

Wie sieht der Schatten einer Fliege aus?

Johannes Grebe-Ellis

Der Anlass zu der vorliegenden Miniatur geht auf eine Situation zurück, in der ich durch eine beiläufig sich ergebende Beobachtung in Bezug darauf, was ich als Physiker über geometrische Optik zu wissen glaubte, für einen Augenblick den Boden unter den Füßen verlor. – Wie sich im Folgenden zeigte, war die Aussicht, diesen Boden wieder zu gewinnen, im Wesentlichen an die Bedingung geknüpft, Schatten als *Bilder* sehen zu lernen.

Geschichte einer verwirrenden Beobachtung

Die Geschichte beginnt mit dem Spaziergang einer Fliege auf dem Rand eines Lampenschirms. Es war Sommer und ich war mit meiner Familie zu Gast auf einem Hof im norddeutschen Wilstedt. Eines Abends, es ist bereits dunkel, sitze ich mit meiner Frau ins Gespräch vertieft am Esstisch, als ich plötzlich aus dem Augenwinkel heraus eine Fliege bemerke, die kopfüber auf dem Rand des Lampenschirms entlang spaziert, der über dem Tisch hängt. Sie tippelt hin und her, verweilt gelegentlich kurz, um ihre Vorderfüße zu putzen und setzt dann ihren Weg fort. Eine Weile verfolge ich nebenbei dieses Schauspiel – bis mir eine weitere, ungleich faszinierendere Erscheinung im Zusammenhang mit dieser Fliege erschwert, was mir bisher gelang: mir meine Ablenkung auf diesen kleinen Nebenschauplatz nicht anmerken zu lassen.

Meine Frau kennt solche Situationen bereits, und ich kann sie dazu bewegen, unsere Unterhaltung zu unterbrechen, um sich mit mir dem folgenden Phänomen zuzuwenden: Der Schein der Lampe an der nahen Wand verläuft wie eine helle Toröffnung; ihr Bogen ist der Schatten des Lampenschirms. Jedes Mal, wenn die Fliege auf dem der Wand zugewandten Teil des Lampenschirms unterwegs ist, huscht ein Schattengebilde den Bogen entlang: von

der einen Seite aufsteigend, zum Scheitel des Bogens langsamer werdend und jenseits von diesem im Abstieg wieder beschleunigend nach der anderen Seite verschwindend. Es handelt sich ganz offensichtlich um den Schatten der Fliege – eine Art Fliegenschattentheater, dem wir mit wachsendem Vergnügen beiwohnen.

Je öfter sich das Schauspiel in Variationen wiederholt und so zu genauerer Beobachtung Gelegenheit gibt, desto unausweichlich deutlicher und dadurch verwirrender wird jedoch die Tatsache, dass der so genannte Fliegenschatten zwar der Richtung nach zur Fliege gehört, seinem Aussehen nach aber keine auch nur annähernde Ähnlichkeit mit dieser aufweist. Im Gegenteil: Das Schattengebilde ist nicht bloß verschwommen, es zeigt eine ausgeprägte Figürlichkeit, die während des Gestaltwandels, den es auf seinem Weg entlang des Schattenbogens der Lampe ansonsten erfährt, erhalten bleibt (Abb. 5.1, links und Mitte).

Nach einer Weile fällt mir ein, woran mich die Form dieses Schattengebildes erinnert: an die filigrane Struktur der Glühfäden in Glühleuchten. Diese sind stets von mehreren Drähten gehalten und haben von oben gesehen etwa die Form eines mehreckigen C (Abb. 5.1, rechts). – Ein Blick in die Lampe über dem Tisch bestätigt die Vermutung: Dort ist eine Leuchte mit klarem Glaskolben eingeschraubt, deren Glühfaden deutlich zu sehen ist.

Ohne noch annähernd zu verstehen, wie das zu erklären wäre, stellen wir fest: Das Schattenbild der Fliege sieht wie das verschwommene *dunkle* Bild des beleuchtenden Glühfadens aus! Es erscheint sogar so, als ob der Gestaltwandel des Schattengebildes darauf beruht, dass es auf seinem Weg entlang des Bogens wechselnde Ansichten des Glühfadens zeigt. Das hieße: das Schattenbild der Fliege zeigt so etwas wie die perspektivische Ansicht, die sich für die jeweils zugehörige Blickrichtung von der Wand aus über die Fliege gepeilt auf den Glühfaden der Leuchte ergeben würde. . . Die Erscheinung, in der Folge dieser Überlegungen erneut betrachtet, scheint dies zu bestätigen. Verstanden haben wir noch nichts. Es bleibt die Frage: Was haben die Fliege und ihr Schatten mit dem dunklen Bild des Glühfadens zu tun? So weit die Geschichte in Wilstedt.



Abb. 5.1: Die Fliege und ihr Schatten (links), derselbe Schatten im vergrößerten Ausschnitt (Mitte), der beleuchtende Glühfaden (rechts).

Erste Annäherung

Die Vermutung liegt nahe, dass es sich um so etwas wie eine inverse Lochkammersituation handelt. Was das sein soll und wie das geht, müsste genauer untersucht werden – und ganz unabhängig davon, ob damit bereits eine Erklärung in Aussicht steht: Die Sache selbst bleibt irgendwie erstaunlich. In einem ersten Schritt zur Beantwortung der Frage nach dem Zusammenhang von Fliegenschatten und dunklem Glühfadenbild sollen nun die geometrischen Bedingungen der beschriebenen Situation so verändert werden, dass der *Übergang* vom einen zum anderen sichtbar wird. Der Fliege soll gewissermaßen gestattet werden, ihren bisher gleich bleibenden Abstand zum Glühfaden der Leuchte zu ändern und sich zwischen dem Glühfaden und dem Ort des Schattenbildes auf der Wand hin und her zu bewegen.

Anstelle der Fliege wird ein kleines Kreisscheibchen aus Papier verwendet, wie sie beim Lochen von Unterlagen entstehen. Diese »Kreisblende« wird auf eine saubere Glasscheibe geklebt. Führt man nun die Scheibe zunächst nahe an die Wand heran, so entsteht dort erwartungsgemäß ein scharfes Schattenbild der Kreisblende (Abb. 5.2b, links). Wir beginnen sozusagen auf sicherem Terrain. Vergrößert man dann schrittweise den Abstand der Scheibe zur Wand, verliert das wachsende Schattenbild zunehmend an Dunkelheit und Schärfe,

allerdings nicht regelmäßig. Manche Teilschattenbereiche verbreitern sich rascher als andere, quellen regelrecht auf, so dass die ursprüngliche Kreissymmetrie verloren geht und im »Stil des Verschwimmens« die Form des Glühfadens umso besser erkennbar wird, je näher man der Leuchte kommt (Abb. 5.2c-d, links). Zu dem Erstaunen darüber, dass aus dem verschwimmenden Schatten der Kreisblende tatsächlich ein dunkles Bild des Glühfadens hervorgeht, kommt nun das Interesse an den Bedingungen: Von was hängt das genau ab, auf was kommt es an?

Um den Zusammenhang zwischen dem Schattenbild und der Glühwendel anschaulich zu demonstrieren, kann man folgenden »Drehtest« durchführen: Die Scheibe wird in Lampennähe so fixiert, dass ein statisches Schattenbild auf der Wand erscheint. Lockert man nun die Glühlampe in ihrer Halterung und dreht sie um ihre Symmetrieachse, dreht sich das Schattenbild gleichsinnig mit. Dabei wird zugleich augenscheinlich, dass das dunkle Abbild des Glühfadens im Vergleich mit diesem auf dem Kopf steht und seitenverkehrt ist, d.h. in bezug auf die Kreisblende punktsymmetrisch gespiegelt erscheint.

Zum Einen ist auf diese Weise der vermutete Bildzusammenhang bestätigt, zum Anderen verdeutlicht der Drehtest den charakteristischen Wechsel zwischen explizitem und implizitem Bedingungsmodus, den Blende und Glühfaden im Verlauf der geschilderten Bildverwandlung abwechselnd einnehmen: Bringt man die Kreisblende in Lampennähe, so tritt sie selbst aus der Erscheinung des Schattenbildes zurück, gibt aber Veranlassung für das Erscheinen des Glühfadenbildes. Bringt man die Kreisblende dagegen in Wandnähe, tritt die Eigengestalt des Glühfadens im Schattenbild zurück, gibt aber Veranlassung für das Erscheinen des Kreisblendenbildes. Dazwischen liegt ein Bereich, in dem eine Art »Mischungsgleichgewicht« der Gestalten von Blende und Glühfaden im Schattenbild herrscht.

In einem ersten Schritt ist damit gelungen, den Übergang zwischen dem Schatten der stellvertretend für die Fliege eingesetzten Kreisblende und dem dunklen Bild des beleuchtenden Glühfadens selbst sichtbar werden zu lassen und die geometrischen Bedingungen dieser Bildverwandlung anfänglich zu benennen. Unklar ist indessen weiterhin, auf welchem Weg die *Entstehung* des dunklen Glühfadenbildes als inverses Lochkamerabild verstanden werden kann.

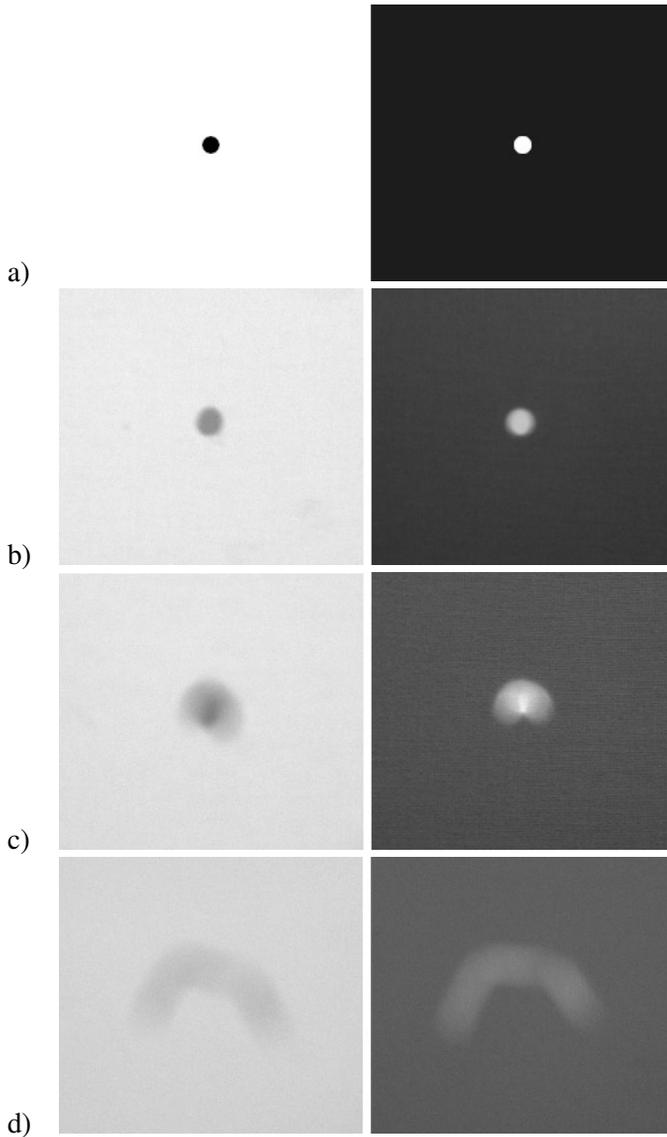


Abb. 5.2: Komplementäre Schattenbilder von Kreis- und Lochblende ($\varnothing = 5 \text{ mm}$) bei Beleuchtung mit einem nach oben geöffneten Glühfaden ($l \approx 20 \text{ mm}$). b) Blende in Wandnähe, c) die Blende teilt die Entfernung Leuchte-Wand etwa im Verhältnis 3:1, d) Blende nah vor dem Glühfaden.

Übergang zur komplementären Situation

Die Herstellung der verwendeten Kreisblende bedingte die gleichzeitige Herstellung einer baugleichen Lochblende (Abb. 5.2a, rechts). Die geometrischen Eigenschaften beider Blenden sind identisch. Ihre abbildungsoptischen Eigenschaften sollten folglich invariant sein bezüglich ihrer räumlichen Invertierung, d.h. des Übergangs von einer Blendenform zu ihrem räumlichen Komplement.

Die Wiederholung des Versuchs mit der Lochblende bestätigt diese Vermutung und eröffnet den bekannten Kontext der Lochkameraabbildung (Abb. 5.2b-d, rechts): Je näher die Lochblende dem Glühfaden kommt, desto deutlicher macht sich im verschwimmenden Schatten der Lochblende die Struktur des hellen Glühfadens geltend. Es sieht so aus, als sei der Rand des Blenden-schattens mit einem »Lichtstift« gemalt, dessen Spitze die gespiegelte Form des Glühfadens hat.¹

Um die implizite Wirksamkeit der Blende in Lampennähe noch deutlicher hervortreten zu lassen, kann man die Lochblende durch eine dreieckige und eine quadratische Blende etwa gleichen Querschnitts ergänzen und die jeweiligen Schattenbilder vergleichen. In Lampennähe sind die Glühfadenbilder annähernd identisch, ein Befund, der umso besser erfüllt ist, je kleiner der Öffnungsquerschnitt der Blenden ist (was bekanntlich zur Bildschärfe beiträgt, aber auf Kosten der Bildhelligkeit geht). Insbesondere sind die mit der dreieckigen und quadratischen Blende erzeugten Glühfadenbilder gegenüber Drehungen der Blenden um die Beleuchtungsrichtung nahezu invariant. Der

¹Tatsächlich lässt sich zeigen, dass die Art, wie sich die Form der Leuchte dem Schattenbild aufprägt, auf den Einfluss bezogen werden kann, den der Querschnitt eines Stiftes auf das Schriftbild hat (Grebe-Ellis 2010). Wie die entsprechende Bildtransformation als charakteristische Funktion der Sichtgeometrie von Schattengeber und Leuchte mithilfe der Faltung mathematisch modelliert werden kann hat Thomas Quick ausgearbeitet (Quick *et al.* 2009). Kepler hat in seinen Schriften zur Optik unter dem Titel »Lichtfiguren« den beschriebenen Bildzusammenhang zwischen Blende und Leuchte im Schattenbild ausführlich dargestellt und geometrisch analysiert (Kepler 2008). Zu einem gewissen Grad hat er damit ein Vorbild für die hier angewendete bildoptische Betrachtungsweise gegeben. Interessant ist indessen, dass er den Schritt zur abbildungsoptischen Verallgemeinerung auf komplementäre Bilder nicht macht. Seine Zeichnungen sind zwar alle so ausgeführt hat, dass sie auch für den jeweils invertierten Fall und das sich damit ergebende komplementäre Bild Gültigkeit haben; einen Hinweis auf entsprechende Beobachtungen habe ich bei Kepler aber nicht gefunden.

Drehtest bestätigt auf eindrucksvolle Weise den impliziten Bedingungsmodus der Blenden in Lampennähe. Er lässt sich selbstverständlich auch für den komplementären Fall von Dreiecks- und Quadratblende durchführen und führt zum selben Ergebnis. Die Bedingungen für die Entstehung und Verwandlung der betrachteten Schattenbilder können demnach in einer auf komplementäre Fälle verallgemeinerten Form formuliert werden.²

Eine bekannte Variation der geschilderten Bedingungen, die wegen ihrer Einfachheit besonders reizvoll ist, besteht darin, dass man anstelle der Blenden die Finger der eigenen Hände zu einem Gitter überkreuz legt und im Hin- und Hergehen zwischen Wand und Lampe die Verwandlungen im Schattenbild des Fingergitters studiert. Das Muster aus gleichartigen aber verschiedenen hellen Glühfadenbildern, das sich für Positionen in Lampennähe ergibt, besitzt eine eigene ästhetische Qualität und die Situation regt unmittelbar zum spielerischen Erkunden der Bildverwandlungen an, die sich durch Abstandsänderungen zur Wand bzw. durch Modifikationen des Fingergitters im Schatten ergeben. Bemerkenswert ist die in diesem Versuch handgreifliche Erfahrung jener indirekten Bedingtheit des sich je Gitteröffnung wiederholenden Glühfadenbildes durch das unregelmäßige Fingerkreuzgitter. Es handelt sich um eine Art von Lockerung zwischen Seh- und Tasterfahrung, die sich von den bekannten Fällen der Hebung oder der Spiegelung unterscheidet.

Von der geschilderten Situation ist es nur ein weiterer Schritt in Kontexte, die das beschriebene Phänomen in vielfachen Abwandlungen zeigen: Was liegt näher, als das Schattenspiel mit überkreuzten Fingern draußen im Schein der Sonne zu wiederholen und bei zunehmendem Abstand von einer sonnenbeschienenen Hauswand die unregelmäßigen Schattenbilder der Gitteröffnungen sich in unterschiedlich helle, aber gleichgroße Lichtkreise: eben *Sonnenbilder* verwandeln zu sehen? Bekannt und vielfach beschrieben sind die Sonnenbilder, gelegentlich auch Sonnentaler genannt, die sich unter hohen Blätterdächern auf dem Waldboden oder dem Asphalt abzeichnen (Maier 1986, Schlichting 1995). Oder die Situation, in der die tiefstehende Sonne auf Fens-

²Eine weitergehende Analyse der abbildungsoptischen Verhältnisse zeigt, dass eine vollständige Invertierung der betrachteten Anordnung an die folgende Bedingung geknüpft ist: Neben der Blende ist noch ein weiterer optischer Kontrast wirksam: die Leuchte. Diese muss ebenfalls invertiert werden. Die Unterscheidung zwischen *mechanischer* und *optischer* Invertierung führt schließlich auf acht zueinander paarweise komplementäre Anordnungen (Rang 2009, 53ff).

ter scheint, die mit Lamellen-Jalousien verdunkelt sind: Auf der gegenüberliegenden Zimmerwand erscheinen je Fenster, aneinandergereiht wie Perlen einer Kette, zwei Reihen von Sonnenbildern, die von den Führungsöffnungen an den Enden der einzelnen Lamellen vermittelt werden. Besonders eindrucksvoll ist in einer solchen Situation, wenn sich eine Wolke vor die Sonne zu schieben beginnt. Nicht nur wird es dadurch insgesamt schlagartig dunkler: In allen Sonnenbildern sieht man gleichzeitig die zunehmend verdeckende Kontur der Wolke erscheinen, und zwar – wie durch den Blick nach draußen deutlich wird – in entgegengesetzter Richtung! So dass einem in Erinnerung gerufen wird, was einen die Kreissymmetrie der Sonne vergessen lässt: dass man punktsymmetrisch gespiegelte Bilder vor sich hat.

Bedingungen der Bildentstehung

Wie gut der bisher beschriebene Bedingungs-zusammenhang der Kreisblenden- und Lochkameraabbildung in einer konkreten Situation erfüllt ist, hängt noch von weiteren Parametern ab, die bisher nur implizit thematisiert wurden und deshalb im Folgenden noch genauer benannt werden sollen. Dies betrifft insbesondere das relative Größenverhältnis von Leuchte und schattengebender Blende. Hier zeigt sich, dass es den Übergang vom Blendenbild zum Leuchtenbild im Schatten nur geben kann, wenn die absoluten Maße der Blende *kleiner* sind als die der Leuchte. Je kleiner die abbildungsoptisch wirksame Blendengeometrie im Verhältnis zur Ausdehnung der Leuchte ist, desto besser lässt sich die Verwandlung des Schattenbildes vom Blendenbild ins Leuchtenbild zeigen - als Funktion der Blendenposition zwischen Wand und Leuchte. Für die komplementären Grenzfälle des genannten Zusammenhangs gilt oberhalb der Größenordnung von Beugungseffekten: je kleiner die Blende, desto schärfer aber auch dunkler bzw. heller ist die Abbildung.

Um nun noch genauer zu verstehen, unter welchen Bedingungen sich im Schattenbild einer Blende das Bild einer ausgedehnten Lichtquelle geltend macht, kommt es darauf an, diejenige Perspektive auf Leuchte und Blende einzunehmen, die deren abbildungsoptische Wirksamkeit auf die Genese des Schattenbildes und seine Transformationen direkt nachvollziehbar macht. Anders gesagt: Die Bildbedingungen werden im Folgenden aus der Perspektive

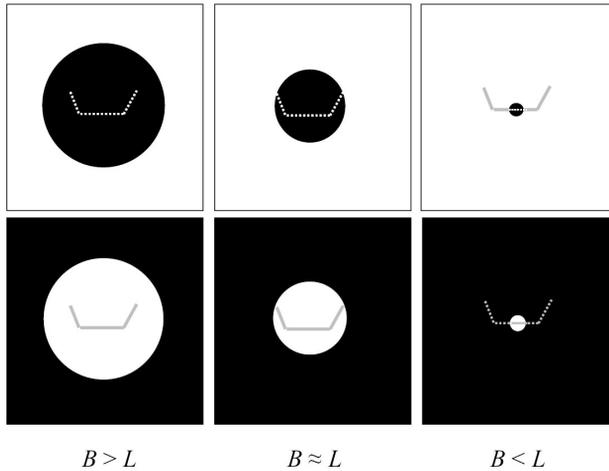


Abb. 5.3: Perspektivisches Größenverhältnis von Kreis- bzw. Lochblende B und Glühfaden L , gesehen von der Wand aus, auf der das jeweilige Schattenbild entsteht, für die drei zu den komplementären Schattenbildpaaren in Abbildung 5.2 gehörenden Blendenpositionen b)-d).

des Ortes untersucht, an dem sie wirksam werden, d.h. von der Projektionsfläche aus, auf der der Schatten erscheint.

Stellt man sich zu diesem Zweck in das Schattenbild hinein und schaut in Richtung Leuchte, kommen je nach eigenem Standort parallaxebedingt verschiedene Verdeckungsstadien zwischen Blende und Leuchte in den Blick (Abb. 5.3). Diesen können verschieden helle Bereiche des Schattens zugeordnet werden. Insbesondere die Teilschattenbereiche werden dann verständlich als diejenigen Bereiche, von denen aus Teile der Leuchte durch die Blende verdeckt (im Falle der Lochblende, für die Kreisblende gilt: nicht verdeckt) gesehen werden. Die Ausdehnung dieser Bereiche ist folglich eine Funktion der vom Schattenbild aus gesehenen Ausdehnung der Leuchte: Die Schatten-grenze selbst ist bereits ein entlang der schattenwerfenden Kante verschmier-tes Bild der Leuchte. Der Teilschattenbereich kann demnach auch als *Bildzone* der Leuchte angesehen werden (Holtsmark 1976).

Abbildung 5.3 zeigt die den Bildphasen in Abbildung 5.2 entsprechenden perspektivischen Ansichten von Blende und Glühfaden. Entscheidend dafür,

dass im Schattenbild die Form der Leuchte bestimmend wird, ist demnach, dass nur noch Ausschnitte der Leuchte durch die Blende gesehen (verdeckt) werden, d. h. dass die gesehene Ausdehnung der Blende klein wird gegen diejenige der Leuchte. Im Fall $B \ll L$ zeigt die Lochblende von den beleuchteten Orten auf der Wand aus gesehen nur noch einzelne »Punkte« des Glühfadens (Abb. 5.3, rechts unten). Bewegt man sich vor der Wand mit dem Auge so, dass man diese »Punkte« nacheinander »abtastet«, vollzieht man mit der Kopfbewegung die Form des Glühfadens nach, und es ist sofort verständlich, weshalb das Lochkamerabild desselben bezüglich der Lochblende punktsymmetrisch gespiegelt ist.

Für den entsprechenden Fall der Kreisblende gilt, dass diese von der Wand aus gesehen nur noch einzelne »Punkte« des Glühfadens verdeckt (Abb. 5.3, rechts oben), es demnach an den zugehörigen Orten der Wand etwas dunkler ist als an benachbarten Orten, von denen aus der Glühfaden unverdeckt gesehen wird. »Tastet« man mit der Kreisblende nebeneinander liegende Orte auf dem Glühfaden ab, indem man sich mit dem Auge vor der Wand bewegt, so vollzieht man analog zum Fall der Lochblende die Form des Glühfadens nach, diesmal aber als Spur von partiellen *Verdeckungen*, weshalb das zum Lochkamerabild komplementäre »Kreisblendenkamerabild« ebenfalls als Teilschattenbild verständlich wird.

Zusammenfassend halten wir fest: Maßgeblich dafür, welche Gestalt im Schattenbild vorherrschend wird, ist das auf die Bildebene des Schattens bezogene perspektivische Größenverhältnis von Blende B und Leuchte L :

$B > L$: Die Gestalt der Blende dominiert im Schattenbild

$B \approx L$: »Mischungsgleichgewicht« der Gestalten im Schattenbild

$B < L$: Die Gestalt der Leuchte dominiert im Schattenbild

Bezieht man die Tatsache, dass im »Umschlagpunkt« des Übergangsbereichs Blende und Leuchte von der Bildebene aus etwa *gleich groß* gesehen werden ($B \approx L$), auf die zugehörige räumliche Position der Blende, dann folgt aus einfachen geometrischen Überlegungen, dass sich die Entfernung Wand-Blende (d_1) zur Gesamtstrecke Wand-Leuchte (d_2) wie die Blendenweite b zur Leuchtengröße l verhält. Damit kann die Entfernung d_1 zur Einstellung des »Umschlagpunkts« auch berechnet werden: $d_1 = d_2 \cdot b/l$. Im Versuch mit

einer Lochblendenweite von 5 mm, einer Glühfadengröße von 20 mm und einem Abstand zwischen Wand und Glühfaden von 4,4 m zeigte sich, dass die Lage dieses »Umschlagpunkts« bei 1,1 m Abstand von der Wand mit einer Unsicherheit von 10 mm recht gut eingestellt werden konnte. Als optisches Kriterium diente die Ausdehnung des hellsten Bereichs im Schattenbild der Lochblende, d.h. desjenigen Bereichs, von dem aus noch der ganze Glühfaden sichtbar war. Mit zunehmendem Abstand der Blende von der Wand schrumpft dieser helle Bereich zum Lichtpunkt – und verliert dann schlagartig an Helligkeit, wenn die Blende weiter in Richtung Leuchte verrückt wird. Die Beobachtung dieser Einzelheiten im Übergangsbereich des Schattenbildes fiel gegenüber dem dunklen Glühfadenbild in heller Umgebung wesentlich schwerer.

Komplementäre Schattenbilder im Experiment

Eine ausgesprochen elegante und vorteilhafte Art, das helle Bild der Sonne als Lochkamerabild zu entwerfen, ohne eine *camera obscura* zu verwenden, habe ich bei Lutz Schön kennen gelernt: Zur Beobachtung von Sonnenfinsternissen hat er mit einer kleinen Spiegelscherbe das Bild der gespiegelten Sonne in Räume hinein entworfen, die dem aktuellen Sonnenstand abgewandt lagen und dadurch ausreichend schattig waren. Diese gelegentlich auch als *pinhead mirror* bezeichnete Technik (Nilsson 1986) gestattet eine einfache und zugleich überraschende Entdeckung, die von Matthias Rang im Zusammenhang mit der Untersuchung komplementärer Spektralphänomene gemacht wurde (Rang & Grebe-Ellis 2009): Die Spiegelscherbe spiegelt nicht nur, sie wirft auch einen Schatten. Sie wirkt für die gespiegelte Sonne als Lochblende und entwirft im Schatten ein helles Sonnenbild; gleichzeitig aber wirkt sie als Kreisblende und entwirft im Hellen ein schattiges Sonnenbild. Sie realisiert simultan komplementäre Bilder, obwohl sie mechanisch nur eine von zwei zueinander inversen Blenden darstellt! Vom Gegenstück: einer verspiegelten Lochblende, darf – man ahnt es bereits – die umgekehrte Funktion erwartet werden: Im Schatten des Spiegels entsteht das helle Sonnenbild, in der Helle des Spiegelbildes entsteht das schattige Sonnenbild.

Zur Herstellung solcher Spiegelblenden für entsprechende Experimente eignen sich handelsübliche Spiegelkacheln. Man kratzt mit einer scharfen Klinge oder Nadel auf der Spiegelrückseite den Belag auf einer wenige Quadratmilli-

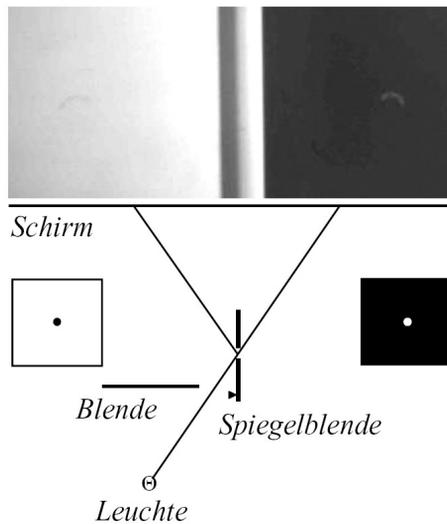


Abb. 5.4: Schematischer Versuchsaufbau zur simultanen Erzeugung komplementärer Glühfadenbilder mithilfe einer Spiegelblende. Von rechts gesehen wirkt diese als Lochblende, von links gesehen als Kreisblende. Eine zusätzliche Blende schirmt den Ort, an dem das dunkle Glühfadenbild in heller Umgebung erscheint, vor direkter Beleuchtung ab.

meter großen Querschnittsfläche weg, so dass ein kleines Fenster entsteht. Die Rückseite der Spiegelkachel realisiert auf diese Weise eine Lochblende. Die Vorderseite des Spiegels wirkt optisch wie ein Fenster in den Spiegelraum. Nur die gekratzte Stelle ist in Bezug auf die Einblickmöglichkeiten in diesen Spiegelraum blind, sie wirkt wie ein kleines undurchsichtiges Objekt, das sich genau in der Spiegelebene befindet. Dies gilt natürlich auch aus der Perspektive des Spiegelraums, und auf diese kommt es für die Realisierung der zur Lochblende inversen Blende an: Stellt man vor dem Spiegel eine Leuchte auf, so realisiert die blinde Stelle in Bezug auf die Lampe im Spiegelraum die zur Lochblende inverse Kreisblende. Beleuchtet man die Blende flach genug und schattet mit einem kleinen Schirm das Kreisblendenbild gegen die direkte Beleuchtung ab, so können beide Bilder nebeneinander auf einem Schirm aufgefangen werden (Abb. 5.4)



Abb. 5.5: Der Schatten des Tischtennisballes verrät die Form der beleuchtenden Lichtquelle.

Epilog

Die hohe Symmetrie der abbildungsoptischen Bedingungen, unter denen komplementäre Schattenbilder zustandekommen, kann nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich die Gesamterscheinung der Umgebungen, in welche die Schattenbilder jeweils eingebettet sind, hinsichtlich ihrer Wahrnehmbarkeit stark unterscheiden: Hier der Hellraum mit einem zarten, flüchtig erscheinenden dunklen Leuchtenbild, dort der Dunkelraum mit einem unvergleichlich kontrastreicher erscheinenden, hellen Leuchtenbild. Offensichtlich ist das menschliche Sehen an die Dunkelraumsituation besser angepasst, das Auge selbst ist eine Dunkelkammer, dem es zugute kommt, dass der schwarze Kosmos, in dem wir leben, mit seiner gleißend weißen Sonne durch vielfältige Wechselwirkungen zwischen Hell und Dunkel farbig abgemildert und verschleiert wird.

Und auch wenn es immer die Lochkamerabilder sind, auf die man leichter aufmerksam wird, gibt es doch gelegentlich den umgekehrten Fall: Im folgenden Sommer waren wir wieder in Wilstedt, es war wieder Abend und bereits dunkel und wir spielten unter dem hohen Vordach der Reithalle im Schein einer Lampe Tischtennis. Da ergab es sich, dass ich dem vom Tisch springenden Ball nachlief und mir plötzlich auffiel, wie der Schatten des auf dem Pflaster davonhüpfenden Balles jedesmal jegliche Ähnlichkeit mit demselben verlor, wenn er nach erfolgtem Aufprall auf dem Boden wieder in die Höhe stieg.

Mit zunehmendem Abstand vom Boden dehnte sich der Ballschatten zu einer geraden stabartigen Schattenspur, in der sich, wie ein Blick an die Decke des Vordachs bestätigte, das Bild der beleuchtenden Leuchtstoffröhre ausprägte (Abb. 5.5).

Literatur

- Grebe-Ellis, Johannes (2010): Schattenbilder wie Schriftzeichen lesen. Eine bildoptische Studie nach Johannes Kepler, *PhyDid* 1/9, 34-44
- Holtmark, Torger (1976): Halbschatten und Bild, *Mathematisch-Physikalische Korrespondenz* Nr. 100, 3-10
- Kepler, Johannes (2008): *Schriften zur Optik*, hrsg. von Rolf Riekher in der Reihe Ostwalds Klassiker Bd. 198, Frankfurt/M: Harri Deutsch Verlag
- Maier, Georg (1986): *Optik der Bilder*, Dürnau: Verlag der Kooperative Dürnau
- Nilsson, Thomy H. (1986): Pinhead mirror: a previously undiscovered imaging device?, *Applied Optics* 25, 2863-2864
- Quick, Thomas; Müller, Marc; Grebe-Ellis, Johannes (2009): Mathematische Beschreibung von Schattenbildern, in: Nordmeier, Volkhard; Grötzebauch, Helmut (Hrsg.): *Didaktik der Physik*. Frühjahrstagung der DPG in Bochum. Berlin: Lehmanns Media
- Rang, Matthias (2009): Der Hellraum als Bedingung zur Invertierung spektraler Phänomene. *Elemente der Naturwissenschaft* 90, 46-79
- Rang, Matthias; Grebe-Ellis, Johannes (2009): Komplementärspektren - Experimente mit einer Spiegelspaltblende, *MNU* 62/4, 227-231
- Schlichting, Hans Joachim (1995): Sonnentaler fallen nicht vom Himmel, *MNU* 48/8, 199-207