch ALBERT EINSTEIN, der noch in den letzten Monaten vor SCHWARZSCHILDS frühem Tod mit ihm über die Gravitationstheorie korrespondiert hatte, bemerkte in seiner Gedächtnisrede [4]: „Seit 1912 gehörte der schlichte Mann der Akademie an, deren Sitzungsberichte er in der kurzen Zeit, die ihm noch gegeben war, durch wertvolle Beiträge bereicherte.“

SCHWARZSCHILDS Amtsnachfolger Geheimrat MÜLLER (zitiert bei S. OPPENHEIM [5]) sagt über SCHWARZSCHILD: „Ein durch und durch vornehmer Charakter, ... stets bereit zu raten und zu helfen, nie müde und verdrossen, war er allen seinen Beamten der wohlwollendste, treueinendste Vorgesetzte, der es meisterhaft verstand, mit feinem Takte auf die Eigenheiten seiner teilweise viel älteren Mitarbeiter Rücksicht zu nehmen und sie doch unwiderstehlich mit sich fortzureißen. Niemand, der sich an ihn mit Rat und Hilfe wandte, ging unbefriedigt von ihm. Streitigkeiten und Konflikte waren seiner friedfertigen Natur zuwider, und wenn er einmal schärfer eingreifen mußte, so litt er vielleicht selbst am meisten darunter.“

Desgleichen die folgenden Worte aus der Gedenkrede des Geheimrat RUNGE (zitiert bei S. OPPENHEIM [5, 2]): „Der liebenswürdigste Zug, den ich an ihm verehrt habe, ist der, daß ich in den langen Jahren unserer Bekanntschaft nie ein gehässiges Wort über einen anderen aus seinem Munde vernahm. Boshaften Bemerkungen trat er entgegen oder wußte ihnen eine freundliche Wendung zu geben. Der Gelehrte ist ja überhaupt in der glücklichen Lage, daß für ihn das Wort ‚Viel Feind, viel Ehr‘ nicht gilt. Und besonders kann sich der Jünger der exakten Naturwissenschaften des persönlichen Streites enthalten, weil alle sich den höheren Autoritäten des mathematischen Schlusses, des Experiments und der Beobachtung beugen. Nur diese wollte SCHWARZSCHILD auf wissenschaftlichem Gebiete anerkannt wissen, jede andere war ihm zuwider, auch wenn es sich um seine eigene Autorität handelte.“

„So tritt uns KARL SCHWARZSCHILD gleich ausgezeichnet als Mensch wie als Gelehrter entgegen. Und so wie seine wissenschaftlichen Leistungen unberührt vom Wandel der Zeit der Nachwelt seinen Namen verkünden werden, wird auch im Herzen aller derjenigen, die das Glück hatten, mit ihm zu verkehren, sein Name fortleben!“ [5]

## **Nekrologe über Karl Schwarzschild:**

1. A. Sommerfeld: Karl Schwarzschild †, Naturwiss. **4** (1916), 453–457.
2. C. Runge: Karl Schwarzschild, Phys. Zeitschr. **17** (1916), 545–547.
3. O. Blumenthal: Karl Schwarzschild †, Jahresberichte der deutschen Mathematiker-Vereinigung, **26** (1917), 56–75.
4. A. Einstein: Gedächtnisrede des Hrn. Einstein auf Karl Schwarzschild, Sitzungsberichte der Preuß. Akad. d. Wiss. (1916), 768–770.
5. S. Oppenheim: Karl Schwarzschild. Zur 50. Wiederkehr seines Geburtstages, Vierteljahresschrift d. Astron. Ges. **58** (1925), 191–209.

Bildnachweis: Die auf Seite 1 wiedergegebene Photographie von KARL SCHWARZSCHILD wurde dem Nekrolog von C. RUNGE durch Ablichtung entnommen.

Für Auskünfte und Unterstützung bei der Beschaffung von Literatur über KARL SCHWARZSCHILD sei Herrn Prof. Dr. WEMPE, dem Direktor des Astrophysikalischen Instituts Potsdam, herzlichst gedankt.