

Hans Joachim Schlichting

Licht und Farbe in Natur und Alltag

Faszinierende optische
Phänomene entdecken

Spektrum
der Wissenschaft

SACHBUCH



Springer

Licht und Farbe in Natur und Alltag

Hans Joachim Schlichting

Licht und Farbe in Natur und Alltag

Faszinierende optische Phänomene
entdecken

 Springer

Hans Joachim Schlichting
Institut für Didaktik der Physik
University of Münster
Münster, Deutschland

ISBN 978-3-662-70445-5 ISBN 978-3-662-70446-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-70446-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2025

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor*innen und die Herausgeber*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor*innen oder die Herausgeber*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Caroline Strunz

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

Inhaltsverzeichnis

Teil I Alles dreht sich um die Sonne

1 Immer der Sonne entgegen	5
1.1 Ein ehrgeiziges Unternehmen	5
1.2 Wir starten gen Osten	6
1.3 Auf das Datum kommt es an	7
Literatur	11
2 Sonntaler – Abbilder der Sonne	13
2.1 Sonntaler unter dem Blätterdach von Bäumen	13
2.2 Zur Rolle der Sonntaler in der neuzeitlichen Physik	15
2.3 Sonntaler in unterschiedlichen Kontexten	18
2.4 Sonntaler verweisen auf die Randverdunklung der Sonne	31
Literatur	36
3 Sonnenlicht – gestreut, reflektiert, gebrochen	37
3.1 Der blaue Himmel und der Sonnenaufgang in einem Opal	37
3.2 Rote Sonne am helllichten Tage	41
3.3 Ein langer verlustreicher Weg durch die Atmosphäre	42
3.4 Himmelblaue Augen	43
3.5 Erhabener Sonnenuntergang mit erhobener Sonne	43
3.6 Wenn die Luft zum Spiegel wird	45

VI Inhaltsverzeichnis

3.7	Der grüne Strahl	48
3.8	Die blaue Stunde	51
3.9	Geheimnisvoller blauer Strahl	54
	Literatur	58
4	Das „Schwert der Sonne“ – eine bewegliche Lichtbahn	59
4.1	Reflexionen an rauen Oberflächen	59
4.2	Bewegliche Lichtbahnen auf unbeweglichen Flächen	64
4.3	Ein Baum mit runden Zweigen?	68
4.4	Das Sonnenkreuz am Berliner Fernsehturm	70
4.5	Seltsame Schattenlinien	71
	Literatur	73
5	Polarisiertes Licht im Alltag	75
5.1	Kann man polarisiertes Licht sehen?	75
5.2	Transparente Blumenfolie verschafft Durchblick	79
5.3	Ein transparenter Plastikbecher erstrahlt in Farben	81
5.4	Polarisationsfarben einer Eisscholle	82
	Literatur	83
6	Mondbegegnungen im Alltag	85
6.1	Mondphasen im Apfelbaum	85
6.2	Schließt der Mond?	90
	Literatur	94

Teil II Fenster – Einblick, Ausblick, Durchblick

7	Fenster zwischen Transmission und Reflexion	99
7.1	Beobachten und beobachtet werden	99
7.2	Verwirrende Fensterspiegelungen	101
7.3	Dominierende Reflexionen	103
7.4	Reale und virtuelle Einblicke können verwirren	104
8	Lichtkreuze in Lichtkreisen	107
8.1	Gekrümmte Scheiben	107
8.2	Ein einfaches Modell einer Doppelglasscheibe	110

8.3	Getönte Scheiben geben Aufschluss	111
8.4	Die Doppelglasscheibe als „Barometer“	112
8.5	Lichtkreuz im Quadrat	113
8.6	Sternförmige Lichtkreise	114
8.7	Deformierte Spiegelungen	115
	Literatur	118
9	Wenn Fenster auf Kipp stehen	119
9.1	Fenster als Sonnenstrahlteiler	119
9.2	Die gespiegelte Sonne schaut aus dem falschen Fenster	120
9.3	Ein Fenster – zwei Abbildungen	124
10	Fensterglasfarben	127
10.1	Die grüne Unendlichkeit	127
10.2	Farben in der Spiegelwelt	129
10.3	Lichtspiele auf der Rollladenrückseite	132
10.4	Bunte Schlieren am Fenster	136
10.5	Hinter farbigen Gardinen	138
	Literatur	140
11	Physik am Flugzeugfenster	141
11.1	Strukturen und Farben	141
11.2	Fenstergitter, die man nicht sieht	144
11.3	Kratzer um die Sonne	149
	Literatur	150
12	Tropfnasse Fensterscheiben	151
12.1	Regentropfen am Fenster	151
12.2	Optische Tropfenexplosion	152
 Teil III Wasser und Licht		
13	Farben des Wassers	157
13.1	Blau wie das Meer	157

13.2	Zum Horizont hin wird es heller	161
14	Welliges Wasser	165
14.1	Lichtbahnen über den Wellen	165
14.2	Farbige Netzwerke im Wasser – aus Licht geknüpft	168
14.3	Ringwellen auf dem Wasser	171
14.4	Moiré-Muster im welligen Wasser	173
	Literatur	177
15	Schatten im Wasser	179
15.1	Farbige Schattensäume im schmutzigen Wasser	179
15.2	Bizarre Unterwasserschatten	181
15.3	Schatten und Spiegelung im Wasser	184
15.4	Ein Lichtblick im Schatten	185
	Literatur	186
16	Brechungen im Wasser	187
16.1	Schwankende Unterwasserwelt	187
16.2	Das weiche Wasser bricht den Stein	191
16.3	Transparenz durch Nässe	192
	Literatur	196
17	Reflexionen im Wasser	197
17.1	Moderne Kunst im Hafenbecken	197
17.2	Reflexionen in und über eine gewöhnliche Wasserpfütze	200
	Literatur	202
18	Halbblasen auf dem Wasser	203
18.1	Platzende Blasen und ihre optischen Spuren	203
18.2	Ein gefrorener Teich mit blauen Augen	205
18.3	Blasen im Eis kopieren Gegenstände in leuchtend hellen Farben	206
18.4	Himmelblaue Blasen auf dem Teich	207
	Literatur	208
19	Unscheinbare Grenze im Fluss	209
	Literatur	213

Teil IV Lichtbilder – zwischen Reflexion und Schatten

20 Die Welt der Schatten	219
20.1 Erst der Schatten vermittelt die Bodenhaftung ...	219
20.2 Orientierung an Schatten	220
20.3 Schattentheater am Himmel	225
20.4 Schatten ermöglichen Durchblick	227
20.5 Transparenz durch Schatten	228
20.6 Schatten ermöglichen Spiegelungen	229
Literatur	231
21 Schattenspiele	233
21.1 Lange Schatten	233
21.2 Flüchtige Schatten	234
21.3 Luftige Schatten	235
21.4 Ein Schatten dominiert seinen Werfer	237
21.5 Auch Kondensstreifen werfen Schatten	238
21.6 Schattenpuzzle vor einer Fensterscheibe	239
21.7 Schatten durch Wasser auslöschen	241
22 Spiegelungen	243
22.1 Spiegelung und Symmetrie	243
22.2 Zugleich diffus und spiegelnd	244
Literatur	245
23 Schatten und Spiegelung	247
23.1 Doppelschatten	247
23.2 Der zweite Schatten steht kopf	250
23.3 Schatten in mehreren Ebenen	252
23.4 Spiegelsonne und Spiegelschatten	253
24 Schatten, Bild und Spiegelung	255
24.1 Zwei Abbilder	255
24.2 Eine Spiegelwelt unter dem Fußboden	256
24.3 Die Spiegelwelt und ihr Schatten	260
24.4 Fallende Tropfen und ihre Schatten	262
24.5 Eine Hand als Reflektor	263

X Inhaltsverzeichnis

25	Spiegelnde Reflexionen	265
25.1	Mobile Schönheiten bei Licht besehen	265
25.2	Die Karosserie als Projektionswand und Spiegel	267
25.3	Wozu sind diese Spiegel zu gebrauchen?	269
25.4	Kugelleuchte mit schwebender Lichtkugel	270
26	Farbige Schatten	273
26.1	Blauer Schatten bei Sonnenuntergang	273
26.2	Farbige Doppelschatten am Abend	274
26.3	Die hellen Schatten der Dunkelheit	276
27	Licht im Schatten	279
27.1	Abgeschnürte Schatten	279
27.2	Ein Ball mit drei Unterwasserschatten	281
27.3	Das Leonardo Kreuz im flachen Wasser	282
27.4	Im Schatten einer Kerzenflamme	285
	Literatur	289

Teil V Vom Regenbogen zum Heiligenschein

28	Von Tropfen und Bögen	293
28.1	Die Jagd auf den Regenbogen	293
28.2	Lichtbrechung und Reflexion im Wassertropfen	294
28.3	Ein Regenbogen verfängt sich in der Spinnewebe	297
28.4	Regenbögen im Nebel	298
28.5	Verdopplung des Regenbogens durch die reflektierte Sonne	300
28.6	Der Schatz am Ende des Regenbogens	302
28.7	Ein Regenbogen ohne Regentropfen	304
28.8	Eine Trinkflasche mit Regenbogenfarben	306
	Literatur	308
29	Glitzernde Tautropfen in der Morgensonne	309
	Literatur	312
30	Irdische Heiligenscheine	313
30.1	Der Heiligenschein auf der grünen Wiese	313
30.2	Der technische Heiligenschein	316

30.3	Heiligenschein und Taubogen	318
30.4	Künstlicher Heiligenschein oder Regenbogen?	320
30.5	Der Strahlenkranz im sonnigen Wasser	321
30.6	Der Heiligenschein im ungetrübten Wasser	324
	Literatur	325
31	Hinter Gittern	327
 Teil VI Strukturfarben		
32	Dünne Schichten und satte Farben	333
32.1	Lebendige Juwelen	333
32.2	Wie man sich unsichtbar macht	338
	Literatur	341
33	Farben auf einer Seifenhaut	343
33.1	Zur Entstehung von Seifenlamellen	343
33.2	Farbenprächtige Wirbel auf einer Seifenblase	347
33.3	Brillanter Schaum in der Kaffeetasse	348
33.4	Die irisierende Schönheit einer Schleimspur	349
33.5	Irisierende Farben durch große Hitze	350
33.6	Die Welt des Kleinen und Hässlichen – ganz groß und schön	352
33.7	Ein irisierender Biofilm im Eis	353
33.8	Irisierende Spalten	354
	Literatur	356
34	Strukturfarben durch gebeugtes Licht	357
34.1	Vom farbenschillernden Nebel zur Korona	357
34.2	Korona einer Straßenlaterne	362
34.3	Schwarze Punkte machen farbige Ringe	363
34.4	Ein bunter Schmutzeffekt	364
34.5	Queteletsche Spielereien durch Spiegeleien	368
	Literatur	370

XII Inhaltsverzeichnis

35 Umkränzte Kopfschatten	371
35.1 Farbringe auf dem Wasser	371
35.2 Wenn der Heiligenschein zur Glorie wird	376
Literatur	377
36 Strukturfarben einer Compact Disc	379
36.1 Eine CD im Sonnenlicht	379
36.2 Das durchdringende Licht einer transparenten CD	382
Literatur	385
37 Weitere Strukturfarben in der Natur	387
37.1 Schillernde Spinnennetze	387
37.2 Reflexion und Lichtbeugung in den Haarbüscheln der Distelsamen	393
37.3 Nebel mit Baumkorona	394
Literatur	396

Teil VII Täuschung und Enttäuschung

38 Die vielen Gesichter der Täuschung	401
38.1 Täuschung in der Malerei	401
38.2 Täuschende Perspektiven	403
38.3 Mehr Schein als Sein	406
38.4 Wenn spiegelnde Flächen Realität vortäuschen	408
38.5 Bilder wie aus dem Nichts geschöpft	410
38.6 Täuschungen der Täuschungen	412
38.7 Reale Kippfiguren im Alltag	415
38.8 Hohlköpfe mit stechendem Blick	417
38.9 Die lange Leitung	420
38.10 Schau nicht so genau hin	424
Literatur	428
39 Eingebildete Farben	429
39.1 Schönheit im Auge des Betrachters	429
39.2 Mangelnde Farbechtheit	433
39.3 Die ausgetricksten Augen	436
39.4 Mischung und Entmischung von Licht durch große Nähe	438

39.5	Mischung und Entmischung von farbigem Licht durch Bewegung	440
39.6	Warum die Sonne (k)ein Loch in die Welt brennt	445
39.7	Sonne und Vollmond in trauter Eintracht	447
39.8	Schneeflocken mal hell, mal dunkel	448
	Literatur	450
40	Ein tiefer Blick ins Glas	451
40.1	Der an Trinkgläsern gebrochene Blick	451
40.2	Aus eins mach drei	455
40.3	Schatten eines transparenten Weinglases	457
40.4	Spiegelnde Trinkgläser	458
	Literatur	459
41	Der Blick in die Kugel	461
	Literatur	465

Teil I

Alles dreht sich um die Sonne

Alles dreht sich um die Sonne

Alles nimmt beim Sonnenlicht seinen Anfang (Abb. 1). Das gilt nicht nur für das Leben auf der Erde als solches, sondern insbesondere für optische Natur- und Alltagsphänomene. Daher gehen wir erst einmal der Sonne entgegen und schauen, was uns dabei widerfährt. Auch wenn unsere Augen einem Wort Goethes zufolge sonnenhaft sind, müssen wir uns dabei allerdings davor schützen, direkt in die hochstehende Sonne zu blicken.

Wir beschränken uns zunächst darauf, nur den Weg der Sonne zu verfolgen, indem wir ihr vom Aufgang bis zum Untergang (hauptsächlich gedanklich folgen, um uns im Anschluss daran einige der Phänomene anzuschauen, die die Sonne auf ihrem täglichen Weg hervorruft.

Dazu betrachten wir als erstes die sogenannten Sonnentaler, jene kreis- oder meist ellipsenförmigen Abbilder, in denen die Sonne ihre Allgegenwart zum Ausdruck bringt. Sie sind vornehmlich unter dem Blätterdach von Bäumen, aber auch hinter anderen sonnenbeschienenen Öffnungen zu beobachten. Sie kommen im Alltag so häufig vor und sind daher so selbstverständlich, dass viele Menschen sich daran gewöhnt haben und in ihnen nichts Besonderes sehen. Erst wenn sie darauf aufmerksam werden und die Sonnenbilder bewusst wahrnehmen, sehen sie das Phänomen oft wie zum ersten Mal. Dabei wurden Sonnentaler bereits von Aristoteles beobachtet und beschrieben, auch wenn sie damals noch nicht so hießen. Ihr Zustandekommen konnte aber erst circa 2000 Jahre später von Johannes Kepler im Sinne der neuzeitlichen Physik erklärt werden.



Abb. 1 Sonnenaufgang im Winter. Die in dieser Jahreszeit meist tief stehende und auch nicht besonders lange ausdauernde Sonne muss einen langen Weg durch die Atmosphäre zurücklegen und erscheint daher häufig in gelb und rot getönter Umgebung

Wenn man die Sonnentaler etwas allgemeiner fasst und das Phänomen auch auf künstliche Lichtquellen bezieht, so ergeben sich zahlreiche weitere Alltags- und Naturphänomene, denen dieses Phänomen einer speziellen Lochkameraabbildung zugrunde liegt.

Bevor die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche erreichen, müssen sie die Erdatmosphäre durchdringen. Das geht nicht ohne Wechselwirkungen mit der Atmosphäre einher. Vom Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang führen sie zu einer Vielzahl eindrucksvoller Erscheinungen, von denen im Folgenden einige beschrieben werden.

Wir beginnen mit dem Tageslicht. Es ist den meisten Menschen so vertraut, dass ihnen gar nicht klar ist, es mit den Ergebnissen komplexer und subtiler Wechselwirkungen des Sonnenlichts vor allem mit der Atmosphäre zu tun zu haben. Das Tageslicht stellt nämlich eine Art indirekter Beleuchtung dar, die uns davor bewahrt, dass es – ähnlich wie auf dem Mond – dunkel wird, sobald die Sonne hinter irgendeinem Hindernis verschwindet. Selbst der Mond als solcher ist auf das Sonnenlicht angewiesen, auch wenn es manchmal so scheint, als würde er an der Sonne „vorbeiblicken“.

Das Sonnenlicht hinterlässt seine Spuren in und an vielen Gegenständen in der natürlichen und wissenschaftlich-technischen Welt. Es wird u. A. reflek-

tiert, absorbiert und gebrochen und dabei so verändert, dass man den dadurch hervorgebrachten Phänomenen nicht auf Anhieb ihren solaren Ursprung ansieht. Solchen meist gar nicht bewusst wahrgenommenen Erscheinungen sind wir im Folgenden auf der Spur. Ihre Zahl ist so groß, dass allein die Wechselwirkungen des Lichts mit Glasfenstern und ähnlichen Objekten in einem eigenen Kapitel untergebracht werden mussten.



1

Immer der Sonne entgegen

*„Wo käm' man da eigentlich hin? Wenn man immerfort
,Der Sonn' entgegen' ginge?“ „Von morgens an? –
Na, da würd's'De abends wieder am Ausgangspunkt sein.“*

(Schmidt 1970)

1.1 Ein ehrgeiziges Unternehmen

So einfach ist es dann doch nicht, wie auch die Freunde in Arno Schmidts Erzählung „Der Sonn' entgegen“ (Schmidt 1970) bei näherer Betrachtung schnell feststellen. Die Probleme beginnen schon an der Haustür: Sieht man von dort aus überhaupt, wo am Morgen die Sonne aufgeht? Und wenn ja: Wie kommt man über die Hindernisse hinweg, die sich beim direkten Weg in Richtung Sonne in den Weg stellen? (siehe Abb. 1.1)



Abb. 1.1 Die Sonne geht auf und wir gehen auf die Sonne zu. Allerdings stellen sich zuweilen Hindernisse in den Weg

1.2 Wir starten gen Osten

Es zeigt sich sehr bald, dass wegen der materiellen Hürden das Unternehmen wohl vor allem gedanklich und mit dem Finger auf der Landkarte durchgeführt werden kann. Wir starten also in Gedanken bei Sonnenaufgang von Arno Schmidts langjährigem Haus im Heidedorf Bargfeld und gehen mit konstantem Tempo immer in Richtung Sonne. Da wir auch in der Wahl des Tages frei sind, wählen wir zunächst den 21. März 2013 (siehe Abb. 1.2).

Zuerst gehen wir also nach Osten, holen dann nach Süden aus und wandern schließlich nach Westen. Das klingt zunächst nach einem Halbkreis. Aber die Krümmung des Wegs ist nicht stets dieselbe, obwohl sich die Sonne gleichmäßig auf ihrer Bahn bewegt. Während sie am Morgen aufsteigt, ändert sie ihre Richtung nur wenig. Gegen Mittag, wenn sie nahezu horizontal zu ihrer südlichsten Position wandert, ist ihre Richtungsänderung pro Zeiteinheit am größten. Schließlich, während sie genau im Süden ihren höchsten Punkt einnimmt, erreichen wir den östlichsten Punkt unserer Wanderung. Ab jetzt sinkt die Sonne dem westlichen Untergangspunkt zu. Entsprechend krümmt sich unser Weg nach Westen zurück, erst stärker und dann immer schwächer. Wir laufen also keinen Halbkreis ab, sondern ein halbes Oval.

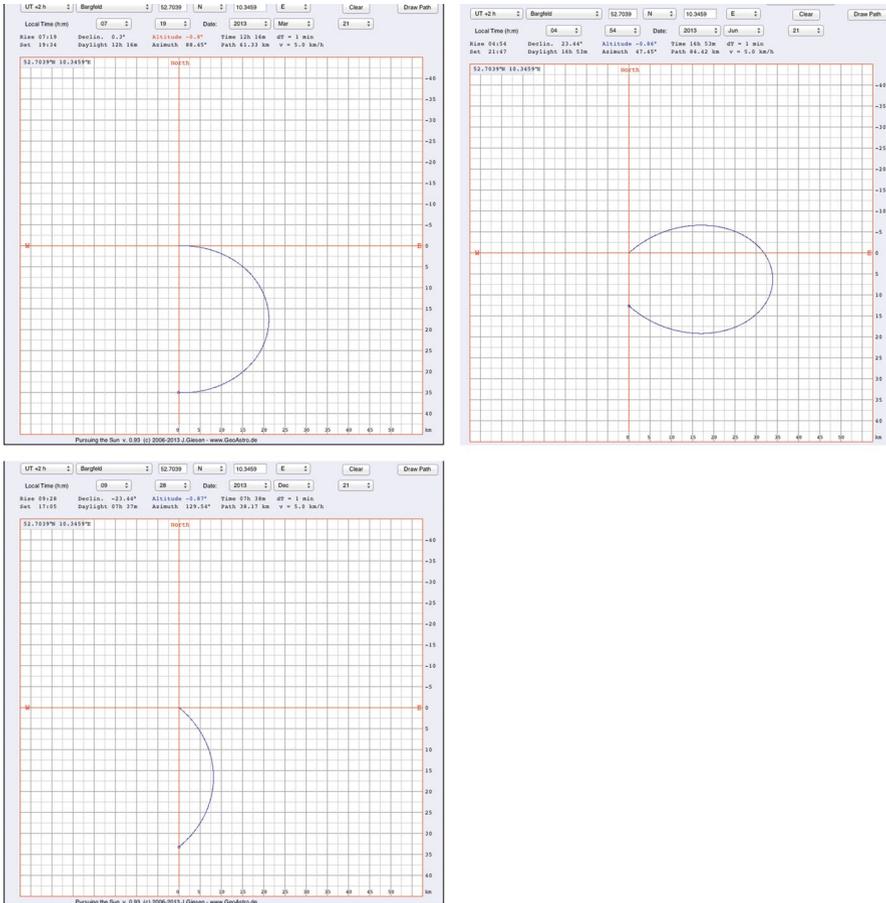


Abb. 1.2 Es macht einen erheblichen Unterschied, ob man im Frühling, Sommer oder Winter der Sonne entgegengieht. Die zu laufenden Bögen unterscheiden sich deutlich in ihrer Länge und Form

1.3 Auf das Datum kommt es an

Es ist leicht zu erkennen, dass im Sommer – selbst wenn man wollte – der Plan, die Wanderung wirklich durchzuführen, schon aufgrund der langen Zeitspanne zwischen Sonnenauf- und -untergang unrealistisch ist. Bereits zu Frühlingsbeginn am 20. März wäre man von Bargfeld aus genau zwölf Stunden unterwegs und hätte bei einer für sportliche Wanderer typischen Geschwindigkeit von fünf Kilometern pro Stunde einen Weg von insgesamt

60 km zurückzulegen. Da die Sonnenscheindauer im Sommer 16 und mehr Stunden erreicht, würde wohl selbst ein geübter Wanderer schlapp machen.

Will man einen Sonnenpfad nachzeichnen, muss man aber so oder so raus ins Freie und sich einen sonnigen Platz mit freien Horizonten suchen. Dort richtet man eine Wanderkarte (Maßstab 1:50.000) nach Norden aus, hält den Startpunkt auf ihr fest und markiert schließlich zu jeder vollen Stunde den Punkt, den man wandernd erreicht hätte. Dieser lässt sich mit einem dünnen Stift feststellen, den man in einem Zentimeter Entfernung entsprechend fünf Kilometern senkrecht aufstellt – und zwar genau so, dass sein Schatten auf den vorhergehenden Punkt fällt. Der neue Punkt ist dann wieder Ausgangspunkt für den nächsten Streckenabschnitt.

Aber auch diese Arbeit kann man sich sparen. Programme wie jenes von Jürgen Giesen (Giesen 2026) erledigen das für uns. Außerdem berechnen sie, wie der Sonnenweg zu anderen Jahreszeiten, in nördlicheren oder südlicheren Gefilden und bei unterschiedlichen Wandergeschwindigkeiten aussehen würde. Was sie quantitativ leisten, kann man sich jedoch auch einfach selbst überlegen. Zum Frühlingsanfang beispielsweise startet man genau gegen Osten (Abb. 1.2 oben links). Im Verlauf des Frühlings verschiebt sich die Startrichtung dann immer mehr nach Nordosten. Man geht also in einem stark gerundeten Bogen, der nach Süden ausholt und schließlich in nordwestliche Richtung weist (Abb. 1.2 oben rechts). Zu Herbstbeginn verläuft der Weg wie am Frühlingsanfang. Noch später im Jahr läuft man immer mehr in südöstlicher Richtung los und geht nachmittags dem Sonnenuntergang in südwestlicher Richtung entgegen. Bei Winteranfang ist die Form des Weges am flachsten (Abb. 1.2 unten).

Übrigens könnte man sich jeweils die halbe Strecke sparen, wollte man nur deren Form wissen. Denn natürlich überträgt sich die Symmetrie der Sonnenbahn mit der Kulmination am Mittag auf den Wanderweg, der nachmittägliche Weg ist also genau spiegelbildlich zu dem am Vormittag.

Je weiter man sich zu einer Sommersonnenwanderung in südliche Breiten begibt, desto steiler steht die Sonne mittags am Südhimmel. Wer eine entsprechende Tour am Äquator durchführt, erblickt die Sonne aber schon im Norden. Dazwischen muss es also einen Breitenkreis geben, wo die Sonne im Lauf des Vormittags senkrecht nach oben steigt, bis sie mittags im Zenit genau über uns steht.

Doch dies gilt nur an einem Tag des Jahres, denn die Sonne bewegt sich un-aufhörlich weiter, je nach Jahreszeit in Richtung Norden oder Süden.

Sonst könnte man an diesem Tag in exakt gerader Linie auf die Sonne zu-laufen – und auf demselben Weg wieder zurückgehen. Tatsächlich verläuft der Weg keineswegs so linear. Startet man am 21. Juni auf dem nördlichen

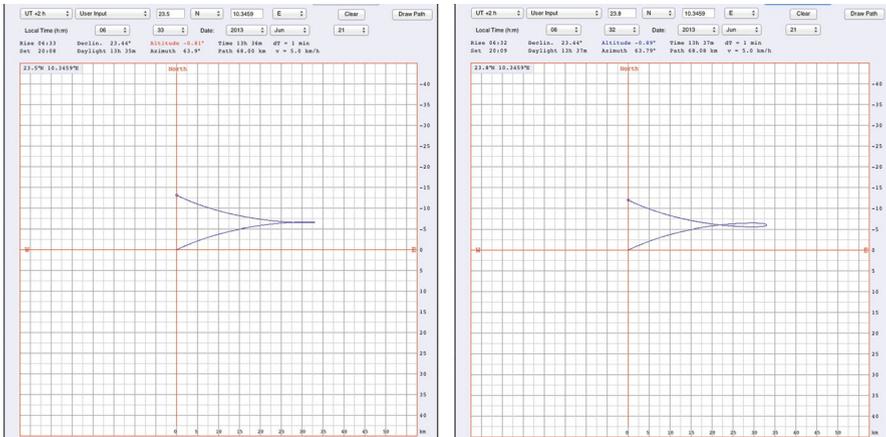


Abb. 1.3 Auf dem nördlichen Wendekreis kehrt man mittags zunächst auf demselben Weg zurück, dann laufen die Wege auseinander (links). Knapp nördlich des Wendekreises wandert man auf einer Schleife (rechts)

Wendekreis, der auf der Breite $23,5^\circ$ liegt, so kehrt man nachmittags zunächst auf etwa demselben Weg zurück; mit der Zeit laufen die Wege dann aber doch auseinander (Abb. 1.3 links). Zwischen Start- und Zielpunkt liegen schließlich rund 13 km. Noch kurioser wird es, wenn wir am 21. Juni etwas nördlich des Wendekreises starten und der Weg zu einer Art Schleife entartet: Während wir am späten Nachmittag in nordwestliche Richtung zurückgehen, kreuzen wir den Weg, den wir am Vormittag gegangen sind (Abb. 1.3, rechts).

Schon aus praktischen Gründen drängt sich die folgende Frage auf: Gibt es Möglichkeiten, die Wanderung dort zu beenden, wo man morgens losgelaufen ist? Wer etwas nördlich des Wendekreises startet, kommt noch weiter im Norden an. Wer in unseren Breiten losläuft, kommt südlicher an. Dazwischen muss es also einen Weg geben, auf dem wir genau zu unserem Startpunkt zurückkämen. Seine Breite liegt am 21. Juni bei $30,4^\circ$ (Abb. 1.4 links). Im hohen Norden tritt das Phänomen ebenfalls auf: Bei etwa 65° , also nahe dem Polarkreis, ist man abends wieder da, wo man morgens aufgebrochen ist (Abb. 1.4 rechts).

Bislang haben wir uns bei unseren virtuellen Wanderungen auf Geschwindigkeiten beschränkt, die sich zu Fuß bewältigen lassen. Steigen wir aber ins Flugzeug, ergeben sich ganz neue Perspektiven, denn dann schlagen die Veränderungen von geografischer Länge und Breite, die wir bei einem Fußmarsch näherungsweise als konstant ansehen konnten, voll zu Buche. Da sich das Flugzeug der Sonne noch etwas schneller „entgegenredt“ als die Erde selbst, würde sich beim Flug nach Osten der Aufstieg der Sonne zum

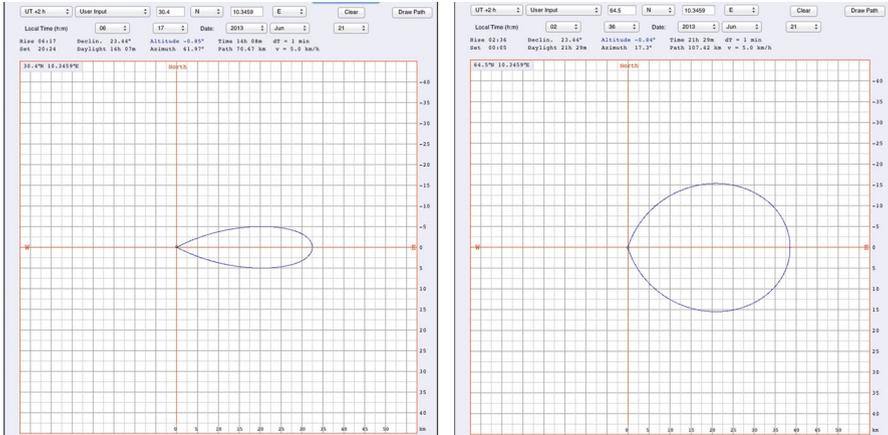


Abb. 1.4 Wer an seinen Ausgangsort zurückkommen möchte, muss bei 30,4 oder 64,5° losgehen. Man kann auch schneller laufen, dann holt man aber nur weiter aus (Abb. 1.5)

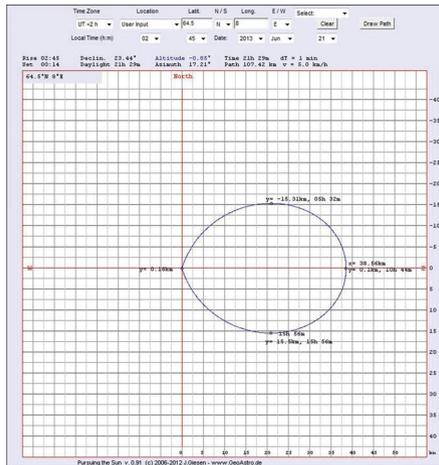


Abb. 1.5 Schneller zu laufen, bringt keine Vorteile, weil man dadurch nur weiter ausholt

Zenit spürbar beschleunigen, während sich in Gegenrichtung der Sonnenuntergang entsprechend verzögerte.

Richtig kompliziert wird der Sonnenweg dadurch, dass sich in der Zwischenzeit auch der jeweils überflogene Breitengrad ganz erheblich verändern würde. Der Sonn' „immerfort“ entgegenzuwandern, erweist sich also mehr als intellektuelle Tätigkeit denn als romantische. Schon Arno Schmidt sah bei näherer Betrachtung erhebliche Probleme voraus, weil „astronomi-

scherseits ... Begriffe wie exakter Sonnenauf- und -untergang; Morgen- beziehungsweise Abendweite reichlich ins Spiel (kommen); von Azimut, Höhe, MEZ, Zeitgleichung ... ganz zu schweigen“ (Schmidt 1970).

Literatur

- Giesen, J. (2026). Der Sonn' entgegen. www.jgiesen.de/pursuit.
- Schmidt, A. (1970). Der Sonn' entgegen. In: Schmidt, A. Orpheus. Erzählungen (95ff). Frankfurt: Fischer.



2

Sonnentaler – Abbilder der Sonne

2.1 Sonntaler unter dem Blätterdach von Bäumen

Viele Menschen, die an einem strahlenden Sonnentag unter dem Blätterdach von Bäumen spazieren gehen oder sich im Schatten eines Baumes ausruhen, entdecken normalerweise nichts Besonderes in den ineinander verwobenen Licht- und Schattenstrukturen, die den Boden und andere Gegenstände bedecken (Abb. 2.1).

Ein Phänomen wird daraus meist erst dann, wenn die Lichtquelle ihre Form ändert, wie bei der teilweise bedeckten Sonne während einer Sonnenfinsternis oder wenn sich eine Wolke vor die Sonne schiebt und sie teilweise verdeckt. Man erkennt halbmondförmige Lichtgebilde im Schattenbereich der Bäume und wird sich vielleicht über diesen Umweg der normalerweise zu sehenden Kreis- bzw. Ellipsenform bewusst.



Abb. 2.1 Sonnentaler: Kleine Lücken im Blattwerk von Bäumen werfen zahlreiche Bilder der Sonnenscheibe auf den Boden

2.2 Zur Rolle der Sonntaler in der neuzeitlichen Physik

Sonntaler sind wie andere Licht- und Schattenphänomene seit dem Altertum Gegenstand geometrischer Überlegungen. Sie widerstanden lange einer im heutigen Verständnis konsistenten physikalischen Beschreibung. Dazu war es notwendig, das schon früh unterstellte Prinzip einer geradlinigen Lichtausbreitung in Einklang zu bringen mit den hinter beliebig geformten Öffnungen auftretenden runden Abbildern. Die Lösung dieses Problems gelang schließlich Johannes Kepler (1571–1630), der an sich eher mit der Astronomie in Verbindung gebracht wird als mit der Optik.

Die drei Keplerschen Gesetze gelten zu Recht als revolutionär. Indem Johannes Kepler für die Bewegungen der Planeten physikalische Ursachen annahm, deren Ursprung in der Sonne liegt, lieferte er entscheidende Argumente für das heliozentrische Weltbild. Die Planetengesetze wiederum waren eine wesentliche Voraussetzung für eine quantitative Naturbeschreibung, auf der Isaac Newton (1642–1726) die klassische Physik begründen konnte. Seitdem gibt es keinen Unterschied mehr zwischen himmlischer und irdischer Physik.

Diese neuzeitliche Auffassung der Physik ist vermutlich entscheidend dafür gewesen, dass Kepler das Sonntalerproblem lösen und damit die geometrische Optik zu einem bis heute gültigen Abschluss bringen konnte (sieht man einmal von der späteren quantitativen Formulierung des Brechungsgesetzes ab).

Wie kam Kepler zu den Sonntalern? Seit Mitte des 16. Jahrhunderts wurde als Beobachtungstechnik für Sonnenfinsternisse vorgeschlagen, den gefährlichen direkten Blick in die Sonne zu vermeiden, indem man ein Lochkamerabild des Vorgangs auf einer Leinwand beobachtet. Denn schon lange vor Kepler war bekannt: Fällt Licht eines hellen Objekts durch eine wie auch immer geformte kleine Öffnung, entsteht hinter dieser eine Abbildung von der Form der Lichtquelle (Abb. 2.2).

Das genaue Prinzip dahinter blieb aber rätselhaft. Bereits in der pseudoaristotelischen Schrift *Problemata Physica* fragt sich der Autor zum einen: „Warum erzeugt die Sonne, wenn sie durch viereckige Gebilde dringt, nicht rechteckig gebildete Formen, sondern Kreise?“, und zum anderen: „Warum treten bei Sonnenfinsternis, wenn man durch ein Sieb oder durch Blätterlücken sieht, oder wenn man die Finger der einen Hand mit denen der anderen verflechtet, die Sonnenstrahlen auf der Erde halbmondförmig in Erscheinung?“ (Aristoteles 1962).



Abb. 2.2 Sichelförmige Sonnentaler im Schatten eines Baumes bei einer partiellen Sonnenfinsternis

Letztlich geht es dabei um das Problem, wie sich die geradlinige Ausbreitung des Sonnenlichts mit dem Befund vereinbaren lässt, dass es sich selbst beim Durchgang etwa durch ein rechteckiges Loch zu einem kreisförmigen Fleck krümmt. Bemühungen um eine Lösung ziehen sich wie ein roter Faden durch die zweitausendjährige Geschichte der Strahlenoptik. Die Kepler vorliegenden Arbeiten des Mittelalters hinterlassen den Eindruck, Schuld seien die Unzulänglichkeit des Auges und die Art und Weise des Sehens. Der bereits in wesentlichen Aspekten neuzeitlich denkende Kepler erkannte in derartig „ungehörigen und in der Optik nicht anerkannten“ Begründungen keine erhellenden Erklärungen und befasste sich intensiver mit der Problematik (Kepler 1922).

Man könnte sich fragen, warum Kepler das Problem für so wichtig hielt. Er hätte ja wie seine Kollegen die erfolgreiche Beobachtungsmethode von Sonnenfinsternissen einfach akzeptieren können, ohne sie bis ins Detail verstehen zu müssen. Doch er wurde von dem Astronomen Tycho Brahe (1546–1601) mit einem merkwürdigen Problem konfrontiert. Bei der Sonnenfinsternis am 25. Februar 1598 erschien der Neumond „nicht in der Größe, die er zu anderen Zeiten bei Vollmond hat“ (zit. nach Schlichting 1995). Für Kepler, der zutiefst von der Gültigkeit der Himmelsmechanik überzeugt war und insbesondere die Bahnen und Größen der Himmelskörper für unveränderlich hielt, waren Ansätze völlig inakzeptabel, die zum Beispiel einen bei Sonnenfinsternissen schrumpfenden oder sich entfernenden Mond voraussetzten.

Kepler suchte stattdessen den Fehler in der Beobachtungsmethode und entwickelte ein einfaches Modell, mit dem sich die Abbildung physikalisch rekonstruieren und anschaulich verstehen lässt. Auf der bewährten Grundlage des Strahlenmodells der geometrischen Optik nahm er an: Eine punktförmige Quelle sendet Strahlen radial in alle Richtungen aus. Fällt ihr Licht durch eine Öffnung, so erscheint diese in ihrer Form unverändert auf eine dahinter aufgestellte Leinwand projiziert – eine eckige Blende als ebenso kantige, helle Fläche. Doch die Sonne ist nicht punktförmig. Ein kreativer Gedanke bringt Kepler auf die Lösung. Er fasst eine ausgedehnte Lichtquelle als Ensemble unendlich vieler Punktquellen auf.

Lässt man davon ausgehend in einem Gedankenexperiment beispielsweise eine dreieckige Lichtquelle durch ein rundes Loch strahlen, so liegt die Lösung des Sonntalerproblems auf der Hand (siehe Abb. 2.3). Anhand einiger ausgewählter Punkte wird erkennbar: Die auf der Leinwand abgebildeten runden Löcher überlagern sich zu der dreieckigen Form des leuchtenden Objekts.

Diese Modellierung dürfte zu Keplers Zeiten recht kühn gewirkt haben. Denn einerseits war das unendlich Kleine noch nicht vertraut – die später von Newton und Gottfried Wilhelm Leibniz entwickelte Infinitesimalrechnung zeigte die damit verbundenen Vorstellungsschwierigkeiten. Andererseits wird eine ungestörte gegenseitige Durchdringung der Lichtstrahlen unterstellt, und das dürfte ebenso nicht selbstverständlich gewesen sein.

Die Lichtquelle zeigt ihren Umriss auf dem Schirm umso präziser, je kleiner das Loch ist. Dasselbe erreicht man mit zunehmendem Abstand zwischen

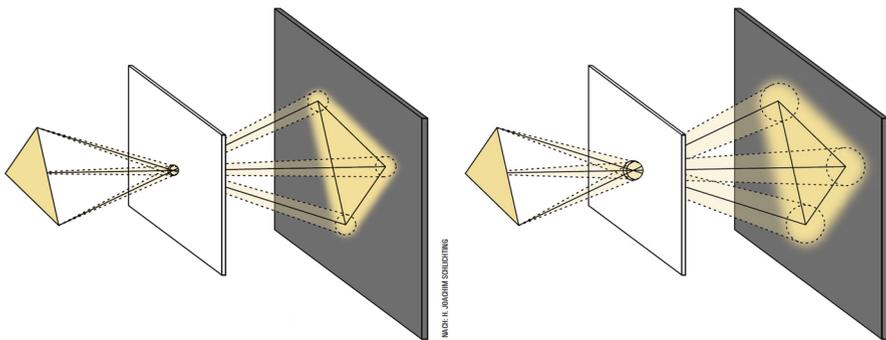


Abb. 2.3 Eine von einer dreieckigen leuchtenden Lichtquelle durchstrahlte Lochblende ruft auf einem dahinterliegenden Schirm eine hybride Abbildung hervor. Sie ähnelt umso mehr der eigentlichen Lichtquelle, je kleiner das Loch ist (links). Und sie nimmt umso mehr die Form des Loches an, je größer dieses ist, und/oder je näher der Schirm dem Loch ist. Hier wird das Dreieck gewissermaßen aus unendlich vielen Lichtflecken erzeugt. (Zur besseren Erkennbarkeit sind nur die Eckpunkte hervorgehoben.)

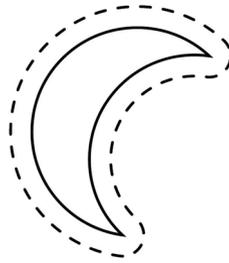


Abb. 2.4 Die Projektion einer Sonnenfinsternis wird am Rand vom Bild des Lochs überlagert. Dadurch wirkt der verdeckende Mond kleiner

Blende und Projektionswand, weil die Größe der Abbildung dabei schneller wächst als die von der Lochgröße bestimmte Randunschärfe.

So konnte Kepler die beobachtete Mondverkleinerung von 20 % als einen Beobachtungsfehler erklären (Abb. 2.4). Er beruhte darauf, dass der Schirm zu dicht hinter dem Loch angebracht und/oder dieses zu groß war. In Keplers Vorstellung der unendlich vielen Punktlichtquellen trat die Unschärfe zahlloser Bilder des Lochs so weit über den Rand der eigentlichen Sonnenprojektion, dass die Abbildung des Mondes teilweise überdeckt wurde und dieser daher kleiner erschien, als er ansonsten gemessen wurde. Ein leicht verwaschener Eindruck kann nie vollständig beseitigt werden, doch nach dieser Einsicht wurde es möglich, den Effekt zu beziffern und durch kleinere Löcher und weitere Abstände zu minimieren.

Heute mag uns die Lösung des Problems einfach erscheinen, aber sie war damals alles andere als selbstverständlich. Kepler musste eine völlig neue Herangehensweise entwickeln und die optischen Regeln seiner Vorgänger entsprechend überarbeiten. Später kam zwar heraus, dass Francesco Maurolico (1494–1575) bereits 1521 eine korrekte Erklärung gegeben hatte, allerdings konnte Kepler von ihr nichts wissen. Außerdem handelte es sich um eine relativ isolierte Beschreibung außerhalb eines einheitlichen theoretischen Rahmens.

2.3 Sonntaler in unterschiedlichen Kontexten

2.3.1 Sonntaler in der Wohnung

Manchmal findet man die Sonntaler nicht nur unter dem Blätterdach der Bäume, sondern in der Wohnung (Abb. 2.5 links). Wenn man nämlich bei starker Sonneneinstrahlung die Jalousien herunterzieht, fällt Sonnenlicht durch die rechteckigen Schlitze und reiht ganze Perlenketten ovaler Lichtflecken auf dem Boden und anderswo auf (Abb. 2.5 rechts).



Abb. 2.5 Das durch die Jalousieschlitze (rechts) fallende Sonnenlicht entwirft zahlreiche Sonntaler auf die Wand und den Boden (links)

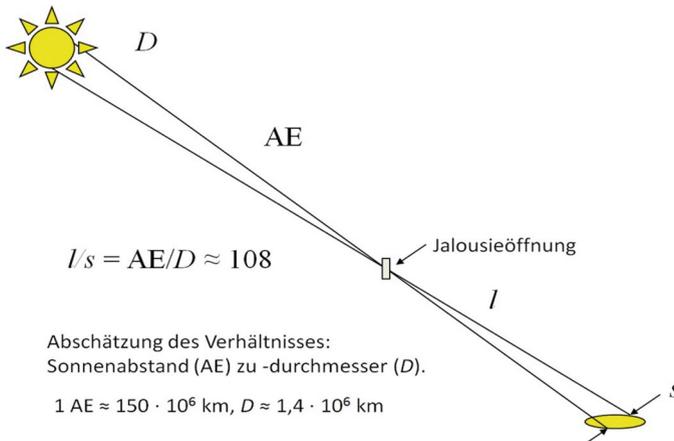


Abb. 2.6 Mit Hilfe des Strahlensatzes lässt sich zeigen, dass das Verhältnis des Abstands l des Sonntalers von der Jalousieöffnung zum (kleinen) Durchmesser des Sonntalers s gleich dem Verhältnis des Abstands der Sonne von der Erde AE zum Durchmesser D der Sonne ist

Dies ist eine gute Gelegenheit, sich die kosmische Dimension dieser unscheinbaren Lichtflecken vor Augen zu führen. Denn wie man sich anhand von Abb. 2.6 klarmachen kann, ist das Verhältnis des Sonntalerabstands l von der Jalousieöffnung zum kleinen Durchmesser des Sonntalers s gleich dem Abstandsverhältnis von Sonnenentfernung AE und Sonnendurchmesser D . Das kann ich messend erfassen, ohne das abgedunkelte Zimmer zu verlassen.