

Sonnentaler - Abbilder der Sonne

H. Joachim Schlichting Universität GH Essen

*Was der Mensch sieht, hängt sowohl davon ab,
worauf er blickt, wie davon, worauf zu sehen
ihn seine visuell- begriffliche Erfahrung gelehrt hat.*

Thomas S. Kuhn

Übersehene Phänomene

Dass die obige Einsicht Thomas S. Kuhns nicht nur die großen wissenschaftlichen sondern auch die kleinen alltäglichen Entdeckungen betrifft, wird mir immer wieder am Beispiel der Sonnentaler bewußt. Obwohl es kaum jemanden gibt, dessen Netzhäute nicht von diesen ovalen bis kreisförmigen Lichtflecken unterschiedlicher Größe, die sich bei Son-

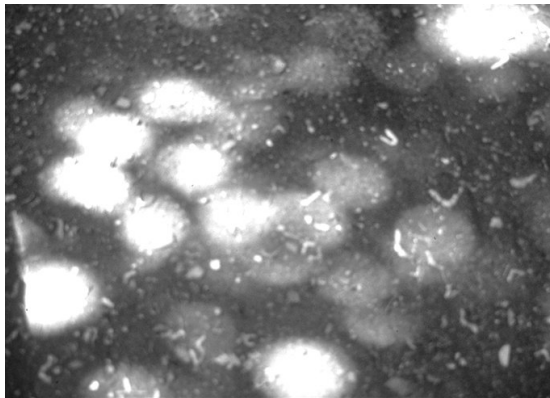


Abb. 3: Sonnentaler auf dem Waldboden

nenschein am Boden unterhalb des Blätterdachs von Bäumen bilden, getroffen worden wären, haben die wenigsten sie als solche gesehen. Jedenfalls ist ihnen nichts aufgefallen, die Lichtflecken sind für sie zu keinem in irgendeiner Weise fragwürdigen Phänomen geworden (Abb. 1 u.2). Selbst wenn ich meinen Mitmenschen die runden Lichtflecken zeige, bleiben sie meist völlig unberührt. Auf meine Behauptung, bei den Flecken handele es sich um Abbilder der Sonne, reagieren sie in der Regel skeptisch bis ungläubig. "Abbild der Sonne", das klingt insbesondere in den Ohren naturwissenschaftlich vorgebildeter Menschen fast wie "Zeichen der Götter" und erinnert eher an mythisches Naturerleben als an rationale Naturerkenntnis.

Eine halbwegs akzeptable Erklärung für die Lichtflecken ist in der Regel nicht zu erhalten. Man stellt



Abb. 1: Auch an länglichen Löchern entstehen Sonnentaler. Hier am Beispiel eines Palmwedels.



Abb. 2: Sonnentaler, wie sie durch Jalousielöcher erzeugt werden.

sich vor, die Sonnenflecken würden durch Lichtöffnungen im Blätterwerk der Bäume hervorgebracht. Die offensichtliche Diskrepanz zwischen der auffallend gleichmäßig gerundeten Form der Lichtflecken und der Unwahrscheinlichkeit, dass das Blätterwerk zufällig solche Öffnungen bildet, wird nicht selten mit Verwischungen und Unschärfen aufgrund der Bewegung der Bäume wegdiskutiert. Wenn ich nicht selbst die Sonnentaler relativ spät und über Umwege "entdeckt" hätte, würde es mir vermutlich schwerfallen zu akzeptieren, mit welcher Hartnäckigkeit hier Dinge übersehen werden, die gewissermaßen offen vor unseren Augen liegen.

Sonnentaler in der Schule

Manchmal "liegen" die Sonnentaler nicht nur unter

dem Blätterdach der Bäume, sondern wie bestellt auf Tischen und Bänken im Klassenzimmer. Wenn man nämlich bei starker Sonneneinstrahlung die Jalousien herunterzieht, kommt es vor, dass ganze Perlenketten ovaler Lichtflecken den abgedunkelten Raum durchziehen (Abb. 3). Dies ist eine der besten Gelegenheiten, Schülerinnen und Schüler mit den Sonnentälern vertraut zu machen, ohne auf bloße Abbildungen in Form von Fotografien zurückgreifen oder das Phänomen in künstlichen Experimenten präparieren zu müssen.

Durch Jalousien gebildete Sonnentäler vereinigen gewissermaßen das ursprüngliche Phänomen und die Laborsituation. Einerseits sind sie Originale und entstehen mit jener Leichtigkeit und Selbstverständlichkeit wie sie für Naturphänomene typisch sind. Andererseits kann das zufällige Arrangement, das in diesem Fall die Sonnentäler entstehen läßt, ohne weiteres als experimenteller Aufbau geßnutzt werden, um das Phänomen messend zu erfassen und physikalisch zu erschließen.

Eine Frage drängt sich sofort auf: Warum haben die Lichtflecken an der Wand oder auf dem Tisch die präzise Form einer Ellipse? Mit einem Blatt Papier, das man senkrecht ins Lichtbündel hält (notfalls mit Kreidestaub sichtbar gemacht), fängt man einen kreisrunden Fleck auf und erkennt, dass sich die Ellipsenform einem schrägen Anschnitt des Lichtbündels verdankt.

Warum weisen die Lichtbündel einen kreisförmigen Querschnitt auf? Weil die Löcher in der Jalousie, durch die das Sonnenlicht hindurchdringt, kreisrund sind? So direkt wird die Beziehung zwischen Lochform und Lichtbündelform in der Regel zwar nicht gesehen, insbesondere dann nicht, wenn man sich mit bloßem Auge davon überzeugen kann, dass die Form der Jalousielöcher weit davon entfernt ist, rund zu sein und vielmehr längliche Rechtecke darstellen. Aber dass die Lochform entscheidend ist, wird allgemein unterstellt. Mögliche Kanten und Ecken werden durch Unschärfen wegdiskutiert, wie man sie manchmal auch bei Schattenphänomenen vorzufinden glaubt. Erstaunlicherweise wird häufig die Diskrepanz zwischen dieser mit ungefähren Effekten argumentierenden Erklärungsweise und der perfekten Kreisform der Lichtflecken nicht gesehen.

Erst wenn man mit einem Blatt Papier vom Jalousieloch beginnend dem Lichtbündel nachfährt und für jedermann erkennbar macht, dass zunächst ein rechteckiger Querschnitt abgebildet wird, der dann immer unschärfer werdend schließlich in die Kreisform übergeht, wird einerseits klar, dass die Querschnittsform des Lichtbündels mit zunehmendem Abstand vom Entstehungsort verschwimmt und andererseits aber auch, dass die eher intuitiv als aufgrund präziser physikalischer Überlegungen geäu-

ßerten Vermutungen der Schülerinnen und Schüler gar nicht so abwegig waren.

Abrastern einer Kerzenflamme

Wie kommt es zu dieser Änderung der Querschnittsform des Lichtbündels? Um diese Frage zu beantworten, kann es sinnvoll sein, sich vorzustellen oder wirklich auszuprobieren, wie sich der Anblick beispielsweise einer Kerzenflamme durch ein dreieckiges Loch eines Pappkartons ändert, wenn man kurz hinter dem Loch oder weiter entfernt steht.

Direkt hinter dem Loch sieht man die Flamme im dreieckigen Rahmen des Loches. Bewegt man sich nun durch das Loch blickend nach oben, so wandert die Flamme nach unten bis sie die untere Begrenzung des Loches "überquert" und aus dem Sichtfeld verschwindet. Entsprechendes beobachtet man, wenn man sich nach unten, nach rechts oder nach links bewegt. Auf diese Weise tasten unsere Augen eine dreieckige Ebene ab, von der aus die Kerzenflamme gesehen werden kann. Bringt man in diese Ebene eine Mattscheibe, auf der alle Punkte der Ebene simultan präsent sind, so wird ein dreieckiges Feld ausgeleuchtet. Das helle Bild des Loches besteht so gesehen aus zahlreichen sich überlappenden Bildern der Kerzenflamme (schematisch dargestellt auf der linken Seite von Abb.4).

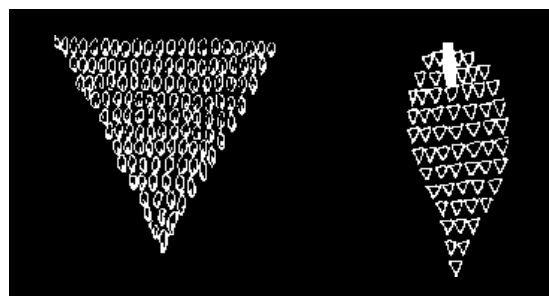


Abb. 4: Das Bild des Loches besteht aus vielen Bildern der Flamme (links). Das Bild der Flamme besteht aus vielen Bildern des Loches (rechts).

Blickt man hingegen aus größerer Entfernung durch das Loch, so erscheint es vollständig von der Flamme ausgeleuchtet. Man bekommt nur einen kleinen Ausschnitt der Flamme zu sehen und muß den Kopf ein ganzes Stück hinunterbewegen, um so von schräg unten die Flammenspitze sehen zu können. Eine Bewegung des Kopfes nach links führt auf entsprechende Weise zum rechten Rand, eine Bewegung nach rechts zum linken und eine Bewegung nach oben zum unteren Rand der Flamme. Auf diese Weise kann durch Kopfbewegungen ein verkehrtes Bild der Flamme abgetastet werden, das auf einer Mattscheibe tatsächlich erscheint. Das auf dem Kopf stehende Bild der Kerzenflamme besteht

also gewissermaßen aus zahlreichen sich überlappenden Bildern des dreieckigen Loches (schematisch dargestellt auf der rechten Seite von Abb. 4).

Dieser Versuch läßt sich mit anderen Lochformen wiederholen. Das Ergebnis bleibt dasselbe. In hinreichender Entfernung von einem kleinen Loch erscheint unabhängig von der Form des Loches ein Abbild des (leuchtenden) Objekts.

Phasenübergang zwischen Loch und Flamme

Zwischen diesen beiden Extremen treten fließende Übergänge, hybride Gebilde zwischen Loch- und Flammenform auf. Hält man eine Mattscheibe in den Strahlengang und nähert sich damit dem Loch, so deformiert sich die zunächst deutlich zu erkennende Flammenform bis plötzlich die Lochform zu erkennen ist. Entfernt man die Mattscheibe wieder allmähliche vom Loch, so deformiert sich das lochförmige Abbild und "springt" schließlich in die Flammenform um. Interessant ist, dass die Schülerinnen und Schüler das Loch auch noch an Stellen zu erkennen vermeinen, an denen bei der umgekehrten Bewegung noch der Eindruck der Flammenform vorherrschte und vice versa. Es ist also eine deutliche Hysteresis in der Wahrnehmung festzustellen, die den Gestaltwechsel von der Loch- zur Flammenform als eine Art Phasenübergang 1. Art in der Wahrnehmung ausweist.

Sonnenhalbmond

Die Versuche mit der Kerzenflamme machen verständlich, dass man in größerer Entfernung von einem rechteckigen Loch in der Jalousie ein Abbild der Sonne, in der Nähe eines solchen Loches ein Abbild des Loches sieht. Daher sind auch die Lichtkringel unter dem dichten Blätterdach sonnenbeschienener Bäume Abbilder der Sonne. Im Unterschied zu den laborähnlichen linear aufgereihten Lichtflecken eines jalousieverdunkelten Raumes, die die identischen Abstände zwischen den Löchern der technisch gefertigten Jalousien reflektieren, erscheinen die Sonnentaler in der Natur ihren statistisch verteilten und in unterschiedlicher Höhe gelegenen Entstehungslöchern entsprechend in der Regel in wahllosem Durcheinander verschiedener Größe und mit den geometrischen Abbildern der größerer Löcher im Geäst vermischt. Indem die windbewegten Äste zuweilen zu einer periodischen Veränderung der Lochgröße führen, kann man die Sonnentaler manchmal im Rhythmus dieser Veränderungen zwischen Entstehen und Vergehen "hin- und herpendeln" sehen.

Bei der Untersuchung von jalousielocherzeugten Sonnentälern im Klassenraum an einem nicht ganz wolkenlosen Tag erlebte die Klasse rein zufällig,

wie die Sonnentaler im Rhythmus der die Sonne verdeckenden und wieder freigebenden Wolken verschwanden und wieder erschienen. In dieser Situation trat plötzlich ein zunächst sehr merkwürdig erscheinendes Phänomen auf. Nicht kreisrunde Sonnentaler schmückten Tische und Wände sondern halbmondartige Gebilde. Nicht nur die Schülerinnen und Schüler wurden dadurch verunsichert. Ein Blick aus dem Fenster brachte Aufklärung: Die untere Hälfte der Sonne war von einer scharf begrenzten Wolke abgedeckt.

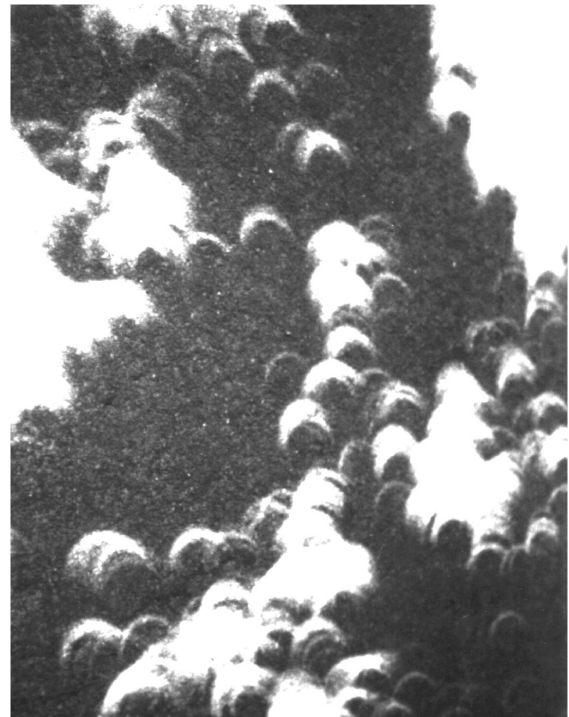


Abb. 5: Sichelmondartige Sonnentaler im Schattenbereich eines Zweiges bei einer Sonnenfinsternis.

Vom Sonnentaler zur Lochkamera

Interessant ist in diesem Zusammenhang die auch in anderen Situationen zu machende Erfahrung, dass durch einen Symmetriebruch, wie hier durch den Übergang von der vollen zur halben Kreisscheibe, zusätzliche Informationen zu Tage gefördert werden kann. Die Halbsonnentaler auf den Tischen standen nämlich im Vergleich zum Urbild der Sonne auf dem Kopf und wiesen auf den Mechanismus einer optischen Abbildung hin, wie man ihn beispielsweise von Sammellinsen her kennt. Dieser Sachverhalt erwies sich als hilfreich bei der Aufklärung des Phänomens im Unterricht.

Ansonsten lassen sich halbmondartige oder gar sichelförmige (Abb. 5) Sonnentaler nur bei den seltenen Gelegenheiten einer Sonnenfinsternis beobachten. Dieses Phänomen ist den Menschen schon seit

langem bekannt. In einem Bericht von Alhazen heißt es:

"Das Bild der Sonne zur Zeit der Verfinsterung, falls sie nicht eine totale ist, zeigt, wenn ihr Licht aus einem engen runden Loche austritt und zu einer dem Loch gegenüberliegenden Ebene gelangt, die Gestalt der Mondsichel... Das Bild der Sonne zeigt diese Form nur dann, wenn das Loch sehr eng ist" (Abb. 6) [1].

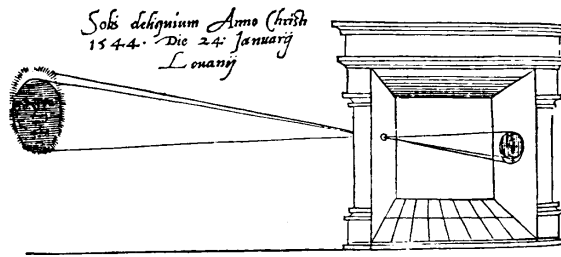


Abb. 6: Beobachtung des Abbilds der Sonnensichel bei der Sonnenfinsternis im Januar 1544 mit einer Camera Obscura. Diese Darstellung von *Reinerus Frisius* gilt als die erste Veröffentlichung einer Camera Obscura.

Sonnentaler werden bereits von Aristoteles in den *Problemata* erwähnt und als optischer Abbildungsvorgang durch eine enge Öffnung dargestellt.

Die Erkenntnis, dass die Sonne sich in Form der Sonntaler gewissermaßen selbst zeichnet, hat zusammen mit der Entdeckung der Zentralperspektive in der Kunst zu Apparaten geführt, mit der in einer nur mit einem kleinen Loch versehenen dunklen Kammer, einer camera obscura, Bilder der Außenwelt gezeichnet wurden. Mit der Entdeckung lichtempfindlicher Substanzen war es dann nur noch ein Schritt zur Entwicklung der Lochkamera, die nicht nur bis weit in unser Jahrhundert hinein benutzt wurde, sondern darüberhinaus als Ausgangspunkt für alle optischen und nichtoptischen Aufzeichnungsgeräte angesehen werden kann.

Indem die Sonne sich in Form der Sonntaler selbst zeichnet, hat sie der Menschheit den Weg ins Medienzeitalter gewiesen.

Größe der Sonne

Bei der Untersuchung der jalousielocherzeugten Sonntaler blieb den Schülerinnen und Schülern nicht verborgen, dass die Abbilder umso größer werden, je weiter die Projektionsfläche vom Loch entfernt ist. Da lag die Frage nahe, in welchem Maßstab sich die Sonne zeichnet. Mit Hilfe des Strahlensatzes wurde aus dem Abstand l des Son-

ntalers vom Loch und dem Radius r des Sonntalers den Radius R der Sonne abgeschätzt. Dabei wurde Abstand der Sonne von der Erde (genauer: vom Loch) L als bekannt vorausgesetzt. Da der Quotient l/r gleich dem Quotienten L/R sein muß, ergibt sich für den Sonnenradius:

$$R = r L/l.$$

Ein Blick ins Lexikon ließ erkennen, dass die so gemachten Abschätzungen überraschend gute Ergebnisse erbrachten.

Während der Messung, bei der eine improvisierte Projektionswand senkrecht in den Sonnenstrahl gestellt und der Sonntaler sorgfältig mit einem Bleistift abgezeichnet wurde, zeigte sich übrigens, dass die Mühe beim Zeichnen sich dann nicht lohnte, wenn man sich zuviel Zeit dafür nahm. Denn die Sonne wanderte zur Überraschung der Schülerinnen und Schüler ziemlich schnell aus der zeichnerischen Umrandung heraus. Sie ließen es sich nehmen, die Zeit festzustellen, die der Sonntaler benötigte, um gerade aus seinem Kreis herauszuwandern, also sich gerade um eine Strecke vom eigenen Durchmesser fortzubewegen. Sie betrug ziemlich genau 2 Minuten. Aus diesem Ergebnis lassen sich eine Reihe weiterer Rückschlüsse auf das Verhalten der Sonne ziehen, was hier aber nicht weiter untersucht wurde [2].

Die Schülerinnen und Schüler waren überrascht und fasziniert von der Möglichkeit, ziemlich genaue Aussagen über unser unvorstellbar weit entferntes Zentralgestirn machen zu können, ohne das Klassenzimmer zu verlassen.

Künstliche "Sonntaler"

Besonders beeindruckt zeigen sich die Schülerinnen und Schüler, wenn sie die Form von "Sonntälern" selbst bestimmen können. Dies ist auf einfache Weise möglich, wenn man die dazu nötige entsprechend geformte Lichtquelle mit Hilfe eines Diaprojektors herstellt. Dazu schneidet man in ein Stück Pappe die Form der Lichtquelle, also beispielsweise einen Stern ("Sterntaler"), ein Dreieck, ein Kreuz u.ä., klebt die Öffnung mit mattem Papier (z.B. Butterbrotpapier) ab und rahmt es mit einem Diarahmen. Steckt man dieses "Dia" in einen Diaprojektor, dessen Objektiv man zuvor entfernt hat, und läßt das so erzeugte Lichtbündel durch eine Pappwand mit kleinen möglichst auffällig geformten Löchern fallen, so entdeckt man auf einer dahinter angebrachten Leinwand, Abbilder der durch das "Dia" repräsentierten Lichtquelle in einer durch die Löcher vorgegebenen Verteilung.

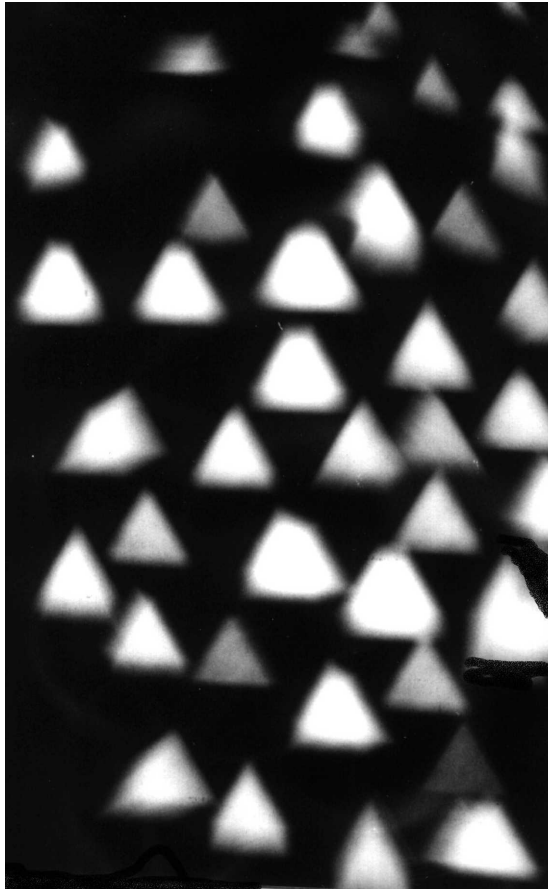


Abb. 7: Dreieckige Abbilder eines entsprechenden Vorbildes im Schattenbereich einer blätterreichen Pflanze. Auffallend ist hier insbesondere, daß auch die Schattenbilder die dreieckige Form des Vorbildes annehmen.

Besonders eindrucksvoll, ja geradezu unwirklich erscheint die Projektion, wenn man statt der durchlöcherten Pappwand eine blattreiche Pflanze in den Strahlengang stellt. Der Schatten der Pflanze erscheint dann beispielsweise mit hellen Kreuzen oder Halbmonden durchsetzt. Der merkwürdige Eindruck, den eine solche Projektion hervorruft, beruht vor allem auf der Tatsache, dass man sich an die mehr rundlichen Sonnentaler unter Blätterdächern gewöhnt hat und diesen Anblick als normal empfindet, ohne sich jeweils darüber im klaren zu sein, dass man es hier mit "Sonnenrundungen" und -talern zu tun hat.

Gibt es auch Mondtaler?

Diese Frage einer Schülerin lag geradezu auf der Hand, als wir uns mit halbmondartigen Sonnentälern befaßten. Dazu ist zu sagen, dass, was der Sonne recht ist, dem Mond billig sein sollte. In der Tat ist es nur der enorme Intensitätsunterschied zwischen dem direkten und dem vom Mond reflektier-

ten Sonnenlicht, der die "Mondtaler" so unauffällig macht. Bei sorgfältiger Beobachtung kann man jedoch beispielsweise an hinter Büschen gelegenen weißen Hauswänden Abbilder des Mondes entdecken. Dieses ist natürlich am eindrucksvollsten, wenn es sich um "Halbmondtaler" handelt. Marcel Pagnol berichtet in "Marcel - eine Kindheit in der Provence" davon: "Ein schmaler Mondstrahl, der durch das Loch im Fensterladen schimmerte, ließ das Wasserglas auf meinem Nachttisch blinken. Das Loch war rund, der Strahl war flach (wie die Mondsichel, HJS). Ich nahm mir vor, meinen Vater nach der Ursache des Phänomens zu fragen".

Literatur

[1] Alhazen: Über die Gestalt der Finsterniß. Zitiert nach: Busch, B.: Belichtete Welt. München: Hanser 1989.

[2] Langkavel, A.: Astronomie live im Klassenzimmer. MNU 44/7, 412 (1991)