

Beugung und Lichtemission von Elektronen

Helmut Nieke

Zusammenfassung

Bereits Newton hat in seinen Beugungsexperimenten bewiesen, daß Licht niemals eine Welle sein kann, und schloß den Indeterminismus aus. Zur Begründung der Beugung wurde das Photon mit Struktur und seinem Feld vorgeschlagen, deren Wechselwirkung bewirkt eine Richtungsänderung durch das behinderte Feld mit Hilfe der Wirbeldynamik. Das ist auf Materie übertragbar bei Berücksichtigung, daß bei Photonen deren Frequenz die Beugungsfigur bestimmen und bei anderen Partikeln deren Geschwindigkeit. Wenn bei Wechsel von Geschwindigkeit oder Richtung der Elektronen sich Feldlinien abschnüren können, wie bei der Hertzschen Dipolemission, so werden Photonen emittiert.

Diffraction and Light-Emission of Electrons

Abstract

Already Newton had proved in his diffraction experiments that light never can be a wave and he excluded indeterminism. For establishment of diffraction is offered the photon with structure and its field, their interaction causes a change of direction by hindered field with use of vortex-dynamics. This is transferable on other particles by consideration that at photons determine their frequency the diffraction-figure and at other particles their velocity. If electrons change their velocity or direction, then can be tied off field-lines analogous Hertz's dipole emission, and then photons can be emitted.

1. Die Newtonschen Beugungsexperimente

Die Beugungsexperimente von Newton [1] und Fresnel [2] wurden von Nieke [3] nachgeprüft. Newton berichtete vollständig und wahrheitsgemäß über die Beugung. Fresnel konnte mit dem Fouriertheorem zwei Grenzfälle berechnen und nur in deren Gültigkeitsbereich berichtete er über experimentelle Ergebnisse, auf Abweichungen außerhalb dieser Näherungen ging er nicht ein. Auf diese Abweichungen kommt es hier an, denn die Formel für Beugung am Spalt für äußere Beugungsstreifen in sehr großen Entfernungen wurde extrapoliert auf die Entfernung null, also in die Spaltebene. Das Resultat ist bekannt: Der Spalt begrenzt eine Wellenfront und von jedem Punkt dieser Wellenfront geht eine Kugelwelle aus. Newton [1] III Beobachtung 10 bewies am Dreieckspalt, daß in kurzen Entfernungen erst die inneren (innerhalb und außerhalb der Schattengrenzen) Beugungsstreifen auftreten die den Beugungserscheinungen an der Halbebene mit den Spaltkanten als Halbebene entsprechen. Mit der Umwandlung der inneren Beugungsstreifen in größeren Entfernungen zu äußeren hat er bewiesen, daß die Extrapolation unzulässig ist. Dann bewies Newton [1] III Beobachtung 5 mit der Lokalisierung des gebeugten Lichtes, daß gebeugtes Licht nur aus der engen Umgebung der Kante kommt (er schätzte $< 0,03$ mm). Die Extrapolation ist also auch falsch (Einzelheiten bei Nieke [3]).

Newtons Beugungsexperimente konnten weder mit (punktförmigen) Lichtteilchen noch mit Wellen erklärt werden. So ließen Lehrbuchautoren ab etwa 1850 die Newtonschen Beugungsexperimente einfach weg und verbreiteten damit eine unvollständige und irreführende Theorie.

Bohr [4] baute seine Kopenhagener Deutung auf die Fresnelsche Theorie der Beugung und dem lichtelektrischen Effekt auf mit dem Dualismus von Welle und Korpuskel (aber Newton hatte mit dem Übergang innerer zu äußeren Beugungsstreifen bewiesen, daß Licht niemals eine Welle sein kann) und dem Indeterminismus bei Quantenprozessen (aber Newton hatte die Lokalisierung des gebeugten Lichtes bewiesen und damit den Indeterminismus widerlegt). Verallgemeinerungen auf die Materie versuchte er erst später. Damit ist die Kopenhagener Deutung, zumindest für die Beugung, ohne Grundlage.

2. Beugung und Wirbeldynamik

Nieke [5] versuchte eine Erklärung der Newtonschen Beugungsexperimente als Richtungsänderung der Lichtteilchen mit Photonen mit der Struktur eines elektromagnetischen Wirbelpaares und Feld als Richtungsänderung, was er mit der Wirbeldynamik und der Selbstwechselwirkung von Photon mit seinem Feld begründete.

Sommerfeld [6] zeigte, daß in der Wirbeldynamik die Wechselwirkung nicht von der Beschleunigung, sondern von der Geschwindigkeit bestimmt wird. Sommerfeld [7] konnte die klassische Wellengleichung und die Schrödinger-Wellengleichung so umformen, daß sie sich außer dem Faktor $i\hbar$ nur durch die zweite Ableitung nach der Zeit in der klassischen Wellengleichung und der ersten Ableitung in der Schrödinger-Wellengleichung unterscheiden. Sommerfeld [6] und [7] zusammen ergeben nach Nieke [5] die Möglichkeit, daß die Schrödinger-Wellengleichung eine Formel der Wirbeldynamik sein kann.

Barut [8] schrieb „50 Jahre nach der Schrödingergleichung“ (übersetzt): „Die Debatte über diese Interpretation und ihre philosophischen, physikalischen und mathematischen Verzweigungen hält noch an und wird fortgeführt werden, bis vielleicht die Quantenmechanik in eine mehr allgemeine physikalische Theorie eingebettet ist.“

3. Die Beugung von Licht und Materie

Bei der Beugung von Licht wird das Aussehen der Beugungsfigur von der Frequenz der Photonen bestimmt und zusätzlich bei Spalt, Hindernis oder Gitter von der Spaltweite oder Gitterkonstanten.

Bei der Beugung von Elektronen oder Atomen bestimmt die Form der Beugungsfigur die Geschwindigkeit (eigentlich der Impuls) der Teilchen und auch hier die Art des Beugungsobjektes. Dies beschrieb bereits Broglie [9] mit dem Zusammenhang

$$\lambda = h / m v \quad (1)$$

wobei λ die sogenannte Wellenlänge, h das Plancksche Wirkungsquantum, f die Frequenz der Photonen, m die Masse der Teilchen v ihre Geschwindigkeit, c die Lichtgeschwindigkeit und E die Energie des Photon darstellen.

Für diese Betrachtungen ist es zweckmäßiger, Größen für Licht und Materie auf verschiedenen Seiten zu schreiben:

$$E / c = h f / c = m v \quad (2)$$

Für $v = c$ ergibt sich die bekannte Einstein-Formel $E = m c^2$.

Photonen müssen bei einer bestimmten Frequenz die zugehörige Energie haben, nur dann sind sie in Bewegung stabil. Bei Wirbelpaaren nach der allgemeinen Wirbeldynamik sind unmittelbare Zusammenhänge zwischen Wirbelstärke und Frequenz nur lokal vorhanden, ein genereller Zusammenhang sollte spezielle Eigenschaft elektromagnetischer Wirbelpaare sein.

Das Elektron hingegen ist nur stabil, wenn es die Elementarladung und das magnetische Moment des Bohrschen Magneton hat. Nach Nieke [10] hat das Elektron die Struktur des Wirbelzwillings (zwei Wirbel gleicher Wirbelstärke mit gleichen Drehsinn, die sich einander in gleichen Drehsinn umkreisen). Nach der allgemeinen Wirbeldynamik kennt man keine Vorbedingungen für die Wirbel, die ist also beim elektromagnetischen Wirbelzwilling zu suchen.

Die Möglichkeit der Beugung von Elektronen und Atomen bezeichnete man als Welleneigenschaften der Materie. Dazu hat aber bereits Mach [11] gezeigt, daß Beugung und Interferenz nicht die Welle beweist, sondern nur die Periodizität des Lichtes. Dies kann man auf die Materie übertragen, denn bei einem Atom ist eine Auslöschung undenkbar, wohl aber ist eine Periodizität anzunehmen.

Die Erscheinungen der Beugung entsprechen einander bei Licht und Elektronen. Boersch [12], Hiller u. Ramberg [13] und Malange u. Gronkowski [14] zeigten, daß auch Elektronen die Beugungsfiguren der Halbebene und innere Beugungsstreifen am Spalt in kurzen Entfernungen zeigen.

Nach einer Beugung hat Licht eine niedrigere Frequenz, wie Nieke [15] am engen Spalt nachweisen konnte. Dabei ist nicht die Linie verschoben, sondern nach der Seite mit niedrigeren Frequenzen verbreitert. Nach dem Zusammentreffen von Licht mit einem Elektron ist seit der Entdeckung des Compton-Effektes bekannt, daß die notwendige Energie die Frequenz des Photons reduziert und am Elektron eine Geschwindigkeit bewirkt.

Daß Elektronen nach der Beugung eine geringere Geschwindigkeit haben, wird z. B. bei Laue [16] oder Cowly [17] nicht ausdrücklich berichtet, wohl aber, daß nach einer Streuung die Elektronen eine geringere Geschwindigkeit haben.

4. Die Selbstwechselwirkung

Hier (und für Photonen bereits Nieke [5]) wird versucht, die Beugung mit Selbstwechselwirkung von Elektron mit Feld zu erklären.

Wie bekannt, führte Broglie [9] für das Photon die Führungswelle (besser das Führungsfeld) ein und Bohm [18] die Aufspaltung der Wellenfunktion bei der Strahlungsteilung. Chew [19] machte die Selbstwechselwirkung als ‚bootstrap‘ wissenschaftsfähig. Man spricht auch von self-consistency, eigen-energy oder Selbstenergie, bootstrap ist jedoch zu mystisch. Hier wird der Ausdruck Selbstwechselwirkung bevorzugt, denn es wird die Wechselwirkung des Elementarteilchens mit dessen Feld in den Vordergrund gestellt. Crew beschränkte sich auf Hadronen, die Photonen schloß er der (Ruh-) Masse null wegen aus. Hier werden jedoch vor allem Photonen und Elektronen und deren Beziehungen zu Wirbeldynamik und Selbstwechselwirkung betrachtet.

Lorentz [20] überschrieb ein Kapitel mit der Überschrift: „Rückwirkung des Äthers auf ein langsam bewegtes Elektron beliebiger Gestalt.“ Dirac [21] beschrieb die Interferenz des Photons mit sich selbst, wenn sich nur ein Photon in der Apparatur befinden konnte als ‚Interferenz des Photons mit sich selbst‘. Das benutzte Nieke [5] mit zur Deutung der Beugung, wo die Richtungsänderung des Photons mit der Struktur eines Wirbelpaares und Eigenfeld infolge seines verändert rücklaufenden eigenen Feldes entsprechend der Wirbeldynamik begründet wurde, wobei das Feld ein Teil des Photons ist. Nach Sommerfeld [6] führt ein Wirbelpaar eine Drehung aus, wenn seine beiden Wirbel mit entgegengerichtetem Drehsinn nicht exakt die gleiche Wirbelstärke haben.

Nieke [22] wies durch Abdeckung in der Zwischenabbildung eines Spaltbildes des Doppelspaltes nach, daß nach einem hinreichenden Lichtweg (Größenordnung Dezimeter) trotzdem die Beugungsfigur des Doppelspaltes entsteht. Das Photon hat dann also die Orientierung von dem Spalt, den es selbst nicht durchlief. Er nahm dazu an, daß das Feld des Photons mit Struktur und

Eigenfeld, das den anderen Spalt durchlaufen hat, dann hinreichend zum Photon zurückgekehrt ist und sein Photon durch Selbstwechselwirkung beeinflusst hat.

Bei Hönl [23] findet man zahlreiche Hinweise: „Nimmt man an, daß die gesamte Trägheit des Elektrons elektromagnetischen Ursprungs ist - so hat man der Summe von Eigenkraft (des Elektrons auf sich selbst) ... daß auch die Selbstenergie des Feldes endlich wird. ... Dagegen treffen nach der Bopp-Feynmanschen Theorie prinzipiell auch von allen Stellen des Nachkegels elektrodynamische Wirkungen am Ort der Ladung ein. Bei dieser Formulierung der elektrodynamischen Grundgesetze ist daher Ausbreitung der Feldwirkungen mit beliebiger Unterlichtgeschwindigkeit möglich. ... Eigenkraft des Teilchens a auf sich selbst.“ Hönl bezeichnete das Elektron als ‚Pol-Dipol Teilchen‘.

5. Übertragung der Vorstellungen über Beugung von Licht auf Elektronen

Die Beugung von Licht diskutierte Nieke [5] für Photonen mit der Struktur von Wirbelpaaren und Feld durch die unsymmetrische Behinderung des rücklaufenden Feldes und der dadurch mit der Wirbeldynamik (z. B. Sommerfeld [6]) erklärten Richtungsänderung des Photons. Es ist also zu versuchen, dies auf Elektronen zu übertragen.

Über die Atomoptik berichtete Adams [24], er schrieb (übersetzt): „Licht und Atome sind beherrscht von sehr ähnlichen Reihen von Gleichungen, folglich gibt es für fast jedes optische Phänomen ein atomoptisches Analogon.“

Aharonov u. Bohm [25] wiesen auf die Wirkung elektromagnetischer Felder bei Quantenprozessen, Imry u. Webb [26] referierten dies sowie neue Anwendungen. Hier interessiert die Beeinflussung der Beugungsfigur des Doppelspaltens bei Elektroneninterferenzen, wo die Teilstrahlen durch elektrisch geladenen Röhren liefen, von abgeschirmten Magneten beeinflusst wurden oder von denen ein Strahl durch einen Ringmagnet lief. Eine Beeinflussung (nicht nur des Elektrons, sondern auch) des zum Elektron rücklaufenden Feldes, und damit der Beugungsfigur, durch elektrische und magnetische Felder, ist nach dem hier betrachteten Mechanismus der Beugung mit Selbstwechselwirkung selbstverständlich. Sie schrieben: „Dieser Effekt beweist eindeutig, daß die Änderung der Phase einer Wellenfunktion mit einer physikalischen Größe zusammenhängen muß, die in einem fehlerfreien Gebiet existiert.“

Von jedem Elektron (oder Atom) geht laufend ein Feld aus. Es ist dies das Feld der Ladung, des magnetischen Momentes und ev. das des Kernes. Bei Ruhe oder gleichförmiger Geschwindigkeit kann das Feld zum Elektron zurückkehren. Das ist notwendig, denn das Elektron ist ein stabiles Teilchen, das nur mit der Elementarladung und konstantem magnetischen Moment bekannt ist, es darf also keine Energie oder kein Feld verloren gehen. Aber wenn das Feld am Rücklauf unsymmetrisch behindert ist, so ist gemäß der Wirbeldynamik auch hier eine Richtungsänderung zu erwarten.

Duane [27] und Landé [28] wiesen auf die Bedeutung der Struktur des Beugungsobjektes hin. Die Weite eines Spaltens oder die Gitterkonstante eines Kristallgitters beeinflusst die Beugungsfigur reziprok dazu. So wird das reziproke Gitter benutzt oder auch die Fourierkomponenten. Röntgen- oder Elektronenstrahlen liefern daher bei der Analyse gleiche reziproke Gitter, wobei die Beugungsfiguren nicht völlig identisch sein müssen. Die Grundbeugung liefert also die Frequenz oder Geschwindigkeit. Bei der Frequenz ist die Periodizität klar, die den phasenrichtigen Rücklauf des Feldes erfordert. Bei der Geschwindigkeit wird man die Veränderung der Phase vom Start des Feldes bis zur Rückkehr annehmen.

Beim Gitter ist der Zwischenraum der Gitterabstände in der Praxis so klein, daß innere Beugungsstreifen wie am Spalt keine Rolle spielen. Aber auch am Gitter muß der Abstand zur

Auffangebene groß sein, damit das Feld, das andere Teile des Gitters passierte, zu seinem Photon oder Elektron zurückkehren kann.

Das Feld ist aber nicht auf die Größe des Teilchens beschränkt, sondern es durchstreift ein größeres Gebiet. So benutzt das Feld auch andere Raumteile, wie etwa verschiedene Abstände von der Kante, unterschiedliche Orte im Spalt und beim Gitter oder Raumgitter auch entferntere Gitterzwischenräume als sie das Photon oder Elektron benutzte. Durch den Rücklauf erhält das Photon oder Elektron Information von der Struktur des Beugungsobjektes und das Photon oder Elektron führt die dazu gehörigen Richtungsänderungen aus. Newton [1] III Frage 3 folgerte bereits eine aalartige Bewegung seiner Lichtteilchen.

Wird das Elektron so weit beschleunigt, daß es der Lichtgeschwindigkeit nahe kommt, so folgt das Elektron weniger der Beschleunigung. Das Feld (als Kraftlinien) hat aber noch die vorhergehende Geschwindigkeit und kann nicht phasenrichtig zurückkehren, es bremst daher das Elektron. Das beschreibt man in der speziellen Relativitätstheorie als eine von der Geschwindigkeit abhängige höhere Masse.

6. Strahlung durch beschleunigte oder verzögerte Elektronen

Wenn ein Elektron beschleunigt oder verzögert wird, so hat das Feld noch die vorherige Geschwindigkeit und kann nicht wie bisher zurücklaufen. Hier ist zu erwarten, daß sich Feldlinien abschnüren können, wie das bereits Hertz [29] bei der Emission elektromagnetischer Strahlung vom Dipol angenommen hat. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß sich nach Nieke [30] für ein Photon zwei Wirbel entgegengerichteten Drehsinns zu einem Wirbelpaar zusammenschließen müssen. In zwei aufeinanderfolgenden Halbperioden könnten sich zwei Wirbel entgegengesetzten Drehsinns bilden, als Wirbelpaar zusammenschließen und dann senkrecht zur Verbindungslinie der Schwerpunkte mit großer Geschwindigkeit, als elektromagnetisches Wirbelpaar mit Lichtgeschwindigkeit, vorwärts bewegen.

Im Fall der Bremsstrahlung bei der Erzeugung der Röntgenstrahlung werden die Elektronen durch hohe Felder beschleunigt und treffen mit hoher Geschwindigkeit auf die Antikathode. Das Feld behält aber die hohe Geschwindigkeit bei, Feldlinien können sich abschnüren und direkt oder indirekt Photonen, also die Bremsstrahlung, bilden.

Wenn Elektronen durch ein Magnetfeld in einem Synchrotron auf einer Kreisbahn beschleunigt werden, so läuft hier das Feld in der bisherigen Richtung weiter und kann das Elektron nicht erreichen, daher ergibt sich auch hier die Gelegenheiten zur Abschnürung von Feldlinien, also zur Bildung von Photonen.

Cherenkow fand sichtbare Strahlung, wenn Elektronen mit einer höheren Geschwindigkeit in ein Medium eintreten, in dem die Phasengeschwindigkeit kleiner als die Geschwindigkeit der Elektronen ist. Wie oben kann dies mit der Abschnürung von Feldlinien als Bildung von Photonen begründet werden.

7. Folgerungen

In der Diskussion zwischen Bohr und Einstein wurde Bohr als Sieger gewertet. Aber Einstein hätte seine ablehnende Haltung gegen den Dualismus von Welle und Korpuskel (Einstein [31]: Verschmelzung von Welle und Korpuskel) und Indeterminismus (Einstein [32]: Gott würfelt nicht), also gegen die Kopenhagener Deutung beweisen können, wenn er die Bedeutung der Newtonschen Beugungsexperimente erkannt hätte. Dabei hat er 1934 zu Newtons Optik [33] ein Vorwort geschrieben, aber dem dritten Buch hat er offenbar keine Aufmerksamkeit gewidmet. Newton hatte

allerdings die Beobachtungen 5 und 10 nicht betont, denn er konnte Fresnels Vereinfachungen und Unterschlagungen nicht ahnen. Auch hatte Newton seine Beugungsexperimente kaum bezüglich der Natur des Lichtes ausgewertet. Einstein hätte experimentieren müssen, um die unzulässige und falsche Extrapolation mit Hilfe von Newtons Beobachtung 5 und 10 erkennen zu können. Zu seiner Zeit hätte Einstein keine Alternative geben können. Diese war erst nach etwa 1960 möglich, als die Struktur von Elementarteilchen denkbar wurde. Die Möglichkeit der Selbstwechselwirkung (ohne dies so zu nennen) war bereits von Broglie eingeführt worden mit der Führungswelle, was bereits Born in Führungsfeld korrigierte. Jedoch ist es jetzt möglich, die Meinung Einsteins weiterzuführen.

Den Optimismus dazu hat bereits Laue [34] gegeben, denn er schrieb: „ Nicht geringer scheint dem Verfasser die Schwierigkeit, Korpuskel- und Wellenvorstellung für denselben Gegenstand miteinander zu vereinen. ... Aber die notwendige Einheit beider Vorstellungen bleibt dabei eine unerfüllte Forderung an die Theorie. Man sage nicht, diese Schwierigkeit sei grundsätzlich unüberwindbar. In der Deutung jeglichen Versuchs steckt schon Theorie.“

Die Theorie ergab sich hier nur durch die Unterschlagung der Newtonschen Beugungsexperimente.

Literatur

- [1] I. Newton, Opticks, or a Treatise of the Reflexion, Refractions, Inflexions and Colours of Light. London 1704; Opera qua exstant omnia, Tom IV. London 1782; Reprint, Bruxelles 1966; Optik II + III, Übers. W. Abendroth, Ostwald's Klassiker Nr.97. Engelmann, Leipzig 1898. Neuauflage Bd. 96/97, Vieweg, Braunschweig 1983; Optique, Trac. J. P. Marat 1787; Reproduction Bourgeois, Paris 1989.
- [2] A. J. Fresnel, Oeuvres Complètes I. Paris 1866; Abhandlungen über die Beugung des Lichtes. Ostwalds Klassiker Nr. 215, Engelmann, Leipzig 1926.
- [3] H. Nieke, Newtons Beugungsexperimente und ihre Weiterführung. Arbeit 1.
- [4] N. Bohr, Atomphysik und menschliche Erkenntnis I u. II. die Wissenschaft Bd. 112 u. 123, Vieweg, Braunschweig 1958 u. 1966. Atomic Physics and Human Knowledge. Wiley, New York 1958.
- [5] Wie [3], Arbeit 12.
- [6] A. Sommerfeld, Vorlesungen über theoretische Physik, Bd. II, Mechanik der deformierbaren Medien. Akad. Verlagsges. Leipzig 1945, S. 153~156.
- [7] A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien. Bd. II. Vieweg, Braunschweig 1960. Gleichungen (I.1.5) und (I.6.9a); Atomic Structure and Spectral Lines. Methuse, London 1923, 1930, 1934. Equations (I.1.5) and (I.6.9a).
- [8] A.. O. Barut, Z. Naturforsch. **32** a (1977) 362.
- [9] L. de Broglie, La Physique quantique restera-t-elle indéterministe? Gauthier-Villars, Paris 1953; Phys. Bl. **9** (1953) 486, 541.
- [10] Wie [3], Arbeit 14.
- [11] E.Mach, Die Prinzipien der physikalischen Optik. Barth, Leipzig 1921, S. 185- 226.
- [12] H.. Boersch, Naturwis. **28** (1940) 711.
- [13] J.Hiller a. E. Ramberg, J. Appl. Phys. **18** (1947) 48.
- [14] C. Malange a. J. Gronkowski₁ phys. stat. sol. (a) **85** (1984) 389.
- [15] Wie [3], Arbeit 6.
- [16] M. Laue, Materiewellen und ihre Interferenzen. Akad. Verlagsges., Leipzig 1948.

- [17] J. M. Cowley, *Diffraction Physics*. North-Holland, Amsterdam, New-York, Oxford 1981.
- [18] D. Bohm: *Phys. Rev.* **85** (1952) 160; **87** (1952) 389.
- [19] F. Chew, *Science* **161** (1968) 762; *Physics Today* **23** (1970) 23.
- [20] H. A. Lorentz, In: *Encyclopädie der mathematischen Wissenschaften*. V. Band, 2. Teil, Teubner, Leipzig 1904-1922. S. 188.
- [21] P. M. A. Dirac, *Die Prinzipien der Quantenmechanik*. Hirzel, Leipzig 1930 S. 14; *The Principles of Quantum Mechanis*. Clarendon Press, Oxford 1935, 1947, 1958.
- [22] Wie [3], Arbeit 5.
- [23] H. Hönl, *Erg. ex. Naturwissenschaften* **26** (1952) 291, Zitate S. 297, 335, 347, 351, 293.
- [24] C. S. Adams, *Contemp. Phys.* **35** (1994) 1.
- [25] Y. Aharonov a. D. Bohm, *Phys. Rev.* **115** (1959) 485.
- [26] Y. Imry a. R. A. Webb, *Sc. Am. (USA)* 1989 April 36; *Spectr. Wiss.* 1989 Juni 88.
- [27] W. Duane, *Proc. Nat. Sci. Wash.* **9** (1923) 158.
- [28] A. Landé, *Ann. Physik (7)* **33** (1976) 88.
- [29] Hertz, *Ann. Physik (III)* **36** (1889) 1; *Ges. Werke Bd. II*, Barth, Leipzig 1892, S. 147.
- [30] Wie [3], Arbeit 13.
- [31] A. Einstein, *Phys. Z.* **18** (1917) 121.
- [32] M. Born: *Albert Einstein - Hedwig - Max Born - Briefwechsel*. Nymphenburger, München 1969, S. 118, 226.
- [33] wie [1], Reprint from the fourth edition 1730 (with a Foreword by Albert Einstein and an Introduction by Sir E. T. Whittaker) 1934.
- [34] Wie [16], S. 401.