

# Selbstbau einer kontinuierlichen Diffusions-Nebelkammer

Udo Backmund, Thomas Wilhelm

## 1. Intension der Bauanleitung

Der Unterricht zur Radioaktivität steht vor dem Problem, dass nur wenig motivierende Schulerperimente möglich sind. Für den Einsatz einer Nebelkammer im Unterricht spricht deshalb eine Vielzahl von Gründen. Die Nebelkammer ist zweifelsohne eines der wichtigsten und faszinierendsten Demonstrationsinstrumente des Stoffgebiets der Atom- und Kernphysik [1]. Aus Kostengründen beschränken sich aber viele Schulen auf die Wilsonsche Expansions-Nebelkammer, die nicht gut funktioniert, nur eine kleine Beobachtungsfläche besitzt und eine äußerst kurze Spurenbereitschaft aufweist. Überdies ist der erfolgreiche Betrieb dieses Kammertyps nicht unproblematisch. Häufig wird eine Vielzahl von Expansionen benötigt, bis sich die ersehnten Bahnspuren beobachten lassen. Da die Bahnspuren für höchstens eine Sekunde sichtbar bleiben, bleibt dann nur zu hoffen, dass die Schülerinnen und Schüler die Versuche mit dem nötigen Interesse verfolgt haben und nicht gelangweilt durch eine Reihe von Fehlversuchen ihre Aufmerksamkeit anderem zugewendet haben. Gewiss ist der eine oder andere Fehlversuch auf eine falsche Bedienung der Kammer zurückzuführen. Jedoch ist es ein offenkundiges Defizit dieses Kammertyps, dass die Erfolgswahrscheinlichkeit des Versuchs durch eine gute und intensive Vorbereitung nicht wesentlich erhöht werden kann.

Auf Grund ihrer dauerhaften Sensitivität ist eine kontinuierliche Diffusionsnebelkammer viel geeigneter, jedoch sehr teuer. Die Kammer kann längere Zeit vor dem Unterricht vorbereitet und in Betrieb genommen werden, wodurch sich die Erfolgchancen im Vergleich zur Expansionsnebelkammer beachtlich verbessern. Damit Lehrer oder Schüler selbst eine solche Kammer bauen können, wurde eine Diffusions-Nebelkammer mit Peltier-Elementen konstruiert und ausführliche Bauanleitungen für „Laien“ vorgelegt. Die benötigten Finanzen (300 – 400 €) sind dabei weit unter den Anschaffungskosten vergleichbarer Nebelkammern der Lehrmittelhersteller (1.000 – 2.000 €) - ohne diesen nachzustehen. Schon der Nulleffekt genügt, um Bahnspuren zu beobachten. Die Nebelkammer ist für interessierte und handwerklich begabte Lehrer und Schüler nachbaubar und wurde bereits von einem Schüler nachgebaut. Bei der Konstruktion der Nebelkammer wurde darauf geachtet, dass diese von handwerklichen Laien angefertigt werden kann und bei der Herstellung ausschließlich konventionelle Werkzeuge aus dem Heimwerkerbereich zur Anwendung kommen. Lediglich grundsätzliche Fähigkeiten im Umgang mit dem Bohrer, als auch der Stichsäge und dem LötKolben sind notwendig. Allerdings sollte das Lesen von Zeichnungen und deren gedankliche Umsetzung keine größeren Schwierigkeiten bereiten. Für den prinzipiellen Aufbau der Kammer diene als Grundlage und Leitgedanke der Eigenbau einer Diffusions-Nebelkammer mit Peltierkühlung

von Thomas Rapp, der auf seiner Homepage seine selbstgebaute Nebelkammer knapp vorstellt [2].

## 2. Funktionsweise von Nebelkammern

Nebelkammern sind Spurendetektoren zur Sichtbarmachung von Bahnsuren einzelner ionisierender Teilchen bzw. Strahlung. Grundsätzlich werden zwei Arten von Nebelkammern unterschieden: Die 1911 von dem englischen Physiker C. T. R. WILSON (1869 - 1959) entwickelte Expansions-Nebelkammer und die kontinuierlich arbeitende Diffusions-Nebelkammer.

Für das Verständnis der Funktionsweise dieser Spurendetektoren müssen folgende grundlegende physikalische Tatsachen beachtet werden: Wird ein mit Alkoholdampf bzw. Wasserdampf gesättigter Raum abgekühlt, so verringert sich seine Aufnahmefähigkeit für das jeweilige Gas-Dampf-Gemisch. Infolgedessen wird der Dampf übersättigt, das heißt in der Luft befinden sich mehr Dampfmoleküle, als bei der erniedrigten Temperatur eigentlich möglich sind (relative Luftfeuchtigkeit über 100 %). *„Je nach dem Grad der Übersättigung verbleibt der Dampf in der Luft, oder er scheidet sich in Form kleiner Tröpfchen, d.h. als Nebel, ab“* [3]. Die Bildung dieses Tröpfchenregens geschieht zum Beispiel in staubiger Luft leichter als in staubfreier, da die Staubpartikel Ansatzkerne für die sich bildenden Wasser- bzw. Alkoholtröpfchen sind. Für die Nebelbildung sind solche Kondensationskerne enorm wichtig. Allerdings können nicht nur Staubteilchen als Kondensationskerne dienen, sondern auch Ionen. Daraus folgt unmittelbar eine weitere für die Wirkungsweise von Nebelkammern wichtige physikalische Tatsache, die ionisierende Wirkung radioaktiver Strahlung.

Beide Kammertypen beruhen auf diesen physikalischen Tatsachen. Letztlich besteht der entscheidende Unterschied der zwei Kammerarten lediglich in der Art und Weise, wie der übersättigte Dampf in der Kammer hergestellt wird.

### 2.1 WILSON-Nebelkammern

Bei einer WILSON-Nebelkammer wird durch adiabatische Expansion eines gesättigten Gas-Dampf-Gemisches übersättigter Dampf erzeugt, indem das Kammervolumen schnell vergrößert wird. Dabei kühlt das Gas-Dampf-Gemisch ab und der Dampf wird übersättigt. So ist die Wilson-Nebelkammer, auch Expansions-Nebelkammer genannt, nicht dauerhaft sensitiv, d.h. die Kammer ist nicht permanent bereit, von eintretenden Teilchen Nebelspuren zu bilden. Die Spurenbereitschaft der Nebelkammer ist nur 0,1 bis 1 s nach der Expansion vorhanden.

### 2.2 Diffusions-Nebelkammern

Bei einer Diffusions-Nebelkammer wird die Übersättigung des in der Kammer befindlichen Gas-Dampf-Gemisches durch ein stationäres Temperaturgefälle zwischen Kammerboden und -deckel in einem Teil des Kammervolumens dauernd aufrechterhalten [3]. Zur Herstellung dieses Temperaturgradienten wird der Boden der Nebelkammer kontinuierlich gekühlt. Au-

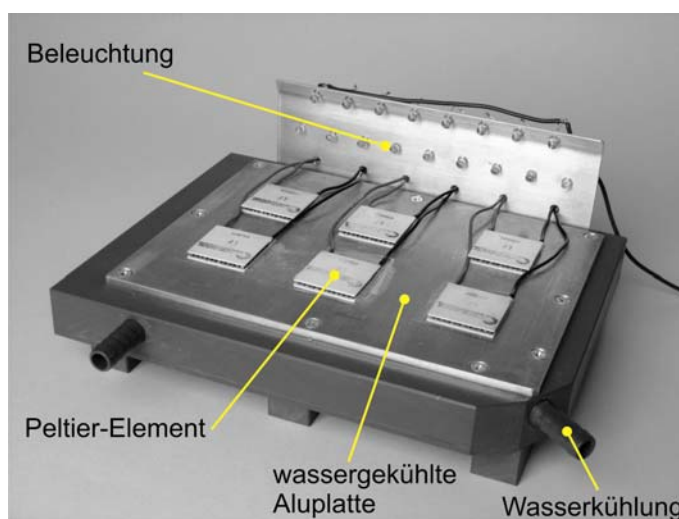
ßerdem wird der Kammer das benötigte Kondensationsmedium als Gas-Dampf-Gemisch laufend durch eine Verdampferquelle, die sich auf der gegenüberliegenden Seite befindet, zugeführt. Als Kondensationsmedium wird häufig Alkohol, zum Beispiel Isopropanol, verwendet. Das von der Verdampferquelle ausgestoßene Gas-Dampf-Gemisch diffundiert langsam durch das Füllgas (Luft) der Kammer von der Verdampferquelle zum erheblich kälteren Kammerboden. Dabei kommt das Gemisch in immer kältere Schichten und wird ab einer gewissen Höhe übersättigt.

Gelangt nun ionisierende Strahlung in dieses Übersättigungsgebiet, auch empfindliches Kammervolumen genannt, erzeugt die Strahlung längs ihrer Bahn Ionen, die als Kondensationskerne dienen, wodurch Ketten kleinster Flüssigkeitströpfchen entstehen. Wird diese Nebelspur seitlich beleuchtet, wird das Licht an den Nebeltröpfchen gestreut (Mie-Streuung), so dass die Teilchenbahn gut als heller Nebelstreifen gegen den dunklen Hintergrund zu sehen ist. Das empfindliche Kammervolumen befindet sich direkt über dem Kammerboden und hat in etwa eine Dicke von 10 – 15 mm [4]. Zwar kann bei einer Diffusionsnebelkammer die Beobachtungsfläche beliebig groß gebaut werden, die Höhe der empfindlichen Schicht bleibt jedoch auf ca. 15 mm begrenzt. Damit nicht durch unerwünschte, im Kammergas befindliche „Störionen“ ein allgemeiner Nebelschleier verursacht wird, müssen diese Ionen durch ein angelegtes elektrisches Feld abgesaugt werden.

Abhängig von der jeweiligen baulichen Umsetzung der Diffusions-Nebelkammer muss der Kammerboden auf einer relativ konstanten Temperatur von weniger als  $-10^{\circ}\text{C}$  gekühlt werden. Dies kann zum Beispiel durch Trockeneis, ein Kühlaggregat oder Peltierelemente geschehen. Als Verdampferquelle wird oftmals ein mit Alkohol getränkter Filz oder ein elektrisch beheizter Behälter benutzt.

### 3. Aufbau der Selbstbau-Kammer

Bei der hier beschriebenen Diffusionsnebelkammer wird die Bodenplatte der Kammer mit Hilfe von sechs Peltierelementen auf  $-10^{\circ}$  bis  $-15^{\circ}\text{C}$  gekühlt (siehe Abb. 1). Peltierelemente transportieren Wärme von einer Peltierelement-Seite (Kaltseite) zur anderen Seite (Warmseite). Dabei muss für eine korrekte Funktion der Elemente die Wärmemenge auf der Warmseite der Peltierelemente abgeführt werden. Um einen ausreichenden Wärmeabtransport zu gewährleisten, liegen die Peltierelemente mit ihrer Warmseite auf einer 4 mm starken Aluminiumplatte, die mit Wasser



**Abb. 1: Wassergekühlte Aluminiumplatte mit sechs Peltierelementen**

gekühlt wird.

gekühlt wird. Die eigentliche Kammer besteht aus einer 8 mm starken Bodenplatte aus Aluminium und wird seitlich durch Glaswände abgeschlossen.

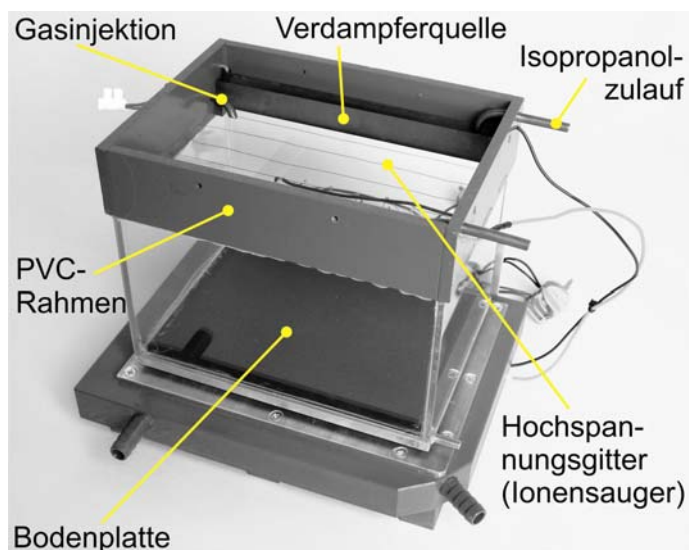
Auf den Glaswänden sitzt abschließend ein Rahmen aus PVC, der ein Hochspannungsgitter für den Ionentransport („Ionensauger“), die Verdampferquelle (zwei beheizte Isopropanol führende Kupferrinnen), den Isopropanol-Zulauf und eine Einmündung für die Einbringung radioaktiver Gase beherbergt (siehe Abb. 2). Abgeschlossen wird die Kammer mit einem Deckel aus Glas.

Als Spannungsquelle für nahezu alle elektrischen Bauteile der Kammer dient ein ausrangiertes Computer-Netzteil (mind. 220W). Ausschließlich die Versorgung des „Ionensaugers“ mit Hochspannung (1,5 kV bis 3 kV) muss von einem externen Hochspannungsnetzgerät, welches in der Regel an Schulen vorhanden ist, übernommen werden.

Auf Knopfdruck fördert eine Pumpe Isopropanol aus einem Vorratsbehälter in die Kupferrinnen der Verdampferquelle. Durch leichtes Erwärmen mittels selbstgebauter Heizelemente wird das Isopropanol zum Verdampfen gebracht. Dabei kann die Temperatur der Rinne über ein Temperaturschaltmodul überwacht werden. Überdies ist es möglich, über den zweiten Kanal des Schaltmoduls die Temperatur der Bodenplatte im Auge zu behalten. Das auf der Bodenplatte kondensierte flüssige Isopropanol fließt über eine Bohrung im Kammerboden in den Vorratsbehälter zurück und steht dem Prozess somit wieder zur Verfügung.

Die Kammer ist sowohl von oben, als auch von der Seite einsehbar und besitzt jeweils eine ca. 18 x 13 cm große Beobachtungsfläche (siehe Abb. 3). Um eine gute Sichtbarkeit der Kondensationsstreifen zu gewährleisten, wird das Kammerinnere mit 17 lichtstarken, weißen Leuchtdioden von der Seite beleuchtet.

Überdies ist eine Vorrichtung zur Injektion radioaktiver Gase integriert. Beispielsweise kann Radongas in die



**Abb. 2: Die Kammer mit Verdampferquelle und Hochspannungsgitter**



**Abb. 3: Die fertige Nebelkammer**

Kammer eingeblasen werden, welches von leicht radioaktiven Glühstrümpfen freigesetzt wird. Prinzipiell ist es auch möglich, radioaktive Feststoffe in die Kammer einzubringen.

#### 4. Die Bauanleitungen

Die Arbeit, in welcher der Bau genau beschrieben wird, kann unter [5] heruntergeladen werden. Dort wird das benötigte Material aufgelistet, handwerkliche Grundlagen angesprochen und der Bau der Kammer und die Inbetriebnahme detailliert beschrieben. Im Anhang der Anleitung sind unter anderem umfangreiche detailgetreue Zeichnungen der einzelnen Bauteile mit vollständiger Bemaßungen und ausführliche Materialbedarfslisten beigefügt.

Für Laien wurde im allgemeinen Teil der Anleitung Grundlagen der spanenden Formgebung, zu denen das Bohren und Sägen gehören, vermittelt. Insbesondere werden hier zweckmäßige Vorgehensweisen aufgezeigt und auf unentbehrliche Hilfsmittel und die Besonderheiten beim Bohren bzw. Sägen von Metallen oder Kunststoffen hingewiesen. Ebenso wird das Lötens elektronischer Bauteile kurz beschrieben.

Im Anschluss wird die Fertigung der einzelnen Bauteile, wie z.B. der „Kühlplatte“ (siehe Abb. 4), mit Hilfe umfangreicher und vollständig bemaßter Zeichnungen Schritt für Schritt beschrieben. Hierbei wird jeder einzelne zu leistende Arbeitsschritt unter Hinweis des notwendigen Materials und des einzusetzenden Werkzeuges detailliert beschrieben. Überdies wird auf die Verwendung alternativer Materialien eingegangen und auf eventuelle Auswirkungen für den weiteren Bau der Kammer hingewiesen, die sich durch die Verwendung alternativer Materialien ergeben könnten. Gleichzeitig wird der Grund oder die Funktion der jeweiligen Arbeitsschritte für den späteren Betrieb der Nebelkammer aufgezeigt, um somit einerseits individuelle Abweichungen, beispielsweise die Verwendung anderer Materialien, zu ermöglichen, andererseits ein umfassendes Verständnis für die Funktionsweise der gesamten Kammer zu vermitteln.

Nachdem alle Bauteile der Diffusions-Nebelkammer angefertigt worden sind, werden die einzelnen

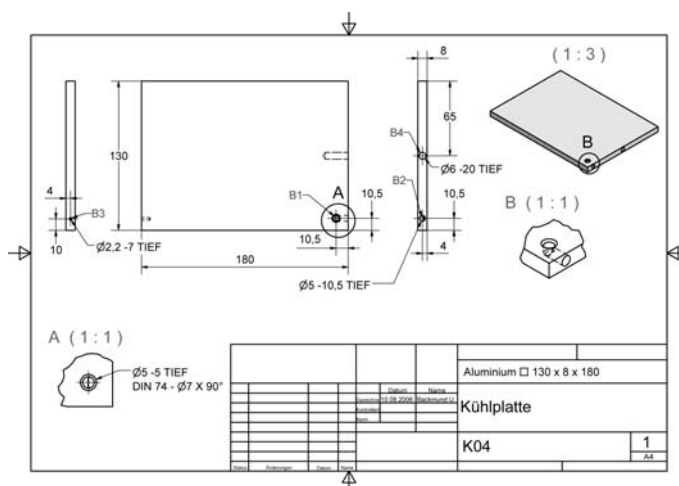


Abb. 4: Beispiel eines Bauplans

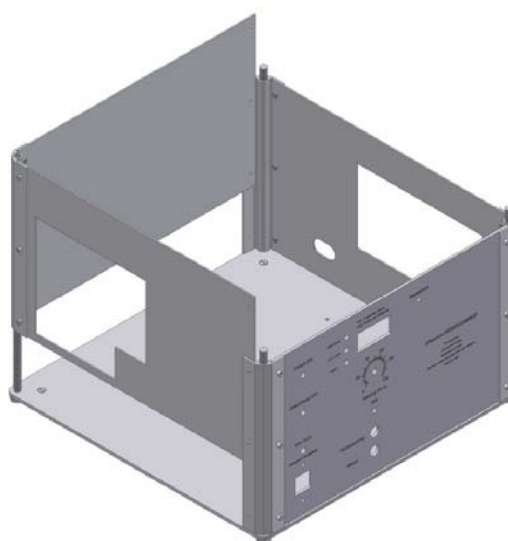


Abb. 5: Beispiel einer dreidimensionalen Abbildung

Bauteile zur eigentlichen Nebelkammer zusammengesetzt. Auch in diesem Fall wird jeder einzelne Arbeitsschritt ausführlich unter Zuhilfenahme von Zeichnungen, dreidimensionalen Abbildungen (siehe Abb. 5) und Detail-Aufnahmen des Prototypen geschildert.

Für die Versorgung der Verdampferquelle, der Pumpe und des Temperaturschaltmoduls mit der korrekten Spannung, werden Schaltungen nach entsprechenden Schaltplänen auf einer Lochrasterplatte aufgebaut. Da sich unter Umständen die elektrischen Verbraucher bezüglich ihrer Anforderungen an die Spannungsversorgung von denen im Prototypen verbauten unterscheiden können, werden in der Bauanleitung unterschiedliche Schaltungen zur Verfügung gestellt, die eine individuelle Anpassung an die eigenen Gegebenheiten erleichtern sollen. Ebenso wird Hilfestellung für die Verwendung verschiedener Computer-Netzteile gegeben.

Zu guter Letzt wird die Fertigung eines Gehäuses beschrieben, welches die Spannungsquelle, die Elektronik, die Pumpe zusammen mit dem Isopropanol-Reservoir und schließlich die Nebelkammer selbst beherbergen wird. Auch in diesem Fall werden zuerst die notwendigen Gehäuse-Einzelteile angefertigt und abschließend zum Gehäuse zusammengebaut.

Nachdem alle Komponenten im Gehäuse angeordnet, verkabelt und korrekt angeschlossen wurden, kann die Diffusionsnebelkammer in Betrieb genommen werden. Sowohl die Inbetriebnahme, als auch die Außerbetriebnahme werden in einem eigenen Abschnitt Schritt für Schritt ausführlich beschrieben. Nach der Inbetriebnahme der Peltierelemente ist die Bodenplatte der Nebelkammer in der Regel nach zehn bis 15 Minuten auf mindestens  $-10^{\circ}\text{C}$  heruntergekühlt. Ist dieser Schwellenwert erreicht bzw. unterschritten, können die ersten Nebelspuren kurze Zeit später beobachtet werden.

## **5. Probleme und Alternativen**

### **5.1 Kammerboden**

Der Kammerboden besteht aus einer 8 mm starken Aluminiumplatte. Um die Kondensationsstreifen gut erkennen zu können, ist die Oberseite der Platte zur Verbesserung des Kontrastes schwarz lackiert. Viele Lacke sind bedauerlicherweise nicht dauerhaft resistent gegenüber der Belastung mit Isopropanol und müssen so immer wieder erneuert werden. Als Lösung bietet sich die Verwendung eines Zwei-Komponenten-Polyurethan-Lacks an (am Besten mit Zwei-Komponenten-Grundierung auf Epoxidharzbasis), wie er im Flugzeugbau Verwendung findet. Im Versuch hielt er das Isopropanol gut aus, aber langfristige Erprobungen stehen noch aus.

Um solchen Problemen aus dem Weg zu gehen, sollte die Aluplatte nicht lackiert, sondern schwarz eloxiert sein. Es ist jedoch schwierig, einen Verkäufer derartiger eloxierter Platten zu finden. Unter [www.electronic-things.de](http://www.electronic-things.de) ist eine kleine Anleitung zum selber Eloxieren zu finden, die Schüler zusammen mit einem Chemielehrer (nicht allein!) durchführen können. Ein eigener Versuch ergab ein schönes Ergebnis, machte aber auch einige Arbeit.

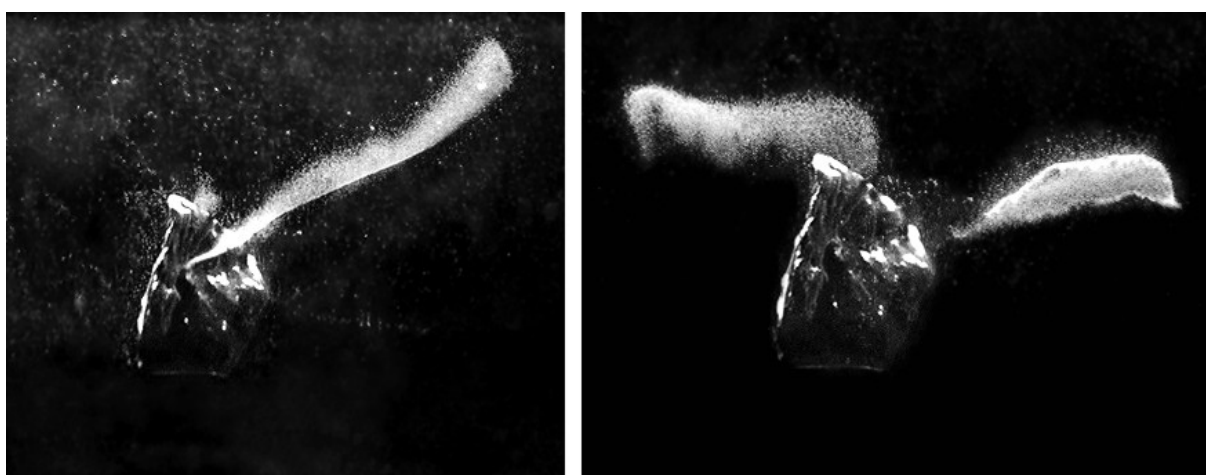
## 5.2 Pumpe

Um die Kosten und den Aufwand zu minimieren, kann prinzipiell auf die Anlage zur Förderung des Isopropanols in die Verdampferquelle verzichtet werden. In diesem Fall würde die Elektronik für die Pumpe, die Pumpe selbst und das komplette Leitungssystem zur Isopropanolförderung entfallen. Jedoch müssten dann die Isopropanol führenden Rinnen der Verdampferquelle mit einer Spritze von Hand befüllt werden. Wer die Kammer für längere Zeit ohne Aufsicht betreiben möchte, müsste eine automatisierte Befüllung der Rinnen einarbeiten.

## 5.3 Präparate und Strahlungsquellen

Grundsätzlich können alle denkbaren radioaktiven Quellen (Gase, Präparate) in die Kammer eingebracht werden, sofern sie nicht erheblich breiter als 25 mm und länger als 150 mm sind. Allerdings ist zu beachten, dass relativ aktive Strahlungsquellen für den Einsatz in Diffusionsnebelkammern eher ungeeignet sind. Durch die hohe Aktivität wäre die empfindliche Schicht der Diffusionsnebelkammer in kürzester Zeit verbraucht. Infolgedessen würden sich die Spuren dann nicht mehr vom allgemeinen Nebeluntergrund abheben und wären deshalb nicht mehr zu erkennen.

Radioaktive Gase können leicht über einen extra für diesen Zweck integrierten Stutzen in das Kammerinnere eingeblasen werden. Feststoffe können mit einer geeigneten Pinzette von oben in die Kammer gelegt werden. Die Abbildung 6 a und b wurden durch das seitliche Beobachtungsfenster der Diffusionsnebelkammer (siehe Abb. 3) aufgenommen. Auf beiden Bildern sind Nebelkammerspuren zu sehen, die von einem in die Kammer eingebrachten radioaktiven Mineral ausgehen. Es ist eine Besonderheit der Beobachtung von der Seite, dass das zu Boden Fallen der Nebeltröpfchen, aus denen die Spuren bestehen, beobachtet werden kann. Dadurch entsteht ein „Schleier“ aus kleinsten Nebeltröpfchen, wie er auf den Bildern schön zu erkennen ist.



**Abb. 6: Nebelspuren von einem radioaktiven Mineral**

Beim Experimentieren mit dem Prototypen sind bei Verwendung des radioaktiven Gases Radon besonders eindrucksvolle Ergebnisse zu Stande gekommen. Zur Gewinnung von radioak-

tivem Radongas kann beispielsweise ein leicht radioaktiver Glühstrumpf, welcher in Campingleuchten verwendet wird, in das Innere einer 50 ml Spritze platziert werden (siehe Abb. 7). Glühstrümpfe enthalten in der Regel das radioaktive Element Thorium. Beim Thoriumzerfall entsteht laufend Radon ( $Rn\ 220$ ), das mit der Spritze über den Stutzen der Gasinjektion in die Nebelkammer eingebracht werden kann.

Abbildung 8 wurde von oben unmittelbar nach der Injektion von Radongas aufgenommen. Es sind „Gabelspuren“ zu erkennen, d.h. zwei Spuren, die von annähernd demselben Raumpunkt auszugehen scheinen. Sie sind für den Zerfall von Radongas charakteristisch [6]. Der Grund für diese Spuren ist in der Zerfallsreihe von Radon zu finden.

Radon zerfällt unter Emission eines  $\alpha$ -Teilchens mit einer Halbwertszeit von 56 s in Polonium ( $Po\ 216$ ), das anschließend mit einer äußerst geringen Halbwertszeit von 0,15 s wiederum unter Emission eines  $\alpha$ -Teilchens in das instabile  $Pb\ 212$  zerfällt, wodurch letztlich „Gabelspuren“ entstehen.

Da bei Glühstrümpfen die Gefahr der Kontamination durch Inkorporation besteht, sollten Schüler nicht in direkten Kontakt mit Glühstrümpfen kommen. Eingeschweißte Glühstrümpfe verhindern zwar eine Inkorporation, sind aber hier leider nicht geeignet.

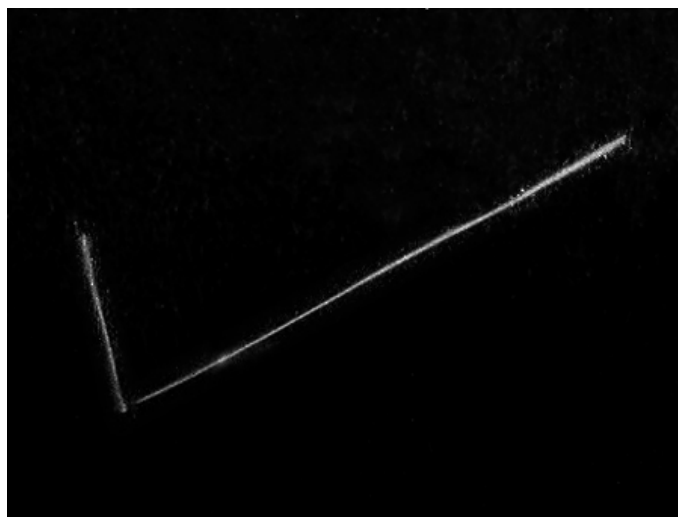
Beim Einkauf der Glühstrümpfe muss beachtet werden, dass mittlerweile auch nicht-radioaktive Glühstrümpfe hergestellt werden. Außerdem ist zu beachten, ob es bundesland-spezifische Bestimmungen im Umgang mit diesen leicht radioaktiven, frei verkäuflichen Glühstrümpfen gibt.

## 6. Einsatzmöglichkeiten

Prinzipiell ist die Diffusionsnebelkammer in unterschiedlichen Unterrichtsphasen einsetzbar. Als „verblüffendes“ Phänomen ist die Nebelkammer hervorragend geeignet, in der Einstiegsphase einer Unterrichtssequenz das Interesse für das Stoffgebiet „Kernphysik“ (Einstiegs-motivation) anzufachen. In der Regel werden einfach die Nebelspuren beobachtet, was sehr fes-



**Abb. 7: Spritze mit radioaktivem Glühstrumpf und radioaktives Mineral**



**Abb. 8: Nebelspur von Radongas (Gabelspur)**



selnd sein kann. Unter Umständen werden schon in dieser Phase durch diese rein qualitative Versuchsdurchführung nachhaltige Eindrücke vermittelt, was die Elaboration begünstigen könnte. Eine Nebelkammer *„ist der eindrucksvollste Teilchendetektor für den Lernenden und zurzeit der einzige Kernstrahlungs-Bahndetektor, der es ermöglicht, auch breiteren Kreisen der Bevölkerung das verblüffende Geschehen des radioaktiven Zerfalls unmittelbar und augenscheinlich zugänglich zu machen.“* [1].

Allerdings ist die Beobachtung der magnetischen Ablenkung von  $\alpha$ -Teilchen und die Bestimmung der Energie von  $\beta$ -Teilchen aus der Bahnkrümmung in einem magnetischen oder elektrischen Feld nicht möglich, da nur schlecht geeignete Felder erzeugt werden können. Weiterhin muss man bedenken, dass bei der hier beschriebenen Nebelkammer der relativ große Strom in den Peltierelementen zu einem nicht vernachlässigbaren Magnetfeld führt, was bereits zu gebogenen Nebelspuren führen kann. Für eine derartige Auswertung ist eine mit einem Kühlaggregat betriebene Diffusions-Nebelkammer besser geeignet.

Bringt man, wie im Abschnitt 5.3 erläutert, Radongas in die Kammer ein, kann zunächst eine hohe Aktivität beobachtet werden, die schnell abnimmt. So ist zunächst die Abnahme der Zerfälle qualitativ zu sehen. Zeichnet man zusätzlich die Nebelspuren des Radonzerfalls mit einer Videokamera auf und stellt z.B. im neuen Videoanalyseprogramm „measure Dynamics“ ein, dass man nur jedes 50-te oder 100-te Bild sehen will, sieht man beim Abspielen des Videos durch den so erzielten Zeitraffer schön die Abnahme der Aktivität. Die „Gesellschaft für Schwerionenforschung“ lässt Schüler im Rahmen eines Schülerlabors Nebelspuren von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen mit einer Webcam in einer sehr teuren Nebelkammer aufzeichnen (nur ein Bild alle fünf Sekunden) und dann die einzelnen Bilder (50 Stück) auswerten [6]. Aus der Anzahl der Radonzerfälle ( $\leq 30$  pro Bild) wird anschließend die Halbwertszeit von Radon experimentell bestimmt. Schaut man in dem obigen Videofilm in „measure Dynamics“ beispielsweise nur jeden 100-ten Frame (= 4 s) an (nach einer Analyse sind die Frames bedienerfreundlich über eine Tabelle direkt anwählbar), können die Spuren ebenfalls per Hand gezählt werden und man erhält ein ähnliches Ergebnis (Die Zählfunktion der Software geht nur für einzelne Bilder, nicht für Videos [7]). Nachteilig ist, dass die Beobachtungsfläche der hier vorgestellten Nebelkammer kleiner ist, so dass die Anzahl der Spuren pro Bild geringer ausfällt ( $< 20$  pro Bild). In Anbetracht der großen Arbeit und der starken statistischen Streuungen ist eine derartige Auswertung für den normalen Unterricht nicht zu empfehlen.

Mit dem Videoanalyseprogramm „measure Dynamics“ ist auch das Ausmessen der Länge der Spuren einfach möglich [7]. Aus der gemessenen Spurlänge kann dann die Geschwindigkeit und die kinetische Energie von  $\alpha$ -Teilchen bestimmt werden [6]. Die Reichweitenmessung von  $\alpha$ -Teilchen sollte man *„...grundsätzlich mit Nebelkammern vornehmen, weil sie gegenüber anderen Detektoren (Zählrohre) am unmittelbarsten und offensichtlichsten die Messergebnisse liefern“* [1].

## 7. Vergleich mit der Wilsonkammer

Vergleicht man die Eigenschaften einer Expansionsnebelkammer mit denen einer Diffusionsnebelkammer, fällt wohl am meisten die beachtliche Abweichung im Bereich der Sensitivität der Kammern auf. Die relativ kurze Beobachtungsdauer bei Expansionsnebelkammer ist offenkundig der größte Nachteil dieses Kammertyps. Folglich ist dieser Kammertyp für den Nachweis seltener Ereignisse, wie zum Beispiel dem Nulleffekt, gänzlich ungeeignet. Aus diesem Grund liegt dann auch in der dauerhaften Sensitivität der große Vorteil einer Diffusionsnebelkammer. Seltene Ereignisse, wie zum Beispiel die natürliche Radioaktivität der Luft und die Höhenstrahlung, können nur mit einer kontinuierlich arbeitenden Nebelkammer beobachtet werden.

Für die Verwendung im Unterricht ergibt sich in diesem Zusammenhang ein weiterer Vorzug dieses Kammertyps. Im Gegensatz zur Expansionsnebelkammer lässt sich eine Diffusionsnebelkammer mit dauerhafter Kühlung längere Zeit vor einer Unterrichtseinheit, in der die Kammer eingesetzt werden soll, in Betrieb nehmen. In dieser vorbereitenden Phase kann die Kammer optimal eingerichtet werden. Beim späteren Einsatz im Unterricht ist dann im Normalfall keine nennenswerte Neu- bzw. Nachjustierung nötig. Dadurch wird die Erfolgswahrscheinlichkeit des Versuchs im Vergleich zum Einsatz einer Expansionsnebelkammer beachtlich erhöht. Für die Arbeit mit relativ aktiven Strahlungsquellen ist dieser Kammertyp jedoch, wie bereits erwähnt, gänzlich ungeeignet.

## 8. Erfahrungen mit der Selbstbaukammer

Überall, wo die Nebelkammer bisher im Einsatz war, fand sie sehr großes Interesse – bei Schülern, Studenten und Lehrern. Es verblüffte z.B., dass schon der Nulleffekt genügt, um Bahnsuren zu beobachten. Besonders schön sind Nebelkammeraufnahmen [8] von radioaktivem Gas, das von Glühstrümpfen freigesetzt wird (siehe Abb. 8) und von schwach radioaktiven Mineralien (siehe Abb. 6). Die Nebelkammer wurde bereits von einem Schüler der Jahrgangsstufe 13 im Rahmen einer Seminararbeit nachgebaut. Besonders erfreulich war, dass bereits der erste Versuch der Inbetriebnahme der fertig gestellten Kammer erfolgreich gewesen ist. Dadurch wurde gezeigt, dass ein Nachbau möglich ist. Seine Kammer hat sehr gut funktioniert. Weitere Nachbauten durch Schüler laufen gerade und bereichern hoffentlich bald den Physikunterricht.

### Literatur

- [1] GLÄSER, MANFRED (1976): Die Nebelkammer im experimentellen Unterricht, Praxis Schriftenreihe Physik, Band 33, Köln, Aulis Verlag Deubner
- [2] RAPP, THOMAS (Hrsg.): Rapp-Instruments: Nebelkammern. <http://www.rapp-instruments.de/index5.htm>
- [3] HÖFLING, OSKAR; MIROW, BERND; BECKER, GERHARD (1981): Physik: Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium. 13., neubearbeitete und erw. Auflage. Bonn: Dümmler Verlag, 1981, S. 856-861
- [4] PAUS, HANS J. (2002): Physik: in Experimenten und Beispielen. 2., aktualisierte und überarb. Auflage. München: Carl Hanser Verlag, S. 941-942
- [5] BACKMUND, UDO (2007): Anleitung zum Selbstbau einer kontinuierlichen Diffusions-Nebelkammer, Staatsexamensarbeit, [www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/arbeiten/Nebelkammer.htm](http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/arbeiten/Nebelkammer.htm)

[6] GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONENFORSCHUNG MBH (Hrsg.): SchülerLabor: Station 8, Auswertung von Nebelkammerbildern. Darmstadt: Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, [www.gsi.de/documents/DOC-2005-Nov-177-1.pdf](http://www.gsi.de/documents/DOC-2005-Nov-177-1.pdf)

[7] WILHELM, T. (2009): Videoanalyse mit unterschiedlichen Darstellungsformen - In: Höttecke, D. (Hrsg.): Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung, Jahrestagung der GDGP in Schwäbisch Gmünd 2008, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 28, Lit-Verlag, Münster

[8] anschaulich unter [www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/arbeiten/Nebelkammer.htm](http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/arbeiten/Nebelkammer.htm)

**Anschrift der Verfasser:**

StRef *Udo Backmund*, AR Dr. *Thomas Wilhelm*, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Physikalisches Institut, Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, [ub79@gmx.de](mailto:ub79@gmx.de), [wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de](mailto:wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de), [www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm](http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm)