

## Voller Durchblick – die Röntgenstrahlung

Günther Lohmer, Leverkusen

Am 8. November 1895 machte **Wilhelm Conrad Röntgen** (27.03.1845–10.02.1923) seine bahnbrechende Entdeckung. Er stellte fest, dass eine bestimmte Strahlenart in der Lage war, den menschlichen Körper zu durchdringen.

Bringen Sie Ihren Schülern mit diesem Beitrag nahe,

- was Röntgenstrahlung ist,
- wofür sie verwendet wird und
- welche Gefahren damit verbunden sind.



Röntgenbild der Hand

I/E

**Röntgenstrahlen sind genauso wie Licht elektromagnetische Wellen. Allerdings ist die Wellenlänge bei Röntgenstrahlen kürzer. Deshalb sind Röntgenstrahlen energiereicher.**

### Der Beitrag im Überblick

**Klasse:** 9/10

**Dauer:** 8 Stunden

**Ihr Plus:**

- ✓ Farbfolie mit Röntgenbildern

**Inhalt:**

- Zur Person von W. C. Röntgen
- Elektromagnetische Wellen von Infrarot bis Ultraviolett
- Das Bohr'sche Atommodell
- Was sind Röntgenstrahlen und wie entstehen sie?
- Eigenschaften von Röntgenstrahlen
- Röntgen und andere Bildgebungsverfahren
- Anderweitiger Einsatz von Röntgenstrahlen
- Die Gefahren von Röntgenstrahlung

## Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

Lichtstrahlen sind elektromagnetische Wellen, die je nach Wellenlänge für uns Menschen mit bloßem Auge sichtbar oder unsichtbar sind.

Täglich kommen wir mit den unterschiedlichsten Strahlen in Kontakt – beispielsweise an einem sonnigen Morgen. Das Sonnenlicht besteht aus einem für uns Menschen sichtbaren Anteil und aus einem unsichtbaren Anteil, von dem zum Beispiel die **UV-Strahlen** gefährlich sein können. Für uns unsichtbare Strahlen sind z. B. die energiereichen Strahlen in der **Mikrowelle** oder die elektromagnetischen Wellen für **Radio- und Fernsehempfang**. Auch Röntgenstrahlen können wir nicht sehen.

Das Röntgenbild aus der Medizin kennt fast jeder. Anhand der Röntgenbilder kann der Arzt feststellen, ob ein Knochen gebrochen ist oder nicht. Auch Zahnärzte nutzen die Röntgentechnik, um sich ein Bild vom Zustand des Gebisses ihrer Patienten zu machen.

Neben diesem klassischen Anwendungsgebiet setzt man Röntgenapparate an Flughäfen zur **Durchleuchtung des Gepäcks** ein. Ein weiteres Einsatzgebiet für Röntgenstrahlen ist die **Archäologie**. Mithilfe von Röntgenaufnahmen können Archäologen kostbare Fundstücke, beispielsweise verschlossene Truhen untersuchen, ohne dass diese geöffnet werden müssen und der Inhalt gegebenenfalls beschädigt wird. Auch neu entdeckte Mumien werden zur Identifizierung geröntgt. Anhand der Röntgenbilder erhalten Wissenschaftler Auskunft über das Alter, den Zustand und das Geschlecht der Mumie. Außerdem nutzen Ingenieure die Röntgenstrahlung, um beispielsweise **Risse in Kesseln** zu identifizieren.

Trotz aller Vorteile, die die Röntgenstrahlen haben, dürfen die **Gefahren der Röntgenstrahlen** nicht vernachlässigt werden. Aufgrund ihrer hohen Energie kann Röntgenstrahlung menschliches Gewebe zerstören (chemische Bindungen aufbrechen, Zellen beschädigen). Daher sollten Röntgenaufnahmen nur dann gemacht werden, wenn sie aus medizinischer Sicht nötig sind und keine anderen Verfahren der Diagnostik zur Verfügung stehen.

### Bezug zum Alltag

Das Experiment **M 2** zeigt, dass Licht aus verschiedenen Farben besteht, die als Summe „weißes“ Licht ergeben. Spektralfarben sind Ihren Schülern auch vom **Regenbogen** bekannt. Dieses Phänomen basiert auf der Brechung des Sonnenlichts mithilfe von Wassertropfen.

Material **M 8** zeigt die verschiedenen Einsatzgebiete von Röntgenstrahlen. Die meisten Schüler kennen das **medizinische Röntgen**, beispielsweise nach einem Umknicken des Fußes. Auch die **Gepäckkontrolle** am Flughafen ist den meisten Lernenden bekannt. Dass dazu Röntgenstrahlen eingesetzt werden, ist für manche Schüler eventuell neu. Die Einsatzgebiete „**Werkstoffprüfung**“ und „**Röntgen von Mumien**“ dürften die wenigsten Schüler kennen.

### Lehrplanbezug

Obwohl in vielen Lehrplänen die Röntgenstrahlung erst in **Klassenstufe 12** im Rahmen der **Quantenphysik** behandelt wird, sind die Materialien dieses Beitrags so gestaltet, dass sich auch jüngere Schüler mit dem Thema befassen können.

Im Sinne eines **Spiralcurriculums** legen Sie in der Mittelstufe den Grundstock und greifen das Thema in der Oberstufe wieder auf. Sie behandeln dann unter anderem:

1. Atommodelle von Rutherford und Bohr mit den entsprechenden Gleichungen
2. Entstehung von Röntgenstrahlung beschreiben, Eigenschaften und Anwendungsbeispiele
3. Unterscheidung Bremsstrahlung und charakteristische Strahlung
4. Wechselwirkung mit Materie: Comptoneffekt, Photoeffekt, Paarerzeugung

## Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit    SV = Schülerversuch    Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt  
 ⌚ D = Durchführungszeit    LV = Lehrerversuch    Fo = Folie

<b>M 1</b>	<b>Ab</b>	<b>Der Entdecker der Röntgenstrahlen: Wilhelm Conrad Röntgen</b> <input type="checkbox"/> Farbige Stifte zum Unterstreichen
<b>M 2</b>	<b>Ab</b>	<b>Elektromagnetische Wellen – von Infrarot bis Ultraviolett</b>
<b>M 3</b>	<b>SV</b>	<b>Der sichtbare Bereich des Spektrums – ein Experiment</b> ⌚ V: 5 min <input type="checkbox"/> 1 handelsübliche CD mit silbriger Beschichtung an der Unterseite ⌚ D: 40 min <input type="checkbox"/> Sonnenlicht, alternativ künstliche Lichtquelle, z. B. Taschenlampe <input type="checkbox"/> Buntstifte in den Farben Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett
<b>M 4</b>	<b>Ab</b>	<b>Das Bohr'sche Atommodell</b>
<b>M 5</b>	<b>Ab</b>	<b>Was passiert in einer Röntgenröhre?</b>
<b>M 6</b>	<b>Fo</b>	<b>Welche Körperteile wurden hier geröntgt?</b>
<b>M 7</b>	<b>Ab</b>	<b>Röntgen und andere bildgebende Verfahren</b>
<b>M 8</b>	<b>Ab</b>	<b>Anderweitiger Einsatz von Röntgenstrahlen</b>
<b>M 9</b>	<b>Ab</b>	<b>Die Gefahren der Röntgenstrahlen – Strahlenschutz</b>
<b>M 10</b>	<b>LEK</b>	<b>Rund um Röntgen und Co. – ein Kreuzworträtsel</b>

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 16.

### Minimolplan

Bei knapper Zeit beschäftigen sich Ihre Schüler mit der Person W. C. Röntgen als Hausaufgabe. Der Unterricht beginnt mit Material **M 2** (das elektromagnetische Spektrum). Sie lassen das Experiment **M 3** wiederum als Hausaufgabe durchführen und behandeln in der zweiten Stunde das Bohr'sche Atommodell (**M 4**). Unverzichtbar ist, die Erzeugung von Röntgenstrahlen in einer Röntgenröhre (**M 5**) zu behandeln. Dagegen können Sie auf den anderweitigen Einsatz von Röntgenstrahlen (**M 8**) verzichten. Wichtig ist aber, die Schüler auf die Gefahren der Röntgenstrahlung hinzuweisen (**M 9**).

Die Lernerfolgskontrolle (**M 10**) wird in diesem Fall nicht benotet, da nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden kann, dass die Schüler über alle notwendigen Informationen verfügen, beispielsweise über die zur Person W. C. Röntgen.

I/E

## M 1 Der Entdecker der Röntgenstrahlen: Wilhelm Conrad Röntgen

### Aufgaben

1. Auf der Pinnwand wurden wichtige Informationen rund um Wilhelm Conrad Röntgen gesammelt. Lies dir die Texte durch und unterstreiche die wichtigsten Informationen.
2. Erstelle einen **Steckbrief** über Wilhelm Conrad Röntgen mit den folgenden Angaben: Geburtstag, Geburtsort, Schullaufbahn, Entdeckung der Röntgenstrahlen.

### Für Experten

3. Finde heraus, woran Röntgen forschte, als er zufällig die Röntgenstrahlen entdeckte.
4. In welcher Stadt entdeckte Röntgen die Röntgenstrahlen?



W. C. Röntgen (1845–1923)

© J. E. Photo Archive

**1864:** Erneuter Anlauf, das Abitur zu erlangen. Versuch scheiterte, da der gleiche Lehrer zur Prüfung erschien, der 1863 Anlass für den Schulverweis war

**1874:** Habilitation an der Universität zu Straßburg

**1862–1863:** Technische Schule in Utrecht (Niederlande).

**10.12.1901:** Röntgen erhält den ersten Nobelpreis für Physik.

**1848–1862:** Kindheit und Jugend in Apeldoorn (Niederlande).

**1863:** Röntgen wurde ohne Abitur von der Schule verwiesen, weil er einen Schulkameraden, der die Karikatur eines Lehrers erstellt hatte, nicht verraten wollte.

**1865:** Studiengang an der ETH Zürich. Röntgen kann aufgrund seiner guten Zeugnisse und nach einer strengen Aufnahmeprüfung ohne Abitur studieren.

**1869:** Promotion zum Dr. phil. an der ETH Zürich über Thermodynamik.

**8.11.1895:** Entdeckung der Röntgenstrahlen.

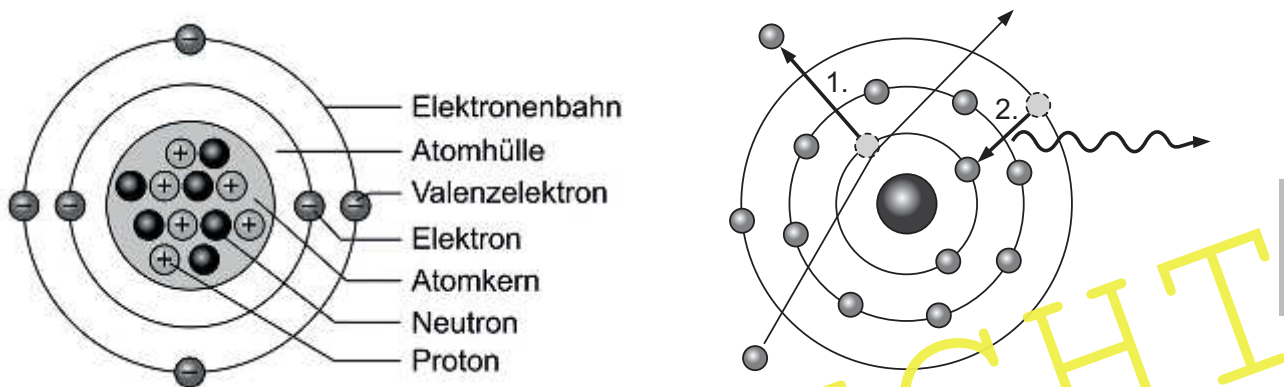
Wilhelm Conrad Röntgen wurde am **27. März 1845** in Remscheid-Lennep (NRW) als einziges Kind der Eheleute Friedrich Conrad und Charlotte Röntgen geboren.

## M 4 Das Bohr'sche Atommodell

Alle Stoffe bestehen aus Teilchen, den sogenannten **Atomen**.

Die Atome wiederum bestehen aus positiv geladenen **Protonen** und neutral geladenen **Neutronen** im Kern sowie negativ geladenen **Elektronen** auf den Schalen.

Die Schalen, auf denen die Elektronen kreisen, können unterschiedlich viele Elektronen aufnehmen und besitzen auch unterschiedliche **Energieniveaus**. Auf die innerste Schale (auch K-Schale genannt) passen nur 2 Elektronen, auf die nächste (L-Schale) 8 und auf die darauffolgende M-Schale 18 (allgemein:  $2 \cdot n^2$ ).



Insgesamt wurden 7 Elektronenschalen dem Alphabet folgend bezeichnet (N bis Q). Die maximale Anzahl der darauf möglichen Elektronen berechnet sich nach der oben angegebenen Formel ( $2 \cdot n^2$ , wobei  $n$  die Nummer der Schale angibt). Somit haben auf der siebten Elektronenschale maximal 98 Elektronen Platz ( $2 \cdot 7^2 = 98$ ).

Abhängig von dem jeweiligen Stoff gibt es eine unterschiedliche Anzahl von Elektronen. Kalium beispielsweise besitzt 19 Elektronen, Chlor hingegen nur 17. Betrachten wir die Schalen, so besitzen die Elektronen auf der innersten Schale die niedrigste Energie. Das liegt daran, dass sie noch sehr stark an den Atomkern gebunden sind. Je weiter weg die Elektronen sich vom Atomkern befinden, desto energiereicher sind sie. Die Aufteilung der Elektronen auf die einzelnen Energiestufen (Schalen) bezeichnet man als die **Elektronenkonfiguration (Elektronenverteilung)** des Atoms.

### Merke

- Röntgenstrahlen entstehen, wenn energiereiche Elektronen auf einen Stoff treffen. Dabei werden Elektronen aus den Bahnen der Atome herausgelöst.
- Die abgegebene Energie wird in Form von Röntgenstrahlung frei.
- Lücken, die in den Elektronenschalen entstehen, werden immer durch äußere Elektronen geschlossen. Dabei wird Energie freigesetzt, die in Form von Strahlung sichtbar wird.



### Aufgabe

Kreuze die richtigen Antworten an:

Die Protonen sind negativ geladen.

richtig falsch

Auf die innerste Schale passen 8 Elektronen.

richtig falsch

Röntgenstrahlung entsteht, wenn energiereiche Elektronen auf einen Stoff treffen.

richtig falsch



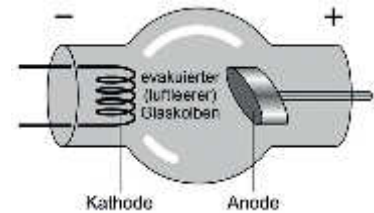
## M 5 Was passiert in einer Röntgenröhre?

Prallen stark beschleunigte Elektronen auf einen Stoff (Materie), so entstehen Röntgenstrahlen.

Zur Erzeugung von Röntgenstrahlen benutzt man **Röntgenröhren**. Das sind spezielle luftleere Glaskolben. Im Inneren dieser Glaskolben befinden sich zwei Elektroden. Beide Elektroden sind mit einer Hochspannungsquelle verbunden – eine mit dem Pluspol (**Anode**), die andere mit dem Minuspol (**Kathode**) der Hochspannungsquelle. Die Kathode besitzt einen kleinen **Heizdraht**, so wie du ihn von einer Glühlampe oder von einem Toaster kennst.

Lässt man nun Strom durch den Heizdraht fließen, so erwärmt er sich und glüht rot. Dann treten aus der Oberfläche des Heizdrahtes Elektronen aus. Dieses Phänomen nennt man den **Glühelektrischen Effekt**.

Aufgrund der hohen Spannung, die bis zu 150 000 Volt beträgt, werden zahlreiche Elektronen von der Kathode Richtung Anode beschleunigt. Die freigesetzten Elektronen bewegen sich mit hoher Geschwindigkeit und prallen auf die Anode. Durch den Aufprall werden einzelne Elektronen der Anodenatome aus ihren Bahnen herausgelöst. Dadurch entsteht eine Lücke auf der inneren Schale des Atoms und ein Elektron von der äußeren Schale fällt auf die innere. Aufgrund der Tatsache, dass die Elektronen auf der äußeren Schale mehr Energie besitzen als die auf der inneren Schale, wird dabei **Energie frei**. Das kannst du dir wie in einem Kreisverkehr vorstellen. Der schnelle Sportwagen auf der äußeren Bahn muss in der inneren Bahn fahren, wo viele langsame Fahrzeuge unterwegs sind. Um nicht aufzufahren, muss der Sportwagenfahrer bremsen. Er gibt somit seine überschüssige Energie ab. Bei den Atomen kann man die abgestrahlte Energie in Form von **Röntgenstrahlen** sehen.



### Merke: Energieerhaltungssatz

Energie geht niemals verloren, sondern wird immer nur umgewandelt.  
Beispiel: Bewegungsenergie kann in Wärmeenergie umgewandelt werden.



### Das Röntgenbild

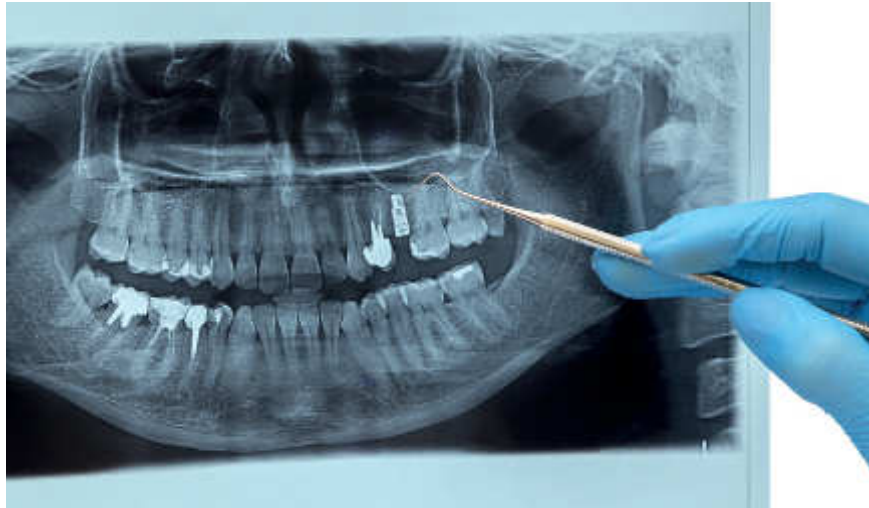
Röntgenbilder sind Schattenbilder. Sie werden auf empfindlichen silberbeschichteten Filmen oder neuerdings auch auf digitalen Speicherplatten festgehalten. An den Stellen, wo die Röntgenstrahlen von dem zu untersuchenden Material stark absorbiert werden, entsteht ein heller Fleck. Gehen die Strahlen ungehindert durch das zu untersuchende Material, entsteht ein dunkler Fleck.

### Aufgabe

1. Hier ist etwas durcheinander gekommen. Finde die fünf Fehler und korrigiere sie.

Zur Erzeugung von Röntgenstrahlen benutzt man Röntgenröhren. Das sind spezielle luftgefüllte Glaskolben. Im Inneren dieser Glaskolben befinden sich zwei Elektroden. Beide Elektroden sind mit einer Hochspannungsquelle verbunden. Eine Elektrode ist mit dem Pluspol, eine mit dem Minuspol der Hochspannungsquelle verbunden. Die Elektrode, die mit dem Minuspol verbunden ist, nennt man Anode, die, die mit dem Pluspol verbunden ist, Kathode. Die Anode besitzt einen kleinen Heizdraht, so wie du ihn von einer Glühlampe oder von einem Toaster kennst. Lässt man nun Strom durch den Heizdraht fließen, so erwärmt er sich und glüht rot. Dann treten aus der Oberfläche des Heizdrahtes Protonen aus.

2. Schaut euch mal folgendes Video zur Entstehung der Röntgenstrahlen an:  
<http://www.werkstatt-roentgen.de/museum/physik/roentgenstrahlen.html>

**M 6 Welche Körperteile wurden hier geröntgt?**

I/E

Fotos: iStock/Thinkstock

### M 10 Rund um Röntgen und Co. – ein Kreuzworträtsel

Die Umlaute ä, ö und ü musst du im Rätsel als ae, oe und ue schreiben.

1. In diesem Ausweis werden Röntgenuntersuchungen eingetragen. (senkrecht)
2. Ort in den Niederlanden. Hier ging Röntgen zur Schule. (waagrecht)
3. Damit arbeitet man beim MRT-Verfahren, um Bilder zu erzeugen. (senkrecht)
4. Gesucht wird der Geburtsort von Röntgen in NRW. (senkrecht)
5. Wie lautet die Abkürzung für Magnetresonanztomographie? (waagrecht)
6. Diese Atomteilchen befinden sich auf einer Schale. (waagrecht)
7. Über dieses Thema promovierte Röntgen. (senkrecht)

**Tipp** Ein anderes Wort für den gesuchten Begriff lautet Wärmelehre.

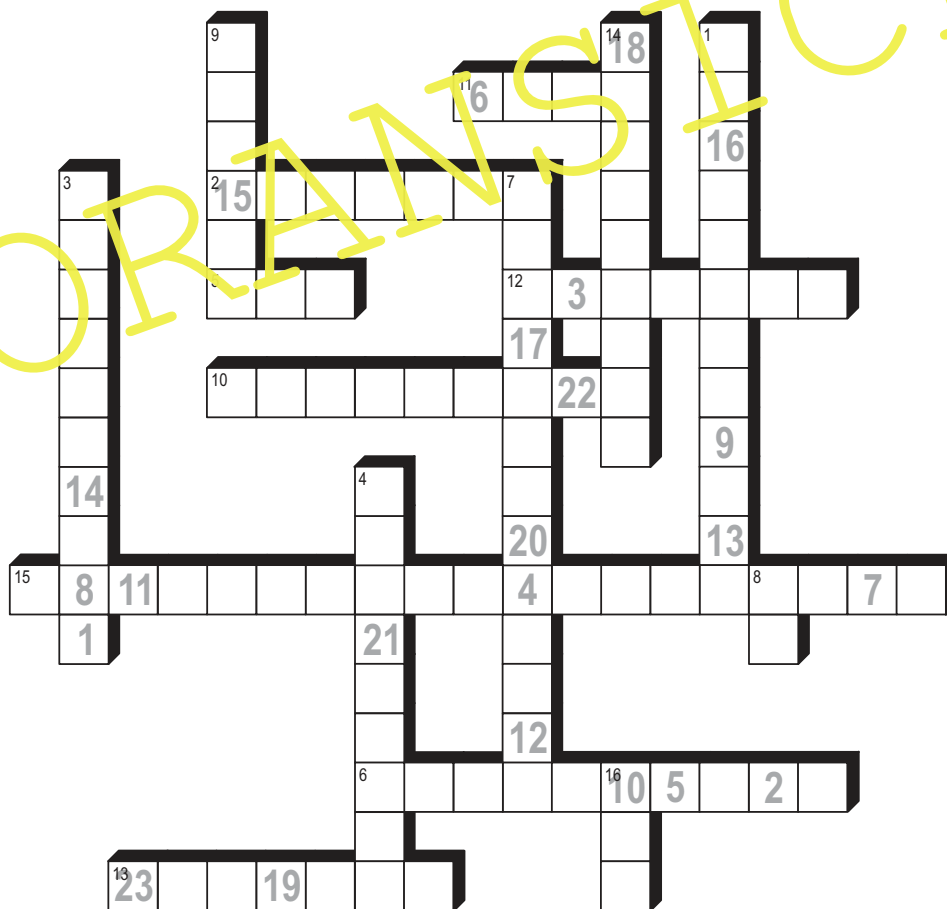
8. Wie lautet die Abkürzung für Computertomographie? (senkrecht)
9. Wie lautet der Fachbegriff für einen leeren Raum? (senkrecht)
10. Eine Krankheit, die durch zu viel Strahlung ausgelöst wird. (waagrecht)
11. Damit kann man sich vor Röntgenstrahlen schützen. (waagrecht)
12. Strahlung ist freigesetzte ... (waagrecht)
13. Dieser Teil einer Röntgenröhre sendet die Elektronen aus. (waagrecht)
14. Wie nennt man den billionsten Teil eines Meters? (senkrecht)

**Tipp** Den milliardsten Teil nennt man Nanometer.

15. Licht besteht aus ... Wellen. (waagrecht)
16. Eine Spektralfarbe des sichtbaren Lichtes bei etwa 780–630 nm. (senkrecht)

VORANSICHT

I/E



Diese höchste Auszeichnung hat Wilhelm Conrad Röntgen erhalten:

1 2 3	4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	14 15 16 17	18 19 20 21 22 23



## Erläuterungen und Lösungen

### M 1 Der Entdecker der Röntgenstrahlen: Wilhelm Conrad Röntgen

#### 2. Steckbrief Wilhelm Conrad Röntgen:

Geburtstag: 27. März 1845, Geburtsort: Remscheid-Lennep.  
 Schullaufbahn: 1848–1862: Kindheit und Jugend in Apeldoorn (Niederlande).  
 1862–1863: Technische Schule in Utrecht (Niederlande).  
 1863: Röntgen wurde ohne Abitur von der Schule verwiesen, weil er einen Schulkameraden, der die Karikatur eines Lehrers erstellte, nicht verraten wollte.  
 1864: Erneuter Anlauf, das Abitur zu erlangen. Versuch scheiterte, da der gleiche Lehrer zur Prüfung erschien, der 1863 Anlass für den Schulverweis war.  
 1865: Studiengang an der ETH Zürich. Röntgen kann aufgrund seiner guten Zeugnisse und nach einer strengen Aufnahmeprüfung ohne Abitur studieren.  
 1869: Promotion zum Dr. phil. an der ETH Zürich über Thermodynamik.  
 1874: Habilitation an der Universität Straßburg.  
 8.11.1895: Entdeckung der Röntgenstrahlen.  
 10.12.1901: Röntgen erhält den ersten Nobelpreis für Physik.  
**Hinweis:** Am 10. Februar 1923 erlag Wilhelm Conrad Röntgen im Alter von 77 Jahren in München einem Darmkrebsleiden.

#### Für Experten

3. Wilhelm Conrad Röntgen führte 1895 **Kathodenstrahlversuche** durch, als er zufällig die Röntgenstrahlen entdeckte.
4. Röntgen entdeckte die Röntgenstrahlen in Würzburg, am Physikalischen Institut am Röntgenring.

### M 2 Elektromagnetische Wellen – von Infrarot bis Ultraviolett

1.

Violett	Blau	Grün	Gelb	Rot
380–420 nm	450–482 nm	497–530 nm	575–580 nm	630–780 nm

#### 2. Tipp zum Experiment:

Sie können den Versuch auch in der Klasse durchführen. Springseile gibt es sicherlich in Ihrer Turnhalle, oder sie lassen sich über den Fachleiter Sport an Ihrer Schule ausleihen.

### M 3 Der sichtbare Bereich des Spektrums – ein Experiment

#### Für Experten:

- a) Damit ein Regenbogen entsteht, muss es zeitgleich regnen und die Sonne scheinen. Bei dieser Konstellation scheint das Sonnenlicht direkt auf die Regentropfen. Diese zerlegen das „weiße Sonnenlicht“ in seine Spektralfarben. Das in die Regentropfen eintretende Sonnenlicht wird zunächst gebrochen, anschließend an der Rückseite des Regentropfens reflektiert und vor dem Austritt an der Vorderseite erneut gebrochen. Die Brechung der einzelnen Spektralfarben ist unterschiedlich. Blaues Licht wird stärker gebrochen als rotes.