

Das Optikprojekt

Wie SchülerInnen der 4. Klasse im Optikunterricht ein Licht aufgehen soll

Claudia Haagen-Schützenhöfer

Seit dem Wintersemester 2010/11 setze ich mich mit der geometrischen Optik der Sekundarstufe I aus Sicht der Lehr- und Lernforschung auseinander. Die Frage, mit der ich mich beschäftige, klingt relativ banal, hat es aber bei genauerer Betrachtung so richtig in sich: Wie können Lernende bestmöglich unterstützt werden, sodass sie nach dem Optikunterricht die wichtigsten Konzepte der Unterstufenoptik verstanden haben und anwenden können?

Ausgangspunkt des Projekts war die Entwicklung eines Testinstruments zur Diagnose des Konzeptverständnisses von Lernenden. Dazu kam:

- Die Entwicklung von evidenz-basierten Lernmaterialien sowie die kapitelweise empirische Testung dieser Materialien.
- Die Befragung von Lehrkräften über ihre inhaltlichen Schwerpunkte im Optikunterricht.
- Schülerbefragungen "Was ist vom Optikunterricht hängen geblieben?" und schließlich
- eine Analyse der meist verkauften Schulbücher der 8. Schulstufe zum Thema Optik.

Und schließlich kann sich jeder bestimmt ganz leicht vorstellen, dass sich alle diese Teilprojekte gegenseitig beeinflussen. Wenn sich nun eine neue Erkenntnis einstellt (Haagen-Schützenhöfer 2013), wenn zum Beispiel in Schülerbefragungen herauskommt, dass viele Schüler der Meinung sind: „Weißes Licht? Ach so, Sie meinen Sonnenlicht oder so. Ja, das ist eigentlich gelb, aber in der Physik sagt man halt weiß dazu“, dann müssen natürlich alle Unterrichtsmaterialien überarbeitet und wieder erprobt werden und auch die Testbeispiele müssen angepasst werden und

Sie haben nun vielleicht eine Idee davon, dass so ein Projekt eigentlich nie wirklich fertig sein kann. In den letzten Jahren hat sich im Optikprojekt viel getan, wurde viel – dank unzähliger Kolleginnen und Kollegen – auch in der Schulpraxis pilotiert und erprobt. Im Folgenden versuche ich einen Überblick zu geben, wie sich das Optikprojekt entwickelt hat. Und ich hoffe Sie damit auch neugierig zu machen, sodass Sie vielleicht als Nächste Unterrichtsmaterialien oder Testbeispiele ausprobieren möchten.

Mag. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer hat an der Universität Graz Lehramt Physik und Anglistik studiert und über „Englisch als Arbeitssprache im Physikunterricht“ dissertiert. Von 2003 bis 2009 hat sie am BG/BRG Mürrzuschlag English, Physik, naturwissenschaftliches Labor und Projektmanagement unterrichtet und ist derzeit Universitätsassistentin am AECC Physik. E-Mail: claudia.haagen@univie.ac.at

Das Forschungsproblem: Warum gerade geometrische Optik?

Warum nicht? Immerhin nehmen wir unsere Umwelt überwiegend durch optische Eindrücke wahr. Da lohnt es sich jedenfalls genauer darüber Bescheid zu wissen. Geometrische Optik zu lernen ist schwierig, genauso schwierig wie es auch viele andere Bereiche der Physik sind. Trotzdem ist es wichtig, dass unsere Jugendlichen auch über optische Fragestellungen Bescheid wissen, bevor viele von Ihnen für immer vom Physikunterricht „befreit“ sind.

Auch der Lernbereich der geometrischen Optik hält physikalische Konzepte bereit, die dazu beitragen, Alltagssituationen nachhaltiger beurteilen und meistern zu können.

- Warum macht eine Sonnenbrille auch an bewölkten Sommertagen oder am Gletscher Sinn?
- Warum kann ich in absoluter Dunkelheit nichts sehen?
- Was vertauscht der Spiegel (Abb. 1 und Abb. 2) und wie nehme ich daher ein Fahrzeug im Rückspiegel wahr?
- Warum erscheinen uns Gegenstände färbig oder warum ist der Apfel / das Schnitzfleisch im Supermarkt immer roter als daheim? (Abb. 3).
- Warum kann ein Laserpointer zur Gefahrenquelle für Flugzeugpiloten werden?



Abb. 1: Vertauscht der Spiegel
Oben mit Unten?



Abb. 2: ... oder Vorne mit Hinten?

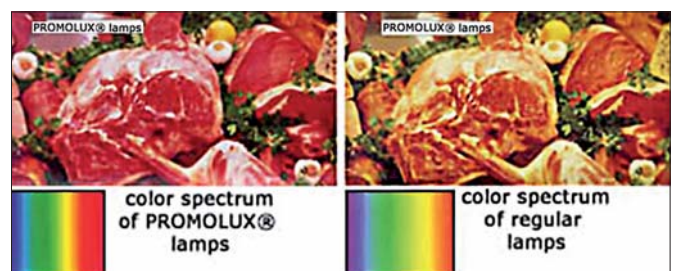


Abb. 3: Verkaufsförderung durch geeignete Beleuchtung (Bild: Promolux)

Die Lernschwierigkeiten – die Ursache des Übels

Physik ist kompliziert und das Verstehen von physikalischen Konzepten fällt den meisten Lernenden nicht gerade einfach. Das gilt wie für viele Themenbereiche der Physik auch für die geometrische Optik. Zahlreiche Untersuchungen (Duit 2009) zeigen, dass sich Lernende selbst nach dem Optikunterricht beim Lösen von Aufgabenstellungen zu optischen Problemen immer noch auf ihre Alltagsvorstellungen stützen und nur in seltenen Fällen Konzepte nutzen, die der Unterricht zu vermitteln versucht.

Grundsätzlich ist die Verschränkung von Alltagswelt und „physikalischer Welt“ wünschenswert, um Lernenden die Relevanz des Gelernten für ihr Alltagsleben zu verdeutlichen. In den meisten Fällen stellen sich die bei Lernenden vorhandenen Alltagsvorstellungen jedoch als hinderlich für Lernprozesse heraus. Viele dieser Alltagsvorstellungen – wie etwa dass wir auch im Dunkeln sehen können, wenn wir unseren Augen nur lange genug Zeit geben, sich an die Dunkelheit zu gewöhnen – sind Konzepte, die sich im Alltag tausende Male bewährt haben, mit physikalischen Konzepten aber nicht unmittelbar übereinstimmen.

Derartige Alltagsvorstellungen, auch Schülervorstellungen¹⁾ genannt, zu allen möglichen physikalischen Inhaltsbereichen, stellen einen Kernbereich physikdidaktischer Forschung dar. Im Laufe der letzten Jahrzehnte konnte vielfach nachgewiesen werden, dass Unterricht, der Schülervorstellungen entsprechend berücksichtigt, um ein vielfaches lernwirksamer ist als konventioneller Unterricht, der diese bekannten Lernschwierigkeiten außer Acht lässt.

Des Weiteren ist es auch als großes Verdienst der Fachdidaktik anzusehen, dass für viele Inhaltsbereiche der Physik eine große Zahl an Schülervorstellungen identifiziert wurde. Außerdem ist es gelungen, für einige Themen Unterrichtsgänge zu entwickeln, die sich als lernwirksamer als konventioneller Unterricht herausstellen. Die große Herausforderung der fachdidaktischen Forschung der nächsten Jahre wird unter anderem darin bestehen, nicht nur Interventionen zu finden, die physikalisches Konzeptverständnis trotz der vorhandenen Schülervorstellungen fördern, sondern den Wert dieses fundierten fachdidaktischen Wissensschatzes für die Schulpraxis plausibel und umsetzbar zu machen.

Die Lernwirksamkeit: Optikunterricht – wir haben ein Problem

Als ein oberstes Gebot der Physikdidaktik, wie der Naturwissenschaftsdidaktik im Allgemeinen, gilt: Orientiere deinen Unterricht an Schülervorstellungen! Was uns Lehrkräften damit abverlangt wird, ist so etwas wie „kognitive Empathie“, also quasi sich in die Denkprozesse der Lernenden hineinzuversetzen.

Leicht gesagt – schwer getan, denn unsere Denkstrukturen

1) Zur Begriffsdefinition vgl. http://pluslucis.univie.ac.at/FBW0/FBW2012/Material/Heran-Doerr_Schuelervorstellungen.pdf [Stand: 24.6.2013]

wurden durch jahrelanges „physikalisches Training“ so geprägt, dass es uns schwer fällt „un/nicht physikalisch“ zu denken. An dieser Stelle kommt die Physikdidaktik ins Spiel mit ihrem großen Fundus an empirischen Erkenntnissen zu Schülervorstellungen (Duit 2009), die die Grundlage jeder lernwirksamen Unterrichtsgestaltung bilden. Die Optik bildet hier keine Ausnahme: Stichhaltige Erkenntnisse aus internationalen Untersuchungen dazu „wie Schüler bei optischen Problemstellungen ticken“ sind seit Jahrzehnten bekannt. Ich möchte an dieser Stelle auf einen Artikel von Sadler (Sadler 1991) hinweisen, der einen sehr knappen, aber übersichtlichen Auszug von „Schülergedanken“ zu Licht und Sehen gibt, die Ihnen aus Ihrer Unterrichtserfahrung sicher nicht fremd sind:

- Licht ist nur dort, wo wir es sehen können.
- Bei beleuchteten Gegenständen bleibt das Licht auf deren Oberfläche liegen.
- Nicht selbstleuchtende Gegenstände können kein Licht abstrahlen.
- Gegenstände müssen beleuchtet werden, damit wir sie sehen können, sie müssen dazu aber kein Licht in unsere Augen strahlen.
- Die wahrgenommene Farbe eines Gegenstandes ist unabhängig von der Lichtfarbe, mit der wir den Gegenstand beleuchten.
- Lichtfarben mischen sich nach denselben Gesetzmäßigkeiten wie Malfarben.
- Helle Gegenstände (weiß, gelb, ...) können selbst in völlig dunklen Räumen gesehen werden.

Wir wissen, dass Lernende, selbst nach dem Einführungsunterricht in die Optik, selten ein physikalisch adäquates Konzept vom physikalischen Sehvorgang entwickelt haben. Nur ein geringer Prozentsatz – je nach Untersuchung zwischen 20% und 30% (Herdt 1990) – kann optische Phänomene mit Hilfe des sog. Sender-Streuungs-Empfänger-Konzepts erklären. Bei diesem Konzept wird ein Zusammenhang zwischen Lichtsendern (in Form von selbst leuchtenden ODER lichtstreuenden Gegenständen) und dem menschlichen Auge als Lichtempfänger hergestellt (Abb. 4).

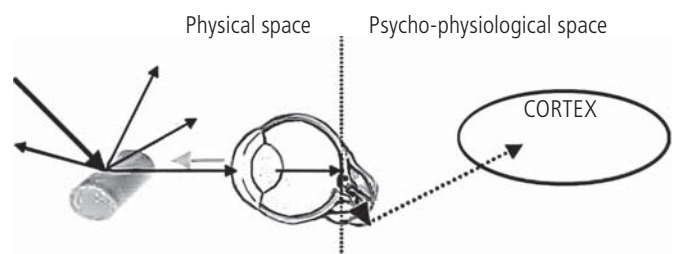


Abb. 4: Sehvorgang aufgeteilt in einen physikalischen Bereich und einen physiologischen Bereich. Durchgängige Pfeile stellen Lichtwege dar, unterbrochene Pfeile die neuronale Signalausbreitung, der graue Pfeil steht für die Sehrichtung. (de Hosson und Kaminski 2007)

Dieses Fehlen einer fachlich korrekten Vorstellung des Sehvorgangs erschwert es Schülern, ein konzeptuelles Verständnis für weitere Themenbereiche der geometrischen Optik zu entwickeln wie etwa für die Wahrnehmung von

farbigen Gegenständen oder die Entstehung von virtuellen und reellen Bildern bei Linsen und Spiegeln.

Auch für diese Konzepte gibt es im Übrigen eine lange Liste an Schülervorstellungen, die hier nicht angeführt werden, da dies den Rahmen sprengen würde (Duit 2009).

In die Köpfe der Schüler schauen – aber wie?

Die Unterrichtsplanung soll an Schülervorstellungen orientiert sein – gut, aber woher weiß ich, wie sich die Vorstellungen meiner Schülerinnen und Schüler durch den Unterricht verändern, damit ich den Unterricht auch an die Bedürfnisse anpassen kann? Wenn wir das ganz genau wissen wollten, müssten wir es so machen wie in der didaktischen Forschung – mit Schülerinterviews. Wie kriegt man das in der Schulpraxis hin? – Gar nicht, ehrlich gesagt. Daher haben wir uns überlegt ein Fragebogeninstrument zu entwickeln, das die Vorstellungen der Lernenden schnell und relativ verlässlich ermittelt – wenn möglich sogar online.

Um relativ verlässlich an die Vorstellungen der Lernenden heranzukommen, haben wir uns für multiple-choice Aufgaben entschieden, die in je 2 Stufen gekoppelt sind (Abb. 5) (Haagen-Schützenhöfer und Hopf 2012).



Lagerfeuer:

LF1) Kinder sitzen in der Nacht um ein Lagerfeuer.

- a) Was trifft zu? Licht vom Lagerfeuer:
- ist nur um die Flammen herum
 - ist nur im beleuchteten Bereich zwischen Feuer und Kindern
 - kommt nur bis zu den Kindern
 - kommt nur bis zum Haus
 - kommt weiter als bis zum Haus

b) Wie erklärst Du dieses Verhalten von Licht bei Nacht?

| richtig | falsch | |
|-----------------------|-----------------------|---|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Das Licht hält sich nur dort auf, wo es entsteht |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht breitet sich so weit aus, bis es auf Etwas trifft |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht breitet sich so weit aus, wie wir es sehen können. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Die Ausbreitungskraft von Licht nimmt mit der Entfernung ab |

Abb. 5: Multiple choice Beispiel mit 2 Stufen:
a) Beschreibung des Phänomens
b) Erklärung (Haagen-Schützenhöfer und Hopf 2012)

Das hat den Vorteil, dass das Raten minimiert wird und wir nicht nur Einblick bekommen, ob die Lernenden in der Lage sind, optische Phänomene richtig beschreiben können (Was wird passieren?), sondern ob sie auch eine physikalisch adäquate Begründung für ihre Entscheidung im ersten Aufgabenteil geben können (Warum passiert das?). Da wir die noch vorhandenen Fehlvorstellungen kennen, kann der Unterricht entsprechend angepasst werden.

Wie funktioniert dieses Testinstrument? Mittlerweile, nach einer Entwicklung über mehrere Überarbeitungszyklen hindurch, funktioniert der Test in der aktuellen Version schon sehr zufriedenstellend. Wir haben bisher eine 1. Testversion mit mehr als 600 Lernenden nach dem Optikunterricht online getestet. Danach wurden die Aufgaben überarbeitet, ausgetauscht, ergänzt, einzelne Aufgaben mit Hilfe von Schülerinterviews noch einmal verbessert. In einer weiteren Entwicklungsphase wurden 367 Lernende mittels Fragebogen befragt wieder Schülerinterviews geführt, Aufgaben abermals überarbeitet und verbessert. Zu noch nicht vorhandenen Themenstellungen wurden offene Fragebögen mit neu entwickelten Aufgaben an 131 Lernende ausgegeben, die daraus erhaltenen Ergebnisse wieder mit Schülerinterviews im Detail abgeglichen. Außerdem wurde auch die Meinung von Lehrkräften erhoben und mitberücksichtigt.

Die Ergebnisse und Testkennwerte des Fragebogens sind mittlerweile so zufriedenstellend, dass aus all diesen zahlreichen Überarbeitungs- und Ergänzungsschritten nun eine vorläufige Endversion erstellt wird, die zum Ausprobieren für interessierte Lehrkräfte online oder in paper&pencil Form zur Verfügung stehen wird.

Physikdidaktik – Wir haben ein Problem

Wie viele andere Wissenschaftsdisziplinen hat auch die Physikdidaktik ein Theorie-Praxis-Transfer-Problem. Hinter diesem Monsterwort verbirgt sich der ganz banale Sachverhalt, dass die Erkenntnisse der fachdidaktischen Forschung in der Unterrichtspraxis kaum ankommen. Das ist ein bekanntes Ergebnis internationaler Forschung, und Österreich bildet hier keine Ausnahme.

Um tendenziell herauszufinden, was im Optikunterricht der Sek I vor sich geht, habe ich mich auf die Spurensuche begeben und zwei Quellen angezapft: einerseits habe ich bei Lehrkräften aller möglichen Schultypen mit einem kurzen Fragebogen nachgefragt, welche konzeptuellen Schwerpunkte sie in ihrem Optikunterricht setzen, andererseits haben wir uns Schulbücher, nämlich die 5 österreichischen Marktführer in der 4. Klasse (8. Schulstufe), zu Gemüte geführt.

Die Befragung der Lehrkräfte (N=110) (Haagen-Schützenhöfer 2013) ergab, dass der strahlengeometrischen Betrachtung von optischen Systemen wie Linsen und Spiegel häufig ein großer Stellenwert im Unterricht zukommt. Einige Basis-konzepte wie beispielsweise Lichtstrahlen als mathematisches Modell von Lichtbündeln, der Sehvorgang – speziell

bei nicht selbst leuchtenden Gegenständen – oder Lichtausbreitung als kontinuierlicher Prozess, rücken im derzeitigen Physikunterricht anscheinend eher in den Hintergrund. Lehrkräfte begründen ihre Schwerpunktsetzung häufig damit, dass die Ausbreitung von Licht ein trivialer Vorgang sei, mit dem Schülerinnen und Schüler schon aus ihrem Lebensalltag vertraut wären und/oder dass das Sehen respektive die Funktionsweise des Auges in der 4. Klasse (8. Schulstufe) schon aus dem Biologieunterricht bekannt sei. Bei letzterem treffen wir auf ein Problem, das Ihnen aus Ihrer eigenen Unterrichtserfahrung sicher bestens bekannt ist. Lernende schaffen den Transfer von Inhalten zwischen verschiedenen Unterrichtsgegenständen ohne entsprechende Unterstützungsstrategien oft nur schwer oder unzureichend.

Die Analyseergebnisse der Schulbuchkapitel zum Thema Optik zeigen ein ähnliches Bild: Basis-Konzepte der Sender-Streuungs-Empfänger-Vorstellung oder des kontinuierlichen Strömungsvorgangs der Lichtausbreitung werden vereinzelt ausgespart oder meistens sehr knapp und punktuell abgehandelt. Viel Raum wird hingegen strahlengeometrischen Konstruktionen gewidmet, die nachweislich hauptsächlich Reproduktionsleistung von Strahlengängen anstatt konzeptuelles Verständnis fördern.

Neue Materialien – und alles wird besser?

Besser – hoffentlich, anders – jedenfalls. Die beiden vorigen Abschnitte legen den Schluss nahe, dass Schüler im Optikunterricht nicht immer genügend Lerngelegenheiten erhalten, um sich mit Basiskonzepten intensiv auseinander setzen zu können. Stattdessen werden sie vorwiegend auf strahlengeometrische Konstruktionen hin getrimmt, oft ohne zu verstehen, wie diese modellhafte Vereinfachung mit den wahrgenommenen Phänomenen zusammenhängt.

Hinter den entwickelten Unterrichtsmaterialien steht nun die Strategie, den Basiskonzepten der Sender-Streuungs-Empfänger-Vorstellung, der kontinuierlichen Strömungsvorstellung sowie der den Abbildungsprozessen zu Grunde liegenden Leuchtfleck-zu-Bildfleck-Vorstellung genügend Raum zu geben und diese im Verlauf des Optikunterrichts immer wieder zu thematisieren bzw. mitzudenken.

Die Materialien wurden parallel zur Entwicklung kapitelweise mit Schülern in Micro-Teaching-Sequenzen erprobt und zyklisch adaptiert – ein sehr zeitaufwändiges Verfahren, mit dem wir versuchen, den Schülerinnen und Schülern beim Arbeiten mit den Materialien „in die Köpfe zu schauen“ und ihre Gedankengänge nachzuvollziehen. Dabei haben wir jeweils mit einem Schülerpaar an einem Kapitel durchschnittlich 90 Minuten gearbeitet. Den Lernenden wurde je eine Seite des Lernmaterials zur Bearbeitung vorgelegt und danach wurden Fragen zur Text- und Bildverständlichkeit und –gestaltung gestellt und Lernhindernisse erfragt. Schließlich wurde mit Transferbeispielen eruiert, ob die intendierten Konzepte bei den Lernenden in gewünschter Weise angekommen sind bzw. an welcher Stelle Lernhindernisse auftreten und wie man diesen beikommen kann.

Danach erhielten die Schüler den nächsten Inhaltsblock eines Kapitels usw. Diese Befragungen und daraus resultierenden Adaptierungen des Materials wurden zyklisch so lange fortgesetzt, bis sich keine wesentlich neuen Erkenntnisse für die Materialgestaltung ergaben. Im Durchschnitt wurden je Themenkomplex etwa 12 bis 14 Lernende auf diese Art und Weise unterrichtet und befragt.

Unsere Lernmaterialien unterscheiden sich definitiv von anderen durch die Sachstruktur, d.h. die Abfolge der physikalischen Konzepte im Lernangebot. Nachdem das Sehen von selbstleuchtenden und beleuchteten Körpern sehr intensiv thematisiert wird, folgt gleich ein Kapitel zu Körperfarben. Ausschlaggebend hierfür waren die oben beschriebenen Micro-Teaching-Sequenzen. Bei der Vermittlung der Streuvorstellung, die als Absorption und selektive Reemission von Licht durch Körper elementarisiert wurde, traten unmittelbar immer Fragen dazu auf, warum wir Gegenstände in verschiedenen Farben wahrnehmen. Dieses Interesse haben wir aufgegriffen und an dieser Stelle ein Kapitel zum Thema Körperfarben eingeführt.

Und was kommt raus – bei all diesem Aufwand?

Hauptsächlich Gutes – zumindestens nach den Erfahrungen, die wir bisher gemacht haben. Diese Erfahrungen gründen sich bislang auf zwei verschiedene Bereiche.

- 1) Wir haben etwa 8 Monate nach den oben beschriebenen Micro-Teaching-Befragungen ein Drittel der SchülerInnen in Einzelinterviews zur Ausbreitung von Licht und zum physikalischen Sehprozess befragt. Selbst schwache Schüler waren nach dieser langen Zeit noch in der Lage, optische Problemstellungen mit dem Sender-Streuungs-Empfänger-Konzept fachlich angemessen zu argumentieren. In Vergleichsinterviews mit konventionell unterrichteten Post-Optik-Klassen gelang dies häufig nicht einmal Schülern mit besten Noten in Physik.
- 2) Die so entstandenen Unterrichtsmaterialien wurden bisher in zwei Pilotklassen eingesetzt. Die ersten Auswertungen unseres Testinstruments, das wir vor und nach dem Unterricht eingesetzt haben, deuten gute Ergebnisse an. Detailauswertungen sind allerdings noch nicht erfolgt.

Aber wie Sie sich sicher denken können, geben wir uns in der Physikdidaktik als empirisch forschender Zunft nicht mit Hinweisen zufrieden, sondern wollen es genau wissen. Dazu sind wir ständig auf der Suche nach engagierten Kolleginnen und Kollegen, die unsere Materialien gerne erproben möchten:

Das ist eine herzliche Einladung an Sie, Kontakt mit uns aufzunehmen.

Literatur

- Duit, R. (2009): Bibliography—STCSE, Students' and teachers' conceptions and science education. Retrieved October 20, 2009.
- Haagen-Schützenhöfer, Claudia (2013): Students' Conceptions on the Nature of White Light. In: ICPE 2013: Active Learning, L. Dvorak (eds.). ICPE, Prague, August 2013. Charles University, (paper presented).
- Haagen-Schützenhöfer, Claudia (2013): Theory-Practice Gap: The relevance of students' conceptions for teaching geometrical optics in practice. In: ICPE 2013, Active Learning, L. Dvorak (eds.). ICPE, Prague, August 2013. Charles University, (paper presented).
- Haagen-Schützenhöfer, Claudia; Hopf, Martin (2012): Entwicklung eines Testinstruments zur geometrischen Optik. In: Sascha Bernholt (Hg.), GDCP Jahrestagung in Oldenburg 2011. Münster/New York: LIT Verlag (Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, 32).
- Herdt, D. (1990): Einführung in die elementare Optik. In: Vergleichende Untersuchung eines neuen Lehrgangs. Essen: Westarp-Wissenschaftsverlag.
- Hosson, C. de; Kaminski, W. (2007): Historical Controversy as an Educational Tool: Evaluating elements of a teaching-learning sequence conducted with the text "Dialogue on the Ways that Vision Operates". In: International Journal of Science Education 29 (5), S. 617–642.
- Sadler, Philip (1991): Projecting Spectra for Classroom Investigations. In: Physics Teacher 29 (7), S. 423–427.

Was sagt das Bild über den Standort der Fotografin, was über den Sonnenstand?



Am unteren Krimmler Wasserfall (Bild: A. Kühnelt)