

## 4.0 Was wir vom Licht wissen müssen

Wie in unseren Überlegungen zur Geschwindigkeit auch, wollen wir für die Eigenschaften des Lichtes nur grundlegende Tatsachen heranziehen und daraus durch logische Schlüsse weitere Erkenntnisse ziehen:

1. Es gibt Licht (Wir können es ja sehen...)
2. Licht wird von bestimmten *Körpern* ausgesendet (*Lichtquellen*: Sonne, Kerze etc.)
3. Licht wird von anderen *Körpern* empfangen (*Lichtempfänger*: Auge, Kamera etc.)
4. Lichtquellen und Lichtempfänger können nicht zur gleichen Zeit am gleichen Ort sein. Das ist eine logische Konsequenz aus der beobachtbaren Tatsache, dass niemals zwei Körper zur gleichen Zeit am gleichen Ort sein können. Dafür sprechen auch andere logische Gründe.
5. Um von der Lichtquelle bis zum Empfänger zu kommen, muss das Licht den Weg zwischen ihnen zurücklegen. Es gibt einen *Abstand* zwischen Lichtquelle und Lichtempfänger

Unterbrechen wir mal hier. Wir haben jetzt die Grundlagen für das Verhalten des Lichts im raumartigen Bereich unserer Raumzeit festgelegt. Wie sieht es mit dem zeitartigen Anteil der RZ aus?

Anders ausgedrückt: Benötigt das Licht eine *Zeit* für seinen Weg? Das war früher alles andere als klar. Die einen Gelehrten sprachen dem Licht eine *endliche* Geschwindigkeit zu, die anderen argumentierten, da man ja (mit den damals üblichen Methoden ...) keinen Zeitunterschied zwischen dem Aussenden und dem Empfangen des Lichtes messen könne, müsse seine Geschwindigkeit *unendlich* groß sein.

Beide Ansichten passen übrigens zu unserer *bisherigen* Definition der Geschwindigkeit.

Wir wollen das mal nachrechnen:

Die Definition der Geschwindigkeit lautet:  $v = \frac{s}{t}$ . Dies ist ja eine Gleichung. Sie muss also, wenn wir sie nach den Regeln der Mathematik umrechnen, auch gültig bleiben, wenn wir sie umformen, d.h., eine der anderen Variablen isolieren. Das können wir einfach durch Multiplikation und Division und gegebenenfalls dem Kürzen von Variablen erreichen.

1. Wir formen nach der Variablen s um:

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{Beide Seiten mit } t \text{ multiplizieren ...}$$

$$v * t = \frac{s}{t} * t \quad \text{Auf der rechten Seite } t \text{ kürzen ergibt: ...}$$

$$s = v * t$$

Prima, damit können wir den Weg berechnen, wenn wir die Geschwindigkeit und verstrichene Zeit kennen!

2. Wir formen nach der Variablen t um:

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{Beide Seiten mit } t \text{ multiplizieren ...}$$

$$v * t = s \quad \text{Beide Seiten durch } v \text{ dividieren ergibt: ...}$$

$$t = \frac{s}{v}$$

Prima, damit können wir die Zeit berechnen, wenn wir die Geschwindigkeit und den Weg kennen!

Diese letzte Gleichung kann aber nicht zwischen den beiden Standpunkten entscheiden:

*Licht braucht Zeit* oder *Licht braucht keine Zeit*, um einen Weg zu überwinden.

Sei die Lichtgeschwindigkeit *endlich* (habe also einen Wert, den man durch eine Zahl ausdrücken kann), dann erhalten wir für eine *endliche* Lichtgeschwindigkeit  $v$  und einen Weg - der ja nicht Null sein darf - auch einen *endlichen* Wert für die Zeit. Sei er auch noch so klein oder noch so groß.

Sei die Lichtgeschwindigkeit *unendlich* (sei also so groß, dass man sie *nicht* durch eine Zahl ausdrücken kann), dann erhalten wir für eine *unendliche* Lichtgeschwindigkeit  $v$  und einen Weg - der ja nicht Null sein darf - eine Zeit von *Null*, denn irgendeine Zahl, geteilt durch „Unendlich“ (Symbol eine liegende 8:  $\infty$ ) ergibt *Null* (0).

$$t = \frac{s}{\infty} = 0$$

Alles dreht sich also um die Frage, ob die Zeit, die das Licht für einen bestimmten Weg braucht *gleich Null* oder *größer Null* ist. Kleiner als Null kann sie nicht sein, dann würde man etwas empfangen, bevor es ausgesendet wurde. Das würde das Prinzip der *Kausalität* verletzen, nach dem es *zuerst* eine Ursache und *erst dann* eine Wirkung geben darf. Die Zeit müsste dafür „rückwärts“ laufen und wir wissen, dass es für die Zeit nur eine Richtung gibt: Vorwärts.

Der berühmte dänische Astronom Ole Rømer konnte das erst im Jahre 1676 entscheiden. Bei seinen Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupitermonde konnte er Zeitunterschiede für den Fall messen, dass einmal die Verfinsterung der Monde nahe bei der Erde, ein anderes Mal weiter entfernt von der Erde stattfanden. Verfinsterung bedeutet dabei, dass die Monde - von der Erde aus gesehen - hinter dem Jupiter stehen.

Es ist nicht verwunderlich, dass der erste Beweis für die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit aus astronomischen Beobachtungen abgeleitet wurde. Nur astronomische Entfernungen waren groß genug, um die winzigen Zeiten zu bestimmen, die sich durch die sehr große Geschwindigkeit des Lichts ergeben.

Die Diskussion hörte damit aber noch lange nicht auf. Wenn so große Geister wie Aristoteles für eine unendliche Lichtgeschwindigkeit plädiert hatten, dann konnten sie sich doch nicht geirrt haben? Vielleicht war ein Fehler in Rømers Messungen? Vielleicht hatte in diesem Fall auch irgendein - noch unbekannter - physikalischer Effekt das Licht auf seinem Wege so aufgehalten, dass sich eben diese Zeitveränderung ergab? Der Einwand ist längst nicht so stupide, wie er sich mit heutigem Wissen anhört...

Erst im Jahre 1849 konnte die Frage endgültig geklärt werden, als der Franzose *Hippolyte Fizeau* sein berühmtes Experiment durchführte. Er sandte Lichtblitze durch die Zacken eines sich sehr schnell drehenden Zahnrades auf einen weit entfernten Spiegel. Mit Hilfe eines Fernrohres konnte er dann erkennen, dass bei einer bestimmten Drehzahl des Zahnrades die reflektierten Lichtblitze gerade dadurch wieder abgedunkelt wurden, dass der nächste Zacken in derjenigen Zeit vorgerückt war, die das Licht für seinen Hin- und Rückweg gebraucht hatte.

Es kam so, wie es kommen musste: Die Experimente wurden mit verbesserten Messmethoden so weit verfeinert, dass man den heutigen, sehr genauen Wert für die *Lichtgeschwindigkeit im Vakuum* besaß:

Wegen ihrer überragenden Bedeutung wurde der Lichtgeschwindigkeit ein eigenes Symbol verliehen. Der Kleinbuchstabe  $c$  anstelle des üblichen  $v$ . Ihr heutiger Wert beträgt:

$$c = 299.792.458 \text{ m/s}$$

Das ist so nahe bei 300 Mio., dass wir in Zukunft von 300 Mio. m/s bei unseren Berechnungen ausgehen werden. Im normalen Sprachgebrauch wird häufig die Geschwindigkeit in km/s mit 300.000 km/s angegeben.

Noch etwas zum Begriff *Lichtgeschwindigkeit im Vakuum*. Warum diese Einschränkung? Ist die Lichtgeschwindigkeit in durchsichtigen Stoffen wie Luft, Wasser oder Glas etwa anders? Sie ist es tatsächlich und zwar ist sie in allen körperlichen Stoffen immer kleiner als im Vakuum. Bei der Luft macht das nur wenig aus, sie ist dort nur 0,28 Promille kleiner. Im Wasser jedoch schon 25% und in hochbrechenden Gläsern bis zu 50% geringer.

Diese geringere Lichtgeschwindigkeit in Gläsern macht es physikalisch erst möglich, Apparate mit Linsen zu bauen, wie Kameras, Fernrohre, Mikroskope usw. Die Lichtbrechung in Linsen wird nämlich gerade durch den Unterschied der Lichtgeschwindigkeit in Luft und derjenigen in Glas bewirkt.

Aber warum ist das so? In all diesen Stoffen befinden sich Atome. Trifft das Licht auf diese Atome wird es für einen kurzen Moment absorbiert und dann erst - in der gleichen Richtung wie vorher - wieder ausgesendet (*emittiert*). Zwischen den Atomen bewegt es sich wieder mit Lichtgeschwindigkeit. Durch dieses *Stop-and-Go* ergibt sich die verlängerte Zeit. Das Licht musste halt zwischen Aussendung und Empfang immer wieder mal ein sehr kurzes Pauschen bei den vielen Atomen machen, die auf seinem Weg lagen ...

### **Zeit für ein paar Berechnungen ...**

Wir wählen - der Bequemlichkeit halber - einen Wert von  $c = 300.000 \text{ km/s}$  für die Lichtgeschwindigkeit.

Die ersten Astronauten auf dem Mond haben dort einen Reflektor aufgestellt. Einen in der gleichen Bauart wie die *Katzenaugen* an unseren Landstraßen. Diese Bauart gewährleistet nämlich, dass das Licht wieder exakt in die gleiche Richtung reflektiert wird, aus der es kam. Von der Erde aus kann man einen Laserimpuls zum Mond senden und diejenige Zeit messen, die das Licht benötigt, bis es wieder zurück zur Erde gelangt.

Wir haben das Experiment durchgeführt und eine Zeit von 1,25s gemessen, bis der Lichtblitz wieder eintraf. Wie weit ist der Mond von der Erde gerade entfernt?

Wir wollen einen Weg ausrechnen, also ist die Formulierung  $s = v * t$  richtig. Wir setzen ein:

$$s = v * t = \frac{300.000 \text{ km}}{\text{s}} * 1,25 \text{ s} = 375.000 \text{ km}$$

Ist der Mond jetzt gerade so weit entfernt? Nein. Wir haben noch nicht berücksichtigt, dass das Licht ja einen Weg zum Mond und wieder zurück durchlief. Beide Wege sind gleich lang. Der richtige Abstand wäre also die Hälfte, nämlich 187.500km.

Die Sonne ist ca. 150 Millionen km von der Erde entfernt. Wenn die Sonne plötzlich erlöschen würde, wie lange würde es dauern, bis wir das merkten?

Wir wollen eine Zeit ausrechnen, also ist die Formulierung  $t = \frac{s}{v}$  richtig. Wir setzen ein:

$t = \frac{s}{v} = \frac{150.000.000km}{300.000km/s}$  Wir rechnen im Kopf: Wir können im Zähler und im Nenner jeweils 5 Nullen wegstreichen. Die Einheit km kürzt sich heraus. Dann verbleibt noch:  $1.500 / 3 \cdot (1/s) = \underline{500s}$ . Also 8 Minuten und 20 Sekunden, bis das Licht ausbleibt.

Im Baumarkt kann ich heutzutage Laser-Entfernungsmesser kaufen, die kurze Laser-Impulse aussenden. Sie messen dann die Zeit, bis der Impuls zurückkommt. Daraus bestimmen sie die Entfernung und zeigen sie digital an. Ab ca. 50€. Selbst ein Galileo Galilei hätte solche Werkzeuge wohl als Hexenwerk angesehen und dem Besitzer den Scheiterhaufen gewünscht. Das Prinzip hätte er aber sofort verstanden.

Das ist jetzt eine feine Sache. Wir haben eine Raumzeit, die aus Orten und Zeiten besteht und mittels der *Licht-Geschwindigkeit im Vakuum* können wir Wege und Zeiten bequem voneinander ableiten, sie bequem ineinander umrechnen.

**Unsere Raumzeit der Speziellen Relativitätstheorie ist damit komplett!**

**(Kein Scherz !)**