

Konstruktion und Bau einer kontinuierlich arbeitenden Nebelkammer

von

Claus Behn

und

Tobias Lange

eingereicht für

Jugend forscht 1992
Landeswettbewerb Clausthal

Arbeitsgemeinschaft Jugend forscht
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg
Leitung: StD Thomas Biedermann

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabe und prinzipielle Funktionsweise der Nebelkammer	3
2	Grundlagen	3
2.1	Der übersättigte Dampf	3
2.2	Entstehung der Nebelspuren durch Ionisation und Kondensation	4
2.3	Unterschiedliche Erzeugung des übersättigten Dampfes	4
2.3.1	Die Expansionskammer	4
2.3.2	Die Diffusionskammer	4
3	Überlegungen zur Konstruktion der Nebelkammer	5
3.1	Beschreibung des Aufbaus unserer Nebelkammer	5
3.2	Konstruktion wichtiger Teile der Kammer	6
3.2.1	Die Peltierelemente	6
3.2.2	Die Kühlung	7
3.2.3	Die Heizung	7
3.2.4	Die Filzeinlage	7
3.2.5	Beleuchtung und Abbildung des Kammergeschehens	7
4	Die elektronische Regelung	8
4.1	Die Baugruppen	8
4.2	Funktionsbeschreibung der elektrischen Komponenten	9
4.2.1	Sollwertgewinnung	9
4.2.2	Konstantstromquellen	9
4.2.3	Spannungs - Strom - Wandler (Kühlung)	9
4.2.4	Temperatursensoren	10
4.2.5	Treiber (Heizung)	10
4.2.6	Sicherungsmaßnahmen	10
4.2.7	Anzeigeeinheit	10
5	Erfahrungen mit dem Betrieb der Kammer	10
5.1	Versuche mit ionisierender Strahlung	11
5.2	Auswertung der Bahnkrümmung	11
6	Ausblick auf zukünftige Aufgaben	12
7	Literaturverzeichnis	12
8	Schaltpläne	13
9	Unterlagen zu den verwendeten Peltier-Elementen	16

1 Aufgabe und prinzipielle Funktionsweise der Nebelkammer

Die Nebelkammer stellt einen Detektor für ionisierende Strahlung dar, bei dem im Gegensatz zu anderen Detektoren z.B. Geiger-Müller-Zählrohr, nicht nur das Vorhandensein solcher Strahlung nachgewiesen werden kann, sondern der auch noch die Möglichkeit der Beobachtung und Auswertung der „Flugbahnen“ der die Strahlung ausmachenden bzw. durch sie erzeugten Teilchen eröffnet. Ihr Funktionsprinzip beruht auf zwei physikalischen Gegebenheiten. Zum einen auf der Fähigkeit von Ionen, als Kondensationskeime zu wirken und zum anderen auf der Möglichkeit der Erzeugung eines übersättigten Dampfvolmens. Die Nebelkammer stellt nun ein Gerät dar, mit dem es möglich ist, einen solchen übersättigten Dampf zu erzeugen und ionisierende Strahlung in diesen einzubringen, so dass die Bedingungen für die Sichtbarmachung ionisierender Strahlung in ihr geschaffen werden [1].

2 Grundlagen

2.1 Der übersättigte Dampf

Das Vorhandensein eines übersättigten Dampfvolmens hängt maßgeblich vom Dampfdruck des das Volumen bildenden Stoffes und der Temperatur ab. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen beispielhaft den Verlauf des Druckes abhängig vom Volumen im Bereich des Übergangs von flüssiger und gasförmiger Phase bei verschiedenen Temperaturen [2]. Diese Darstellung lässt erkennen, dass unterhalb einer stoffspezifischen Temperatur T_1 über einem mit abnehmender Temperatur immer größer werdenden Volumenbereich der Druck konstant bleibt. Dieser Druck, der Dampfdruck, ist so zu verstehen, dass in diesem Bereich die flüssige und die dampfförmige Phase des Stoffes koexistieren und Volumenveränderungen hier durch mehr oder weniger starke Verdampfung bzw. Kondensation bezüglich des Druckes ausgeglichen werden. In diesem Bereich liegt also ein gesättigter Dampf vor. Gelingt es nun die Kondensation zu verhindern, erreicht man eine Übersättigung des Dampfes. Die Verhinderung der Kondensation wird dadurch erreicht, dass der Dampf nicht mit der flüssigen Phase in Berührung kommt und alle Kondensationskeime wie Staubpartikel, größere Moleküle und Ionen entfernt werden.

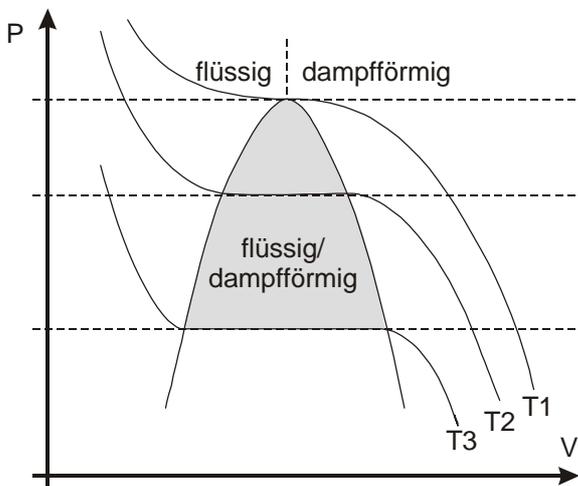


Abb. 1: Aggregatzustände in Abhängigkeit von Druck und Volumen

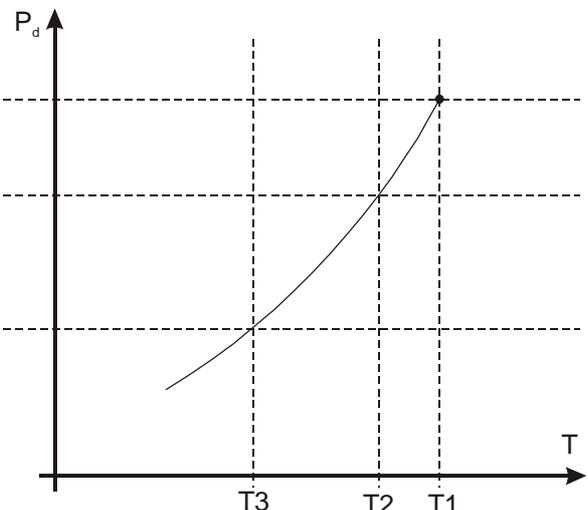


Abb. 2: Dampfdruck in Abhängigkeit von der Temperatur

2.2 Entstehung der Nebelspuren durch Ionisation und Kondensation

Bei der Nebelkammer wird die kondensationsauslösende Eigenschaft von Ionen zur Bildung der Nebelspuren, die die Bahnen von ionisierender Strahlung markieren, ausgenutzt. Dies läuft folgendermaßen ab: Trifft ein Alpha- oder Betaeilchen auf ein Dampfmolekül, so schlägt es ein Elektron aus dem Molekül, so dass ein positiv geladenes Ion des Dampfes und ein freies Elektron entsteht. Diese Elektron lagert sich an ein anderes Molekül an und man erhält zwei Ionen, welche nun als Kondensationskeime wirken und nach Anlagerung weiterer Moleküle ein Tröpfchen bilden [3]. Sind diese Tröpfchen groß genug, so kann man sie mit dem bloßen Auge erkennen. Dieser Prozess wiederholt sich entlang der Flugbahn der Alpha- und Betaeilchen, so dass man dort eine Tröpfchenspur erhält, die bei geeigneter Beleuchtung als deutliche Spur zu sehen ist. Man sieht also nicht die Strahlungsteilchen selbst, sondern eine durch Ionisation und Kondensation entlang ihres Weges durch die Kammer entstehende Nebelspur.

2.3 Unterschiedliche Erzeugung des übersättigten Dampfes

Die erforderliche Alpha- oder Betastrahlung kann leicht durch Einbringen eines geeigneten Präparates in die Kammer oder besser noch in eine Bohrung in ihrer Wandung der Kammer zugeführt werden, jedoch muss für die Erzeugung des übersättigten Dampfes schon mehr Aufwand betrieben werden. Vorzugsweise verwendet man zur Erzeugung des Dampfes organische Substanzen, wie in unserem Fall Propanol-2, da diese sich bei erreichbaren Temperaturen für den Einsatz in der Nebelkammer aufgrund ihrer, im Gegensatz zu z.B. Wasser, niedrigen Gefrier- und Siedetemperatur besser eignen. Um nun einen übersättigten Dampf zu erzeugen, gibt es zwei Möglichkeiten, die sich in zwei Bauformen der Nebelkammer niederschlagen.

2.3.1 Die Expansionskammer

Die eine, ältere Bauform der Nebelkammer, die Expansions- oder auch nach ihrem Erfinder benannte Wilsonkammer, erzeugt den übersättigten Zustand durch eine plötzliche Expansion des Kammervolumens mittels eines Kolbens oder ähnlichem. Bei einer solchen adiabatischen Ausdehnung [4] kommt es zu einer Temperaturerniedrigung des Dampfes, wodurch dieser in den übersättigten Zustand überführt wird und bei vorhandener Strahlung die Bildung von Nebelspuren einsetzt. Nachteil hierbei ist die kurze Dauer der Empfindlichkeit, denn die Kammer ist nur kurze Zeit nach der Expansion fähig, Nebelspuren hervor zu bringen, wodurch Langzeitbeobachtungen oder Beobachtungen seltener Ereignisse, wie z.B. kosmischer Strahlung, nicht möglich sind. Vorteilhaft jedoch ist der recht einfache mechanische Aufbau.

2.3.2 Die Diffusionskammer

Die andere Möglichkeit, die Übersättigung des Dampfes zu erzielen, wird in der Diffusions- oder kontinuierlich arbeitenden Nebelkammer verwirklicht. Hierbei wird durch die Diffusion des Dampfes innerhalb eines in der Kammer herrschenden Temperaturgefälles der Dampf übersättigt. Das Temperaturgefälle in der Kammer wird dadurch erreicht, dass der obere Teil der Kammer beheizt wird, während der Boden der Kammer gekühlt wird. Diese Übersättigung durch die Diffusion eines Dampfes in einem Temperaturgefälle von „warm“ nach „kalt“ lässt sich auch anhand Abb. 1 verdeutlichen. Dieser Vorgang entspricht einer Abwärtsbewegung auf einer Parallelen zur P-

Achse. Hierbei kommt man, im dampfförmigen Zustand beginnend, immer weiter in die Zone der Koexistenz von Flüssigkeit und Dampf und somit in den Bereich der Sättigung des Dampfes, der durch Verhinderung der Kondensation nun übersättigt. Auch Abb. 2 verdeutlicht das. Dieses Diagramm stellt die Dampfbrücke P_D eines Stoffes in Abhängigkeit von der Temperatur T dar. Hier entspricht dieses einer Erniedrigung der Temperatur bei konstantem Druck, wobei die Anfangstemperatur, also die Temperatur an der Oberseite der Kammer, bei dem gegebenen Druck einen Startpunkt in der Dampfzone der Darstellung markieren muss. Erniedrigt man nun die Temperatur, bewegt man sich auf einer Parallelen zur T -Achse auf die Dampfdruckkurve zu und überschreitet sie bei weiterer Temperaturenniedrigung, womit man sich in der flüssigen Phase des Stoffes befindet. Die Kondensation, also der Übergang von der dampfförmigen in die flüssige Phase, wird jedoch, wie oben beschrieben, verhindert, was zu einer Übersättigung des Dampfes führt.

3 Überlegungen zur Konstruktion der Nebelkammer

Die Idee zum Bau dieser Nebelkammer entsprang der Überlegung, dass die Temperaturen der Bodenplatte und des Deckels einen maßgeblichen Einfluss auf die Funktion der Kammer haben. Mit ihnen lässt sich nach unserer Überlegung nämlich die Höhe der empfindlichen Schicht, also des Bereiches, in dem Nebelspuren entstehen können, bestimmen. Fällt die Temperatur am Boden der Kammer, so erreicht der Dampf früher die Übersättigung und die empfindliche Schicht dehnt sich nach oben hin aus. Umgekehrtes gilt für eine Erwärmung der Bodenplatte. Es müsste also möglich sein, mit Hilfe einer von der Bodentemperatur abhängigen Regelung der Kühlung und einer ebenfalls temperaturabhängigen Regelung der Heizung die empfindliche Schicht unabhängig von äußeren Einflüssen, wie z.B. der Änderung der Temperatur von Umgebungsluft oder Kühlwasser, immer auf gleicher Höhe über dem Kammerboden zu halten und so ein Funktionieren der Kammer über einen unbegrenzten Zeitraum hinweg zu gewährleisten. Um diese Idee einer regelbaren Kühlung zu verwirklichen, bietet sich eine Peltierkühlung an, da bei diesen Bauteilen die Kühlung mit Hilfe des elektrischen Stromes vorgenommen wird. Die temperaturabhängige Regelung kann daher mit Hilfe einer elektronischen Schaltung erfolgen. Die Entwicklung einer solchen Schaltung stellt daher auch einen wichtigen Teil dieses Projektes dar. Die Heizung erfolgt mit Konstantendraht, der sich bei einem Stromdurchfluss erwärmt. Die Regelung der Heizung erfolgt mit einer ähnlichen Schaltung wie die der Peltierregelung.

3.1 Beschreibung des Aufbaus unserer Nebelkammer

Abb. 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau unserer Nebelkammer in Seitenansicht. Sie besteht im Wesentlichen aus einem oben und unten offenen, mit Filz ausgekleideten Glasquader der Kantenlänge 10 cm mit einer Wandstärke von 5 mm. Die offenen Seiten werden durch zwei 6 mm starke Aluminiumplatten abgeschlossen: es sind die schwarz lackierte Bodenplatte und die Deckplatte. Sie werden mit vier Plastikstäben (nicht mit eingezeichnet) miteinander verschraubt und abdichtend an das Glas gepresst. An den Stäben ist im oberen Teil der Kammer ein Drahring gespannt, der für den Anschluss einer Hochspannung gedacht ist. Die Bodenplatte ist mit dem darunter liegenden Wasserkühler verschraubt. Dazwischen befinden sich zwei Peltierelemente. Der Dek-

kel hat eine quadratische Öffnung, auf der das 70x70 mm messende Sichtfenster befestigt ist. Auf der Unterseite des Deckels sind mehrere Konstantdrahtbahnen als Heizung gespannt. Zwischen Glas und Filz der Oberseite der Kammer ist eine weitere Konstantdrahtheizung eingeklebt. An der Unterseite der Kammer ist 3 mm über dem Kammerboden eine Bohrung zur Aufnahme des Präparatehalters angebracht. Zusätzlich kann eine Magnetplatte mit Magnet auf der Bodenplatte gelegt werden. Wir haben uns, was den Aufbau und die Abmessungen angeht, an der Phywe-Nebelkammer, die an unserer Schule vorhanden ist, orientiert. Die zylindrische Form der Phywe-Kammer allerdings wurde nicht übernommen, da eine eckige Kammer leichter herzustellen ist. Der von uns verwendete Magnet zur Ablenkung der Strahlenteilchen entstammt sogar der Phywe-Kammer, da ein Magnet solcher Stärke schwer zu beschaffen und außerdem sehr teuer ist.

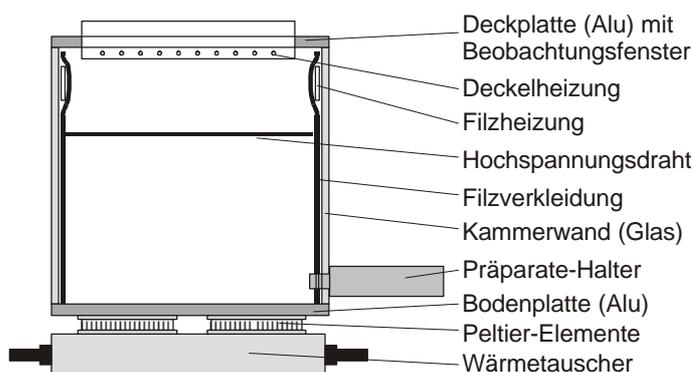


Abb. 3: Prinzipieller Aufbau der Nebelkammer

Zusätzlich kann eine Magnetplatte mit Magnet auf der Bodenplatte gelegt werden. Wir haben uns, was den Aufbau und die Abmessungen angeht, an der Phywe-Nebelkammer, die an unserer Schule vorhanden ist, orientiert. Die zylindrische Form der

Phywe-Kammer allerdings wurde nicht übernommen, da eine eckige Kammer leichter herzustellen ist. Der von uns verwendete Magnet zur Ablenkung der Strahlenteilchen entstammt sogar der Phywe-Kammer, da ein Magnet solcher Stärke schwer zu beschaffen und außerdem sehr teuer ist.

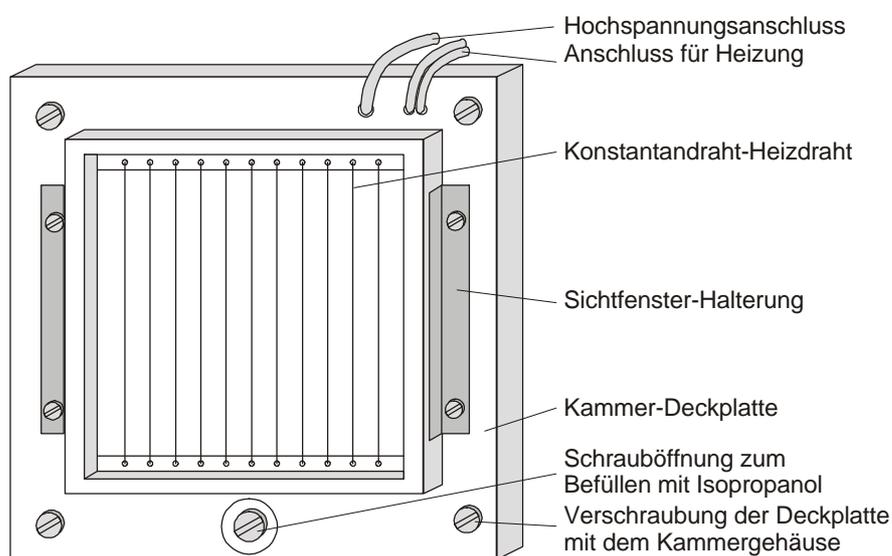


Abb. 4: Detaillansicht des Kammerdeckels mit Beobachtungsfenster

3.2 Konstruktion wichtiger Teile der Kammer

Im Laufe des Baues der Kammer und während der ersten vergeblichen Versuche, sie zum Funktionieren zu bringen, stellten wir fest, dass einigen Elementen der Kammer eine besondere Bedeutung zukommt. Diese sollen hier in ihrer Konstruktion näher erläutert werden.

3.2.1 Die Peltierelemente

Wir verwenden für unsere Kühlung zwei Peltierelemente mit einer Betriebsspannung von 12 V bei einem Strom von 3 A, die wir in Reihe geschaltet haben. Daraus ergibt sich eine Kühlleistung von ca. 72 W. Die Elemente bestehen aus zwei Keramikplatten, zwischen denen sich ein Halbleitermaterial befindet. Lässt man einen Strom durch den Halbleiter fließen, so entsteht eine Temperaturdifferenz von maximal 60 °C zwischen den Platten. Hält man nun Temperatur der einen Platte konstant, so kühlt sich die andere bei richtiger Polung ab. Dies ist das Prinzip unserer Kammerkühlung. Wir erreichen bei ca. 9 °C Kühlwassertemperatur eine Bodenplattentemperatur von maximal -17 °C. Eine genauere Beschreibung der Elemente und ihrer Funktionsweise lieferte das Datenblatt der Peltierelemente.

3.2.2 Die Kühlung

Wie aus Abb. 3 ersichtlich ist, besteht die Kühlung aus der Bodenplatte, die zur Vermeidung von Lichtreflexen durch die Beleuchtung schwarz lackiert ist, dem Wasserkühler und den dazwischen befindlichen Peltierelementen. Bodenplatte und Wasserkühler sind durch eine Verschraubung miteinander verbunden und spannen so gleichzeitig die zur besseren Wärmeleitung mit Wärmeleitpaste bestrichenen Peltierelemente zwischen sich ein. Die Schrauben sind mit Plastikmanschetten versehen, um eine Wärmeleitung zwischen Bodenplatte und Wasserkühler zu verhindern. Die Bodenplatte besitzt eine Bohrung zur Aufnahme eines Temperaturfühlers zur Messung der Bodentemperatur der Kammer. Zur besseren Wärmeisolierung der Bodenplatte ist diese mit einer Styroporverkleidung versehen.

3.2.3 Die Heizung

Zu Anfang hatten wir nur eine Konstantandrahtheizung, die am Deckel befestigt war und die Sichtfensteröffnung umschloss. Da wir damit aber nicht genug Dampf erzeugen konnten, bauten wir die Heizung der Phywe-Kammer nach, die neben den Heizdrähten im Deckel noch eine direkte Filzheizung hat. In unserer Kammer besteht diese aus vier auf die Seitenflächen geklebte mit Konstantandraht umwickelte Pappstreifen, die sicherheitshalber noch mit einer Wärmeleitfolie gegen den Filz abgedeckt sind. Abb. 4 und 5 zeigen Details dieser Heizung. Diese Maßnahme wurde nötig, nachdem die Heizung - noch ohne die Folie - heiß gelaufen war und den Filz entzündete. Ein Epoxy-Platinen-Streifen verhindert, daß das Glas durch die Heizdrähte nicht verspannt wird und springt. Nach dem Einbau dieser Filzheizung funktionierte die Kammer gut. Die Heizdrähte im Deckel dienen vor allem dazu, das Sichtfenster von eventuellem Beschlag zu befreien. Auch für die Heizung konstruierten wir eine temperaturabhängige Regelung, ähnlich der der Kühlung. Der Messfühler für die Heizung befindet sich im Filz des oberen Teils der Kammer, so dass wir die Temperatur am Boden und am Deckel der Kammer messen und regeln können.

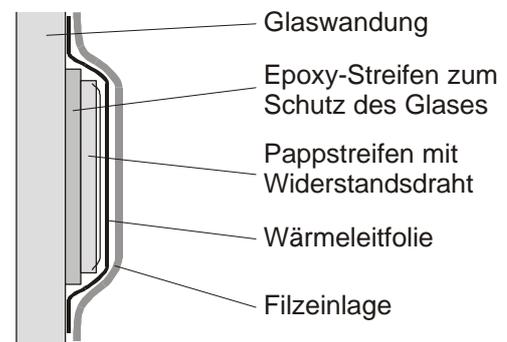


Abb. 4: Detaillansicht der Filzheizung

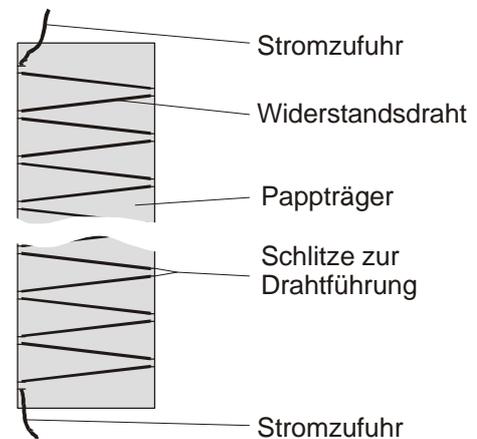


Abb. 5: Pappstreifen mit Widerstandsdraht

3.2.4 Die Filzeinlage

Die Filzeinlage gewährleistet den Kreislauf des am Boden kondensierenden und am Deckel verdampfenden Propanols. Sie besteht bei unserer Kammer aus drei aufeinandergeäuhten Lagen schwarzen Filzes, da eine einzelne Lage zu wenig Saugfähigkeit zeigte.

3.2.5 Beleuchtung und Abbildung des Kammergeschehens

Für die Beleuchtung der Nebelkammer haben wir die Kammer, die Lichtquelle, eine Zylinderlinse und einen verstellbaren Spalt auf einer optischen Bank montiert. Als Lichtquelle hat sich eine

Quecksilberdampf Lampe bewährt, aber auch eine Niedervolt-Halogenlampe (12V/50W) reicht völlig aus. Wir haben den Spalt direkt vor den Kondensator der Lampe gesetzt und mit der Zylinderlinse den Spalt auf die Beobachtungsebene der Kammer abgebildet. Über dem Sichtfenster kann man noch einen Spiegel

anbringen, der die Betrachtung der Nebelspuren nicht so ermüdend macht. Bringt man eine Lupe zwischen Sichtfenster und Spiegel an, so erreicht man eine Vergrößerung des Kammergeschehens. Der Aufbau ist in Abb. 6 skizziert.

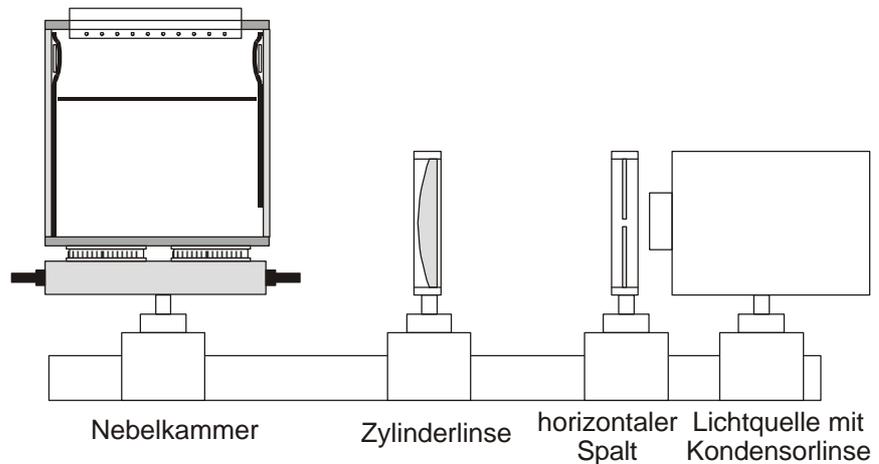


Abb. 6: Anordnung zur Beleuchtung der Nebelkammer

4 Die elektronische Regelung

Um den Einfluss der Heizungs- bzw. Kühlungstemperatur auf das Verhalten der Kammer untersuchen zu können, wurde es nötig, Regelungen zu entwickeln, die es ermöglichen eine vorgegebene Heizungs- bzw. Kühlungstemperatur konstant zu halten. Die Prinzipschaltung der Regelung der Kühlung zeigt Abb. 7. Die Regelung der Heizung erfolgt nach dem gleichen Prinzip. Die Regelungen enthalten folgende Baugruppen:

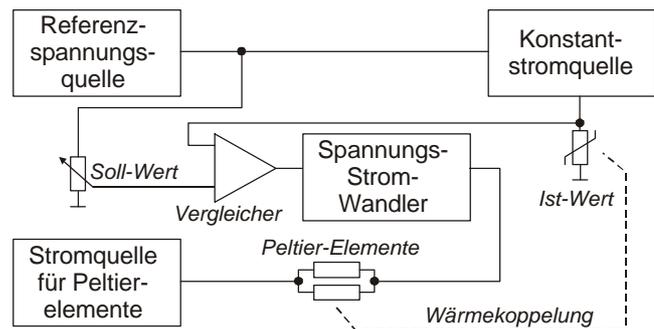


Abb. 7: Blockschaltbild der Temperaturregelung

4.1 Die Baugruppen

- Referenzquelle:** Erzeugt eine konstante Spannung für verschiedene Abgleichelemente.
- Konstantstromquelle:** Erzeugt einen konstanten Messstrom für die Temperaturfühler.
- Vergleicher:** Vergleicht Soll- und Istwerte und regelt die Temperaturen entsprechend nach.
- Treiber:** (Heizung) Verstärkt die Ausgangsspannung.
- U-I-Wandler :** (Kühlung) Steuert den Strom durch die Peltierelemente entsprechend der Ausgangsspannung des Vergleichers.
- Stromquelle:** Stellt entsprechend belastbare Versorgungsspannungen zur Verfügung.

4.2 Funktionsbeschreibung der elektrischen Komponenten

Temperaturerfassung

Um temperaturabhängige Regelungen betreiben zu können, sind Absoluttemperaturmessungen nötig. Dafür verwenden wir Halbleiter- Temperatur- Sensoren (KTY 10-6), deren Widerstandswerte sich annähernd proportional zur Temperatur verhalten.

Da somit R proportional zu T ist, folgt

$$R = k \cdot T$$

nach dem Ohmschen Gesetz gilt

$$U = R \cdot I$$

somit ergibt sich für die am Sensor abfallende Spannung

$$U = k \cdot I \cdot T$$

wobei k eine Konstante darstellt, die für die Temperatursensoren spezifisch ist. Daraus folgt, dass unter Verwendung eines konstanten Stromes I am Sensor R eine Spannung abfällt, die proportional zur Temperatur T ist.

4.2.1 Sollwertgewinnung

Operationsverstärker als Komparatoren vergleichen die aus den Temperaturfühlern gewonnenen Ist-Spannungen mit den eingestellten Soll-Spannungen und erzeugen daraus Regelspannungen, mit denen die spannungsgesteuerte Stromquelle bzw. der Treiber für die Heizung gesteuert werden können.

4.2.2 Konstantstromquellen

Die Konstantstromquellen erzeugen Messströme von $400 \mu\text{A}$. Parallel zu den Temperatursensoren gemessen, erhalten wir jetzt Spannungen für die Kühlung von $0,5$ bis $0,8$ V und für die Heizung von $0,8$ bis $1,1$ V, die annähernd linear zu T verlaufen. Jeder Messfühler benötigt eine eigene Konstantstromquelle. Da wir die Boden- und die Deckeltemperatur regeln sowie die Wärmetauschertemperatur messen, benötigen wir drei Konstantstromquellen (siehe S. 13).

4.2.3 Spannungs - Strom - Wandler (Kühlung)

Weil die Peltierelemente, die wir zur Kühlung verwenden, ihren Widerstand mit der Temperatur ändern und von einem zu großen Strom zerstört werden, kann keine Spannungsregelung verwendet werden. Der Spannungs-Strom-Wandler (siehe S. 14) erhält eine Regelspannung vom Komparator ($0 - 1,5\text{V}$) und ist so abgeglichen, dass bei 0V gerade kein Strom fließt. Er besteht aus einem Operationsverstärker und einem Emitterfolger in Darlingtonschaltung. Der OP hat die Aufgabe, die am Eingang anliegende Spannung mit der Spannung am Messwiderstand R_{47} zu vergleichen und den Strom durch einen Darlingtontransistor entsprechend nachzuregeln. Das Verhältnis zwischen U_{in} und Laststrom I_{out} kann mit einem Trimpotentiometer auf die erforderlichen Werte abgeglichen werden. Um sicherzustellen, dass bei der Eingangsspannung $U_{\text{in}} = 0\text{V}$ gerade noch kein Strom fließt, wird der Eingangs- (Offset-) strom des Operationsverstärkers ebenfalls abgeglichen.

4.2.4 Temperatursensoren

Die Halbleiter- Temperatursensoren vom Typ KTY 10-6 haben einen nahezu linearen T-R-Verlauf. Ihre Widerstände liegen für die Kühlung zwischen 1,3 und 2 kOhm und für die Heizung zwischen 1,8 bis 3 kOhm. Andere Messfühler, wie z.B. Heiß- oder Kaltleiter können wegen ihrer nicht linearen Kennlinien nicht so gut verwendet werden.

4.2.5 Treiber (Heizung)

Die Spannung des Vergleichers wird durch eine einfache Transistorstufe verstärkt (siehe S. 13).

4.2.6 Sicherungsmaßnahmen

Ein Widerstand und eine LED begrenzen die Eingangsspannung des Spannungs-Strom-Wandlers, um bei Übersteuerung des Komperators eine Zerstörung der Peltierelemente auszuschließen.

Eine zweite Sicherungseinrichtung schützt die Peltierelemente vor einem zu hohen Strom. Ein OP vergleicht die Spannung des Messwiderstandes mit der Referenzspannung. Wenn diese Messspannung die einstellbare Referenzspannung überschreitet, wird ein Thyristor gezündet. Dieser lässt einen hohen Strom fließen und löst dadurch eine Magnetsicherung schlagartig aus. Dadurch werden die Peltierelemente stromlos und der Thyristor wieder ausgeschaltet. Wenn die Magnetsicherung wieder eingeschaltet wird, ist damit diese Sicherung sofort wieder betriebsbereit. Ein Auslösen der Magnetsicherung wird optisch und akkustisch angezeigt.

Die Heizung ist mit einer Schmelzsicherung abgesichert.

4.2.7 Anzeigeeinheit

Das Gerät verfügt über eine Anzeige der Soll- und Isttemperaturen von Kühlung und Heizung, sowie der Temperatur des Wärmetauschers und über eine Anzeige des durch die Peltierelemente fließenden Stromes. Zur Anzeige verwenden wir ein modulares Digitalvoltmeter, das wir über einen OP in Elektrometerschaltung [6] ansteuern, wodurch wir einen sehr hohen Eingangswiderstand (ca. 100 MOhm) der Messstelle bekommen, was ein rückwirkungsfreies Messen ermöglicht (siehe S. 14).

(Die vollständigen Schaltpläne sind auf den Seiten 13 - 15 wiedergegeben.)

5 Erfahrungen mit dem Betrieb der Kammer

Die Bedingungen für das Funktionieren unserer Kammer knüpfen sich besonders an die Heizung, die Kühlung und die Füllmenge. Was die Füllmenge betrifft, so ist zu beobachten, dass eine niedrigere Füllmenge, etwa 5 ml (Phywe gibt für seine Kammer 10 bis 30 ml an) bessere Spuren hervorbringt als höhere Füllmengen. Jedoch funktioniert die Kammer bei geringen Füllmengen nur eine begrenzte Zeit, da die Füllmenge nicht ausreicht, einen Kreislauf des Isopropanols zu bewirken. Eine Füllmenge von ca. 20 ml hat sich für einen kontinuierlichen Betrieb als günstig erwiesen. Für die Heizung hat sich eine Heiztemperatur von 25- 35°C als günstig erwiesen. Interessant ist, dass bei einer Zunahme der Deckeltemperatur die Spuren verschwinden. Umgekehrtes geschieht bei einem Abfall der Temperatur des Kammerdeckels, die Spuren werden häufiger. Erklären können wir dies nur so, dass die Temperaturänderung an der Heizung einen geringfügigen Druckunterschied in der nahezu druckdichten Kammer bewirkt, was die Spurbildung

stark zu beeinflussen scheint. Es handelt sich dabei also um einen Effekt, der dem der Expansionskammer gleicht.

Ein Problem stellt die Kühlung dar. Im Betrieb der Kammer hat sich eine Temperatur von -15°C als Leistungsgrenze der Peltierelemente abgezeichnet. Die Kammer läuft aber mit sinkender Temperatur zusehens besser, so dass wir die Peltierelemente durchgehend mit voller Leistung laufen lassen, was aber bedeutet, dass die elektronische Regelung nicht mehr arbeiten kann. Eine unerwartete Beobachtung machten wir im Zusammenhang mit der Hochspannung. Das elektrische Feld zwischen Kammerboden und Drahring wirkt nicht nur als Reinigungsfeld [5], indem es Ionen, die nicht durch die Präparatsstrahlung entstanden sind, aus der empfindlichen Schicht herauszieht, sondern auch empfindlichkeitssteigernd auf die Kammer.

5.1 Versuche mit ionisierender Strahlung

Uns stehen Präparate folgender Strahlungsarten zur Verfügung:

α (zweifach geladene Heliumkerne), β^- (Elektronen), β^+ (Positronen), γ (Elektromagnetische Strahlung).

Am besten in der Nebelkammer nachzuweisen sind α und β Strahlung. Eine photographische und skizzenhafte Darstellung der von ihnen gebildeten Nebelspuren zeigt Abb. 8, sie zeigt die Spuren beim Betrieb der Kammer mit Magneten. Das magnetische Feld bewirkt eine ablenkende Kraft auf darin bewegte Ladungsträger. Daraus ergeben sich unterschiedliche Ablenkungen von β^+ - und β^- -Teilchen. Bei unserem Magneten wird β^- nach unten und β^+ nach oben abgelenkt. Die α -Teilchen werden nicht



Abb. 8: Originalaufnahme eines β^- -Strahlers

sichtbar abgelenkt, da sie eine zu große Masse haben. Bei der γ -Strahlung wird man keine regelmäßigen Nebelspuren sehen können, da allenfalls Sekundäreffekte zu beobachten sind. Ist kein Präparat in der Kammer und man kann trotzdem hin und wieder eine Spur sehen, so handelt es sich dabei um kosmische Strahlung.

5.2 Auswertung der Bahnkrümmung

Der am Kammerboden angebrachte Magnet eröffnet die Möglichkeit, über Krümmungsradien, die man bis jetzt in unserer Kammer noch abschätzen muss, die Geschwindigkeiten der α - und β -Teilchen annähernd zu berechnen. Für eine Kreisbahn der Teilchen muss eine Gleichgewichtsbedingung zwischen Lorentzkraft F_Q und Radialkraft F_R gelten. Da die Flussdichte des Magneten mit ungefähr 0,09 T bekannt ist und das Feld senkrecht auf der Bewegungsrichtung der Teilchen steht, kann man aus der Masse der Teilchen m und dem zu messenden Bahnkrümmungsradius r auf ihre Geschwindigkeit schließen. Es gilt:

$$Q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Wegen der hohen Geschwindigkeiten muss mit der relativistischen Masse m_R

$$m_R = m_0 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

gerechnet werden, dabei ist m_0 die Ruhemasse des Teilchens und c die Lichtgeschwindigkeit. Es ergibt sich damit für v :

$$v = \frac{Q \cdot B \cdot r \cdot c}{m_0^2 \cdot c^2 + Q^2 \cdot B^2 \cdot r^2}$$

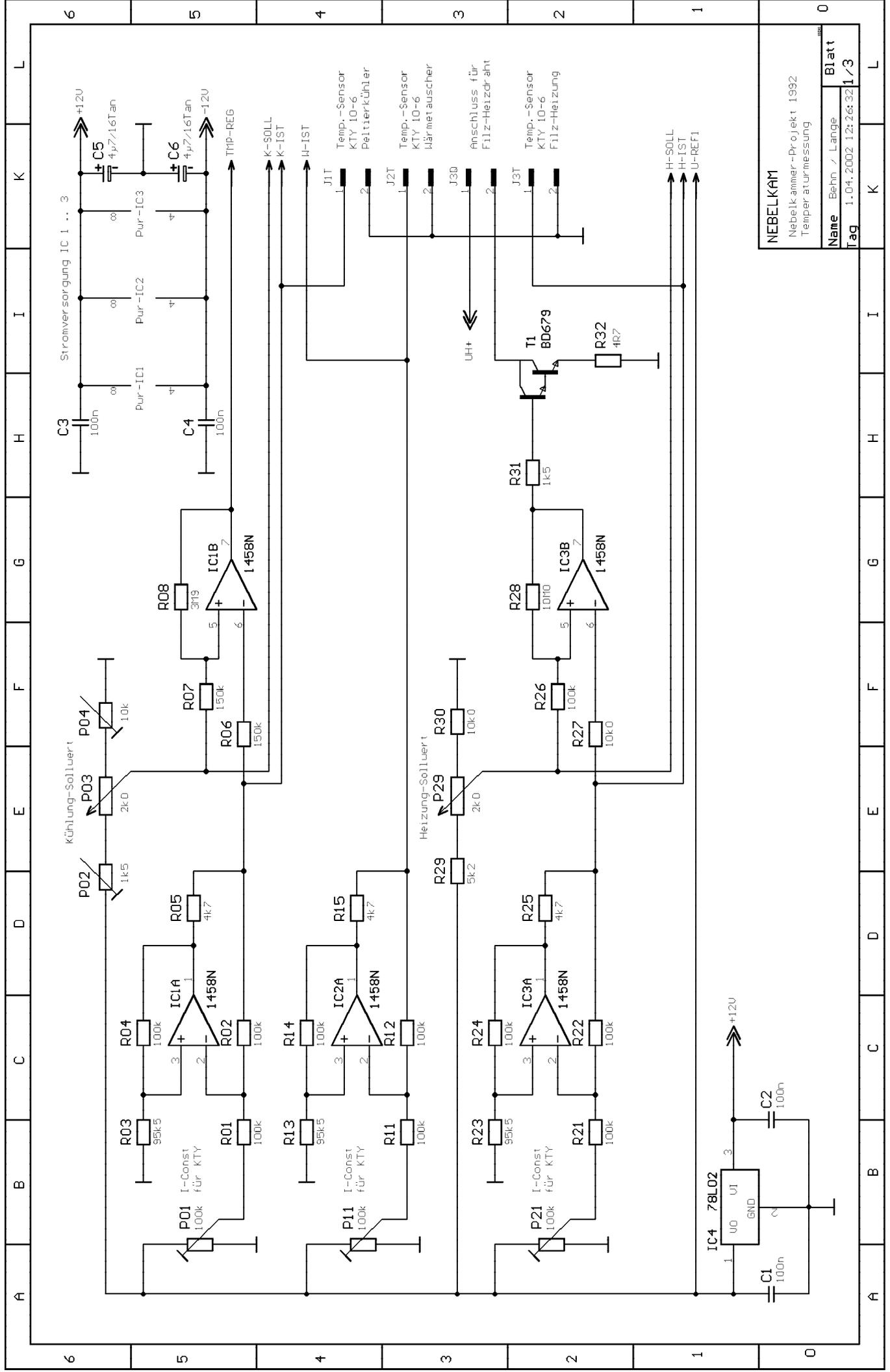
Je nach Genauigkeit der Messungen für B und r lässt damit eine hinreichend zuverlässige Abschätzung der Teilchengeschwindigkeiten vornehmen.

6 Ausblick auf zukünftige Aufgaben

In nächster Zukunft muss die Nebelkammer erst einmal systematisch „ausgemessen“ werden, d.h. es muss festgestellt werden, wie die Kammer auf unterschiedliche Füllmengen, Kühltemperaturen, Heizungstemperaturen und Einstellungen der Hochspannung reagiert. Diese Messergebnisse bilden dann das Fundament für Konstruktionsverbesserungen. Man kann schon jetzt sagen, dass eine leistungsfähigere Kühlung nötig sein wird, da die jetzige an ihrer Leistungsgrenze betrieben wird. Auch die Entwicklung einer Photographiertechnik oder eine Möglichkeit der Aufnahme per Videokamera wird notwendig werden.

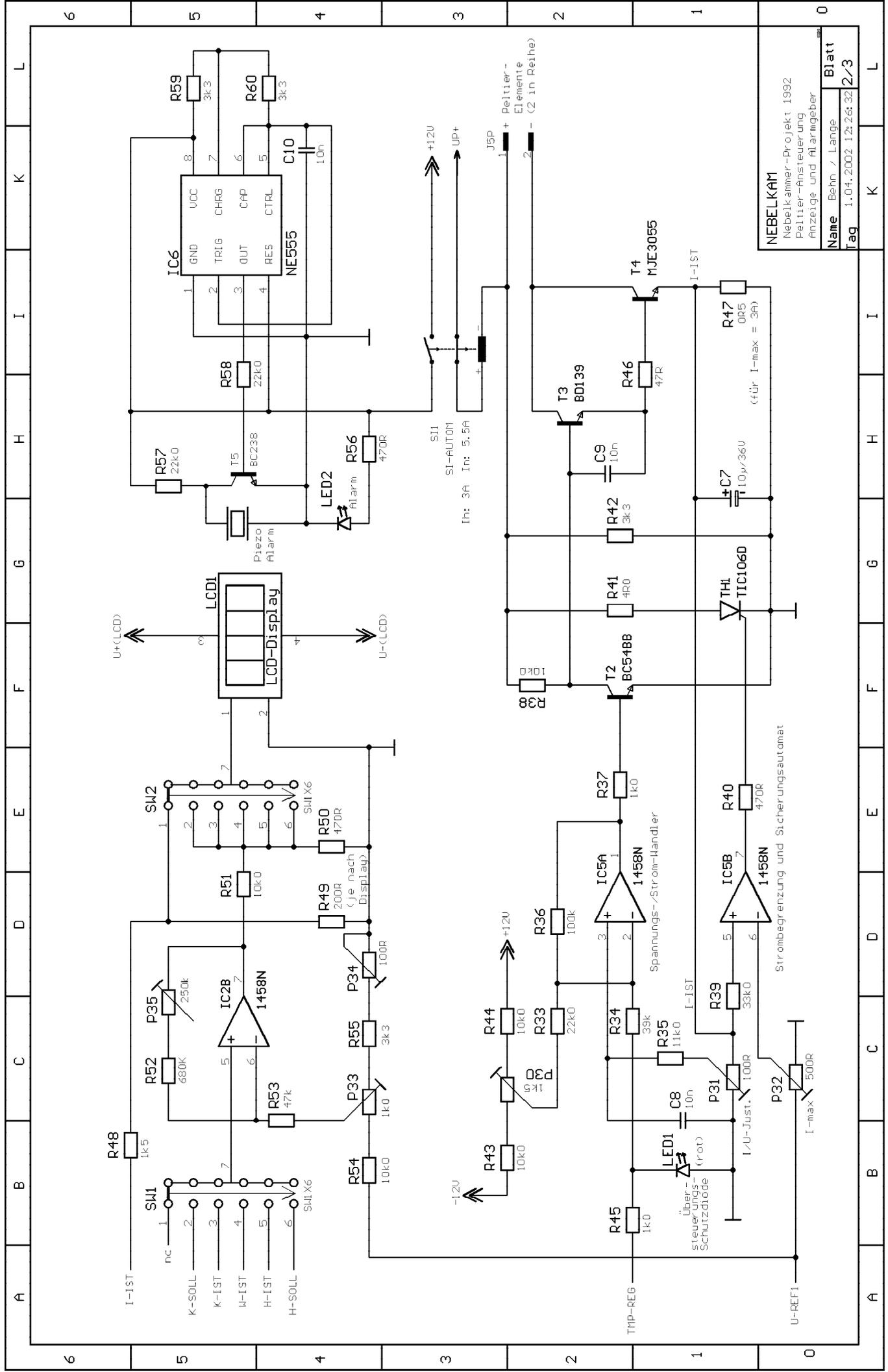
7 Literaturverzeichnis

- [1] Manfred Gläser „Die Nebelkammer im experimentellen Unterricht“
Aulis Verlag, Band 33, S. 9
- [2] Gerthsen und Kneser „Physik“
Springer-Verlag, 11.Auflage, S.155
- [3] Herbert Graewe „Atomphysik“
Aulis Verlag, 3.Auflage, S.190 Absatz 2
- [4] Herbert Graewe „Atomphysik“
Aulis Verlag, 3.Auflage, S.190 Absatz 1
- [5] Manfred Gläser „Die Nebelkammer im experimentellen Unterricht“
Aulis Verlag, Band 33, S.73
- [6] Erwin Böhmer „Elemente der angewandten Elektronik“
Vieweg & Sohn, 1.Auflage, S.172

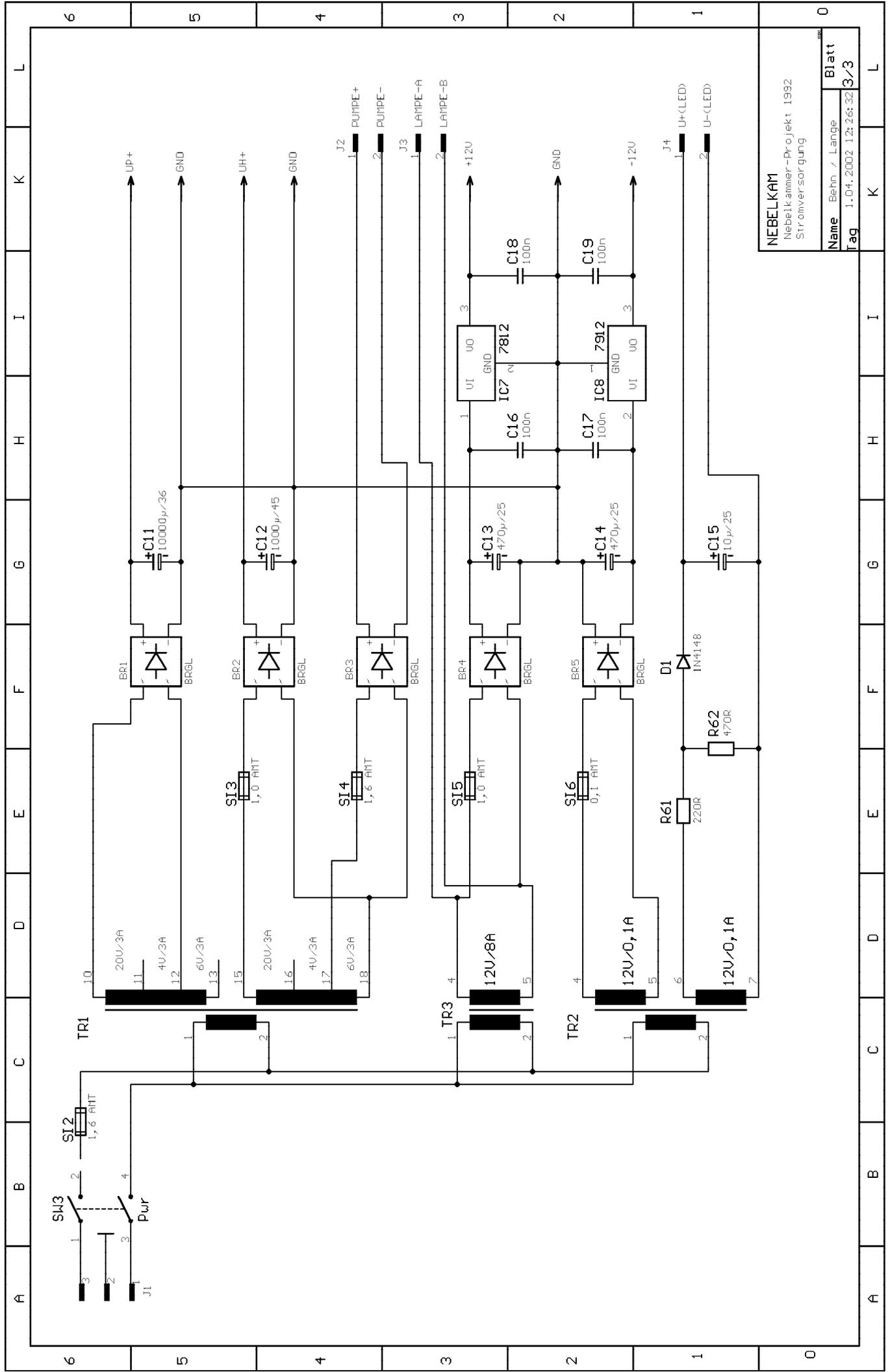


NEBELKAM
 Nebelkammer-Projekt 1992
 Temperaturmessung

Name	Behn / Lange	Blatt	0
Tag	1.04.2002 12:26:32	1/3	L



NEBELKAM	
Nebelkammer-Projekt 1992	
Peltier-Ansteuerung	
Anzeige und Alarmlänge	
Name	Behn / Lange
Tag	1.04.2002 12:26:32
Blatt	2/3



NEBELKAM	
Nebelkammer-Projekt 1992	
Stromversorgung	
Name	Behn / Lange
Blatt	3/3
Tag	1.04.2002 12:26:32

Peltier- Kühlblöcke werden als anschlussfertige Kühleinheiten geliefert. Aufgrund ihrer kleinen Abmessungen eignen sich Peltier-Kühlblöcke für alle räumlich begrenzten Kühlaufgaben. Bei einer Fläche von 14,6 cm² erreichen sie Kälteleistungen bis etwa 20 W oder Temperaturdifferenzen bis etwa 60 K. Sind größere Kälteleistungen oder Temperaturdifferenzen erwünscht, können mehrere Kühlblöcke miteinander kombiniert werden. Peltier-Kühlblöcke zeichnen sich durch ihre Verschleißfreiheit aus. Im Gegensatz zu den bekannten Kühlaggregaten lassen sich Temperatur und Kälteleistung dieser Halbleiter-Kühlelemente einfach und stetig regeln.

Wirkungsweise

Peltier-Kühlblöcke arbeiten nach dem Effekt, der 1834 von dem französischen Physiker Peltier entdeckt wurde. Peltier fand, daß bei Stromdurchgang an der Kontaktstelle zweier verschiedener, einander sich berührender Metalle eine Temperaturabsenkung gegenüber der Umgebungsluft festzustellen war. Dieser Effekt, bei Peltier noch extrem klein, konnte erst in den letzten Jahren durch die Verwendung neuerzeitlicher Halbleitermaterialien wesentlich verbessert und damit nutzbar gemacht werden.

Peltier-Element

Ein Peltier-Element (Bild 1) besteht aus zwei Halbleiterschchenkeln, von denen der eine n-, der andere p-leitend ist. Durch eine Kupferbrücke sind die beiden Schenkel an ihrer Stirnseite verbunden. Fließt durch dieses Peltier-Element ein Gleichstrom, so kühlt sich die eine Seite des Elementes ab und entnimmt infolgedessen von der Umgebung Wärmeenergie. Die von der kalten Elementseite aufgenommene Wärmeenergie wird wieder an der warmen Seite an die Umgebung abgegeben. Das Peltier-Element „pumpt“ also Wärmeenergie von der kalten auf die warme Seite. Durch Stromumpolung läßt sich die Richtung des Wärmeflusses umkehren.

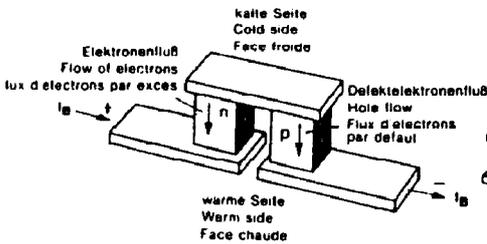


Bild 1
Schematische Darstellung eines Peltier-Elements

Fig. 1
Schematic representation of a Peltier element

Fig. 1
Representation schématique d'un élément Peltier

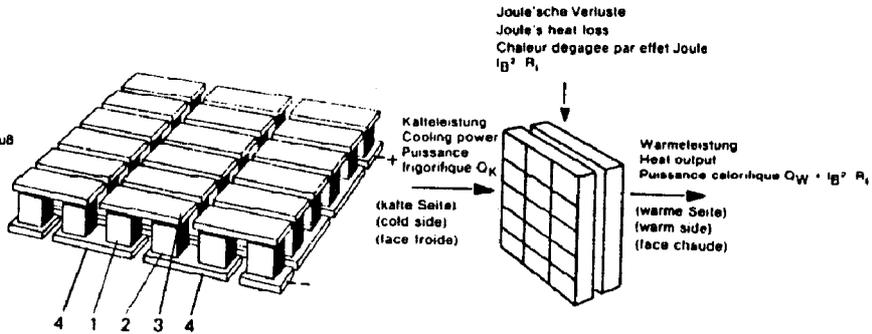


Bild 2
Peltier-Kühlblock
1 + 2 Schenkel aus dotiertem Halbleitermaterial
3 kalte Kontaktbrücken
4 warme Kontaktbrücken

Fig. 2
Peltier cooling block
1 + 2 Limbs of doped semiconductor material
3 Cold contact bridges
4 Warm contact bridges

Fig. 2
Batterie a effet Peltier
1 + 2 Branches en materiau semi-conducteur a centres d'impuretes
3 Ponts de contact froids
4 Ponts de contact chauds

Bild 3

Fig. 3

