



Die Grenzen des Auges

Mithilfe geeigneter Hilfsmittel lassen sich die Wahrnehmungsgrenzen des Auges überwinden.

Michael Vollmer

Menschliche Augen weisen räumliche, zeitliche und spektrale Begrenzungen auf, welche die Wahrnehmung einschränken. Geeignete optische Geräte und Kameras helfen, diese zu überwinden und eine große Vielfalt an physikalischen Phänomenen für die Lehre zu erschließen.

Die Angaben zu den Anteilen an aufgenommener Information durch die menschlichen Sinnesorgane schwanken meist zwischen etwa 81 und 87 Prozent für die Augen, 10 bis 11 Prozent für die Ohren und dem Rest für schmecken, riechen und tasten. Das Produktmarketing macht sich dies gezielt zunutze. Offensichtlich ist für alle subjektiven Wahrnehmungen unserer Umwelt das Auge sehr wichtig; in Bezug auf räumliche und zeitliche Auflösung sowie spektrale Empfindlichkeit ist es jedoch eingeschränkt. Die dadurch entstehenden Wahrnehmungsgrenzen für physikalische Vorgänge und Objekte lassen sich durch geeignete optische Geräte mit – das Auge ersetzenden – Sensoren in Kamerasystemen überwinden (**Abb. 1**). Dies erhöht die Zahl beobachtbarer technischer und natürlicher Phänomene und den daraus gewonnenen Informationsgehalt deutlich. Da entsprechende Kameras relativ preiswert sind und sich damit viele einfache Experimente erfolgreich

demonstrieren lassen, kann ein gezielter Einsatz die Lehre der Physik an Schulen und in einführenden Vorlesungen an Hochschulen bereichern und den Einstieg in verwandte Gebiete wie die Infrarotastronomie vorbereiten.

Von Mikroskopen zu Teleskopen

Ohne optische Hilfsmittel hat das Auge nur ein begrenztes räumliches Auflösungsvermögen. Objekte in der Nähe zu beobachten, die deutlich kleiner als 1 mm sind, erfordert Mikroskope. Diese sind üblicherweise in allen Physiksammlungen vorhanden. In der modernen Physiklehre lassen sich damit etwa preiswerte Halbleiterlaser im Betrieb unter dem Mikroskop darstellen (**Abb. 2a–d**) [1]. Dies erlaubt es, Lichtwellenleitereffekte oder Lichtabschwächung durch metallische Kontaktierungsschichten zu diskutieren. In Kombination mit der Aufnahme von Kennlinien der Laserdioden sowie der Veränderung der Emissionsspektren beim Überschreiten der Laserschwelle eignet sich das Thema auch als einfacher Praktikumsversuch.

In Bezug auf weit entfernte Objekte versagt die räumliche Auflösung des Auges ebenfalls. Hier helfen Teleskope wie das Hubble-Weltraumteleskop (**Abb. 2e**). Es gibt etliche faszinierende astronomische Aufnahmen für den Einsatz

◀ In der Aufnahme (a) erscheint Bienen mit UV-Wahrnehmung der Bereich um die Staubblätter herum deutlich vergrößert, quasi ein größerer attraktiver Landeplatz, der im sichtbaren gelben Farbton der Kronblätter (b) nicht erkennbar ist. Dies ist nur ein Beispiel für gelegentliche Überraschungen bei Beobachtungen bekannter Objekte in anderen Spektralbereichen. In diesem Fall spielen Pigmente, die UV-Strahlung absorbieren, die entscheidende Rolle.

in der Physiklehre, z. B. zur Diskussion von Sonnenwind, Magnetfeldern oder Polarlichtern [2].

Von Zeitlupe zu Zeitraffer

Auch bezüglich der zeitlichen Auflösung ist unser Auge als Detektor beschränkt. Veränderungen im Sekundenbereich detektieren wir noch gut; sehr schnell ablaufende Vorgänge von deutlich unter einer Sekunde entziehen sich jedoch unserer Wahrnehmung. Ebenso bereiten sehr langsame Veränderungen Schwierigkeiten. Abhilfe bieten Kameras, die etwa Bilder mit hoher Bildrate und kurzer Belichtungszeit aufnehmen, um sie als Zeitlupenvideo abzuspielen. Alternativ kann ein Zeitraffervideo Einzelbilder zeigen, die in großen Abständen entstanden sind [3].

Ein High-Speed-Video kann etwa sichtbar machen, wie ein grüner Laser einen roten Luftballon zum Platzen bringt (**Abb. 3a**). Binnen weniger Millisekunden breitet sich der Riss im Gummi mit Schallgeschwindigkeit aus. Die Reflexe der beiden beleuchtenden Lampen sind anfangs auf der Außenhaut zu sehen, nach 8 ms aber ebenso auf der immer noch gespannten hinteren Innenhaut. Dort ist die Information des Platzens aufgrund der endlichen Ausbrei-

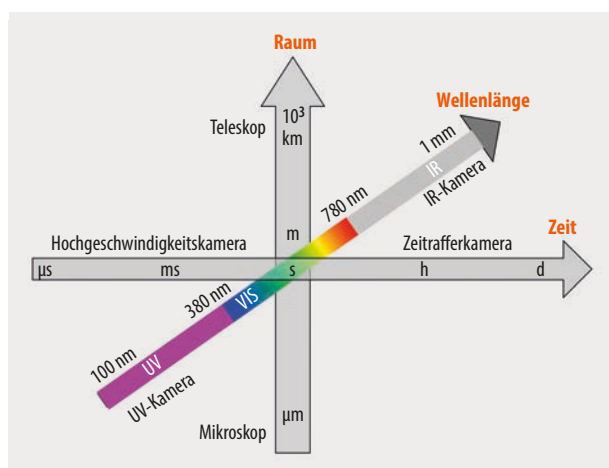


Abb. 1 Die Wahrnehmung des menschlichen Auges ist bezüglich Raum, Zeit und Wellenlänge eingeschränkt. Doch es gibt technische Lösungen, um diese Beschränkungen zu überwinden, etwa Mikroskop und Teleskop beim Parameter „Raum“.

tungsgeschwindigkeit des Risses noch nicht angekommen. Dies ist ein schönes Beispiel für Retardierungseffekte in der Mechanik. Aufnahmen mit Zeitaufösungen im ms-Bereich sind bereits mit einigen Smartphonekameras möglich.

Zeitraffervideos dagegen bilden sehr langsame Prozesse ab, etwa das Verdunsten von Wasser bei Zimmertemperatur (**Abb. 3b**). Ein solches, auf einer Zeitskala mehrerer Wochen ablaufendes Experiment ist natürlich als Zeitraffervideo besser in die Lehre einzubinden als eine Live-Demonstration im Hörsaal mit Beobachtungen über mehrere Wochen. Beispiele für Zeitlupen- und Zeitraffervideos zum Einsatz

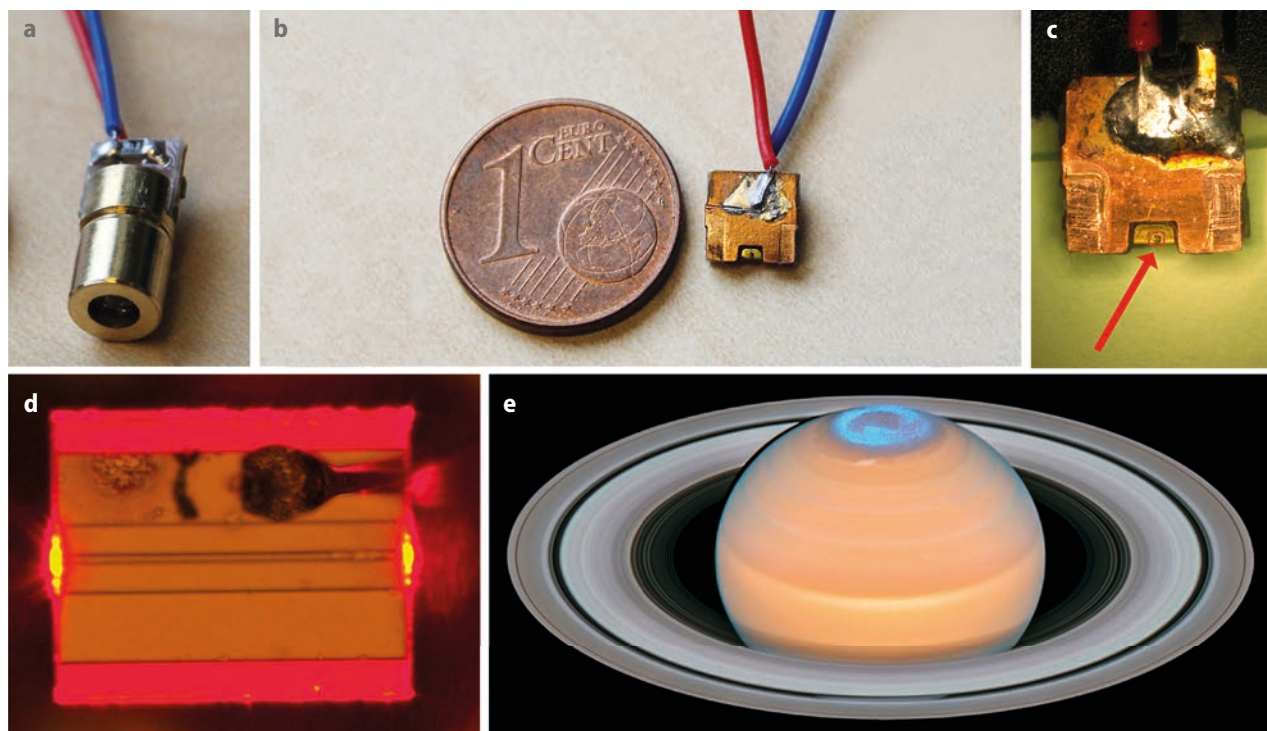


Abb. 2 Das Gehäuse mit der Optik eines Halbleiterlasers (a) ist mit dem Auge noch gut erkennbar. Die Metallplatte ohne Gehäuse (b) ist bereits kleiner als eine 1-Cent-Münze. Ein Mikroskop (Keyence VHX 600D) zeigt den Laser (c, Pfeilspitze) in geringer und (d) hoher Vergrößerung. In (d) ist der Laser im Betrieb (Dimensionen $100 \times 200 \times 250 \mu\text{m}^3$). e) Zusammengesetztes Bild des Saturn mit Ringen und Aurora aus Aufnahmen des Hubble-Weltraumteleskops von 2017 und 2018 (3. Sept. 2018 in [2]).

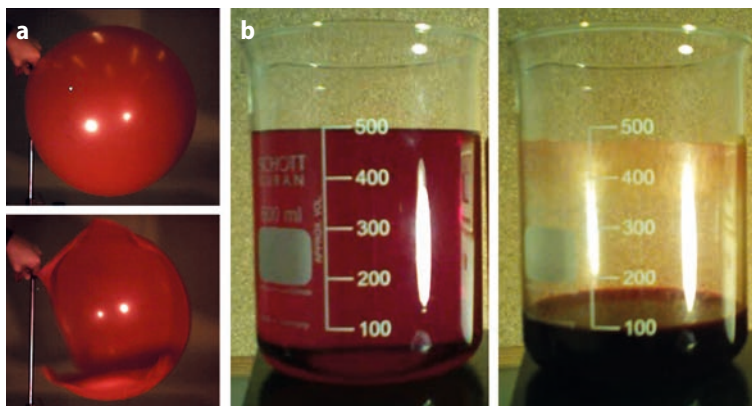


Abb. 3 Auf einer Zeitskala von Millisekunden zerplatzt der Luftballon (a), wie die Aufnahmen mit einer NAC Hotshot beim Start und 8 ms später zeigen. Ein halber Liter gefärbtes Wasser benötigt sieben Wochen, um bei Zimmertemperatur zu verdunsten (b, Kamera Brinno TLC200). Links zu Videosequenzen in [3]

in der Physiklehre gibt es viele, oft mit ausführlichen Erklärungen der zugrundeliegenden Physik [3].

Vom Ultraviolett zum Infrarot

In der Physik am offensichtlichsten ist vermutlich die beschränkte spektrale Empfindlichkeit des Auges. Licht, d. h. sichtbare elektromagnetische Strahlung, umfasst nur einen winzigen Teil – als VIS abgekürzt – des technisch genutzten oder in der Natur nachweisbaren Spektrums elektromagnetischer Strahlung. Unsere Augen können mit den auf der Netzhaut befindlichen Zapfen und Stäbchen als Lichtdetektoren nur solche physikalischen Phänomene wahrnehmen, die bei Wellenlängen von etwa 380 bis 780 Nanometer auftreten. Bereits seit Beginn des 19. Jahrhunderts ist bekannt, dass elektromagnetische Wellen auch jenseits der kurz- und langwelligen Grenzen des sichtbaren Spektralbereichs Energie übertragen.

Im kurzwelligen Bereich schließen sich die UV-, Röntgen- und Gammastrahlung an, im langwelligen das Infrarot (IR), THz-Strahlung, Mikrowellen sowie der Radiowellenbereich. Ersetzen Detektoren, die für die jeweiligen Wellenlängen sensitiv sind, unsere Augen, verändert sich unsere Wahrnehmung physikalischer Phänomene in Technik und Umwelt und wir gewinnen viele neue Informationen. Im Folgenden soll es um die direkt an das sichtbare Licht angrenzenden UV- und NIR-Bereiche gehen. Die etwas längeren Wellenlängen des thermischen IR haben weitere vielfältige Anwendungen in der Physiklehre [4, 5].

Dieselbe Landschaftsszene kann in unterschiedlichen Spektralbereichen völlig anders aussehen: **Abb. 4** zeigt drei Aufnahmen derselben Szenerie bei sonnigem Wetter mit Bewölkung, aufgenommen mit einer kommerziellen Spiegelreflexkamera mit Si-FPA-Sensor im nahen UV-, VIS- und NIR-Bereich. Bedingt durch den Wechsel des spektralen Filters entstanden die Aufnahmen mit kurzem zeitlichen Abstand von wenigen Minuten, wie an der veränderten Wolkenformation zu sehen ist. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Bilder mittels Adobe Photoshop in Graustufen umgewandelt.

Die Unterschiede in den Bildern liefern viele interessante physikalische Erkenntnisse: Auf den ersten Blick vielleicht am auffälligsten ist die sehr helle Vegetation im NIR verglichen mit den anderen Spektralbereichen (Wood Effect). Ursache ist das unterschiedliche Streu- und Absorptionsverhalten der Blätter [6]. Ein anderer Aspekt ist der sukzessive verbesserte Kontrast zwischen Wolken und Himmel bei der Detektion mit steigender Wellenlänge vom UV zum NIR. Diese Kontrastverbesserung hat vielfältige Anwendungen, doch wie kommt sie zustande?

Den Kontrast erhöhen

Kontrast beim Sehen bezieht sich auf die Frage, inwieweit Objekte von ihrer Umgebung zu unterscheiden sind, also

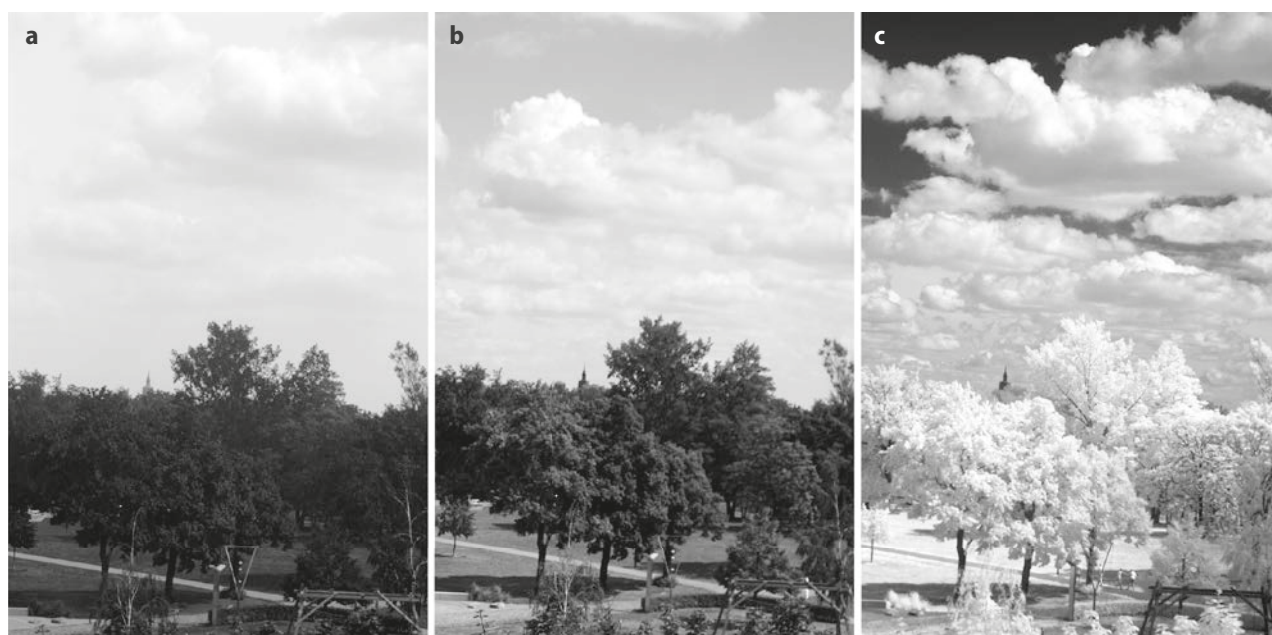
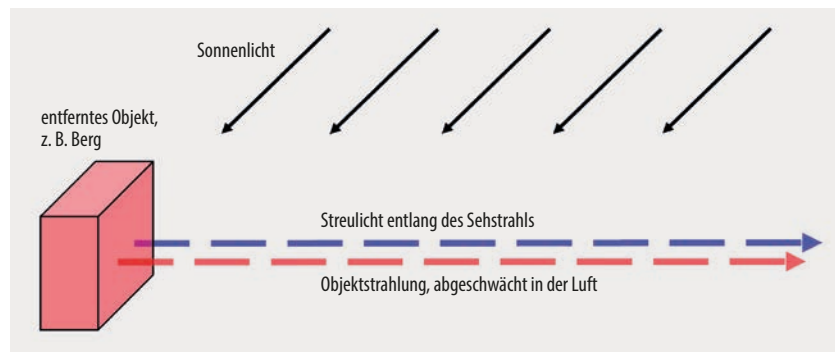


Abb. 4 Dieselbe Landschaftsszene wurde nacheinander in verschiedenen Spektralbereichen aufgenommen und ist hier in Graustufen dargestellt: UV-Bereich ($\approx 350 - 400$ nm, a), sichtbarer Bereich ($\approx 400 - 700$ nm, b) und nahes Infrarot ($\approx 800 - 1000$ nm, c).

Abb. 5 Die vom Auge wahrgenommenen Leuchtdichten bestehen aus zwei Anteilen: nämlich aus der direkt von den Objekten ausgehenden und auf dem Weg zum Auge durch Streuung abgeschwächten Strahlung sowie der entlang des Sehstrahls entstandenen Streustrahlung, die sich ebenfalls wieder abschwächend in Richtung Auge ausbreitet.



ob sich in der Landschaftsaufnahme die Wolken vom Himmel abheben (**Abb. 4**). Wahrgenommen werden Farb- und Helligkeitsunterschiede. Der Einfachheit halber sei hier nur auf wahrgenommene Helligkeitsunterschiede eingegangen, welche die Leuchtdichte B beschreibt. Nach den Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmungspsychologie ist der Kontrast C definiert durch den relativen Leuchtdichteunterschied zwischen einem Objekt und seiner Umgebung:

$$C = \frac{B_{\text{Obj}} - B_{\text{Umg}}}{B_{\text{Umg}}} \quad (1)$$

Hintergrund ist das Weber-Fechner-Gesetz, demzufolge eine wahrgenommene Sinnesänderung (hier Helligkeit) immer mit der relativen Änderung des Reizes zusammenhängt, hier also mit der einfallenden Strahldichte bzw. wahrgenommenen Leuchtdichte. Die Wahrnehmung eines Objekts gegenüber seiner Umgebung erfordert immer das Überschreiten einer gewissen Kontrastschwelle. Bei atmosphärischen Beobachtungen wie der Sichtweite mit Kontrast von Objekten zum Himmel des Horizonts gilt meist: $C_{\text{Schwelle}} = 0,02$ bzw. 2 % [7, 8]. Bei endlichen Entfernungen bedeutet ein Kontrast unterhalb dieser Schwelle, dass entsprechende Details, also Unterschiede benachbarter Bildpunkte, nicht wahrnehmbar sind.

Um Gl. (1) anzuwenden, gilt es zunächst, die relevanten Leuchtdichten zu berechnen. Diese bestehen meist aus zwei Anteilen, nämlich den von den Objekten ausgehenden und auf dem Weg zum Auge in der Luft abgeschwächten Strahldichten sowie denen, die entlang des Sehstrahls zwischen Objekten und Auge durch Streuung entstehen und eben-

falls bis zum Auge abgeschwächt werden (**Abb. 5**). Das Auge weist die detektierten Strahldichten gemäß der spektralen Empfindlichkeit umgewandelt in Leuchtdichten nach. Insofern hängt die Wahrnehmung von Objekten davon ab

- wie das Objekt bestrahlt wird,
- wie viel dieser Strahlung durch Streuung in Richtung Auge abgelenkt wird,
- wie viel dieser Objektstrahlung auf dem Weg zum Auge durch Streuprozesse verloren geht und
- wie viel zusätzliche Streustrahlung in Richtung Auge durch die Luft entlang des Sehstrahls entsteht.

Das Bouguer-Lambert-Beersche Gesetz beschreibt die Abschwächung der von einem Objekt ausgehenden Strahlung $B_{\text{Obj}}(0)$ nach Durchlaufen einer Strecke d eines homogenen Mediums:

$$B_{\text{Obj}}(d) = B_{\text{Obj}}(0) e^{-\beta d} \quad (2)$$

Der Extinktionskoeffizient β enthält Streu- und Absorptionsanteile, ohne Mehrfachstreuprozesse zu berücksichtigen [9]. Zur abgeschwächten Objektleuchtdichte kommt die Leuchtdichte der im Sehstrahl erzeugten Streustrahlung hinzu. Für die Leuchtdichte eines benachbarten Objekts (die Umgebung), charakterisiert durch die ausgehende Strahlung $B_{\text{Umg}}(0)$, ergeben sich ähnliche Rechnungen. Damit lässt sich der Kontrast des Objekts zur Umgebung berechnen. Der Kontrast $C(d)$ als Funktion der Entfernung hängt im Wesentlichen von vier Parametern ab: dem Extinktionskoeffizient sowie den drei Strahldichten von Objekt, Umgebung und Horizont Himmel. Hängen vereinfacht

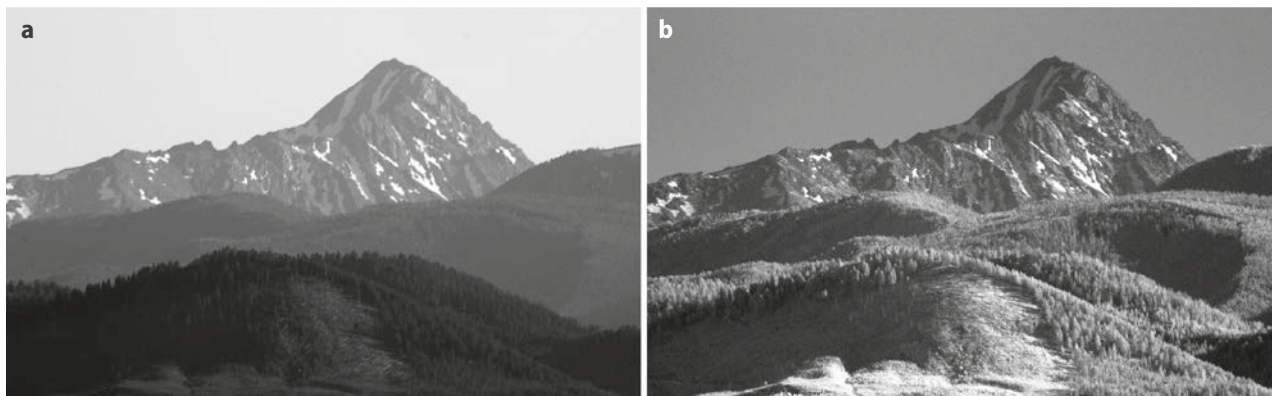


Abb. 6 Der Gallatin Peak in Montana wurde in der Abendsonne aufgenommen in einer Entfernung von 42,5 Kilometern aus Bozeman. Im sichtbaren Spektralbereich (a) sind deutlich weniger Details zu erkennen als im nahen Infrarot (b, jeweils $f = 600$ mm).

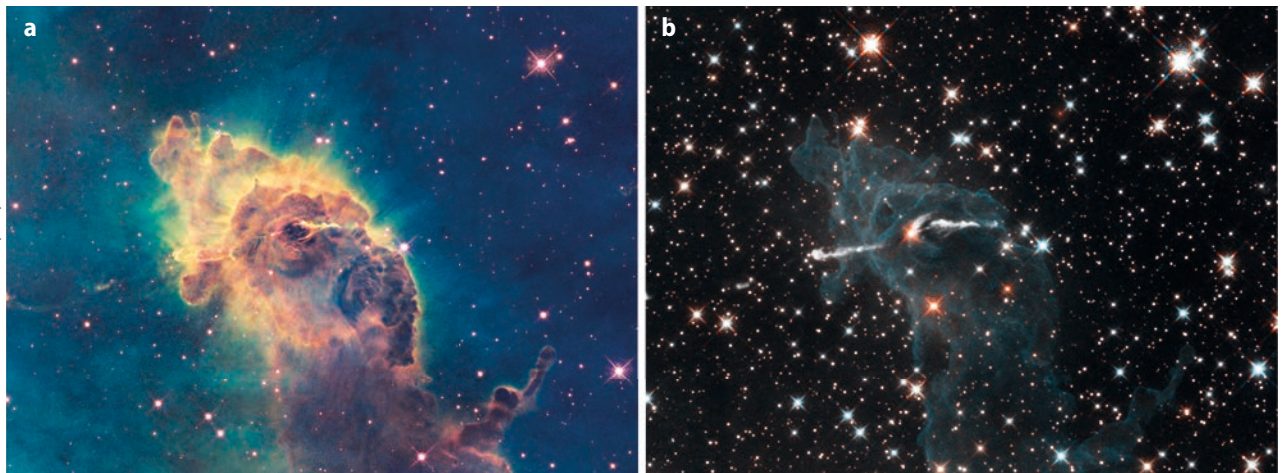


Abb. 7 Der Carina-Nebel sieht im sichtbaren Spektralbereich (a) völlig anders aus als im NIR (b). Das VIS-Bild (16 Megapixel) ist zusammengesetzt aus drei Bildern schmalbandiger Detektion bei $\lambda = 502, 656$ und 673 nm (Falschfarben blau, grün und rot). Das NIR-Bild (1 Megapixel) setzt sich aus zwei Bildern bei $\lambda = 1,26$ und $1,64$ μm zusammen (Falschfarben cyan und orange).

die Verhältnisse der drei Strahldichten nicht von der Wellenlänge ab, ist der Einfluss der Beobachtungswellenlänge auf den Kontrast leicht zu analysieren [10].

Für reine Luft dominiert die Rayleigh-Streuung [11] an den Luftmolekülen mit einem Extinktionskoeffizienten $\beta_{\text{VIS}}^{\text{Rayl}} = 0,0114/\text{km}$ für $T = 0$ °C und $p = 1013,25$ hPa in der Mitte des sichtbaren Spektralbereichs bei $\lambda \approx 560$ nm [12]. Das bedeutet, dass sich die Strahldichte des Lichts nach 10 beziehungsweise 100 Kilometern in der Luft auf 86,6 beziehungsweise 23,7 Prozent der einfallenden Strahlung abschwächt.

Da Rayleigh-Streuung näherungsweise proportional zu $1/\lambda^4$ ist, verringert sich β im nahen Infrarot bei $\lambda = 900$ nm auf $\beta_{\text{NIR}}^{\text{Rayl}} = 0,00163/\text{km}$ – der Wert ist also etwa um den Faktor 7 geringer als im sichtbaren Bereich. Weniger Streuung bedeutet weniger Abschwächung der Objektstrahlungen und weniger Streulicht entlang des Sehstrahls. Dies erhöht die Sichtweite im nahen Infrarot bis zur Kontrastschwelle deutlich. Ähnliches gilt auch, wenn zur Rayleigh-Streuung noch Anteile der Streustrahlung durch Aerosole hinzukommen. Diese streuen meist wellenlängenunabhängig, sodass der Anteil der Rayleigh-Streuung weiterhin wesentlich für die Kontrastunterschiede zwischen VIS und NIR bleibt.

Diese Kontrastunterschiede zeigen sich eindrucksvoll, wenn man etwa die Fotos im VIS und im NIR der Bergspitze des Gallatin Peak miteinander vergleicht, selbst wenn diese mit der gleichen Spiegelreflexkamera aufgenommen wurden (**Abb. 6**) [6]. Zum besseren Vergleich sind die Fotos in Graustufen umgewandelt [10]. Die theoretische räumliche Auflösung der Kamera für die Entfernung von 42,5 Kilometer zur Bergspitze beträgt zwischen 30 und 40 Zentimeter. Im Bereich der vorderen Hügelketten ist die Auflösung etwa 15 – 30 cm und sollte prinzipiell ausreichen, um einzelne Bäume zu unterscheiden.

Das sichtbare Bild scheint dagegen, abgesehen vom Abholzungsbereich im Vordergrund, ein bis zwei mehr oder minder homogene Hügelketten darzustellen ($C < C_{\text{Schwelle}}$, **Abb. 6a**). Nur im vorderen, näher liegenden Bereich lassen sich gerade noch einzelne Bäume erkennen. Im Gegensatz

dazu zeigt das etwa zeitgleich aufgenommene NIR-Bild deutlich mehr Strukturen und Informationen durch den erhöhten Kontrast ($C > C_{\text{Schwelle}}$). Auch die zweite Hügelkette ist bewaldet und enthält einen im sichtbaren Bereich kaum wahrnehmbaren abgesenkten schattigen Bereich. Zudem sind auch hier noch deutlich einzelne Bäume zu erkennen.

Die dargestellte Kontrasterhöhung bei größerer Wellenlänge hat viele technische und wissenschaftliche Anwendungen, die Thema in der Lehre sein können. Dies betrifft, zumeist bei noch größeren Wellenlängen im NIR sowie im thermischen IR [5], beispielsweise die Detektion durch Dunst und leichten Nebel hindurch bis zur Waldbrandbekämpfung beim Blick durch Rauch.

Kontrastreicher Blick ins Weltall

Insbesondere eignet sich das Thema Kontrasterhöhung im Unterricht, um die Infrarotastronomie vorzubereiten. Das Licht irdischer Objekte durchdringt die Erdatmosphäre. Dabei wird es an deren Bestandteilen – Atomen, Molekülen, ggf. Ionen, Aerosolen, Wassertropfen, Eiskristallen und auch Staub – gestreut und somit kontrastwirksam geschwächt. Natürlich lassen sich auch außerirdische Objekte beobachten. Bei erdgebundenen Teleskopen wird das Licht am Ende seiner Reise nochmals beim Durchgang durch die Atmosphäre abgeschwächt. Bessere Bilder liefern daher weltraumgestützte Teleskope. Diese eliminieren einerseits den auflösungsbegrenzenden Effekt der Luftunruhe (Seeing), andererseits erlauben sie es, auch den Frequenzbereich außerhalb der atmosphärischen Fenster zu nutzen.

Die ausgesendete Strahlung von Sternen und Galaxien breitet sich aber nicht nur in nahezu idealem Vakuum aus. Gelegentlich wird sie durch Absorption und Streuung geschwächt, insbesondere durch kosmische Gas- und Staubwolken in Gebieten mit Sternentstehung. Für diesen Fall gelten ähnliche Betrachtungen wie auf der Erde. Bei kleinen Teilchengrößen des Staubs ist die Extinktion im nahen Infrarot deutlich geringer als im sichtbaren Spektralbereich. Geringere Streuung bedeutet höheren Kontrast und damit quasi eine größere Sichtweite ins Weltall.

Eindrucksvoll belegen dies Bilder des Carina-Nebels, aufgenommen mit dem Hubble-Weltraumteleskop (**Abb. 7**). Diese Aufnahmen der Gas- und Staubsäulen in etwa 7500 Lichtjahren Entfernung entstanden 2009 im sichtbaren Bereich sowie im nahen Infrarot. Das VIS-Bild zeigt dichte Staubwolken, in denen sich neue Sterne bilden. Die Sterne hinter dem optisch dichten Staubbereich bleiben jedoch verborgen. Dagegen zeigen sie sich eindrucksvoll im NIR-Bild. Der Staub schwächt die NIR-Strahlung deutlich weniger ab, sodass ein Großteil die Wolke ungehindert auf dem Weg zur Erde passieren kann und uns wertvolle Informationen liefert.

All diese Beispiele zeigen, dass es sich lohnt, die Grenzen unseres menschlichen Auges mit geeigneten Hilfsmitteln zu überwinden, denn jenseits dieser Grenzen liegen viele sonst unsichtbare Geheimnisse verborgen.

Literatur

- [1] K.-P. Möllmann et al., Eur. J. Phys. **41**, 25302 (2020)
- [2] Astronomy Picture of the day: apod.nasa.gov/apod/astropix.html
- [3] M. Vollmer und K.-P. Möllmann, PhiuZ **42**, 144 (2011); **42**, 150 (2011); **49**, 190 (2018); **50**, 97 (2019) und viele mehr
- [4] M. Vollmer, Physik Journal, August/September 2013, S. 47
- [5] M. Vollmer und K.-P. Möllmann, Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications, Wiley (2018)
- [6] K. Mangold et al., Eur. J. Phys. **34**, S51 (2013)
- [7] H. Koschmieder, Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre **XII**, 33 und **XII**, 171 (1924)

- [8] G. Dietze, Einführung in die Optik der Atmosphäre, Akad. Verlagsges. Geest & Portig, Leipzig (1957)
- [9] C. F. Bohren, Am. J. Phys. **55**, 524 (1987)
- [10] M. Vollmer und J. A. Shaw, Eur. J. Phys. **43**, 034001 (2022)
- [11] A. T. Young, Phys. Today **35**, 42 (1982)
- [12] R. Penndorf, J. Opt. Soc. Am. **47**, 176 (1957)

Der Autor



Michael Vollmer (FV Didaktik der Physik) studierte Physik in Heidelberg. Nach Promotion und Habilitation und einer Zwischenstation in Kassel kam er 1994 an die TH in Brandenburg, wo er seitdem wissenschaftliche Themen im Bereich Grundlagen und Anwendungen der Infrarottechnik, atmosphärischer Optik sowie der Didaktik der Physik bearbeitet. Er erhielt 2013 den Robert-Wichard-Pohl-Preis der DPG. In seiner Funktion als WEH-Seniorprofessor organisiert er u. a. Fortbildungen für Physiklehrer:innen, entwickelt Praktikums- und Schulversuche mit Infrarotkameras, bietet öffentliche Vorträge an und beschäftigt sich mit optischer Wahrnehmung. Das Foto zeigt ihn in einer NIR-Aufnahme bei 0,9 – 1,7 μm .

Prof. Dr. Michael Vollmer, Technische Hochschule Brandenburg, Department of Engineering, Magdeburger Str. 50, 14770 Brandenburg an der Havel

Optimize Your Research

Treffen Sie uns auf der DPG-Frühjahrstagung!

Profitieren Sie von perfekt passender Vakuumtechnologie

Profitieren Sie bei der **HiScroll Serie** von einem geringen Geräuschpegel und **wenig Vibrationen** bei einem **hermetisch dichten Pumpsystem**. Durch die kompakte Bauweise sind die Scrollpumpen optimal für den Einsatz in Laboren geeignet.

Unsere **Turbopumpen der HiPace H Serie** überzeugen mit **hoher Kompression** und Zuverlässigkeit. Als Turbopumpen für höchste Anforderungen eignen sie sich für die **Erzeugung von Hoch- und Ultrahochvakuum**.



Pfeiffer Vacuum GmbH
Germany
T +49 6441 802-0

PFEIFFER **VACUUM**
Your Success. Our Passion.

www.pfeiffer-vacuum.com