

## Material Physik grundlegendes Anforderungsniveau

### I (Kosmische Strahlung) M1: Linearbeschleuniger

#### a) Aufbau und Funktionsweise

Abb. 1 zeigt schematisch den Aufbau eines Linearbeschleunigers. Dieser besteht aus mehreren geradlinig angeordneten hohlen Metallzylindern, sogenannten Driftröhren.

Betrachtet wird ein Proton, das am rechten Ende der mit der Zahl 0 gekennzeichneten Driftröhre mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit in den Beschleuniger eingebracht wird.

Zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Driftröhren wird das Proton in einem schmalen Spalt der Breite  $d$  wie in einem Plattenkondensator mit Plattenabstand  $d$  durch die anliegende Spannung  $0,60\text{ MV}$  beschleunigt. Dies wird durch eine an den Driftröhren anliegende Wechselspannung mit einer Frequenz von  $10\text{ MHz}$  erreicht. Die Aufenthaltsdauer des Protons in den Spalten zwischen den Driftröhren soll vernachlässigt werden. Das Innere der Driftröhren ist feldfrei. Die mit der Zahl 1 gekennzeichnete Driftröhre hat eine Länge von  $0,54\text{ m}$ .

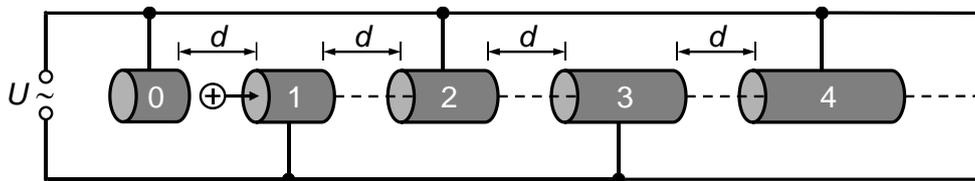


Abb. 1: Aufbau eines Linearbeschleunigers

#### b) $t$ - $E_{kin}$ -Diagramm

Abb. 2 zeigt das zugehörige  $t$ - $E_{kin}$ -Diagramm. Für  $t=0$  tritt das Proton in die mit der Zahl 1 gekennzeichnete Driftröhre ein.

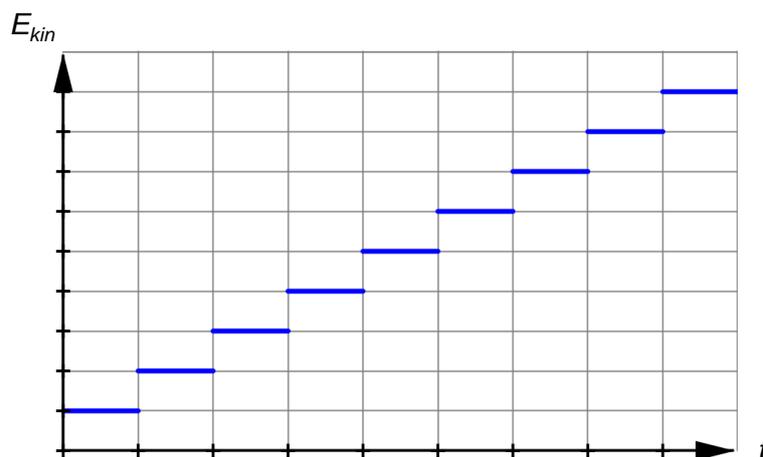


Abb. 2:  $t$ - $E_{kin}$ -Diagramm

## **I (Kosmische Strahlung) M2: Supernovarestes als mögliche Ursprungsorte kosmischer Strahlung**

Forschende vermuten, dass Supernovarestes Ursprungsorte der kosmischen Strahlung sein könnten. Ein Supernovarest entsteht bei einer Supernova, d. h. einer Explosion eines Sterns in der Endphase seines Lebens. Dabei werden v. a. Neutrinos und Gammastrahlung, aber auch Protonen freigesetzt. In der Umgebung des Supernovarestes treten inhomogene, zeitlich veränderliche Magnetfelder mit magnetischen Flussdichten von ca.  $10^8$  T auf, d. h. die Magnetfelder sind dort ca.  $10^{13}$ -mal so stark wie auf der Erde.

Gemäß der Hypothese der Forschenden werden Protonen in der Umgebung eines Supernovarestes auf sehr hohe Energien von zum Beispiel  $1,0 \cdot 10^{15}$  eV beschleunigt. Ein Teil der hochenergetischen Protonen stößt in der Umgebung des Supernovarestes mit langsamen Protonen zusammen. Dabei entstehen sogenannte Pionen, die zur Gruppe der Hadronen gehören. Unter anderem entsteht ein elektrisch neutrales Pion ( $\pi^0$ ), welches praktisch sofort wieder zerfällt:  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ .

Die beim Zerfall entstehenden Photonen haben charakteristische Eigenschaften und gehören zum Spektralbereich der Gammastrahlung. Auf der Erde können grundsätzlich sowohl die Gammastrahlung als auch die hochenergetischen Protonen mit Detektoren registriert werden, die jeweils die momentane Bewegungsrichtung und die Energie am Ort des Detektors messen.

Von 2008 bis 2012 beobachteten Astronomen den 5000 Lichtjahre entfernten Supernovarest IC 443 im Sternbild Zwillinge. Sie verwendeten ein Teleskop, welches sie mit einem Detektor für Gammastrahlung ausgerüstet hatten. Damit konnten sie die charakteristische Gammastrahlung nachweisen, die beim Zerfall der neutralen Pionen entsteht. Die Forschenden betrachten das als Stütze ihrer oben beschriebenen Hypothese.

## **I (Kosmische Strahlung) M3: Strahlenbelastung in der Raumfahrt**

Wie ungesund ist es, ins Weltall zu fliegen?

Auf diese Frage antwortet Frau Dr. Hellweg, die Leiterin der Abteilung Strahlenbiologie am Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in einem Interview: „Wir wissen, dass die erhöhten Strahlendosen zu einer Trübung der Augenlinse führen können. Außerdem dürfte das Risiko steigen, nach der Rückkehr an Krebs zu erkranken. Versuche mit Nagetieren, die in den USA durchgeführt wurden, legen noch eine weitere mögliche Spätfolge nahe: Bei ihnen verursachen die hochenergetischen schweren Atomkerne, die im Weltraum umherschwirren, Schäden am Gehirn. Astronauten könnten dadurch theoretisch bleibende kognitive Einschränkungen davontragen, was bei den bisherigen Bewohnern der Internationalen Raumstation ISS glücklicherweise nicht der Fall war. Generell fehlt es an Langzeituntersuchungen, was die gesundheitlichen Folgen von Weltraumreisen anbelangt.“

Frau Dr. Hellweg berichtet auch, dass bei einer Mars-Missionsdauer von drei Jahren – laut Modellrechnungen – von einem um 4 bis 25 Prozent erhöhten Krebsrisiko für die Astronautinnen und Astronauten auszugehen sei.

## II (Sonnenbrillen) M1: Tönung von Brillengläsern und UV-Schutz

Die sogenannte Tönung von Brillengläsern beschreibt deren Absorptionseigenschaften im sichtbaren Spektralbereich. Die Brillengläser können in verschiedenen Farben getönt sein. Bei einer Grautönung wird bei jeder Wellenlänge des sichtbaren Spektralbereichs näherungsweise der gleiche Anteil der einfallenden Lichtenergie absorbiert, wodurch für den Brillenträger bzw. die Brillenträgerin alle Farben gleichmäßig abgedunkelt werden.

Da für die Brillenträgerin bzw. den Brillenträger die Umgebung abgedunkelt erscheint, weiten sich die Pupillen und die Augen werden nicht mehr zugekniffen. Das Sehen wird insgesamt als weniger anstrengend wahrgenommen und damit verbundene Probleme wie Kopfschmerzen sind weniger häufig bzw. intensiv.

Sonnenbrillengläser werden in fünf Kategorien (siehe Tab. 1) eingeteilt. Der Absorptionsgrad gibt dabei den Anteil der einfallenden Lichtenergie an, der vom Brillenglas absorbiert wird.

Kategorie	Absorptionsgrad im sichtbaren Spektralbereich	Eignung
0	< 20 %	an bewölkten Tagen und an Abenden
1	20 – 57 %	an Frühlingstagen, bei wechselndem Wetter
2	57 – 82 %	normaler Blendschutz für den Sommer in Mitteleuropa
3	82 – 92 %	Südeuropa, Strand, Berge, Lesen in der Sonne
4	> 92 %	Hochgebirge, Gletscher

Tab. 1

Über die Absorption im UV-Bereich gibt das CE-Siegel auf der Sonnenbrille Auskunft: Es wird nur vergeben, wenn die Brille einen 100-prozentigen UV-Filter für Licht mit Wellenlängen kleiner als 380 nm hat. Die zusätzliche Kennzeichnung „UV 400“ erhält die Brille dann, wenn alle Wellenlängen unterhalb von 400 nm herausgefiltert werden.

## II (Sonnenbrillen) M2: Reflektierende Beschichtung eines Brillenglases

Beim Durchgang von Licht durch teilweise lichtdurchlässige Schichten treten an Grenzflächen Reflexion und Brechung auf. Abb. 1 zeigt den Lichtweg durch eine solche Schicht. Die im Bild mit ① und ② gekennzeichneten reflektierten Lichtstrahlen liegen in der Realität an der in Abb. 1 mit P markierten Stelle nahezu aufeinander.

Sichtbares Licht hat in teilweise lichtdurchlässiger Materie eine kleinere Ausbreitungsgeschwindigkeit als im Vakuum. Der Brechungsindex  $n$  gibt das Verhältnis dieser Geschwindigkeiten an.

In Luft gilt:  $n_{\text{Luft}} \approx 1$ , in Beschichtungen von Brillengläsern gilt:  $n > 1$ .

Den Gangunterschied  $\Delta s$  der Teilwellen ① und ② e den Wegunterschied mit  $n$  multipliziert.

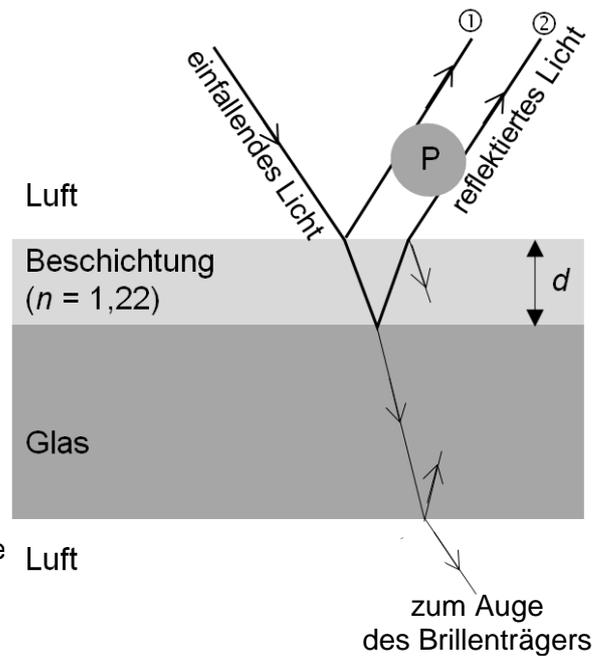


Abb. 1: Lichtweg durch eine teilweise lichtdurchlässige Schicht

## II (Sonnenbrillen) M3: Polarisation bei Transmission und Reflexion

Sonnenbrillen mit polarisierenden Brillengläsern laden viele Menschen zum „Spielen“ ein, weil sich Helligkeiten und Kontraste verändern, wenn man durch das Brillenglas sieht und die Brille um die Sichtachse dreht. Diese Brillengläser sind mit einer Schicht versehen, die aus dem unpolarisierten Sonnenlicht linear polarisiertes Licht macht. Dazu absorbiert die Schicht alle Komponenten der eintreffenden elektromagnetischen Wellen außer einer, deren Schwingungsrichtung durch die Schicht vorgegeben ist. Die Intensität des Lichts, das das Brillenglas durchdringt, wird dabei insgesamt reduziert.

Für den Sehkomfort ist folgender Effekt besonders von Bedeutung: Wenn Sonnenlicht an einer ebenen Grenzfläche zwischen zwei Materialien reflektiert wird, ist das reflektierte Licht teilweise bis vollständig polarisiert (siehe Abb. 2). Im Alltag tritt dies häufig an Eis- oder Wasserflächen sowie glatten Lackflächen auf. Polarisierende Brillengläser filtern aufgrund der Ausrichtung der polarisierenden Schicht gerade dieses reflektierte Licht besonders gut heraus, wodurch sie ein blendarmes, kontrastreiches Sehen mit einer verbesserten Farbwahrnehmung ermöglichen.

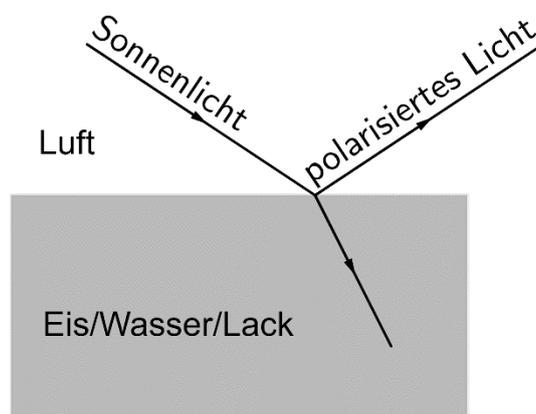


Abb. 2: Polarisation bei Reflexion

### III (Untersuchung von Quantenobjekten) M1: Interferenz von Farbstoffmolekülen

Die Farbstoffmoleküle bewegen sich mit einheitlicher Geschwindigkeit auf den Doppelspalt zu und treffen senkrecht auf ihn. Der Schirm ist parallel zum Doppelspalt im Abstand  $a$  angeordnet (siehe Abb. 1). Abb. 2 zeigt maßstabsgetreu das sich ergebende Interferenzbild auf dem Schirm.

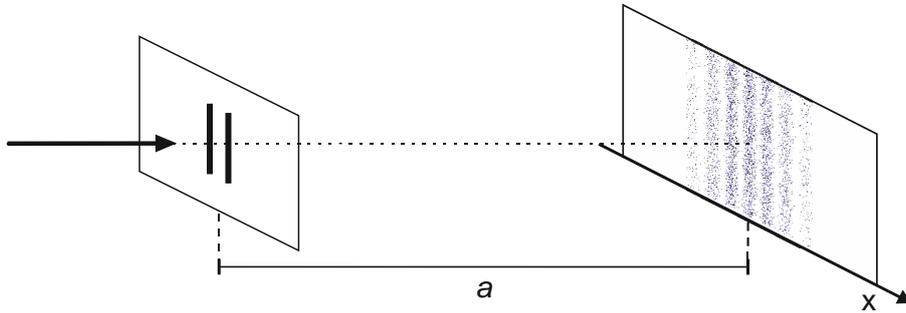


Abb. 1: Versuchsaufbau

Masse eines Farbstoffmoleküls	1298 u
Summenformel eines Farbstoffmoleküls	$C_{48}H_{26}F_{24}O_8$
Geschwindigkeit der Farbstoffmoleküle	158 m/s
Spaltmittenabstand $g$	100 nm
Schirmbreite	150 $\mu\text{m}$

Tab. 1: Daten des Experiments

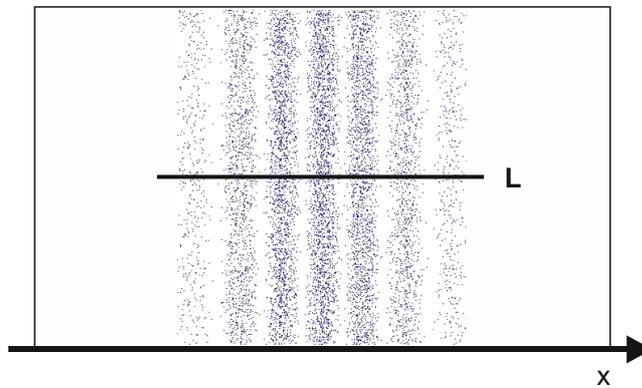


Abb. 2: maßstabsgetreues Schirmbild

### III (Untersuchung von Quantenobjekten) M2: Interferenzversuche mit Molekülen

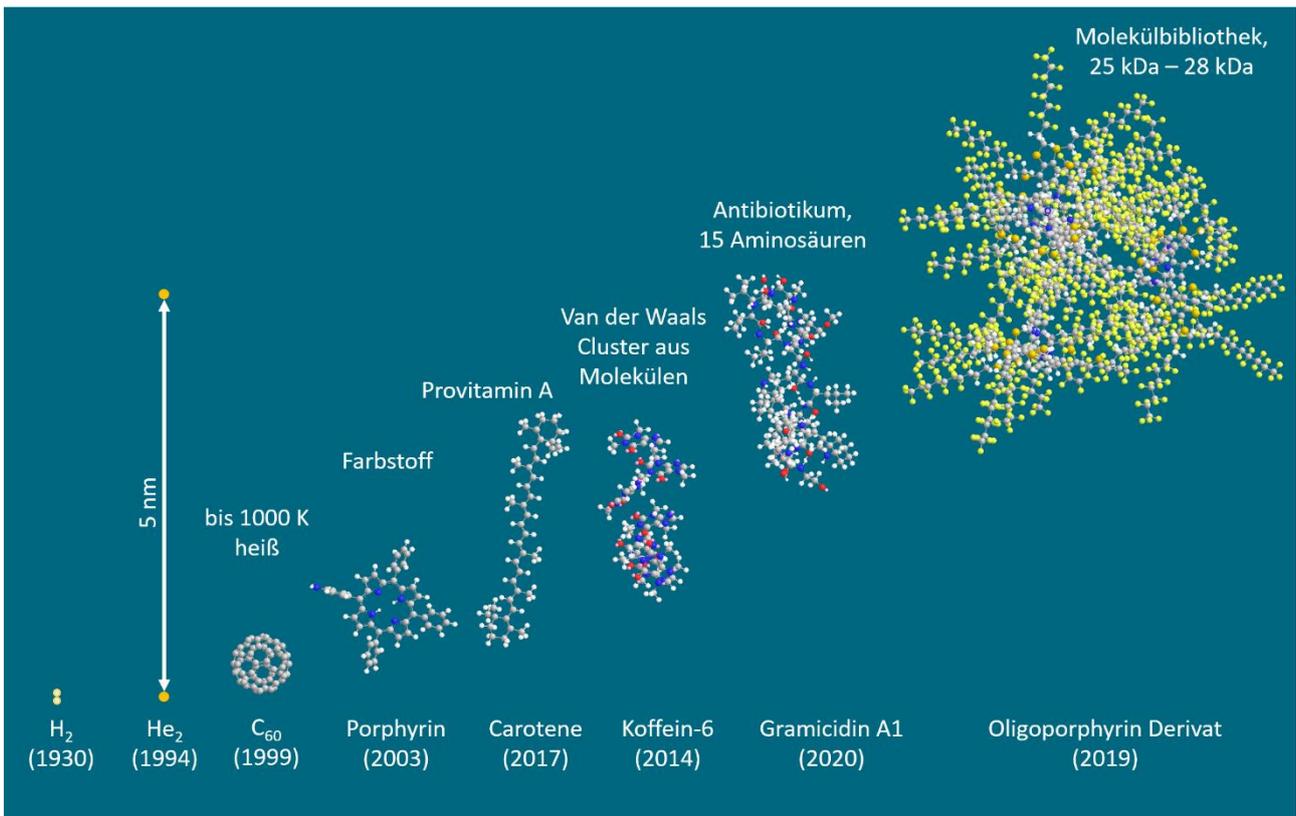


Abb. 3: Moleküle, mit denen Interferenzversuche durchgeführt wurden

Seit 1930 gelangen Interferenzexperimente mit immer komplexeren Systemen. Auf das kleinstmögliche Molekül H<sub>2</sub> (1930) folgte 1994 mit He<sub>2</sub> das am schwächsten gebundene zweiatomige Molekül. Interferenz mit Molekülen, die aus vielen Atomen bestehen, wurde 1999 bei C<sub>60</sub> beobachtet. Seitdem wurden Interferenzexperimente mit unterschiedlichsten Substanzen wie organischen Farbstoffen (2003), Vitaminen (2017), Koffein-Clustern (2014) bis hin zu Antibiotika (2020) oder komplexen organischen Molekülen mit mehr als 2000 Atomen (2019) erfolgreich durchgeführt.

### III (Untersuchung von Quantenobjekten) M3: Ein Werbeflyer

#### **NoAtoS - Der neue Atomstrom-Stopper**

*Trotz der Abschaltung aller deutschen Atomkraftwerke haben wir wegen Stromimporten aus dem Ausland weiterhin Atomstrom im deutschen Netz. Wollen Sie sichergehen, keinen Atomstrom in Ihren Geräten zu haben? Dann haben wir die Lösung für Sie: NoAtoS - der neuartige Atomstrom-Stopper!!!*



*Der Erfindergeist von Dr. Scharlan nutzt die Gesetze der Quantenphysik genial aus: NoAtoS detektiert zuverlässig eine im stochastischen Verhalten der Elektronen hinterlegte Information, die sich auch mit von der Atomlobby eingesetzten Quantenradierern nicht löschen lässt. Die geniale Idee dahinter: Die bei der Kernspaltung freigesetzte große Energie wird durch Interferenzeffekte auf weitere Elektronen des Stroms übertragen und kündigt damit ankommenden Atomstrom bei NoAtoS an. Die ausgefeilte Technik unseres NoAtoS erkennt dies nach dem Komplementaritätsprinzip, stoppt den Atomstrom zuverlässig und leitet ihn wieder an den Produzenten zurück.*

*Die Atomindustrie kann an Ihnen nichts mehr verdienen!*

*Der NoAtoS-Atomstrom-Stopper wird in einem formschönen Gehäuse ausgeliefert und kann bei jedem Endgerät zwischen Steckdose und Gerät eingebaut werden.*



*Bestellen Sie Ihren persönlichen NoAtoS jetzt!*

#### IV (Lecksuche mit radioaktivem Thorium) M1: Energiespektren

Abb. 1 zeigt schematische Energiespektren von  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Strahlung beim Zerfall von  $^{227}\text{Th}$  sowie ein zugehöriges Energiestufenmodell mit dem Grundzustand des Mutter- und des Tochternuklids.

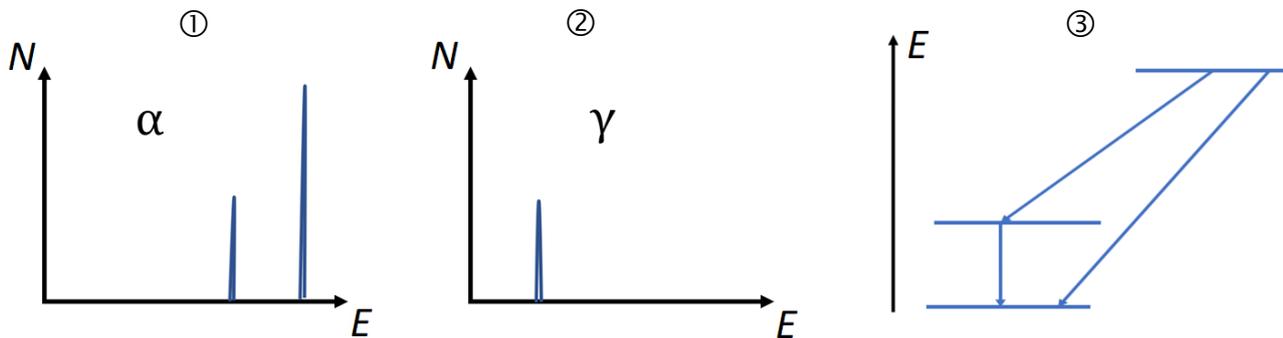


Abb. 1

Hinweis: Die Skalierung der Achsen ist in ① und ② identisch.

#### IV (Lecksuche mit radioaktivem Thorium) M2: Lecksuche mit radioaktiven Stoffen

##### a) Beschreibung des Verfahrens

In Flüssigkeit gelöst, können radioaktive Stoffe zur Detektion von kleinen Lecks in im Mauerwerk verbauten Leitungen verwendet werden. Ein Öffnen der Wand ist dann nicht mehr zum Suchen des Lecks, sondern nur noch zur Reparatur der Leitung notwendig. Dazu wird die mit dem radioaktiven Stoff vermischte Flüssigkeit in das Rohr gefüllt. Im Fall eines Lecks sammelt sich rund um die Austrittsstelle die Flüssigkeit im Mauerwerk an. Nach einiger Zeit werden die Rohre mit Frischwasser durchspült und die umgebende Wand wird mit einem Geiger-Müller-Zählrohr (GMZ) auf Ansammlungen des radioaktiven Stoffs im Mauerwerk untersucht (siehe Abb. 2). Diese Methode eignet sich v. a. für Rohre, die vollständig von Material wie Beton umgeben sind und deren umgebendes Mauerwerk frei von Hohlräumen ist.

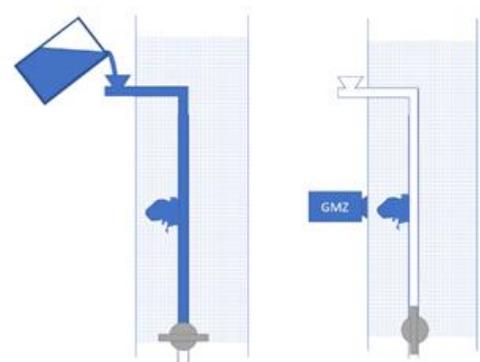


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung der Lecksuche

##### b) Hinweise zum Verfahren

Dieses Verfahren darf nur von Personen mit einer speziellen Ausbildung durchgeführt werden. „Von großer Belastung der Umwelt kann hier nicht die Rede sein“, so ein Mitarbeiter einer Firma für Lecksuche. „Die Lösung verbleibt nur so lange im Rohr, bis wenige Liter durch das Leck ausgetreten sind. Dies kann schon mal mehrere Tage dauern. Durch das Durchspülen mit Frischwasser wird der größte Teil der radioaktiven Flüssigkeit entfernt und es bleibt nur noch die geringe ausgetretene Menge in der Wand.“

Beschränkt wird der Einsatz dieser Methode durch die deutsche Strahlenschutzverordnung:

**„Nicht gerechtfertigte Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung [...]**

Nicht gerechtfertigt ist die [...] Verwendung von offenen radioaktiven Stoffen zur Leckagesuche<sup>1</sup> (Wasser, Heizung, Lüftung), sofern diese Stoffe anschließend nicht wieder gesammelt werden, [...].“

<sup>1</sup> Leckage: Ein Leck bzw. Loch in einer Leitung

#### IV (Lecksuche mit radioaktivem Thorium) M3: Zerfall von $^{227}\text{Th}$

Abb. 3 zeigt die Aktivität durch den  $\alpha$ -Zerfall von  $^{227}\text{Th}$  zur Zeit  $t$  im Vergleich zur Aktivität zum Zeitpunkt  $t = 0$  s und eine passende Ausgleichskurve zu den Messwerten.

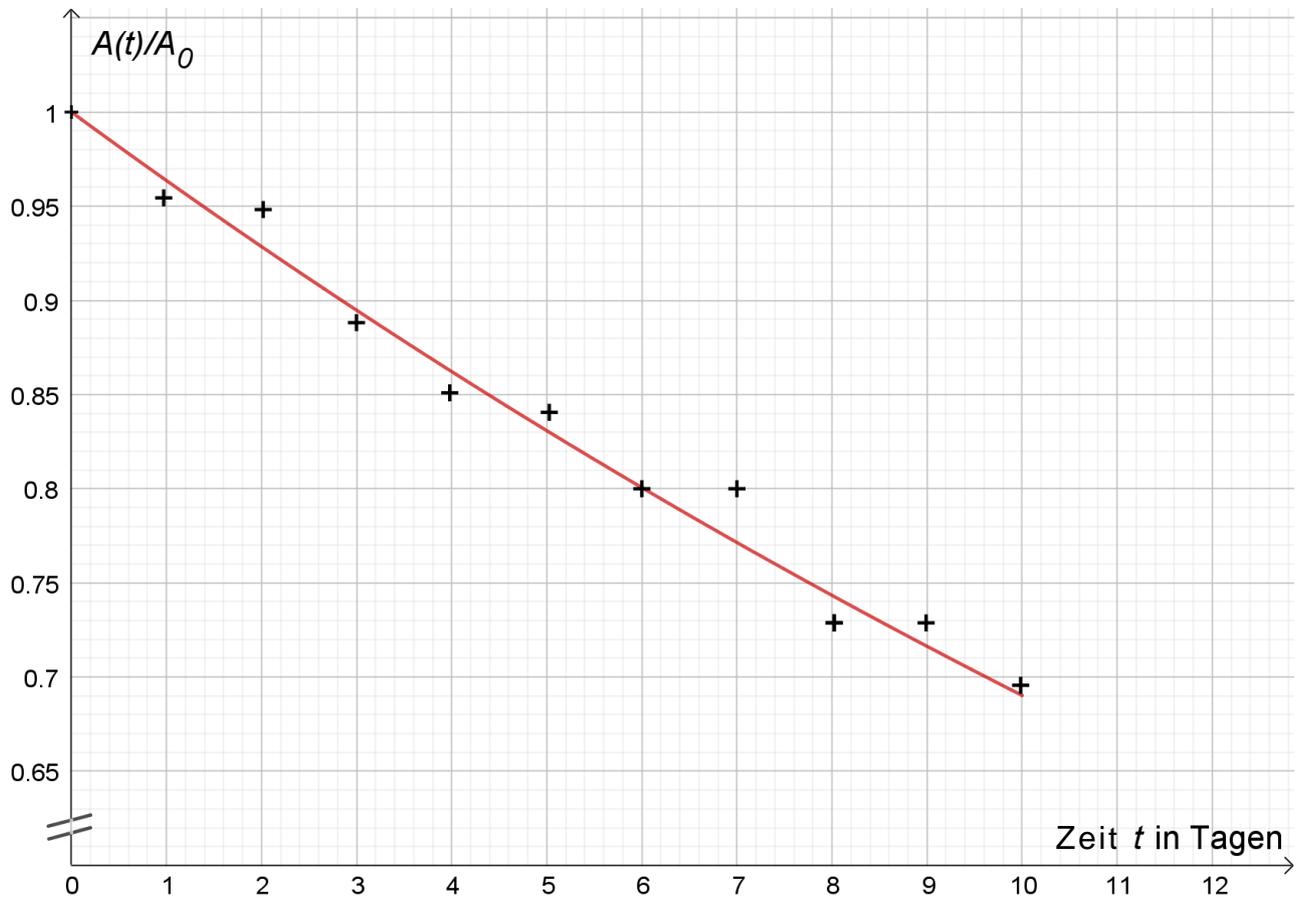


Abb. 3

## Quellen:

### I (Kosmische Strahlung)

Abbildungen selbst erstellt

M1 in Anlehnung an Joachim Herz Stiftung (Hrsg.): Linearbeschleuniger. Verfügbar unter <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/ausblick/linearbeschleuniger> (Zugriff am 27.7.2023)

M3 mit Zitat von Frau Dr. Hellweg. Verfügbar unter <https://www.spektrum.de/news/der-grenzwert-wird-deutlich-ueberschritten/1660736> (Zugriff am 27.7.2023)

### II (Sonnenbrillen)

Abbildungen selbst erstellt

Tab. 1 in Anlehnung an: Carl Zeiss AG (Hrsg.): Sonnenbrillen – alles, was Sie über UV-Schutz, Tönungen, Verspiegelungen, polarisierte Gläser und mehr wissen müssen. Verfügbar unter <https://www.zeiss.de/vision-care/besser-sehen/sport-freizeit/sonnenbrille-ist-nicht-gleich-sonnenbrille.html#3> (Zugriff 24.6.2023)

### III (Untersuchung von Quantenobjekten)

M1 in Anlehnung an Thomas Juffmann, Adriana Milic, Michael Müllneritsch, Peter Asenbaum, Alexander Tsukernik, Jens Tüxen, Marcel Mayor, Ori Cheshnovsky and Markus Arndt: Real-time single-molecule imaging of quantum interference. In: Nature Nanotechnology Vol 7, Mai 2012

M2 Abb. 3: Markus Arndt, private Korrespondenz

### IV (Lecksuche mit radioaktivem Thorium)

Abbildungen selbst erstellt

M2 in Anlehnung an Erwall, L. G., Forsberg, H. G., Ljunggren, K.: Radioaktive Isotope in der Technik, Leipzig 2013

M2 mit Zitat aus Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV), Anlage 1 (zu § 2) Teil A. Verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/strlschv\\_2018/StrlSchV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/strlschv_2018/StrlSchV.pdf) (Zugriff am 15.5.2023)