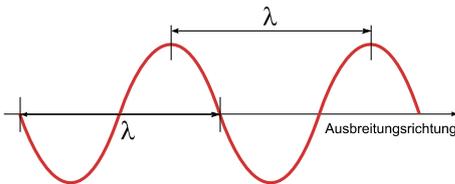


Schon seit einigen Jahrhunderten ist bekannt, dass Atome nach thermischer Anregung Licht aussenden können. Sie ist für das entsprechende Element charakteristisch. Die genaue Analyse der abgegebenen Lichtqualität erlaubt dabei *einerseits* Einblicke in den Bau der Elektronenhülle dieser winzig kleinen Teilchen. *Andererseits* erlaubt die Analyse des Lichts, das von riesigen Himmelskörpern nach einer Reise von vielen Millionen bis Milliarden von Kilometern in die Teleskopöffnung gelangt, der Astronomie auch Aussagen über die dortige elementare Zusammensetzung. Die hohe Geschwindigkeit und Reichweite des Lichts ermöglicht also eine *Fernerkundung*, ohne dem untersuchten Objekt nahe zu sein. Mit der qualitative und quantitative Analyse solcher Strahlung befasst sich die **Spektroskopie**. Zuerst klären wir, was die Strahlung, zu der auch das *Licht* gehört, überhaupt ist.

**1. Licht und Farbe**

Die von der Lichtquelle abgegeben Energiepakete werden **elektromagnetische Wellen (EM-Wellen)** genannt. Anders als beispielsweise Schallwellen benötigen EM-Wellen kein Medium, um sich auszubreiten. Sie können sich daher auch über weite Entfernungen im Vakuum des Weltraums ausbreiten. Jede elektromagnetische Welle besitzt eine bestimmte Energie. Diese hängt von der **Frequenz (v, sprich: „nü“)** ab, die die Anzahl der Schwingungen der Welle pro Zeiteinheit angibt. Die **Wellenlänge (λ, sprich: „lambda“)** gibt an, wie lang eine Strecke entlang der Ausbreitungsrichtung ist, in der die EM-Welle eine vollständige Schwingung durchführt:



**Abb. 1.1:** Definition der Wellenlänge (λ) Q: e.W.

Je nach Energie oder Frequenz unterscheidet man verschiedene EM-Wellenarten (vgl. Abb. 1.3 unten!). Nur EM-Wellen mit  $\lambda \approx 400 - 800$  Nanometer ( $400 \cdot 10^{-9} - 800 \cdot 10^{-9}$  m) sind für unser Auge sichtbar und werden damit als **Licht** bezeichnet.

**EXKURS (optional auf L-Anweisung) Zusammenhang: Wellenlänge ↔ Energie**

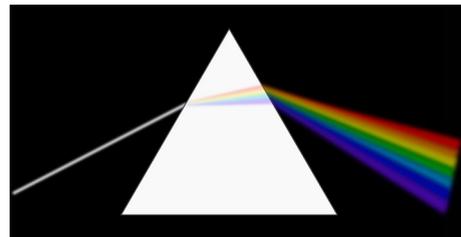
Der **mathematische Zusammenhang** zwischen Frequenz, Wellenlänge und Energie ergibt sich mit zwei Formeln:

- $c = \lambda \cdot \nu$       $\lambda$     Wellenlänge in Metern (m)
- $\nu$     Frequenz: Anzahl Schwingungen pro Zeit in 1/s = Hz (Hertz)
- $c$     Lichtgeschwindigkeit im Vakuum:  $c \approx 3,000 \cdot 10^8$  m/s
- $E = h \cdot \nu$       $h$     PLANCK'sches Wirkungsquantum:  $h \approx 6,626 \cdot 10^{-34}$  Js
- $E$     Energie der EM-Welle in J (Joule)

**1.1 Auf L-Anweisung:** Berechnen Sie die ungefähre Energie (in Joule) der energiereichsten EM-Welle und der energieärmsten Welle, die unsere Augen gerade noch wahrnehmen. Beachten Sie hierzu die Angaben im Text!

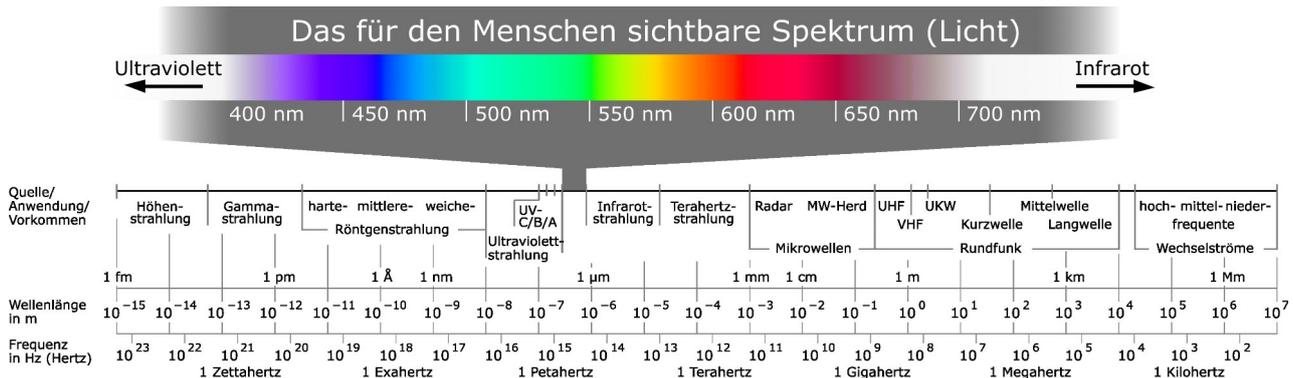
**Merke: Je kürzer die**

Lässt man weiß erscheinendes Licht durch ein Glasprisma fallen, so wird der Lichtstrahl zu einem Farbband gebrochen. Dieses Farbband bezeichnet man als **kontinuierliches Spektrum**. **Weißes Licht ist also eine Mischung aus diesen verschiedenen Spektralfarben.**



**Abb. 1.2:** Ein Prisma erzeugt ein kontinuierliches Spektrum. Q: wikicommons. A: Astroskianthike

**Bei den verschiedenen Farben des Spektrums handelt es sich also um Licht unterschiedlicher Wellenlängen. Jede Farbe entspricht einem bestimmten Energiebereich.**



**Abb. 1.3:** Elektromagnetisches Spektrum: . Q: wikicommons. A: Horst Frank et al.

2. Entstehung der Linienspektren bei Wasserstoffatomen

Ein neutrales H-Atom besitzt nur ein einziges Elektron. Im energieärmsten Zustand des H-Atoms hält sich das Elektron auf der K-Schale auf, also auf der Schalennummer  $n = 1$ .

Durch Energieaufnahme, beispielsweise in Form von Wärme, kann das Elektron auf eine weiter außen liegende, energiereichere Schale springen, z.B. auf die M-Schale ( $n = 3$ ). Die hierfür aufgenommene Energie entspricht dem Energieunterschied zwischen den beiden Zuständen des Elektrons. Beim H-Atom ist das gleichbedeutend mit dem Energieunterschied zwischen den beiden Schalennummern. Die Energien in der Abbildung 2.1 auch wiedergegeben (siehe rechts, „E“ steht für „ $\cdot 10^{-18}$ “).

Der angeregte Zustand ist nicht stabil. Die aufgenommene Anregungsenergie wird in Sekundenbruchteilen *vollständig auf einmal* oder stufenweise wieder abgegeben. Die Abgabe kann durch Aussendung (= **Emission**) einer **EM-Welle** mit dem entsprechenden Energiebetrag erfolgen. Dabei springt das Elektron auf eine energieärmere innen liegende Schale zurück. Das kann auch wieder die Ausgangsschale sein, beim H-Atom die K-Schale.

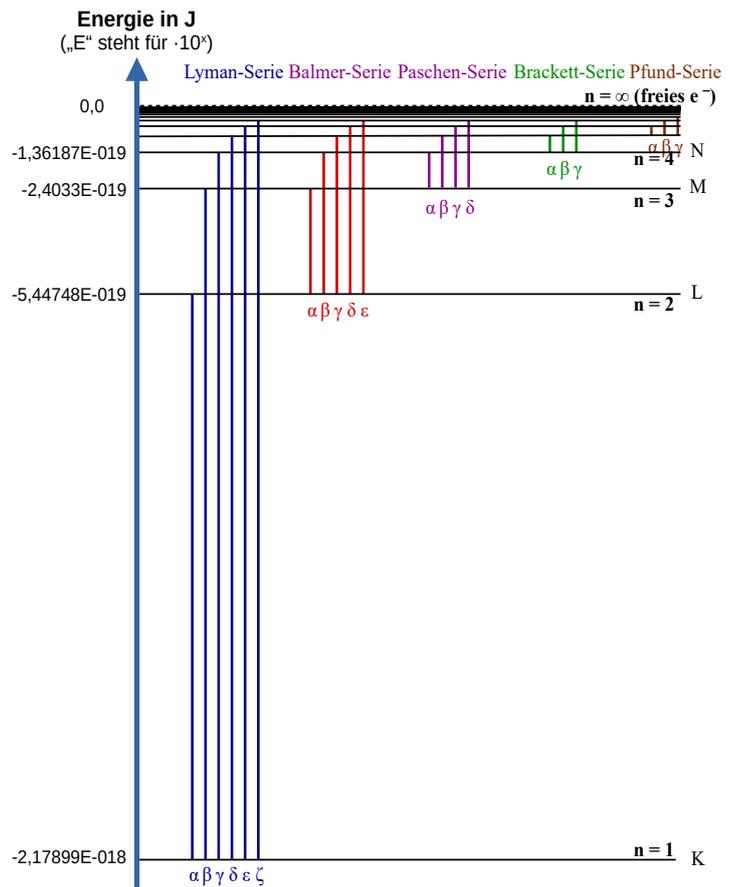


Abb. 2.1: Linienspektrum bei Wasserstoffatomen

Je nachdem von welcher Schale das Elektron springt und in welche Schale es gelangt, besitzt die abgegebene EM-Welle eine charakteristische Energie und Wellenlänge ( $\lambda$ ):

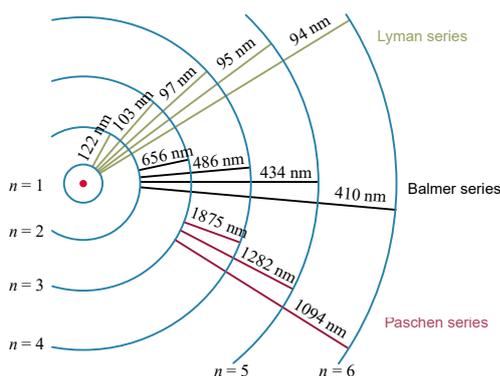


Abb. 2.2: Zusammenhang zwischen Elektronensprung und der Wellenlänge der EM-Strahlung. Bei dieser Abb. hier wurde das BOHRsche Atommodell des H-Atoms genutzt. In Abb. 2.1 wurden die Energiesprünge hingegen in einem Energiediagramm dargestellt.

2.1 Wir gehen davon aus, dass durch eine thermische Anregung das Elektron eines H-Atoms in die N-Schale

gesprungen ist. Anschließend springt das Elektron in die L-Schale zurück.

a) Welche Wellenlänge und Farbe hat die abgegebene EM-Welle?

$\lambda = \dots\dots\dots$  Farbe (siehe Abb. 1.3):  $\dots\dots\dots$

b) Welche Wellenlänge hat der energiereichste und der energieärmste Sprung, der in Abb. 2.2 dargestellt ist?  
 energiereichst:  $\dots\dots\dots$  energieärmst:  $\dots\dots\dots$

Merke:

c) Beschriften Sie Abb. 2.1 mit den Ergebnissen aus 2.1c), an den entsprechenden Stelle.

**Genauere Berechnung einer Wellenlänge eines Sprungs:** Man kann die Energie der abgegebenen EM-Welle genau berechnen. Sie entspricht der Energiedifferenz ( $\Delta E$ ), die das Elektron auf der Start- und der Zielkreisbahn hat = („Energie der Schale“):

$\Delta E = h \cdot \nu$        $\Delta E$ : Energiedifferenz.  
 $\nu$ : Frequenz der EM-Welle

2.3 Auf L-Anweisung: Berechnen Sie anhand der Energien aus Abb. 2.1 die Wellenlänge ( $\lambda$ ) der EM-Strahlung, die das H-Atom aus Aufgabe 2.1 emittiert

Regt man eine ganze Stoffportion von sehr vielen H-Atomen thermisch an, so resultieren alle möglichen thermischen Anregungen und Elektronenrücksprünge. Die insgesamt durch die Portion abgegebene EM-Strahlung, besteht somit aus EM-Wellen mit unterschiedlichen Wellenlängen. Die Wellenlängen werden zu **Serien** gruppiert bzw. zusammengefasst.

**2.2 Welche Gemeinsamkeit hat die EM-Strahlung der PASCHEN-Serie?**

Der Gesamtfarbeindruck für unser Auge ergibt sich als Mischung der Einzelfarben. Überwiegen beispielsweise EM-Wellen, die einzeln blaue und gelbe Farbeindrücke ergeben würden, so können wir mit dem Auge die Mischfarbe von blau und gelb sehen, also grün.

Lässt man die insgesamt emittierte Strahlung durch ein Prisma fallen, wie es in Abb. 1.2 dargestellt ist, so kann man die einzelnen EM-Wellen separieren. Man erhält ein **Linienspektrum**. Für Wasserstoff-Atome resultiert beispielsweise folgendes Linienspektrum:



**Abb. 2.3:** Linienspektrum des Wasserstoffs (H-Atome): BALMER-Serie Q: wikicommons. A: Jan Homann

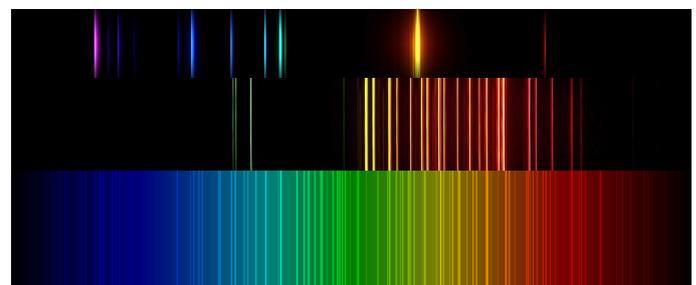
**2.3 Geben Sie an den Spektrallinien in Abb. 2.3 die entsprechenden Wellenlängen an! Entnehmen Sie die Werte aus den Abbildungen oben.**

**Auch andere Elemente/Atome besitzen solche charakteristischen Linienspektren.**

Durch deren Auswertung der EM-Strahlung nach spektraler Zerlegung lässt sich ermitteln, von welchem Element die Strahlung stammt. So lässt sich die elementare Zusammensetzung von Materie einer Probe oder von Himmelskörpern und deren Atmosphäre analysieren.

Will man besonders fein aufgelöste Spektren erhalten, stört die Erdatmosphäre. Deshalb gibt es Weltraum-Teleskope, die vom Weltall aus die Spektren von Himmelskörpern analysieren.

Die Linienspektren von Atomen mit mehreren Elektronen sind aufgrund der Wechselwirkung der Elektronen untereinander deutlich komplexer als das Spektrum der H-Atome:



**Abb. 2.3:** Linienspektren. oben: Helium (He). Mitte: Neon (Ne). unten: Xenon (Xe) Q: wikicommons. A: Jan Homann

**Die Flammenfärbung, die man bei vielen Ionen, wie beispielsweise  $\text{Li}^+$  oder  $\text{Ba}^{2+}$ , beobachten kann, ist der optische Gesamteindruck sämtlicher sichtbarer EM-Strahlen, die bei der Desaktivierung der angeregten Ionen frei wird und in unser Auge gelangt.**

Regt man eine Xenon-Probe an, so sind im abgegebenen Spektrum sehr viele EM-Wellenlängen enthalten (siehe Abb. 2.3). Insgesamt ergibt sich ein weißer Farbeindruck. So erzeugen „Xenon-Autoscheinwerfer“ ein gleißend helles, weißes Licht.