

## Das Problem der Unsichtbarkeit

Alexander Strahl\*, Karl Bednarik<sup>+</sup>, Rainer Müller\*

\* TU-BS, IFdN, Abteilung: Physik und Physikdidaktik,  
Pockelsstraße 11, 38106 Braunschweig

<sup>+</sup> <http://members.chello.at/karl.bednarik/>

### Kurzfassung

Unsichtbarkeit gehört zu den Urträumen der Menschheit. Schon der griechische Gott *Hades* bekam eine Tarnkappe von Zeus, die er beim Kampf mit den Titanen trug. Aber auch *Siegfried*, der Held des Nibelungenliedes, nahm dem Zwerg Alberich eine Tarnkappe ab. In der modernen Literatur wird das Unsichtbar-Sein z. B. in H.G. Wells Roman „*Der Unsichtbare*“ thematisiert. Im Science-Fiction Bereich ist das Tarnsystem bei einigen fortschrittlichen Außerirdischen keine Seltenheit (z. B. bei den *Romulanern* in der Science-Fiction Reihe *StarTrek*).

In diesem Artikel sollen einige Aspekte des Themas beschrieben werden: neue Entwicklungen im Bereich der Metamaterialien sowie vier Versuche, in denen gezeigt wird, wie es möglich ist, Formen von Unsichtbarkeit selbst zu erzeugen.

### 1. Einleitung

Um das Phänomen "Unsichtbarkeit" zu beleuchten, muss gefragt werden, was Unsichtbarkeit überhaupt bedeutet. Eine Antwort könnte lauten: „*Unsichtbar ist etwas dann, wenn es von keinem gesehen oder wahrgenommen werden kann.*“ Betrachtet man die Frage aus physikalischer Sicht, so lässt sich ein unsichtbares Objekt beschreiben, als etwas, *das auftreffendes Licht nicht verändert und das selbst auch kein Licht aussendet.* Licht kann durch Reflexion, Brechung, Streuung, Interferenz, Absorption und Gravitation beeinflusst werden.

### 2. Unsichtbarkeit durch Metamaterialien

Seit Mitte 2006 kam es in der Presse zu Berichten, dass Forscher an der Entwicklung einer „Tarnkappe“ arbeiten z.B. [1, 2]. Was steckt dahinter? Die dafür notwendigen Materialien, die die Forscher entwickelt haben sind sogenannte *Metamaterialien* [3, 4].

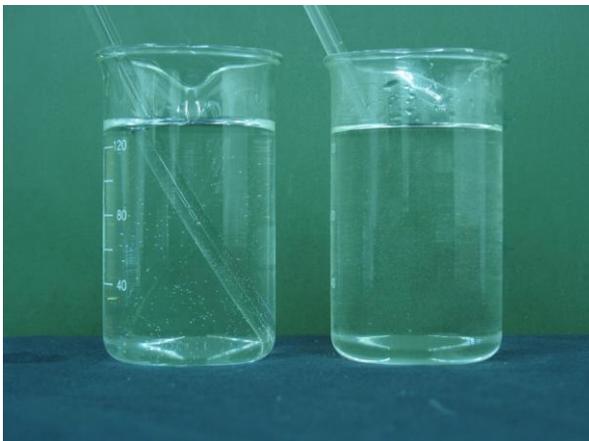


Abb. 1: links: Becherglas mit Wasser  
rechts: Becherglas mit Glycerin + Aceton

Ihre elektromagnetischen Eigenschaften können ebenfalls über die Permittivität ( $\epsilon_r$ ) und die Permeabilität ( $\mu_r$ ) beschrieben werden, dabei ist es aber möglich, Werte einzustellen, die in der Natur nicht vorkommen. Dies sind vor allem negative ( $n < 0$ ) Brechungsindizes oder positive kleiner 1 ( $n < 1$ ). Diese Idee der Realisierung von Unsichtbarkeit lässt sich mit dem Wort *Lichtwellenumlenkung*<sup>1</sup> beschreiben. Ein Lichtwellenumlenker lenkt die Lichtwellen um einen Bereich herum, der dann als unsichtbar bezeichnet werden kann.

Forscher entwickelten hierfür einen Goldring, der auf eine Trägersubstanz aus PMMA (Acrylglas) [5] oder einen Kupfering mit Fiberglasumrandung [6] aufgebracht wurde. Die auf das Objekt auftreffenden Lichtwellen werden in Oberflächenplasmonen (Dichteschwankungen des Fermigases) gewandelt. Plastik und Gold haben unterschiedliche Brechungseigenschaften und beugen die Plasmonen in unterschiedlichen Richtungen. Mittels der Variation von Plastik- und Goldanteil gelingt es die Plasmonen präzise um den mittleren Bereich herumzuleiten. Eine einfache Analogie hierzu wäre Wasser, welches in einem Fluss um einen flachen Stein fließt.

Diese Methode der Erzeugung von Unsichtbarkeit beinhaltet einige Probleme. Sie ist bisher nur im Zweidimensionalen realisierbar. Die Struktur ist sehr klein (ca. 60nm) und nur für eine bestimmte Wellenlänge nicht sichtbar.

### 3.1 Unsichtbarkeit selbstgemacht 1: Glasstab.

Ein Unsichtbarkeitselixier lässt sich einfach herstellen. Es macht zwar nicht unsichtbar, aber es kann Objekte unsichtbar werden lassen. Das Rezept dazu ist schon seit geraumer Zeit bekannt [7].

Wenn man einen Glasstab in ein Gemisch aus Glycerin ( $n=1,47$ ) und Aceton ( $n=1,35$ ) steckt, kann

man den Teil des Glasstabes, der sich innerhalb der Flüssigkeit befindet, nicht mehr sehen, so wie in Abbildung 1 dargestellt; man sieht, dass man nichts sieht: Das Becherglas links ist mit Wasser ( $n=1,33$ ) gefüllt; der Glasstab ist gut zu erkennen. Der Glasstab rechts befindet sich dagegen im Glycerin-Aceton-Gemisch; er ist nicht zu sehen. Der Hauptbestandteil des Unsichtbarkeitselixiers besteht aus ca. 98% Glycerin, das Aceton wird nur zur Feinabstimmung des Brechungsindex gebraucht.

Das Phänomen kommt durch die sehr ähnlichen Brechungsindizes von Glas ( $n=1,45$  bis  $1,55$ ) und dem Glycerin-Aceton-Gemisch zustande. Brechung findet an Oberflächen statt, in der das Licht von einem Material in das nächste übergeht. Haben beide Materialien gleiche Brechungsindizes, dann findet keine Brechung statt. Das Licht erfährt beim Durchgang durch den Glasstab keine Änderung, aus der ein Beobachter auf seine Anwesenheit schließen könnte.

Dieses Phänomen lässt sich in der Natur vor allem im Wasser finden. Hier gibt es einige Lebewesen (z.B. Wasserflöhe, Quallen), die im Wasser nahezu unsichtbar sind.

### 3.2 Unsichtbarkeit selbstgemacht 2: Linsen

Zwei weitere Möglichkeiten Objekte zu verstecken sollen die beiden nächsten Versuche zeigen.

In der ersten Anordnung wird das Brechungsverhalten an Viertelzylindern ausgenutzt. In der Draufsicht auf die in Abbildung 2 gezeigte „Unsichtbarkeitsmaschine“ (oben links) sieht man zwei blaue Muffeltiere

re. Betrachtet man die Anordnung aber von oben, erkennt man rote Muffeltiere, die vor den blauen stehen, in der Draufsicht aber nicht sichtbar sind. Um die Physik hinter dem Phänomen zu verstehen, kann man den Strahlenverlauf eines Lasers mit einer Nebelmaschine sichtbar machen (Abb. 2 links unten). In der Illustration der Strahlengänge (Abb. 2 rechts unten) wird deutlich, wie der unsichtbare Raum erzeugt wird. Alle Strahlen werden vom Viertelzylinder so abgelenkt, dass sie an einem Punkt gebündelt auftreffen (dem Standort der roten Muffeltiere), hier mittels Spiegel reflektiert und dann durch den zweiten Viertelzylinder wieder aufgefächert werden.

### 3.3 Unsichtbarkeit selbstgemacht 3: Spiegel

In dieser Anordnung werden Spiegel so positioniert, dass sie ebenfalls Bereiche erzeugen, die nicht sichtbar sind. In Abbildung 3 oben links sieht man die Maus aus der „Sendung mit der Maus“. Was man nicht sieht, sind zwei Äpfel zwischen der Maus und dem Beobachter. Das Licht wird durch Spiegel um diese beiden Bereiche herumgeleitet. Der Strahlengang kann wieder gut mit Laser und Nebelmaschine gezeigt werden. In Abbildung 3 unten links sieht man, wie das Licht an vier Spiegeln reflektiert wird. An Abbildung 3 rechts unten wird deutlich, wieso vier Spiegel gebraucht werden. Verwendet man nur zwei, so kann man die Spiegel von hinten sehen, verwendet man drei so steht das Bild auf dem Kopf. Erst bei vier Spiegeln ist das Bild aufrecht und kein Spiegel ist von hinten zu sehen.

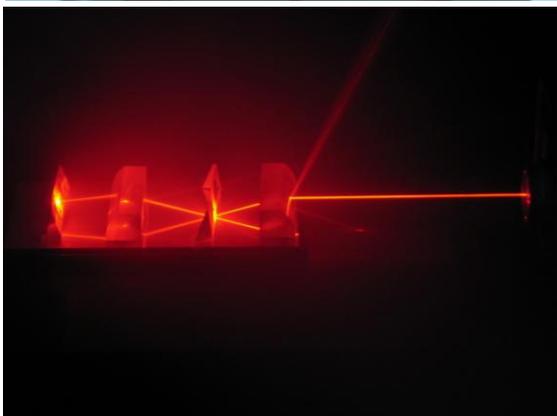
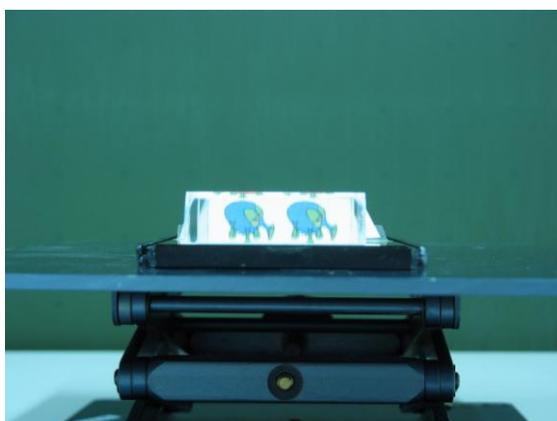


Abb. 2: Unsichtbarkeit durch zwei Viertellinsen

### 3.4 Unsichtbarkeit selbstgemacht 4: Filme

Unsichtbarkeit im Film ist ein sehr altes Thema, schon 1932 in „Der Unsichtbare“ wurde versucht Unsichtbarkeit filmertisch zu lösen. Seit diesem Erfolg wurde es auf unterschiedlichste Weise im Film dargestellt.

Seit der Entwicklung der „Colorkeying“-Methode (auch unter Blue Box bekannt und in jeder Tageschausendung mehrfach eingesetzt) ist es kein großer Aufwand, selbst einmal unsichtbar zu werden, zumindest auf der Leinwand. Hierbei wird nicht der Hintergrund mittels Colorkeying durch einen anderen ersetzt, sondern ein Stück Stoff wird per Colorkeying „durchsichtig“ gemacht und im Computer durch den separat aufgenommenen Hintergrund ersetzt.

### 4. Zusammenfassung

Wie gezeigt wurde ist das Thema Unsichtbarkeit aus mehreren Blickwinkeln interessant. Es kann sowohl technisch angegangen werden, indem man sich mit neuen Forschungsergebnissen befasst oder indem man Unsichtbarkeit selbst macht. Das Thema eignet sich gut für eine fachübergreifende Betrachtung, da es sowohl physikalisch-technische, als auch literarisch-künstlerische Gesichtspunkte beinhaltet.

### 5. Literatur

- [1] SPIEGEL ONLINE Wissenschaft – *Forscher bauen erste Tarnkappe*. (19.10.2006): <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,443579,00.html> (Stand: 3/2008)

- [2] NATIONAL GEOGRAPHIC NEWS – *First Invisibility Cloak Tested*. (19.10.2006): <http://news.nationalgeographic.com/news/2006/10/061019-invisible-cloak.html> (Stand: 3/2008)
- [3] CAI Wenshan; CHETTIAR Uday K.; KILDISHEV Alexander V.; SHALAEV Vladimir M. (2007): *Optical cloaking with metamaterials*. In: *nature photonics* 1, S. 224 - 227: <http://www.nature.com/nphoton/journal/v1/n4/abs/nphoton.2007.28.html> (Stand: 3/2008)
- [4] ROCKSTUHL, Carsten; (2008) *Aufbruch ins Volumenland*. In: *Physik Journal* Feb 2008, S. 18-19
- [5] SMOLYANINOV, I.I.; HUNG, Y.J.; DAVIS, C.C. (10.12.2007). *Electromagnetic cloaking in the visible frequency range*. In: *citeulike*, <http://www.citeulike.org/user/norris/article/2500358> (Stand: 03/2008) PDF, 10 Seiten.
- [6] SPIEGEL ONLINE Wissenschaft – *Tarnkappe für sichtbares Licht entwickelt*. (19.12.2007): <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,524320,00.html> (Stand: 3/2008)
- [7] HISCHE, H. (Koord.) (1998). *Physikalische Freihandexperimente Band 2*. Aulis Verlag, Deubner S.772-774

<sup>1</sup> Die Idee des Lichtwellenumlenkers wurde schon bei Perry Rhodan im ersten Zyklus „Die Dritte Macht“ in Heft 4 (1961) „Götterdämmerung“ benutzt.

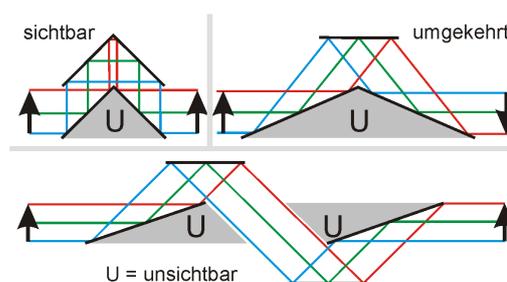
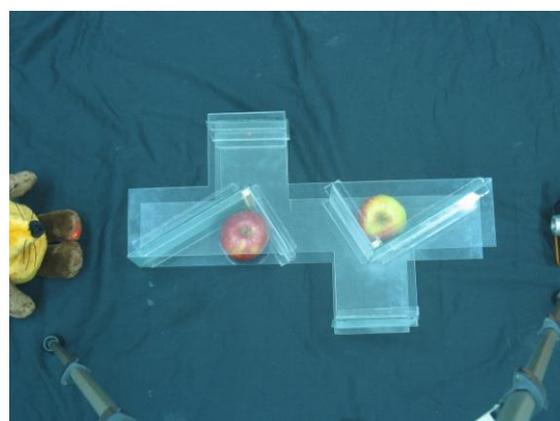
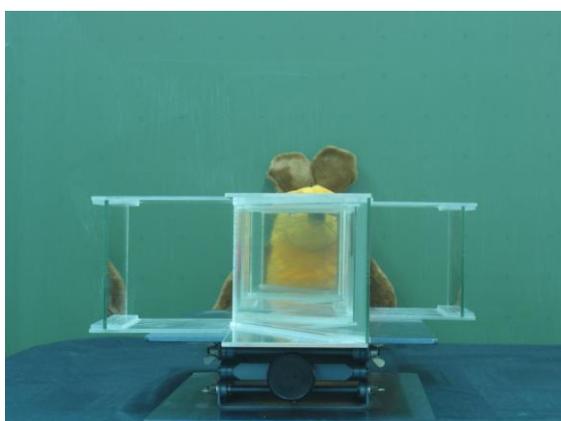


Abb. 3: Unsichtbarkeit durch Spiegel