

Glitzernde Sticker

Dietmar Jungmann, H. Joachim Schlichting

*Dagegen lassen wir uns das Recht nicht nehmen,
die Farbe in allen ihren Vorkommnissen und Bedeutungen zu bewundern,
zu lieben und wo möglich zu erforschen.*

Johann Wolfgang von Goethe

Manche Schokoladenriegel sind mit sogenannten Stickern als Sammelbeigabe versehen (Bild 1).

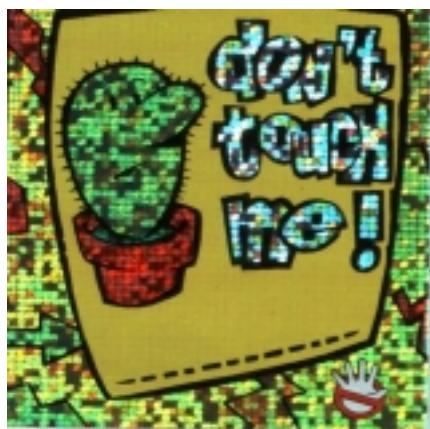


Bild 1: Kopie eines Glitzerstickers in Originalgröße. Betrachtet man den Sticker aus unterschiedlichen Richtungen glitzert er in allen Spektralfarben.

1). Die flotten Sprüche der Sticker erscheinen vor einem glitzernden Hintergrund. Das Glitzern wird von winzigen Karos hervorgerufen, sobald man den Blickwinkel ändert oder die Richtung des einfallenden Lichtes variiert. Genaugenommen durchlaufen die Karos dabei ein Spektrum von unterschiedlichen Farben.

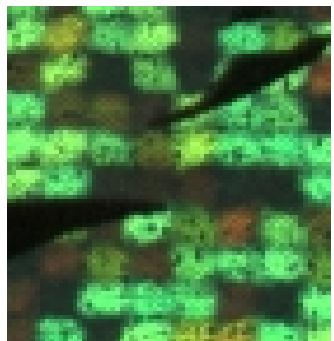


Bild 2: Karos auf dem Sticker in ca. 50 facher Vergrößerung

Einen solchen richtungsabhängigen Farbwechsel kennt man bei spielsweise auch von CD's (Compact Disk), die mit ihren zahlreichen feinen „Rillen“ ein Reflexionsgitter darstellen und bei Einfall von weißem Licht zu farbigen Interferenzerscheinungen Anlaß geben.

Es liegt daher die Vermutung nahe, daß es sich auch bei den in verschiedenen Farben glitzernden Karos der Sticker um winzige Gitter handelt.

Mit Hilfe eines Mikroskopes kann man feststellen, daß die silberfarbigen Karos (Bild 2) mit einem von winzigen Flecken durchsetzen regelmäßigen Gitter überzogen sind (Bild 3). Eine einfache Messung (siehe Abschätzung der Größenordnung des Gitters) unterstützt die Vermutung, daß die Farberscheinungen auch in diesem Fall durch Interferenz des weißen Lichtes an diesen Gittern hervorgerufen wird.



Bild 3: Mikroskopaufnahme eines Fleckes des Glitzerstickers durch den die Farberscheinungen hervorgerufen werden (ca. 1000-fach vergrößert)

Wie bei den CD's ist das Gitter auf einem verspiegelten Untergrund aufgebracht. Im Unterschied zu einem transparenten Gitter, welches vom Licht durchdrungen wird, reflektieren hier die winzigen spiegelnden Streifen (siehe Mikroskopaufnahme in Bild 3) das auffallende Licht. Dabei gehen (nach der Huyghensschen Vorstellung) von ihnen Elementarwellen aus, die sich gegenseitig überlagern und wie beim transparenten Gitter zu Interferenzerscheinungen führen. Je nachdem, aus welchem Blickwinkel unser Auge von den reflektierten, sich überlagernden Wellen getroffen wird, kombinieren die passenden

Wellenlängen des weißen Lichtes zu der jeweils wahrgenommenen Farbe. Der Farbwechsel bei der Änderung der Blickrichtung ruft den Eindruck des Glitzerns hervor

Die farbigen Interferenzerscheinungen an einem Gitter kommen bekanntlich dadurch zustande, daß das von Licht durchstrahlte Gitter das Licht beugt. Hinter dem Gitter überlagern sich die Wellenzüge je nach ihrer Phasenverschiebung verstärkend oder auslöschend. Auf einem hinter dem Gitter angebrachten Schirm beobachtet man ein charakteristisches Interferenzmuster, das für den allgemeinen Fall des schrägen Lichteinfalls durch die Beziehung

$$g \cdot (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) = k \cdot \lambda \quad \text{für: } k = 0,1,2,\dots$$

beschrieben wird.

Dabei ist g die Gitterkonstante, λ die Wellenlänge, α_1 der Winkel des einfallenden Lichts, α_2 der Winkel, unter dem das Maximum wahrgenommen wird, und k die Ordnung des Maximums. Für den Spezialfall senkrecht einfallenden Lichts ($\alpha_1 = 0$) ergibt sich die einfache Formel:

$$g \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda \quad \text{für: } k = 0,1,2,\dots$$

Statt das Gitter zu durchdringen, wird es bei den Glitzerstickern an den spiegelnden Streifen reflektiert: Die so entstehenden Elementarwellen (Bild 4) überlagern sich daher vor dem Gitter.

Die Tatsache, daß das Licht durch die Spiegelstreifen reflektiert wird, führt zu keiner prinzipiellen Änderung der Interferenzerscheinung, hat jedoch eine auf den ersten Blick erstaunliche

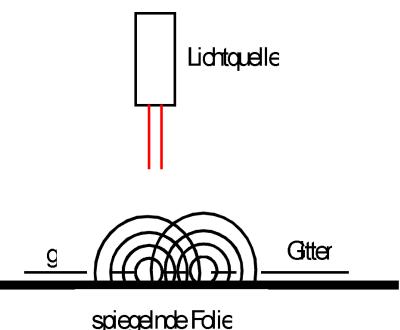


Bild 4: Prinzipieller Aufbau eines Gitters beim Glitzersticker. Ein Spiegel hinter dem Gitter sorgt dafür, daß die Interferenzerscheinungen vor dem Gitter auftreten..

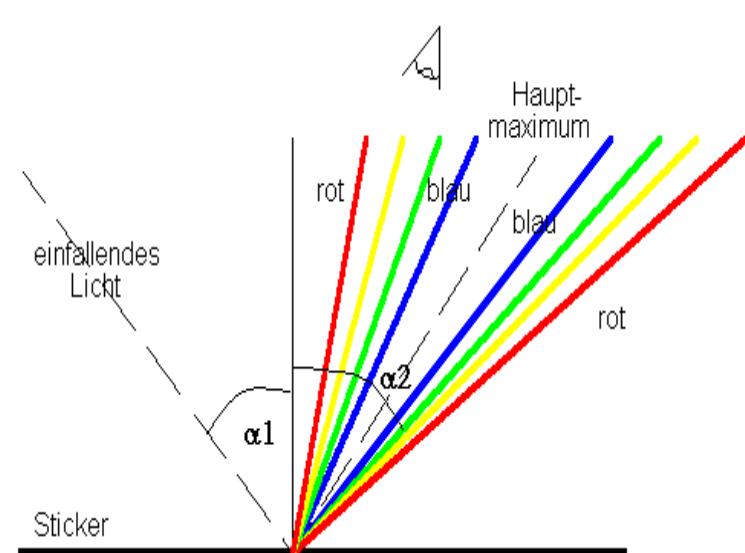


Bild 5: Bei schräg auftreffendem Licht kann es unter bestimmten Winkeln zu einer unerwarteten Farbreihenfolge kommen.

Die Farbreihenfolge nicht ohne weiteres sehen, weil der eigene Kopf in die Lichtquelle gerät.

Die Glitzersticker ähneln im übrigen einer CD. Diese zeigt eine ähnliche Farbenpracht. Je nach Blickrichtung und je nach Orientierung zur Lichtquelle kann man äußerst farbenprächtige Reflexstreifen über die Scheibe laufen lassen. Auch bei einer CD erkennt man ein Reflexionsgitter

Konsequenz. Fällt nämlich das Licht nicht senkrecht, sondern schräg auf den Sticker, so beobachtet man unter bestimmten Winkeln, daß sich die Reihenfolge der Farben umkehrt. Dies ist eine direkte Folge des Reflexionsvorganges. Wie aus Bild 5 zu entnehmen ist, entsteht bei schrägem Lichteinfall das Hauptmaximum unter einem durch das Reflexionsgesetz bestimmten Winkel. Symmetrisch dazu gibt es auf beiden Seiten des 0. Maximus Interferenzerscheinungen. Schaut man unter einem Winkel wie in Bild 5 angedeutet auf den Sticker, so sieht man eine umgekehrte Farbreihenfolge. Beim senkrechten Einfall kann man die Änderung der Farbreihenfolge nicht ohne weiteres sehen, weil der eigene Kopf in die Lichtquelle gerät.

und die Farberscheinungen als Folge der Interferenz. Die glatte spiegelnde Oberfläche einer CD ist nämlich relativ regelmäßig von gepunkteten Linien durchzogen (Bild 6). Im Unterschied zu den spiegelnden Stellen reflektieren diese Punkte das auffallende Licht nicht. In dieser digitalen Form von 'spiegeln' und 'nicht spiegeln' ist die Musik gespeichert.

Als Beilage zu Schokoladenartikeln sind die Glitzersticker ein Pfennigprodukt. Ihr Glitzern verdankt sich einem im Alltag eher unauffälligen physikalischen Vorgang. Wer wieder einmal einen solchen Sticker in Händen hält, sollte ihn diesmal vielleicht nicht länger als ein unscheinbares, farbiges Stück Papier abtun, sondern sich vor Augen führen, daß hier ein Phänomen zu beobachten ist, dessen physikalische Erklärung erst im Rahmen der neuzeitlichen Physik gelang.

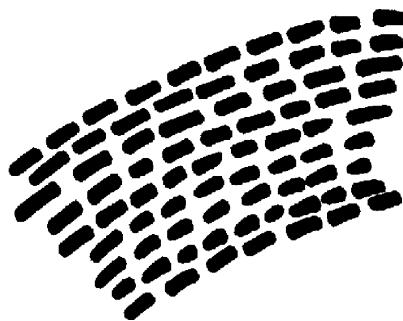


Bild 6:: Stark vergrößerter Ausschnitt der CD-Struktur

Kasten: Abschätzung der Größenordnung des Gitters

Die qualitative Erklärung des Glitzerphänomens läßt sich quantitativ untermauern, indem man aus den Farberscheinungen die Gitterkonstante abschätzen. Dazu bestimmen wir schätzen wir den Abstand der 1. Interferenzmaxima zum Mittelpunkt des „Gitters“ ab, indem wir das Glitzerbild mit weißem Licht beleuchten und den Nullpunkt eines Lineals in einer festen Höhe (mit Hilfe z.B. einer Streichholzschatz) genau über das zu untersuchende winzige Glitzerkaros halten. Nun kann man durch einen Wechsel der Blickrichtung feststellen, wo sich die Maxima der verschiedenen Farben befinden.

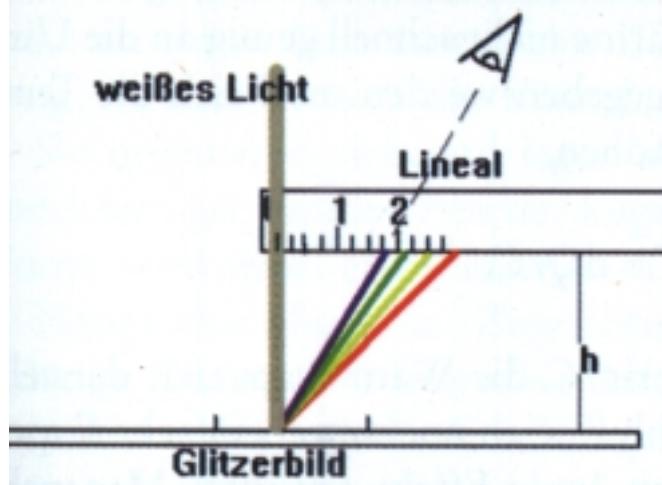


Bild 7: Prinzipieller Versuchsaufbau zur Bestimmung der Gitterkonstanten eines Glitzerkaros (nicht maßstabsgerechte schematische Darstellung).

Bei einem konkreten Versuch ergaben sich bei einer Höhe $h=5\text{cm}$ für Blau ($\lambda=450\text{nm}$) ein Abstand $s=1,9\text{ cm}$ messen (siehe Bild 5). Daraus berechnet man gemäß

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{s}{h}\right) = 20,8^\circ$$

$$g = \frac{\lambda}{\sin \alpha} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{m} = 1,3 \mu\text{m}$$

einen Gitterabstand von $1,3\text{ mm}$.

Dieser Wert stimmt großenordnungsmäßig mit dem Wert überein, den man aus der vergrößerten Aufnahme in Bild 3 erhält.

Untersucht man auf eine entsprechende Weise die Interferenzerscheinungen einer CD, so ergibt sich mit einer Höhe $h=5\text{cm}$ ein Abstand $s=1,2\text{cm}$ für das blaue Maximum und damit ein Gitterabstand von $g=1,9\text{mm}$.

Eine einfache Kontrollrechnung bestätigt die Richtigkeit dieser Abschätzung: Eine bespielte Distanz auf der CD von $3,2\text{ cm}$ ergibt bei dieser Dichte 16842 Spuren. Bei der Umdrehungsfrequenz eines CD-Spielers $f = 5\text{Hz}$ ergibt sich eine realistische Spieldauer von $t = 16842 \cdot 0,2\text{s} = 56\text{ Minuten}$.