

Fata Morgana - wenn die Luft zum Spiegel wird¹

Mandorf, Guido; Nordmeier, Volkhard; Schlichting, H. Joachim

Universität GH Essen

Bei der physikalischen Betrachtung der Lichtausbreitung geht man davon aus, daß sich Licht in geradlinig verlaufenden Strahlen fortpflanzt und das Auge das Objekt, von dem die Lichtstrahlen kommen, in rückwärtiger geradliniger Verlängerung der Richtung erwartet, die das Licht beim Eintritt in das Auge besitzt.

Ändert sich die Richtung des Lichtes beispielsweise dadurch, daß es auf dem Weg zum Auge Medien verschiedener Brechungsindizes durchquert, kommt es infolgedessen zu jenen paradox erscheinenden Situationen, die man z.B. von "zerbrochenen" Löffel M Wasserglas oder den verkürzten Beinen im Schwimmbad kennt.

Eine besonders komplizierte Situation liegt vor, wenn der Brechungsindex des durchstrahlten Mediums kontinuierlich variiert. Dies ist z.B. der Fall, wenn die Luft in der Nähe eines stark aufgeheizten Untergrundes, etwa einer Asphaltstraße, erwärmt wird und infolge der dadurch bewirkten Dichteänderung einen räumlichen variierenden Brechungsindex annimmt. Das Licht erfährt dadurch entsprechende Ablenkungen und führt zu Phänomenen, die uns als Luftspiegelungen an heißen Tagen vertraut sind.

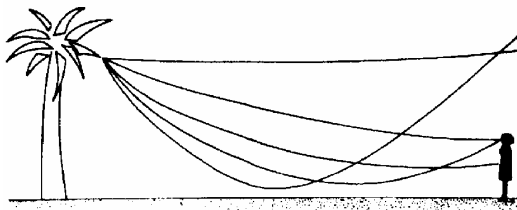


Bild 1: Strahlengang in Luft mit Gradientenverlauf des Brechungsindex

Die analytische Beschreibung solcher Luftspiegelungen erweist sich aufgrund des nicht linearen Verlaufs der Lichtstrahlen äußerst kompliziert. An eine Behandlung in der Schule ist daher meist nicht zu denken.

Faßt man jedoch die erwärmte und daher in ihrem Brechungsindex uneinheitliche Luft als System äquidistanter dünner Schichten mit konstantem Brechungsindex auf, so läßt sich mit bloßer Kennt-

nis des Snelliusschen Brechungsgesetzes ein einfacher Zugang zu solchen Luftspiegelungen gewinnen:

Man berechnet den Weg eines von einem gegebenen Gegenstand ausgehenden Signals indem man die einzelnen Brechungen an den Luftschichten berücksichtigt. Überläßt man diese aufgrund der zahlreichen Brechungen umfangreiche Rechenarbeit dem Computer, so ist es kein Problem, für charakteristische Punkte des Gegenstandes durch systematische Variation der Richtung, in die die Strahlen abgehen, diejenigen zu ermitteln, die schließlich das Auge des Beobachters erreichen.

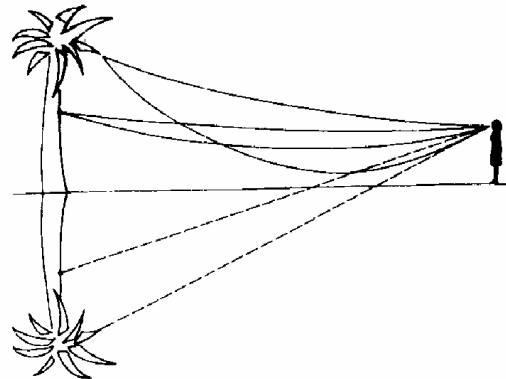


Bild 2: Das Auge "geht" davon aus, daß die "gebogenen" Lichtstrahlen aus der tangentialen Verlängerung kommen und "sieht" dort das Bild.

Anschließend muß man nur noch die im Auge ankommenden Strahlen in der Richtung, die sie beim Auftreffen besitzen, rückwärtig soweit verlängern, bis sie genau unter ihrem Startpunkt liegen. Die Gesamtheit dieser Punkte bildet dann den Umriß des Objekts, wie es uns aufgrund der Luftspiegelung erscheint.

Da einige Lichtstrahlen des Gegenstandes außerdem das Auge direkt (ohne Brechung) erreichen wird außer dem "Spiegelbild" auch noch zumindest ein Teil des Originals gesehen.

Der Algorithmus des Computerprogramms läßt sich wie folgt beschreiben: Wie bereits erwähnt ist die

¹ In: H. Behrend (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Alsbach: Leuchtturm 1994, S. 359

Luft durch eine Schichtung äquidistanter dünner Schichten ersetzt worden.

Das Programm beginnt mit einem Startwinkel unter dem der Lichtstrahl auf die erste Grenzfläche auftrifft.

Mit Hilfe des Snelliusschen Brechungsgesetzes wird der Austrittswinkel des gebrochenen Lichtstrahles berechnet. Dieser Winkel ist zugleich der Einfallswinkel des Lichtstrahles, wenn dieser auf die nächste Grenzfläche trifft. Wird dieses nun in einer Schleife wiederholt, so ergibt sich aus der nacheinander folgenden Brechungen folgender Strahlengang:

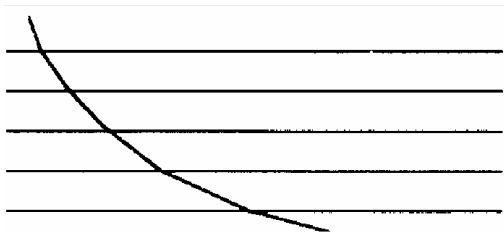


Bild 3: bogenförmiger Verlauf des Strahlengangs.

Dieses Verfahren läßt sich nur bis zum Minimum des Strahls anwenden, d.h. sobald der Strahl parallel zu den Grenzflächen verläuft ist keine Brechung mehr möglich.

Um die Tatsache des "Hochkrümmens" des Lichtstrahls erklären zu können, ist es notwendig die Lichtgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Diese Größe hängt vom Brechungsindex des Mediums ab, das der Strahl durchläuft. Betrachtet man einen Strahl, der auf einer Grenze zwischen zwei Schichten verläuft, so müßte er sich mit verschiedenen Lichtgeschwindigkeiten fortpflanzen. Das ist natürlich nicht möglich. Deshalb kommt es zum beobachteten "Hochkrümmen" des Strahls. Sobald der Strahl nicht mehr parallel zu den Grenzflächen verläuft kann der weitere Verlauf erneut mit dem Snelliusschen Brechungsgesetz beschrieben werden.

Das Programm wiederholt die Berechnung des Strahlenganges für verschiedene Startwinkel bis derjenige Strahl gefunden ist, der in das Auge des Beobachters trifft. Der Strahl wird daraufhin wie schon zuvor beschrieben rückwärtig verlängert und die Prozedur wird für verschiedene Punkte des beobachteten Objekts wiederholt.

Die entstandenen Punkte des "Spiegelbildes" werden schließlich miteinander verbunden, damit man die "Fata Morgana" des Computers erkennen kann.