

Im Schatten des Mondes

Ein fächerverbindendes Unterrichtsprojekt im Umfeld zweier zentraler Sonnenfinsternisse

Stinner, Peter und Wendt, Anke

Kopernikus-Gymnasium, Pirzenthalerstr. 43, 57537 Wissen

Kurzfassung

Die ringförmige Sonnenfinsternis im Oktober 2005 und die totale Sonnenfinsternis im März 2006 boten den idealen Rahmen, Schule und Unterricht in verschiedenen Dimensionen zu öffnen und dabei Inhalte und Methoden der Schulfächer Astronomie, Physik, Geographie und Mathematik zu verbinden.

Nach Erläuterung der Intentionen und Ziele der Öffnung von Unterricht beschreiben wir ein Projekt, in dem zum einen die Finsternisverläufe an Orten nahe der Zentrallinien fotografisch dokumentiert wurden. Den zweiten Schwerpunkt des Projekts bildeten die Erfassung und die Analyse der zeitlichen Verläufe und der wechselseitigen Beeinflussungen zahlreicher physikalischer und klimageographischer Größen.

Zum Einsatz kamen das Messwerterfassungssystem CBL2 von Texas Instruments und weitere leicht zugängliche Messgeräte, die zum Teil von den beteiligten Schülerinnen und Schülern in Eigentätigkeit hergestellt wurden.

Neben der Darstellung des Projekts werden Möglichkeiten aufgezeigt zur Realisierung ähnlicher Projekte bei künftigen partiellen und totalen Sonnenfinsternissen, bei totalen, partiellen und Halbschatten-Mondfinsternissen sowie insbesondere anlässlich fächerverbindender Projektstage und Schullandheimaufenthalte.

1. Einleitung

„Wie keine andere Naturwissenschaft prägt die Astronomie unser Weltbild, und wie keine andere Naturwissenschaft ist sie mit so einfachen Mitteln wie einem einfachen Teleskop in all ihrer Tiefe erfahr- und erlebbar.“ (J. Dobson, [1]) Wie keine andere Naturwissenschaft bietet sich die Astronomie an, Schüler aller Altersstufen aus dem Schulhaus zu locken und dabei beeindruckende Himmelsphänomene erleben zu lassen.

Passend zu diesem Gedanken formuliert die Astronomische Gesellschaft in ihrem Memorandum Kriterien für einen guten naturwissenschaftlichen Unterricht. Dazu gehört zum einen die Vermittlung von Naturwissenschaft durch direkte Naturbeobachtung und zum anderen, die Schüler durch entdeckendes Lernen aktiv am Prozess „Wissenschaft“ teilhaben zu lassen [2]. Für die Umsetzung dieser Kriterien erscheint es uns notwendig, die Schule mit ihrem traditionellen Unterricht inhaltlich und methodisch zu öffnen.

2. Öffnung von Unterricht

Ziel der *inhaltlichen Öffnung* des Unterrichts ist eine vielseitige Selbst- und Welterfahrung. Das kann vor allem durch die fächerübergreifende, projektorientierte Behandlung von Themen mit unmittelbarem Alltagsbezug umgesetzt werden.

Die *methodische Öffnung* des Unterrichts zielt darauf ab, dass die Lernenden ein Selbstverhältnis zum Lerngegenstand gestalten können, über dessen Gestalt nicht von vornherein durch den Lehrer verfügt wird. Ein entscheidendes Merkmal von methodisch geöffnetem Unterricht ist es, wenn die Schüler nicht nur Adressaten vorgefertigter Lernergebnisse sind, sondern ihren eigenen Lernprozess aktiv mitgestalten. Das bedeutet, dass die Schüler ihrerseits in die Projektplanung mit einbezogen werden und während des Projekts die Möglichkeit haben, sich selbst zu gruppieren und zwischen Gruppen- und Einzelarbeit frei wählen zu können. Das setzt ein reichhaltiges Material- und Themenangebot voraus. Diese Voraussetzungen sind im Umfeld von Sonnenfinsternissen in nahezu idealer Weise erfüllt, da hier eine Vielzahl unterschiedlichster Aufgaben zu bewältigen ist: Vorbereitung und Durchführung von astronomischen Beobachtungen sowie von fotografischen und klimageographischen Experimenten, Auswertung von Messungen und Erarbeitung von Präsentationen und deren Anpassung an die jeweiligen Adressaten.

Die *institutionelle Öffnung* von Unterricht ist darauf gerichtet, dass sich die Schule als Institution gegenüber dem Bereich der außerschulischen Wirklichkeit öffnet. Dadurch sollen die Schüler befähigt werden, die Realität wahrzunehmen, zu gestalten

und zu verändern. Diese Dimension wird in unserem Projekt durch eine vielschichtige Zusammenarbeit mit außerschulischen Partnern insbesondere bei der Präsentation der Projektergebnisse gewährleistet [3; 4].

3. Skizzierung des Projekts

In den folgenden Kapiteln beschreiben wir, wie die skizzierten Dimensionen der Öffnung von Unterricht durch fächerverbindendes Lernen und zielgerichtetes Experimentieren realisiert wurden.

3.1 Der fächerverbindende Aspekt

Ein entscheidender Beitrag zur inhaltlichen Öffnung von Unterricht ist der fächerverbindende Aspekt unseres Projekts „Im Schatten des Mondes“, in dem sich Inhalte der Unterrichtsfächer Astronomie, Physik, Geographie und Mathematik finden:

- **Astronomie:**
 - Der Erdmond
 - Bewegungen des Mondes
 - Mondphasen
 - Finsternisse
 - Planeten und ihre Monde
- **Physik:**
 - Strahlenoptik
 - Licht und Schatten
 - Optische Geräte
 - Wärmelehre
 - Gasgesetze
 - Elektrizitätslehre
- **Geographie:**
 - allgemeine Klimageographie
 - Wechselwirkung meteorologischer Größen
- **Mathematik:**
 - Satz des Pythagoras
 - Vektoraddition
 - Trigonometrie
 - Arbeit mit Excel-Tabellen

Die Möglichkeit, aus einem umfangreichen Themenangebot frei wählen zu können, ist ein weiterer Ausdruck der inhaltlichen Öffnung von Unterricht. Das wurde in unserem Projekt durch die teambezogene Auswahl der fotografischen bzw. klimageographischen Experimente realisiert.

3.2 Der methodische Aspekt

Die im Oktober 2005 in Spanien und im März 2006 in der Türkei beobachteten Sonnenfinsternisse gehören zu einer Trilogie, die mit der totalen Sonnenfinsternis im Jahr 1999 begann. Die damals 20 Schülerinnen und Schüler aus den Klassen 5 bis 12 umfassende Astronomie – AG des Kopernikus – Gymnasiums in Wissen führte im August 1999 eine Exkursion nach Süddeutschland durch, um auf der Zentrallinie die Sonnenfinsternis zu beobachten und

deren klimageographische Auswirkungen zu dokumentieren [5].

Diese Fahrt wurde gemeinsam mit der Jugendpflege bei der Kreisverwaltung Altenkirchen organisiert. Damit gingen wir erstmals Schritte in Richtung institutionelle Öffnung von Schule.

Ein heftiges Gewitter mit starken Regenfällen verhinderte damals die Beobachtung der totalen Phase der Finsternis. Es gelangen jedoch alle klimageographischen Experimente und auch einige Fotos der partiellen Phasen. Projektergebnisse wurden am Schulstandort, an mehreren Orten der Umgebung und bei „Physics on Stage“ im CERN in Genf [6] gezeigt.

Die Exkursion zur ringförmigen Sonnenfinsternis nach Valencia erfolgte als naturwissenschaftlich orientierte Studienfahrt. Sie gab 20 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 12 die Möglichkeit, am Beispiel des Naturphänomens „ringförmige Sonnenfinsternis“ projektorientiert zu experimentieren. Diese experimentelle Arbeitsweise machte es erforderlich, im Sinne der inhaltlichen Öffnung von Unterricht fächerverbindend zu arbeiten. So ging es bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Experimente um die oben erwähnten Lehrplaninhalte der genannten Fächer. Auch aus dieser Exkursion entstand eine Ausstellung aus Fotos, Graphiken, Videos und Präsentationen, die im Januar 2006 in der Kreisstadt Altenkirchen der interessierten Öffentlichkeit präsentiert wurde.

An der Exkursion zur Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis im März 2006 in der Türkei waren 10 Schülerinnen und Schüler der aktuellen Astronomie-Arbeitsgemeinschaft des Kopernikus-Gymnasiums Wissen beteiligt. Mit den Resultaten ihrer fotografischen Experimente und klimageographischen Messungen gingen die Exkursionsteilnehmer dann am Schulstandort Wissen an die Öffentlichkeit.

Im Sinne der institutionellen Öffnung von Unterricht wurde im Rahmen der Ergebnis-Präsentation mit verschiedenen außerschulischen Partnern zusammengearbeitet. Im Januar 2006 war es die Kreisvolkshochschule des Landkreises Altenkirchen, unter deren Dach die Resultate aus Spanien präsentiert wurden. Im Juli 2006 stellte uns die Stadtverwaltung Wissen Ausstellungsräume für die Ausstellung „Schwarze Sonne 2006“ [7] zur Verfügung.

Etwa 30 Schulklassen unterschiedlicher Schultypen von der Grundschule bis zur gymnasialen Oberstufe nutzten die Gelegenheit, sich von unseren Exkursionsteilnehmern Entstehung, Verlauf und Auswirkungen von Sonnenfinsternissen in anschaulichen Modellversuchen und bei Mitmachexperimenten erläutern zu lassen.

Unsere Schüler hatten die Gelegenheit, durch die umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit im Umfeld der beschriebenen Finsternisse viele Einwohner unseres

Landkreises anzusprechen und so an ihrer Arbeit teilhaben zu lassen.

3.3 Das Experimentierprogramm

Im folgenden wird ein Überblick gegeben über die im Oktober 2005 in Spanien und im März 2006 in der Türkei durchgeführten fotografischen und klimageographischen Experimente.

3.3.1 Fotoprogramm



Abb. 1: Drei unserer Schüler beim Fotografieren der partiell verfinsterten Sonne durch zwei Spiegelobjektive (sog. „Russentonnen“)

Auf einer GP-DX-Montierung kamen zwei Spiegelobjektive ($f=1000\text{mm}$ mit Blende 10 bzw. $f=500\text{mm}$ mit Blende 11) und eine Webcam zum Einsatz (s. Abb. 1). Letztere war an ein normales 300mm-Teleobjektiv angepasst. Eine EQ3-2-Montierung trug zwei Refraktoren vom Discounter Lidl ($f=700\text{mm}$ bei Blende 10), wovon einer in afokaler Okularprojektion mit einer Digitalkamera Canon Powershot-A60 betrieben wurde. Die Webcam am zweiten Refraktor war in der Fokalebene verschiebbar, um wechselnde Ausschnitte des Sonnenrandes beobachten zu können.

Die photographischen Aufnahmen erfolgten während der partiellen Phasen im Abstand von fünf Minuten, bei der ringförmigen Finsternis 2005 rund um den 2. und 3. Kontakt alle 30 Sekunden. Bei der totalen Finsternis 2006 wurde zwischen dem 2. und 3. Kontakt mit unterschiedlichen Belichtungszeiten fotografiert. Diese waren gemäß [8; 9] so gewählt,

dass zum einen die Phänomene Diamantring, Perlschnur, Protuberanzen, Chromosphäre und zum anderen die verschiedenen Bereiche der Korona aufgenommen werden konnten.

Mit der zweiten Webcam auf der GP-DX-Montierung wurden die Effekte rund um den 2. und 3. Kontakt dokumentiert. Das Gesamtambiente ist mit einer Fischaugenoptik und mit einer digitalen Videokamera (DV-Cam) festgehalten worden.

3.3.2 Experimentierprogramm



Abb. 2: Unsere klimageographische Messstation am 29.03.2006: Die Sensoren für Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit sind rechts unten im Schatten montiert, am Metallpfahl die Helligkeitsmessgeräte.

Um Auswirkungen der Finsternisse auf klimageographische Größen untersuchen zu können, wurde sowohl an den Finsternistagen (03.10.2005 und 29.03.2006) als auch an wolkenlosen Tagen im Vorfeld der Finsternisse (01.10.2005 und 28.03.2006) der zeitliche Verlauf einer Vielzahl klimageographischer Größen gemessen. Messzeiten waren jeweils vierstündige Intervalle, in deren Mitte die Zeiten der ringförmigen bzw. der totalen Verfinsterungen lagen. Die automatisch erfassten Größen (s. u.) wurden im Minutentakt registriert. Bei den manuellen Messungen wurde an den Finsternistagen im 5 – Minuten – Takt gemessen mit Ausnahme eines 20minütigen Intervalls rund

um die ringförmige bzw. totale Phase, in dem die Zeitabstände der Messungen jeweils eine Minute betragen.



Abb. 3: Ausstellung „Schwarze Sonne 2006“: Ein Schüler der ASTRO-AG demonstriert den Schülerinnen und Schülern einer Grundschulklasse unser Eigenbaugerät zur Messung der Zenithelligkeit. Stellvertretend für eine helle Wolke zieht gerade ein weißes Papierblatt vor dem „blauen Himmel“ (blaue Pappe an der Decke) vorbei. Auf dem Y-T-Schreiber entsteht ein Kurvenverlauf wie in Abbildung 4 (s. Anhang) bei der Zenithelligkeit gegen 13.00 Uhr und kurz nach 14.40 Uhr.

Die Erfassung der klimageographischen Messwerte erfolgte teilweise automatisiert, teils von Hand. Über ein CBL2 (Calculator Based Laboratory) an einem TI - Voyage200 – Graphik - Taschenrechner wurden Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchtigkeit im Minutentakt automatisch registriert. Sicherheitshalber wurden die genannten Größen mit zusätzlichen Messgeräten konventionell von Hand festgehalten. Zum Aufzeichnen der Umgebungshelligkeit (Helligkeit des gesamten Himmels) stand ein CorEx Logger der Firma Cornelsen Experimenta mit Luxsensor zur Verfügung. Die Helligkeit des Himmels im Zenit wurde mit einem Eigenbauinstrument gemessen: Ein Brillenglas mit +2dpt bildete einen ca. 1 Grad großen Bereich des Himmels auf einen Photowiderstand (LDR 07) ab. Die Stromstärke im an eine Konstantspannungsquelle angeschlossenen LDR war dann ein Maß für die Zenithelligkeit. In zwei orthogonalen, in Nord-Süd- bzw. in Ost-West-Richtung montierten Röhren

waren Handwindmesser eingebaut. Damit konnten Windgeschwindigkeit und Windrichtung bestimmt werden.

3.3.3 Aufarbeitung der Daten

Nach beiden Exkursionen machten sich unsere Schülerinnen und Schüler mit großem Eifer an die Aufarbeitung und Auswertung der mitgebrachten Materialien. Die Auswertung der klimageographischen Messungen erfolgte in mehreren Schritten. Als erstes wurden sämtliche Datenreihen in Excel – Tabellen übertragen, aus denen dann übersichtliche und aussagekräftige Diagramme entstanden. Dann wurden sich offensichtlich beeinflussende klimageographische Größen ausgewählt und paarweise in gemeinsamen Diagrammen dargestellt. Anschließend wurde vor dem Hintergrund bekannter physikalischer und naturgeographischer Gesetzmäßigkeiten versucht, die entscheidenden Aussagen der Diagramme prägnant und allgemein verständlich zu formulieren.

Ebenso wurde vorgegangen beim Vergleich der zeitlichen Verläufe der betrachteten Größen am Finsternistag und an einem Vortag. Hier ging es dann darum, abweichendes Verhalten an den Finsternistagen im Vergleich zu den „normalen“ Tagen zu ermitteln und zu erklären.

Beispielhaft zeigen die Abbildungen 4, 5 und 6 nebst zugehörigen Erläuterungen im Anhang einige Ergebnisse der klimageographischen Messungen und die entsprechenden Interpretationen.

Das belichtete Filmmaterial wurde in einem Fachlabor entwickelt und von uns selbst mit einem hochwertigen Minolta – Scanner digitalisiert. Von den schönsten Fotos wurden Posterabzüge für die oben erwähnten Ausstellungen angefertigt.

4. Wiederholung des Projekts im Umfeld astronomischer Phänomene

In den kommenden 10 Jahren können die beschriebenen Messungen und Experimente oder Teile davon im Zusammenhang mit folgenden astronomischen Ereignissen [10] erneut ausgeführt werden:

- **Totale Sonnenfinsternisse** sind in den kommenden 10 Jahren von Deutschland aus mit Schülergruppen mit vertretbarem Aufwand nicht erreichbar.
- **Partielle Sonnenfinsternisse:** Fotografie, Fotometrie, klimageographische Experimente (01.08.2008; 04.01.2011; 20.03.2015)
- **Totale Mondfinsternisse:** Fotografie, Fotometrie (21.02.2008, 21.12.2010; 28.09.2015)
- **Partielle Mondfinsternisse:** Fotografie, Fotometrie (16.08.2008, 31.12.2009; 21.12.2010)
- **Halbschatten-Mondfinsternisse:** Fotometrie, eventuell Fotografie (06.08.2009; 25.05.2013; 18.10.2013; 11.02.2017):

Zu den experimentellen Aufbauten beachte man die Bemerkungen in Tabelle 1 im Anhang. Für einfache fotometrische Experimente am (teilweise) verfinsterten Mond verwendet man am einfachsten eine parallaxisch montierte, einfach und preiswert zu bauende Optik, wie sie in Tabelle 1 und ausführlicher bei [11] beschrieben ist.

5. Nachvollziehen der Methodik aus Anlass von Projekttagen und Projektwochen

Die beschriebenen Experimente können integriert werden in den alltäglichen Unterricht der Schulfächer Physik, Astronomie, Geographie und Mathematik bei Schülern im Alter von ca. 12 bis 16 Jahren.

Eine komplette Schulklasse kann einbezogen werden, wenn man dem in Tabelle 1 (s. Anhang) beschriebenen Konzept folgt.

Weitere Informationen zu Einzelheiten der klimaphysikalischen und geographischen Experimente findet man bei [12] und im Vorschlag für den Ablaufplan einer Projektwoche in Tabelle 2 im Anhang. Einzelheiten zu den technischen Realisierungen der Experimente gibt es bei [11].

Das Programm kann z.B. für eine Klassenfahrt problemlos auf eine Woche ausgedehnt werden. Dann sollte es aber mit verschiedenen kulturellen und pädagogischen Aktivitäten kombiniert werden. Alle physikalischen und klimageografischen Messungen können mit einfachen Geräten ausgeführt werden, wie sie zumeist in Schulen vorhanden sind. Manche Geräte kann man aus Low-Cost-Materialien nach den Hinweisen aus Tabelle 1 im Anhang selbst herstellen. Für fotografisch Interessierte schlagen wir anstatt der bei der Sonnenfinsternis durchgeführten Sonnenfotografie vor, den Tagbogen der Sonne und seine Änderungen innerhalb von ein bis zwei Tagen fotografisch zu verfolgen. Abbildung 7 im Anhang macht Aussagen über die zu erwartenden Effekte. Hierzu genügt eine einfache handelsübliche Digitalkamera (natürlich mit Sonnenfilter), die fest montiert werden muss. Addieren der Einzelbilder liefert dann Serienaufnahmen und Vergleichsmöglichkeiten.

Bei besonders interessierten Lerngruppen kann eine Kurzfassung des Experimentierprogramms sogar an einem Tag stattfinden, wenn man sich an den Plan für einen Projekttag in Tabelle 3 (s. Anhang) hält. Vor- und Nachbereitung müssen dann natürlich in den Regelunterricht integriert werden.

6. Fazit

Das beschriebene Vorgehen erlaubt es, an außerschulischen Lernorten Inhalte verschiedener mathematisch-naturwissenschaftlicher Schulfächer beim selbsttätigen Experimentieren zu verbinden. Damit lässt sich das Interesse von Schülerinnen und Schülern an den Naturwissenschaften durch unterschiedlichste experimentelle Aktivitäten fördern.

Weitere Informationen, Fotos und alle Ergebnisse der klimageografischen Messungen findet man bei [13].

7. Literatur

- [1] Weisheit, B.: Von nichts kommt nichts. John Dobson – Lebenskünstler und Kosmologe, SuW **46** (1/2007), S. 85 - 88
- [2] <http://astro.physik.tu-berlin.de/~chris/ALU/Handouts/Memorandum.pdf>
- [3] Düker, M., Hebel, H.-R., Zipfel, E.: Mit Freuden lernen: Offene Unterrichtsarbeit 1, in: PZ - Information 12/90, Bad Kreuznach 1990
- [4] Wendt, A.: Das „Lernen an Stationen“ und die Möglichkeiten der Anwendung im Mathematik-Unterricht der Orientierungsstufe, Hausarbeit zum 2. Staatsexamen (unveröffentlicht), Stralsund 1996
- [5] Wendt, A., Stinner, P.: Experiment Sonnenfinsternis, Praxis Geographie **30** (1/2000), S. 44 – 45
- [6] Wendt, A., Stinner, P., Experiment Sonnenfinsternis – Fächerverbindendes Lernen im Umfeld astronomischer Phänomene, www.science-on-stage.de/index.php?media=298
- [7] Wendt, A., Stinner, P.: Schwarze Sonne über der Ägäis, Astronomie + Raumfahrt im Unterricht **43** (6/2006), S. 19 - 22
- [8] Meiser, G.: Reise zur Finsternis, GM-Publikationen, Saarlouis 1989
- [9] Friedrich, S. u. P.: Finsternisse, Oculum-Verlag, Erlangen 2005
- [10] Harrington, P. S.: Sonnen- und Mondfinsternisse beobachten, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg und Berlin 2002
- [11] www.sternwarte-betzdorf.de/sofi05/expsofi.ppt
- [12] Stinner, P., Wendt, A.: Mit Schülern zur Sonnenfinsternis, Journal für Astronomie, Heppenheim, Sommer 2000, S. 132 - 135
- [13] www.sternwarte-betzdorf.de/berichte/

8. Anhang: Diagramme und Tabellen

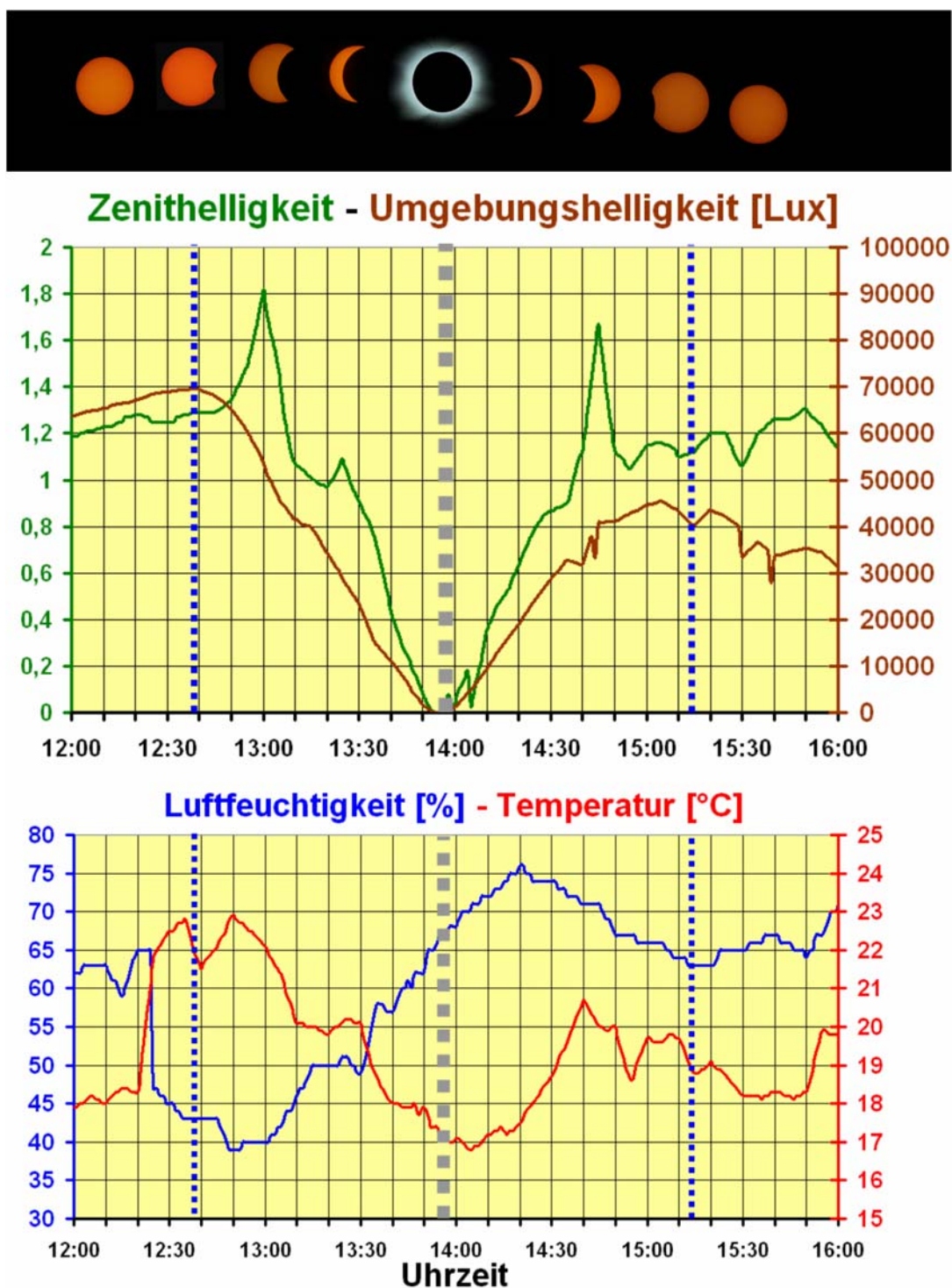


Abb. 4: Die obere Serienaufnahme des Finsternisverlaufs am 29.03.2006 zeigt qualitativ die zeitliche Entwicklung der Sonnenbedeckung. Darunter sind im gleichen Zeitmaßstab die Verläufe von Zenithelligkeit, Umgebungshelligkeit, relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur dargestellt. Die dünnen gepunkteten Linien markieren den ersten und den vierten Kontakt, der breitere unterbrochene Blockstreifen den Zeitraum der totalen Verfinstderung der Sonne. - Die auffallenden Maxima bei der Zenithelligkeit um 13.00 Uhr und kurz nach 14.40 Uhr haben ihre Ursachen in durchziehenden Zirkuswolken und Kondensstreifen von Flugzeugen. Auf die Umgebungshelligkeit hat dieser Effekt so gut wie keine Auswirkung.

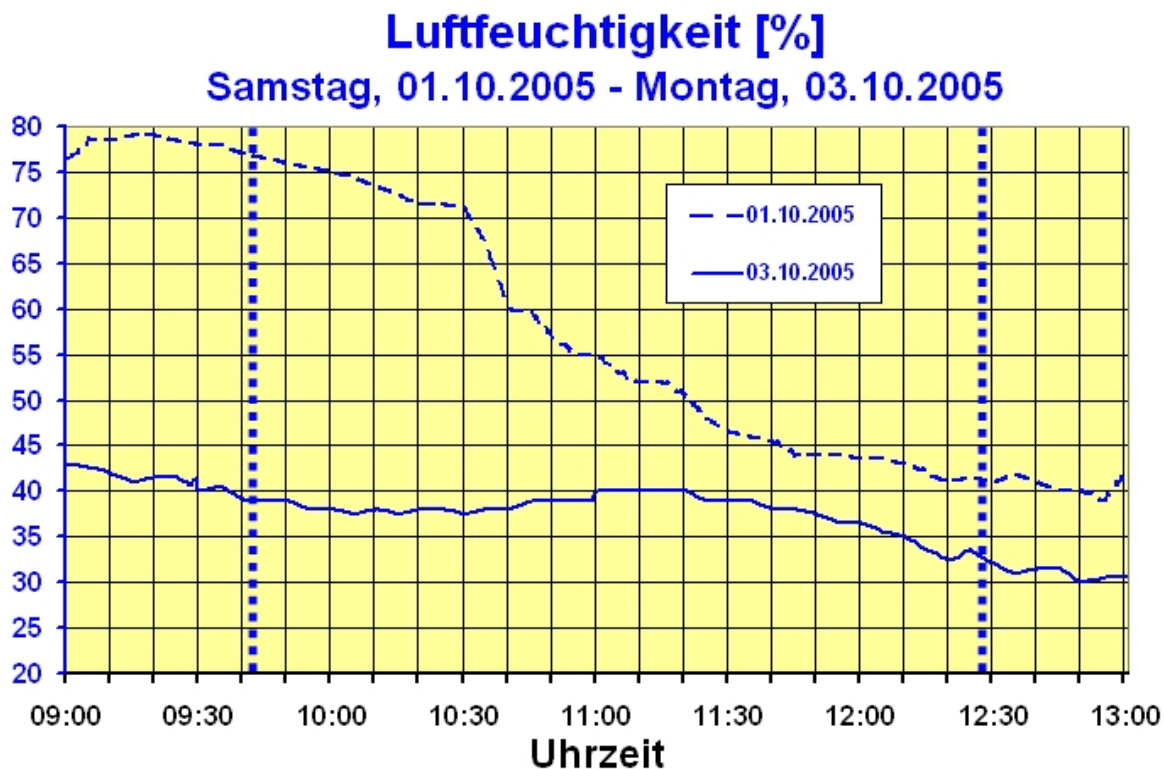


Abb.5: Entwicklung der Luftfeuchtigkeit in Valencia am Tag der ringförmigen Sonnenfinsternis (03.10.2005) und an einem normalen Sonnentag (01.10.2005): Normalerweise nimmt die Luftfeuchtigkeit mit zunehmender Tageserwärmung ab. Am Finsternistag bleibt dieser Effekt weitgehend aus, da die sonst übliche Temperaturzunahme weitgehend fehlt.

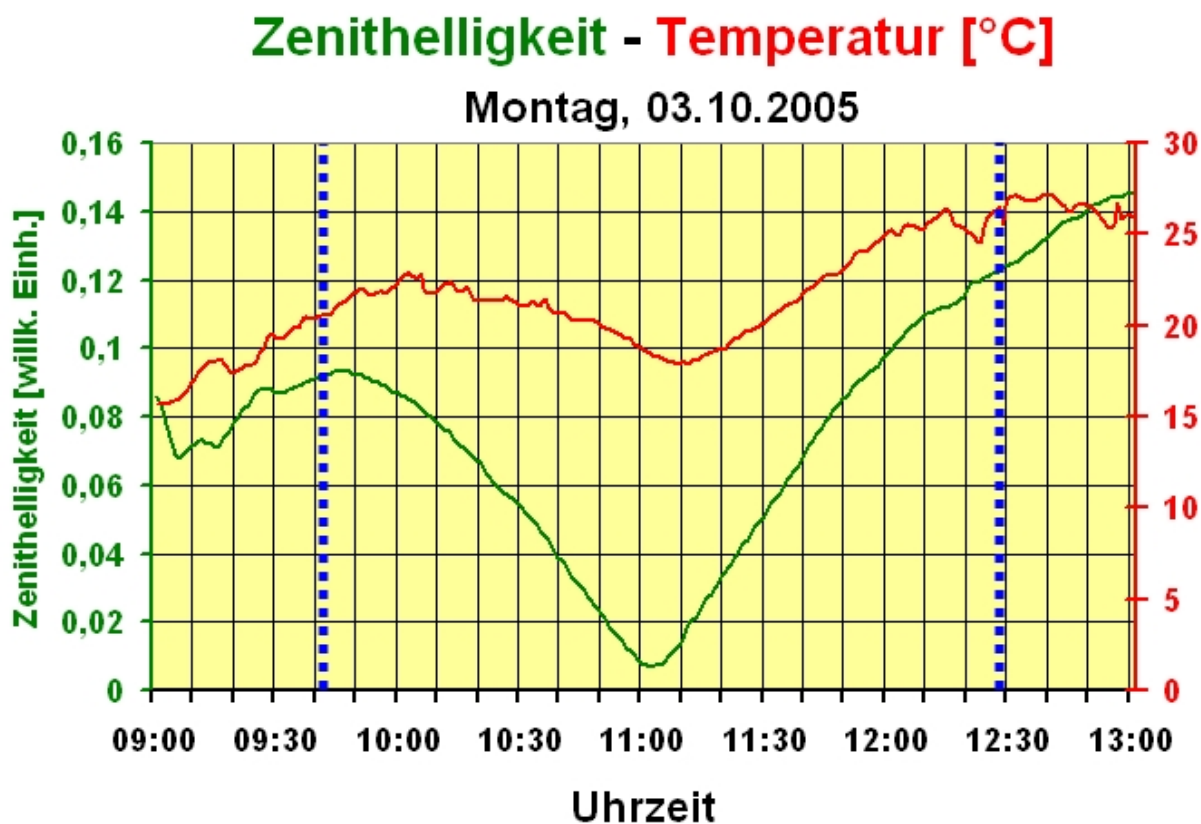


Abb. 6: Ringförmige Sonnenfinsternis am 03.10.2005 in Valencia: Die unterbrochenen blauen Linien markieren wieder den 1. und den 4. Kontakt. Man erkennt, dass die Finsternis eine um ca. 7°C bis 8°C verringerte Tageshöchsttemperatur bewirkt, und dass die Temperaturentwicklung der Helligkeit mit einer Verzögerung von ca. 8min folgt.

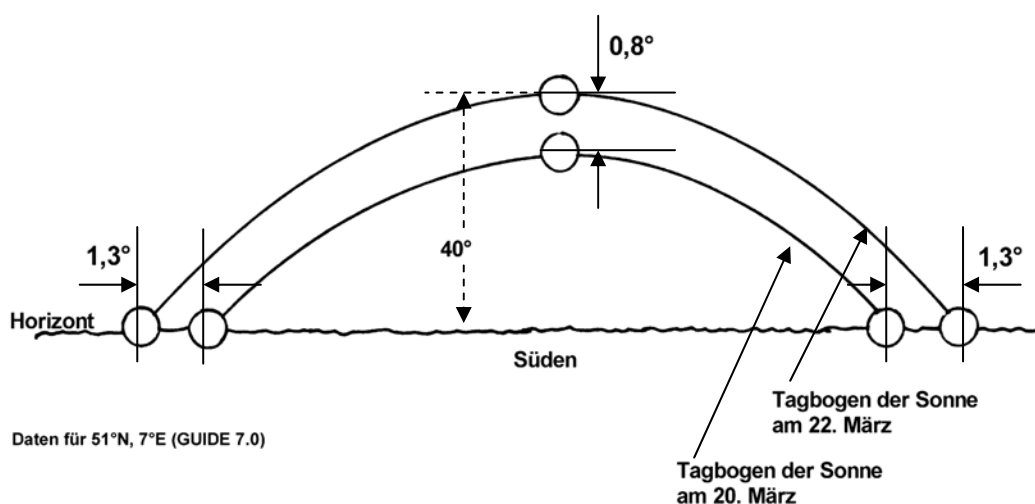


Abb. 7: Der Tagbogen der Sonne am Himmel: Schon innerhalb eines Tages kann sich die Position der Sonne am Himmel um ca. einen Sonnendurchmesser ($0,5^\circ$) ändern. Beim Fotografieren (und Beobachten) der Sonne muss unbedingt ein Sonnenfilter benutzt werden!

Tabelle 1: Physikalische und klimageografische Experimente

Team Nummer	Messgrößen des Teams, Aufgaben für das Teams	Bemerkungen zu benötigten Geräten	Anzahl der Teilnehmer
1	Luftfeuchtigkeit und Temperatur	Verwendung üblicher Thermometer und Hygrometer	4 – 6
2	Windgeschwindigkeit und Windrichtung, Luftdruck	Zwei in orthogonalen Röhren angebrachte „Hand-Windmesser“; Auswertung mit Satz des Pythagoras und Trigonometrie	6
3	Himmelshelligkeit, Verfolgen der Wolkenbedeckung	Verwendung eines kommerziellen Luxmeters oder einer selbstgebauten "Low-Cost-Optik" aus Kunststoff-Abflussrohren und einem Brillenglas mit +2dpt ($f=50\text{cm}$), welches ca. 1° des Himmels auf einen LDR07 projiziert; vgl. [11]	6
4	Tagbogen der Sonne: Fotografische Dokumentation	Kamera fest montiert, Sonnenfilter, mehrere Belichtungen auf dasselbe Negativ bzw. Addition digitaler Bilder am PC	4 – 6
5	Dokumentation aller Schüleraktivitäten	Fotos der Experimentiertätigkeit, Poster mit diesen Fotos und den Projektergebnissen	2 – 4

Tabelle 2: Plan für eine Projektwoche

Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
Vorbereitung der Experimente in den Teams, Erstellen der experimentellen Aufbauten	<u>Von Sonnenaufgang bis Mittag:</u> Durchführen der Experimente in den Teams 1, 2 und 3 Dokumentation der Schüleraktivitäten (Team 5) Fotoprogramm (Team 4)	<u>Ab 10.00h</u> Beginn der Auswertung der experimentellen Daten Erstellen von Tabellen und Grafiken (PC-Benutzung oder zeichnen von Hand) Entwickeln bzw. Ausdrucken der Fotos (für die Dokumentation)	Aufbauend auf den Tabellen, Grafiken und Fotos: Interpretation der experimentellen Ergebnisse, aufzeigen und erklären möglicher Beziehungen (arbeiten in den Teams) Ergebnis-Puzzle Fotoprogramm	Erledigen von Restarbeiten, z.B. einfügen der Fotos in das Ergebnis-Puzzle vom Vortag Präsentation aller Ergebnisse für die Schulgemeinschaft

Tabelle 3: Plan für einen Projekttag

Vorbereitungstreffen	Projekttag	Evaluation
Erstellen des Arbeitsplans und Vorbereiten der Experimente in den Teams	Von Sonnenaufgang bis Mittag: Durchführen der Messungen in den Teams 1, 2, und 3 Dokumentation aller Schüleraktivitäten (Team 5)	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation an geeigneten Stellen des Unterrichts in den beteiligten Fächern • Erstellen von Tabellen und Graphiken (mit Taschenrechner oder von Hand) • Feedback auf verschiedenen Niveaus (in den Teams und in der ganzen Gruppe) • Interpretation der experimentellen Ergebnisse, erklären möglicher Korrelationen • Ergebnis-Puzzle