

Die unterrichtliche Behandlung von Sandrippeln und ihrer Dynamik folgt also nicht nur den aktuellen Lehrplänen, sondern schlägt auch eine Brücke von den Alltags- bzw. Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler hin zu Themen der modernen Physik.

7 Zusammenfassung

Sandrippe stellen faszinierende Naturphänomene dar. Sie können in den unterschiedlichsten Bereichen der natürlichen Umwelt beobachtet und auch im (Schul-) Experiment nachgestellt werden. Die Dynamik der Musterbildung lässt sich mithilfe elementarer Ansätze modellieren und die numerischen Simulationen liefern realistische und überzeugende Ergebnisse.

Das kollektive Zusammenwirken granularer Materie in Form von Sandrippeln bietet zudem einen Zugang für das grundlegende Verständnis der elementaren Ideen und der wesentlichen Konzepte der Selbstorganisations-Theorie. Die Software zur Simulation von Sandrippelen kann per E-Mail (Kontaktadresse: nordmeier@physik.fu-berlin.de) zugeschickt oder unter der Internetadresse <http://didaktik.physik.fu-berlin.de> herunter geladen werden. Die Software steht für den Einsatz im Unterricht kostenlos zur Verfügung.

Literatur

- [1] Weblink „Kleines Uhrenlexikon“: <http://www.uhren-reparaturen.com/Lexikon/Sanduhren/sanduhren.htm> (Stand: 31.01.2005)
- [2] R. A. Bagnold: *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, New York und London, Methuen & Co Ltd, 1941 (Neuauflage: Mineola (N.Y.): Dover Publications 2005).
- [3] H.-J. Herrmann: Spuren im Sand, Die Physik der Dünen, in: *Physik Journal*, 4 (2005) 8/9, S.57-60.
- [4] H. J. Schlichting u. V. Nordmeier: Strukturen im Sand. Kollektives Verhalten und Selbstorganisation bei Granulaten, in: *MNU*, 6/49 (1996), S.323-332.
- [5] V. Nordmeier u. H. J. Schlichting: Ein Sandhaufen mit Erinnerung. Experimentelle Untersuchungen zur Selbstorganisierten Kritikalität, in: *Physik in der Schule*, 5/35 (1997), S.192-195.
- [6] H. J. Schlichting, V. Nordmeier u. D. Jungmann: Die Großen landen immer oben. Phänomene der Selbstorganisation beim Schütteln von Kugeln, in: *Physik in der Schule*, 5/34 (1996), S.190-193.
- [7] H. Nishimori and N. Ouchi: Formation of Ripple Patterns and Dunes by Wind-Blown Sand, in: *Physical Review Letters*, 1/71 (1993), S.197-200. Und: H. Nishimori, M. Yamasaki and K.H. Anderson: A simple model for the various pattern dynamics of dunes, in: *Int. J. of Modern Physics B* 12 (1999), S.257-272.
- [8] K. H. Anderson, M. Abel, J. Krug, C. Ellegaard, L.R. Sondergaard and J. Idesen: Pattern dynamics of vortex ripples in sand: Nonlinear modeling and experimental validation, in: *Physical Review Letters* 88 (2002), Nr.234302
- [9] P. Schwarzenberger u. V. Nordmeier: Chaos im Physikunterricht, in: *Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): Didaktik der Physik – Berlin 2005*. Berlin: Lehmanns Media Verlag, 2005.
- [10] Ministerium f. Schule u. Weiterbildung und Forschung d. Landes NRW (Hrsg.): *Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II – Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*, Düsseldorf, 1999.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Volkhard Nordmeier, FU-Berlin, Fachbereich Physik/Didaktik der Physik, Arnimallee 14, 14195 Berlin, E-Mail: nordmeier@physik.fu-berlin.de

„Der Mensch, das Augenwesen, braucht das Bild“¹⁾

– Bildbeschreibungen als Zugang zu optischen Naturphänomenen

H. J. Schlichting

Was ist das Schwerste von allem?
Was dir das Leichteste dünktet:
Mit Augen zu sehen,
was vor den Augen dir liegt.
Johann Wolfgang von Goethe

Hinterfragen von Selbstverständlichkeiten

Unter Naturphänomenen versteht man normalerweise jene spektakulären Großereignisse wie Regenbögen, Koronen, Halos Sie sind vielfach beschrieben worden und werden wohl auch in Zukunft immer wieder Gegenstand fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Auseinandersetzungen sein. Zahlreiche kleinere und unscheinbare Phänomene und auch solche, die es möglicherweise erst noch zu entdecken gilt, finden dagegen kaum Beachtung. Auf solche alltäglichen Naturphänomene soll im Folgen-

den aufmerksam gemacht werden mit dem Ziel, die Lernenden anzuregen, hinter dem Alltäglichen interessante physikalische Zusammenhänge aufzuspüren und auf diese Weise eine „neue“ Sichtbarkeit zu ermöglichen. Wir gehen dabei von der Überzeugung aus, dass es nicht ausreicht, die Lernenden in der Schule mit den physikalischen Grundkenntnissen (im vorliegenden Fall: Modell des Lichtstrahls, Reflexionsgesetz, Brechungsgesetz) auszustatten und zu erwarten, dass sie damit auch bereits in der Lage wären, diese Kenntnisse in realen Situationen anzuwenden. Die Schwierigkeit des Transfers von in extrem einfachen idealen Situationen Gelerntem auf komplexe alltägliche Situationen liegt vor allem darin, dass das Alltägliche als selbstverständlich angesehen wird und von sich aus keine

¹⁾ Leonardo da Vinci

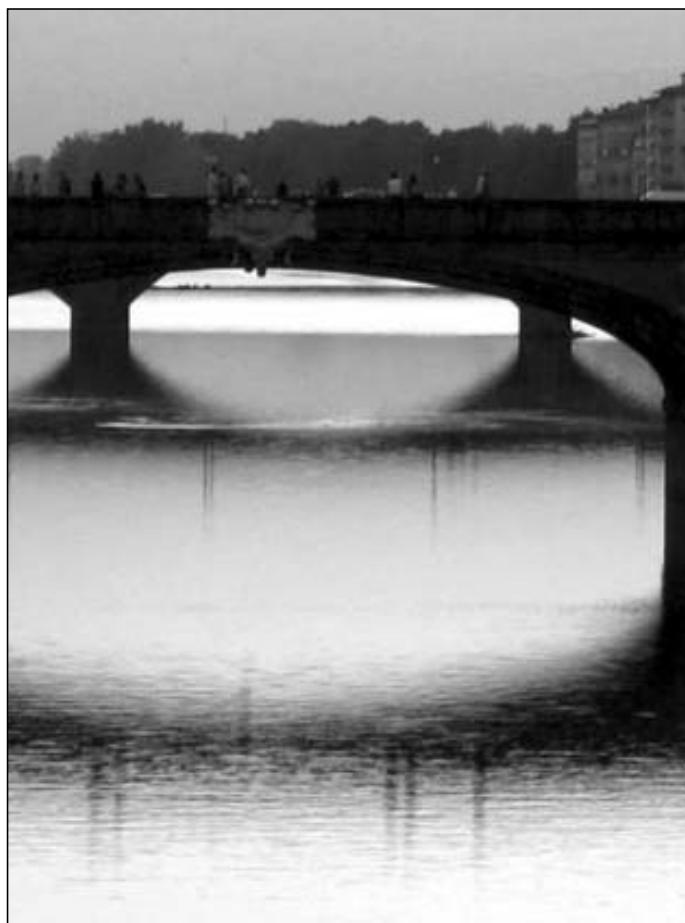


Abb. 1 (oben): Dunkle „Stacheln“ auf leicht welligem Wasser.

Abb. 2 (unten): Nachbearbeiteter Ausschnitt aus Abb. 1

Fragen eröffnet. Ein physikalischer Zugang bedeutet daher, Selbstverständlichkeiten zu hinterfragen.

Das Alltägliche muss also für die Schülerinnen und Schüler in einer physikalisch motivierten Weise fragwürdig werden, sodass ihm physikalische Aspekte abgerungen werden können. Das setzt jedoch voraus, dass sie lernen, das Alltägliche mit neuen Augen gewissermaßen wie zum ersten Mal zu sehen.

Dazu sollen im Folgenden anhand von Fotografien (fachwissenschaftlich gesehen) einfacher optischer Phänomene aus dem Bereich von Licht, Schatten und Reflexionen konkrete Beispiele skizziert und hinsichtlich der physikalischen Fragen analysiert werden.

Exkurs: Physikalische Bildbeschreibung

Ein weiteres Anliegen dieses Beitrags besteht darin, auf das Medium der Bildbeschreibung in der Physikausbildung aufmerksam zu machen. Aus praktischen (Wie bringt man auf einfache Weise alltägliche Situationen in den Physikunterricht?) wie aus methodischer Gründen (Betrachten, mit eigenen Worten Beschreiben, Klassifizieren, Erklären) halten wir die Bildbeschreibung für ein gutes Mittel, den Physikunterricht zu bereichern. Bekanntlich gehört diese Art eines Zugangs zu Bildern und Bildinhalten zum methodischen Repertoire des Deutsch- und Kunstunterrichts. Bildbeschreibungen stellen eine einfache Möglichkeit dar, Naturphänomene – insbesondere alltägliche Erscheinungen – in den Physikunterricht zu bringen. Dabei können neben ausgewählten Fotografien, Gemälden, Postkarten und anderen bildlichen Darstellungen auch selbst gemachte Fotografien der Schülerinnen und Schüler genutzt werden (z. B. Handy mit Digitalkamera). Angeregt durch den Unterricht erhalten sie so die Möglichkeit, eigene Beobachtungen zu dokumentieren und damit den Unterricht aktiv mitzugehen. Die moderne Projektionstechnik (Beamer) erlaubt es, die Bilder der Klasse ohne größeren Aufwand zu präsentieren und im Plenum zu diskutieren.

Seltsame Schattenlinien

Ein finsterer Punkt kann ein Bild formieren, weil von der Stelle kein Licht kommt, wo er sitzt.
Georg Christoph Lichtenberg

Der Schattenrand einer Brücke auf dem leicht welligen Wasser eines Flusses ist mit langen spitzen Schattenstacheln besetzt (Abb. 1). Schaut man sich genauer an, was im Gegenlicht der Dämmerung nur schwer zu erkennen ist, so zeigt sich, dass die Schatten einzelnen Erhebungen, meist Menschen, auf der Brücke zugeordnet werden können (Abb. 2). (Der spezielle Zusammenhang zwischen Schattenstacheln und Menschen war während der realen Situation noch leichter auszumachen, weil sich die Schattenlinien synchron mit den Menschen auf der Brücke bewegten). Selbst der Ausbuchtung am unteren Rand des Brückenbogens entspricht ein solcher Stachel. Die durch kleinere Erhebungen hervorgerufenen Stacheln gehen indessen weitgehend im „Rauschen“ der Abbildung der Brücke auf dem Wasser unter.

Der sich auf den ersten Blick aufdrängende Gedanke, es handele sich hier um Schatten, muss auf den zweiten Blick wieder verworfen werden. Denn Schatten, zumal so scharfe Schatten, wie man sie hier zu sehen vermeint, setzen eine näherungsweise punktförmige Lichtquelle voraus. Man erinnere sich dazu nur daran, dass an einem bedeckten Tag, wenn der Himmel als einzige Lichtquelle alles mehr oder weniger gleichmäßig von allen Seiten beleuchtet, keine Schatten beobachtet werden.

Auch im vorliegenden Fall hat man es mit einem ganzen Horizont zu tun, der aufgrund des gerade vorangegangenen Sonnenuntergangs in einem milden Rotton schimmert. Ein weiteres Argument gegen die Schattenhypothese ist die Tatsache, dass ein transparentes Medium wie das vorliegende einigermaßen klare Flusswasser gar keinen Schatten auffangen kann.

Führt man sich die Tatsache vor Augen, dass das Wasser weitgehend die Farbe des Himmels angenommen hat (was auf der Schwarzweißabbildung natürlich nicht so gut zu erkennen ist), wird klar, dass das Wasser wie ein riesiger Spiegel wirkt. Ein Spiegel bildet die umgebenden Objekte, gleichgültig ob hell oder dunkel mehr oder weniger naturgetreu ab. Es handelt sich demnach nicht um Schatten, sondern um spiegelnde Reflexionen der sich auf der Brücke befindlichen Personen und anderer Erhebungen²⁾.

Bleibt die Frage, warum die gespiegelten Abbilder so in die Länge gezogen werden. Um dies zu erklären, muss an das Phänomen der Lichtbahnen auf dem Wasser erinnert werden, die zum Beispiel von der untergehenden Sonne herverufen werden [1]. Sie kommen grob gesagt dadurch zustande, dass das Licht der jeweiligen Lichtquelle aufgrund der Welligkeit des Wassers nicht an genau einer Stelle reflektiert wird, an der bezüglich des Beobachters der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist. Die wellige Oberfläche des Wassers führt dazu, dass das Licht gleichzeitig von mehreren Stellen aus zum Betrachter gelangt. Die Wellenflanken verhalten sich gewissermaßen wie winzige geneigte Spiegel, die auch noch an anderen Stellen vornehmlich ein Stück entlang der Verbindungslinie Lichtquelle – Beobachter passende Reflexionswinkel aufweisen. Dies leuchtet durch einen Blick auf Abb. 3 unmittelbar ein. Neben den Lichtbahnen der hellen Objekte, der Straßenlaternen, beobachtet man auch „Lichtbahnen“ der dunklen Objekte, die sich genauso verhalten. Zwar geht von den dunklen Objekten kaum Licht aus, aber die nahezu punktförmigen dunklen Objekte reißen gewissermaßen punktförmige Löcher ins Licht. Sie verhindern die Reflexion des Lichts nicht nur an der Stelle, an der man bei einem ebenen Spiegel die Reflexion erwarten würde, sondern auch an Stellen, die wegen der unterschiedlichen Neigungen der Wasserwellen Licht ins Auge des Betrachters reflektiert hätten. Die hellen und die dunklen Bahnen auf dem Wasser verhalten sich gewissermaßen komplementär zueinander und stellen auf diese Weise ein Beispiel für den obigen Ausspruch Lichtenbergs dar.

Dieser Komplementarität von Licht und Schatten entsprechend haben die dunklen Stellen doch etwas Schattenhaftes an sich, auch wenn es sich nicht um Schatten im geometrischen Sinne des Wortes handelt. Anders als Schatten sind die „Schattenschwerter“ wie die „Lichtschwerter“ immer auf den Beobachter gerichtet und verfolgen ihn, wenn er seine Position verändert, wie es *Italo Calvino* für das Schwert der Sonne eindrucksvoll beschrieben hat [2]. Echte Schatten bleiben aber stets an derselben Stelle, so lange die Lichtquelle an derselben Stelle bleibt.

Glatte und gewellte Wasserspiegel

Wenn man nicht unmittelbar erkennt (wie in Abb. 1), ob eine Wasseroberfläche glatt oder wellig ist, kann dies aus dem Vorhandensein von Sonnen- und Schattenschwertern erschlossen werden. Hier zeigt sich im Übrigen eine Analogie zur Forschung in der Oberflächenphysik. Aus den Reflexen einer bekannten Strahlung werden Rückschlüsse auf



Abb. 3 (oben): Helle und dunkle Lichtbahnen auf dem welligen Wasser

Abb. 4 (unten): Die Reflexe verraten den Zustand der Wasseroberfläche.

die Beschaffenheit der direkt nicht zu sehenden Oberfläche gezogen. So kann man den Reflexen in Abb. 4 entnehmen, dass das Wasser über ein ruhiges – spiegelglattes – Gebiet verfügt und an anderen Stellen eine wellige Oberfläche besitzt. Die Sonne, die direkt nicht im Bilde ist, wird im Vordergrund fast völlig unverzerrt spiegelnd reflektiert. (Die stachelförmigen Lichtbahnen befinden sich nicht auf dem Wasser, sondern sind Lichtbahnen, die durch den Verschluss der Kamera bedingt sind).

Im Hintergrund findet man eine ausgedehnte Lichtbahn, die fast bis zum gegenüberliegenden Ufer reicht. Ihre Form gibt Auskunft über die Stärke der Welligkeit des Wassers in diesem Gebiet [1]. Auch die spiegelnde Reflexion der am gegenüberliegenden Ufer stehenden Bäume gibt Aufschluss über die Beschaffenheit des Wassers. Die unverzerrt reflektierten Abbilder der Baumspitzen weisen auf die „spiegelglatte“ Oberfläche des Gewässers hin. Im Unterschied zum reflektierten Sonnenlicht sind sie auf dem welligen Gebiet des Wassers so gut wie gar nicht zu er-

²⁾ Die Qualität der Spiegelung verdankt sich der Tatsache, dass trotz des relativ geringen Anteils des spiegelnd reflektierten Lichtes das ins Wasser eindringend Licht weitgehend absorbiert wird. Daher ist die Störung der spiegelnden Reflexion durch diffuse Reflexion vom Boden des Flussbetts meist sehr klein.



Licht- und Schattenstrahlen

Das oben angesprochene komplementäre Verhältnis von Licht und Schatten kommt auch in den so genannten Schattenstrahlen zum Ausdruck, die man manchmal am Himmel beobachten kann. Sie haben ihre Ursache in einer einzelnen Wolke oder einer Bergspitze (Abb. 5). Häufiger als Schattenstrahlen trifft man indessen Lichtstrahlen an, die durch eine an einigen Stellen durchlöcherte Wolkenwand als Blende für das Sonnenlicht hervorgerufen werden. Manchmal sind die Ansichten nicht eindeutig, sodass die Entscheidung, ob man Licht- oder Schattenstrahlen sieht, davon abhängt, was als Grund und was als Bild angesehen wird (Abb. 6).

Wichtiger aber als eine solche Entscheidung ist die Frage, wie es überhaupt zu solchen „Strahlen“ kommt. Denn normalerweise kann man zwar den Schatten eines im Lichte stehenden Gegenstandes auf einer Projektionsfläche, z. B. dem Boden sehen. Der Schattenraum bzw. die Grenze zwischen Licht und Schatten ist an sich unsichtbar. Nur wenn man zur Lichtquelle blickend langsam aus dem Schatten heraustritt und schließlich die Lichtquelle am Rand des Schattengebers auftauchen sieht, kann man die Grenzlinie ausmachen. Es sei denn, Streuteilchen zum Beispiel in Form von Nebel sind in einer Konzentration vorhanden, die die Luft einerseits noch durchsichtig erscheinen lässt, andererseits aber genügend Licht zu den Seiten streut. Dann kann man die so zum Leuchten gebrachten Teilchen und damit das leuchtende Gebiet als „Lichtstrahl“ sehen. Diese Lichtstrahlen machen indirekt die Gebiete sichtbar, die mangels Licht dunkel bleiben und als Schattenstrahlen in Erscheinung treten. Wie es zu einem definierten Schattenstrahl kommt, kann man Abb. 7 entnehmen, in der ein kleiner Ast einen Schattenstrahl in einen Lichtstrahl reißt, der seinerseits durch ein Loch im Blätterdach der Bäume aus dem Sonnenlicht ausgeblendet wird.

Angesichts derartiger Licht- und Schattenstrahlen stellt sich immer wieder die Frage, wie die offensichtliche Divergenz der Strahlen mit der Tatsache zu vereinbaren ist, dass das Sonnenlicht praktisch parallel ist. Die Antwort lautet, dass die Strahlen in Wirklichkeit auch parallel sind. Die scheinbare Divergenz ergibt sich aus der mit größerem Abstand vom Beobachter zunehmenden perspektivischen Verkürzung. Auch wenn die Schülerinnen und Schüler dies zunächst nicht glauben, sind sie leicht zu überzeugen, wenn man ihnen Bilder von Straßen, Bahngleisen u. Ä. zeigt, die eine Verjüngung zum Horizont hin aufweisen.

Um sicher zu gehen, ob alles verstanden wurde, kann man den Schülerinnen und Schülern Lichtstrahlen in einem etwas komplexeren Zusammenhang zeigen. In Abb. 8 sind zwei Bündel divergierender Lichtstrahlen zu sehen, die sich kreuzen. Wie kann das sein?

Zunächst wird man feststellen, dass Nebel über dem Wasser für Streuteilchen sorgt. Lücken im Blätterdach der Bäume führen dazu, dass der Nebel strahlenweise zum Leuchten gebracht wird oder nicht.

Die Lichtstrahlen laufen aufgrund der perspektivischen Verkürzung auseinander.

Wenn sie auf der Wasseroberfläche auftreffen, werden sie dem Reflexionsgesetz entsprechend reflektiert. Das lässt sich daran erkennen, dass die Winkelhalbierende zwischen einem direkten und einem reflektierten Lichtstrahl senkrecht auf der Wasseroberfläche steht. (Genau genommen gilt dies natürlich aufgrund der perspektivisch bedingten



Abb. 5 (oben): Schattenstrahl vermutlich durch eine Wolke oder eine Bergspitze hervorgerufen.

Abb. 6 (unten): Ob man Licht- oder Schattenstrahlen sieht, hängt davon ab, was man als Bild und was man als Grund ansieht.

kennen. Das liegt an der im Vergleich zur hellen Sonne geringen Intensität des reflektierten Himmelslichtes, das offenbar nicht hell genug ist, die durch die dunklen Bäume erzeugten Fehlstellen in den Reflexionen auf den Wellen als zumindest schemenhaftes Bild der Bäume zu erkennen zu geben, wie es in Abb. 1 bezüglich der Schattengestalten auf der Brücke der Fall war.

Auch die unterschiedliche Helligkeit des Himmels und des Waldes im Hintergrund des Fotos können aus den spiegelnden Reflexionen auf dem Wasser erschlossen werden. Man erkennt vor allem im spiegelglatten Bereich des Wassers, dass der Himmel keine einheitliche Tönung hat, wie der Ausschnitt im oberen Bildteil nahe legt, sondern zum Horizont hin heller und zum Zenit hin dunkler wird. Letzteres kann nur aus der dunklen Tönung des Wassers im Vordergrund erschlossen werden, weil der Himmel zum Zenit hin gar nicht zu sehen ist.

Schwieriger wird es, die Ursache der dunkleren Tönung des welligen Wassers einzuschätzen. Einerseits sieht es zum linken Bildrand hin so aus, als würde die Reflexion des Waldes auch noch ein Stück im Bereich des glatten Wassers zu sehen sein. Andererseits ist das wellige Wasser zum rechten Bildrand hin dunkel, obwohl die Höhe des hier reflektierten Teils des Waldes abnimmt. Vermutlich ist es an der Stelle vor allem die oben diskutierte Verlängerung der reflektierten Abbilder der dunklen Bäume, die für die dunklere Einfärbung verantwortlich ist.



Abb. 7: Ein Ast reißt ein Loch ins Licht und wird als Schattenstrahl sichtbar.

Divergenz der Strahlen nur ungefähr). Auch die reflektierten Strahlen scheinen von den Stellen aus, an denen sie reflektiert werden, abermals auseinander zu laufen. Selbst Studierende haben unserer Erfahrung nach Schwierigkeiten, diese an sich einfache Situation zu durchschauen. Erschwerend wirkt vor allem die Tatsache, dass in der Abbildung die Stellen, an denen die Reflexion der Lichtstrahlen stattfindet, nicht direkt zu sehen ist.

Schlussbemerkung

Bildbeschreibungen von Naturerscheinungen auf ausgewählten Fotos können zu einer sowohl inhaltlichen als auch methodischen Bereicherung des Physikunterrichts beitragen. Auch wenn ein Bild in mancher Hinsicht keine endgültige Klarheit über die den Phänomenen zugrunde liegenden physikalischen Zusammenhänge verschaffen kann, weil dazu weitere, aus dem Bild nicht zu entnehmende Informationen nötig wären, muss darin nicht unbedingt ein Mangel gesehen werden. Die Diskussion und gegenseitige Abwägung verschiedener Sachverhalte schult den physikalischen Sachverständ und fordert gegebenenfalls zu Überlegungen heraus, die nicht unmittelbar auf der Hand liegen. Die Bildbeschreibung kann zu einer neuen Sichtbarkeit beitragen dergestalt, dass man die dargestellten Phänomene wie zum ersten Mal sieht. Sie ermöglicht darüber hinaus Einblicke in den menschlichen Erfahrungsumgang mit alltäglichen Phänomenen. Wir haben bei Bildbeschreibungen im Plenum von Vorlesungen sehr engagierte kontroverse Diskussionen erleben können, die für die Aktualisierung und Verankerung von

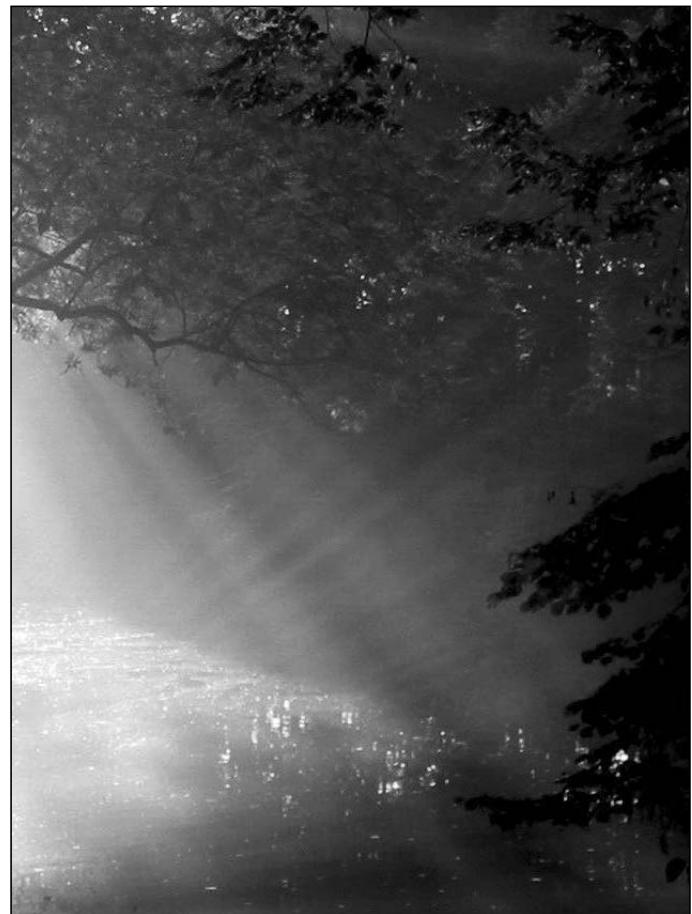


Abb. 8: Lichtstrahlen, die durch Lichtstrahlen gekreuzt werden.

physikalischem Wissen von großem Wert sind. Ganz ähnlich wie bei kunsthistorischen Bildbeschreibungen macht eine „physikalische“ Bildbeschreibung deutlich, dass entgegen dem in den Vorlesungen vermittelten Bild bei der Anwendung von physikalischem Wissen auf nichtphysikalische Kontexte ein Teil der Probleme in der korrekten Erfassung der Situation liegen. Sie kann daher als eine besondere Möglichkeit angesehen werden, den Umgang mit solchen Problemen einzuüben.

Wir haben uns hier auf die Beschreibung von Fotografien beschränkt. Naturphänomene mit physikalischem Hintergrund findet man aber auch auf Gemälden, Postkarten und anderen bildlichen Darstellungen. Bildbeschreibungen von Gemälden [3] bieten über den rein physikalischen Aspekt hinausgehend die Möglichkeit, Interesse für die Kunst zu wecken und Betrachtungen von Gemälden physikalisch zu vertiefen.

Literatur

[1] Schlichting, H. Joachim: Das Schwert der Sonne – Alltägliche Reflexionen im Lichte eines einfachen optischen Phänomens. I. Lichtbahnen auf dem Wasser. MNU 51/7 (1998), S. 387-397; ders.: Das Schwert der Sonne – Alltägliche Reflexionen im Lichte eines einfachen optischen Phänomens. II. Lichtbahnen in alltäglichen Situationen. MNU 52/6 (1999), S. 330-336.

[2] Calvino, Italo: Herr Palomar, München, dtv 1988, S.18.

[3] Schlichting, H. Joachim, Nordmeier, Volkhard: Physik im Spiegel der Kunst aufgezeigt an ausgewählten Gemälden. Physik in der Schule 36/10 (1998), 346-350

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. H. Joachim Schlichting, Institut für Didaktik der Physik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, D-48149 Münster, E-Mail: schlichting@uni-muenster.de