

passive und aktive Aberration

die Lichtbewegung einmal anders

R. Sydow, Niederfinow (Deutschland)
(2022)

abstrakt: nach der Aussage der Relativitätstheorie gibt es zwar die passive Aberration, die aktive Aberration hingegen soll nicht existent sein.

Bewegt sich also ein Beobachter quer zu einer passiven Lichtquelle, wird er eine Richtungsveränderung des Lichtes feststellen. Ist es aber eine sich aktiv zum Beobachter bewegende Lichtquelle, so wird der Beobachter eine Richtungsveränderung des Lichts nicht feststellen können.

Die Begründung dieser Aussage ist sehr einfach. Eine passive Aberration ist einfach nachzuweisen, während die aktive Aberration nie festgestellt werden konnte.

Da dieser Unterschied in den Arten der Aberration dem Relativitätsprinzip entgegensteht, werden diese Arten untersucht. Wenn das Thema auch nicht erschöpfend dargelegt wurde, sind doch Gedanken diskutiert, die die Existenz der aktiven Aberration nahelegen.



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abkürzungen	2
Einleitung	3
passive Aberration	4
Einsteins Licht	9
aktive Aberration	10
Diskussion	13
Anlagen	17
Anlage 1: andere Darstellungen der allgemeinen Aberrationsformel	17
Anlage 2: Dreiecksberechnung	19
Anlage 3: Transformation der Richtungscosinus	21
Anlage 4: Berechnung des einsteinschen Aberrationswinkels	24
Anlage 5: Unterschied zwischen passiver und aktiver Aberration	26
Literatur	28

Abkürzungen

IS	Inertialsystem
RP	Relativitätsprinzip
RT	Relativitätstheorie
SRT	spezielle Relativitätstheorie

Einleitung

Der Titel verrät, dass es hier um zwei Themen geht. Einerseits ist die Frage der Existenz der aktiven Aberration zu betrachten und andererseits ist zu beantworten, warum die aktive Aberration im de Sitter-Experiment nicht nachvollzogen wurde.

Aberration in der Astronomie ist die „scheinbare Ortsveränderung der Gestirne infolge der Erdbewegung und der endlichen Geschwindigkeit des Lichts“ ([Uhl1] S. 15).

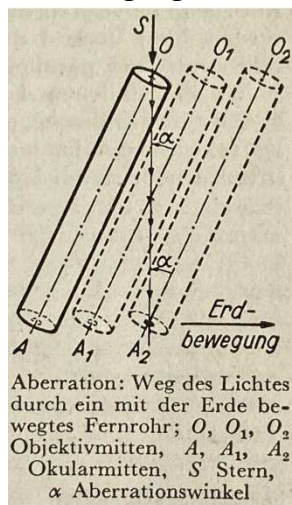


Bild 1: Darstellung der Aberration ([Uhl1] S. 15). Durch die erforderliche Schrägstellung des Fernrohrs erscheint ein Objekt O verschoben zu dessen realer Position.

Der Zusammenhang zwischen der Aberration und der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit wurde bereits 1728 von Bradley (siehe [Bra1]) hergestellt. Bei unendlich schnellen Lichtteilchen würde das Eintreten des Photons in das Fernrohr am Punkt O und der Austritt desselben am Punkt A₂ aus dem Fernrohr (siehe Bild 1) gleichzeitig stattfinden. Dann würde das Fernrohr auch direkt in die Richtung der realen Position des das Licht emittierenden Objektes zeigen. Da durch Bradley nachgewiesen werden konnte, dass die Stellung des Fernrohres einen bestimmten Winkel einnimmt, um das Objekt wahrzunehmen, schloss er auf die nicht unendliche Lichtgeschwindigkeit¹.

Mit der Etablierung der RT, insbesondere der SRT, stellte sich nun aber eine kardinale Frage. Wenn das RP gelten sollte, dann darf die Aberration ausschließlich von der Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger abhängen. „Nur Relativgeschwindigkeiten können beobachtbare Folgen haben“ ([Bro1] S. 5).

Es muss also eine Aberration für den relativ gegen den Sender bewegten Beobachter geben, als auch eine Aberration aus dem vom bewegten Sender emittierten Licht bemerkbar sein.

¹ Die geschichtlichen Hintergründe und der Einfluss Römers (siehe [Röm1]) seien hier nicht weiter untersucht. Hinweise dazu sind auch in [Mes1] S. 518 und [Bro1] zu finden.

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023

copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow



Ersterer Fall ist hinlänglich bekannt. Er soll hier als die passive Aberration bezeichnet werden, denn im zweiten Fall geht es um die Aberration, „die von der Bewegung der Quelle herrührt und gewöhnlich aktive Aberration genannt wird“ ([Bro1] S. 5).

Die somit genannte passive Aberration ergibt sich also, wenn sich ein Lichtquant durch den Raum bewegt und ein Empfänger den Weg des Photons quert. Die Effekte wurden oben beschrieben und sind hinlänglich bekannt.

Ein arges Problem stellt die aktive Aberration dar. Sie sollte auftreten, wenn sich der Sender des Lichtquants gegenüber dem Empfänger mit einer Relativgeschwindigkeit bewegt und das Photon sich durch das IS des Senders bewegt. Dann sollte ein Beobachter in seinem IS eine Aberration feststellen, die auf die Relativgeschwindigkeit beider IS schließen lässt.

Entsprechend dem RP sollte es ja unerheblich sein, wer als der Bewegte angesehen wird. Die sich ergebenden Erscheinungen sollten jedenfalls identisch sein. Allerdings „ist es unzweifelhaft, daß [sic] uns die astronomischen Beobachtungen niemals eine Spur eines solchen von der Bewegung der Lichtquelle abhängigen Aberrationseffektes haben erkennen lassen“ ([LaR1] S. 198).

Wie kommt man aber zu dieser Einschätzung, dass es keine aktive Aberration geben kann? Dafür sind zwei Hinweise zielführend.

Einerseits ist die stellare Aberration nur von der Bewegung der Erde um die Sonne (vgl. [U1]) abhängig. Das bedeutet, dass sich die festgestellten Werte stellarer Aberrationen direkt aus dieser Bewegung ableiten lassen, sodass kein Effekt für die Aberration des bewegten Senders übrig bliebe.

Andererseits würde auch eine relativ kleine aktive Aberration dazu führen, dass insbesondere die Doppelsternsysteme, deren Licht wir empfangen, eine „Aberrationsellipse [...] an den Himmel zeichnen [müsste]“ ([Bro1] S. 5). Aber „diese aktive Aberration wäre unabhängig von der Entfernung“ (ebd. S. 5). Also würden man die Aberrationsellipsen von solchen Doppelsternsystemen in gleicher Größe auch für noch so weit entfernte Systeme entdecken müssen. „Die Erwartungen sind also gewaltig, es ist aber nichts zu sehen“ (ebd. S. 5).

Dieses vielleicht als vernachlässigbar erscheinende Problem wächst sich aber zu einem Entscheidungskriterium für oder wider die RT aus.

Wäre die aktive Aberration erkennbar, würde sie das Relativitätsprinzip bestätigen. Ist sie aber nicht nachweisbar, weist sie eher auf den absoluten Raum hin. Der Schluss von einer nicht vorhandenen aktiven Aberration zum Raum, in welchem die Fixsterne ruhen, ist dann naheliegend. Das würde direkt auf die Hinfälligkeit der SRT hinweisen. Also steht die RT in der Pflicht, eine plausible Begründung für das Ausbleiben der aktiven Aberration zu finden.

passive Aberration

Wenn dabei darauf hingearbeitet wird, dass es darauf ankäme, ob das Licht Teilchen- oder Wellencharakter hat, dann kann das nur in die Irre führen. Wenn man dem Licht einen Teilchen-Wellen-Charakter zuspricht, dann mag das hilfreich sein, bestimmte Eigenschaften mit dem einen oder anderen Charakter des Lichts einfacher zu erklären. Die Erklärung sollte aber unabhängig vom benutzten Charakter jede Eigenschaft identisch beschreiben.

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023
copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow

Ergäben sich aber bei der Begründung einer Eigenschaft des Lichts für die Erklärung dieser Eigenschaft unterschiedliche Aussagen zu betrachteten Eigenschaft, dann steht der Teilchen-Wellen-Charakter in Frage. Es wäre zu entscheiden, um welches Modell (Teilchen oder Welle) es sich beim Licht handelte.

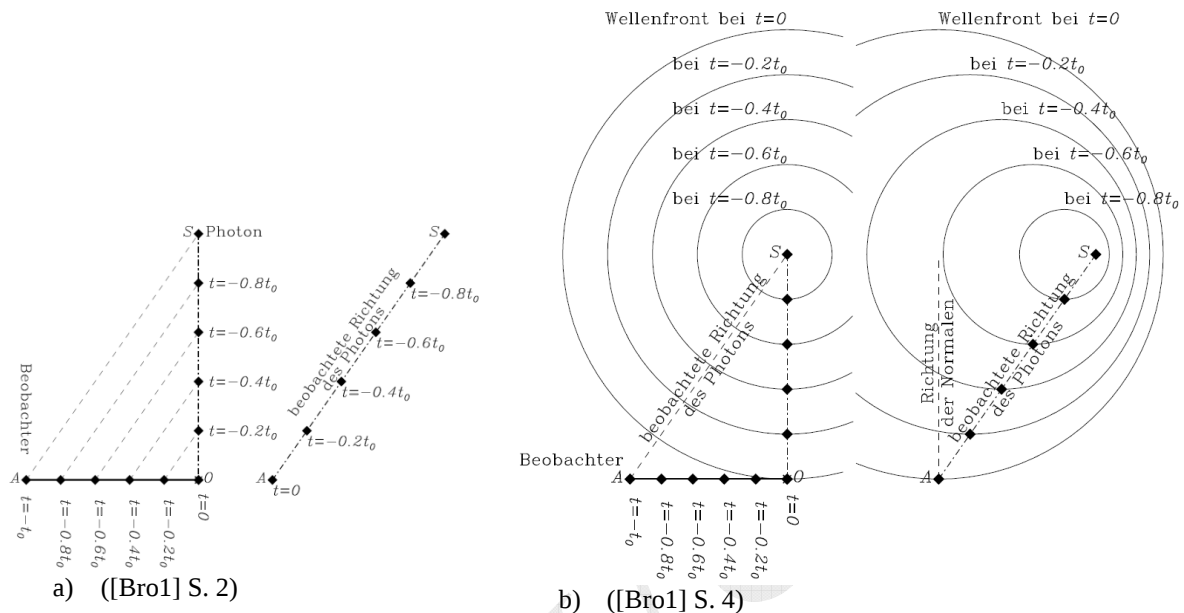


Bild 2: passive Aberration a) als Teilchen- und b) als Wellenmodell des Lichts

Im Bild 2 sind die beiden Charaktere benutzt, um die passive Aberration zu erklären. Teil a zeigt das Teilchenmodell. Die Bewegung des Lichtquants ist senkrecht vom Punkt S zum Punkt 0. Damit wird bestimmt, dass sich im Punkt S der Sender des Quants befindet.

Der Beobachter bewegt sich waagerecht vom Punkt A zum Punkt 0. Beim Zusammentreffen vom Lichtteilchen mit dem Beobachter im Punkt 0 tritt dann der Aberrationseffekt ein, wie er bei [Wal1] mit den Regentropfen erklärt ist.

„Für den Vergleich der von verschiedenen Beobachtern festgestellten Richtungen [beobachtete Richtung des Photons im Bild 2 a] ist nur Weg und Geschwindigkeit des Teilchens, nicht aber die Geschwindigkeit der Quelle von Belang“ ([Bro1] S. 2). Das bedeutet, dass der Aberrations-Effekt ausschließlich im Fernrohr des Beobachters entsteht. Im Fernrohr wird sich ausschließlich die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Photon und dem Beobachter bemerkbar machen. Alle anderen Bewegungen sind für diesen Effekt vernachlässigbar.

Im Teil b (linke Seite) des Bildes 2 ist dieselbe Situation gezeichnet. Im Unterschied zum Teilchenmodell ist hier aber das Licht als eine sich ausbreitende Kugelwelle dargestellt. Ungeachtet der Tatsache, dass das Modell der Kugelwelle zur Darstellung des Lichts nochmal erörtert werden sollte (siehe unten S. 8), ist dem Bild 2b (linke Seite) zu entnehmen, dass der Beobachter lediglich die Wellenfront zum Zeitpunkt $t = 0$ registrieren kann. Damit erkennt er eine Wellenfront, deren Geometrie auf die ‚Richtung der Normalen‘ (siehe Bild 2b rechte Seite) als Herkunftsrichtung hinweist. Das führte zu dem Schluss: „Für die Wellenfront gibt es keine Aberration“ ([Bro1] S. 4).

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023
copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow

Das ist so nicht nachvollziehbar, denn der Beobachter kann mit seinem Fernrohr auch Wellenfronten aufgrund ihrer nicht unendlich schnellen Ausbreitung auch nur in gleicher Weise wahrnehmen, wie es im Bild 1 gezeigt ist. Für die Aberration ist also nicht die Form des empfangenen Signals maßgeblich, sondern es ist die Schrägstellung des Fernrohrs, mit dem das Signal empfangen wird.

Letztlich „[...] gibt es aber die Möglichkeit, daß [sic] auf der Wellenfront eine besondere räumlich begrenzte Struktur unterschieden und damit gemessen werden kann“ ([Bro1] S. 4). Diese räumliche Struktur erhält dann Teilchencharakter. Es ist gerade der Anteil der Kugelwelle, der vom Fernrohr beobachtet wird. So löst sich das Problem mit der Wellencharakteristik des Lichts erst einmal auf.

Die Berechnung der Aberration ist schon bei Einstein nachlesbar (vgl. Anl. 1 und Anl. 3):

$$\cos \varphi' = \frac{\cos \varphi - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad ([\text{Ein2}] \text{ S. 912})$$

Gl. 1

In Gleichung Gl. 1 ist φ' ein sich aus der Aberration ergebender Winkel (vgl. Anl. 3) im System eines zum Sender relativ bewegten Beobachters.

Der Winkel φ ist dementsprechend der Winkel, in welchem der Lichtstrahl im ruhenden System des Sendes abgesendet wird.

Während v die Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger ist, wird mit V die Lichtgeschwindigkeit c angegeben.

Es ist hier nicht unerheblich, den Zeitpunkt zu definieren, zu dem die Winkel φ' und φ zu bestimmen sind. Da es sich um einen Bewegungsablauf handelt, findet eine zeitliche Änderung der Verbindungslinie zwischen Lichtquelle und Beobachter statt. Deshalb ist festzulegen, dass hier der Zeitpunkt des Zusammentreffens des Lichts mit dem Beobachter gemeint ist.

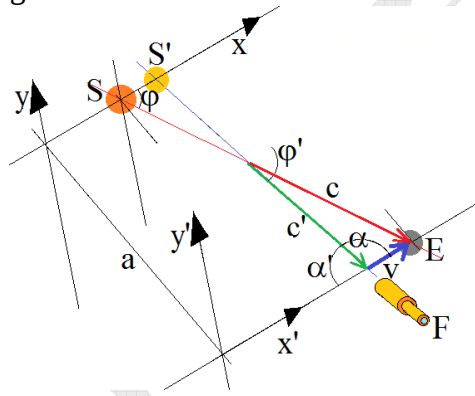


Bild 3: grafische Umsetzung von Einsteins Beschreibung der Aberration

Der Skizze (Bild 3) sollte entnommen werden können, dass die Beschreibung Einsteins von der Aberration nicht ganz so simpel ist. Einstein legt fest, dass sich der Sender S in einem ruhenden IS (x, y) befindet. Der Empfänger E des Lichts ist damit im relativ bewegten IS (x', y') , das sich im Abstand a gegenüber dem ‚ruhenden‘ System bewegt.

Vom Sender S geht zu einem Zeitpunkt $t = t_0$ ein Lichtstrahl² im Winkel φ aus. Dieser strahlt entsprechend den Gegebenheiten mit Lichtgeschwindigkeit c (rot) durch den Raum.

² wenn von einem Lichtstrahl die Rede ist, ist eigentlich gemeint, dass ein Lichtquant betrachtet werden soll

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023

copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow

Ein Empfänger E befindet sich zu diesem Zeitpunkt irgendwo im Raum und bewegt sich mit seinem IS mit der Geschwindigkeit v (blau) in die x' -Richtung.

Zu einem Zeitpunkt $t = t_1 = t_1'$ treffen sich ein Lichtquant und der Empfänger, der mittels Fernglas F das Lichtquant registriert. Der Vorgang der Wahrnehmung des Lichts durch das Fernglas funktioniert, wie im Bild 1 (s. S. 2) dargestellt. Damit ist das Fernglas im Winkel α' zu positionieren, um das Licht registrieren zu können. Der Empfänger nimmt dann das Licht aus der Richtung α' wahr und nimmt an, dass es mit der Geschwindigkeit $c' = c$ auf ihn zukam. Somit bestimmt der Empfänger die Position des Senders an der Stelle³ S' .

Definiert man den Winkel ϕ' aus Bild 2 als den Aberrationswinkel, so wie er allgemein auch aufgefasst wird (vgl. [Zim1] S. 1 Abb. 1), fällt es schwer, den Zusammenhang mit der Gleichung Gl. 1 herzustellen.

Ermittelt man den Aberrationswinkel ϕ' in klassischer Weise (siehe Anl. 2), folgte er aus dem Winkel ϕ , in welchem das Licht den Sender in seinem System verlässt, nach der folgenden Gleichung Gl. A2.7:

$$\tan\phi' = \frac{\frac{v}{c}\sin\phi}{1 - \frac{v}{c}\cos\phi} \quad \text{Gl. A2.7}$$

Dass diese Gleichung nicht den Ansprüchen der Relativitätstheorie genügen kann, ist insofern klar, da hier eine mögliche Zeitdilatation bei der Herleitung der Formel keinen Eingang fand. Doch sollte die Formel den Aberrationswinkel für Geschwindigkeiten $v \ll c$ allemal gut beschreiben.

Eine einfache Überlegung für eine Relativgeschwindigkeit $v = 0$ zeigt, dass der Aberrationswinkel dann auch grundsätzlich $\phi' = 0$ sein muss. Dieses Ergebnis würde auch der Logik folgen.

Leider ergibt sich bei Einsteins Gleichung (Gl. 1) in diesem Fall eine Beziehung $\phi' = \phi$. Diese Aussage führt zu der Annahme, dass es auch bei keiner Relativgeschwindigkeit zu einer Aberration kommen muss. Dieses Missverständnis ist nur dadurch aufzulösen, dass der in der Gleichung Gl. 1 angegebene Winkel ϕ' als der Winkel α' im Bild 2 aufzufassen ist.

Von Interesse sollte nun sein, welche Auswirkungen der Aberrationseffekt hat. Solche Effekte sind Raumkrümmungen. In [Kra1] wurde diese Raumkrümmung beschrieben:



Bild 4: Raumkrümmungseffekt bei einer Fahrt durch Tübingen mit $0,8c$ ([Kra1] S. 4)

³ dass das Fernglas nicht an der Stelle des Empfängers im Bild 3 gezeichnet wurde, ist lediglich dem Umstand geschuldet, dass die Verbindungslinie der Starts der Geschwindigkeitsvektoren die Aberrationsrichtung ergibt. Der Vektor für c' ist damit in den Empfangsort des Empfängers E zu verschieben.

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023

copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow

Ob die Effekte genauso, wie im Bild 4 dargestellt, auftreten, ist hier nicht verifiziert. Es soll lediglich die von Einstein entwickelte Formel grafisch dargestellt werden. Dazu wird der entsprechende Aberrationswinkel mit in das Diagramm eingezeichnet.

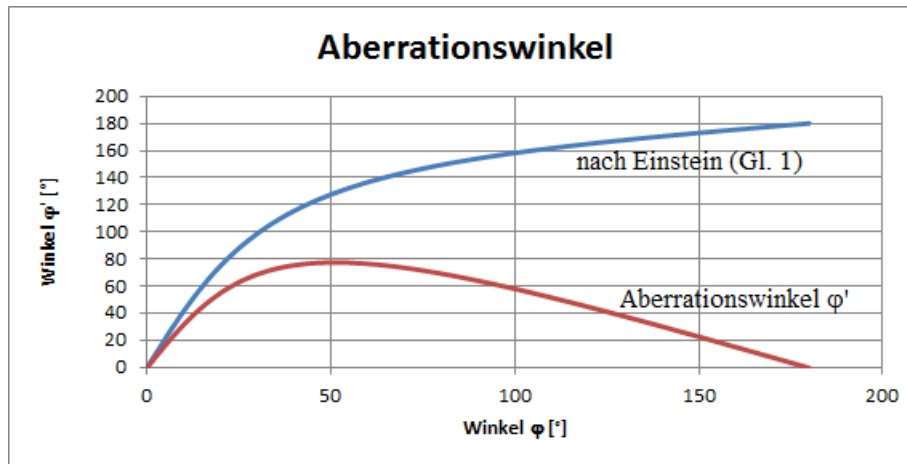


Bild 5: Darstellung des Aberrationswinkels bei einer Relativgeschwindigkeit $v = 0,9c$. Einmal, wie ihn Einstein in seiner Gleichung (siehe Gl. 1) berechnete (blau) und dann der zugehörige Winkel φ' (braun)

Den tatsächlichen Aberrationswinkel nach den Maximen der RT zu bestimmen, ist mit der geleisteten Vorarbeit eher simpel. Aus dem Bild 3 geht hervor, dass der Winkel α' der Außenwinkel ist, der sich aus der Summe des Winkels φ als Wechselwinkel und dem Aberrationswinkel φ' ergibt.

Somit berechnet der Aberrationswinkel φ' :

$$\varphi' = \alpha' - \varphi \text{ (vgl. Anl. 4)}$$

Gl. 2

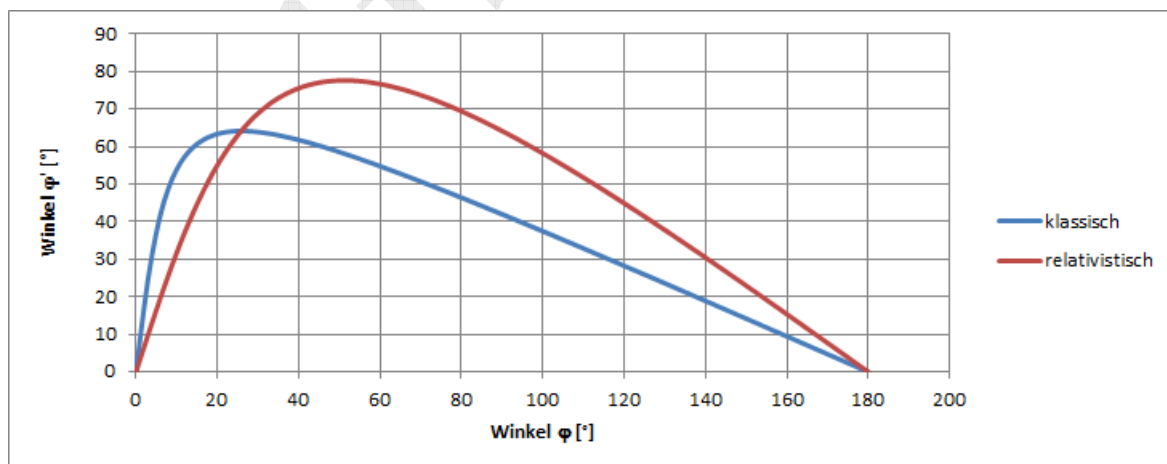


Bild 6: Aberrationswinkel: Vergleich bei einer Relativgeschwindigkeit von $v = 0,9c$

Der Vergleich des Aberrationswinkels φ' (Bild 6) zwischen der relativistischen Aberration nach Gleichung Gl. 2 unter Zuhilfenahme der Gleichung Gl. 1 und der klassischen Aberration

nach Gleichung Gl. 2.7 zeigt, dass die Tendenzen identisch sind, der relativistische Aberrationswinkel aber ausgeprägter ist als der klassische.

Betrachtet man die Relativgeschwindigkeit der Erde gegen die Fixsterne⁴ von etwa 30 km/s ergäbe sich eine Differenz zwischen dem klassischen und dem relativistischen Aberrationswinkel entsprechend Bild 7.

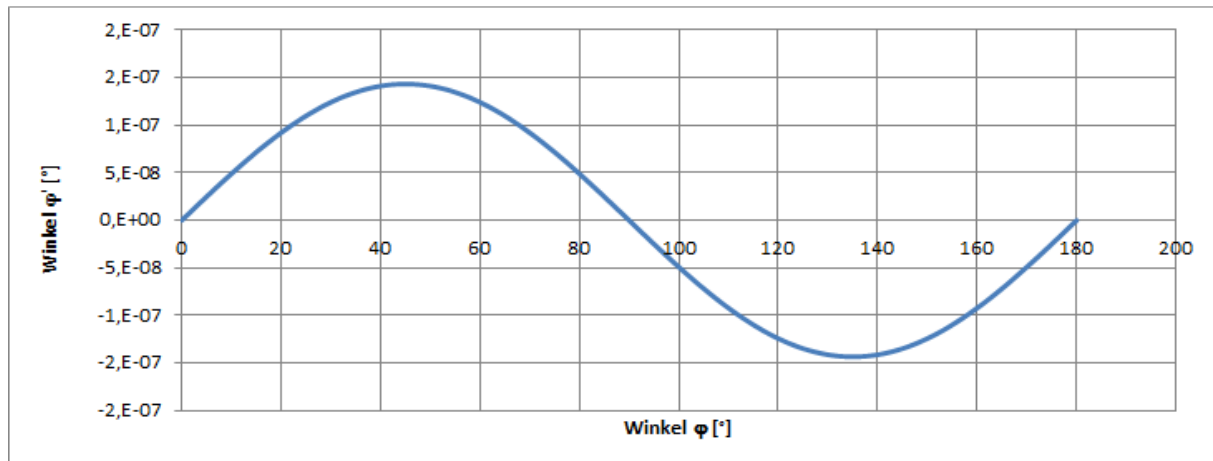


Bild 7: Differenz aus klassischem minus relativistischem Aberrationswinkel bei $v/c = 0,0001$

Die Schlussfolgerung aus dem Bild 7 ist, dass gerade beim Lichteinfall aus der Richtung 90° der Unterschied zwischen dem klassischen und dem relativistischen Aberrationswinkel gegen null geht. Es zeigt sich, dass für eventuelle Versuche zur Verifizierung der SRT mittels Aberrationswinkel das Licht aus der Richtung von etwa 45° (resp. -45°) am besten geeignet ist.

Einsteins Licht

Für das Verständnis der Aberration ist es offensichtlich notwendig, den Charakter des Lichts näher zu beleuchten. Selbst wenn es unerheblich sein sollte, mit welchem Charakter des Lichts seine Eigenschaften erklärt werden, ist es doch hilfreich, nähere Einsichten über den Charakter des Lichts zu gewinnen.

Dabei soll im Folgenden nicht analysiert werden, wie das Licht konkret zu beschreiben ist. Es soll hier genügen, eine Vorstellung zu erarbeiten, inwiefern das Licht als Teilchen oder als Welle aufzufassen ist.

Dazu ist die Arbeit von Einstein [Ein1] richtungsweisend, in der er den photoelektrischen Effekt ([Ein1] S. 133 ff.) herleitet. In seiner Arbeit kommt er zu dem Schluss: „Monochromatische Strahlung [...] verhält sich in wärmetechnischer Beziehung so, wie [sic] wenn sie aus voneinander unabhängigen Energiequanten [...] bestünde“ ([Ein1] S. 143).

Dass diese Energiequanten der Vorstellung von der atomaren Materie nicht genügen, ist verständlich. Sie sind allemal anders als die Elementarteilchen aufgebaut.

⁴ wie immer das auch gehen soll, wenn die Geschwindigkeit eines Fixsterns ob seiner Entfernung nicht zu messen ist

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023

copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow



Lichtquanten werden mit der Masse null angegeben. Wenn ihnen eine Masse zugeordnet wird, ist das lediglich eine Umrechnung ihres Energiegehalts. Die Umrechnung ist über Einsteins bekannte Formel $E = mc^2$ (Masse mal Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat) leicht vorzunehmen. Also stellen Lichtquanten Energie dar, die sich wiederum nach der Formel $E = hf$ (plancksches Wirkungsquantum mal Frequenz) berechnet. Dabei ist die Frequenz eine Kenngröße des Lichtquants, die den Wechsel von elektrischer in magnetischer Energie und umgekehrt wiedergibt. Insofern ist der Gedanke, dass das Licht eine elektromagnetische Welle sein muss, nicht von der Hand zu weisen.

Diese elektromagnetische Welle sollte aber nicht mit den Radiowellen verglichen werden. Radiowellen werden von einem Dipol abgestrahlt und breiten sich tatsächlich kugelförmig aus. Das bedeutet, dass die Feldstärke eines elektromagnetischen Impulses sich mit Lichtgeschwindigkeit im Raum verteilt und somit immer schwächer wird.

Im Gegensatz dazu hat ein Lichtquant (Photon) seine Frequenz, die sich ausschließlich dann ändert, wenn das Lichtquant Energie verliert. Ein derartiger Energieverlust ist aber nur durch Wechselwirkung erklärbar. Bekannt ist hier die Wechselwirkung des Lichts im Gravitationsfeld.

Interessant ist, dass der Durchmesser eines Lichtquants ebenfalls durch die Frequenz bestimmt ist. Da bei der elektromagnetischen Welle ein steter Wechsel zwischen der Energie des elektrischen Feldes und der des magnetischen Feldes stattfindet, kann dieser Wechsel nur unter Einhaltung der Lichtgeschwindigkeit passieren. Damit folgt wegen $c = \lambda f$ (Lichtgeschwindigkeit ist Wellenlänge mal Frequenz) die Wellenlänge zu $\lambda = c/f$.

Die als Kugelwelle bezeichnete Lichterscheinung ist also lediglich eine Ansammlung von solchen Lichtquanten mit gleichbleibendem Durchmesser. Dass die Intensität der Lichtkugel mit der Zeit ihrer Ausdehnung abnimmt, bedeutet folglich nur, dass die Anzahl der pro Raumvolumen existierenden Lichtquanten abnimmt. Jedes Lichtquant bleibt für sich aber eine elementare Einheit.

Damit folgt auf die oben gestellt Frage nach dem Charakter des Lichts, dass es hinsichtlich der Bewegung als Teilchen anzusehen ist. Der Wellencharakter der elektromagnetischen Wechsel hat keinen Einfluss auf die Bewegung im leeren Raum.

Für die weiteren Betrachtungen zur Aberration ist dem ballistischen Modell des Lichts der Vorzug zu geben.

aktive Aberration

Bei all den Gedanken über die Bewegung des Lichts im Raum kommt es immer wieder zu Irritationen.

Abgesehen davon, dass der Raum zuerst zu definieren wäre, wird davon ausgegangen, dass das Licht ohne jedwede Wechselwirkung mit dem Raum diesen durchquert. Der Raum wird deshalb hier vorerst als nicht existent angenommen.

Für die oben beschriebene passive Aberration ist die Vorstellung noch relativ einfach. Hier abstrahiert man von der Quelle des Lichts und geht einfach davon aus, dass sich das Licht



durch den Raum bewegt. Der Akt der Emission ist vollzogen und die Richtung der Lichtfortpflanzung kann als gegeben hingenommen werden.

Die Analyse der Lichtbewegung durch einen Empfänger ist dann nur aufgrund der Relativbewegung des Empfängers zum Licht möglich. Wie das funktioniert ist sehr schön dem Bild 2a zu entnehmen.

Damit ist die Aussage, dass sich das Licht unabhängig vom Bewegungszustand der Quelle ausbreitet, ohne Bedeutung.

Für die aktive Aberration sollte aber der Bewegungszustand der Lichtquelle sehr wohl Einfluss auf die Ausbreitung des Lichts haben.

Das wird auch nicht anders in der Literatur dokumentiert.

So wird in [Bro1] S. 6 darauf hingewiesen, dass zur Bestimmung der Weltlinie eines Photons ausschließlich der Ausgangspunkt der Lichtemission von Bedeutung ist. „Verschiedene Experimente zeigen, dass sich die Geschwindigkeit der Lichtquelle als auch des Beobachters nicht auf den Wert der Lichtgeschwindigkeit auswirkt, den er misst. Zwar sind andere Größen, wie die Wellenlänge oder Einfallsrichtung des Lichts, relativ und hängen vom Beobachter ab, nicht aber die Lichtgeschwindigkeit“ ([Sen1]).

Es ist also festzuhalten, dass der Hinweis auf die Unabhängigkeit des Lichts von der Lichtquelle sich ausschließlich auf die Lichtgeschwindigkeit bezieht. Das ist für das Licht, das sich direkt in Bewegungsrichtung der Quelle bewegt, mit dem Fortpflanzungsmechanismus des Lichts zu begründen.

Ohne diesen Mechanismus hier zu erklären, lässt sich der Fakt plausibel machen, indem man von der Masselosigkeit des Lichts ausgeht. Eine Masse, die dem Licht zuerkannt wird, ist lediglich das Energieäquivalent, dass sich aus seiner Geschwindigkeit über $E = mc^2$ ergibt.

Hat also das Licht keine Masse, kann es auch nicht beschleunigt werden. Jede Kraftwirkung $F = m \cdot a$ wird bei einer Masse von null ebenfalls zu null.

Die Bewegungsrichtung von Lichtquanten in anderen Richtungen wird sich nach den Gesetzen der Trägheit (vgl. Syd1]) verhalten. Dort wird gezeigt, dass sich die Energieerhaltung auch relativ zu den Objekten bezieht, welche das Licht emittiert haben.

Mit dem Schluss, dass eine nicht feststellbare aktive Aberration auf den Wellencharakter des Lichts hinweist, kommt die RT nun nicht weiter. Sie muss erklären, dass auch dann, wenn das Licht mit dem Teilchencharakter behaftet ist, die aktive Aberration ebenfalls nicht registriert werden kann. Dass ballistische Prinzip für Licht als Teilchen muss sich auch anwenden lassen, um das Ausbleiben der aktiven Aberration zu begründen.

Für Einstein war die Antwort auf die Frage nach einer aktiven Aberration sicherlich leicht zu beantworten. Für ihn galt das Relativitätsprinzip.

Danach musste eine Aberration wie oben beschrieben, unabhängig davon sein, ob das Licht von einem relativ bewegten Sender kommt oder von einem relativ bewegten Empfänger registriert würde.

Um diesen Gedanken der Relativität der Aberration zu verdeutlichen, sind die beiden Bilder im Bild 8 zu betrachten. Das linke Bild entspricht den Gegebenheiten des Bildes 3 (s. S. 5). Es wurde lediglich das Fernglas F an den Ort des Empfängers E verschoben. Damit ist zu sehen, dass bei der passiven Aberration der grüne Lichtstrahl direkt empfangen wird.

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023
copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow

Der rote Lichtstrahl ist der, der vom Sender im Winkel φ zur x-Achse emittiert wird. Damit wird der grüne Lichtstrahl zum Licht im bewegten IS des Empfängers und dieser deutet im Winkel α' zur x' -Achse in die scheinbare Richtung, aus welcher das Licht für den Empfänger gekommen ist.

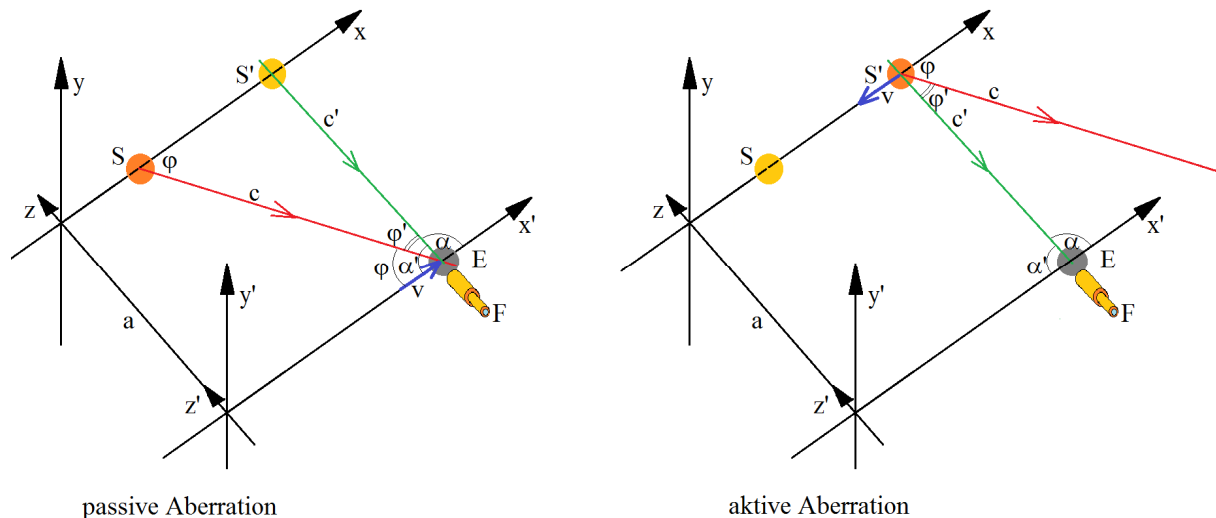


Bild 8: Darstellung der beiden Arten der Aberrationen

Im rechten Bild (Bild 8) ist es der Sender S' , der sich mit der Geschwindigkeit v bewegt. Hier muss das Licht im Winkel φ vom Sender emittiert werden, um den Empfänger zu treffen. Es überlagert sich die Geschwindigkeit des emittierten Lichts (roter Pfeil) mit der Relativgeschwindigkeit v (blauer Pfeil). Das Licht, das den Empfänger E erreicht und dieser mittels Fernglas begutachten kann, weist für ihn in die Richtung, wo der Sender zum Zeitpunkt des Emittierens gewesen ist. Da er eine Geschwindigkeit v gehabt haben soll, befindet sich der Sender zum Zeitpunkt des Empfangs des Lichts schon an einer anderen Stelle S .

Wenn also die beiden Varianten der Aberration (wie im Bild 8 gezeigt) dieselben Situationen darstellen, worin besteht dann eigentlich der Unterschied zwischen der passiven und der aktiven Aberration?

Also ja, es ist grundsätzlich zu unterscheiden, dass bei der passiven Aberration der Empfänger des Lichts als bewegt anzunehmen ist, während dies bei der aktiven Aberration der Sender ist. Betrachtet man aber das Bild 8, fällt auf, dass bei der passiven Aberration der Effekt erst im Fernglas des Empfängers initiiert wird (vgl. Bild 1).

Die aktive Aberration entsteht durch die Überlagerung der Geschwindigkeit des Lichts mit der des Senders.

Zusammengefasst lässt sich der Unterschied auch so formulieren:

Während bei der passiven Aberration aus der Mechanik der Himmelskörper auf die tatsächliche Position des Senders geschlossen werden kann und damit die Beobachtungsrichtung als scheinbare erkannt wird, gibt es bei der aktiven Aberration beim Empfang des Lichts keinen Rückschluss auf die Position des Senders. „Es ist in der Mathematik gut bekannt, dass ein [resultierender] Vektor, der aus zwei ursprünglichen



Vektoren zusammengesetzt ist, alle Informationen über diese ihn ergebenden Komponenten verliert“ (frei übers. [Mar1] Abschn. 6).

Das Problem, dass sich mit der RT in Bezug auf die aktive Aberration ergibt, ist die fehlende Nachweisbarkeit derselben. Die RT braucht die aktive Aberration. Aber die aktive Aberration müsste Effekte in respektablem Ausmaß erkennen lassen. „Die Erwartungen sind also gewaltig, es ist aber nichts zu sehen“ ([Bro1] S. 5, vgl. [LaR1] S. 198).

Schaut man sich das Bild 8 an, sollte erkennbar sein, dass es auch bei der Relativbewegung des Senders eine Aberration (Winkel ϕ) gibt. Sie ist aber wegen der Überlagerung der Geschwindigkeiten nicht registrierbar. „Das Fehlen eines von der Bewegung der Lichtquelle abhängigen Aberrationseffekte ist eine natürlich und notwendige Folge des Gesetzes über die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes [...]“ ([LaR1] S. 199).

Diskussion

Die RT braucht sowohl die aktive als auch die passive Aberration. Ohne die Symmetrie der beiden Arten der Aberration ist die Relativität nicht begründbar.

Der Gedanke, der dieser Aussage zugrunde liegt, ist simpel. Es handelt sich bei beiden Aberrationen um denselben Vorgang. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass bei der passiven Aberration der Sender als ruhend angenommen wird und der Empfänger der ist, der sich relativ zum Sender bewegt. Während bei der aktiven Aberration ein relativ bewegter Sender das Licht zum als ruhend angenommenen Empfänger sendet.

Die Einteilung in ruhende und bewegte Beobachter allerdings ist in der RT als verboten anzusehen. Es gibt keinen Anhaltspunkt, irgendeinem Beobachter den Status ‚ruhen‘ oder ‚bewegt‘ zuzuerkennen. Das ist seit Galilei mit der Erklärung der relativen Bewegung (siehe [Gal1] S. 197) hinfällig.

Hier einen Bezug zum Fixsternhimmel als ruhendes Bezugssystem herstellen zu wollen, scheitert am RP. Das RP funktioniert auch ohne den Fixsternhimmel. Besser gesagt funktioniert das RP nur unter Vernachlässigung des Fixsternhimmels. Schließlich ist das RP im modernen Verständnis der RT nur unter Ausschluss sämtlicher Massen zu verstehen.

Akzeptiert man diese Auffassung des RP und das sollte für Befürworter der SRT unumgänglich sein, stellt sich die Frage, warum die passive Aberration messbar ist, während die aktive Aberration als nicht existent angenommen wird.

Mit den aus den vorangegangenen Abschnitten gewonnenen Erkenntnissen sollte klar sein, dass beide Arten der Aberrationen aus der Relativbewegung abgeleitet werden können. Insofern ist es weniger ungewöhnlich, dass die aktive Aberration nicht zu registrieren ist. Verwunderlich ist eher, dass eine passive Aberration gemessen werden kann.

Warum ergibt sich der Aberrationswinkel auf der Erde gerade zu etwa 20“? Dass dieser Wert aus der Umlaufgeschwindigkeit der Erde um die Sonne resultiert, ist hinlänglich bekannt. Er berechnet sich zu $\tan(\alpha) = v/c$. Damit ist von dem gemessenen Aberrationswinkel α auf die Geschwindigkeit der Erde von etwa 30 km/s zu schließen.



Diese Geschwindigkeit ist aber lediglich die Umlaufgeschwindigkeit um die Sonne. Dem Sonnensystem sagt man aber in der Milchstraße eine Geschwindigkeit um die 200 km/s ([Big1]) nach. Und noch weitere Relativgeschwindigkeiten der Erde mit dem Sonnensystem und der Galaxis müssten doch in diese Rechnung mit eingehen.

Der Logik folgend sich müssten doch all diese Relativgeschwindigkeiten zu den Fixsternen in einer Aberration niederschlagen. Dass sie das nicht tun, beweist zwingend, dass auch die passive Aberration nur unter bestimmten Voraussetzungen zu detektieren ist. Diese Voraussetzung ist das gegenläufige Durchlaufen des Lichts von zwei Seiten. Da von der Erde aus diese Gegenläufigkeit nur mit der Umlaufgeschwindigkeit der Erde um die Sonne erfolgen kann, ist auch nur der bekannte Aberrationswinkel messbar.

Zu konstatieren ist schließlich, dass die von uns wahrgenommene passive Aberration nur ein Spezialfall ist, der sich aus der glücklichen Fügung des Umlaufs der Erde um die Sonne ergibt. Die passive Aberration aus der Umlaufbewegung der Erde um das Zentrum der Lichtstraße zu messen, benötigte man die Hälfte von 230 Millionen Jahren (siehe [Big1]).

Da das in näherer Zukunft nicht möglich sein wird, sind Messergebnisse diesbezüglich nicht zu erwarten. Die Schlussfolgerung daraus wäre, dass über diese nicht zu vernachlässigende passive Aberration das Bild der Sterne am Firmament zu korrigieren wäre, um einen realen Einblick über die Verteilung der Massen im Weltraum zu erhalten.

Die Erkenntnis, dass es die aktive Aberration gibt, sie aber nicht detektiert wird, lässt noch einige Fragen offen.

Zuerst steht die Frage, warum ein Feststellen der aktiven Aberration unmöglich scheint. Die Antwort findet sich im Bild 8. Da die vom Sender S' emittierte Lichtstrahlrichtung nicht zu registrieren ist, wäre es erforderlich, die Position des Senders S zum Zeitpunkt der Lichtregistrierung zu kennen. Dann wäre es möglich, über eine gedachte Verbindungslinie zwischen Empfänger und dem Sender zu diesem Zeitpunkt und der Empfangslinie (grüne Richtung) den Winkel ϕ' zu bestimmen.

Da zu solchen Untersuchungen selbstleuchtende Sterne erforderlich sind, käme hier als nächste Sonne Proxima Centauri in Betracht. „Seine von der Erde aus beobachtbare Eigenbewegung am Himmel ist wegen der geringen Entfernung mit jährlich 3,85" (Bogensekunden) relativ groß“ ([Fra1]). Mit einer Entfernung von etwa 4,2 Lj (ebd.) ergäbe sich der Aberrationswinkel zu etwa 16". Dass dieser Winkel soweit korrekt sein sollte, ergibt sich aus der Messung der Eigenbewegung. Nach 4,2 Jahren Lichtlaufzeit eines Photons wäre bei der oben gegebenen Eigenbewegung der Proxima Centauri dieser um etwa 16" weiter gewandert.

Wenn diese Herangehensweise der Messung eines Aberrationswinkels etwas extravagant anmutet, so ist sie aber die Konsequenz der durchgeführten Überlegung (siehe Bild 8). Der Aberrationswinkel ist aus der Richtung des empfangenen Lichts allein nicht abzuleiten.

Dieser Gedanke sollte mit der eingeschränkten Möglichkeit, die passive Aberration zu messen (siehe oben), verglichen werden.



Die viel wichtigere Frage, die es zu beantworten gibt, ist die Frage nach der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Sind die im Bild 8 dargestellten Lichtgeschwindigkeiten c und c' identisch?

Betrachtet man die im Bild dargestellten Wege für den roten und den grünen Lichtweg, so wird offensichtlich, dass diese sehr wohl unterschiedlich sein können. Besser gesagt gibt es nur eine Konstellation, bei welcher die genannten Wege gleich sein können. Das ist dann, wenn die Richtung der Geschwindigkeit v gerade dahin geht, dass das Dreieck roter Lichtweg, grüner Lichtweg und blaue Relativbewegung ein gleichschenkliges Dreieck ergeben.

Doch dieser Fall sollte eher selten sein. Der Gedanke, dass sich die eine Geschwindigkeit aus der vektoriellen Summe der beiden anderen ergibt, suggeriert von vorn herein, dass es da zu Ungleichheiten für c und c' kommen muss.

Wie kann es also sein, dass im Rahmen der RT strikt von dieser Gleichheit von c und c' ausgegangen wird?

Dazu ist vorbereitend zu sagen, dass die beiden Geschwindigkeiten in den jeweils anderen IS wahrgenommen werden. Wenn also c die Lichtgeschwindigkeit im System des Senders ist, findet der Beobachter im System des Empfängers die Lichtgeschwindigkeit c' .

Nun ist soweit bekannt, dass die RT von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ausgeht, dass also die Lichtgeschwindigkeit von jedem Beobachter mit demselben Wert wahrgenommen wird. Aber diese Herangehensweise, das Problem zu erklären, ist hier nicht zufriedenstellend.

Wie kann dann die Gleichheit der besagten Geschwindigkeiten begründet werden?

Die Logik, die hier zu einem vermeintlichen Widerspruch führt, liegt in der Überlegung, dass das Licht, also ein und dasselbe Photon, einen definierten Weg in einer bestimmten Zeit zurücklegt und in zwei IS zu registrieren ist. In diesen IS sind dann aber die Wege unterschiedlich, wie durch die rote und grüne Linie (Bild 8) augenscheinlich wird.

Nur die RT bietet hier die Lösung, dass über die unterschiedlichen Laufzeiten des Lichtquants in den unterschiedlichen IS der Quotient aus Weg zu Zeit in beiden IS derselbe sein kann.

Dieser Umstand wird von Einstein mit seiner Formel der Geschwindigkeitsaddition (siehe [Ein2] S. 906) aufgezeigt.

$$c' = \frac{\sqrt{(v^2 + c^2 + 2vc \cdot \cos \alpha) - (v \cdot \sin \alpha)^2}}{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha} \quad (\text{vgl. ebd.}) \quad \text{Gl. 3}$$

Die Gleichung Gl. 3 ist dieselbe Gleichung Einsteins, nur dass die Variablen hier angepasst wurden.

Diese Gleichung lässt sich entsprechend vereinfachen:

$$c' = \frac{\sqrt{v^2(1 - \sin^2 \alpha) + c^2 + 2vc \cdot \cos \alpha}}{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha} \quad \text{Gl. 4}$$

$$c' = \frac{\sqrt{v^2 \cos^2 \alpha + 2vc \cdot \cos \alpha + c^2}}{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha} = \frac{\sqrt{(vc \cos \alpha + c)^2}}{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha} = \frac{vc \cos \alpha + c}{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha} \quad \text{Gl. 5}$$

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023

copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow



woraus dann unter Ausklammerung der Lichtgeschwindigkeit c aus dem Zähler folgt:

$$c' = c \frac{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha}{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha} = c \quad \text{Gl. 6}$$

q.e.d.

Diese Überlegungen zeigen, dass hinsichtlich der Aberration noch einige Fragen zu beantworten sind. Sie zeigen aber genauso, dass sosehr die SRT die passive und auch die aktive Aberration benötigt, nur mit ihrer Hilfe die Effekte der Aberration erklärt werden können (vgl. Anl. 5).

Anlagen

Anlage 1: andere Darstellungen der allgemeinen Aberrationsformel

Die allgemeine Formel der Aberration nach relativistischen Gesichtspunkten wurde von Einstein bereits erarbeitet:

$$\cos \varphi' = \frac{\cos \varphi - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad (\text{vgl. [Ein2] S. 912 und Gl. 1}) \quad \text{Gl. A1.1}$$

In [U1] wurden weitere Formen dieser Gleichung dargestellt. Leider war der Rechenweg zu den anderen Gleichungen nicht mit aufgeführt. Eine Herleitung dieser anderen Darstellungen erscheint nicht einfach möglich, sodass hier diese Herleitung nachvollzogen wird.

Ausgehend von der Gleichung Gl. A1.1 werden die Formeln für den Winkel φ' im Sinus und im Tangens hergeleitet.

1. Überleitung des Kosinus zum Sinus:

Ansatz ist die bekannte Beziehung $1 = \sin^2(x) + \cos^2(x)$.

Damit folgt aus Gl. A1.1:

$$\sqrt{1 - \sin^2 \varphi'} = \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \varphi} - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad \text{Gl. A1.2}$$

Es wird quadriert:

$$1 - \sin^2 \varphi' = \frac{1 - \sin^2 \varphi - 2 \frac{v}{c} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} + \left(\frac{v}{c}\right)^2}{1 - 2 \frac{v}{c} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} + \left(\frac{v}{c}\right)^2 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 \sin^2 \varphi} \quad \text{Gl. A1.3}$$

Die Funktion in φ' separieren:

$$\sin^2 \varphi' = 1 - \frac{1 - \sin^2 \varphi - 2 \frac{v}{c} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} + \left(\frac{v}{c}\right)^2}{1 - 2 \frac{v}{c} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} + \left(\frac{v}{c}\right)^2 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 \sin^2 \varphi} \quad \text{Gl. A1.4}$$

und auflösen:

$$\sin^2 \varphi' = \frac{1 - 2 \frac{v}{c} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} + \left(\frac{v}{c}\right)^2 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 \sin^2 \varphi - 1 + \sin^2 \varphi + 2 \frac{v}{c} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} - \left(\frac{v}{c}\right)^2}{1 - 2 \frac{v}{c} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} + \left(\frac{v}{c}\right)^2 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 \sin^2 \varphi} \quad \text{Gl. A1.5}$$

$$\sin^2 \varphi' = \frac{\sin^2 \varphi \left(1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2\right)}{1 - 2 \frac{v}{c} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} + \left(\frac{v}{c}\right)^2 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 \sin^2 \varphi} \quad \text{Gl. A1.6}$$

als dann Rückformierung des Nenners:

$$\sin^2 \varphi' = \frac{\sin^2 \varphi \left(1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2\right)}{\left(1 - \frac{v}{c} \cos \varphi\right)^2} \quad \text{Gl. A1.7}$$

und Wurzel ziehen:

$$\sin \varphi' = \frac{\sin \varphi \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad \text{Gl. A1.8}$$

q.e.d.



2. Überleitung des Kosinus zum Tangens:

Der Ausgangspunkt ist derselbe. Es wird die Gleichung Gl. A1.1 benutzt und entsprechend umgestaltet. Dabei wird die Gleichung Gl. A1.9 benutzt:

$$\cos 2x = \frac{1 - \tan^2 x}{1 + \tan^2 x} \quad ([Göh1] \text{ S. 14}) \quad \text{Gl. A1.9}$$

Diese Formel ist durch Umstellen überführbar in:

$$(1 + \tan^2 x) \cos 2x = 1 - \tan^2 x \quad \text{Gl. A1.10}$$

$$\cos 2x + \cos 2x \tan^2 x = 1 - \tan^2 x \quad \text{Gl. A1.11}$$

$$\cos 2x \tan^2 x + \tan^2 x = 1 - \cos 2x \quad \text{Gl. A1.12}$$

$$\tan^2 x (1 + \cos 2x) = 1 - \cos 2x \quad \text{Gl. A1.13}$$

und explizite Darstellung des Tangens, sowie Substitution von x durch $x/2$:

$$\tan^2 \frac{x}{2} = \frac{1 - \cos x}{1 + \cos x} \quad \text{Gl. A1.14}$$

In diesen Zusammenhang Gl. A1.14 ist φ' für x zu substituieren und dann der Term aus Gleichung Gl. A 1.1 einzusetzen:

$$\tan^2 \frac{\varphi'}{2} = \frac{1 - \cos \varphi'}{1 + \cos \varphi'} \quad \text{Gl. A1.15}$$

$$\tan^2 \frac{\varphi'}{2} = \frac{1 - \frac{\cos \varphi - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi}}{1 + \frac{\cos \varphi - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi}} \quad \text{Gl. A1.16}$$

Dann sind die Brüche aufzulösen, sodass sich der Nenner des Doppelbruchs rauskürzt:

$$\tan^2 \frac{\varphi'}{2} = \frac{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi - \cos \varphi + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi + \cos \varphi - \frac{v}{c}} \quad \text{Gl. A1.17}$$

um danach auszuklammern:

$$\tan^2 \frac{\varphi'}{2} = \frac{1 + \frac{v}{c} - \cos \varphi (1 + \frac{v}{c})}{1 - \frac{v}{c} + \cos \varphi (1 - \frac{v}{c})} = \frac{(1 + \frac{v}{c})(1 - \cos \varphi)}{(1 - \frac{v}{c})(1 + \cos \varphi)} \quad \text{Gl. A1.18}$$

und letztlich:

$$\tan^2 \frac{\varphi'}{2} = \frac{1 - \cos \varphi}{1 + \cos \varphi} * \frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \quad \text{Gl. A1.19}$$

Erkennt man nun, dass der erste Bruch der rechten Seite von Gleichung Gl. A1.19 gerade der Gleichung Gl. A1.14 in φ entspricht, lässt sich vollenden:

$$\tan^2 \frac{\varphi'}{2} = \tan^2 \frac{\varphi}{2} \frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \quad \text{Gl. A1.20}$$

und nach dem Wurzelziehen folgt letztlich

$$\tan \frac{\varphi'}{2} = \tan \frac{\varphi}{2} \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} \quad \text{Gl. A1.21}$$

q.e.d.

Damit ist die Herleitung der in [U1] angegebenen Gleichungen aufgezeigt.

Anlage 2: Dreiecksberechnung

Zur Erfassung der Zusammenhänge zwischen den Richtungen von Licht und einer Aberration werden im Folgenden einige Berechnungen am Dreieck durchgeführt. Das Dreieck (Bild A2.1) ist dem Bild 3 (S. 5) entnommen.

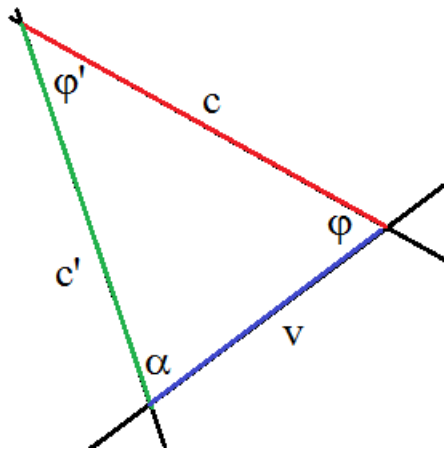


Bild A2.1: aus Bild 3 extrahiertes Dreieck

Das zu berechnende Dreieck besteht aus den Seiten:

- die Länge c (rot), die das Licht in System des Senders zurücklegt
- die Länge v (blau), die ein Empfänger mit der Geschwindigkeit v zurücklegt
- die Länge c' (grün), die das Licht im System des Empfängers zurücklegt

Die Winkel in diesem Dreieck sind:

- der Winkel ϕ , in welchem das Licht zur Bewegungsrichtung des Empfängers vom Sender gesendet wurde. Dieser Winkel wird von Einstein folgendermaßen beschrieben: „[...] die Verbindungslinie ‚Lichtquelle-Beobachter‘ mit der auf ein relativ zur Lichtquelle ruhendes Koordinatensystem bezogenen Geschwindigkeit des Beobachters den Winkel ϕ bildet[...]“ ([Ein2] S. 911). Im Dreieck (siehe Bild A2.1) ist der Wechselwinkel zu dem von Einstein beschriebenen Winkel ϕ eingetragen.
- der Winkel ϕ' , der der Aberrationswinkel ist. Dieser Winkel zeigt die Richtung, in welche der Empfänger das Fernglas richten muss, um das gesendete Licht zu empfangen. Einstein beschreibt diesen Winkel wie folgt: „Nennt man ϕ' den Winkel zwischen Wellennormale (Strahlrichtung) im bewegten System und der Verbindungslinie ‚Lichtquelle-Beobachter‘ [...]“ (ebd. S. 912).
- der Winkel α , ist hier eine Hilfsgröße, die sich aus der Winkelsumme im Dreieck zu $\alpha = 180 - \phi - \phi'$ ergibt.

Das hier zu lösende Problem ist die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen dem Lichtwinkel ϕ und dem Aberrationswinkel ϕ' .



Dieser Zusammenhang ist nach geometrischen Gesichtspunkten einfach durch den Sinussatz herstellbar:

$$\sin \varphi' = \frac{v}{c} \sin \alpha \quad \text{Gl. A2.1}$$

Da der Winkel α nur eine Hilfsgröße und nicht gegeben ist, ist hier weiter zu substituieren:

$$\sin \alpha = \sin(180 - \varphi - \varphi') = \sin(\varphi + \varphi') \quad (\text{vgl. [Göh1] S. 12}) \quad \text{Gl. A2.2}$$

Diese Gleichung lässt sich mittels Additionstheorem weiterverarbeiten:

$$\sin(\varphi + \varphi') = \sin \varphi * \cos \varphi' + \cos \varphi * \sin \varphi' \quad (\text{s. [Göh1] S. 14}) \quad \text{Gl. A2.3}$$

Nach Einsetzen in Gleichung Gl. A2.1 ergibt sich:

$$\sin \varphi' = \frac{v}{c} (\sin \varphi * \cos \varphi' + \cos \varphi * \sin \varphi') \quad \text{Gl. A2.4}$$

Durch Kürzen des $\sin(\varphi')$ folgt:

$$1 = \frac{v}{c} (\sin \varphi * \cot \varphi' + \cos \varphi) \quad \text{Gl. A2.5}$$

woraus dann folgt:

$$1 - \frac{v}{c} \cos \varphi = \frac{v}{c} \sin \varphi * \cot \varphi' \quad \text{Gl. A2.6}$$

$$\tan \varphi' = \frac{\frac{v}{c} \sin \varphi}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad \text{Gl. A2.7}$$

Diese Formel entspricht einer nichtrelativistischen Betrachtung der Winkelverhältnisse.

Anlage 3: Transformation der Richtungscosinus

In seiner Arbeit ([Ein2] S. 910 ff) von 1905 arbeitete Einstein die Transformation des Doppler-Effektes bei einem Wechsel des IS heraus. Zu diesem Zweck betrachtete er eine Lichtwelle im ruhenden Koordinatensystem „sehr ferne vom Koordinatenursprung“ (ebd.). Dass er die Lichtquelle in weiter Ferne haben möchte suggeriert, dass das Licht von Fixsternen herrühren möge und damit von einem ruhenden System kommend angenommen werden kann.

Er legte aber eher Wert darauf, dass eine Kugelwelle sich schon so weit ausgedehnt haben soll, dass sich deren Wellenfront bis zur Ebene gestreckt hat. Der Zungenschlag, dass die von ihm abgegebenen Gleichungen zur Beschreibung der Kugelwelle „mit genügender Annäherung“ (ebd.) stimmen, weist darauf hin. „Bei sehr großer Entfernung der Quelle von O sind die Wellen in der Umgebung von O praktisch eben, und als solche werden sie hier mathematisch dargestellt. Mit Vektorgleichungen können sie so beschrieben werden“ ([Pet1] S. 44).

Es bleibt nur der Zweifel in dieser Beweisführung, ob die Herleitung des Doppler-Effektes im bewegten System für Licht aus geringerer Entfernung anders aussehen könnte.

Die Antwort darauf hätte Einstein selbst finden können, da er doch die Quantifizierung des Lichts wenig früher (siehe [Ein1]) erkannt hatte (vgl. auch Abschnitt ‚Einsteins Licht‘). Mit der Quantifizierung ergäbe sich die Betrachtung von Lichtteilchen, die dann unabhängig von einer Ausbreitung der Lichtwelle wäre.

In seiner Beweisführung nutzte Einstein die Richtungscosinus der Wellennormale seiner Kugelwelle.

Die Winkel sind im Bild A3.1 dargestellt, wobei die x-Richtung der Bewegungsrichtung des Empfängers des Lichts ist.

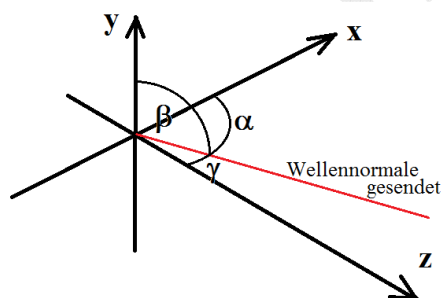


Bild A3.1: Richtungscosinus in Analogie zum Bild 3 S. 5 hier angegeben durch die Winkel

Einstein nutzt in seiner Arbeit für die Beziehungen die Zusammenhänge:

$$\cos\alpha = a \text{ und } \cos\alpha' = a'$$

Gl. A3.1a

$$\cos\beta = b \text{ und } \cos\beta' = b'$$

Gl. A3.1b

$$\cos\gamma = c \text{ und } \cos\gamma' = c'$$

Gl. A3.1c

Mittels der Richtungscosinus sind Eigenschaften der Wellennormale in ihre Komponenten zerlegbar.

Quellenangabe:

Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision:

2.1.0.2 vom 14.07.2023

copyright ©:

alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow

Durch Anwendung der Formeln der Lorentz-Transformation konnte Einstein die Beziehungen der Richtungskosinus des gesendeten Lichts (siehe Bild A3.1) zu den Richtungskosinus des Empfängers im bewegten IS (siehe Bild A3.2) herstellen.

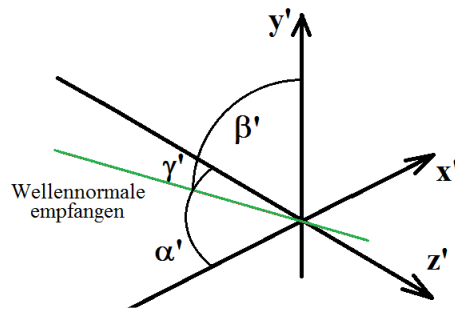


Bild A3.2: Winkel für die Richtungskosinus im ,bewegten‘ System des Empfängers

Diese Beziehungen sind aus [Ein2] S. 911 in die Gleichungen Gl. A3.2 übertragen. Zu beachten ist, dass die Beziehungen aus Gleichung Gl. A3.1 hier bereits eingetragen sind und die Lichtgeschwindigkeit mit c bezeichnet wird. Der Relativitätskoeffizient wird gleich ausgeschrieben:

$$\cos \alpha' = \frac{\cos \alpha - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \alpha} \quad \text{Gl. A3.2a}$$

$$\cos \beta' = \frac{\cos \beta}{1 - \frac{v}{c} \cos \alpha} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{Gl. A3.2b}$$

$$\cos \gamma' = \frac{\cos \gamma}{1 - \frac{v}{c} \cos \alpha} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{Gl. A3.2c}$$

Geht man davon aus, dass in der beschriebenen Situation für das gesendete Licht die Koordinatensysteme K und K' immer so gewählt werden können, dass ein Richtungskosinus zu null wird, gelten die folgenden Beziehungen:

$$\beta = 90^\circ \text{ und } \cos \beta = 0 \quad \text{Gl. A3.3a}$$

dann folgt:

$$\cos \beta' = 0 \text{ und } \beta' = 90^\circ \quad \text{Gl. A3.3b}$$

sowie:

$$\alpha + \gamma = 90^\circ \quad \text{Gl. A3.3c}$$

Zum Nachweis, dass es sich bei den Winkeln α , β , γ um die Richtungen der Lichtausbreitung handelt, wird hier überprüft, ob die Summe der Quadrate der Richtungskosinus immer 1 wird.

Satz:

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1 \quad (\text{vgl. [Pau1]}) \quad \text{Gl. A3.4}$$

Da in dieser Untersuchung davon ausgegangen wird, dass der Winkel $\beta = \beta' = 90^\circ$ ist (siehe Gl. A3.3a und b), wird der Richtungskosinus für diesen Winkel in jedem Falle zu null.

Damit und mit $\gamma = 90^\circ - \alpha$ ergibt sich für die Gleichung Gl. A3.4 im ruhenden (ungestrichenen) System:

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023
copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow



$$\cos^2 \alpha + \cos^2(90 - \alpha) = 1$$

Gl. A3.5a

$$\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$$

Gl. A3.5b

q.e.d.

Für den Nachweis des Satzes im bewegten (dem gestrichenen) System sind die Gleichungen Gl. A3.2 heranzuziehen und in Gleichung Gl. A 3.4 einzutragen:

$$\left(\frac{\cos \alpha - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\cos \gamma}{1 - \frac{v}{c} \cos \alpha} \right)^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) = 1$$

Gl. A3.6a

Durch Multiplikation des Nenners und Ausmultiplizieren der Quadrate folgt:

$$\underbrace{\cos^2 \alpha}_{\cos^2 \alpha} - 2 \frac{v}{c} \cos \alpha + \frac{v^2}{c^2} + \underbrace{\sin^2 \alpha}_{\sin^2 \alpha} - \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \alpha = 1 - 2 \frac{v}{c} \cos \alpha + \frac{v^2}{c^2} \cos^2 \alpha$$

Gl. A3.6b

$$\underbrace{1}_{1} + \frac{v^2}{c^2} - \frac{v^2}{c^2} \underbrace{1}_{1} = 1$$

Gl. A3.6c

$$1 = 1$$

Gl. A3.6d

q.e.d.

Der hier zu ziehende Schluss ist der, das mit der von Einstein entwickelten Transformationsgleichung Gl. 1 ([Ein2] S. 912) die Winkel α im Bild A3.1 und α' im Bild A3.2 gemeint sind.

Wenn Einstein allerdings den mit seiner Gleichung (Gl. 1) erfassen Winkel φ' als „[...] den Winkel zwischen Wellennormale (Strahlrichtung) im bewegten System und der Verbindungslinie ‚Lichtquelle-Beobachter‘ [...]“ ([Ein2] S. 912) bezeichnet, dann ist das nicht der Winkel α' . Der Winkel α' ist wie gerade beschrieben, der Winkel zwischen der Bewegungsrichtung x' und der Richtung, aus welcher das Licht den Empfänger erreicht.

Interessanter Weise hat Einstein den von ihm beschriebenen Winkel auch nicht Aberrationswinkel genannt. sprach lediglich von einem „Aberrationsgesetz“ (ebd).

Eindeutig beschrieben und der allgemeinen Auffassung vom Aberrationswinkel folgend ist dieser in [Zim] S. 1. Es wird der Aberrationswinkel erläutert als die erforderliche Korrektur der Blickrichtung (Drehung des Fernglases), um das vom Emitter kommende Licht erfassen zu können.

Quellenangabe:

Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision:

2.1.0.2 vom 14.07.2023

copyright ©:

alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow

Anlage 4: Berechnung des einsteinschen Aberrationswinkels

Wie am Ende der Anlage 3 festgestellt wurde, hat Einstein in seiner Berechnung mit der Gleichung für die Aberration (siehe Gl. 1 S. 5) nicht den Aberrationswinkel ermittelt. Er fand einen sich aus der Aberration ergebenden Winkel α' (siehe Bild A3.2).

Da es einen Bezug zwischen dem von Einstein berechneten Aberrationseffekt α' und dem direkten Aberrationswinkel φ' gibt, soll dieser Bezug hier rechnerisch nachvollzogen werden.

Ausgangspunkt ist die in den Variablen korrigierte Gleichung Gl. 1:

$$\cos \alpha' = \frac{\cos \varphi - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad \text{Gl. A4.1}$$

Es gilt die Beziehung (Außenwinkel = Summe der gegenüberliegenden Winkel im Dreieck):

$$\alpha' = \varphi' + \varphi \quad \text{Gl. A4.2}$$

Es folgt die umzuformende Gleichung in φ und φ' :

$$\cos(\varphi + \varphi') = \frac{\cos \varphi - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad \text{Gl. A4.3}$$

Ziel ist es nun, eine Winkelfunktion des Winkels φ' explizit darzustellen. Dazu wird der folgende Rechenweg gegangen:

Nutzung der Formel der Additionstheoreme (nach [Göh1] S. 14):

$$\cos \varphi' \cos \varphi - \sin \varphi' \sin \varphi = \frac{\cos \varphi - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad \text{Gl. A4.4}$$

Ausmultiplizieren des Nenners der rechten Gleichungsseite:

$$\cos \varphi' \cos \varphi - \sin \varphi' \sin \varphi - \frac{v}{c} \cos \varphi' \cos^2 \varphi + \frac{v}{c} \cos \varphi \sin \varphi' \sin \varphi = \cos \varphi - \frac{v}{c} \quad \text{Gl. A4.5}$$

Das Kürzen mit $\cos \varphi$ ergibt:

$$\cos \varphi' - \sin \varphi' \tan \varphi - \frac{v}{c} \cos \varphi' \cos \varphi + \frac{v}{c} \sin \varphi' \sin \varphi = 1 - \frac{v}{c \cos \varphi} \quad \text{Gl. A4.6}$$

Nach dem Ordnen der Variablen folgt:

$$\cos \varphi' (1 - \frac{v}{c} \cos \varphi) - \sin \varphi' (\tan \varphi - \frac{v}{c} \sin \varphi) = 1 - \frac{v}{c} \frac{1}{\cos \varphi} \quad \text{Gl. A4.7}$$

sodass nun der $\cos \varphi'$ mittels der Formel $\sin^2 \varphi' + \cos^2 \varphi' = 1$ substituiert werden kann:

$$\sqrt{1 - \sin^2 \varphi'} (1 - \frac{v}{c} \cos \varphi) = 1 - \frac{v}{c} \frac{1}{\cos \varphi} + \sin \varphi' (\tan \varphi - \frac{v}{c} \sin \varphi) \quad \text{Gl. A4.8}$$

Um die Formel zu vereinfachen, werden folgende Ersetzungen vorgenommen:

$$h_1 = \frac{1 - \frac{v}{c} \frac{1}{\cos \varphi}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad \text{Gl. A4.9}$$

$$h_2 = \frac{\frac{1}{\cos \varphi} - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \varphi} \quad \text{Gl. A4.10}$$

und somit vereinfacht sich Gleichung Gl. A4.8 zu:

$$\sqrt{1 - \sin^2 \varphi'} = h_1 + h_2 \sin \varphi' \quad \text{Gl. A4.11}$$

die sich nach Quadratur zu der folgenden Formel verändert:

$$1 - \sin^2 \varphi' = h_1^2 + 2h_1 h_2 \sin \varphi' + h_2^2 \sin^2 \varphi' \quad \text{Gl. A4.12}$$

Damit lässt sich eine quadratische Gleichung in $\sin \varphi'$ aufstellen:

$$0 = \sin^2 \varphi' (h_2^2 + 1) + 2h_1 h_2 \sin \varphi' + h_1^2 - 1 \quad \text{Gl. A4.13}$$

die sich in die Normalform bringen lässt:

$$0 = \sin^2 \varphi' + 2 \frac{h_1 h_2}{h_2^2 + 1} \sin \varphi' + \frac{h_1^2 - 1}{h_2^2 + 1} \quad \text{Gl. A4.14}$$

Nun wird die Lösungsformel der quadratischen Gleichung angewendet:

$$\sin \varphi'_{1,2} = -\frac{h_1 h_2}{h_2^2 + 1} \pm \sqrt{\frac{h_1^2 h_2^2}{(h_2^2 + 1)^2} - \frac{h_1^2 - 1}{h_2^2 + 1}} \quad \text{Gl. A4.15}$$

Es folgt die Gleichung Gl. A4.15, die sich noch etwas vereinfachen lässt:

$$\sin \varphi'_{1,2} = \frac{-h_1 h_2 \pm \sqrt{h_1^2 h_2^2 - (h_1^2 - 1)(h_2^2 + 1)}}{h_2^2 + 1} \quad \text{Gl. A4.16}$$

und weiter:

$$\sin \varphi'_{1,2} = \frac{-h_1 h_2 \pm \sqrt{1 + h_2^2 - h_1^2}}{h_2^2 + 1} \quad \text{Gl. A4.17}$$

In der mit Gleichung Gl. A4.17 gefundenen Formel gilt das (+)-Zeichen von 0° bis 90° und das (-)-Zeichen von 90° bis 180° . Bei Winkeln über 180° tritt eine Punktspiegelung der Funktion am Punkt P(180, 0) ein.

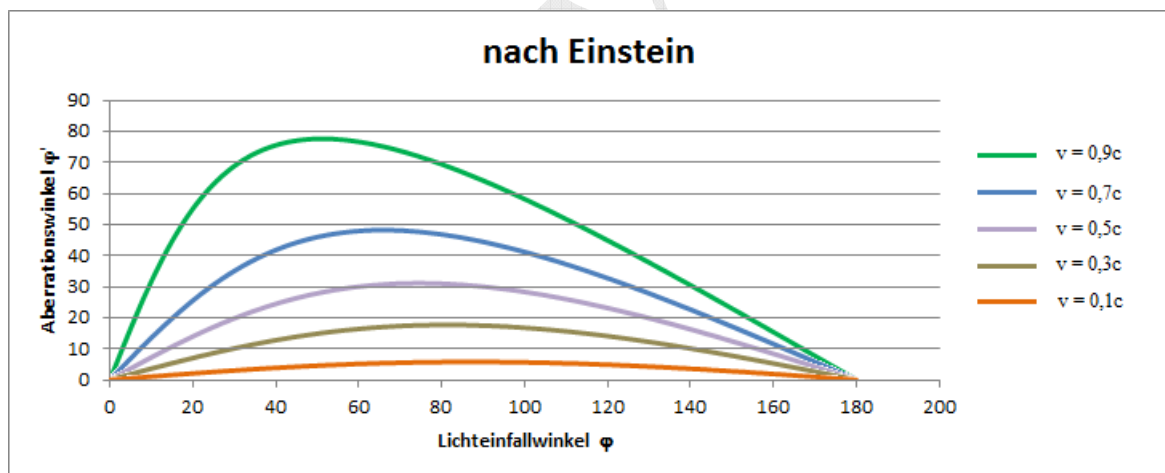


Bild A4.1: Darstellung des Aberrationswinkels bei verschiedenen Relativgeschwindigkeiten

Stellt man die Gleichung Gl. A4.17 grafisch dar, so ergibt sich das Bild im Diagramm (Bild A4.1), dass mit der Funktion im Bild 6 (s. S. 7) absolut korrespondiert.

Zu bemerken bleibt dabei, dass die maximale Aberration nicht beim Winkel $\varphi = 90^\circ$ auftritt!

Anlage 5: Unterschied zwischen passiver und aktiver Aberration

Wenn gesagt wurde (siehe S. 12), dass es einen Unterschied zwischen der passiven und der aktiven Aberration wegen des RP eigentlich gar nicht geben sollte, dann ist das sicherlich erklärungsbedürftig.

Deshalb wird in dieser Anlage herausgearbeitet, wie die Aberration aufzufassen ist, um die damit verbundenen relativistischen Effekte zu erklären. Es werden die beiden Arten der Aberration derart dargestellt, dass deren Parallele offensichtlich wird.

Die im Bild A5.1 dargestellte Situation ist hypothetisch. Ein ruhender Sender emittiere zum Zeitpunkt $t = t_0$ ein Lichtquant (rot). Dieses breitet sich mit der Lichtgeschwindigkeit in eine bestimmte Richtung aus. Der zeitliche Ablauf der Ausbreitung des Photons ist durch die Stationen L_i angedeutet.

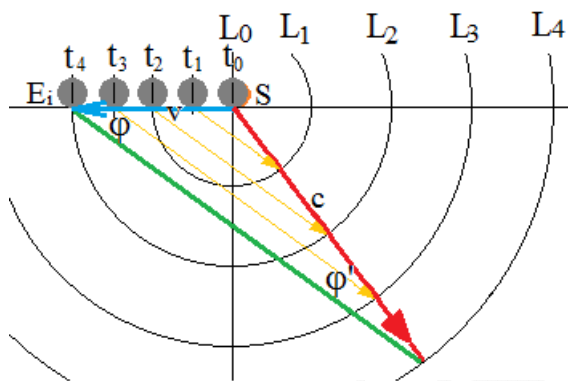


Bild A5.1: passive Aberration

Ein Beobachter E, der das Photon wie auch immer beobachtet, stellt dessen Position in Relation zu seiner eigenen dar (gelb). Da er sich mit der Geschwindigkeit v relativ zum Sender S bewegt, nimmt er die scheinbare Richtung des Photons (grün) im Winkel φ wahr. Sollte nun der Beobachter die Richtung des Photons (rot) auf irgendeine Weise erkennen können, wird er den Aberrationswinkel φ' registrieren. Für den Beobachter gilt:

$$\sin \varphi' = \frac{v}{c} \sin \varphi \quad \text{Gl. A5.1}$$

Dabei ist vorausgesetzt, dass die Position des Photons in jedem IS durch die Lichtkreise L_i bestimmt ist. Nach dem Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit muss gelten, dass die Lichtkreise, die zu einem Zeitpunkt und von einem Ort emittiert wurden, immer kongruent sind (vgl. [Ein2] S. 901).

Betracht man dieselbe Situation unter der Maßgabe, dass der Sender der Bewegte ist, dann ergibt sich die Situation wie im Bild A5.2 gezeigt.

Der Sender emittiert ein Photon (rot), das sich im Winkel φ ausbreitet. Aus der Sicht des Senders wird dieser Winkel auch über die Zeit erhalten bleiben. In den Sichtlinien (gelb) ist dieser Winkel in jedem zeitlichen Stadium L_i erhalten.

Das bedeutet aber, dass sich das Photon im System des Empfängers E bewegen muss. Diese Bewegung erfolgt gerade so, dass der Empfänger E dem Photon die Bewegung (grün) im Aberrationswinkel φ' beimisst.

Damit aber das Photon auch im System des Empfängers E zu den der Lichtgeschwindigkeit entsprechenden Zeiten, die durch die Lichtkreise L_i dokumentiert sind, muss sich dieses Photon zusätzlich zu seiner Bewegung (rot) auch noch orthogonal dazu (blau) bewegen.

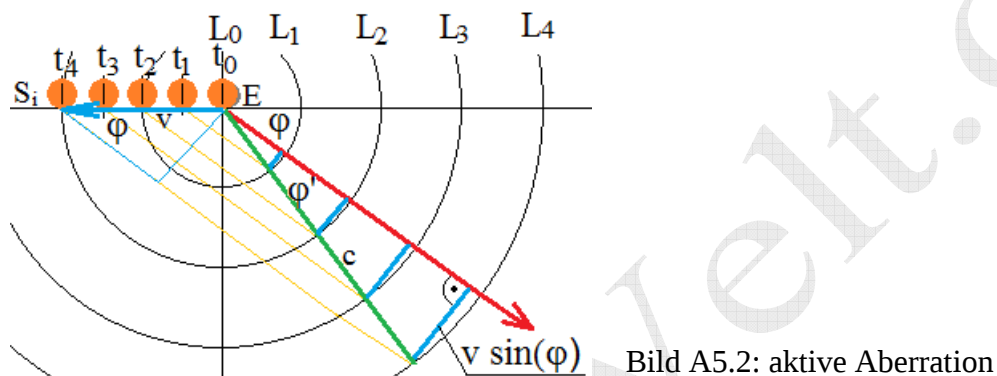


Bild A5.2: aktive Aberration

Damit ist durch die Überlagerung der Bewegungen (rot und blau) gegeben, dass der Empfänger die Bewegung des Photons im Winkel φ' wahrnimmt.

Die Beziehung, die der Empfänger für den Aberrationswinkel finden würde, ist:

$$\sin \varphi' = \frac{v}{c} \sin \varphi \quad \text{Gl. A5.2}$$

Leider wird er diesen Winkel nicht nachvollziehen können, da es ihm unmöglich sein sollte, die Richtung des Photons im IS des Senders zu registrieren.

Diese hier angestellten Überlegungen lassen zwei Schlüsse zu:

1. passive und aktive Aberration sind wesensgleich und vollkommen identisch. Eine Unterscheidung ist nicht möglich. Eine aktive Aberration ist nicht dadurch auszuschließen, weil man sie nicht nachweisen kann. Damit bleibt das RP erhalten.
2. Ein Photon, das sich durch den Raum bewegt, wird sich in Ausbreitungsrichtung unabhängig vom Bewegungszustand seines Emitters in dieser Richtung bewegen. In dieser Richtung ist die Photonengeschwindigkeit immer c . Orthogonal zu dieser Geschwindigkeit wird das Photon die Geschwindigkeit des Emitters in orthogonaler Richtung haben. Der Erhalt der Lichtgeschwindigkeit aus den zusammengesetzten Geschwindigkeiten ist mit den Mitteln der SRT nachgewiesen.



Literatur

- [Bra1] Bradley, J.: A Letter from the Reverend Mr. James Bradley Savilian Professor of Astronomy at Oxford, and F.R.S. to Dr. Edmond Halley Astronom. Reg. &c. Giving an Account of a New Discovered Motion of the Fix'd Stars
Philosophical Transactions Vol. 35 (1727 - 1728) pp. 637-661 (published by Royal Society) London (England) (1728) cited 11.07.2022
<https://www.jstor.org/stable/i206900>
- [Big1] Bignion, C.; Hülken, O.: Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich die Erde durch das Universum?
www (google) Frejus (Frankreich) (23.12.2020) cited 19.12.2022
https://www.futura-sciences.com/de/geschwindigkeit-erde-universum_208/
- [Bro1] Brosche, P.; Liebscher, D.-E.: Fallstricke beim Thema Aberration
google Potsdam (12.03.1998) load 09.01.2016
<http://dierck-e-liebscher.de/publikationen/366-fallstricke.pdf>
- [Ein1] Einstein, A.: Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt
Annalen der Physik 17, 132 (1905) Bern (1905) load 16.05.2009
http://www.physik.uni-augsburg.de/annalen/history/einstein-papers/1905_17_132-148.pdf
- [Ein2] Einstein, A.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper
Annalen der Physik, Jg. 17, 1905, S. 891-921 Bern Juni 1905
http://www.pro-physik.de/Phy/pdfs/ger_890_921.pdf
- [Fra1] FrancescoA (Ps.) et al.: Proxima Centauri
wikipedia unbekannt (10.02.2022) cited 14.05.2022
https://de.wikipedia.org/wiki/Proxima_Centauri
- [Gal1] Galilei, G.: Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische
B. G. Teubner Leipzig (1891) load 26.02.2022
<https://ia802801.us.archive.org/13/items/dialogberdiebe00galioft/dialogberdiebe00galioft.pdf>
- [Göh1] Göhler, W.: Höhere Mathematik, Formeln und Hinweise
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig 4. Aufl. 1974
- [Kra1] Kraus, U.; Borchers, M.: Fast lichtschnell durch die Stadt, Visualisierung relativistischer Effekte
Physik in unserer Zeit Heft 2/2005 S. 64-69 Tübingen (2005) cited 14.12.2022
<https://www.tempolimit-lichtgeschwindigkeit.de/tuebingen/tuebingen.pdf>
- [LaR1] La Rosa, M.: Das ballistische Prinzip in der Fortpflanzung des Lichtes und einige neuere Untersuchungen von Hrn. Rudolph Tomaschek
Annalen der Physik 1924 Vol. 380; Iss. 18 unbekannt (1924) cited 12.07.2022
<https://ur.booksc.me/book/377688/b56d67>

[Mar1] Marmet, P.: Stellar Aberration and Einstein's Relativity

Quellenangabe: Sydow, R. passive und aktive Aberration, die Lichtbewegung einmal anders
Niederfinow (Deutschland) 10.07.2022
<https://rolfswelt.de/astronomie/#passive-und-aktive-aberration>

Revision: 2.1.0.2 vom 14.07.2023
copyright ©: alle Rechte vorbehalten, 2022, Rolf Sydow



- Physics Essays, Vol. 9, No: 1 P. 96-99 Ottawa, Canada (1996) load 03.03.2014
http://www.newtonphysics.on.ca/aberration/index.html#Note_on_Relativity
- [Mes1] Meschede, D.: Gerthsen Physik
Springer Verlag Heidelberg 24. Aufl. (2010) load 26.02.2012
<http://www.springerlink.com/content/978-3-642-12894-3#section=782231&page=1&locus=6>
- [Pau1] PaulSch (Ps.) et al.: Richtungskosinus
wikipedia unbekannt (13.08.2020) cited 15.12.2022
<https://de.wikipedia.org/wiki/Richtungskosinus>
- [Pet1] Petry, S.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper, Albert Einsteins erste Veröffentlichung zur Speziellen Relativitätstheorie
google unbekannt (12.08.2008) cited 18.10.2008
<http://home.vrweb.de/~si.pe/Zur%20Elektrodynamik%20bewegter%20Koerper.pdf>
- [Röm1] Römer, O.: Démonstration touchant le mouvement de la lumière trouvé par M. Rømer de l'Académie royale des sciences
Le Journal des Sçavans Paris (Frankreich) (01.01.1675) load 10.02.2022
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k56527v/f234.item>
- [Sen1] Sentry (Ps.): Lichtgeschwindigkeit
wikipedia unbekannt load 03.11.2008
<http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtgeschwindigkeit>
- [Syd1] Sydow, R. Trägheit, am Beispiel des elastischen Stoßes Niederfinow (Deutschland) 01.09.2022
www.html://rolfswelt.de/Wissenschaft/Physik/Mech/Trägheit_1.1.0.2.pdf
- [Sit1] Sitter, de W.: Ein astronomischer Beweis für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit
Physik. Zeitschr. 14, 429, (1913) Leipzig (1913) read 27.11.2013
https://de.wikisource.org/wiki/Konstanz_der_Lichtgeschwindigkeit
- [Uhl1] Uhlmann A. M. et al.: Meyers Neues Lexikon, in acht Bänden A - Bossuet Bd. 1
VEB Bibliografisches Institut Leipzig Leipzig 1. Aufl. 1963
- [U1] unbekannt: Aberration (Astronomie)
wikipedia (google) unbekannt (06.12.2018) load 10.03.2019
[http://de.wikipedia.org/wiki/Aberration_\(Astronomie\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Aberration_(Astronomie))
- [Wal1] Walker, J.: The Aberration of Light
google Schweiz load 01.09.2012
<http://www.fourmilab.ch/cship/aberration.html>
- [Zim1] Zimmermann, H.; Gürtler, J.: ABC Astronomie
Springer Berlin 8. Aufl. (2008) cited 15.12.2022
<https://docplayer.org/184836-Lichtgeschwindigkeit-sind-ist-auch-der-aberrationswinkel.html>