

# Astronomie im Chemie-Unterricht am Beispiel der Spektralanalyse

Autor(en): **Kaiser, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **42 (1984)**

Heft 200

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-899261>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Astronomie im Chemie-Unterricht am Beispiel der Spektralanalyse

H. KAISER

## Zusammenfassung

In Chemie-Lehrplänen wird man in der Regel vergeblich nach astronomischen Themen Ausschau halten. Beim Besprechen des Atombaus, der Elemente und des Periodensystems tauchen allerdings nicht selten Fragen auf, die unweigerlich zur Astronomie hinführen. Der vorliegende Artikel beschreibt, auf welche Weise sich diese Gelegenheit benutzen lässt, um den Schülern etwas astronomisches Grundwissen zu vermitteln. Ausserdem werden einige Vorschläge gemacht, wie dieser Abstecher in die Astronomie noch erweitert werden könnte.

## 1. Einleitung

Die Einführung eines eigenen Schulfaches «Astronomie» hat in den allermeisten Fällen nur geringe Chancen. Für Lehrer mit astronomischen Kenntnissen ist das natürlich bedauerlich, doch sollte dies kein Grund zur Resignation sein. Bereits in einem früheren Artikel (ORION 181, Dez. 80, S. 191) wurde eine ganze Reihe von Möglichkeiten aufgezeigt, wie sich unseren Schülern in den verschiedensten Fächern astronomisches Gedankengut vermitteln lässt. Man sollte daher Freiräume, die die bestehenden Lehrpläne lassen, immer wieder ausnützen, um den jungen Menschen auf allen Schulstufen einen Überblick über unser heutiges Weltbild zu geben. Fehlen solche Freiräume, so lohnt es sich, während einer der üblichen Lehrplandiskussionen auf diesen Punkt hinzuweisen. Vielleicht lässt sich sogar bei einer derartigen Gelegenheit etwas Astronomie fest in einen Lehrplan integrieren. Falls nichts dergleichen erreicht werden kann, bleibt dem Lehrer keine andere Wahl, als ganz individuell nach Möglichkeiten zu suchen, wie man einige astronomische Grundlagen in den bestehenden Unterricht aufnehmen könnte. Er muss dann selbst entscheiden, wie weit kleine Abstriche im Programm seiner Fächer für diesen Zweck zu verantworten sind.

Dabei gilt es stets zu bedenken, dass es in keinem Fall möglich ist, unseren Schülern wirklich umfassende Kenntnisse beizubringen. So oder so müssen wir exemplarisch vorgehen, um wenigstens das allernötigste Basiswissen zu vermitteln. Bei der immer schwieriger werdenden Stoffauswahl gewinnt vor allem ein Kriterium laufend an Bedeutung: Die Schüler sollten so oft wie möglich über die Grenzen eines einzelnen Schulfaches hinwegblicken können, um grössere Zusammenhänge zu erahnen oder sogar zu erfassen. Genau diesen Zweck erfüllen auch Abstecher in die Astronomie. Meist überraschen sie den Schüler und zeigen den zu lernenden Stoff gerade deshalb in einer völlig neuen Perspektive.

In diesem Sinne möchte ich im vorliegenden Artikel beschreiben, wie sich an der Diplommittelschule in Basel ein astronomisches Thema in den normalen Chemieunterricht «einschmuggeln» lässt. Die Zeit dafür wird durch kleine Kürzungen in verschiedenen anderen Kapiteln eingespart, ohne

dass das Fach Chemie dadurch Schaden erleidet. Demgegenüber erweist sich der Nutzen eines solchen Astronomie-Abschnittes – wie mir Schüler immer wieder bestätigten – als erstaunlich gross. Ganz beachtlich ist übrigens auch die Motivation, mit der die Schüler an eingeschobene Kapitel dieser Art herangehen, was sicher zum Teil darauf zurückzuführen ist, dass sich jeder freut, wenn einmal etwas völlig anderes gemacht wird.

Die Gelegenheit, für kurze Zeit in astronomische Gefilde abzuschweifen, bietet sich meist schon recht bald im Chemie-Unterricht. Bei der Besprechung der Elemente, des Atombaus und des Periodensystems gibt es eigentlich in jeder Klasse einzelne Schüler, die sich über die leeren Plätze im Periodensystem wundern. Oft fragen sie, ob diese fehlenden Elemente nicht vielleicht irgendwo im Weltall angetroffen werden könnten. Hier schliesst sich sofort das Problem an, wie weit überhaupt im Weltall die gleichen Grundstoffe wie auf der Erde vorkommen. Weitere Fragen folgen: Wie ist das Weltall chemisch zusammengesetzt? Kann man überhaupt Aussagen über Art und Häufigkeit von Elementen im Weltall machen? Weiss man etwas darüber, woher die Elemente kommen?... Durch solche und ähnliche Fragen wird man manchmal geradezu gedrängt, etwas näher auf das Gebiet der Spektralanalyse einzugehen.

## 2. Einige Angaben zur Geschichte der Spektralanalyse

Auch wenn dem Abfragen von unzähligen Jahreszahlen nicht mehr eine solche Bedeutung wie früher zugemessen wird, scheint es mir wichtig, den Schülern hin und wieder einige historische Hinweise mitzugeben. Die nachfolgende Liste enthält einige Daten zur Entwicklung der Spektralanalyse. Je nachdem lässt sich etwas davon im Unterricht erwähnen.

- Der Begriff «Spektrum» (lat. etwa Bild, Erscheinung, Geist), wie er heute verstanden wird, stammt vermutlich von einem Gelehrten aus dem Mittelalter, der damit die Farberscheinung des Regenbogens bezeichnete.
- 1666. Newton zeigt, dass weisses Licht mit einem Prisma in Farben zerlegt werden kann. Diese lassen sich anschliessend wieder zu weissem Licht verbinden.
- 1800. Herschel entdeckt im Sonnenspektrum jenseits des roten Endes eine unsichtbare Wärmestrahlung, die Infrarot-Strahlung.
- 1801. Ritter findet im Sonnenspektrum jenseits des violetten Endes eine unsichtbare Strahlung, die Silberchlorid sehr schnell schwärzt: die Ultraviolett-Strahlung.
- 1802. Wollaston beobachtet erstmals dunkle Linien im Spektrum der Sonne.
- 1814. Fraunhofer untersucht die dunklen Linien des Sonnenspektrums.
- 1817. Fraunhofer misst und katalogisiert ca. 500 Linien.

- 1820. Gmelin findet die Flammenfärbung durch Lithiumsalze.
- 1842. Draper entwickelt ein Spektroskop mit regulierbarem Spalt aus zwei Messerklingen, Prisma und einer achromatischen Linse vor dem Teleskop.
- 1857. Bunsen und Roscoe konstruieren den «Bunsenbrenner».
- 1859. Bunsen macht in einem Brief erste Andeutungen zur Spektralanalyse: «Im Augenblicke bin ich und Kirchhoff mit einer gemeinsamen Arbeit beschäftigt, die uns nicht schlafen lässt. Kirchhoff hat nämlich eine wunderschöne, ganz unerwartete Entdeckung gemacht, indem er die Ursache der dunklen Linien im Sonnenspektrum aufgefunden und diese Linien künstlich im Sonnenspektrum verstärkt und im linienlosen Spektrum hervorgebracht hat, und zwar der Lage nach mit den Fraunhoferschen identische Linien. Hierdurch ist der Weg gegeben, die stoffliche Zusammensetzung der Sonne und der Fixsterne mit der selben Sicherheit nachzuweisen, mit welcher wir Schwefelsäure, Chlor usw. durch unsere Reagenzien bestimmen.»
- 1860. Kirchhoff und Bunsen publizieren ihre berühmte Arbeit «Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen» (Ann. Physik, 110, 161).
- 1860. Bunsen entdeckt nach Aufarbeitung von 44000 Litern Dürkheimer Solwassers mit Hilfe der Spektralanalyse das Element Caesium.
- 1861. Mit Hilfe der Spektralanalyse entdeckt Bunsen das Element Rubidium.
- 1861. Crooks entdeckt mit der neuen Methode das Element Thallium.
- 1864. Huggins und Miller publizieren eine Arbeit über die Spektren von ungefähr 50 Sternen, aus der sie schliessen, dass die Sterne eine ähnliche chemische Zusammensetzung wie die Sonne besitzen.
- 1868. Secchi untersucht 4000 Sternspektren und nimmt eine erste Klassifikation vor. Sie führt allerdings zu einer falschen Vorstellung der Sternentwicklung.
- 1870. Janssen erkennt die Möglichkeit, die Spektralanalyse auch quantitativ auszuwerten (Flammenphotometrie).
- 1885. Balmer gelingt es zum ersten Mal, Ordnung in das scheinbare Chaos der Spektrallinien zu bringen (Balmer-Serie des Wasserstoffspektrums).
- 1885. Einführung des Objektivprismas durch Pickering. Dadurch wird die Untersuchung einer riesigen Zahl von Sternspektren ermöglicht.
- 1886–1895. Rowland publiziert Tabellen, die die Wellenlängen von 14000 solaren Spektrallinien vom UV bis zum Rot enthalten.
- Gegen Ende des 19. Jh. und zu Beginn des 20. Jh. erscheinen immer umfangreichere Kataloge von Sternspektren. Ein neues Klassifikationsschema wird eingeführt.
- 1913. Mit dem Atommodell von Bohr können erstmalig die Spektralserien erklärt und die Energien verschiedener Atomzustände berechnet werden.

### 3. Der Stundenablauf

#### a) Flammenfärbung

Die Schüler erhalten in den Vertiefungen einer Tüpfelplatte verschiedene Chloride (wie z.B. NaCl, SrCl<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>,...). Zu jedem Salz gehört ausserdem eine Vertiefung mit etwas HCl-Lösung und ein kleiner Magnesia-Stab. Als Vorversuch wird ein Magnesia-Stab in der nichtleuchtenden Bunsenbrennerflamme ausgeglüht, in die verdünnte Salzsäure getaucht und

erneut in die Flamme gehalten. Die Flamme sollte sich nicht verfärben, was beweist, dass weder der Stab noch die HCl-Lösung diese Versuche beeinflussen.

Jetzt können die Schüler mit der eigentlichen Versuchsreihe beginnen. An die mit Salzsäure angefeuchteten Magnesia-Stäbchen werden jeweils einige Körner der verschiedenen Salze gebracht. Dann halten die Schüler die Stäbchen in die Bunsenbrennerflamme, protokollieren ihre Beobachtungen und überlegen, was der Versuch zeigen könnte.

Die Schlussfolgerung lässt sich leicht ableiten: Da es sich in allen Fällen um Chloride handelt, muss die unterschiedliche Flammenfärbung auf die verschiedenen Metall-Bestandteile der Salze zurückzuführen sein.

#### Einige Flammenfarben von Metall-Ionen:

Element	Farbe
Li	rot
Na	gelb
K	blassviolett
Rb	violett
Cs	blau
Ca	ziegelrot
Sr	rot
Ba	grün
Cu	blaugrün
Pb	fahlblau

Hin und wieder schlägt sogar ein Schüler vor, aufgrund der Flammenfärbungen eine Analysenmethode zu entwickeln! Sofern es die Zeit erlaubt, sollte man diese Idee aufgreifen und zeigen, dass tatsächlich die entsprechenden Metalle auch in anderen Verbindungen (z.B. NaCl, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) immer die gleiche Färbung der Flamme verursachen, dass also der Nachweis bestimmter Elemente mit dieser Methode erbracht werden kann. Hier ist der Hinweis wichtig, dass zwar im Prinzip alle Elemente in einem energetisch hoch angeregten Zustand Licht mit bestimmter Farbe aussenden, andererseits aber unsere einfache Flammenfärbungsmethode auf relativ wenige Metalle beschränkt bleibt. Meist genügt die Energie des Bunsenbrenners nicht, um ein Element zum Leuchten anzuregen. Wie weit die physikalischen Ursachen der Flammenfärbung erklärt werden sollen, hängt neben der Motivation der Klasse auch von der Vorbildung der Schüler ab. Zumindest das Bohrsche Atommodell muss bekannt sein, um die beobachteten Vorgänge genügend einleuchtend erklären zu können.

Jene Schüler, die ursprünglich nach der chemischen Zusammensetzung des Weltalls gefragt hatten, werden nach Abschluss der Flammenfärbungsversuche in der Regel selbst vorschlagen, das aus dem Weltraum zu uns gelangende Licht zu analysieren. Einige farbige Astrophotographien (z.B. Orionnebel, Lagunennebel, Trifidnebel...) bestätigen, dass von astronomischen Objekten Licht von den verschiedensten Farben ausgestrahlt wird. Es müsste also tatsächlich möglich sein, durch genaue Untersuchungen des Lichts Aufschluss über die chemische Zusammensetzung von Himmelskörpern zu erhalten.

#### b) Spektralanalyse

Um zu zeigen, dass sich weisses Licht aus allen Spektralfarben zusammensetzt, wird mit Experimentierleuchte und Prisma ein kontinuierliches Spektrum erzeugt. Konzentriert man das vielfarbige Licht des Spektrums mit Hilfe einer Sammel-

linse, so erhält man wieder weisses Licht. Bei der Demonstration dieses Versuches nehmen die Schüler natürlich an, das weisse Licht bestehe nur aus den für unser Auge wahrnehmbaren Farben. Es ist deshalb äusserst wichtig, auf das gesamte elektromagnetische Spektrum hinzuweisen und zu betonen, dass der Mensch nur einen sehr kleinen Teil davon als Licht sehen kann. Dass das Spektrum nicht einfach am roten bzw. am violetten Ende aufhört, lässt sich leicht beweisen: Dazu genügt es, einen Phototransistor (z.B. BXY 29) an ein Ohmmeter anzuschliessen und durch das Spektrum zu bewegen. Das Ohmmeter schlägt zur Überraschung der Schüler auch noch auf beiden Seiten ausserhalb der sichtbaren Regenbogenfarben im Bereich der UV- und IR-Strahlung aus. Meist haben die Schüler die Begriffe «Ultraviolett» und «Infrarot» in verschiedenen Zusammenhängen schon gehört, wussten aber eigentlich nichts damit anzufangen. Das Zusatzexperiment mit dem Phototransistor lohnt sich daher auf alle Fälle.

Wir kennen jetzt die Natur des weissen Lichts. Was wäre nun zu erwarten, wenn man farbiges Licht, wie wir es bei den Flammenfärbungsversuchen erzeugen, durch ein Prisma schickt? In der Regel rechnen die Schüler mit einem Spektrum, das aus einem einzigen schmalen Streifen besteht. Mit Natrium als Lichtquelle kann diese Überlegung im Prinzip bestätigt werden (Na-D-Linie). Die Untersuchung einiger weiterer leuchtender Elemente zeigt jedoch, dass üblicherweise eine Mehrzahl von Linien auftritt.

Die einfachste Möglichkeit, mehreren Schülern gleichzeitig ein Linienspektrum zu demonstrieren, zeigt Abb. 1. Als Lichtquelle dienen leicht auswechselbare Spektralröhren (Phywe liefert z.B. Hg, H<sub>2</sub>, Ar, Ne, He, N<sub>2</sub>). Auch in einem völlig verdunkelten Raum sieht man allerdings nur die hellsten Linien auf dem Transparenzschirm. Aus diesem Grunde wurde versucht, ein Taschenspektroskop an einen Photoapparat anzuschliessen (Abb. 2.), um anhand von Photographien die Vielfalt der Emissionslinien zu verdeutlichen. Das Resultat ist recht erfreulich, wie Abb. 3. zeigt. Die Belichtungszeit muss man natürlich ausprobieren, da sie vor allem stark von der Breite des Spalts abhängt. Sie lag sowohl bei Farbdiass (100 ASA) als auch bei Schwarzweiss-Negativen (400 ASA) im Bereich von 30–60 Sekunden. Von den auf die-

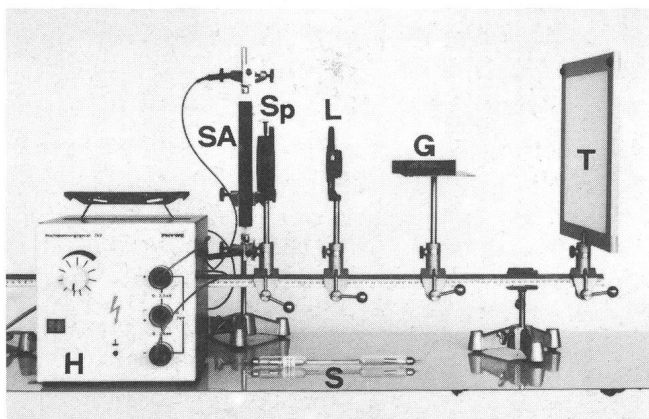


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Erzeugung von Emissionsspektren mit Hilfe von Spektralröhren. Um auf dem Transparenzschirm Streulicht zu vermeiden, empfiehlt es sich, um die Linse oder das Geradsichtprisma herum einen grossen schwarzen Karton anzubringen. G: Geradsichtprisma, H: Hochspannungsgerät, L: Linse (z.B.  $f = +15$  cm), S: Spektralröhre, SA: Spektralröhre in Abdeckrohr, Sp: Spalt, T: Transparenzschirm.

se Weise erhaltenen Linienspektren bekommen die Schüler Photokopien, die sie auf ihre Arbeitsblätter kleben können. So erkennen sie am besten, dass ein Linienspektrum wie ein Fingerabdruck eines Elementes aufgefasst werden kann, dass sich also jedes Element anhand seiner charakteristischen Spektrallinien identifizieren lässt. Mit grossem Erstaunen merken die Schüler nun auch, dass wir in der Spektralanalyse eine Methode besitzen, die es uns ermöglicht, Aufschluss über die chemische Zusammensetzung leuchtender Himmelskörper zu erhalten.

An dieser Stelle kommt man natürlich auch auf die Fraunhoferschen Linien zu sprechen, ohne allerdings eine Erklärung dieses Phänomens zu versuchen. Die Schüler erhalten lediglich etwa folgenden Hinweis: Ein Stern sendet Licht aller Farben aus. Durch ein Prisma entsteht also ein kontinuierliches Spektrum genau wie aus dem Licht unserer Experimentierleuchte. Durchquert nun dieses Licht kühlere Gasschichten, wie sie in der Atmosphäre eines Sternes vorkommen, so bilden sich im kontinuierlichen Spektrum dunkle Linien aus. Diese Linien liegen genau an den Stellen, wo die Emissionslinien des leuchtenden Gases anzutreffen wären, wenn wir es ohne den Stern dahinter untersuchen könnten.

Den Schülern leuchtet ohne weiteres ein, dass uns also diese dunklen Linien Auskunft über die elementare Zusammensetzung der Sternhülle geben. Die Fraunhoferschen Linien sind übrigens leicht zu beobachten: Durch ein einfaches Taschenspektroskop kann jedermann zahlreiche Absorptionslinien im Spektrum unserer Sonne (auch bei schlechtem Wetter) mit eigenen Augen direkt ansehen.

### c) Häufigkeit und Entstehung der Elemente

In der Spektralanalyse besitzen die Astronomen eine Methode, die es ermöglicht, Aussagen über die chemische Zusammensetzung des Weltalls zu machen. Wir wissen heute, dass die Elemente Wasserstoff und Helium bei weitem am häufigsten auftreten. Dieser Befund sowie die Tatsache, dass auf der Erde andere Elemente vorherrschen (Sauerstoff, Eisen, Silicium, Magnesium...), führt die Schüler zur Frage nach der Entstehung der Elemente und der Entwicklung von Sternen und Planetensystemen. Die Schüler müssen unbedingt erkennen, welche enorme Bedeutung die Aufklärung dieser Vorgänge besitzt. Vor allem die Erforschung der Kernreaktionen, durch die Elemente im Weltall gebildet wurden und noch immer gebildet werden, wird als einer der ganz grossen Erfolge der Naturwissenschaften in die Geschichte eingehen. Wie tief man in die Sternentwicklung und die vielfältigen Fusionsprozesse eindringt, hängt einmal mehr von der verfügbaren Zeit, wie auch vom allgemeinen Interesse der Schüler ab. Unerlässlich scheinen mir folgende Punkte zu sein:

- Nach dem Urknall enthält das Universum praktisch nur Wasserstoff und etwas Helium, also die beiden leichtesten Elemente.
- Diese Gase verdichten sich. Es bilden sich Galaxien und zahllose noch viel kleinere Verdichtungen. Letztere ziehen sich immer mehr zusammen, wobei sie heisser werden. (Dass beim Komprimieren von Gasen Wärme entsteht, zeigt man schnell mit einer Luftpumpe). Unter extremen Druck- und Temperaturverhältnissen werden die Atomkerne so stark gegeneinander gepresst, dass Kernverschmelzungsprozesse einsetzen. Bei diesen Fusionsvorgängen entstehen neue Elemente. Ausserdem werden dabei gewaltige Energiemengen freigesetzt. Die Sterne der 1. Generation beginnen zu leuchten. Sie produzieren in ih-



rem Inneren bei Temperaturen von etwa 10 Millionen Grad aus Wasserstoffkernen Heliumkerne:  $4 \text{ }^1\text{H} \rightarrow \text{}^4\text{He}$ . Diese Darstellung des Wasserstoffbrennens ist natürlich zu stark vereinfacht, doch geht es hier ja wirklich nur um das Prinzip. (Historischer Hinweis: 1938 entwickeln Bethe und Weizsäcker die ersten Theorien über den Mechanismus der Energieproduktion in der Sonne und den Fixsternen.)

- Wir verfolgen nun das «Leben» eines massereichen Sternes der 1. Generation: Wenn der Wasserstoff-Vorrat unseres Sternes zu Ende geht, lassen die Fusionsvorgänge nach. Der Druck im Stern sinkt, was zu einer Kontraktion führt. Als Folge davon steigen die Temperaturen auf über

100 Millionen Grad an. Nun kann auch das Helium zu schwereren Kernen verschmelzen: z.B.

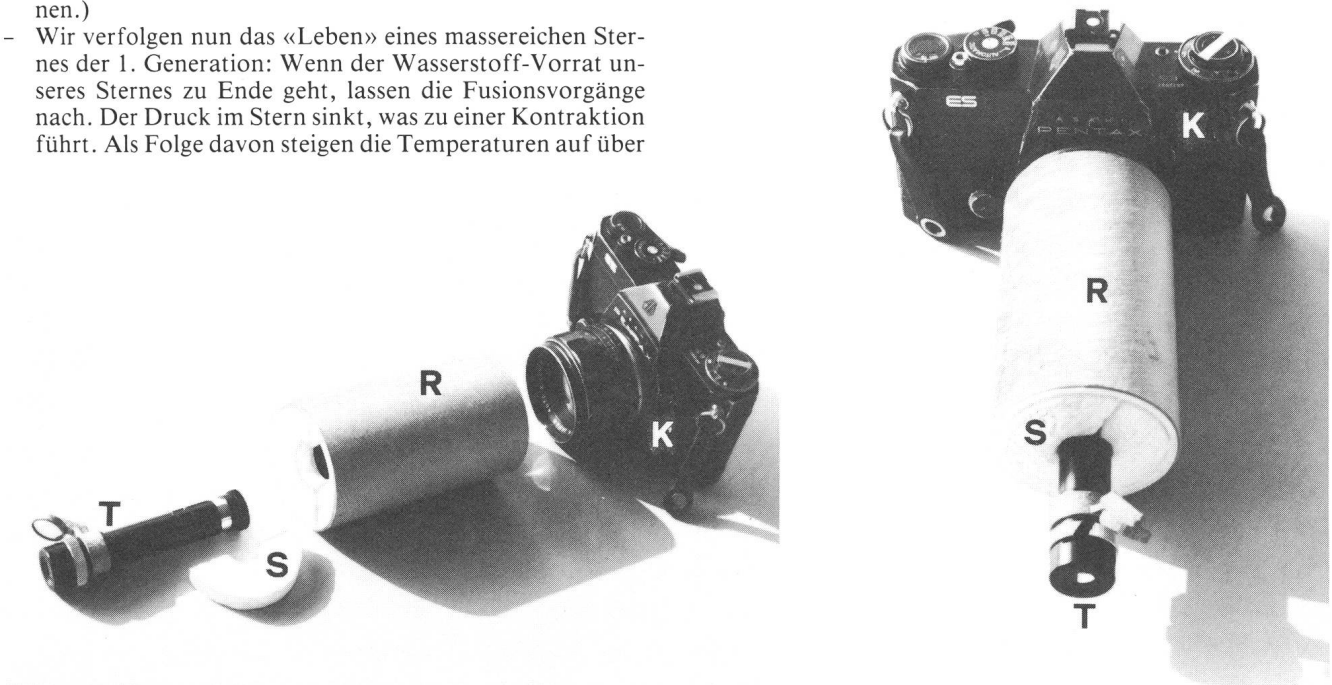
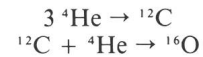


Abb. 2 a) und b): Einrichtung zur Photographie von Spektren, a) in Einzelteile zerlegt, b) zusammengesetzt. Das Kartonrohr mit dem Spektroskop wird über das Objektiv der Kamera gesteckt. Um das Taschenspektroskop im Rohr zu fixieren, klemmt man es mit zwei halben Ringen aus Styropor fest. K: Kamera mit Normaloptik, R: Rohr aus starkem Karton, wie es z.B. für den Versand von Postern verwendet wird, S: Styroporhalbringe, T: Taschenspektroskop.

H $\delta$  410,2 nm                      H $\gamma$  434,0 nm                      H $\beta$  486,1 nm                      H $\alpha$  656,3 nm

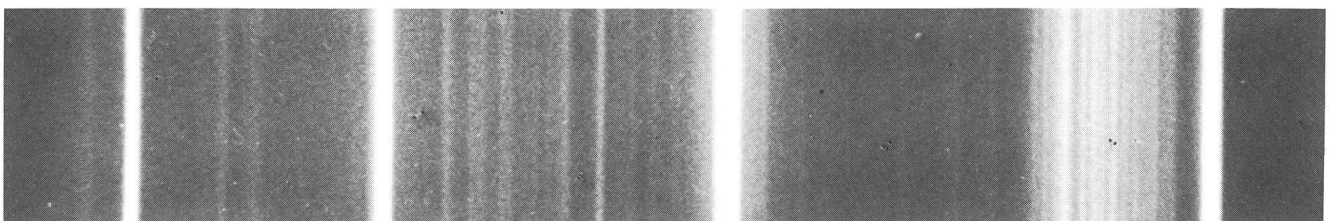


Abb. 3. a) Spektrum von Wasserstoff

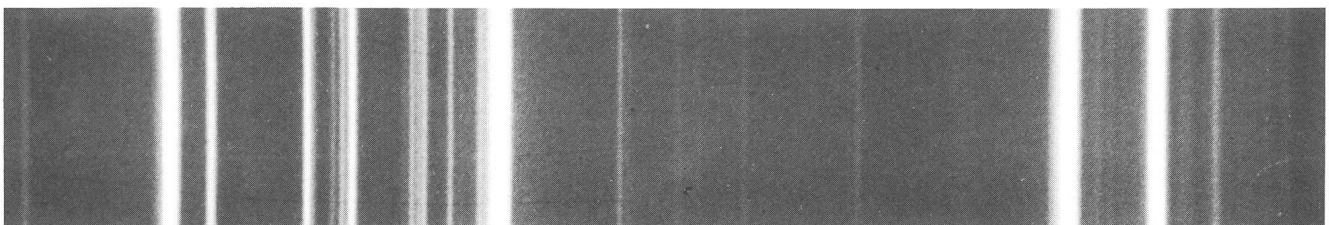
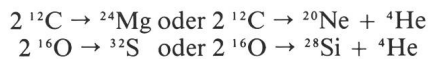


Abb. 3. b) Spektrum von Quecksilber

Zwei Beispiele von Emissionsspektren, die mit Hilfe der in Abb. 2 dargestellten Apparatur aufgenommen wurden.

Bei noch höheren Temperaturen laufen weitere Kernfusionen ab, z.B.:



Erreicht die Temperatur etwa 2 Milliarden Grad, so werden immer schwerere Elemente bis hin zum Eisen produziert. Verglichen mit seinem ersten Lebensabschnitt ist die Energieproduktion unseres Sternes jetzt viel grösser. Der erhöhte Druck im Inneren bläht den Stern stark auf. Es entsteht ein sogenannter Roter Riese. (Die ganze Entwicklung müssen und können sich die Schüler übrigens selbst überlegen!)

- Wenn Eisen zu noch massereicherer Atomkernen verschmilzt, tritt eine neue Entwicklung ein: Energie wird nicht mehr freigesetzt, sondern verbraucht. Als Folge davon sinkt der Druck im Zentrum des Sternes. Seine äusseren Hüllen brechen ein. Die bei diesem Kollaps entstehenden Temperaturen von mehreren Milliarden Grad führen zu einer Supernova, einer gewaltigen Sternexplosion. Dabei dürften auch die schwersten Elemente erzeugt werden.
- Während seines ganzen Lebens, vor allem aber bei der Supernova-Explosion stösst ein Stern Materie in den Weltraum aus. Wenn diese Materie kondensiert, setzt die Bildung neuer Sterne und Planetensysteme ein. Die chemische Zusammensetzung solcher Himmelskörper der 2. und aller späteren Generationen unterscheidet sich grundlegend von jener des ursprünglichen Universums, da ja neben Wasserstoff und Helium jetzt auch andere Elemente vorhanden sind.

Unser Sonnensystem besteht nicht aus der Urmaterie des Weltalls. Die Fraunhoferschen Linien im Spektrum der Sonne teilen uns mit, dass die Sonnenatmosphäre neben Wasserstoff und Helium auch die schwereren Elemente enthält. Die allgemeine chemische Zusammensetzung des Weltalls sowie die davon stark abweichende Zusammensetzung der Erde versteht man jetzt ebenfalls: Da Wasserstoff und Helium die Urgase des Universums sind, treten sie auch heute noch am häufigsten auf. Die übrigen Elemente sind wesentlich seltener anzutreffen, da sie erst im Inneren von Sternen produziert werden mussten. Die kleinen Planeten, zu denen auch unsere Erde zählt, bestehen vorwiegend aus massereicheren Elementen, obwohl eigentlich auch hier Wasserstoff und Helium überwiegen sollten. Die geringe Schwerkraft solcher Himmelskörper genügt allerdings nicht, die leichtesten Gase festzuhalten. Sie entweichen deshalb ins Weltall.

Viele Details über den chemischen Aufbau der Himmelskörper und die Entwicklung von Sternen und Planetensystemen entziehen sich auch heute noch unserem Wissen. Dennoch vermochten Astronomen und Kernphysiker ein zusammenhängendes Bild von der Geschichte der Materie zu entwerfen. Völlig verblüffend für die Schüler ist dabei in erster Linie die Tatsache, dass die gewöhnlichen Stoffe unserer Welt, also auch die Atome in unserem Körper, in «Sternöfen» hergestellt wurden, lange bevor unsere Sonne mit ihren Planeten entstand.

#### 4. Der Zeitbedarf

Die hier angegebenen Richtlinien sind Minimalzeiten, gelten also nur, wenn auf jegliche Erweiterung des Themas verzichtet wird. Besonders die für 3. c) benötigte Zeit kann in der Praxis sehr unterschiedlich sein. Das Erarbeiten der grund-

legenden Gedankengänge durch die Schüler dauert eben in der einen Klasse viel länger als in der anderen. Hier spielt es auch eine grosse Rolle, was für Dias zur Verfügung stehen. Ist man in der Lage, spektakuläre Farbbilder zeigen zu können, sollte man das unbedingt tun. Solche Aufnahmen faszinieren die Schüler in ganz erstaunlichem Ausmass.

- Flammenfärbungen als Schülerexperiment 1 Lektion
- Erzeugung eines kontinuierlichen Spektrums  
Demonstration von Linienspektren  
Fraunhofersche Linien im Sonnenspektrum 1 Lektion
- Entstehung der Elemente und  
Sternentwicklung 2 Lektionen

#### 5. Einige Erweiterungsmöglichkeiten

Das bisher Gesagte macht deutlich, dass es in relativ kurzer Zeit gelingt, den Blick der Schüler etwas über das Fach Chemie hinaus auf das phantastische Gebiet der Astronomie zu lenken. Falls es der Lehrer verantworten kann und die Schüler mit der nötigen Begeisterung mitmachen, lassen sich zum einen oder anderen Punkt interessante Ergänzungen anbringen. Einige Möglichkeiten möchte ich hier noch erwähnen:

##### a) Erklärung der Emissionslinien

Möglicherweise fragen Schüler bei der Demonstration von Linienspektren, warum die Elemente Licht von ganz bestimmten Farben aussenden. Je nach Schulstufe und physikalischen Vorkenntnissen muss dann der Lehrer auf das Zustandekommen der Emissionslinien eingehen. In der Regel genügt es, wenn die Schüler das Bohrsche Atommodell beherrschen und eventuell aus der Physik den Zusammenhang «Farbe des Lichts – Wellenlänge – Energie» kennen. Unsere Erklärung kann dann etwa folgendermassen lauten:

Wird einem Atom Energie zugeführt (bei uns z.B. mit dem Bunsenbrenner oder dem Hochspannungsgerät), führt dies dazu, dass Elektronen auf eine vom Kern weiter entfernte, also energiereichere Bahn gehoben werden. Nach sehr kurzer Zeit (ca.  $10^{-8}$ s) gehen diese angeregten Elektronen wieder in ihren Grundzustand zurück. Dabei wird die vorher aufgenommene Energie als Licht (genauer als elektromagnetische Wellen) abgestrahlt. Die abgegebene Energie, also die Wellenlänge resp. die Farbe dieser Strahlung hängt nun davon ab, von welcher Bahn aus ein Elektron auf eine bestimmte tiefere Bahn zurückfällt. Je grösser ein Elektronensprung ist, um so energiereicher oder kurzwelliger wird die abgegebene Strahlung. Da die Elektronen bei den verschiedenen Atomsorten jeweils ganz bestimmte Bahnsprünge ausführen, werden eben auch für die einzelnen Atome charakteristische Wellenlängen (Farben) ausgestrahlt.

##### b) Experiment zur Entstehung von Fraunhoferschen Linien

Im Anschluss an die Demonstration von Emissionsspektren haben die Schüler die Möglichkeit, mit einem Taschenspektroskop die Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum zu beobachten. Um das Zustandekommen der dunklen Absorptionslinien zu erklären, lässt man das weisse Licht einer Experimentierleuchte den Dampf einer Natrium-Fluoreszenzröhre durchqueren. Im kontinuierlichen Spektrum des weissen Lichtes ist an der Stelle der Natriumlinie eine dunkle Fraunhoferlinie zu erkennen. Die Experimentierleuchte entspricht dabei einem leuchtenden Stern, während die Natrium-Fluoreszenzröhre die kühlere Sternatmosphäre darstellt. Das (nicht gerade billige) Material für diesen Versuch ist bei Phywe (Kümmerly und Frey, Bern) erhältlich.

#### c) Nachweis von Natrium in der Sonnenatmosphäre

Mit einem Taschenspektroskop erblickt man im Tageslicht die auffälligsten Fraunhoferschen Linien. Wir decken nun die untere Spalthälfte des Spektroskopes mit Transparentpapier ab. Mit einer Spektrallampe oder mit einem Bunsenbrenner und etwas Kochsalz erzeugen wir Natriumlicht. Blickt man jetzt durchs Spektroskop, so erkennt man oben das Sonnenspektrum und – bei geeignetem Abstand zur Natriumlichtquelle – im unteren Teil die Na-D-Linie. Da sich die Natrium-Emissionslinie im Sonnenspektrum als dunkle Absorptionslinie direkt fortsetzt, ist die Existenz von Natrium in der Sonnenatmosphäre bewiesen.

Am einfachsten geht dieser Versuch, wenn das Taschenspektroskop einen Spiegel besitzt, mit dessen Hilfe ein Vergleichsspektrum eingeblendet werden kann.

Ein grosser Vorteil dieses Experimentes liegt darin, dass es sich auch bei schlechtem Wetter durchführen lässt.

#### d) Photographie von Sternspektren mit Hilfe eines Objektivprismas

Ein vor ein Teleobjektiv montiertes Prisma ermöglicht es, auf relativ einfache Weise Sternspektren anzufertigen. Wie man einen solchen Objektivspektrographen zusammenbauen kann, ist unter anderem in der Zeitschrift «Sky and Telescope» vom Mai 1983 beschrieben. Weitere nützliche Hinweise liefert ausserdem das Handbuch für Sternfreunde (Hrsg. G. D. Roth, Springer, 1981). Als nicht ganz einfach erweist sich eventuell die Beschaffung eines grösseren Prismas, sofern man es nicht selbst schleifen will oder kann. In Spindler und Hoyer (Generalvertretung für die Schweiz: Wild und Leitz AG, Zürich, Basel, Bern, Lausanne) konnte immerhin eine Firma gefunden werden, die 60°-Prismen bis zu einer Grösse von 60 mm × 60 mm (= Länge × Höhe) und 90°-Prismen (mit einem brechenden Winkel von 45°) bis zu 100 mm × 100 mm anbietet.

Richtet man die brechende Kante des Prismas parallel zum Himmelsäquator, so entsteht auf dem Film ein fadenförmiges, senkrechtetes Spektrum. Um Absorptionslinien erkennen zu können, muss dieser Spektralfaden verbreitert werden. Bei sehr hellen Sternen kann man dafür die tägliche Bewegung benutzen. Es genügt in diesem Falle, den Spektrographen fest auf ein Stativ zu montieren und einen hochempfindlichen Film etwa 5–8 Minuten zu belichten. Diese Methode bewährt sich vor allem, wenn man die Aufnahmen zusammen mit Schülern machen will.

Um Spektren schwächerer Sterne zu erhalten, müssen wir unseren Spektrographen auf ein Fernrohr montieren. Liegt die brechende Kante wieder parallel zum Himmelsäquator, so verbreitern wir den in Deklinationsrichtung liegenden Spektralfaden durch Drehen des Stundenfeintriebess. Noch besser ist es natürlich, wenn man die Fernrohrnachführung mit variabler Frequenz betreiben kann. Dann lässt man den Spektralfaden einfach ganz langsam aus der ursprünglichen Position herauslaufen.

#### e) Auswertung und Klassifizierung von Sternspektren

Die genauere Auswertung von Sternspektren, ihre Klassifikation sowie damit zusammenhängende tiefere Einblicke in die Astrophysik dürften Schülern der oberen Stufe vorbehalten bleiben. Die Aufstellung des Hertzsprung-Russell-Diagrammes wäre hier eine lohnende Aufgabe. In einer der nächsten ORION-Ausgaben soll darüber berichtet werden, wie dieses Thema mit Schülern des Humanistischen Gymnasiums Basel bearbeitet wird.

#### f) Spektralanalyse in den unsichtbaren Bereichen des elektromagnetischen Spektrums

Es würde hier viel zu weit führen, einzelne Beispiele aufzuzählen. Ich möchte lediglich feststellen, dass es vielleicht ganz gut ist, wenn die Schüler auch etwas über die vielfältigen Untersuchungsmöglichkeiten des Raumfahrtzeitalters erfahren. Beobachtungen im Infrarot-, Ultraviolett-, Röntgen- oder Gamma-Bereich sind ja dank der Raumfahrttechnik möglich geworden. Ein Hinweis auf das 2,4 m-Weltraumteleskop, das 1986 starten soll und unter anderem auch zwei Spektrographen an Bord hat, ist sicher ebenfalls angebracht.

Für unser Thema besonders aufregende Resultate erbringt auch die Radioastronomie. Untersuchungen im Radiowellenbereich weisen bekanntlich auf die Existenz zahlreicher, teils recht komplexer Moleküle in interstellaren Gas- und Staubwolken hin.

#### g) Direkte Untersuchung ausserirdischer Materie

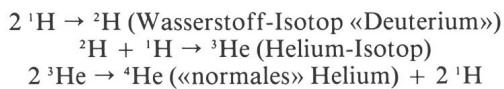
Neben der Spektralanalyse existiert prinzipiell noch eine zweite Methode zur Erforschung ausserirdischer Materie: die direkte Analyse von Mondgestein und Meteoriten. Dank der amerikanischen Apollo-Flüge steht seit 1969 Mondgestein zur Verfügung. Ein Überblick über die Geschichte des Mondprogrammes sowie einige Angaben über die chemische Zusammensetzung von Mondgestein können für die Schüler von Interesse sein. Bild- und Filmdokumente zu diesem Thema gibt es reichlich.

Für viele verblüffend ist die Feststellung, dass schon vor den ersten Mondlandungen ausserirdisches Material untersucht werden konnte. Die meisten Schüler kennen zwar die Erscheinung der Sternschnuppen, wissen allerdings nichts über deren Ursachen. Von mehr oder weniger grossen Materiestücken, die gelegentlich aus dem Weltraum auf die Erde fallen, haben ebenfalls die wenigsten schon einmal etwas gehört. Um so interessierter sehen sie sich deshalb Bilder von Meteoriten und von Einschlagkratern (z.B. Arizona-Krater) an. Geradezu phantastisch mutet es an, dass man heute dank modernster Analyseverfahren in der Lage ist, die Modelle der Elemententstehung teilweise direkt zu überprüfen. In kohligem Chondriten lassen sich tatsächlich winzige Überreste von Roten Riesen und Supernovae auffinden, ebenso wie Spuren chemischer Vorgänge, die im interstellaren Raum stattfinden.

Die Schüler sind in diesem Zusammenhang immer besonders beeindruckt, wenn sie die Gelegenheit erhalten, einen Meteoriten (vielleicht sogar einen kohligem Chondriten, also ein Stück der ältesten Materie, die wir kennen) selbst einmal in die Hand zu nehmen und aus der Nähe zu betrachten. Sofern man einen Meteoriten erwerben will, kann man sich an Walter Zeitschel (Postfach 2340, D-6450 Hanau 1) wenden. Gerne gibt er jede gewünschte Auskunft und übersendet Interessenten seinen neuesten Katalog mit einer grossen Auswahl an Meteoriten in allen Preislagen.

#### h) Einführung des Begriffes «Isotop»

Der Begriff «Isotop» muss im Chemie-Unterricht früher oder später einmal erklärt werden. Beim Besprechen der verschiedenen Kernsynthesen im Inneren von Sternen ergibt sich eine gute Gelegenheit, die Isotope einzuführen. Damit ist es möglich, eine grössere Zahl von Fusionsprozessen vorzustellen. Auch das Wasserstoffbrennen können wir mit Hilfe der Isotope einigermassen korrekt darstellen; z.B.:



*i) Endstadien der Sternentwicklung*

Viele Schüler haben schon irgendwann einmal etwas von unheimlichen Schwarzen Löchern gehört. Sollte die Sprache darauf kommen, kann man das Thema «Sternentwicklung» ruhig umfassender behandeln. Vor allem muss der grosse Einfluss der Masse eines Sternes auf das Modell seines Lebenslaufes betont werden. Von der Masse hängt es schliesslich ab, ob ein Stern als Weisser Zwerg, als Neutronenstern (Pulsar) oder eben als Schwarzes Loch endet.

*j) Beobachtungen mit dem blossen Auge, Feldstecher und Fernrohr*

Vielleicht wird in einigen Schülern so viel Begeisterung an der Astronomie geweckt, dass sie gerne einmal direkte Beobach-

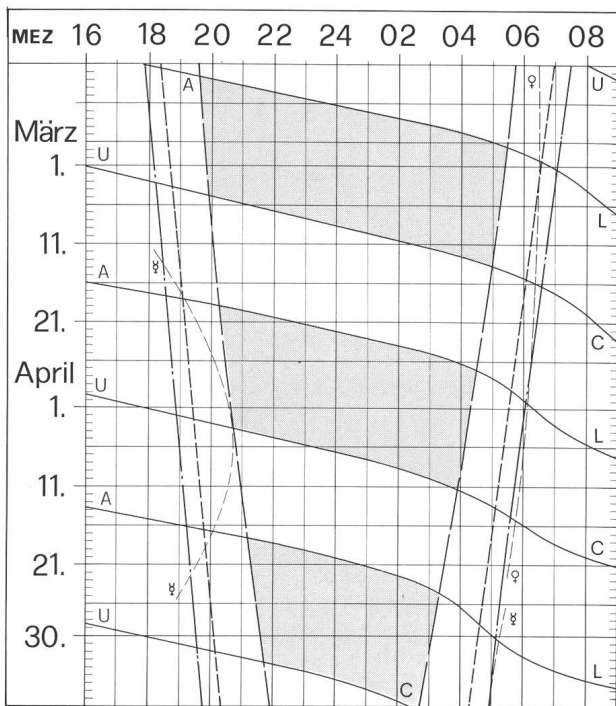
tungen am Sternhimmel machen möchten. Meist war noch niemandem aufgefallen, dass gewisse Sterne deutlich Farben erkennen lassen. Man muss also darauf hinweisen und zeigt in diesem Zusammenhang Beispiele von Roten Riesen. Da man Bezug auf das im Klassenzimmer Besprochene nehmen will, sollte das Programm neben Roten Riesen wenn möglich folgende Objekte enthalten: leuchtender Gasnebel, Dunkelwolke, Ringnebel, Crabnebel, Sternhaufen, Galaxie. Auch wenn die im Unterricht projizierten Farbdias solche Objekte eigentlich viel schöner und eindrucksvoller zeigen, ist es für gewisse Schüler doch immer wieder ein ganz besonderes Erlebnis, so etwas mit eigenen Augen direkt zu beobachten.

*Adresse des Autors:*

Dr. Helmut Kaiser-Mauer, Burgfeldermattweg 27, CH-4123 Allschwil.

Sonne, Mond und innere Planeten

Soleil, Lune et planètes intérieures



Aus dieser Grafik können Auf- und Untergangszeiten von Sonne, Mond, Merkur und Venus abgelesen werden.

Die Daten am linken Rand gelten für die Zeiten vor Mitternacht. Auf derselben waagrechten Linie ist nach 00 Uhr der Beginn des nächsten Tages aufgezeichnet. Die Zeiten (MEZ) gelten für 47° nördl. Breite und 8°30' östl. Länge.

Bei Beginn der bürgerlichen Dämmerung am Abend sind erst die hellsten Sterne — bestenfalls bis etwa 2. Grösse — von blossen Auge sichtbar. Nur zwischen Ende und Beginn der astronomischen Dämmerung wird der Himmel von der Sonne nicht mehr aufgehellt.

Les heures du lever et du coucher du soleil, de la lune, de Mercure et de Vénus peuvent être lues directement du graphique.

Les dates indiquées au bord gauche sont valables pour les heures avant minuit. Sur la même ligne horizontale est indiqué, après minuit, le début du prochain jour. Les heures indiquées (HEC) sont valables pour 47° de latitude nord et 8°30' de longitude est.

Au début du crépuscule civil, le soir, les premières étoiles claires — dans le meilleur des cas jusqu'à la magnitude 2 — sont visibles à l'œil nu. C'est seulement entre le début et la fin du crépuscule astronomique que le ciel n'est plus éclairé par le soleil.

- — — — — Sonnenaufgang und Sonnenuntergang  
Lever et coucher du soleil
- - - - - Bürgerliche Dämmerung (Sonnenhöhe -6°)  
Crépuscule civil (hauteur du soleil -6°)
- — — — — Astronomische Dämmerung (Sonnenhöhe -18°)  
Crépuscule astronomique (hauteur du soleil -18°)
- A L Mondaufgang / Lever de la lune
- U C Monduntergang / Coucher de la lune
- Kein Mondschein, Himmel vollständig dunkel  
Pas de clair de lune, ciel totalement sombre