

## 5. Bewegte Dipole

Die Anwendung der Elektrodynamik Maxwells auf bewegte Körper führte zu „Asymmetrien, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen“ (Einstein). Die spezielle Relativitätstheorie löste das Problem vom Standpunkt der Mathematik, indem es einen geeigneten Korrekturfaktor einführte – den Wurzelausdruck

$$\sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Dass damit für grundlegende physikalische Begriffe wie Zeit und Raum Neuinterpretationen zwingend notwendig wurden, muss den Mathematiker nicht bekümmern. Er beruft sich auf Autoritäten der axiomatischen Methode wie David Hilbert und Philosophen wie Moritz Schlick, die an den Anfang der Forschung sogenannte „implizite Definitionen“ stellen, aus denen erst physikalische Aussagen ableitbar sind.

*„Die impl. Def. bestehen in folgenden: man stellt eine Reihe von Urteilen auf, sog. Axiome, die gewisse Begriffe als Subj. u. Präd. enthalten, oder vielmehr zunächst nur Worte als Zeichen für gewisse Begriffe, **und dadurch, dass man festsetzt: diese Urteile sollen gelten, dadurch sind diese Begriffe eben definiert.** Diese Art der Definition von Begriffen [ . . . ] ist die einzig mögliche vollkommen exacte Definition. Diese Entdeckung ist m. E. eine der allergrössten Errungenschaften des modernen Denkens, von höchster Bedeutung für die Erkenntnistheorie.“*

(Schlick-Nachlaß, Inv.-Nr. 3, A. 3a, Ms Grundzüge der Erkenntnislehre und Logik (nachfolg. Ms Grundzüge), Bl. 42)

Der Physiker hingegen steht vor der Frage, ob solch willkürliche Definitionen, die zwangsläufig zu schwerwiegenden Eingriffen in das klassische Begriffssystem führen müssen, tatsächlich gerechtfertigt sind oder ob sich das Problem nicht auch physikalisch lösen lässt. Bis heute ringen Physiker, Philosophen, Laien usw. ernsthaft um eine befriedigende Antwort auf diese Frage.

Da sich inzwischen die Schwerpunkte der Forschung in Richtung mathematisch-axiomatische Physik verschoben haben und mathematisches Denken die Physik beherrscht, besteht offiziell keinerlei Klärungsbedarf. Dabei wird übersehen, dass auch die hier angewandte axiomatische Methode längst innerhalb der Mathematik in die Kritik geraten ist.

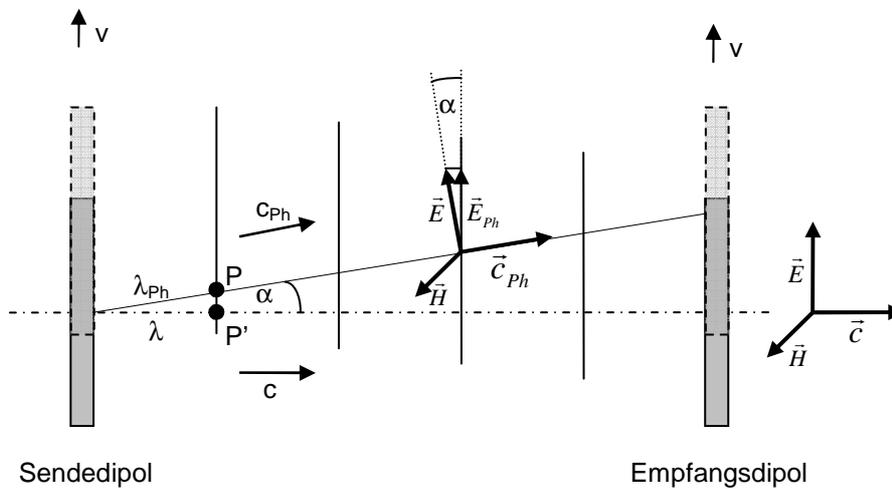
Vor allem: Mit der scheinbaren Lösung des Problems der „Asymmetrien“ wurde zugleich eine unüberwindliche (Denk-)Barriere gegen alle weiteren Lösungsvorschläge errichtet. Eine Elektrodynamik bewegter Körper scheint zwar mit der Relativitätstheorie technisch handhabbar, aber nicht wirklich gelöst bzw. im Sinne der Physik umfassend verstanden zu sein.

Die Relativitätstheorie betrachtet relativ zueinander bewegte Systeme und will mit dem Modell „Lichtstrahl“ Zuordnungen herstellen. Am Beispiel bewegter Dipole soll untersucht werden, ob möglicherweise ein zu einfaches Modell der physikalischen Realität zu den beobachteten „Asymmetrien“ führt.

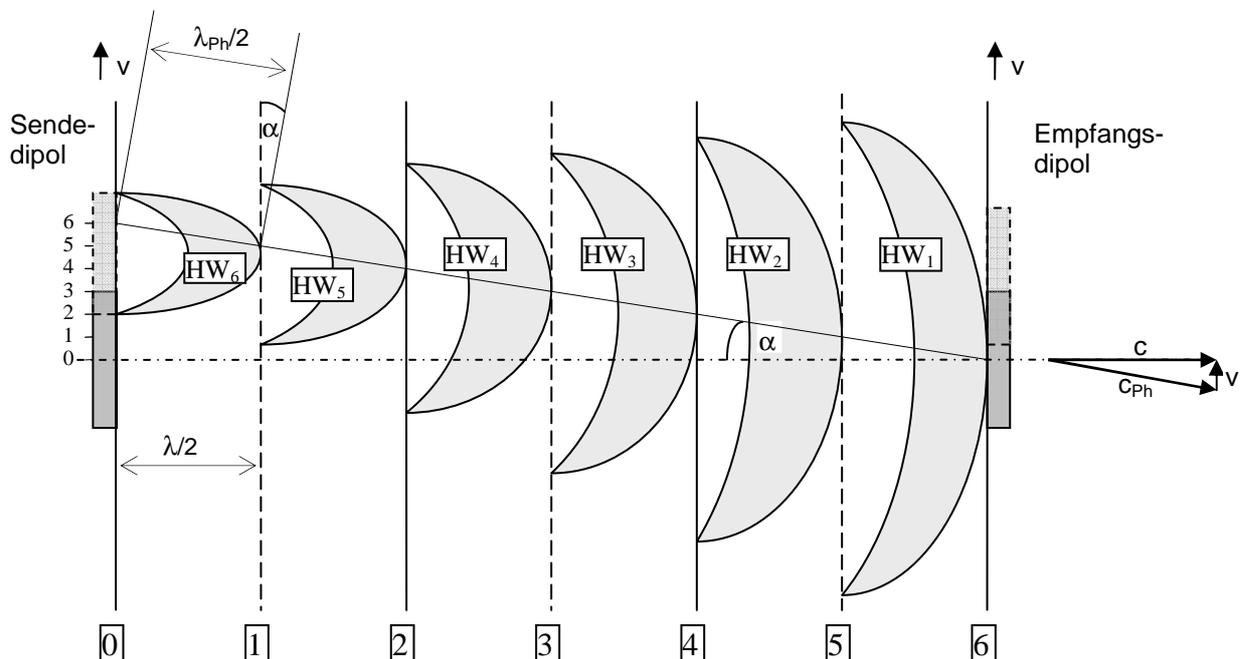
Wie in Kapitel 4 wird statt eines von einem Punkt ausgehenden eindimensionalen Lichtstrahls das Gesamtsystem Sendedipol – Wellenfeld – Empfangsdipol betrachtet. Statt „bewegte Körper“ sind hier „bewegte Dipole“ Gegenstand der Untersuchung.

Fall 1:

Das Gesamtsystem Sender – Empfänger bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  senkrecht zur Ausbreitungsrichtung im Ruhssystem.



Es fällt sofort auf, dass die Zeichnung in allen wesentlichen Details mit der Aberrations- und Hohlleiterdarstellung übereinstimmt, darüber hinaus aber noch eine fundamentale Besonderheit aufweist: Die vom Sendedipol mit  $\lambda/2$  im zeitlichen Abstand von  $T/2$  abgestrahlten in sich geschlossenen Felder *erscheinen* dem Beobachter nicht nur von Halbwelle zu Halbwelle gegeneinander in Richtung  $v$  verschoben, sie breiten sich *tatsächlich* so versetzt im Raume aus. Jede Halbwelle ist eine in sich geschlossene elektromagnetische Struktur und trennt sich nur als diskretes Energiequantum in seiner Gesamtheit vom Dipol – und zwar jeweils an einem anderen Ort. Obwohl der Empfangsdipol parallel mitläuft, erreichen diesen nur senkrecht gegeneinander verschobene Halbwellen, deren einzelne Ausbreitung mit  $c$  (senkrecht zum Dipol) erfolgt, in ihrer Aufeinanderfolge aber um den Winkel  $\alpha$  verschoben sind. Eine solch bezüglich der Ausbreitungsrichtung asymmetrische elektromagnetische Welle führt dann auch zu den beobachteten Asymmetrien bei der Anwendung der Maxwell'schen Elektrodynamik auf bewegte Körper. Lassen wir den Begriff einer asymmetrischen Lichtausbreitung („schiefes Licht“) zu, so eröffnen sich neue Möglichkeiten bei der Erklärung von Strahlungsphänomenen.



Eine vom Sende- zum Empfangsdipol mit Lichtgeschwindigkeit  $c$  laufende Welle wird auch hier vom außerhalb ruhenden Beobachter so wahrgenommen, als liefe ein Punkt  $P$  mit der Phasengeschwindigkeit  $c_{Ph}$  entlang einer um den Winkel  $\alpha$  geneigten Strecke. Die Aussagen von Kapitel 4 bezüglich Wellenlängen, Geschwindigkeiten, Feldvektoren, Energietransport usw. treffen hier sinngemäß zu und müssen nicht wiederholt werden. Hinzuweisen ist auf den Winkel  $\alpha$ , dessen Kosinuswert wieder als Korrekturfaktor zur Umrechnung vom Ruhesystem ins bewegte System bzw. umgekehrt Verwendung finden kann.

Die in der Zeichnung dargestellte Anordnung entspricht der einer bewegten Lichtuhr, wie sie in der relativistischen Literatur zur Begründung einer Zeitdehnung Verwendung findet. Der aus dem Ruhesystem länger erscheinende Laufweg des Punktes  $P$  müsste ja mit Überlichtgeschwindigkeit unterwegs sein, wenn er gleichzeitig beim Empfangsdipol ankommt wie der zugeordnete Punkt  $P'$  der Originalwelle. Das widerspricht dem Axiom von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Allein aus diesem Grunde muss nun gefordert werden, dass die Zeit langsamer vergeht. Man akzeptiert nicht, dass der Punkt  $P$  kein physikalisch realer „Lichtpunkt“ ist, sondern dass es sich lediglich um einen mathematisch definierten Punkt auf einer Wellenfront handelt, der mit beliebig einstellbaren Geschwindigkeiten wandern kann. Es wird hier offenbar nicht zwischen Lichtwellen (bzw. elektromagnetischen Wellen bei freier Ausbreitung) und Phasenwellen unterschieden, obwohl beide Wellenarten grundsätzlich unterschiedliche Eigenschaften haben können. Während sich z.B. Lichtwellen ausschließlich mit  $c$  ausbreiten, können die Phasen einer stehenden Welle ortsfest bleiben und sich überhaupt nicht bewegen ( $c_{Ph} = 0$ ) bzw. sämtliche Werte bis „gegen Unendlich“ annehmen.

Der Versuch, eine schneller als  $c$  laufende Phasenwelle dennoch als Lichtwelle zu behandeln, gelingt formal über mathematische Transformationen. Es bleibt dem Mathematiker freigestellt, wie er die längere Laufstrecke  $s$  definiert:

a)  $s = c_{Ph}t$  mit  $c < c_{Ph}$  und Umrechnungsfaktor  $\sqrt{1 - v^2/c_{Ph}^2}$  oder

b)  $s = ct_R$  mit  $t < t_R$  und Umrechnungsfaktor  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ .

Für Lorentz war die später nach ihm benannte Transformation tatsächlich nur ein Rechenrick, dem keine physikalischen Gegebenheiten entsprachen, und auch Einstein schwankte in seinen Aussagen, ob es sich hier um reale Effekte z.B. der Zeitdehnung handelte oder eben nur um mathematische Transformationen.

Die Entscheidung für die Möglichkeit b) mag historisch bedingt sein, da man für Lichtwellen wohl einzig die Identität der Ausbreitungsrichtungen von  $c$  und  $c_{Ph}$  in Erwägung zog.

Fall 2:

Nur einer der beiden Dipole (z. B. Sender) bewegt sich senkrecht zur Ausbreitungsrichtung, der andere (Empfänger) bleibt in Ruhe.

Dieser Fall entspricht dem transversalen Dopplereffekt, für den gilt

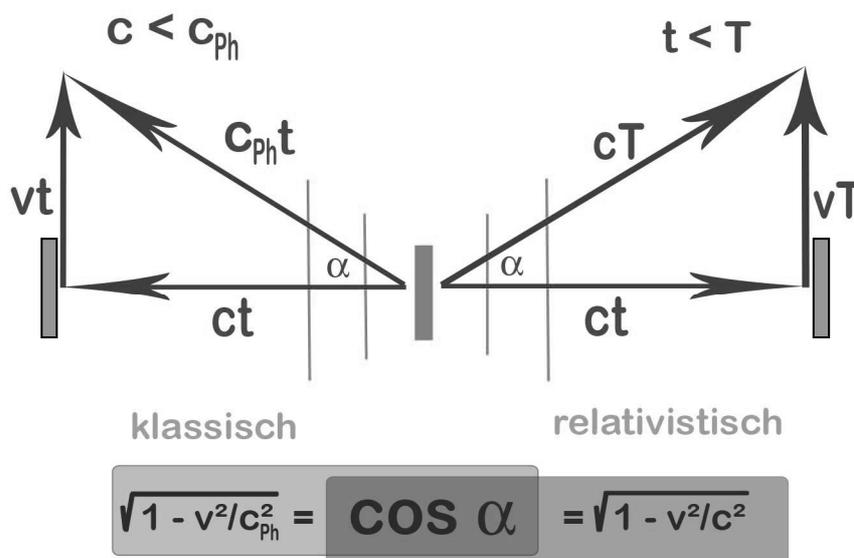
$$f_E = f_S \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad \text{bzw.} \quad \lambda_S = \lambda_E \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Da sich Sender und Empfänger weder einander nähern noch entfernen (die senkrechte Geschwindigkeitskomponente kann bei großen Entfernungen vernachlässigt werden), sollte kein Dopplereffekt erwartet werden. Aus relativistischer Sicht erklärt sich die dennoch beobachtete Frequenz- bzw. Wellenlängenverschiebung aus der Zeitdehnung des bewegten Dipols.

Aus physikalischer Sicht erreichen den ruhenden Empfänger wie in Fall 1 (siehe Abbildung) wieder unter dem Winkel  $\alpha$  verschobene Halbwellen. Es gelten zwar wieder dieselben Gleichungen, allerdings mit anderer Interpretation: Nicht eine postulierte Zeitdehnung, sondern die asymmetrische Ausbreitung der Halbwellen verursacht das beobachtete Doppler-Phänomen. Der Winkel  $\alpha$  beschreibt die Abweichung der Ausbreitungsrichtung des Lichts von einem bewegten Sendedipol gegenüber einem ruhenden. Es handelt sich dabei wieder um von Halbwelle zu Halbwelle senkrecht zueinander verschobenes („schiefes“) Licht, das sich qualitativ von einer reinen Phasewelle unterscheidet. Die Umrechnung erfolgt erwartungsgemäß mit dem Kosinusfaktor.

$$\lambda_S = \lambda_E \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad \text{bzw.} \quad \lambda_S = \lambda_E \cos \alpha.$$

Die folgende Grafik stellt die bis hierher gemachten Überlegungen noch einmal in einen Zusammenhang. Statt einer punktförmigen Lichtquelle, von der „Lichtstrahlen“ ausgehen, findet ein räumlich ausgedehnter Sendedipol Verwendung (Mitte), der raum-zeitlich strukturierte Wellenfelder aussendet. Erst durch diese erweiterte Betrachtungsweise kann das Auseinanderfallen von Lichtgeschwindigkeit  $c$  und Phasengeschwindigkeit  $c_{ph}$  sichtbar werden, wenn sich das System mit  $v$  gegenüber einem Ruhesystem bewegt (linke Seite). Die relativistische Interpretation (rechte Seite) kommt trotz Ignorierung dieses Auseinanderfallens zu identischen Ergebnissen, indem der Winkel  $\alpha$  durch willkürlich definierte Zeitdehnung generiert wird. Rein rechnerisch spielt es also keine Rolle, ob man klassisch oder relativistisch die Korrekturen vornimmt - es handelt sich ja letztlich immer um  $\cos \alpha$ . Aber dem Anspruch, die physische Welt auch mit physikalischen Mitteln zu erklären, genügt die mathematisch mögliche Axiomatik nicht. Diese ist bestenfalls ein Einstieg bei schlechter Datenlage, kein ewig währendes, unveränderliches Dogma.



Der Kosinusfaktor scheint eine Art Brücke zwischen klassischer und relativistischer Natursicht zu sein. Doch wo Brücken sind, gibt es auch getrennte Ufer. Selbst wenn Verfechter und Kritiker der Relativitätstheorie (bzw. Kritiker und Verfechter der Kosinustheorie) diese Brücke in ferner Zeit tatsächlich benutzen sollten, so änderte das kaum etwas an der Existenz zweier eigenständiger Lager an den getrennten Ufern: Auf der einen Seite die Physiker, die letztlich nur experimentell geprüfte Behauptungen zur Basis ihrer Natursicht machen, auf der anderen Seite die Mathematiker, die Pythagoreer, die Platoniker usw., die die Mühen des Experimentierens durch die Mühen des reinen Denkens ersetzen wollen. Wer den Triumph der einen oder anderen Seite herbeisehnt, bedenke: Beide Haltungen verhalten sich zueinander komplementär, und keine kann durch die andere vollständig ersetzt werden.

Doch ein Festhalten an „Zeitdehnung“, „Längenkontraktion“, „Massenzunahme“ usw. entbehrt jeder physikalischen Grundlage und ist durch kein Argument länger zu rechtfertigen.