

Der Orionnebel in Uropas Astrobuch

Olaf Fischer

Im Zentrum der folgenden WIS-Materialien steht ein [Arbeitsblatt](#), welches auf einen Lesetext zum Orionnebel aus einem Astronomiebuch von 1901 Bezug nimmt, aus dem der Uropa einst sein Wissen bezog. Dieser historische Ansatz der Unterrichtsgestaltung betont den **Entwicklungsaspekt der Wissenschaften**. Es soll erkennbar werden, wie neue Erkenntnisse der Physik und anderer Wissenschaften und der technologische Fortschritt einerseits Voraussetzung und andererseits Folge bestimmter Herausforderungen der Astronomie waren. [Ehemals irrige Ansichten](#) treten hervor und es wird die Einsicht von der Unbegrenztheit und ständigen Weiterentwicklung des Wissens gefördert.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Diffuses Medium, Astronomiegeschichte	Orionnebel , HII-Gebiet , Bilder von Himmelsobjekten im historischen Vergleich
Physik	Quantenphysik, Thermodynamik	Spektralanalyse , Lichtenstehung , Balmerlinien , verbotene Linien , allgemeine Zustandsgleichung für das ideale Gas
Fächer- verknüpfung	Astro-Bio, Astro- Geschichte	Purkinje-Phänomen , Wissenschaftsgeschichte (Wechselspiel mit Technik)
Lehre allgemein	Kompetenzen (Bewertung, Wissen und Erkenntnis), Unter- richtsmittel	Erkennen des Zusammenhangs zwischen Wissenschaft und Technik, Lesekompetenz , Bilder auswerten , Beobachtung durchführen , Berechnungen und Vergleiche , Arbeitsblatt , Lesetexte , Balmer-Lampe

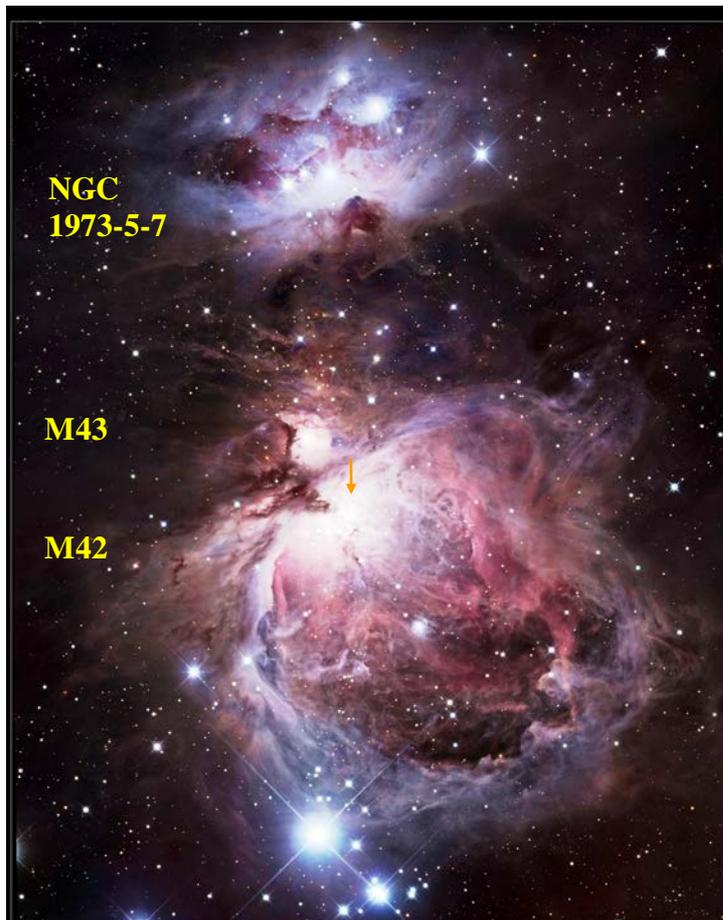


Abbildung 1: Die Orionnebel M 42, M 43 und NGC 1973-5-7 (Running Man Nebula), im Visuellen aufgenommen im Feb. 2010 vom Durchmusterungsteleskop der ESO (VISTA). Das rötliche Licht stammt aus der Rekombination der Wasserstoffatome, welche durch die UV-Strahlung der extrem heißen jungen Sterne im sogenannten Oriontrapez (oranger Pfeil) zuvor ionisiert wurden. Das bläuliche Licht stammt von der Streuung des Sternlichts an Staubteilchen. Da die Staubteilchen viel kleiner sind als die Wellenlängen des einfallenden Lichts, wird das blaue Licht deutlich stärker gestreut als das rote Licht (man denke an die Erdatmosphäre). Zudem ist das Licht der wesentlichen Beleuchtersterne selbst schon bläulich.

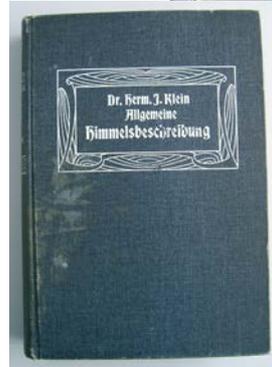
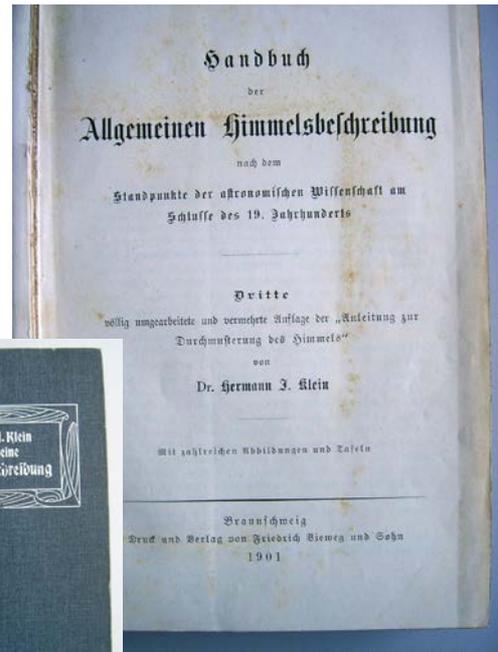
©: ESO / J. Emerson/VISTA & R. Gendler.
Acknowledgment: Cambridge Astronomical Survey Unit, <https://cdn.eso.org/images/publication/jpg/eso1006a.jpg>.

Der Orionnebel in Uropas Astrobuch

[\(→ zurück zum Anfang\)](#)

Lies den Text über die Erkenntnisse zum Orionnebel, die am Ende des 19. Jahrhunderts vorlagen (siehe **Beiblätter „Astrobuch vom Uropa“**). Der alte Text unterscheidet sich von heutigen Fachtexten u. a. durch die Druckzeichen, den Schreibstil und natürlich die Wissensgrundlage.

Die folgenden Fragen beziehen sich auf spezielle Aussagen in den markierten Textpassagen. Im Zusammenhang mit den Fragen wird auf weitere Materialien verwiesen, die bei der Beantwortung **helfen können und vertiefte Einblicke erlauben**.



1. Der Autor spricht von der „optischen Kraft des angewandten Instruments“. Was kann man darunter verstehen und welche Bedeutung hat diese für den Fortschritt in der Astronomie? (siehe auch [→ Astrobilder lesen lernen](#)). Spüre selbst die „Kraft“ eines optischen Instruments und beobachte damit den Orionnebel (siehe auch [→ Beobachtungsauftrag](#)).
2. Auf Grund welcher Beobachtungen schließt Pickering darauf, dass die Nebelsichtbarkeit auf einige helle Sterne zurückzuführen ist? Warum verglichen Huggins und Vogel das Licht einer mit Wasserstoff gefüllten Geißlerschen Röhre mit dem Spektrum des Orionnebels? Was schlussfolgerten sie daraus? Prüfe ihre Schlussfolgerung auf Grundlage besserer Messwerte (siehe **A&A 465 (2007) 207**, siehe Aufgabe 4). Was wissen wir heute über den Zusammenhang zwischen der Nebemission und den hellen Sternen? (zur Physik der Strahlungsquellen siehe auch [→ Vergleich zwischen HII-Gebiet und Balmer-Lampe](#)). Welche Vorstellungen bestanden zu damaliger Zeit zu Gasnebeln ([→ anhängende Datei „AN 145 \(1898\) 305“](#)²). Vergleiche diese mit den heutigen Kenntnissen zum Orionnebel.
3. Warum erscheint die H α -Linie (das rötliche Licht des Orionnebels) in den zu früherer Zeit aufgenommenen Spektren (zeichnerisch und fotografisch) nicht oder nur sehr schwach? Siehe dazu auch in **AN 145 (1898) 305** (siehe Aufg. 2, siehe auch [→ Spektrenaufnahmen](#)).
4. Campbell erwähnt drei Hauptlinien im Spektrum des Orionnebels: bei Wellenlängen von 5007 nm, 4959 nm und 4860 nm. Welchen Elementen (neutral oder ionisiert) lassen sich diese Linien zuordnen. Gib dazu auch die Laborwellenlänge an. Zur Beantwortung dieser Frage kannst du Tab. 1 aus einer relativ aktuellen Veröffentlichung¹ ([→ anhängende Datei „A&A 465 \(2007\) 207“](#)) zur Spektroskopie des Orionnebels nutzen. Du kannst die Angaben aus Tab. 1 auch nutzen, um die Helligkeitsverhältnisse der Hauptlinien mit den von Campbell genannten Werten (4:1:1) zu vergleichen.

¹ „PPAK integral field spectroscopy survey of the Orion nebula“, in: *Astronomy & Astrophysics* 465, 207-217 (2007)

² „Ueber das Spectrum des Wasserstoffs in den Nebelflecken“, in: *Astronomische Nachrichten* 145, 305-310 (1898)

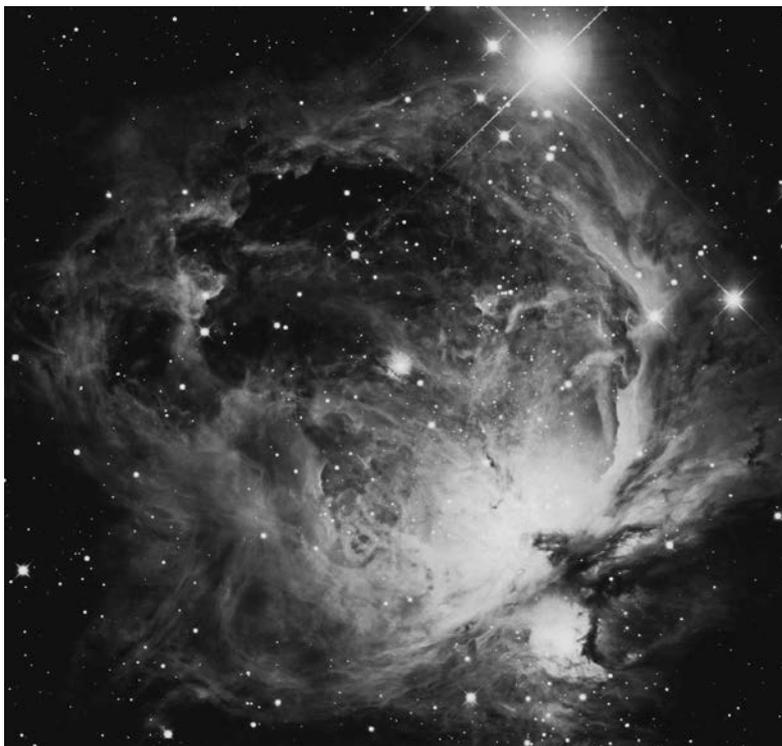
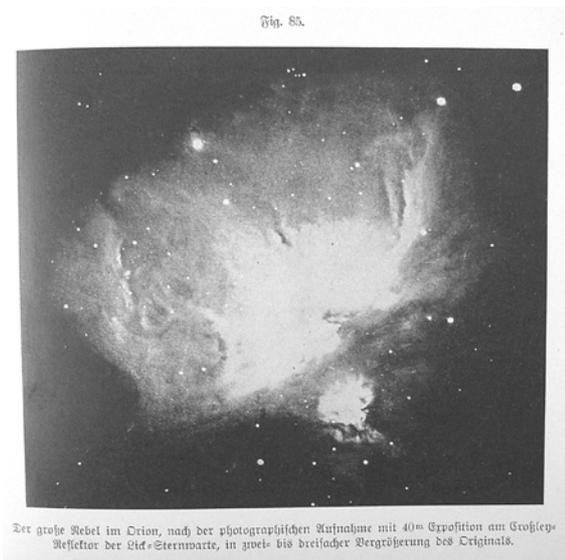
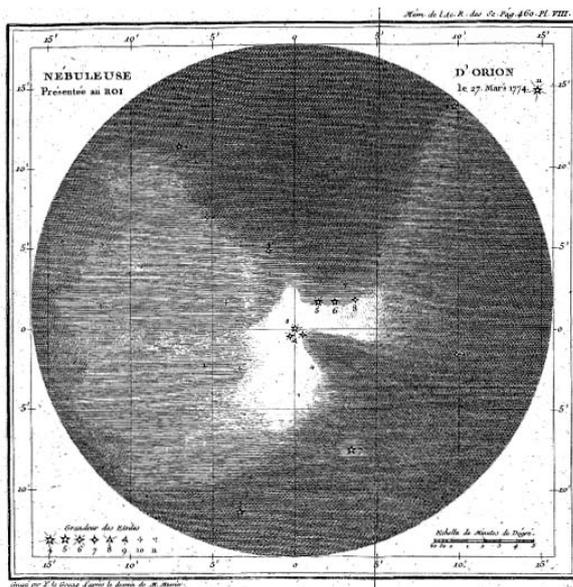
Astrobilder lesen lernen

[\(→zurück zu Uropas Astrobuch\)](#)

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Das Fernrohr und daran angeschlossene Nachweisgeräte ermöglichen es dem Astronomen, seine „Sehfähigkeit“ zu steigern, indem er mehr Licht sammeln kann (größere Öffnungen als die Augenpupille, längere Lichtsammelzeiten als in den Sehzellen der Netzhaut, andere Wellenlängempfindlichkeiten als die Sehzellen) und mehr Details aufzulösen vermag.

Vergleiche die zu drei ganz verschiedenen Zeitpunkten (1773, 1898, 2010) auf unterschiedliche Art und Weise gewonnenen Bilder der Nebel M 42 und M 43 (Orionnebel). Lies dazu auch die mitgegebenen Bildinformationen. Notiere deine Erkenntnisse. Bestimme den Zuwachs an Lichtsammelvermögen (Öffnungsfläche) und an Winkelauflösung der zur Gewinnung der Bilder verwendeten Fernrohre (1773 → 1898, 1898 → 2010). Du kannst die Bilderschau erweitern, wenn du die in [SuW 11/2010](#) gezeigten Bilder des Orionnebels von Huygens und Hodierna hinzunimmst.



Die Orionnebel M 42 und M 43, unterschiedlich aufgezeichnet / aufgenommen zu drei Zeitpunkten innerhalb einer Spanne von mehr als 200 Jahren.

Das Bild oben links stammt von Charles Messier, der die Zeichnung bei Beobachtungen im Februar und März des Jahres 1773 anfertigte. Er beobachtete dabei die Nebel durch ein Linsenfernrohr mit 85 mm Öffnung.

Das Bild oben rechts wurde im Nov. 1898 mittels der damals gerade aufgefundenen („analogen“) Fotografie am Crossley-Reflektor der Lick-Sternwarte (3 Fuß ≈ 91 cm, Mount Hamilton, Kalifornien) aufgenommen. Es stammt aus dem zuvor genutzten Buch.

Das untere Bild ist ein Ausschnitt des in Abb.1 gezeigten Bildes. Es ist eine 2010 am VISTA-Teleskop der ESO (4,1 m, Cerro Paranal, Chile) gewonnene Digitalaufnahme. Für einen Vergleich mit der historischen Aufnahme wurde das Bild in Graustufendarstellung zurück verwandelt.

Orionnebel mit optischen Hilfsmitteln - ein Beobachtungsauftrag

[\(→zurück zu Uropas Astrobuch\)](#)

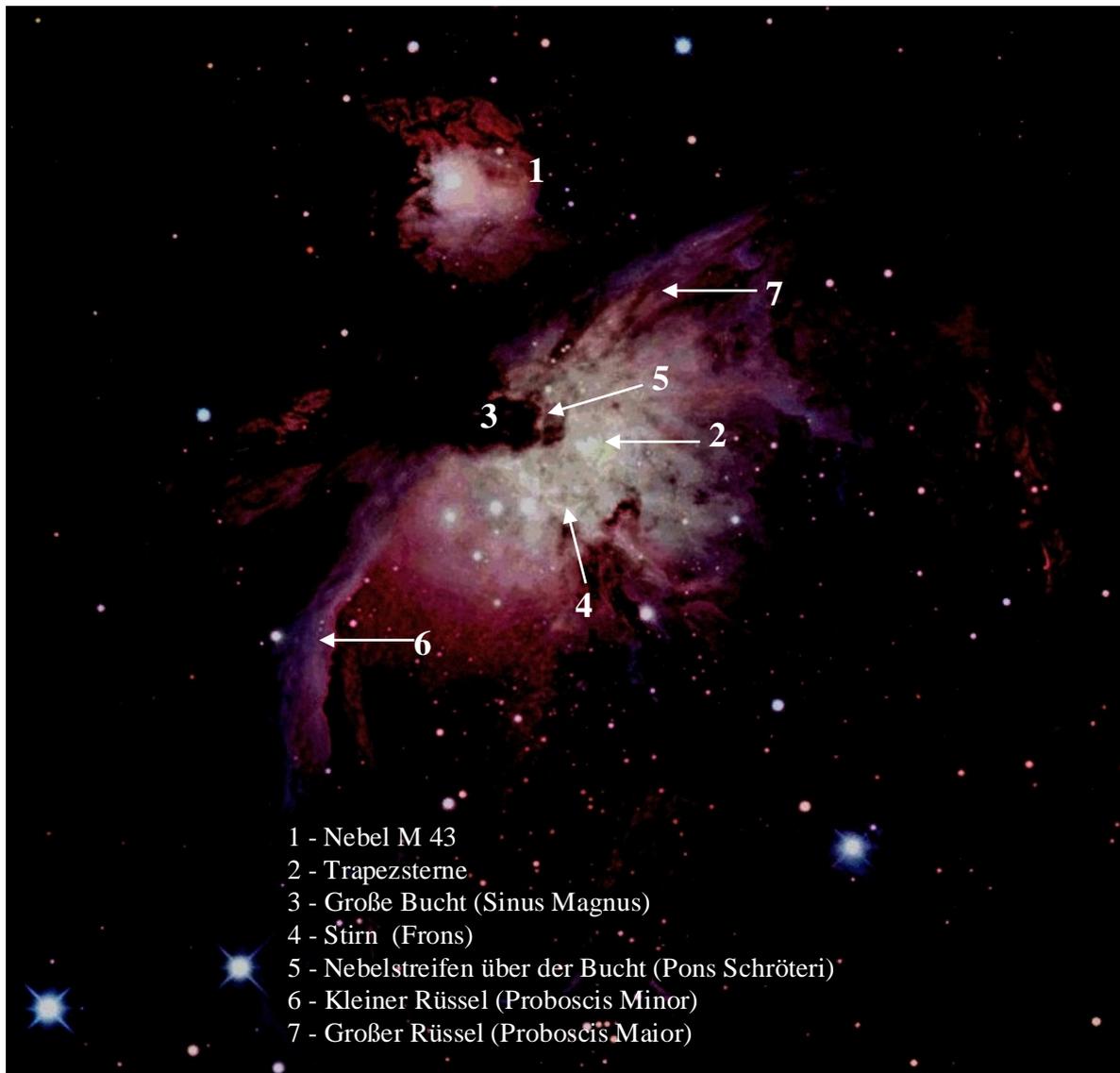
[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Versuche, den Orionnebel (M 42 und M 43) mit eigenen Augen durch ein optisches Instrument (Fernglas oder Fernrohr) zu beobachten. Du wirst sehen, dass die eigene Beobachtung dich begeistert, auch wenn es viele tolle Aufnahmen vom Orionnebel in diversen Medien zu betrachten gibt.

Eine wichtige Voraussetzung ist das möglichst verwacklungsfreie Positionieren des Fernrohrs / Fernglases auf einem Stativ oder dergleichen.

Die ersten Fernrohrbeobachter (als man in der Wissenschaft noch Latein sprach) gaben einigen markanten Strukturen im Orionnebel Namen (siehe Bild). Versuche diese Strukturen der Reihe nach aufzufinden. Beschreibe kurz deine jeweilige Beobachtung (auch im Vergleich zum Foto im Bild).

Bestimme den Winkeldurchmesser des Gebiets, dass du durch dein Instrument siehst (Sehfeld). Überlege dir dazu eine Methode.



ESO-Bild von Abb. 1, Helligkeitsreduziert, um das mit bloßem Auge beobachtbare Bild anzunähern.

Vergleich zwischen Orionnebel (HII-Gebiet) und Balmer-Lampe

[\(→zurück zu Uropas Astrobuch\)](#)

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Ca. 90 % der kosmischen Materie besteht aus Wasserstoffatomen (bzw. -kernen). Diese Dominanz des Wasserstoffs findet man auch in der interstellaren Materie, wobei 95 % in neutraler Form (in HI-Gebieten) oder gar in molekularer Form (wenn Stöße oder Strahlung die Dissoziationsenergie nicht aufbringen können) vorliegen. 5 % des interstellaren Wasserstoffs liegen so dicht bei heißen Sternen, dass die Wasserstoffatome ionisiert werden und dann als sogenannte **HII-Gebiete** weithin sichtbar werden.

Das in Abb. 1 ersichtliche rötliche Leuchten des Orionnebels (ein HII-Gebiet) stammt zu einem großen Teil von der H α -Linie der Balmer Serie (Wellenlänge: 656,3 nm). Weitere Linien der Balmer Serie im sichtbaren Bereich sind H β bei 486 nm, H γ bei 434 nm und H δ bei 410 nm. Ihre Anteile am Gesamtlicht hängen von Druck und Temperatur im Nebel ab. Die Farbe des Gesamtlichtes (additive Farbmischung) kann sich dadurch ins Rosa verschieben.

Das Licht des Orionnebels kann man mit Hilfe einer **Balmer-Lampe** „ins Klassenzimmer holen“ (siehe Abb. 2). Doch es gibt markante Unterschiede zwischen den beiden Lichtquellen, derer man sich bewusst sein sollte. Sowohl die physikalischen Bedingungen als auch die Anregungsmechanismen unterscheiden sich. Ergänze dazu die freien Felder in der Tabelle (rechnen mit der **allgemeinen Zustandsgleichung für das ideale Gas**, umrechnen von Einheiten, Lichterzeugung erläutern, evt. Versuch durchführen).

	Balmer-Lampe (siehe Abb. 2)	HII-Gebiet (z. B. Orionnebel)
		
Temperatur	ca. 70°C	ca. 10.000 K
Anzahldichte* (Teilchen pro cm ³)		10 ² - 10 ⁴ Atome/cm ³ (in der Regel Wasserstoffatome oder -kerne)
Druck	Einige Torr (z. B. 3 Torr)	
Wie funktioniert die Lichtquelle? Wie gelangen die Elektronen des Wasserstoffatoms in den zweiten angeregten Zustand?		

*Anzahl der Teilchen N pro Volumen V

Das Licht des Orionnebels im Laborversuch mit der Balmer-Lampe

[\(→zurück zu Uropas Astrobuch\)](#)

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

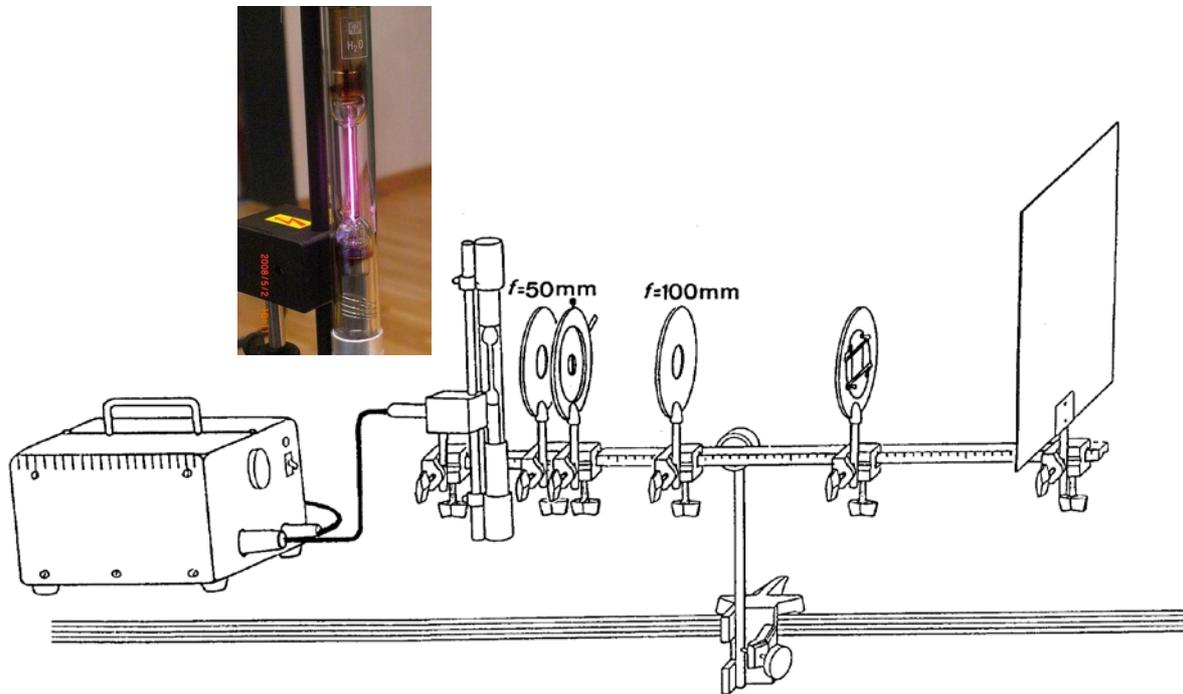


Abbildung 2: Möglicher Versuchsaufbau zur Beobachtung der Balmerlinien mit dem Auge. Das hier verwendete Transmissionsgitter hat 600 Linien pro mm. Während das Mischlicht der Balmer-Lampe noch rosa erscheint, sieht man die Farben der beteiligten Emissionslinien im transparenten Schirm (Skizze aus Gebrauchsanleitung 451 13/14/41 der Leybold Didactic GmbH).

H α -Linie in Spektrenbildern von damals und heute

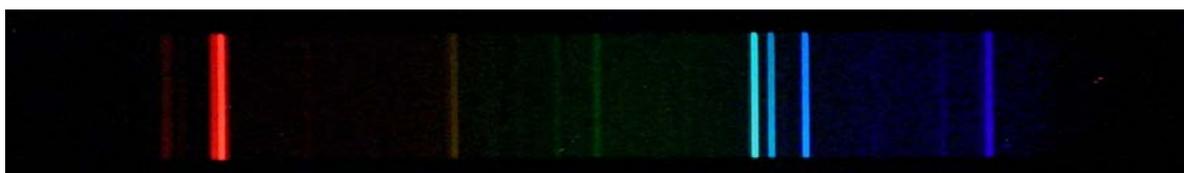
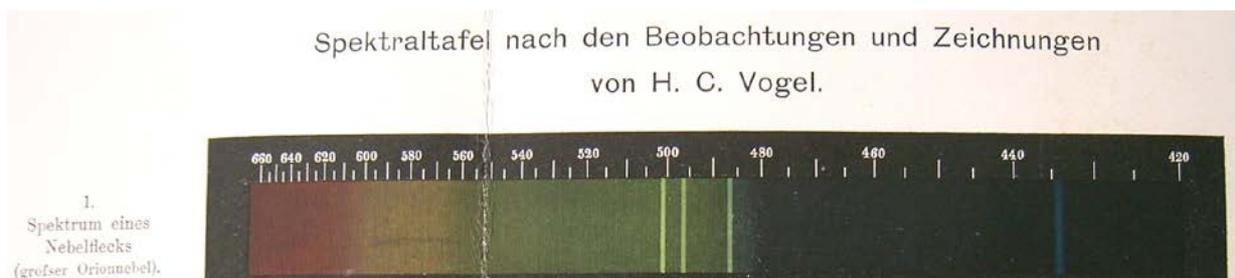
([→zurück zu Uropas Astrobuch](#))

([→zurück zum Anfang](#))

Im Folgenden findest du Bilder vom **Spektrum des Orionnebels**, die auf ganz verschiedene Art und Weise zu verschiedenen Zeiten aufgezeichnet worden sind. Das obige Bild stammt aus dem „Handbuch der Allgemeinen Himmelsbeschreibung“ von H. J. Klein aus dem Jahre 1900 ([genaue Quelle](#)). Es wurde mit Hilfe eines Prismenspektralapparats aufgenommen. Das Bild entstand vermutlich aus der Zeichnung der visuellen Beobachtungseindrücke vom Orionspektrum.

Das untere Bild wurde 2007 im Rahmen der Arbeit einer Astro-AG mittels einer CCD-Kamera und einem Gitter am Fernrohr aufgenommen (Quelle: <http://www.lehrer-online.de>).

- Woraus lässt sich schließen, dass das obige Spektrum mit einem Prismenspektralapparat aufgenommen wurde?
- An welcher Stelle sollte die H α -Linie im obigen Spektrum zu sehen sein? Markiere ihre Position.
- Warum wurde die H α -Linie zu damaliger Zeit nicht oder nur sehr schwach wahrgenommen? Informiere dich dazu über das sogenannte **Purkinje-Phänomen**.



Spektren des Orionnebels.

Oben: Prismenspektrum von 1898.

„Ueber das Spectrum des Wasserstoffs in den Nebelflecken“, in: *Astronomische Nachrichten* 145, 305-310 (1898).

Unten: Gitterspektrum von 2007

(<https://www.lehrer-online.de/unterricht/sekundarstufen/naturwissenschaften/astronomie/artikel/seite/fa/der-sternhimmel-im-februar/sternhimmel-im-februar-der-grosse-orionnebel/>).

Ergebnisse

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Der Orionnebel in Uropa's Astrobuch

zu 1. Fernrohre sammeln das Licht und ermöglichen, das Objekt unter einem vergrößerten Sichtwinkel zu betrachten. Für die Spektroskopie ist es wesentlich, genügend Licht zu sammeln, um ein Spektrum in ausreichender Qualität nachweisen zu können. Die Zeit der größeren (viel Licht sammelnden) Spiegelteleskope begann Ende des 19. Jahrhunderts.

zu 2. Die Strahlung einer Punktquelle „verdünnt“ sich geometrisch mit zunehmendem Abstand, d. h., Materie auf einer Kugelschale (einem „Bogen“) wird gleich stark bestrahlt. Pickering schließt aus den Bögen gleicher Helligkeit („bogenförmige Ausstrahlung des Nebels“) vermutlich auf ein oder mehrere Bestrahlerzentren - die hellen Sterne.

Heute wissen wir, dass die sehr heißen Sterne (Spektraltypen O und B) viele UV-Photonen aussenden, die in der Lage sind, die Nebelmaterie (vor allem den Wasserstoff) zu ionisieren. Die wieder rekombinierenden Wasserstoffatome geben dann Strahlung beim „Herabregnen“ durch die diskreten Energieniveaus bei verschiedenen Linien ab (besonders das Licht der H α -Linie). Teile des Nebels erscheinen aber auch im Licht des an Staubteilchen gestreuten Sternlichts.

Im Falle der grünen Hauptlinie von [OIII] (verbotene, d. h. unter irdischen Bedingungen nicht vorkommende Linie des zweifach ionisierten Sauerstoffs) gelangen die Elektronen durch Stoßanregung in einen metastabilen Zustand, wo sie einige Sekunden verweilen, bevor sie unter Strahlungsabgabe sich abregen. Werden sie in dieser Zeit durch einen Stoß gestört (wie es bei Dichten im irdischen Labor der Fall ist), so regen sie sich ohne Emission eines Photons ab, indem sie die Energie dem Stoßpartner mitgeben.

Die Elektronen können dabei direkt von Sternwind oder indirekt aus den Ionisationsakten stammen.

Julius Scheiner (der Autor des Beitrags „Ueber das Spectrum des Wasserstoffs in den Nebelflecken“, in: *Astronomische Nachrichten* 145, 305-310 (1898) konnte noch nichts über die quantenhafte Entstehung von Licht in der Atomhülle wissen. Das Bohrsche Atommodell wurde erst 1913 aus der Taufe gehoben. Zu Gasnebeln schreibt er:

- dass die Strahlung aus verdünnten Gasen komme, welche sich über Millionen von Kilometern erstrecken müssen. Heute wissen wir, dass es noch viel gewaltigere Ausmaße sind (Billiarden von Kilometern);
- dass das Leuchten im Weltraum bei Temperaturen stattfindet, die nur wenig vom absoluten Nullpunkt verschieden sind. Heute wissen wir, dass der Orionnebel vor allem eine HII-Region ist, die nur entstehen kann, wenn das (wenn auch stark verdünnte Gas) auf eine Temperatur von 10.000 K aufgeheizt und damit ionisiert wird;
- dass die Linienemission durch Bewegungen innerhalb der Moleküle und unabhängig von der äußeren Temperatur erfolgt. Heute wissen wir, dass die Linienemission auf Energieübergänge in der Atomhülle zurückzuführen ist. In einen angeregten Zustand (von dem aus das Elektron sich unter Photonenabgabe abregt) kann das Elektron auch gelangen, wenn das Atom durch ein anderes Atom gestoßen wird (**Stoßanregung**). Diese Form der Anregung ist natürlich von der kinetischen Energie der stoßenden Teilchen, sprich von der Temperatur abhängig.

zu 3. Seit 1848 war der Dopplereffekt auch für das Licht bekannt (Fizeau). Huggins und Vogel betrachteten das Licht einer mit Wasserstoff gefüllten Geißlerschen Röhre (um 1857 erfunden), um die Laborwellenlänge (Ruhewellenlänge) zu ermitteln. Durch Vergleich mit der im Spektrum des Orionnebels beobachteten Wellenlänge der Balmerlinie H β ermittelten sie mittels der Dopplerformel dessen Radialgeschwindigkeit (Geschwindigkeit „im Visionsradius“) zu 3,6 geografische Meilen (pro s). Das sind ca. $3,6 \cdot 7,42 \text{ km/s} \approx 26,7 \text{ km/s}$. Mit den heutigen Werte (siehe Tab. 1 in A&A 465 207-217) ergibt sich lediglich ein Wert von $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c = \frac{4861,41 - 4861,33}{4861,41} \cdot 300.000 \text{ km/s} \approx 4,9 \text{ km/s}$ (rot verschoben).

zu 4. Im Falle der visuellen Beobachtung des Orionspektrums kann es auf Grund des **Purkinje-Phänomens** zu einer schlechteren Wahrnehmung des roten Lichts kommen. Der Helligkeitsunterschied zwischen einer blauen und einer roten Lichtquelle wird bei Tage anders empfunden als bei Nacht (das rote Licht fällt gegenüber dem blauen beim Nachtsehen ab).
Im Falle der Fotografie konnte rotes Licht durch die zunächst verwendeten Fotoemulsionen (orthochromatisch) kaum nachgewiesen werden.

zu 5. Die drei von Campbell erwähnten Hauptlinien im Spektrum des Orionnebels lassen sich folgenden Elementen zuordnen (siehe A&A 465 207-217, Tab. 1)

- 500,7 nm: zweifach ionisierter Sauerstoff ([OIII]), $\lambda_{\text{Labor}} = 500,684 \text{ nm}$
- 495,9 nm: zweifach ionisierter Sauerstoff ([OIII]), $\lambda_{\text{Labor}} = 495,891 \text{ nm}$
- 486,0 nm: Wasserstoff (H), Balmerlinie H β , $\lambda_{\text{Labor}} = 486,133 \text{ nm}$

Die Helligkeitsverhältnisse der Hauptlinien wurden von Campbell wie folgt angegeben:
500,7 nm : 495,9 nm : 486,0 nm \rightarrow 4 : 1 : 1.

Heute lässt sich Folgendes sagen (siehe A&A 465 207-217, Tab. 1):
143.002,31 (500,7 nm) : 47.337,07 (495,9 nm) : 50.768,69 (486 nm) \rightarrow etwa 3 : 1 : 1.

Astrobilder lesen lernen

[\(→zurück zu Uropas Astrobuch\)](#)

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

- Die drei Orionbilder wurden mit Fernrohren wachsender Öffnung (1773: 85 mm, 1898: 91 cm, 2010: 4,1 m), d. h. wachsender Lichtsammelleistung aufgenommen. Entsprechend wächst auch die Grenzreichweite, d. h. es können schwächer leuchtende Objekte nachgewiesen werden. So erscheinen in der Zeichnung nur wenige Sterne und nur der sehr hell strahlende Teil des Nebels.
- Die drei Orionbilder wurden mit verschiedenen Techniken (1773: Zeichnung, 1898: analoge Fotografie, 2010: digitale Fotografie) aufgenommen. Durch die Möglichkeit der zeitlichen Lichtsammlung bei der Fotografie konnte die Grenzreichweite deutlich verschoben werden. Die digitale Fotografie (CCD) ermöglicht kürzere Belichtungszeiten, da die Quantenausbeute deutlich besser ist als in der Fotoemulsion.

- Beim Vergleich der Bilder zeigt sich besonders ein wachsender Detailreichtum. Dieser wird durch größere und bessere Optiken, bessere Aufnahmetechniken (z. B. Filterung) und bessere Aufnahmestandorte (geringeres Seeing an besonderen Beobachtungsorten) erreicht.
- Zuwachs an Licht sammelnder Öffnung:
1773: $D = 85 \text{ mm}$, 1898: $D = 91 \text{ cm}$, 2010: $D = 4,1 \text{ m}$

$$1773 \rightarrow 1898: \frac{910^2}{85^2} \approx 115,$$

$$1898 \rightarrow 2010: \frac{4100^2}{910^2} \approx 20.$$

- Theoretischer Zuwachs an Winkelauflösung α (im Bogenmaß): $\alpha = \frac{1,22 \cdot \lambda}{D}$

Zunächst muss man sich um die Wellenlänge Gedanken machen. Es könnte die Wellenlänge gewählt werden, bei der die Sehzellen am empfindlichsten sind: ca. 550 nm.

Da Zuwachs an Winkelauflösung eine Abnahme des auflösbaren Winkelabstands bedeutet, wird der Quotient im Folgenden vertauscht.

$$1773 \rightarrow 1898: \frac{\frac{1,22 \cdot 550 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{0,085 \text{ m}}}{\frac{1,22 \cdot 550 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{0,91 \text{ m}}} = \frac{0,91}{0,085} \approx 11,$$

$$1898 \rightarrow 2010: \frac{4,1}{0,91} \approx 5.$$

Der wahre Zuwachs an Winkelauflösung hängt von den Seeingbedingungen am Beobachtungsort ab.

Orionnebel mit optischen Hilfsmitteln - ein Beobachtungsauftrag

[\(→zurück zu Uropas Astrobuch\)](#)

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Der Winkeldurchmesser des Gebiets, das durch das Instrument sichtbar ist (Sehfeld) kann durch eine Vergleichsbeobachtung abgeschätzt oder ermittelt werden.

- So kann der Mond (Winkeldurchmesser ca. 30') als Vergleichsobjekt für eine grobe Abschätzung dienen.
- Eine genauere Abschätzung ermöglichen zwei Sterne, die beinahe den Durchmesser aufspannen.
- Messen lässt sich der Sehfelddurchmesser (Winkel) am Himmel mit Hilfe der Durchlaufmethode (Winkel aus Zeit) oder irdisch, indem man einen Gliedermaßstab aus größerer (bekannter) Entfernung so einstellt, dass man die im Sehfelddurchmesser liegende Länge abliest und trigonometrisch verwertet.

Vergleich zwischen Orionnebel (HII-Gebiet) und Balmer-Lampe

(→zurück zu Uropas Astrobuch)

(→zurück zum Anfang)

	Balmer-Lampe (siehe Abb. 2)		HII-Gebiet (z. B. Orionnebel)	
Temperatur	ca. 70 °C		ca. 10.000 K	
Anzahldichte* (Teilchen pro cm ³)	10¹⁷ Atome/cm³ (Rechnung siehe unten)		10 ² - 10 ⁴ Atome/cm ³ (in der Regel Wasserstoffatome oder -kerne)	
Druck	Einige Torr (z. B. 3 Torr)		10⁻¹⁰ Pa (Rechnung siehe unten)	
Wie funktioniert die Lichtquelle? Wie gelangen die Elektronen des Wasserstoffatoms in den zweiten angeregten Zustand?	In der Balmer-Lampe wird in einem engen Röhrchen hygroskopisch gebundenes Wasser abgedampft. Die zwischen Kathode und Anode anliegende Hochspannung beschleunigt vorhandene freie Elektronen im Röhrchen soweit, dass diese beim nächsten Stoß mit Wasserdampfmolekülen diese in Wasserstoffatome und Hydroxylgruppen (OH, nicht zu verwechseln mit dem negativ geladenen OH ⁻ Ion) spalten und durch Stoß anregen oder gar ionisieren (und so weitere freie Elektronen zur Verfügung stellen: man denke an die selbsterhaltende Gasentladung). Die Abregung der Wasserstoffatome erfolgt dann durch Abgabe entsprechender Photonen. Im Falle von n = 3→2 werden Photonen der H α -Linie emittiert.		Im atomaren Wasserstoff der Gas- und Staubwolke, die wir in Richtung des Sternbildes Orion sehen, bilden sich Sterne, deren massereiche Vertreter so heiß sind, dass sie sehr viele UV-Photonen abgeben und damit den Wasserstoff in einem bestimmten Umkreis ionisieren. Nach Rekombination gelangen die eingefangenen Elektronen je nach ihrem „Einfangabstand“ in verschieden angeregte Zustände, aus denen heraus sie sich durch Strahlung abregen (direkt bis zum Grundzustand oder kaskadenartig). Der Übergang n = 3→2 kommt dabei sehr häufig vor. (Übrigens wird Strahlung auch beim Elektroneneinfang frei: freigegeben-Übergang). Natürlich werden die Wasserstoffatome durch H α -Photonen des Sterns oder Stöße freier Elektronen auch direkt angeregt, doch sind diese Anregungsakte sehr selten.	

Berechnungen:

Gasgesetz für ideales Gas : $p \cdot V = N \cdot k \cdot T$

Weiterhin geg.: 1 Torr \approx 133,322 Pa, 0 °C \approx 273 K, $k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K

$$p_{\text{HII}} = \frac{N \cdot k \cdot T}{V} = \frac{10^3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot 10.000 \text{ K}}{1 \text{ cm}^3 \cdot \text{K}}$$

$$= 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot \left(\frac{\text{J}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{Nm}}{10^{-6} \text{ m}^3} = \frac{\text{N}}{10^{-6} \text{ m}^2} = 10^6 \text{ Pa} \right) \approx \underline{\underline{10^{-10} \text{ Pa}}}$$

$$\frac{N}{V} = \frac{p_{\text{Balmerlampe}}}{k \cdot T} = \frac{3 \text{ Torr}}{k \cdot T} = \frac{3 \text{ Torr} \cdot 133,322 \text{ Pa} \cdot \text{K}}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot 343 \text{ K} \cdot \text{Torr}}$$

$$\approx 8,4 \cdot 10^{22} \cdot \left(\frac{\text{Pa}}{\text{J}} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2 \cdot \text{Nm}} = \frac{1}{\text{m}^3} = \frac{1}{10^6 \cdot \text{cm}^3} \right) \approx \underline{\underline{10^{17} \text{ cm}^{-3}}}$$

H α -Linie in Spektrenbildern von damals und heute

[\(→zurück zu Uropas Astrobuch\)](#)

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

- Die Dispersion von Prismenspektren ist deutlich nichtlinear – „sie dehnen gegen Blau und raffen gegen Rot“.
- Die H α -Linie liegt im roten Licht bei einer Wellenlänge von 656,28 Nanometern.
- Im Falle der visuellen Beobachtung des Orionspektrums kann es auf Grund des **Purkinje-Phänomens** zu einer schlechteren Wahrnehmung des roten Lichts kommen. Der Helligkeitsunterschied zwischen einer blauen und einer roten Lichtquelle wird bei Tage anders empfunden als bei Nacht (das rote Licht fällt gegenüber dem blauen beim Nachtsehen ab). Im Falle der Fotografie konnte rotes Licht durch die zunächst verwendeten Emulsionen (orthochromatisch) kaum nachgewiesen werden.