

Der Schatteneffekt

Was Schatten so anziehend macht

37. Jugend forscht Landeswettbewerb Baden-Württemberg
19. – 21. März 2002, Gerlingen

Marco Hein

Manuel Benda

Michael Liebendörfer

Böblingen

Ehningen

Böblingen

jungforscher.**forum**
c/o Albert-Einstein-Gymnasium
Zeppelinstraße 50
71032 Böblingen

<http://www.jungforscher.de>
echo@jungforscher.de

Inhaltsverzeichnis

- 1. Einleitung**
- 2. Arbeit in der Gruppe**
- 3. Der Effekt**
 - 3.1. Voraussetzungen
 - 3.2. Weitere Beobachtungen
 - 3.3. Optimale Bedingungen
- 4. Erklärung des Effekts**
 - 4.1. Lichtbeugung
 - 4.2. Optische Täuschung
 - 4.3. Flächige Lichtquelle
- 5. Simulation**
- 6. Weiterführende Experimente**
- 7. Der hüpfende Schatten**
- 8. Danksagungen / Schlusswort**

1. Einleitung

Eines Tages machten wir eine interessante Beobachtung:

Die Sonne schien ins Zimmer und ein Türrahmen warf eine gerade Schattenkante. Wenn man einen sich vor dem Türrahmen befindlichen Körper nun so bewegte, dass sich sein Schatten dem des Türrahmens annäherte, passierte Folgendes: Der Schatten des Rahmens bewegte sich dort, wo ihm der Schatten des Körpers gegenüberstand, ein Stück auf den Schatten dieses Körpers zu, obwohl sich der Türrahmen selbstverständlich in Ruhe befand.

Da wir uns diese Erscheinung zuerst nicht erklären konnten, wollten wir das Phänomen genauer untersuchen.

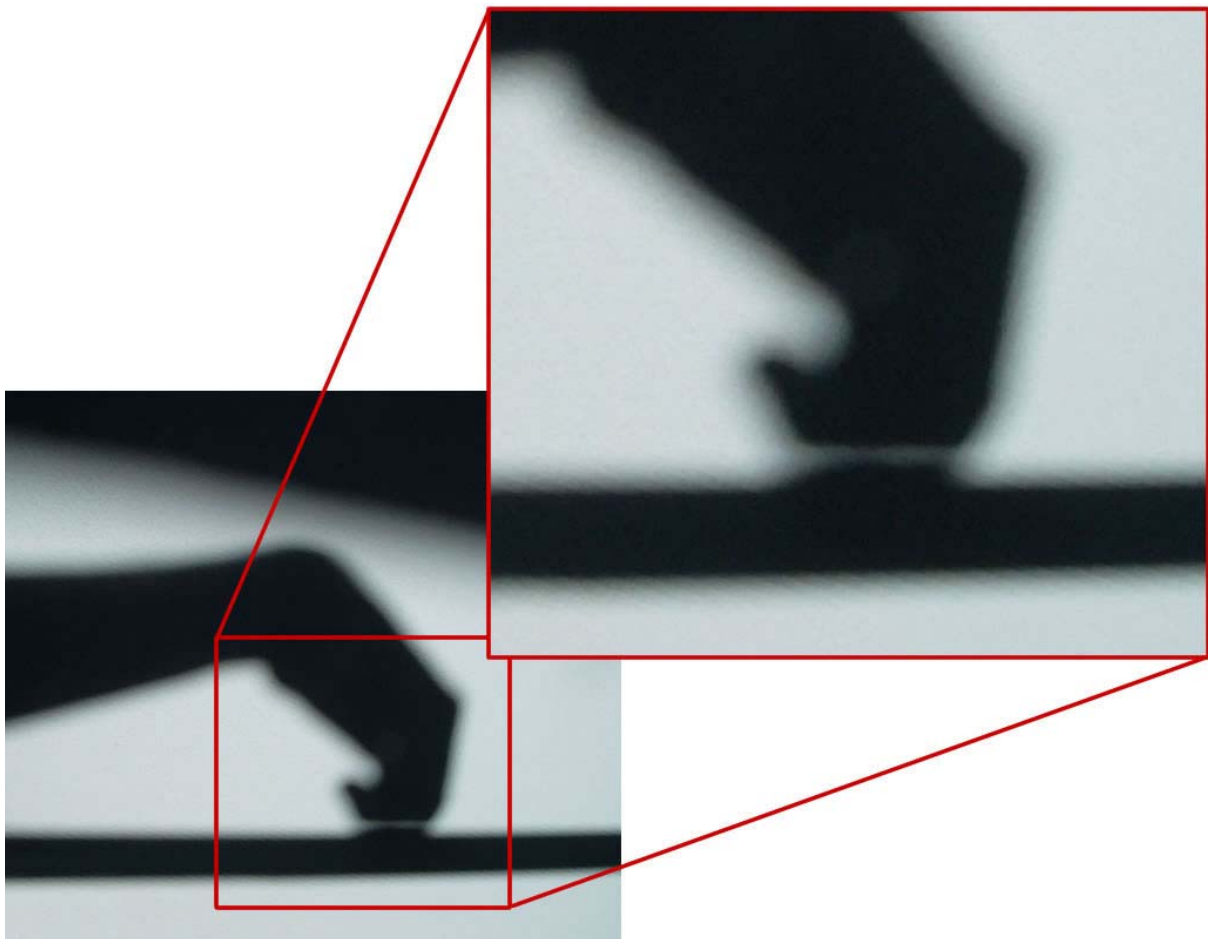


Abb. 1. Beobachtung des Effekts

Die obige Abbildung zeigt den Effekt an einer waagerechten und absolut geraden Stuhllehne (Stange im unteren Bildbereich). Dem Schatten der Stuhllehne nähert sich von oben der Schatten einer Hand und aus dem geraden Schatten der Lehne wächst ein „Schattenbuckel“ nach oben heraus.

2. Arbeit in der Gruppe

Diese Arbeit entstand im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft am Albert-Einstein-Gymnasium in Böblingen.

Die jugend.forscht ag, kürzlich umbenannt in jungforscher.forum, wurde im Jahre 1999 zur Förderung naturwissenschaftlich interessierter Schüler von unserer Leiterin StD. Ingrid Loßmann ins Leben gerufen.

Die Arbeitsgemeinschaft arbeitete seit 1999 hauptsächlich an dem Projekt „Super White mit ÖkoBright“, das unter anderem von dreien unserer Mitstreiter beim letztjährigen Jugend forscht Wettbewerb vorgestellt wurde und dabei den Bundessieg der Interdisziplinären Projekte erzielte.

Außerdem entstand das Projekt „Temperaturvergleich mit elektrischen Schwingungen“, das wir im Jahre 2000 vorstellten.

Mittlerweile ist unsere Arbeitsgemeinschaft Teilnehmer der Insti-Schulaktion des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Zum einen sind wir einer der ca. 160 Insti-Erfinderclubs bundesweit, zum anderen nehmen wir am Pilotprojekt „Tour d’Innovation“ teil.

Unsere guten Erfahrungen mit Jugend forscht und der Wunsch, wieder dabei zu sein, motivierten uns, mit unserem Projekt erneut am Wettbewerb teilzunehmen.

3. Der Effekt

Wir haben den Versuch, bei dem wir den Effekt feststellten, unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt, um Rückschlüsse auf seine Ursache zu ziehen. Dabei kamen wir zu folgenden Ergebnissen:

3.1. Voraussetzungen

Voraussetzungen für den Effekt sind:

- Eine Lichtquelle,
- zwei Körper, die je einen Schatten auf einen Schirm werfen;
- die Körper müssen sich in unterschiedlichen Abständen von der Lichtquelle bzw. dem Projektionsschirm befinden.
Befinden sich die Körper auf gleicher Höhe, tritt der Effekt nicht auf.

3.2. Beobachtungen

Bei der Durchführung unserer Experimente fielen uns mehrere Dinge auf:

- Es verändert sich stets nur die Form des Schatten jenes Körpers, der weiter von der Lichtquelle entfernt ist.
- Aus dem Schatten „wächst“ ein Stück heraus, das in Form und Größe dem Spiegelbild des Schattens des zweiten Körpers entspricht.

3.3. Optimale Bedingungen

Neben den Voraussetzungen, die für das Auftreten des Effekts zwingend notwendig sind, stellten wir durch unsere Versuche fest, dass er unter bestimmten Bedingungen besonders gut zur Geltung kommt:

- Es handelt sich um eine sehr helle, gleichmäßige Lichtquelle.
- Es gibt keine störenden Fremdlichtquellen.
- Der weiter von der Lichtquelle entfernte Körper produziert eine gerade Schattenkante.
- Dieser Körper befindet sich in Ruhe.
- Der Schatten dieses Körpers ist der größere / breitere von beiden.

Erläuterungen:

Das Ziel ist, eine möglichst gute Vergleichbarkeit der neuen Form des Schattens mit seiner ursprünglichen Form zu erreichen.

Da sich stets nur der Schatten des Körpers verändert, der weiter von der Lichtquelle entfernt ist, ist es vorteilhaft, wenn sich dieser Körper in Ruhe befindet.

Die Bewegung bzw. Veränderung seines Schattens lässt sich so leichter beobachten.

Außerdem sollte seine Schattenkante gerade sein und der Effekt nur an einem Teil der Kante auftreten, d.h. nur ein Teil des Schattens aus ihr „herauswachsen“.

Dazu muss der stationäre Körper größer bzw. breiter sein als der bewegliche.

4. Erklärung des Effekts

4.1. Lichtbeugung

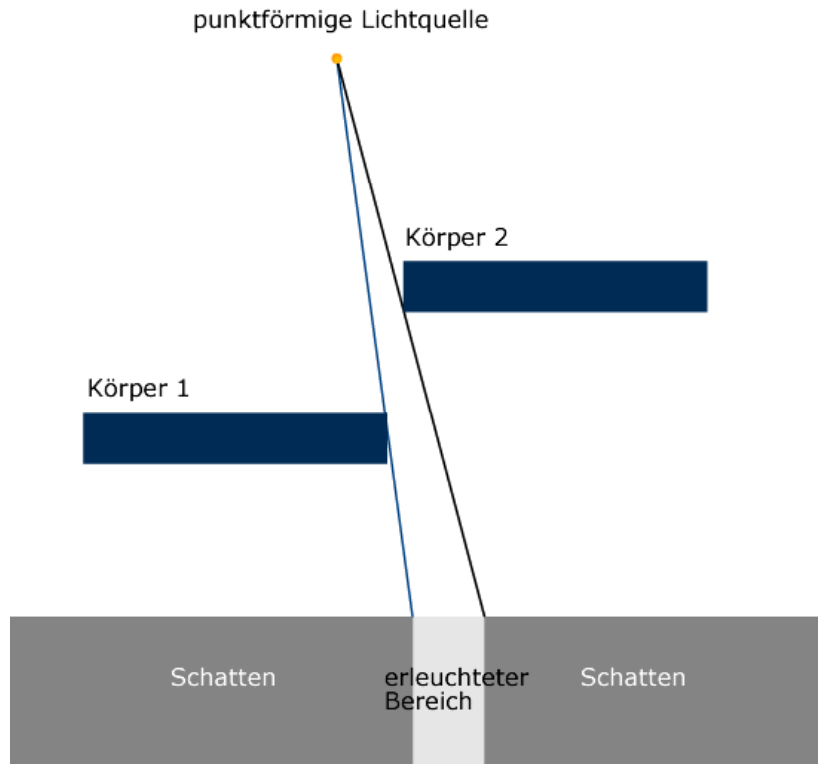


Abb. 2: erster Erklärungsversuch

Uns fiel auf, dass der Effekt im Sonnenlicht besser und schöner zu beobachten war als bei Kunstlicht.

Deshalb gingen wir zu Beginn vom Modell einer punktförmigen Lichtquelle aus, wie es auch im Schulunterricht zur Vereinfachung meist verwendet wird.

Unser erster Lösungsansatz war die Idee von einer Art Lichtbeugung an einem „versetzten Spalt.“

Diese Annahme ließen wir jedoch schnell fallen. Sie erwies sich durch weitere Recherchen über die Natur der Lichtbeugung als völlig unbrauchbar.

4.2. Optische Täuschung

Diesen Effekt mit Hilfe einer optischen Täuschung erklären zu können liegt gar nicht so fern. So entpuppte sich ein anderer Effekt mit ähnlichem Versuchsaufbau als optische Täuschung. (siehe dazu Abschnitt 7: „Weiterführende Experimente“).

Wir nahmen an, dass sich bei unserem ursprünglichen Effekt der Schatten sich nicht wirklich verändert, sondern die Fläche zwischen den beiden Schatten lediglich durch die Annäherung der Körper dunkler erscheint.

Gerade beim Zusammenspiel von Hell und Dunkel treten oft optische Täuschungen auf.

Schließlich konnten wir jedoch nachweisen, dass es sich hier nicht um eine optische Täuschung handelt.

Bei diesen Versuchen fiel uns eine Tatsache auf, die wir bisher nicht berücksichtigt hatten: Zwischen den beiden Schatten befindet sich nicht nur ein voll erleuchteter Bereich, sondern natürlich auch ein Halbschatten von jedem Körper.

Bei genauerer Betrachtung tritt der Effekt nur im Halbschattenbereich auf, der jedoch im Sonnenlicht relativ hell erscheint.

Das Vorhandensein eines Halbschattens im Sonnenlicht rührt von der flächigen Ausdehnung der Sonne her.

4.3. Flächige Lichtquelle

Wir waren von der Sonne als relativ punktförmige Lichtquelle ausgegangen. In der Praxis gibt es jedoch keine wirklich punktförmigen Lichtquellen. Gerade die Sonne stellt keine punktförmige, sondern eine ausgedehnte Lichtquelle dar und die Ursache des Effekts hängt genau mit der Ausdehnung zusammen.

Die folgende Grafik zeigt die Ausgangssituation des Phänomens:

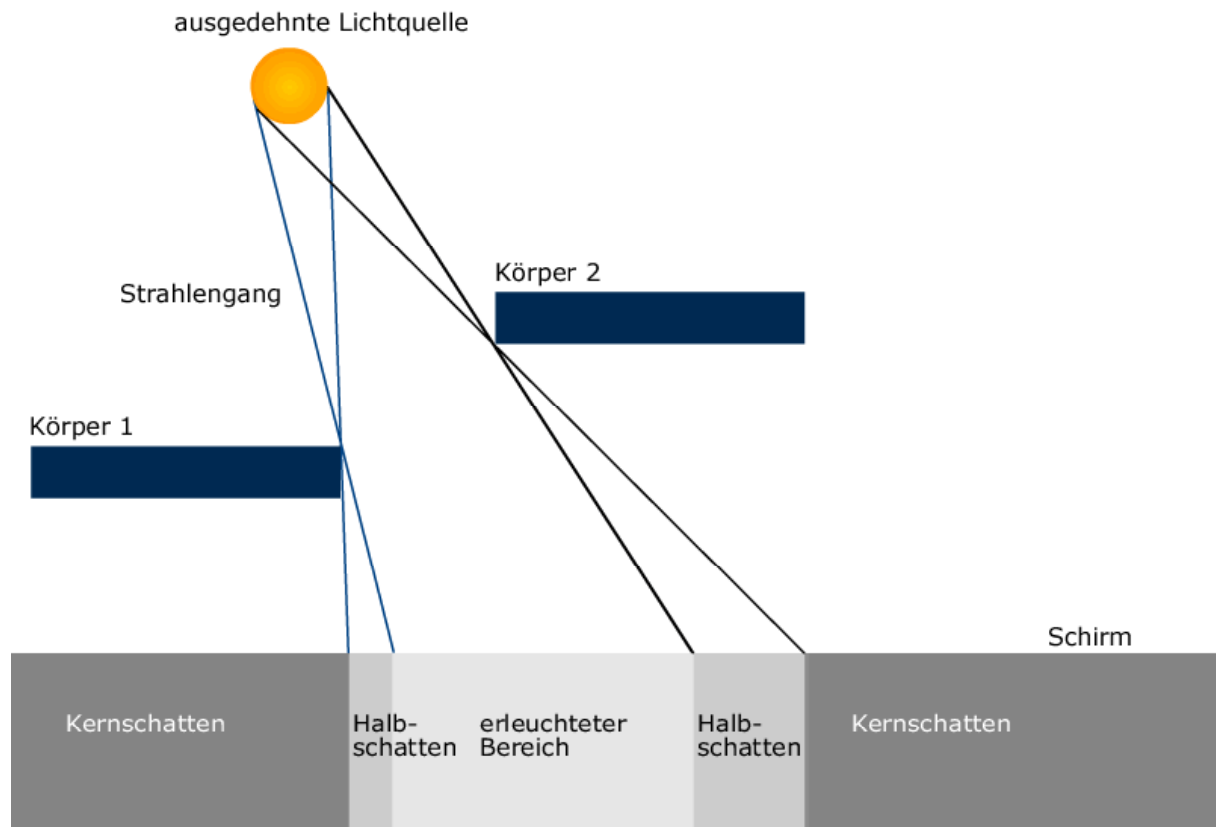


Abb 3: Ausgangssituation des Effekts

Abbildung 3 zeigt den Strahlenverlauf bei einer ausgedehnten Lichtquelle, die beiden Körper und deren Schattenwurf.

Der Schattenwurf auf dem Schirm ist schematisch dargestellt und auf eine seitliche Ansicht reduziert.

Die Halbschattenbereiche an den äußeren Enden der Körper sind nicht eingezeichnet, da sie für den Effekt keine Rolle spielen.



Abb. 4: Draufsicht

Die Draufsicht zeigt die Erscheinungen auf dem Schirm von oben betrachtet, wie sie bei optimalen Bedingungen (siehe 3.3.) im Sonnenlicht auftreten.

Der Halbschattenbereich ist im Sonnenlicht wegen der hohen Lichtstärke kaum dunkler als der voll erleuchtete Bereich (vgl. Abb. 1).

Er sorgt lediglich für den Eindruck einer verschwommenen Schattenkante.

Somit wird er hier wie der vollständig erleuchtete Bereich dargestellt.

Die folgenden Grafiken illustrieren die Situation, wenn Körper 2 nach links verschoben wird.

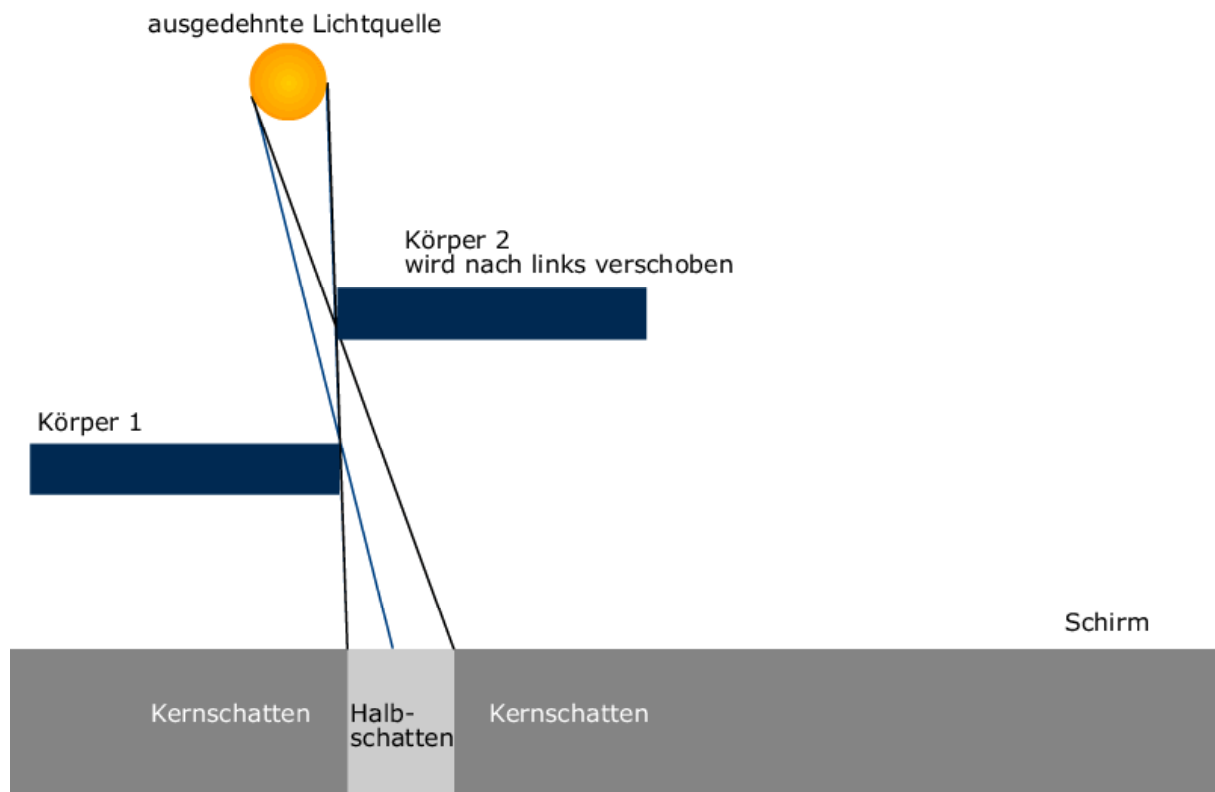


Abb 5: Grenzsituation

Abbildung 5 zeigt den Augenblick, in dem sich Körper 2 von Körper 1 aus gesehen beginnt, vor die Lichtquelle zu schieben.

Bis jetzt ist der Schatten von Körper 1 noch „in Ruhe“.

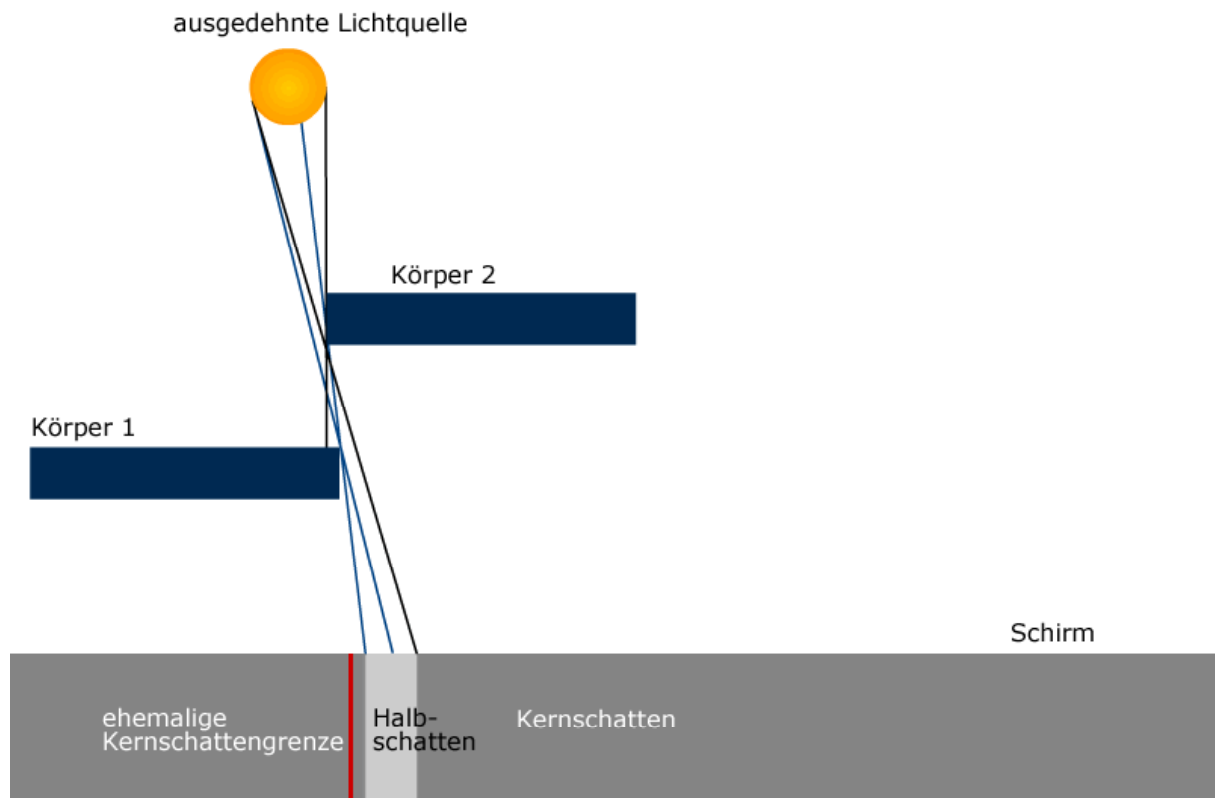


Abb. 6: der Effekt

Nähert sich der Schatten von Körper 2 dem von Körper 1 nun weiter an, verdeckt Körper 2 von Körper 1 aus gesehen die Lichtquelle (Abb. 6).

Dies geschieht jedoch aufgrund der flächigen Ausdehnung nicht auf einmal, sondern zunehmend von einer Seite.

Körper 2 bewirkt das gleiche wie eine Blende: der Schatten wird „scharf gestellt“.

Die Einengung der Lichtquelle führt dazu, dass ein Teil des Halbschattenbereiches zum Kernschattenbereich wird, weil der Teil der Lichtquelle, der diesen Bereich vorher erleuchtete, nun von Körper 2 verdeckt wird.



Abb. 7: Draufsicht – der Schatten wächst

Die Punkte auf dem Schirm am äußersten linken Rand des Halbschattens erhalten ihr Licht vom äußersten rechten Ende der Lichtquelle. Genau diese Seite wird nun von Körper 2 verdeckt.

Die Punkte erhalten kein Licht mehr und werden folglich Teil des Kernschattens.

Da der Halbschattenbereich im Sonnenlicht auf Grund der hohen Lichtstärke als erleuchteter Bereich aufgefasst wird, sieht es für den außenstehenden Betrachter so aus, als würde der Schatten von Körper 1 von dem von Körper 2 angezogen.

5. Simulation

Unsere Experimente fanden zu Beginn meist im Sonnenlicht statt.

Da die Sonne im winterlichen Deutschland jedoch kein sonderlich zuverlässiger Versuchspartner ist, suchten wir nach künstlichen Alternativen.

Dabei ergaben sich jedoch einige Probleme bei der Umsetzung (siehe 3.3.), da Kunstlicht unseren Anforderungen oft nicht genügte:

Die meisten Lichtquellen sind nicht ausreichend intensiv und gleichmäßig hell, um den Halbschatten aufzuhellen.

Die Größe der Lichtquelle, ihr Abstand zu den Körpern und dem Schirm müssen in der richtigen Relation stehen, um schöne Ergebnisse zu erzielen.

Da sich Lichtquelle, Körper und Schirm bei Kunstlicht relativ nah beieinander befinden, bietet sich kaum Spielraum, um die Schatten der Körper auf die richtige Unschärfe für ansehnliche Ergebnisse zu bringen.

Nachdem sich Leuchtstoffröhren sowie Glüh- und Halogenlampen als nicht sehr tauglich erwiesen hatten, fanden wir nach längerer Suche in Tageslichtprojektoren eine annehmbare Alternative zum Sonnenlicht.

6. Weiterführende Experimente

Während unserer Experimente modulierten wir den Versuchsaufbau und kamen so zu einem weiteren Effekt.

Wenn man die Körper so bewegt, dass sie sich nicht aufeinander zubewegen, sondern der eine hinter dem anderen hervorkommt, dann tritt der Schatten des einen aus dem Kernschatten des anderen heraus.

Davor wird jedoch der Halbschattenbereich vor dem Schatten des stationären Körpers in eine Richtung vergrößert und gleichmäßig verdunkelt.

Die Kernschattengrenze dieses Körpers bleibt währenddessen an der selben Stelle. Erst wenn der bewegliche Körper vom stationären aus gesehen ganz vor die Lichtquelle getreten ist, verschiebt sich der Kernschatten.

Durch die Kontrastveränderung scheint der Halbschattenbereich direkt vor der Kernschattengrenze nun heller zu werden.

Dabei handelt es sich aber lediglich um eine optische Täuschung.

Die folgenden Grafiken zeigen diesen Effekt in zeitlicher Reihenfolge:

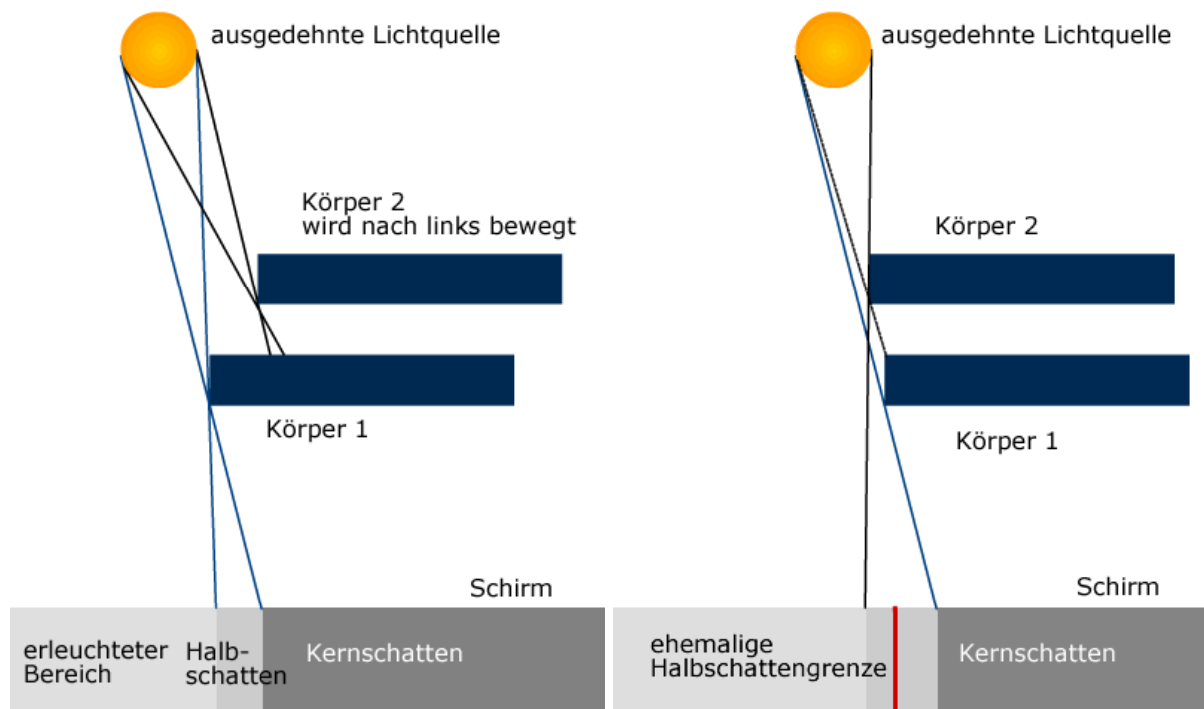


Abb. 8/9: der Effekt in zeitlicher Abfolge

7. Der hüpfende Schatten

Der Effekt lässt sich prinzipiell überall dort beobachten, wo sich mehrere Körper im Sonnenlicht bewegen, wenngleich auch nicht immer sehr deutlich.

Besonders eindrücklich ist der Effekt dann, wenn man unter einem Baum läuft, und den eigenen Schatten von Ast zu Ast „hüpfen“ sieht.

Dabei wird die Form des Schatten des Spaziergängers ständig verzerrt, da durch Annäherung an die Schatten der Äste und Blätter Bereiche des eigenen Schattens ständig neu verändert werden.

8. Danksagung / Schlusswort

Unser besonderer Dank gilt unserer Leiterin StD. Ingrid Loßmann, die uns anspornte und stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Außerdem bedanken wir uns bei Bernhard Hein, Christoph Schlegel und weiteren ungenannten Helfern für ihre Unterstützung.