

ANLEITUNG ZUM SELBSTBAU
EINER KONTINUIERLICHEN
DIFFUSIONS-NEBELKAMMER

SCHRIFTLICHE HAUSARBEIT
ZUM ERSTEN STAATSEXAMEN

VON

UDO BACKMUND

20. MÄRZ 2007

BETREUER:

PROF. DR. J. GEURTS

DR. T. WILHELM

LEHRSTUHL FÜR DIDAKTIK DER PHYSIK
PHYSIKALISCHES INSTITUT
JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT WÜRZBURG

„...DIE *Wilsonsche* NEBELKAMMER DAS ORIGINELLSTE UND
WUNDERVOLLSTE INSTRUMENT, DAS DIE GESCHICHTE
DER WISSENSCHAFT JE HERVORGEBRACHT...“

Sir Ernest Rutherford

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen, die diese Arbeit unterstützt und durch ihre Mithilfe ermöglicht haben, bedanken.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium erst ermöglicht und mich währenddessen in jeglicher Hinsicht unterstützt haben. Meiner Freundin danke ich ebenfalls ganz besonders für ihre fortwährende Unterstützung und das mir entgegengebrachte Verständnis.

Weiterhin bedanke ich mich vor allem bei Herrn Dr. Thomas Wilhelm für die ausgezeichnete Betreuung während der *schriftlichen Hausarbeit zum Ersten Staatsexamen*. Er hatte immer ein offenes Ohr für Fragen und Probleme und stand stets mit fachlichem Rat zur Seite. Auch Herrn Prof. Dr. Jean Geurts, dem verantwortlichen Betreuer, möchte ich für seine Zustimmung zu diesem Projekt, die Bereitstellung notwendiger Mittel und sein Vertrauen Dank sagen.

Der wissenschaftlichen Werkstatt für Forschung und Lehre des Physikalischen Instituts der Julius-Maximilians-Universität Würzburg danke ich ebenfalls für ihre Mitwirkung. Insbesondere Herrn Rainer Brauner (Abteilung Mechanik) für die freundliche und hilfsbereite Unterstützung während der Anfertigung der Bauteile und die wertvollen fachlichen Ratschläge, die zum Prototypenbau der Diffusionsnebelkammer beigetragen haben. In diesem Zusammenhang möchte ich es nicht versäumen dem Auszubildenden Torsten Lahr zu danken, der eine Vielzahl der benötigten Nebelkammer-Bauteile angefertigt hat. Ebenso möchte ich mich bei den Mitarbeitern der Abteilung Elektronik Herrn Rüb, Herrn Krause und Herrn Fröhlich als auch dem Leiter der wissenschaftlichen Werkstatt Dr. Barkowski bedanken.

Meinem Bruder Gerd möchte ich für das Korrekturlesen dieser Arbeit und für seine konstruktive Kritik meinen Dank aussprechen.

Bei Herrn Reusch, Herrn Dr. Rommel und Herrn Leberfinger bedanke ich mich für ihre wertvollen fachlichen Ratschläge. Zudem danke ich Herrn Gerand, Werkstattstechniker der Physik Didaktik, für seine Unterstützung.

Vorwort

Die folgende „*schriftliche Hausarbeit zum Ersten Staatsexamen*“ soll Lehrerinnen und Lehrern der Sekundarstufe I und II eine **Anleitung zum Selbstbau einer kontinuierlichen Diffusions-Nebelkammer mit Peltierkühlung** zur Verfügung stellen.

Die für eine solche Kammer aufzubringenden finanziellen Mittel sollen dabei weit unter den Anschaffungskosten für eine vergleichbare Nebelkammer der einschlägigen Lehrmittelhersteller bleiben, jedoch ohne den Ausfertigungen der Lehrmittelhersteller in Funktionalität, Einsetzbarkeit und Anschaulichkeit nachzustehen.

Die Hausarbeit gliedert sich in zwei Teile: Im ersten Teil wird zunächst das Thema der kontinuierlichen Diffusionsnebelkammer thematisch aufgearbeitet. Kapitel **1** des ersten Teils klärt dabei insbesondere warum man eine Nebelkammer selber bauen sollte. In Kapitel **2** wird die grundlegende Funktionsweise von Nebelkammern qualitativ dargestellt. Das letzte Kapitel des ersten Teils schneidet verschiedene didaktische Überlegungen an, die jeweils als Ansatzpunkt zu weiteren didaktischen und methodischen Überlegungen dienen können. Den zweiten Teil der Arbeit bildet die **Bauanleitung** für eine kontinuierliche Diffusionsnebelkammer mit Peltierkühlung. Hier wird das benötigte Material aufgelistet, handwerkliche Grundlagen angesprochen, der Bau der Kammer und die Inbetriebnahme detailliert beschrieben. Im Anhang sind unter anderem Zeichnungen der einzelnen Bauteile und ausführliche Materiallisten zu finden.

Da Teil **II** der Arbeit unabhängig von Teil **I** zum Bau der kontinuierlichen Nebelkammer nutzbar sein soll, ist es möglich, dass es im zweiten Teil zu Wiederholungen einzelner Bereiche aus dem ersten Teil der Hausarbeit kommen kann. Des Weiteren ist die Stilistik des zweiten Teils den Ansprüchen einer präzisen und kurzweiligen Bauanleitung angepasst. Auf schmückende Stilmittel wird weitestgehend verzichtet.

Inhaltsverzeichnis

I	Thematische Ausarbeitung	11
1	Warum selber bauen?	13
2	Funktionsweise von Nebelkammern	15
2.1	Die Diffusions-Nebelkammer	16
2.2	Die WILSON-Nebelkammer	16
3	Didaktische Überlegungen	19
3.1	Expansions- vs. Diffusions-Nebelkammer	20
3.2	Die Diffusionsnebelkammer im experimentellen Unterricht	21
3.2.1	Einsatz als Einstiegs- oder Erarbeitungsversuch	21
3.2.2	Demonstrationsmöglichkeiten	22
3.2.3	Klärung der Funktionsweise einer Nebelkammer	23
II	Bauanleitung	25
4	Kurzbeschreibung	29
5	Material	35
6	Allgemeines und grundlegende Techniken	43
6.1	Allgemeines	43
6.2	Spanende Formgebung	43
6.2.1	Bohren	44
6.2.2	Sägen	45
6.3	Löten elektronischer Bauelemente	46
7	Fertigung der Bauteile	49
7.1	Wasserbecken [K01] und [K02]	49
7.2	Wärmetauschplatte [K03]	52
7.3	Kühlplatte [K04]	53
7.4	PVC-Oberteil [K08], [K09] und [K10]	54
7.5	Rinne [K11]	57
7.6	Rinnenbefestigung [K12]	61
7.7	90°-Rohrbogen [K13]	62
7.8	LED-Leiste [K14]	64

7.9	Heizröhrchen [K15]	66
7.10	Vorratsbehälter [K16]	68
7.11	Erhöhung [K17]	68
8	Zusammenbau der Kammer	71
8.1	Schließen des Beckens	71
8.2	Lackieren der Kühlplatte	71
8.3	Aufstellen der Glaswände	73
8.4	Ausstattung des PVC-Oberteils	74
8.5	Aufsetzen des PVC-Oberteils	76
8.6	Installation der LED-Leiste	76
9	Elektronik	79
9.1	Allgemeines	79
9.2	Spannungsquelle [E06]	79
9.3	Schaltung der Rinnen-Heizung	80
9.4	Schaltung der Pumpe	82
9.4.1	Schaltung „P1“	83
9.4.2	Schaltung „P2“	84
9.5	Schaltung des Temperaturschaltmoduls	84
10	Fertigung des Gehäuses	87
10.1	Grundplatte [G01]	88
10.2	Profil [G02]	88
10.3	Gewindestangen [G03]	90
10.4	Frontplatte [G04]	91
10.5	Seitenteile [G05], [G06] und [G07]	93
10.6	Deckel [G08]	94
10.7	Zusammenbau des Gehäuses	94
11	Endmontage	97
11.1	Positionieren der Nebelkammer	97
11.2	Verkabelung	99
11.2.1	Verkabelung Netzteil	100
11.2.2	Verkabelung der Einbaubuchsen	101
11.2.3	Verkabelung Peltierelemente	102
11.2.4	Verkabelung Schaltung „Rinnen-Heizung“	102
11.2.5	Verkabelung Temperaturschaltmodul	102
11.2.6	Verkabelung Schaltung „Pumpe“	104
11.2.7	Verkabelung LED-Leiste	104
11.2.8	Verkabelung Kontrollleuchte	104
11.3	Positionierung des Netzteils	104
11.4	Positionierung der Pumpe und des Vorratsbehälters	104
11.5	Endmontage des Gehäuses	105

12 Inbetriebnahme	109
12.1 Vorbereitungen	109
12.2 Inbetriebnahme	110
12.3 Einstellung der Heizung	112
12.4 Wichtige Hinweise	113
12.5 Radioaktive Quellen	113
12.6 Außerbetriebnahme	114
12.7 Fehlerquellen	115
13 Zusatz	117
Literaturverzeichnis	120
Abbildungsverzeichnis	125
III Anhang	129

Teil I

Thematische Ausarbeitung

Kapitel 1

Warum selber bauen?

Nebelkammern gibt es in den unterschiedlichsten Varianten und Ausführungen. Prinzipiell kann man jedoch die Kammern in zwei Haupttypen, die *Expansions-* und die *Diffusionsnebelkammern*, aufteilen (Gläser 1976).

Vermutlich ist die Expansionsnebelkammer derjenige Nebelkammertyp, der, wenn überhaupt, in den meisten Schulen zu finden ist. Der Grund für die Dominanz der Expansionsnebelkammer in den Lehrmittelsammlungen der Schulen liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit in den vergleichbar geringen Anschaffungskosten für solch eine Kammer (siehe Tabelle 1.1). Das heißt demzufolge, vorausgesetzt man lässt die mit Trockeneis betriebene Diffusionsnebelkammer von Cornelsen außer acht, dass der Grund für die Absenz der Diffusionsnebelkammern in einem Großteil aller Schulen die hohen Kosten für Diffusionsnebelkammern sein könnte. Dies ist auch verständlich, wenn man bedenkt, dass die günstigste Diffusionsnebelkammer der einschlägigen Lehrmittelhersteller *Conatex*, *Cornelsen*, *Leybold Didactic* und *Phywe* die „Kontinuierliche Nebelkammer“ von *Conatex* für 999 € ist, danach folgt mit einigem Abstand die „Nebelkammer mit Peltierkühlung“ von *Phywe* mit 1.826 €. Die Diffusionsnebelkammer von *Cornelsen* für 150 € wäre mit Sicherheit eine günstige Alternative, jedoch wird diese Kammer mit Trockeneis betrieben, wodurch ein Gerät zur Herstellung von Trockeneis notwendig wird. Tabelle 1.1 gibt einen guten Überblick über die Nebelkammern der oben aufgeführten Lehrmittelhersteller.

Lehrmittelhersteller	Bezeichnung	Artikelnummer	Typ	ungefähre Beobachtungsfläche [cm ²]	Preis	Stand
Cornelsen	Nebelkammer	55559	Diffusion (Trockeneis)	64	150 €	2006
Conatex	Expansions-Nebelkammer	CL09016	Expansion	64	165 €	2005
Cornelsen	Nebelkammer	55558	Expansion	64	165 €	2006
Phywe	Expansionsnebelkammer	09044.30	Expansion	64	203 €	2005
Leybold Didactic	Wilsonkammer nach Schürholz	55957	Expansion	87	356 €	2003
Entwurf "Backmund"	Diffusionsnebelkammer mit Peltierkühlung		Diffusion (kontinuierlich)	209	300-400 €	2007
Conatex	Kontinuierliche Nebelkammer	1009040	Diffusion (kontinuierlich)	95	999 €	2006
Phywe	Nebelkammer mit Peltierkühlung	09043.01	Diffusion (kontinuierlich)	104	1.826 €	2005
Phywe	Großraum-Diffusions-Nebelkammer PJ 45/1	09046.93	Diffusion (kontinuierlich)	2025	14.805 €	2005
Phywe	Großraum-Diffusions-Nebelkammer PJ 80/3 - Großbild	09043.93	Diffusion (kontinuierlich)	6400	59.229 €	2005

Tabelle 1.1: Überblick über verschiedene Nebelkammern

Nichtsdestoweniger scheut eine Vielzahl von Lehrerinnen und Lehrern den Einsatz der gängigen Expansionsnebelkammern. Zum einen ist die Beobachtungsfläche der Expansionsnebelkammern für den Gebrauch im experimentellen Unterricht sehr klein bemessen und überdies hinaus stellt sich der Betrieb der Kammer oftmals als äußerst schwierig dar. Häufig wird eine Vielzahl von Expansionen benötigt bis sich die ersehnten Bahnspuren beobachten lassen. Dann bleibt nur zu hoffen, dass die Schülerinnen und Schüler die Versuche mit den nötigen Interesse verfolgten und nicht gelangweilt durch eine Reihe von Fehlversuchen die Aufmerksamkeit anderen Dingen gewidmet haben, da die Bahnspuren für höchstens eine Sekunde sichtbar bleiben. Leider stellt sich die Reproduktion des Versuchs häufig genau so schwer wie das Erzielen der ersten Bahnspuren dar. 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. Anders bei einer Diffusionsnebelkammer, welche einen kontinuierlichen Betrieb der Kammer möglich macht. Dadurch kann diese längere Zeit vor dem Unterricht vorbereitet und in Betrieb genommen werden. Infolgedessen lassen sich die Erfolgchancen, im Vergleich zur Expansionsnebelkammer, beachtlich verbessern.

Den erfolgversprechenden Einsatz einer Nebelkammer im Unterricht zu ermöglichen ist das primäre Ziel dieser Arbeit. Dafür sprechen eine Vielzahl von Gründen von denen einige in Kapitel 3 auf Seite 19 erörtert werden. Hier sei nur erwähnt, dass die Nebelkammer zweifellos eines der wichtigsten und faszinierendsten Demonstrationsinstrumente des Stoffgebiets der *Atom- und Kernphysik* ist (Gläser 1976). Um diesen Einsatz zu fördern ist es wichtig eine Nebelkammer zur Verfügung zu stellen, mit der der Versuchserfolg in der jeweiligen Unterrichtseinheit gewährleistet ist. Dieses Ziel ist nach Meinung des Autor und unter Beachtung von Kapitel 3 nur mit einer kontinuierlichen Diffusionsnebelkammer möglich.

Da sich aber wahrscheinlich dieser Kammertyp in der Vergangenheit auf Grund der hohen Kosten nicht durchsetzen konnte, ist es entscheidend die Kosten, besonders in Zeiten leerer öffentlicher Kassen, so gering wie möglich zu halten. Demzufolge wird mit dieser Arbeit der Versuch unternommen eine Bauanleitung für eine kostengünstige kontinuierliche Diffusionsnebelkammer zur Verfügung zu stellen.

Um das grundlegende Hauptziel der Arbeit erfüllen zu können, muss die Konstruktion der Nebelkammer so ausgearbeitet werden, dass diese von handwerklichen Laien angefertigt werden kann. Selbstverständlich sollen bei der Herstellung ausschließlich konventionelle Werkzeuge aus dem Heimwerkerbereich eingesetzt werden. Gleichwohl bleibt es nicht aus, dass für die auszuführenden Arbeiten ein Mindestmaß an handwerklichem Geschick vorhanden sein muss.

Die Materialkosten für den Bau der Diffusionsnebelkammer bewegen sich je nach eingesetzten Materialien zwischen **300 € und 400 €**. Dabei belaufen sich alleine die Kosten für die Peltierelemente auf 147 € und für das Gehäuse zwischen 60 € und 100 €.

Kapitel 2

Funktionsweise von Nebelkammern

Nebelkammern sind Spurendetektoren zur Sichtbarmachung von Bahnspuren einzelner ionisierender Teilchen bzw. Strahlung ([Greulich u. Kilian 2000](#)). Wie schon im Kapitel [1](#) erwähnt, werden grundsätzlich 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* ([Höfling u. a. 1981](#); [Nobel Foundation: Wilson](#)).

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 möglich sind ([Harbeck u. a. 1973](#), S. 539). „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“ ([Höfling u. a. 1981](#), S. 856). 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 Teilchenstrahlung (α - und β -Strahlung) und Wellenstrahlung (γ -Strahlung) ([von Philipsborn u. Geipel 2003](#)).

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 Die Diffusions-Nebelkammer

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 (Höfling u. a. 1981, S. 857). Zur Herstellung dieses Temperaturgradienten wird der Boden der Nebelkammer kontinuierlich gekühlt. Außerdem wird der Kammer das benötigte Kondensationsmedium als Gas-Dampf-Gemisch laufend durch eine Verdampferquelle, die sich auf der gegenüberliegenden Seite befindet, zugeführt (Demtröder 2005). 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 (Höfling u. a. 1981, S. 858).

Gelangt nun ionisierende Strahlung in dieses Übersättigungsgebiet, auch *empfindliches Kammervolumen* genannt, erzeugt die Strahlung längs ihrer Bahn Ionen, die, wie schon zuvor erwähnt, als Kondensationskerne dienen, wodurch Ketten kleinster Flüssigkeitströpfchen entstehen (Paus 2002). 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 (Paus 2002). 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°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.

2.2 Die WILSON-Nebelkammer

Bei einer WILSON-Nebelkammer wird durch adiabatische Expansion eines *gesättigten* Gas-Dampf-Gemisches *übersättigter* Dampf erzeugt. Das Kammervolumen wird schnell vergrößert. Dabei kühlt das Gas-Dampf-Gemisch ab und der Dampf wird übersättigt. Dieser Dampf reagiert auf den Durchgang ionisierender Strahlung genauso wie in der Diffusions-Nebelkammer.

Im Gegensatz zur Diffusions-Nebelkammer ist die WILSON-Nebelkammer, auch genannt *Expansions-Nebelkammer*, nicht dauerhaft sensitiv. Das heißt die Expansions-Nebelkammer ist nicht permanent bereit von eintretenden Teilchen Nebelspuren zu bilden, da die für die Funktion der Kammer notwendige Übersättigung des Gas-Dampf-Gemisches ausschließlich durch Expansion kurzfristig

erzeugt wird. Aus diesem Grund ist die Spurenbereitschaft der Nebelkammer nur 0,1 bis 1 s nach der Expansion vorhanden.

Kapitel 3

Didaktische Überlegungen

„[...] ,die *Wilsonsche* Nebelkammer
das originellste und wundervollste Instrument,
das die Geschichte der Wissenschaft
je hervorgebracht‘[...]“

Sir Ernest Rutherford, einer der bedeutendsten Wissenschaftler auf dem Gebiet der Atom- und Kernphysik, stellt mit diesen Worten die außerordentliche Bedeutung der Wilsonschen Nebelkammer für die Wissenschaft heraus und drückt in gleichem Zuge Faszination und Begeisterung für diese damalige Neuentwicklung aus (Gläser 1976, S. 7). „*Heutzutage besitzt dieser Detektor nur noch historischen Wert*“ (Greulich u. Kilian 2000, S. 72), allerdings ist die Nebelkammer eines der wichtigsten Demonstrationsinstrumente der Atom- und Kernphysik (Gläser 1976). „*Sie ist der eindrucksvollste Teilchendetektor für den Lernenden und zur Zeit der einzige Kernstrahlungs-Bahndetektor, der es ermöglicht, auch breiteren Kreisen der Bevölkerung das verblüffende Geschehen des radioaktiven Zerfalls unmittelbar und augenscheinlich zugänglich zu machen.*“ (Gläser 1976, S. 8).

Um die Bedeutung eines Instruments für das Lehren und Lernen zu erörtern, ist es oftmals interessant die Gründe für den historischen Wert desselben zu erschließen. Genauso wie der Forscher, der Wissenschaftler bei seiner Arbeit Unbekanntes entdeckt und Unverständliches zu begreifen versucht, möchte der Lernende für ihn Unbekanntes erschließen und das selbige verstehen. Auch der Lernende profitiert dabei von Hilfsmitteln, von Experimenten. Die Visualisierung erleichtert die kognitiven Lernprozesse und letztlich die vertiefte Informationsaufnahme (Elaboration).

Will man den Stellenwert dieser Erfindung in der Geschichte der Wissenschaft erschließen, muss man fragen, aus welchen Gründen *Rutherford* die Nebelkammer so außergewöhnlich lobte oder warum der englische Physiker *Charles Thomson Rees WILSON* 1927 für die Erfindung der Nebelkammer von der „*Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften*“ den *Nobelpreis*, die höchste Auszeichnung, die einem Wissenschaftler zuteil werden kann, verliehen bekam (Poppe: nobelpreis.org). Offenbar war das Nobelkomitee der Meinung, dass *C.T.R. WILSON* mit der „*Entdeckung der Methode, durch Dampfkondensierung die Bahnen elektrisch geladener Partikel wahrnehmbar zu machen*“ (Poppe: wilson.nobelprize.org)



Abbildung 3.1: *Charles Thomson Rees Wilson* ([Nobel Foundation: Nobel Prize 1927](#))

son; [Nobel Foundation: Nobel Prize 1927](#)), „*der Menschheit den größten Nutzen gebracht*“ hat ([Poppe: nobelpreis.org](#)), wie es *Alfred Nobel* in seinem Testament als Bedingung für eine Verleihung formuliert hat.

Die WILSON-Nebelkammer war das erste Instrument, das die Bahnsuren atomarer Teilchen sichtbar machen konnte ([Greulich u. Kilian 2000](#); [Huber 1972](#)). Diese Spuren waren und sind der ***augenscheinliche Beweis*** für die Existenz von atomaren Teilchen. Dies räumte den Wissenschaftlern neue Möglichkeiten ein atomare Teilchen zu beobachten, diese dadurch besser verstehen zu können, atomare Teilchen zu charakterisieren und dann über ihre Eigenschaften zu identifizieren. Überdies bestand die Chance mit einer Nebelkammer neue Teilchen zu entdecken. So wurde zum Beispiel mit der Nebelkammer u.a. das *Positron* (*C.D. Anderson*) und das *Myon* (*Anderson* zusammen mit *Neddermayer*) in der *kosmischen Strahlung* entdeckt.

Zudem waren die Forscher jener Zeit vollauf fasziniert, als sie zum ersten mal die Bahnsuren der für das menschliche Auge unsichtbaren atomaren Teilchen und Strahlen sichtbar machen konnten. Eine Faszination, die auch heute noch viele verspüren, wenn die Spuren ionisierender Strahlung in einer Nebelkammer sichtbar gemacht werden. Klare weiße Nebelsuren, die scheinbar von Geisterhand in das Gas-Dampf-Gemisch der Kammer gezeichnet werden.

Visualisieren, besser *Verstehen*, *Charakterisieren*, *Identifizieren*, *Entdecken* und *Faszinieren* sind die Eigenschaften, die der Nebelkammer für den Einsatz in der Lehre den gleichen Stellenwert verleihen, den sie auch zur Zeit ihrer Erfindung inne hatte.

3.1 Expansions- vs. Diffusions-Nebelkammer

Vergleicht man die Eigenschaften der Expansionsnebelkammer mit denen der Diffusionsnebelkammer, fällt wohl am meisten die beachtliche Abweichung im Bereich der Sensitivität der Kammern auf (siehe Kapitel 2 auf Seite 15). Zweifelsfrei ist die relativ *kurze Beobachtungsdauer* einer Expansionsnebelkammer

ein großer Nachteil dieses Kammertyps (Gläser 1976). Infolgedessen ist die Expansionsnebelkammer für den Nachweis seltener Ereignisse, wie zum Beispiel dem Nulleffekt, gänzlich ungeeignet.

Infolgedessen 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 im Zusammenhang mit dieser Eigenschaft ein weiterer Vorzug dieses Kammertyps. Wie auch schon in Kapitel 1 auf Seite 13 angedeutet, lässt sich eine Diffusionsnebelkammer mit dauerhafter Kühlung im Gegensatz zur Expansionsnebelkammer längere Zeit vor der 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. Im Gegensatz zu einer im Unterricht eingesetzten Expansionsnebelkammer wird dadurch die Erfolgswahrscheinlichkeit des Versuchs beachtlich erhöht.

Allerdings hat auch die Diffusionsnebelkammer Schwächen. Bringt man beispielsweise eine relativ aktive Strahlungsquelle in eine Diffusionsnebelkammer ein, so kann die empfindliche Schicht in kürzester Zeit verbraucht sein. Die Spuren heben sich dann nicht mehr vom allgemeinen Nebeluntergrund ab und sind nicht mehr zu erkennen (siehe auch Kapitel 13 auf Seite 117). Überdies kann zwar bei einer Diffusionsnebelkammer die Beobachtungsfläche beliebig groß gebaut werden, die Höhe der empfindlichen Schicht bleibt jedoch auf ca. 15 mm begrenzt.

„Für den experimentellen Unterricht [ist] die Diffusionsnebelkammer (mit einfach zu betreibender Kühlvorrichtung, z.B. Peltierkühlung) methodisch günstiger einzusetzen [...] und sollte daher den Vorrang haben“ (Gläser 1976, S. 66).

3.2 Die Diffusionsnebelkammer im experimentellen Unterricht

3.2.1 Einsatz als Einstiegs- oder Erarbeitungsversuch

Prinzipiell ist es denkbar die Diffusionsnebelkammer im experimentellen Unterricht als *Einstiegsversuch* oder als *Erarbeitungsversuch* einzusetzen (siehe dazu Kircher u. a. 2001).

Einstiegsversuch Wie schon oben mehrfach erwähnt, vermag die Nebelkammer nicht nur zur Zeit ihrer Erfindung zu faszinieren, sondern ist auch in der Lage mehrere Jahrzehnte danach Interesse zu wecken und Begeisterung zu erzeugen. Aus diesem Grund ist die Nebelkammer als *verblüffendes Phänomen* hervorragend dazu geeignet in der Einstiegsphase einer Unterrichtssequenz das Interesse für das Stoffgebiet „Kernphysik“ (*Einstiegs motivation*) anzufachen. Unter Umständen werden schon in dieser Phase durch diese rein *qualitative Versuchsdurchführung nachhaltige Eindrücke* vermittelt, was die Elaboration be-

günstigen könnte.

Erarbeitungsversuch Die Diffusionsnebelkammer kann nicht nur qualitativ, sondern auch *quantitativ* als *Erarbeitungsversuch* im Unterricht eingesetzt werden. Die „Gesellschaft für Schwerionenforschung“ hat beispielsweise im Rahmen ihres „Schüler Labors“ ein Schülerexperiment für einen quantitativen Einsatz ausgearbeitet (siehe auch [GSI: Schüler Labor](#)). Unter dem Titel „Station 8: Auswertung von Nebelkammerbildern“ führt eine Experimentieranleitung den Lernenden Schritt für Schritt durch das Experiment. Hierbei beobachten die Lernenden zunächst die Nebelspuren der α - und β -Teilchen und zeichnen diese anschließend mit einer Video-Kamera auf. Folgend werden die Aufnahmen ausgewertet. Aus den gewonnenen Daten wird dann die Halbwertszeit von Radon experimentell bestimmt und überdies die Geschwindigkeit und die kinetische Energie von α -Teilchen gemessen.

Prinzipiell gibt es natürlich beim Einsatz der Nebelkammer als Erarbeitungsversuch weitere Möglichkeiten. Allerdings demonstriert der gelungene Entwurf der *Gesellschaft für Schwerionenforschung* sehr gut, dass die Diffusionsnebelkammer im experimentellen Unterricht problemlos quantitativ eingesetzt werden kann. Außerdem ist unter anderem die Bestimmung des Absorptionsvermögens verschiedener fester Stoffe für α -Teilchen, die Beobachtung der magnetischen Ablenkung von α -Teilchen und die Bestimmung der Energie von β -Teilchen aus der Bahnkrümmung in einem magnetischen oder elektrischen Feld möglich (siehe [Gläser 1976](#)).

Ganz besonders die Reichweitenmessung von α -Teilchen sollte man „...*grundsätzlich mit Nebelkammern vornehmen, weil sie gegenüber anderen Detektoren (Zählrohre) am unmittelbarsten und offensichtlichsten die Messergebnisse liefern*“ ([Gläser 1976](#)).

3.2.2 Demonstrationsmöglichkeiten

Beim Einsatz einer Nebelkammer im Unterricht als *Demonstrationsversuch* stellt sich unweigerlich die Frage nach den *Demonstrationsmöglichkeiten*. Grundsätzlich lässt sich das Nebelkammergeschehen mit einer Videokamera und einem Videoprojektor oder einem Bildschirm auch einem großen Kreis von Interessierten näherbringen. Hierbei sind für alle Adressaten die Nebelspuren gut sichtbar und durch eine kontrastreiche Einstellung des Projektors bzw. Bildschirms möglicherweise eindrucksvoller als normal dargestellt. Von Vorteil ist auch, dass bei dieser Variante alle Schüler auf ihren Plätzen verweilen können, was eine eventuelle Unruhe beim Aufstehen und Hinsetzen erst gar nicht aufkommen lässt. Diese Demonstrationsmöglichkeit empfiehlt sich besonders bei großem Auditorium. Fraglich bleibt allerdings, ob sich auch bei dieser Art der Demonstration die gleiche Faszination wie bei der direkten Beobachtung dieses verblüffenden Phänomens einstellt. Schließlich würde in diesem Fall kein merklicher Unterschied zur Vorführung einer entsprechenden Videoaufnahme bestehen.

Im Allgemeinen dürfte die direkte Beobachtung, wenn es die Anzahl der Lernenden und die örtlichen Gegebenheiten zulassen, anderen Demonstrationsmöglichkeiten vorzuziehen sein.

3.2.3 Klärung der Funktionsweise einer Nebelkammer

Ob die Funktionsweise der Nebelkammer innerhalb des Unterrichts geklärt wird und in welchem Umfang dies geschehen soll muss individuell entschieden werden. Dabei müssen unter anderem die *Lernziele*, das *Vorwissen*, das *Vorverständnis* und die *Lernvoraussetzungen* der Schülerinnen und Schüler beachtet werden.

So besteht zum Beispiel die Möglichkeit lediglich auf die Entstehung von Kondensstreifen am Himmel hinzuweisen oder deren Zustandekommen zu klären. Diese *Analogie* ist mit Sicherheit jedem Schüler *vertraut*. Die Kondensstreifen sehen den Nebelspuren ähnlich (*oberflächenähnlich*) und dürften allen Schülern eine bekannte Alltagserfahrung sein (*affektive Verbundenheit*) (siehe [Kircher u. a. 2001](#)). Auch zwischen den empirischen und theoretischen Entitäten der beiden Bereiche besteht ohne Frage *weitgehende (partielle) Isomorphie (tiefenstrukturähnlich)*. Die durch den Flugverkehr bedingten Kondensstreifen eignen sich auch für den Einstieg in den experimentellen Unterricht mit der Nebelkammer.

Die Notwendigkeit von Kondensationskernen für die Nebelbildung kann, wenn eine detailliertere Behandlung des Themas gewünscht ist, beispielsweise mit einem einfach durchzuführenden Modellversuch veranschaulicht werden. Brosowski hat diesen Modellversuch beschrieben (siehe hierzu [Brosowski 1986](#)).

Teil II

Bauanleitung

Vorwort

Es ist Ziel dieser Bauanleitung **jedem** Interessierten eine Anleitung für den Selbstbau einer kostengünstigen und funktionierenden Diffusionsnebelkammer zur Verfügung zu stellen. Aus diesem Grund musste schon bei der Planung einzelner Bauteile und damit beim Gesamtentwurf der Kammer besonderer Wert darauf gelegt werden, dass alle benötigten Werkstücke zum einen mit konventionellen Werkzeugen und zum anderen von Laien bzw. Heimwerkern hergestellt werden können. Nichtsdestoweniger ist für die Durchführung der notwendigen Arbeiten ein Mindestmaß an handwerklichem Geschick erforderlich. Grundsätzliche Fähigkeiten im Umgang mit dem Bohrer, als auch der Stichsäge und dem Lötkolben sollten für den Bau der Diffusionsnebelkammer vorhanden sein. Ebenso sollte das Lesen entsprechender Zeichnungen und deren gedankliche Umsetzung keine größeren Schwierigkeiten bereiten. Überdies werden grundlegende Kenntnisse der Elektrotechnik vorausgesetzt.

Die für den Bau der Nebelkammer benötigten Aufwendungen für das Material bewegen sich zwischen 300 € und 400 €. Dabei belaufen sich alleine die Kosten für die sechs eingesetzten Peltierelemente auf 150 €. Durch den Einsatz kostengünstigerer Materialien können die Kosten auf ungefähr 300 € gesenkt werden. Dazu werden in Kapitel 5 auf Seite 35 eigens kostengünstigere Alternativen aufgezeigt und auf eventuelle Nachteile der Alternativmaterialien hingewiesen. Die Kosten für das Gehäuse in Höhe von 60 € bis 100 € sind bereits in obigen Betrag enthalten. In diesem Zusammenhang möchte ich auf die Ausführungen in Kapitel 1 auf Seite 13 „Warum selber bauen?“ hinweisen.

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 „www.rapp-instruments.de“ mit dem Titel „**Rapp Instruments, wissenschaftliche Demonstrationsgeräte**“ seine selbstgebaute Nebelkammer knapp vorstellt ([Rapp 2006](#)).

Der Autor weist ausdrücklich darauf hin, dass Informationen und Angaben nach bestem Wissen erfolgen. Funktion und Einsatz liegen jedoch in der alleinigen Verantwortung des Anwenders, der die einwandfreie Tauglichkeit der Nebelkammer und ihrer Bauteile vor einem beabsichtigten Gebrauch zu überprüfen hat. Der Autor übernimmt keine ausdrückliche oder stillschweigende Garantie für die Eignung, Funktion oder Handelsfähigkeit der Nebelkammer bei einem spezifischen oder allgemeinen Gebrauch, und kann bei Nichtbeachtung für keinen zufälligen Schaden oder Folgeschaden haftbar gemacht werden.

([Fischer Elektronik: Technische Erläuterungen](#))

Kapitel 4

Kurzbeschreibung

Das wesentliche Funktions-Prinzip einer Diffusionsnebelkammer ist die Erzeugung eines *Temperaturgefälles* zwischen Deckel und Boden der Kammer, wodurch in einer bestimmten Zone der Kammer ein *übersättigter Zustand* eines Luft-Alkohol-Gemisches entsteht (Gläser 1976).

Bei der hier beschriebenen *Diffusionsnebelkammer* wird die Bodenplatte der Kammer mit Hilfe von sechs *Peltierelementen* auf -10°C bis -15°C gekühlt. Peltierelemente transportieren Wärme von einer Peltierelement-Seite (*Kaltseite*) zur anderen Peltierelement-Seite (*Warmseite*). Dabei ist für eine korrekte Funktion der Elemente das Abführen der Wärmemenge auf der Warmseite der Peltierelemente unerlässlich. Ist der notwendige Wärmeabtransport nicht gewährleistet, das heißt, wird die Wärme zu wenig bzw. zu langsam abtransportiert, ist die erforderliche Kühlleistung nicht zu erreichen und es kann unter Umständen zu einer Überhitzung des Bauteils kommen, was die Zerstörung desselben zur Folge haben kann. Um somit einen ausreichenden Wärmeabtransport sicherzustellen, liegen die Peltierelemente mit ihrer Warmseite auf einer 4 mm starken Aluminiumplatte, die mit Wasser gekühlt wird. Hierfür ruht die Platte auf einem Wasserbecken aus Polyvinylchlorid, besser bekannt unter dem Kurzzeichen PVC, das mit zwei Bohrungen für einen ausreichenden Kühlwasserzu- und -abfluss versehen ist.

Der Kammerboden besteht aus einer 8 mm starken Aluminiumplatte, die auf den sechs Peltierelementen aufsitzt und durch diese gekühlt wird. Um die Kondensationsstreifen gut erkennen zu können, ist die Oberseite der Platte für einen besseren Kontrast schwarz lackiert. Seitlich abgeschlossen wird die Kammer durch Glaswände, welche auf der Bodenplatte aufstehen. Auf den Glaswänden sitzt abschließend ein 45 mm hoher PVC-Rahmen. In diesen ist ein Hochspannungsgitter für den Ionenabtransport („Ionensauger“), zwei Isopropanol (2-Propanol) führende Kupferrinnen mit je einem Heizelement, die Isopropanol-Zuleitung und eine Zuleitung für die Einbringung radioaktiver Gase untergebracht. Die Kammer wird mit einem Deckel aus Glas abgeschlossen.

Als Spannungsquelle für nahezu alle elektrischen Bauteile der Kammer dient ein handelsübliches 220 W Computer-Netzteil. Ausschließlich die Versorgung des „Ionensaugers“ mit Hochspannung muss von einem externen Hochspannungsgetzgerät übernommen werden.



Abbildung 4.1: Die fertiggestellte Diffusions-Nebelkammer (Prototyp)

Auf Knopfdruck fördert eine Pumpe Isopropanol aus einem Vorratsbehälter in die Kupferrinnen der Kammer. Durch leichtes Erwärmen mittels der 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.

Um eine gute Sichtbarkeit der Kondensationsstreifen zu gewährleisten, wird das Kammerinnere mit 17 lichtstarken, weißen Leuchtdioden von der Seite beleuchtet.

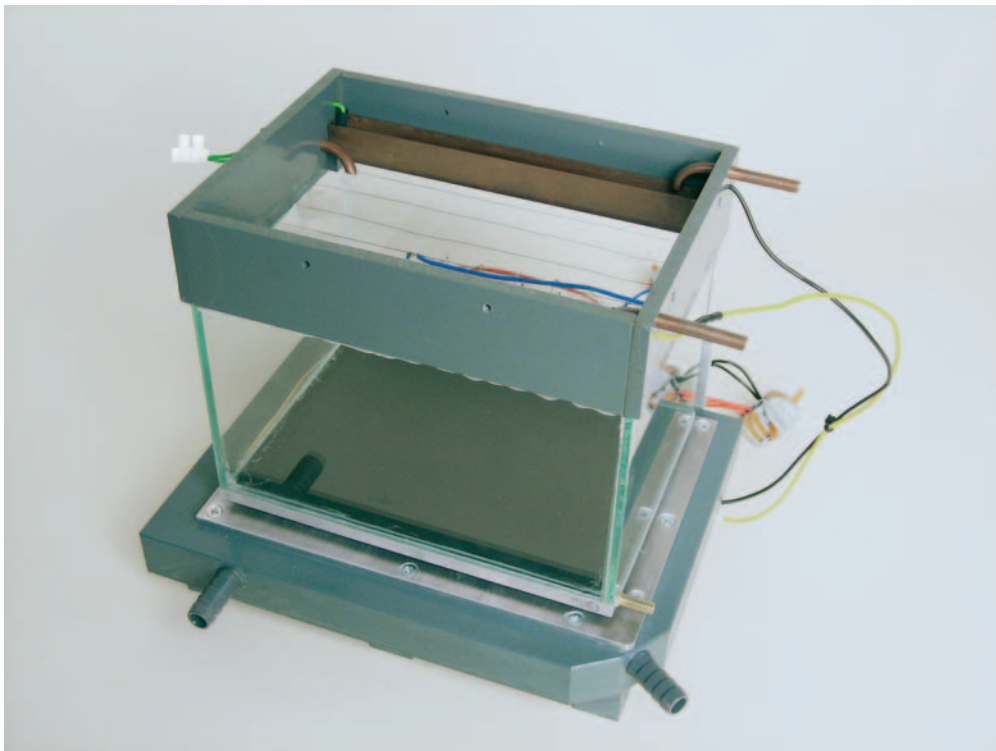


Abbildung 4.2: Die eigentliche Nebelkammer

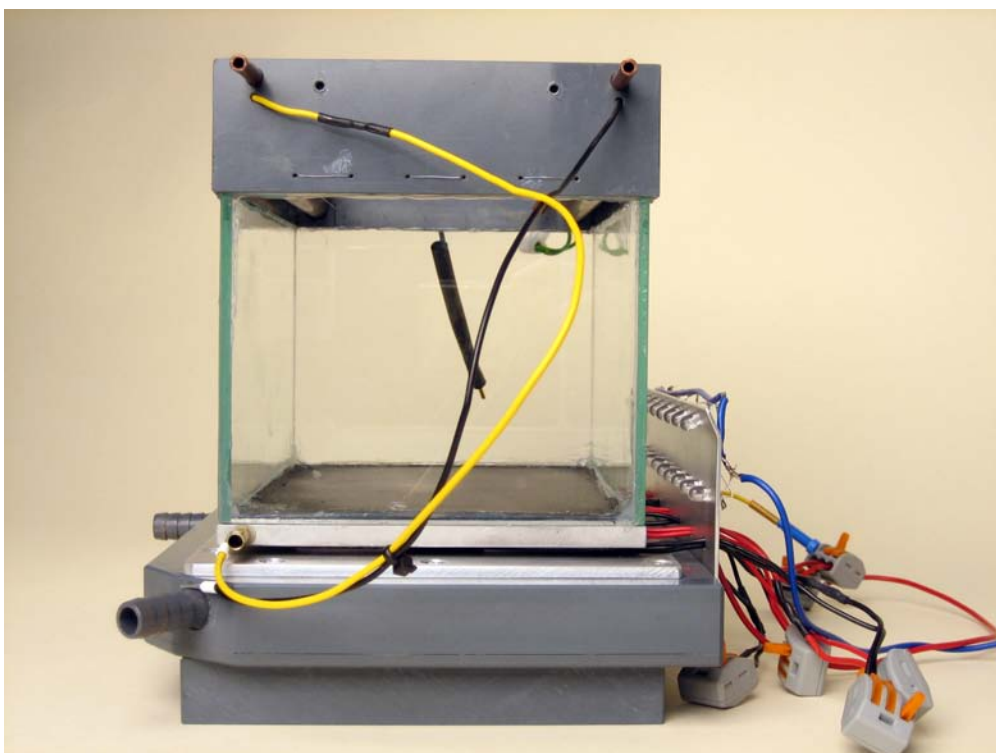


Abbildung 4.3: Die eigentliche Nebelkammer

Nebelkammeraufnahmen

Im folgenden Abschnitt werden sechs Nebelkammeraufnahmen gezeigt, die mit dem Prototypen der zuvor beschriebenen Diffusionsnebelkammer erzeugt worden sind.

Bild 4.4a und 4.4b wurden durch das seitliche Beobachtungsfenster der Diffusionsnebelkammer (siehe Abbildung 4.1 auf Seite 30) aufgenommen. Auf beiden Bildern sind Nebelkammerspuren zu sehen, die von einem in die Kammer eingebrachten radioaktiven Mineral ausgehen. Es ist eine Besonderheit der Beobachtung der Nebelkammerspuren 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 zu erkennen ist.

Die Nebelkammeraufnahmen 4.5a, 4.5b, 4.6a und 4.6b sind vertikal zur Beobachtungsfläche durch das obere Fenster aufgenommen worden.

Bild 4.5a zeigt nochmals, jetzt aus anderer Perspektive, Spuren, die direkt von dem in der Kammer befindlichen radioaktiven Mineral ausgehen.

Bild 4.6a und 4.6b wurden unmittelbar nach der Injektion von Radon-Gas aufgenommen. Die auf den Bildern zu erkennenden „Gabelspuren“, das heißt zwei Spuren, die von annähernd demselben Raumpunkt auszugehen scheinen, sind dabei für den Zerfall von Radon-Gas charakteristisch (GSI: Schüler Labor). Der Grund für diese Spuren ist in der Zerfallsreihe von Radon zu finden. Radon zerfällt unter Emission eines α -Teilchens mit einer Halbwertszeit von 56 s in Polonium (Po216), das anschließend mit einer äußerst geringen Halbwertszeit von 0,15s wiederum unter Emission eines α -Teilchens in das instabile Pb212 zerfällt, wodurch letztlich die „Gabelspuren“ entstehen (GSI: Schüler Labor; Hammer u. a. 1997; Rapp 2006).

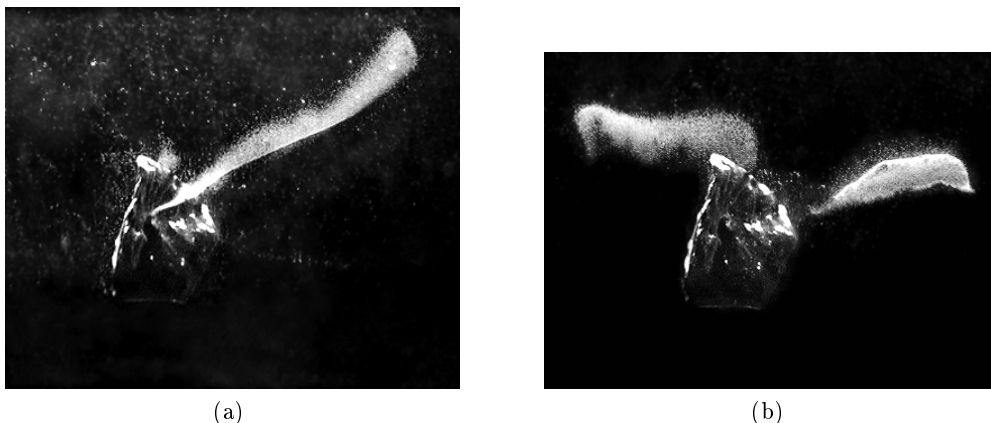
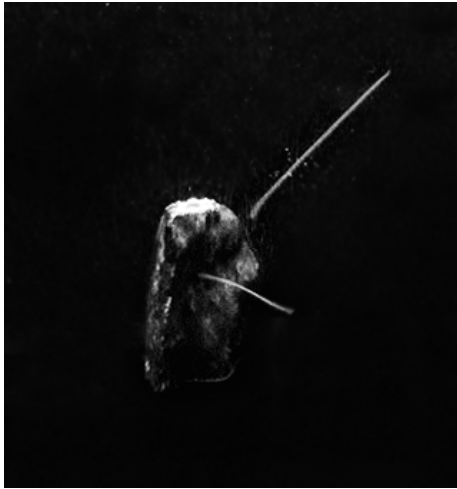


Abbildung 4.4: Nebelkammerspuren (von der Seite aufgenommen)

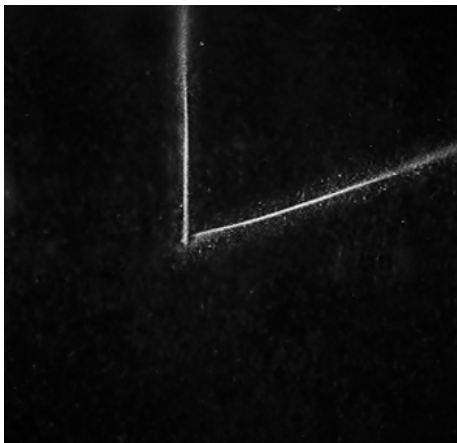


(a)

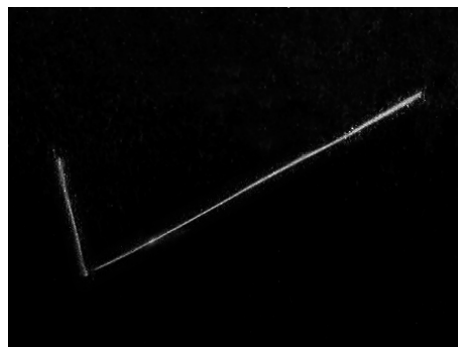


(b)

Abbildung 4.5: Nebelkammerspuren (von oben aufgenommen)



(a)



(b)

Abbildung 4.6: Nebelkammerspuren (von oben aufgenommen)

Kapitel 5

Material

Im folgenden wird das für den Bau der Diffusions-Nebelkammer benötigte Material aufgelistet.

Die in diesem Kapitel abgedruckten Tabellen (Tabelle 5.1 bis 5.5) sollen lediglich der Orientierung beim Lesen der Bauanleitung dienen. Im Anhang der Arbeit sind alle Materiallisten im *DIN A4 Format* abgedruckt. In diesen Listen werden zusätzlich die Kosten für einige Materialien aufgeführt (Stand: Januar 2006).

Zur Systematik der Materiallisten:

- *Spalte 1* der Tabellen weist allen in der Liste aufgeführten Objekten eine fortlaufende Nummer zu. Diese Nummer wird als „*Objekt-Nummer*“ des jeweiligen Materials bezeichnet. Dadurch kann jedem Teil *eindeutig* eine *Objekt-Nummer* zugewiesen werden.
- In *Spalte 2* wird lediglich die benötigte *Menge* des jeweiligen Objektes aufgeführt.
- *Spalte 3* weist diversen Materialien eine „*Bauteil-Nummer*“ zu. Diese Nummer beginnt immer mit einem Buchstaben. „*K*“ steht dabei für *Kammer*, „*E*“ für *Elektronik*, „*G*“ für *Gehäuse* und „*Z*“ für *Zusatz*. Die *Bauteilnummern* finden sich auch in den jeweiligen Zeichnungen wieder.
- *Spalte 4* benennt das jeweilige Objekt.
- In *Spalte 5* werden, sofern möglich, zur eindeutigen Identifizierung der jeweiligen Objekte Sachnummern bzw. Norm-Kurzbezeichnungen (z.B. ISO) angegeben.
- *Spalte 6* gibt Auskunft über die Art des verwendeten Werkstoffs.
- In *Spalte 7* werden die Maße der *unbearbeiteten Materialien* (*Halbzeuge*) in **Millimetern** angegeben.
- In *Spalte 8* finden sich unterschiedliche *Bemerkungen* zu einzelnen Objekten. Unter anderem Hinweise zu möglichen Bezugsquellen.

Die im Anhang abgedruckten Materiallisten sind um drei weitere Spalten ergänzt:

- In *Spalte 9* wird der Einzelpreis der verschiedenen Objekte angegeben. Bei größeren Verpackungseinheiten ist hier der Preis der jeweiligen Packung aufgeführt. Allerdings werden ausschließlich die Preise der kostenintensivsten Objekte angegeben.
- *Spalte 10* gibt den Gesamtpreis an.
- *Spalte 11* der Materialliste berücksichtigt einige kostengünstigere Alternativen, die bei einigen Objekten denkbar wären.

In diesem Kapitel werden überdies zu diversen Objekten zusätzliche wichtige und erklärende Hinweise gegeben.

Für den Bau der Kammer können grundsätzlich andere Materialien als die vorgeschlagenen eingesetzt werden. Allerdings muss dabei sichergestellt werden, dass das alternative Material die Aufgaben und Funktionen des ursprünglichen Objekts übernehmen kann.

Materialkosten: Die Materialkosten bewegen sich je nach eingesetzten Materialien zwischen **300 € und 400 €**. Dabei belaufen sich alleine die Kosten für die Peltierelemente auf 147 € und für das Gehäuse zwischen 60 € und 100 € (siehe Materiallisten im Anhang).

Bemerkungen zu einzelnen Objekten:

Zu Objekt 3: Die Druckschlauchtüllen aus PVC sind für Schläuche mit 10 mm Innendurchmesser. Die Tüllen sind mit einem Klebestutzen ausgestattet und werden in Ø12 mm Bohrungen geklebt.

ALTERNATIVE: PVC-Rohr mit einem Außendurchmesser von 10 mm, welches an Stelle der Schlauchtülle in die Bohrung geklebt wird. Jedoch ist zu beachten, dass der Innendurchmesser nicht zu gering ausfällt, da sonst der Wasserdurchfluss für eine optimale Kühlung zu gering sein könnte. Unter Umständen muss der Durchmesser der zu erstellenden Bohrung geändert werden. Weiterhin könnte auch eine Schlauchtülle mit Außengewinde eingesetzt werden. In diesem Fall muss jedoch ein Innengewinde gebohrt werden.

Zu Objekt 10-12: Hier kann, um Kosten zu sparen, eine einzige, mindestens $180 \times 6 \times 172$ mm große PVC-Platte, aus der dann die Einzelteile gesägt werden müssen, erworben werden.

Zu Objekt 15-16: Schiene und Rundstange werden lediglich zur Anfertigung der Rinne [K11] benötigt. Abschnitt 7.5 auf Seite 57 sollte beachtet werden.

Zu Objekt 17: Aus dem bei der Bearbeitung von Bauteil [K02], Objekt 2, anfallenden Reststück kann die Rinnenbefestigung hergestellt werden.

1	2	3	4	5	6	7	8
Objekt	Menge	Bauteilnummer	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung
1	1	K01	Beckenboden		PVC	175 x 4 x 230	
2	1	K02	Beckenwand		PVC	175 x 20 x 230	
3	2	K02.1	Druckschlauchtüllen 12 - 12		PVC		siehe unten
4	1		PVC-Kleber				z.B.: Tangit
5	1	K03	Wärmetauschplatte		Aluminium	148 x 4 x 198	
6	1	K04	Kühlplatte		Aluminium	130 x 8 x 180	
7	1	K05	Glaswand A		Glas	126 x 4 x 100	
8	1	K06	Glaswand A		Glas	126 x 4 x 100	
9	2	K07a/b	Glaswand B		Glas	176 x 4 x 100	
10	1	K08	PVC-Oberteil		PVC	134 x 6 x 45	
11	1	K09	PVC-Oberteil		PVC	134 x 6 x 45	
12	2	K10	PVC-Oberteil		PVC	172 x 6 x 45	
13	2	K11	Rinne		Kupfer	171 x 0,5 x 44	
14	4	K11	Rinne		Kupfer	20 x 0,5 x 25	
15	1		Schiene			20 x 9 x 400	Metall oder Hartholz
16	1		Rundstange			9	Metall oder Hartholz
17	4	K12	Rinnenbefestigung		PVC	20 x 15 x 30	Reststück von [K02]
18	3	K13	90°Rohrbogen		Kupfer	5 x 1 x 400	weiches Kupfer
19	1		Rundstange			9	Metall oder Hartholz
20	1	K14	LED-Leiste		Aluminium	180 x 1,5 x 70	
21	20	E01	LED WEISS 5 MM 10000 MCD				Conrad: Artikel-Nr.: 176724 - 62
22			2-Komponentenkleber				z.B. UHU plus schnelfest oder sofortfest
23	5	E02	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 120R				Conrad
24	1	E03	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 180R				Conrad
25	2	K15	Heizröhrchen		Kupfer	6 x 0,2 x 160	Rundrohr

Tabelle 5.1: Materialliste Seite 1/6

1	2	3	4	5	6	7	8
Objekt	Menge	Bauteilnummer	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung
26	6	E04	Drahtwiderstand 5W 1R2				Conrad: Artikel-Nr.: 401781 - 62
27	1		V2A-Rundrohr, Innendurchm. ca. 0,9 mm		V2A	100	
28	1		Aderendhülsen ohne Kunststoffkragen 0,5 mm ² x 6 mm				Conrad: Artikel-Nr.: 611891 - 62; 100 St./Pack
29	1	K16	Vorratsbehälter		PVC		Laborbedarf; Vierkant-Weithals-Behälter 200 ml
30	1		gerade Einschraubverschraubung 8/6 - R1/8				Pneumatik
31	3	K17	Erhöhung		PVC	145 x 20 x 20	Reststück von [K02]
32	9		Senk-Blechschrabe	ISO 7050 ST3,5 x 13 - C			
33			Silikon				
34			Acrylharz-Lack (schwarz)				Kunstharzlack
35			Ionensauger				Draht; d=0,22mm
36	2		Linien-Blechschrabe	ISO 7049 ST3,5 x 9,5 - C			
37	1	E05	Lochrasterplatte			100 x 75	Conrad: Artikel-Nr.: 529580 - 62
38	2		Abstandsboizen M3 10x6x6				Conrad: Artikel-Nr.: 521638 - 62; 10 St./Pack
39	2		Flachkopfschraube	ISO 7045 - M3 x 5			
40	1	E06	Computer-Netzteil				gebraucht, aus altem PC
41	1	E06	Computer-Netzteil				neu
42	1	E7IC1	einstellbarer Spannungsregler	LM350T			Conrad: Artikel-Nr.: 176052 - 93
43	1	E7R1	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%				Conrad
44	1	E7R2	Präzisions-Potentiometer 2,5K				Conrad: Artikel-Nr.: 424153 - 93
45	1	E7C1	Keramikkondensator 0,1uF				Conrad
46	1	E7C2	Keramikkondensator 1uF				Conrad
47	2		Montagematerial für TO-220				Conrad: Artikel-Nr.: 153290 - 62; vollst. Set
48			Wärmeleitpaste				
49			Steckerstifte				Conrad: Artikel-Nr.: 526274 - 93; 100 St./Pack
50			Steckschuhe 100 St.				Conrad: Artikel-Nr.: 526290 - 93; 100 St./Pack

Tabelle 5.2: Materialliste Seite 2/6

1	2	3	4	5	6	7	8
Objekt	Menge	Bauteilnummer	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung
51	1	E8IC1	einstellbarer Spannungsregler	LM350T			Conrad: Artikel-Nr.: 176052 - 93
52	1	E8R1	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 240R o. 357R o. 287R				Conrad
53	1	E8R2	Präzisions-Einstellregler, 500R o. 1k o. 2k				Conrad
54	1	E8C1	Keramikkondensator 0,1uF				Conrad
55	1	E8C2	Keramikkondensator 1uF				Conrad
56	2		Flachsteckhülsen				Conrad
57	1	E09	Temperaturschaltmodul				Conrad Artikel-Nr.: 126608 - 62
58	1	E10IC1	einstellbarer Spannungsregler	LM317T			Conrad Artikel-Nr.: 176001 - 93
59	1	E10R1	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 240R				Conrad
60	1	E10R2	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 332R				Conrad
61	1	E10C1	Keramikkondensator 0,1uF				Conrad
62	1	E10C2	Keramikkondensator 1uF				Conrad
63	1	E11	Pumpe				Pumpe Autowaschanlage
64	1	G01	Grundplatte		Aluminium	350 x 4 x 350	
Alternative zu O64			Grundplatte		PVC	350 x 15 x 350	
65	1	G02	Profil		Aluminium	1000	alfer, OBI
66	1	G03	Gewindestange M8			1000	alfer, OBI
67	1	G04	Frontplatte		Aluminium	320 x 3 x 207	
68	1	G05	Seitenteil L		Aluminium	320 x 1,5 x 207	
Alternative zu O68			Seitenteil L		PVC		
69	1	G06	Seitenteil R		Aluminium	320 x 1,5 x 207	
Alternative zu O69			Seitenteil R		PVC		
70	1	G07	Seitenteil H		Aluminium	320 x 1,5 x 207	
Alternative zu O70			Seitenteil H		PVC		
71	1	G08	Deckel		PVC	350 x 4 x 350	

Tabelle 5.3: Materialliste Seite 3/6

1	2	3	4	5	6	7	8
Objekt	Menge	Bauteilnummer	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung
72	5		Anschraubpuffer 20 x 13 x 4 x 10				Conrad Artikel-Nr.: 522435 - 62
73	5		Geraetefuss, selbstklebend 22,3 x 10,1				Conrad Artikel-Nr.: 525847 - 62
74	5		Senkschraube + Mutter	ISO 2009 - M4 x 12			mit Schlitze; DIN 963; OBI: 20 St./Pack, 16mm
75	4		Sechskantmutter	ISO 4032 - M8			OBI: 10St./Pack
76	24		Zylinderschraube	ISO 4762 - M3 x 10			mit Innensechskant; DIN 912; OBI: 16 St./Pack
77	24		Zylinderschraube + Mutter	ISO 1207 - M3 x 10			mit Schlitze; DIN 94; OBI: 26 St./Pack
78	24+2		Sechskantmutter	ISO 4032 - M3			OBI: 38St./Pack
79	6		Linsen-Blechschrabe	ISO 7049 ST3,5 x 16 - C			
80	4		Kühlwasserschläuche				Phywe 39290.00; €/m; innen 10mm, außen 14mm
81	2		Schlauchschellen				
82	6	E12	Peltier-Element QC-71-1.4-8.5M				Conrad Artikel-Nr.: 189182 - 62
83	6	E12	Peltier-Element				Pollin; Alternative zu O82
84	1		Ringkabelschuh				Conrad; Lochdurchmesser 3,2mm
85	1		Schlauch				Phywe 39297.00; €/m; innen 5mm, außen 7mm
86	1		Rohr Gasinjektion				weiches Metall; geringe Wandstärke
87	1		Lüsterklemmen				12 bis 16 polige Reihe
88	3		Schraube + Mutter				Verschraubung der Lüsterklemmenreihe
89			Aderendhülsen verschiedene Größen				
90	1	E13	LED 5mm rot				Conrad: Artikel-Nr.: 184900 - 62
91	1	E14	Einbaubuchse 4mm gelb				Conrad Artikel-Nr.: 731583 - 62
92	1	E15	Einbaubuchse 4mm blau				Conrad Artikel-Nr.: 731580 - 62
93	10		Verbindungsklemme 3-Leiter				Conrad: Artikel-Nr.: 522374 - 62
94	2	E16	Kippschalter; Ein/Aus				Conrad: Artikel-Nr.: 701147 - 93
95	4	E17	Taster; Schließer				Conrad: Artikel-Nr.: 705012 - 93
96	1		0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 62R o. 147R				Conrad

Tabelle 5.4: Materialliste Seite 4/6

1	2	3	4	5	6	7	8
Objekt	Menge	Bauteilnummer	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung
97			Dichtungsgummi				Conrad: Artikel-Nr.: 318450 - 62
98	1		Linsen-Blechschrabe	ISO 7049 ST2,9 x 6,5 - C			
99	4	G09	Glasdeckelhalterung				Reststück von [G08]
100	10		Linsen-Blechschrabe	ISO 7049 ST2,9 x 13 - F			
101	1	K18	Glasdeckel		Glas	184 x 4 x 134	
102	4		Rändelmutter M8				alfer; OBI
103	4		Flügelmutter M8				OBI: 5St./Pack
104	2		Y-Schlauchverbinder				Phywe 47518.01; 2 St./Set
105			Wärmeleitkleber				
106	1		Poti-Knopf; 6mm Achse, schwarz	Mentor: Serie 20			Conrad: Artikel-Nr.: 183633 - 62
107	1		Abdeckkappe; rot	Mentor: Serie 20			Conrad: Artikel-Nr.: 719714 - 62
108	1		Zeiger; schwarz	Mentor: Serie 20			Conrad: Artikel-Nr.: 183607 - 62
109			Schrumpfschlauch versch. Größen				
110			Litzenkabel; verschiedene Querschnitte u. Farben				
111			2-Propanol (Isopropanol)				
112	1		Mutter R1/8 mit Flansch				
113	1		Schlauch				passend zu Objekt 30
114	1	Z01	Aufnahme Präparat		Edelstahl	41 x 1,5 x 25	
115	1	Z02	Kammerdeckel Präparathalter		Acrylglas	siehe Zeichnung	
116	1	Z03	Gewindestange M8		Edelstahl	230	
117	1		Hutmutter M8				
118	1		Sechskantmutter M8				
119	1		Flügelmutter / Rändelmutter				
120	1		Widerstand 10M				
121	1		Kunststoffgrund				z.B. Dulux: Universalgrund auf Kunstharzbasis

Tabelle 5.5: Materialliste Seite 5/6

1	2	3	4	5	6	7	8
Objekt	Menge	Bauteilnummer	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung
122	12		Ringschraubösen 8 x 3 mm				OBI: 20St./Pack
123	1		Anschlussbuchse				Conrad: Artikel-Nr.: 733695 - 62
124	1		Stecker 2 mm				Conrad: Artikel-Nr.: 731242 - 62
125	1		Relais	FRS1 B S VDC 12			Conrad: Artikel-Nr.: 505196 - 62
126	1		Batteriehalter				Conrad: Artikel-Nr.: 615625 - 62
127	1		Batterieclip				Conrad: Artikel-Nr.: 624691 - 62
128	2		Batterie Mignon (Typ AA)				
129	2		Spritze 50ml				
130	1		Glühstrumpf				z.B. Phywe 08360.00

Tabelle 5.6: Materialliste Seite 6/6

Zu Objekt 18: Da das Kupferrohr mit der Hand gebogen werden soll, muss das Rohr aus weichem Kupfer bestehen. Weiterhin muss das Rohr für einen guten Hebel entsprechend lang sein. Deshalb ist hier eine Gesamtlänge von 400 mm angesetzt (siehe auch Abschnitt 7.7 auf Seite 62).

Zu Objekt 19: Die Rundstange wird lediglich zur Anfertigung der 90°-Rohrbögen [K13] benötigt.

Zu Objekt 25: Der Innendurchmesser der Kupferrohre richtet sich nach dem Außendurchmesser der für die Heizröhrchen verwendeten Hochlastwiderstände, da diese in die Röhrchen eingeschoben werden. Je geringer das Spiel der Passung von Röhrchen und Widerstand, desto besser die Wärmeleitfähigkeit nach außen. Jedoch muss darauf geachtet werden, dass beim Einführen der Widerstände in das Kupferrohr nicht zu viel Isolation abgerieben wird, da sonst eine leitende Verbindung zwischen Gehäuse und Widerstand entstehen kann. Dies ist mit einem Ohmmeter zu prüfen.

Die angegebene Bemaßung für das Kupferröhrchen entspricht den Maßen, welche beim Prototypen Verwendung fanden.

Zu Objekt 37: Alternativ kann auch statt einer Lötpunktrasterplatte eine einfache Lochrasterplatte (Conrad: Artikel-Nr.: 528447 - 62) verwendet werden.

Zu Objekt 40: Als Spannungsquelle kann ein Computernetzteil eines ausgemusterten Desktops verwendet werden. Das Netzteil muss jedoch mindestens

- einen Ausgang mit +5 V mit einer möglichen Belastung von 22 A,
- einen Ausgang mit +12 V mit einer möglichen Belastung von 6 A und
- einen Ausgang mit −5 V mit einer möglichen Belastung von 0,1 A

aufweisen.

Jedoch erleichtert sich die Schaltung der elektronischen Bauteile erheblich, wenn das Netzteil stattdessen über

- einen Ausgang mit +3,3 V, belastbar mit ca. 3 A,
- einen Ausgang mit +5 V, mindestens belastbar mit 27 A, und über
- einen Ausgang mit +12 V, belastbar mit ca. 6 A,

verfügt.

Da sich die verwendeten Bauteile unter Umständen bezüglich ihrer Anforderungen an die Spannungsversorgung zu den im Prototypen verbauten unterscheiden können, werden in der Bauanleitung in Kapitle 9 auf Seite 79 mitunter unterschiedliche Schaltungen zur Verfügung gestellt, die eine Anpassung an die eigenen Gegebenheiten erleichtern sollen.

Zu Objekt 47: Hier handelt es sich um ein vollständiges Set für die ordnungsgemäße Montage von Halbleitern (Transistoren, Spanungsregler, etc.). Inhalt: 1 Glimmerscheibe, 1 Isolierbuchse, 1 Zylinderkopfschraube, 1 Mutter M3

Zu Objekt 63: Hierbei handelt sich um eine Wischwasser-Pumpe aus einem Kraftfahrzeug. Um die Kosten für die Nebelkammer gering zu halten, kann eine gebrauchte Pumpe hergenommen werden. Vielleicht kann hier sogar eine Pumpe kostenlos organisiert werden (ausgemusterter PKW u. Ä.). Im Übrigen ist eine Wischwasser-Pumpe vermutlich gegenüber Isopropanol resistent, da dieser Alkohol ein Bestandteil zahlreicher Frostschutzmittel ist.

Zu Objekt 64: Alternativ könnte auch statt einer Grundplatte aus Aluminium eine kostengünstigere Platte aus PVC verwendet werden. Jedoch muss dann, um die gleiche Stabilität zu erreichen, eine mindestens 10 bis 15 mm starke Platte, zum Einsatz kommen. Die Kosten für eine 350×350 mm große und 10 bis 15 mm starke PVC-Platte belaufen sich auf ca. 8 bis 15 €. Achtung, wird Objekt 64 durch eine stärkere Platte ersetzt, wirkt sich dies auf verschiedene Komponenten des Gehäuses, wie zum Beispiel den Gewindestangen [G03], Objekt 66, oder die Länge der Senkschrauben, Objekt 74, aus (siehe Kapitel 10 auf Seite 87).

Zu Objekt 65: Das hier verwendete Profil wird von der Firma „*alfer*“ hergestellt und ist beispielsweise bei „*OBI*“ erhältlich. Genauere Bezeichnung: „*combitech-Profile*“, Rohre, 2 Schenkel 90°

Zu Objekt 66: Hersteller der verbauten Gewindestange ist die Firma „*alfer*“ (siehe auch Hinweise zu Objekt 65)

Zu Objekt 68-70: Auch die Seitenteile aus Aluminium können, wie auch schon in den Hinweisen zu Objekt 64 angedeutet, durch kostengünstigere Platten aus PVC ersetzt werden. Schwachpunkte wären eine schlechtere Stabilität und Wärmeableitung.

Zu Objekt 72: Anstelle der Anschraubpuffer, können auch lediglich selbstklebende Gerätefüße, Objekt 73, verwendet werden.

Zu Objekt 74: Die benötigte Nennlänge beträgt 12 mm. Bei Obi ist diese Nennlänge beispielsweise nicht erhältlich. Die nächst längeren Schrauben haben eine Nennlänge von 16 mm. Diese müssen möglicherweise mit einer Hand-Metallsäge auf das benötigte Maß gekürzt werden. Selbstverständlich können auch hier alternativ Senkschrauben mit Kreuzschlitz (ISO 7046-1 - M4×14) verwendet werden.

Zu Objekt 76: Hier können natürlich auch alternativ die kostengünstigeren Zylinderschrauben mit Schlitz, Objekt 77, verwendet werden.

Zu Objekt 82: Die Kosten für die Nebelkammer können durch kostengünstigere Peltierelemente erheblich gesenkt werden. So sind zum Beispiel bei „*Pollin Electronic*“ Elemente für ca. 15 € statt 24,50 € pro Stück erhältlich. Es muss allerdings beachtet werden, dass Kühlung und Versorgungsspannung auf die Peltierelemente (Objekt 82) abgestimmt worden sind. Es ist fraglich, in wie weit andere Elemente (Objekt 83) kompatibel zu dem hier beschriebenen Aufbau sind.

Zu Objekt 102: Hersteller der eingesetzten Rändelmutter ist die Firma „*alfer*“ (siehe auch Hinweise zu Objekt 65)

Kapitel 6

Allgemeines und grundlegende Techniken

6.1 Allgemeines

Vor allen Arbeiten am jeweiligen Werkstück, wie zum Beispiel dem Bohren und Sägen, sind die Maße der zugehörigen Zeichnung auf das Werkstück durch anreißen oder anzeichnen zu übertragen. Auf diese grundlegenden Arbeitsschritte wird in der folgenden Bauanleitung, insbesondere im Kapitel 7 auf Seite 49, *nicht immer* extra hingewiesen. Prinzipiell werden, so weit nicht anders angegeben, *alle Maße in Millimeter* angegeben.

Alle relevanten Zeichnungen zum Bau der Nebelkammer sind im Anhang der Bauanleitung im *DIN A4 Format* zu finden. Nutzen sie bitte diese Exemplare zum Anreißen bzw. Anzeichnen. Soweit nichts anderes angegeben ist, sind die Zeichnungen, mit Ausnahme der Isometrieansichten, im Maßstab 1:2 angefertigt. *Die im Text abgedruckten Zeichnungen dienen lediglich der besseren Orientierung beim Durchlesen der Bauanleitung.*

6.2 Spanende Formgebung

Spanen (veraltet: *Zerspanung*) ist ein mechanisches Fertigungsverfahren bei der mit einem schneidenden Werkzeug *Späne* (Werkstoffteilchen) von einem Werkstoff *abgetrennt* werden. Wird dabei die geometrische Form eines Werkstoffs verändert und der *Zusammenhalt des Werkstoffs örtlich durch Spanen* mit geometrisch bestimmten Schneiden, zum Beispiel durch Drehen, Bohren, Sägen, *aufgehoben*, spricht man von der *spanenden Formgebung* (Braun u. a. 1999). Besonders charakteristisch für dieses Fertigungsverfahren ist die *Spanbildung* an der Werkzeugschneide.

6.2.1 Bohren

Das Arbeitsergebnis beim Bohren, wie bei fast allen spanenden Fertigungsverfahren, hängt im wesentlichen von der richtigen Wahl der sogenannten Eingangsgrößen ab. Beim Bohren am wichtigsten sind

- die Schnittgeschwindigkeit v_c ,
- die Vorschubgeschwindigkeit v_f und
- die Ableitung der Wärme, welche beim Spanen entsteht.

Zumeist kann die an der Bohrmaschine einzustellende Drehzahl n für die jeweils gewählte Schnittgeschwindigkeit v_c und den jeweiligen Bohrerdurchmesser auf einem Drehzahlschaubild (Abbildung 6.1) abgelesen werden. Die Schnittgeschwindigkeit v_c ist somit abhängig von der Drehzahl n und dem Bohrerdurchmesser d .

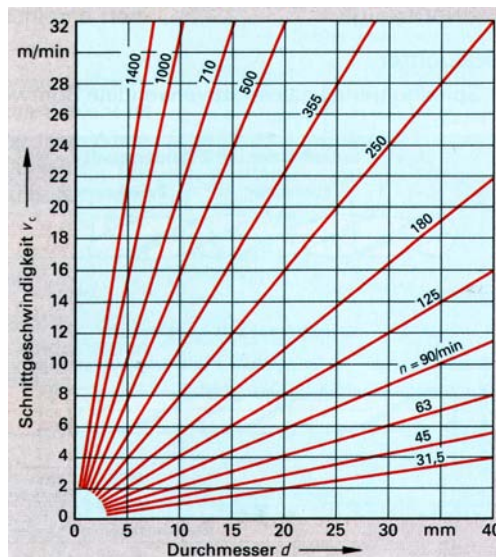


Abbildung 6.1: Drehzahlschaubild einer Bohrmaschine (Braun u. a. 1999)

Der Einsatz einer Tischbohrmaschine oder einer vergleichbaren Apparatur, wie zum Beispiel einem Bohrständer mit Handbohrmaschine, erleichtert genaues und absolut senkrechtes Bohren. Für alle Bohrungen, die beim Bau der Nebelkammer nötig sind, ist der Einsatz einer solchen Hilfe empfehlenswert.

Was die Beachtung der Schnittgeschwindigkeiten v_c betrifft, ist es offensichtlich, dass in den wenigsten Fällen eine Bohrmaschine mit stufenlos regelbarer Drehzahl zur Verfügung steht, jedoch ist es sinnvoll die angegebenen Schnittgeschwindigkeiten v_c bzw. die Drehzahl n als Richtwerte in die Bearbeitung des Materials einfließen zu lassen.

Für das positionsgenaue Anbohren ins Volle, vor allem bei größeren Bohrungen, sollte ein Zentrierbohrer eingesetzt werden. Überdies erleichtert ein Ankönnen der Lochmitten den Umgang mit dem Bohrer erheblich und sollte bei

jeder durchzuführenden Bohrung nach dem Anreißen der grundsätzlich erste Arbeitsschritt sein.

Bohren von Kunststoffen

Ein vorherrschender Baustoff beim Bau der Nebelkammer ist Polyvinylchlorid, besser bekannt unter dem Kurzzeichen PVC. „Beim Zerspanen der Kunststoffe muss berücksichtigt werden, dass sie eine erheblich geringere Wärmeleitfähigkeit als Metalle besitzen und deshalb die beim Spanen entstehende Wärme schlecht abgeleitet wird.“ (Braun u. a. 1999, S. 331). Aus diesem Grund sollte man bei Bohrungen, die tiefer als 4 mm bis 5 mm gehen, mehrfach mit dem Bohrer ein- und ausfahren, um Späne, die beim Bohren entstehen, abzustreifen, da das Material sonst zusammenschmelzen könnte (Braun u. Garovic 2001). Generell ist ein langsames und vorsichtiges Bohren (geringe Vorschubgeschwindigkeit) empfehlenswert, insbesondere während des Wiederaustritts des Bohrers.

Zum Bohren von PVC wird zu Spiralbohrern aus Schnellarbeitsstahl (HSS) mit einem Seitenspanwinkel von 12° bis 16° und einem Spitzenwinkel von 95° geraten (Fischer u. a. 1999). Für die Schnittgeschwindigkeit v_c für PVC sollte ein Wert zwischen 30 und 80 m/min gewählt werden.

Bohren von Metallen

Beim Bau der Nebelkammer wird, was das Bohren von Metallen betrifft, ausschließlich in Aluminiumlegierungen gebohrt. Empfohlen werden:

- Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl (HSS)
- gefühlvolle Vorschubgeschwindigkeit v_f
- Schnittgeschwindigkeit v_c für Aluminiumlegierungen: $55 \dots 80 \text{ m/min}$

6.2.2 Sägen

Beim Bau der Nebelkammer wird ausschließlich Polyvinylchlorid (PVC) gesägt. Dafür wird beim Bau der Kammer eine Stichsäge mit einem feingezahntem Sägeblatt mit genügendem Freischnitt (geschränkt) eingesetzt (Fischer u. a. 1999). Beim Sägen ist darauf zu achten, dass das Werkstück immer mit Hilfe von Spannvorrichtungen gesichert und nahe an der Schnittstelle eingespannt wird (Braun u. a. 1999; Quelle: Werkzeugkunde). Es ist auch hier, wie beim Bohren, die geringe Leitfähigkeit von Kunststoffen zu beachten. Die beim Spanen entstehende Wärme lässt das Sägeblatt sehr warm werden. Hier sind eventuell kleine Pausen einzulegen. Um einen möglichst geraden Schnitt mit der Stichsäge zu erhalten, kann eine Leiste als Führungshilfe verwendet werden. Für gerade Schnitte kann auch eine Kreissäge zum Einsatz kommen.

6.3 Löten elektronischer Bauelemente

„Löten [...] ist das Verbinden metallischer Werkstoffe mithilfe eines Lotes.“ Dabei bilden Werkstoff und Lot eine Legierung und es entsteht eine unlösliche Verbindung. (Bastian u. a. 2004)

Beim Löten werden die Grundwerkstoffe vom Lot benetzt, ohne geschmolzen zu werden (Braun u. a. 1999). Das Lot fließt zwischen die beiden zu verbindenden Werkstoffe und es kommt zu einer festen, dichten, korrosionsbeständigen, strom- und wärmeleitenden Verbindung (Schnabel: elektronik-kompodium.de). Für ein gutes Arbeitsergebnis muss die Lötstelle metallisch rein sein und der Werkstoff ausreichend erwärmt werden (Bastian u. a. 2004). Aus diesem Grund muss darauf geachtet werden, dass der LötKolben die richtige *Arbeitstemperatur* aufweist. Ist der LötKolben zu kalt besteht die Gefahr einer „*Kaltlötstelle*“. Eine Lötstelle, die einen hohen elektrischen Widerstand besitzt. Ist die Arbeitstemperatur jedoch zu hoch verdampfen Bestandteile des Lotes und die Lötstelle wird spröde. Die optimale Temperatur ist erreicht, wenn das Lot bei Kontakt mit der Lötstelle zu schmelzen beginnt. Beim Löten elektronischer Bauelemente empfiehlt sich eine Arbeitstemperatur um die 350 °C. Allerdings kann die Arbeitstemperatur nur bei den wenigsten LötKolben, wie zum Beispiel bei Lötstationen, individuell eingestellt werden. Eine gelungene Lötstelle ist an einer glatten und metallisch glänzenden Oberfläche zu erkennen.

Soll das flüssige Lot auf Grund der *Kapillarwirkung* in den Lötspalt hineingezogen werden, sollte der Abstand zwischen den zu löttenden Teilen (Lötspalt) maximal 0,2 mm betragen. Jedoch spielt dieser Effekt beim Löten elektronischer Bauteile eine eher untergeordnete Rolle.

Wie schon Eingangs erwähnt wird beim Löten ein Lot als Hilfsstoff benötigt. In der Elektrotechnik werden Weichlote in Drahtform mit eingelagertem Flussmittel verwendet. Das heißt, beim Löten muss kein Flussmittel zugeführt werden. „Flussmittel sollen Oxide bzw. Verunreinigungen lösen oder chemisch binden, eine weitere Oxidation verhindern und den Fluss des Lotes begünstigen“ (Bastian u. a. 2004). In der Elektrotechnik wird häufig Kolophonium verwendet.

Praktische Durchführung: Zuerst sollte immer sichergestellt werden, dass die Lötspitze des Kolbens für die Größe der Lötstelle geeignet ist (Schnabel: elektronik-kompodium.de). Weiter muss die Spitze verzinkt und frei von Verunreinigungen sein. Zum Reinigen der Lötspitze eignet sich ein kleiner feuchter Schwamm.

Die zu verbindenden Teile müssen dicht zusammengefügt und dann mit dem LötKolben erhitzt werden (GLOBUS: [HAND/12](#)). Unter Umständen kann auch zuvor eine mechanische Verbindung zwischen den beiden zu verbindenden Metallen hergestellt werden. Drähte können miteinander verdreht und die Beine elektronischer Bauelemente an der Lötstelle auf der Platine umgeknickt werden. Sobald das Lot **auf** der Lötstelle (Nicht auf der Kolbenspitze!) schmilzt, ist die richtige Arbeitstemperatur erreicht. Das Lot kann nun hinzugeführt werden. Nachdem sich das Lötzinn verteilt hat, muss die LötKolbenspitze vorsichtig entfernt werden.

Litzendrähte sollten vor dem Löten verzinkt werden. Dafür werden die Litzen

mit den Fingern verdrillt, danach mit dem Lötkolben erhitzt und mit dem Lot verzinnt. Achtung! Elektronische Bauteile dürfen nicht zu stark erhitzt werden, da sie sonst beschädigt werden können.

Kapitel 7

Fertigung der Bauteile

7.1 Wasserbecken [K01] und [K02]

Das Wasserbecken (siehe Abbildung 7.4 auf Seite 52) besteht aus einem PVC-Rahmen, der die Beckenwand bildet, und einer PVC-Bodenplatte.

Für die Beckenwand [K02] (Objekt 2) wird die $230 \times 20 \times 175$ mm große PVC-Platte benötigt (siehe Tabelle 5.1 auf Seite 37).

Im ersten Schritt muss die äußere Grundform der PVC-Platte laut Abbildung 7.1 hergestellt werden. Bei den Sägearbeiten sind die Ausführungen des Abschnittes 6.2.2 auf Seite 45 zu beachten. Die Schnittkanten sind, falls nötig, mit einer feinen Feile zu entgraten.

Durch die Platte werden jetzt gemäß Abbildung 7.1 vier $\varnothing 10$ mm Bohrungen gesetzt. Hierfür werden zunächst $\varnothing 5$ mm Bohrungen gesetzt und diese mit einem $\varnothing 10$ mm Bohrer aufgebohrt. Ferner sind die Hinweise in Abschnitt 6.2.1 auf Seite 44, insbesondere dem Teilabschnitt „Bohren von Kunststoffen“, zu beachten.

Anschließend wird das Becken mit der Stichsäge (Sägeblatt wie oben) von Bohrung zu Bohrung ausgesägt (Führungslinie anreißen!) (siehe Abbildung 7.2). Das hierbei anfallende Reststück wird bei der Herstellung der Bauteile [K12] und [K17] weiter verarbeitet und daher noch gebraucht.

Letztlich sind die $\varnothing 12$ mm Bohrungen für den Kühlwasserzu- und -abfluss zu setzen. Da in die Bohrungen später die PVC-Schlauchtüllen (Objekt 3, Tabelle 5.1 auf Seite 37) geklebt werden, ist der Durchmesser der zwei Bohrungen durch den Außendurchmesser des Klebestutzen oder des alternativen PVC-Rohrs festgelegt. Denkbar wäre auch an Stelle der einklebbaren Schlauchtülle eine Tülle mit Außengewinde zu verwenden. In diesem Fall müsste allerdings ein entsprechendes Innengewinde in die Beckenwand gebohrt werden.

Die Bohrungen sollten möglichst nahe an den oberen Rand der Beckenwand gesetzt werden, Abstand zur Kante ca. 3 mm, damit Luftpolster, die bei Inbetriebnahme der Kammer im Beckeninnenraum entstehen, entweichen können. Diese würden den schnellen Wärmeabtransport behindern und somit einen problemlosen Betrieb der Kammer gefährden. Nichtsdestoweniger sollte der Abstand von 3 mm nicht unterschritten werden, da sonst ein Ausbrechen der verbleibenden, nur noch dünnen Wand zu befürchten ist. Werden, wie in

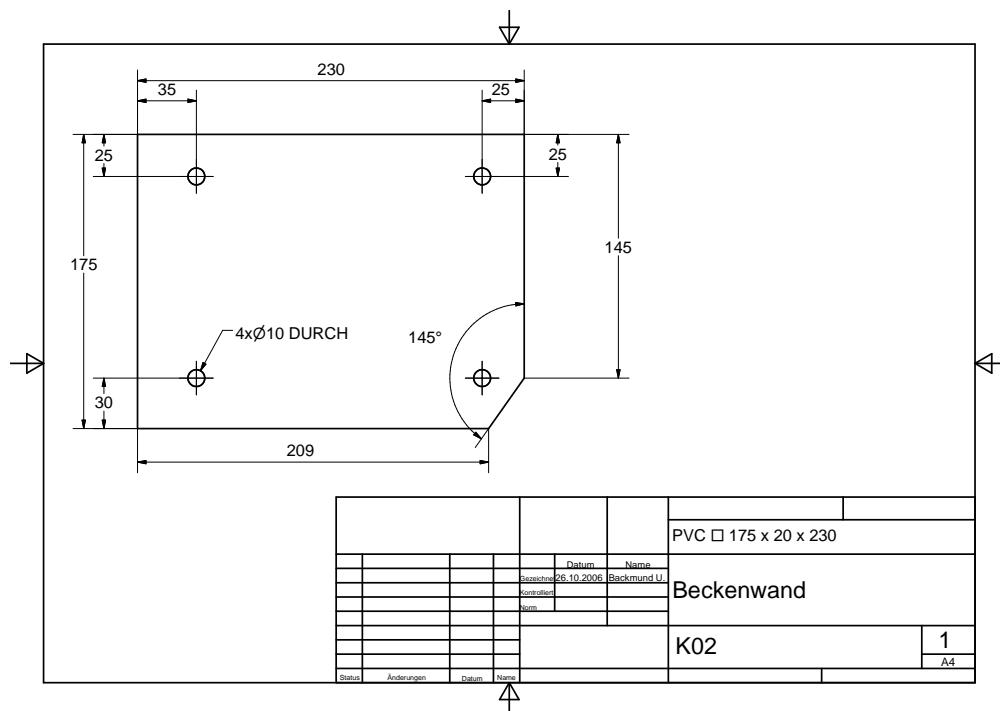


Abbildung 7.1: Bauteil K02, Seite 1/2

der Zeichnung für das Bauteil K02 auf Seite 2 (Abbildung 7.2) vorgesehen, für die Tüllen Ø12 mm Bohrungen gesetzt, können die Maße ohne Veränderung übernommen werden. Auch in diesem Fall sollte wieder mit einem kleinerem Bohrer, etwa Ø6 mm, vorgebohrt werden.

Die Bohrungen sollten mit einem Kegelsenker entgratet werden. Dazu wird der Kegelsenker einfach in das Bohrfutter der Bohrmaschine eingespannt und die Bohrung mit einer geringeren Schnittgeschwindigkeit als beim Bohren leicht angesenkt.

In die Bohrungen werden die beiden PVC-Schlauchtüllen mit einem PVC-Kleber (Objekt 4) geklebt. Für den verwendeten PVC-Kleber sind die Verarbeitungshinweise des Herstellers zu beachten.

Für den Beckenboden [K01], Objekt 1, wird die 230×175 mm große und 4 mm starke PVC-Platte benötigt (siehe Tabelle 5.1 auf Seite 37). Die PVC-Platte ist auf die Maße der Zeichnung für das Bauteil K01 auf Seite 1 (siehe Abbildung 7.3) mit der Stichsäge zu sägen. Auf eine gute Verspannung der Platte muss geachtet und das Werkstück nahe der Schnittstelle eingespannt werden (siehe Abschnitt 6.2.2 auf Seite 45). Nach dem Sägen ist die Schnittkante gegebenenfalls mit einer Feile zu entgraten.

Zuletzt wird die Beckenwand [K02] mit einem PVC-Kleber (Objekt 4) unter Beachtung der Verarbeitungshinweise auf den Beckenboden [K01] geklebt. Möglicherweise überstehende Kanten können nach ausreichender Trocknung des Klebers mit einer Feile vorsichtig beseitigt werden.

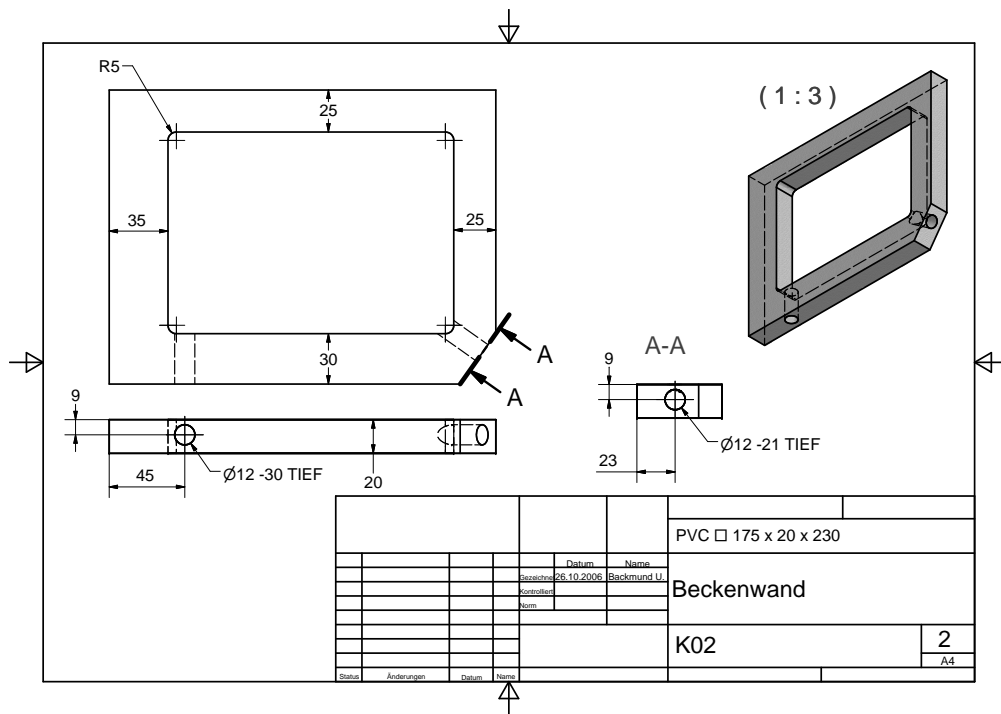


Abbildung 7.2: Bauteil K02, Seite 2/2

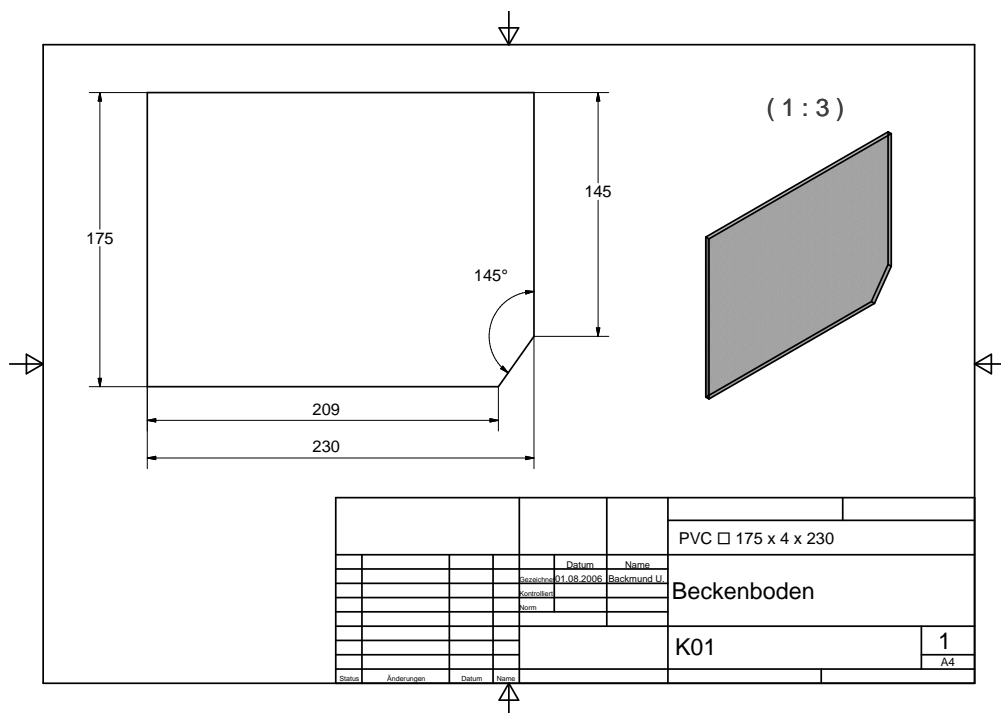


Abbildung 7.3: Bauteil K01, Seite 1/1

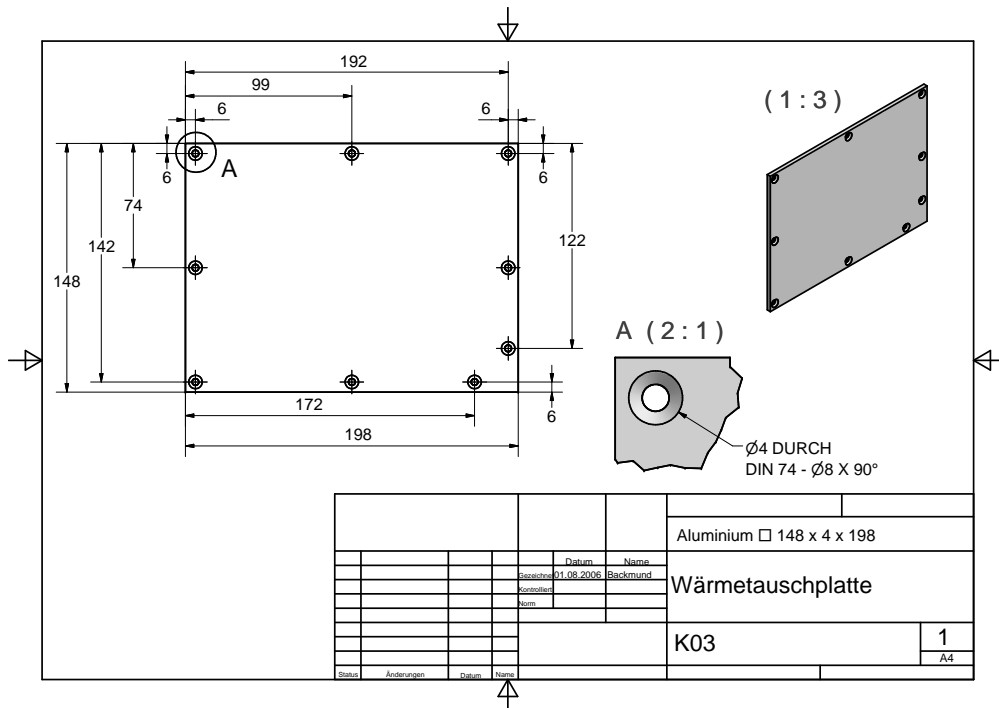


Abbildung 7.5: Bauteil K03, Seite 1/1

7.3 Kühlplatte [K04]

Für die Kühlplatte [K04], Objekt 6, ist eine 180×130 mm und 8 mm starke Aluminiumplatte herzunehmen (siehe Tabelle 5.1 auf Seite 37). Damit die Aluminiumplatte beim späteren Betrieb der Kammer auf äußere, kurzzeitige Temperaturveränderungen eher träge reagiert, wurde zur Erhöhung der Masse eine Plattenstärke von 8 mm gewählt. Da die Platte über die Peltierelemente zudem nur partiell gekühlt wird, ist bei einer dickeren Aluminiumplatte auf der Oberseite der Aluplatte eine bessere homogene Temperaturverteilung zu erwarten. Daneben wird der Kühlprozess und eine homogene Temperaturverteilung durch die ausgezeichnete Wärmeleitfähigkeit von Aluminiumlegierungen begünstigt.

Nach der Zeichnung für Bauteil K04 auf Seite 1 (siehe Abbildung 7.6) ist in die Oberseite der Aluminiumplatte eine ca. 5 mm tiefe Bohrung (*Bohrung B1*) mit einem Durchmesser von 5 mm zu setzen (Ankörnen!). Die Bohrungstiefe kann leicht mit einer Schiebelehre überprüft werden. Die Bohrung wird anschließend mit einem Kegelsenker auf einen Durchmesser von ungefähr 8 mm gesenkt.

Weiterhin ist in die Seite der Platte (siehe Zeichnung 7.6) eine ungefähr 10,5 mm tiefe $\varnothing 5$ mm Bohrung (*Bohrung B2*) zu setzen. Jedoch ist nur so weit in das Material zu bohren, bis die Bohrung auf *Bohrung B1* der Plattenoberseite gestochen ist. Die beiden Bohrungen werden als Abfluss für das 2-Propanol, welches sich auf der Oberseite der Kühlplatte sammelt, dienen. Damit später ein Schlauch an den Abfluss angeschlossen werden kann, muss in *Bohrung B2* mit einem 2-Komponentenkleber (Objekt 22) ein 25 mm langes Rundrohr mit einem

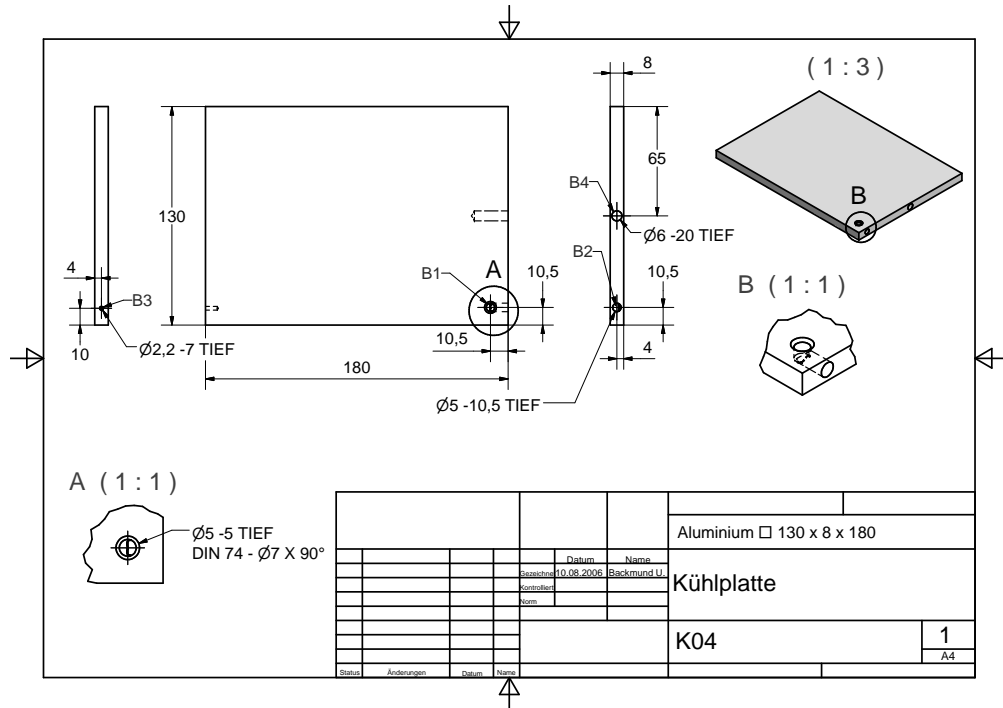


Abbildung 7.6: Bauteil K04, Seite 1/1

Außendurchmesser von 5 mm geklebt werden. Das benötigte Rundrohr kann beispielsweise mit einer Metall-Handsäge von dem Kupferrohr (Objekt 18), welches im Wesentlichen für die Herstellung der 90°-Rohrbögen gebraucht wird, abgesägt werden.

Bohrung B3 wird mit einem $\varnothing 2,2$ mm Bohrer in die Aluminiumplatte gesetzt. Diese wird für die Erdung der Platte benötigt.

Bohrung B4 wird einen Temperatursensor aufnehmen. Deshalb richtet sich der Bohrungsdurchmesser nach der Größe des Sensors und sollte so klein wie möglich gewählt werden. Beim Prototypen wurde eine ca. 20 mm tiefe $\varnothing 6$ mm Bohrung gesetzt (siehe Abbildung 7.6).

7.4 PVC-Oberteil [K08], [K09] und [K10]

Mit der Stichsäge sind jeweils, sofern nicht schon vorhanden, je zwei rechteckige PVC-Platten mit den Maßen 134×45 mm und 172×45 mm aus dem 6 mm starken Rohmaterial zu sägen. Da die PVC-Platten nachfolgend plan aneinander geklebt werden sollen, ist unbedingt auf einen möglichst geraden und sauberen Schnitt zu achten, was den Einsatz einer Führungshilfe unerlässlich macht. Darauf folgend sollten die Schnittkanten mit einer Feile entgratet werden. Auf die Hinweise in Abschnitt 6.2.2 auf Seite 45 wird nochmals hingewiesen.

Für die Bauteile [K08] und [K09], Objekt 10 & 11, sind Bohrungen gemäß der Zeichnung Bauteil K05, K06, K07 auf Seite 1 (siehe Abbildung 7.7) und Seite 2 (siehe Abbildung 7.8) zu setzen. In die Bohrungen B2 sollen später die

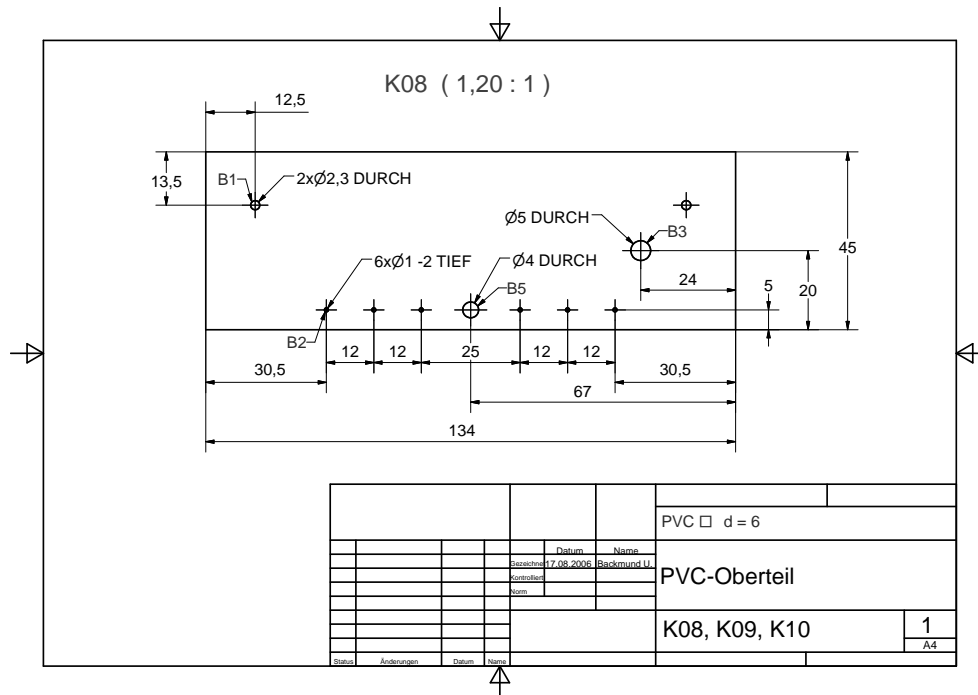


Abbildung 7.7: Bauteil [K08], Seite 1/2

Ringschraubösen, Objekt 122, eingeschraubt werden. Aus diesem Grund darf hier nur maximal 2 mm tief gebohrt werden.

Bei Bedarf sind die Bohrungen mit einem Kegelsenker zu entgraten. Auf die unverzichtbaren Arbeitsschritte des Anreißens und Ankörnens wird nicht mehr gesondert eingegangen (siehe hierzu Abschnitt 6.2.1 auf Seite 44).

Durch die *Bohrungen B1* werden Stromkabel für die Versorgung der Heizelemente führen. Deshalb ist der Durchmesser der *Bohrung B1* vom Kabeldurchmesser des verwendeten Kabels abhängig. Infolgedessen sind diese Maße den eigenen Gegebenheiten anzupassen. Ähnliches gilt für *Bohrung B4*. Durch sie führt das Anschlusskabel des Temperatursensors. Dementsprechend richtet sich der Bohrungsdurchmesser von *Bohrung B4* (siehe Abbildung 7.8) nach dem Durchmesser des verwendeten Sensorkabels. Die *Bohrungen B3* nehmen später die 90°-Rohrbogen [K13] (Objekt 18) mit einem Außendurchmesser von 5 mm auf. *Bohrung B5* wird die Anschlussbuchse, Objekt 123, für den Ionensauger aufnehmen. Auch hier ist der Bohrungsdurchmesser von der Anschlussbuchse abhängig.

Im nächsten Schritt werden die Ringschraubösen (Objekt 122) in die *Bohrungen B2* eingeschraubt. Dabei sollen die Ringschraubösen keinesfalls auf der gegenüberliegenden Seite aus dem PVC heraustreten. Durch die Ösen wird später der feine Draht des Hochspannungsgitters des Ionensaugers laufen.

Im letzten Arbeitsschritt werden die vier Bauteile, wie in Abbildung 7.9 dargestellt, mit einem PVC-Kleber miteinander verklebt. Die in die Bauteile [K08] und [K09] eingeschraubten Ösen müssen dabei in den PVC-Rahmen hineinschauen.

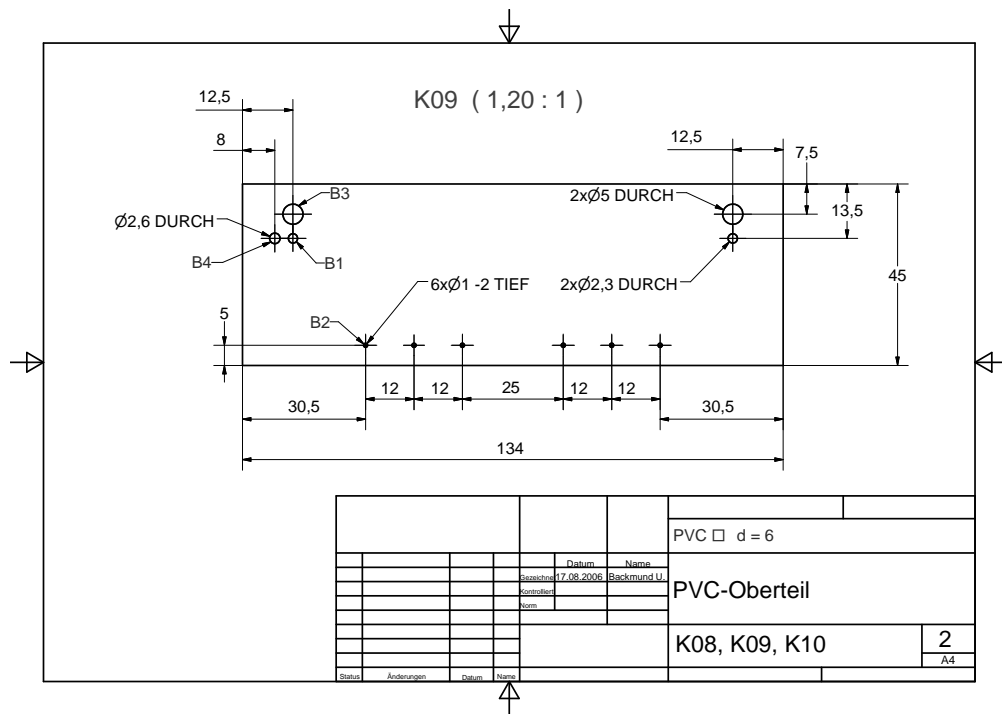


Abbildung 7.8: Bauteil [K09], Seite 2/2

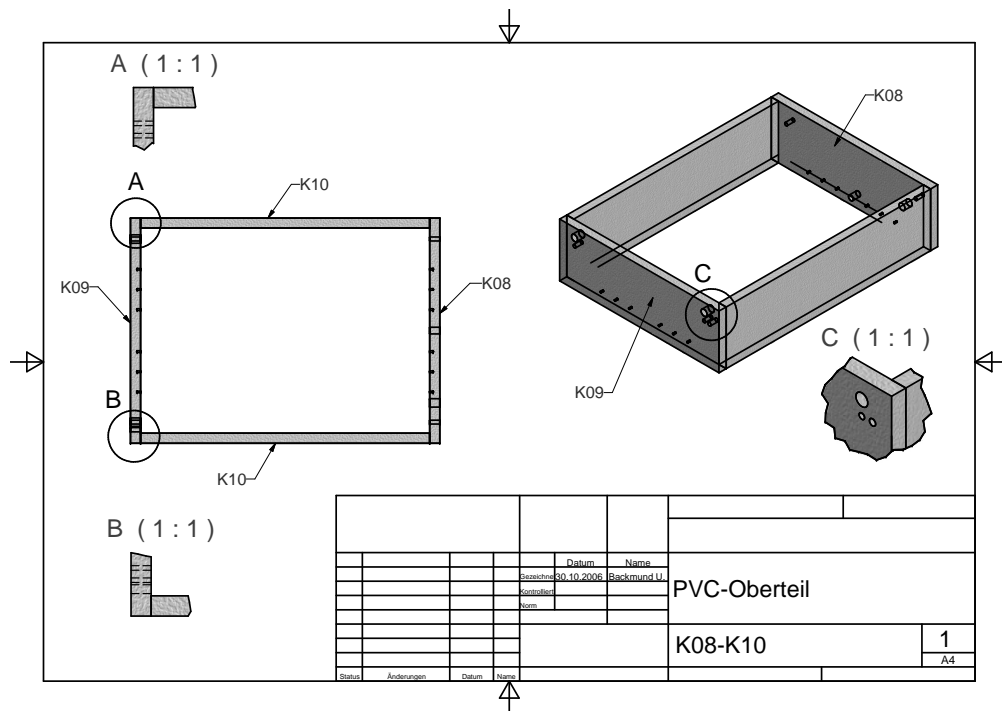


Abbildung 7.9: Baugruppe K08-K10, Seite 1/1

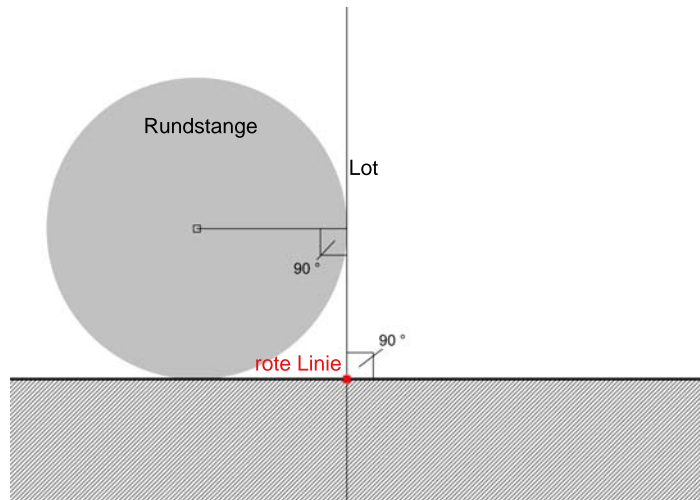


Abbildung 7.10: Anordnung der Rundstange und des Kupferbleches

7.5 Rinne [K11]

Für die Anfertigung der beiden Rinnen [K11] werden zunächst die zwei 171×44 mm großen und 0,5 mm starken Kupferbleche (Objekt 13) benötigt (siehe Tabelle 5.1 auf Seite 37). Weiterhin ist eine 9 mm starke und mindestens 400×20 mm große Schiene (Objekt 15) und eine Rundstange $\varnothing 9$ mm mit einer Mindestlänge von ca. 400 mm (Objekt 16) bereit zu legen.

Als Erstes sind die Kupferbleche gemäß der in Zeichnung Bauteil K11 auf Seite 1 dargestellten „Abwicklung“ anzureißen (siehe Abbildung 7.11). Nun wird das Kupferblech, die Schiene und die Rundstange wie in Abbildung 7.12 gezeigt an der Kante der Werkbank angeordnet. Dabei ist besonders wichtig, dass das gedachte Lot auf der roten Linie aus Zeichnung Bauteil K11, wie in Abbildung 7.10 angedeutet, tangential die Rundstange berührt. Dies ist mit einem Haar-Winkel an mehreren Stellen der roten Markierung zu prüfen. Anschließend wird die Anordnung, wie in Abbildung 7.13 zu sehen, mit zwei Schraubzwingen mit der Werkbank verspannt. Damit die Schraubzwingen beim folgenden Arbeitsschritt nicht stören, sollten sie möglichst weit vom Kupferblech angebracht werden.

Folgend ist unter Zuhilfenahme einer geeigneten Schiene das Kupferblech, wie in Abbildung 7.14 zu sehen, um die Rundstange zu biegen. Das Blech wird dabei so weit gebogen, bis die Kanten einen Abstand von ungefähr 11,6 mm haben (siehe Abbildung 7.11 auf der nächsten Seite). Eventuell muss das Blech ein wenig über dieses Maß gebogen werden, da das Material etwas rückfedern wird. Mit dem zweiten Kupferblech ist entsprechend zu verfahren.

Weiter müssen die Enden der Rinnen mit den vier 20×25 mm großen Kupferblechen, Objekt 14, geschlossen werden. Idealerweise sollten die Kupferbleche auf die Rinnenenden gelötet werden (Weichlöten!). Alternativ wäre auch eine Befestigung mit Silikon denkbar. In diesem Fall sollten jedoch zuvor die 20×25 mm großen Kupferbleche an die Form der Rinnenenden angepasst werden.

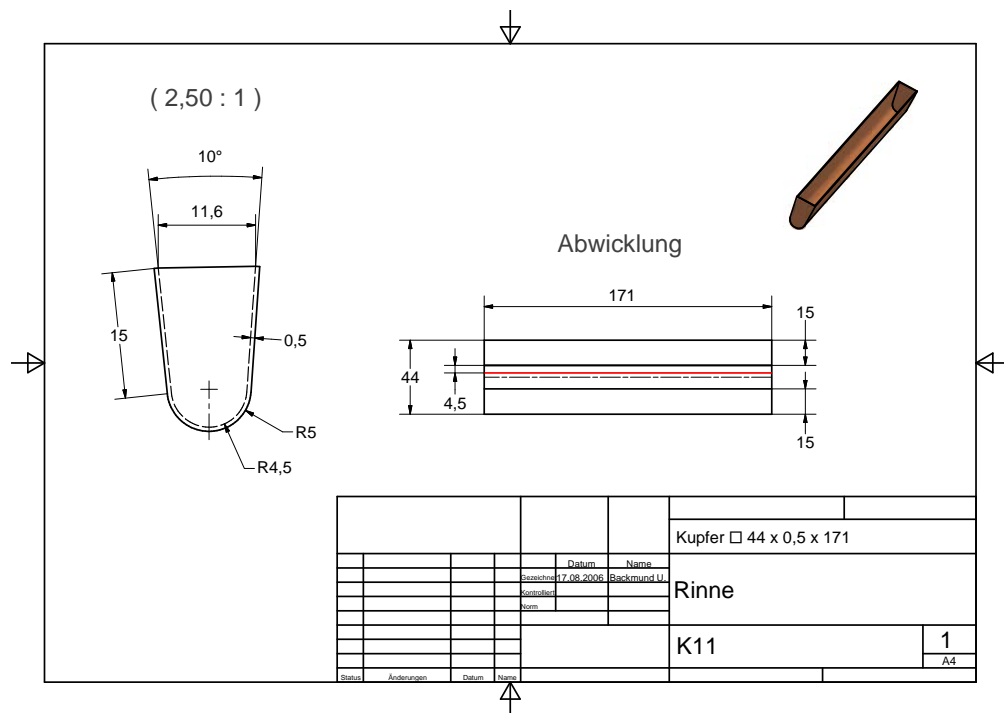


Abbildung 7.11: Bauteil [K11], Seite 1/1



Abbildung 7.12: Biegen der Rinne Bild 1



Abbildung 7.13: Biegen der Rinne Bild 2



Abbildung 7.14: Biegen der Rinne Bild 3

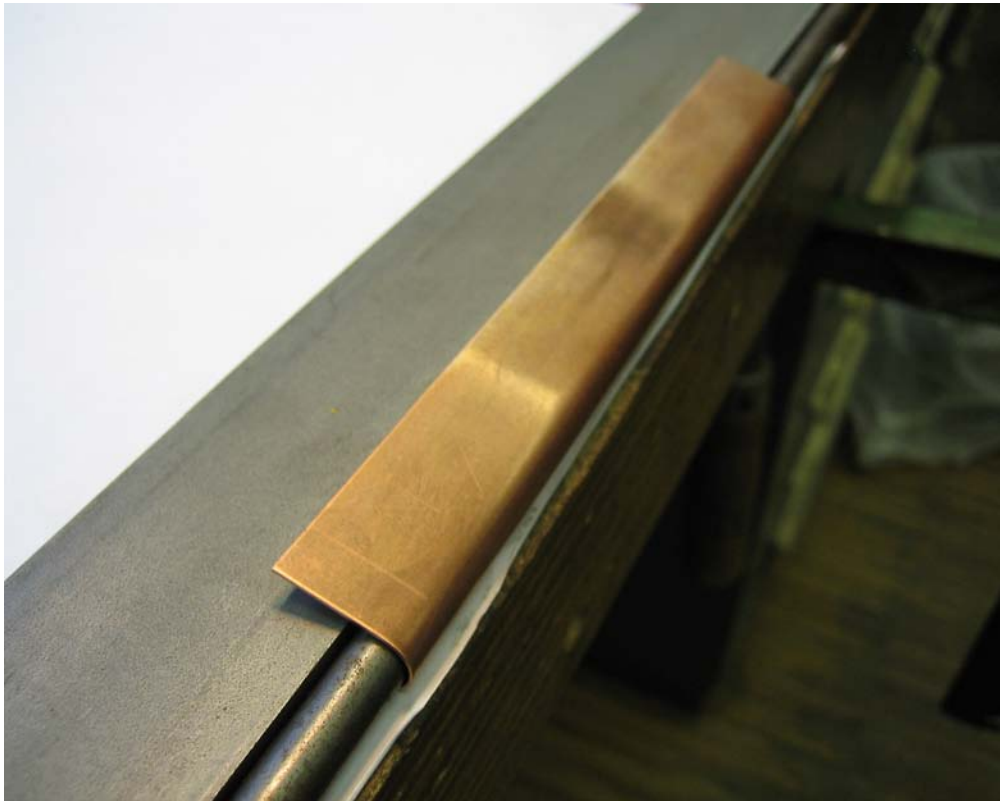


Abbildung 7.15: Biegen der Rinne Bild 4

Als Vorbereitung für den Lötvorgang müssen alle zu verbindenden Teile bzw. Bereiche mit einer Verdünnung gesäubert und entfettet werden. Zudem sind die Verbindungsflächen mit einem Schleifvlies anzuschleifen. Als Erstes ist ein geeignetes Flussmittel auf die zu verbindenden Oberflächen aufzutragen und die Rinne auf das rechteckige Blech zu stellen. Gegebenenfalls muss die Rinne vor dem Umkippen gesichert werden. Anschließend wird das Blech mit einem Gasbrenner **langsam** und **vorsichtig** erhitzt. Die richtige Temperatur ist erreicht, sobald das Lötzinn bei Kontakt mit dem erwärmten Blech umgehend zu schmelzen beginnt ([GLOBUS: HAND/12](#)). Das Blech darf nicht zu stark erhitzt werden, da sonst das Flussmittel verbrennen und das Lot verspröden würde ([Braun u. a. 1999](#)). Jetzt wird das Lötzinn an die gesamte Fuge zwischen Rinne und rechteckigem Kupferblech gehalten. Auf Grund der Kapillarwirkung sollte dabei das Zinn **von selbst** unter die Rinne fließen. Nach dem Abkühlen kann die Lötstelle auf Dichtigkeit geprüft werden. Mit den weiteren Rinnenenden ist entsprechend zu verfahren.

Im zweiten Schritt, müssen die rechteckigen Bleche, die jetzt mit den Rinnen verlötet sind, an die Rinne angepasst werden. Dazu wird das Blech zuerst grob mit einer Blechschere um die Rinne herum zurechtgeschnitten. Anschließend wird dann das Blech mit einer Schleifmaschine mit feiner Schleifscheibe oder einem ähnlichem Gerät, wie zum Beispiel einem Bohrschleifer, an die Rinne angepasst.

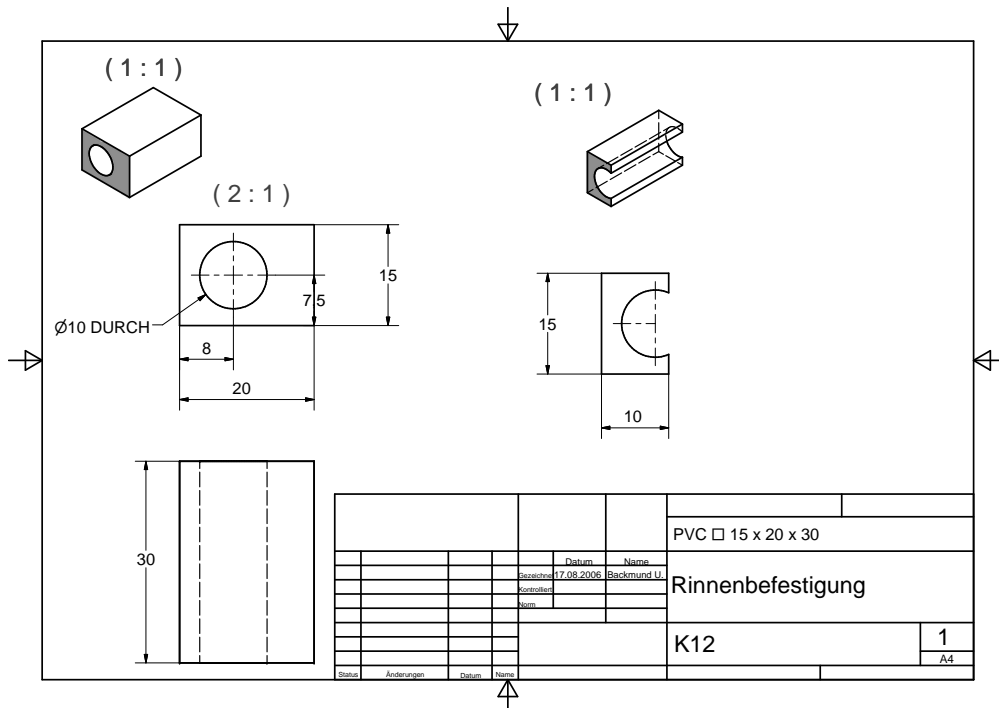


Abbildung 7.16: Bauteil [K12], Seite 1/2

7.6 Rinnenbefestigung [K12]

Als Rohmaterial für die Rinnenbefestigung [K12] (Objekt 17) wird ein $15 \times 20 \times 30$ großer Quader aus PVC benötigt (siehe Tabelle 5.1 auf Seite 37). Dieser ist aus dem 20 mm starkem Reststück, welches bei der Fertigung der Beckenwand [K02] übrig geblieben ist, mit einer Stichsäge zu schneiden (beachte auch Abschnitt 6.2.2 auf Seite 45).

Durch den Quader ist gemäß Abbildung 7.16 der Länge nach eine Ø10 mm Bohrung zu setzen, wobei auch in diesem Fall mit einem Ø5 mm Bohrer vorgebohrt werden sollte. Die Bohrung ist **nicht** in der Seitenmitte platziert! Ein Maschinenschraubstock sollte unbedingt zur Hilfe genommen werden. Überdies ist vor dem Bohren mit einem Winkel zu prüfen, ob das Werkstück lotrecht eingespannt ist.

Im Anschluss wird mit der Stichsäge oder mit einer Metall-Handsäge die 20 mm lange Seite des Quaders auf 10 mm gekürzt. Dadurch wird die Ø10 mm Bohrung der Länge nach aufgeschnitten, wie in Abbildung 7.16 zu sehen ist. Das Anreißen einer Führungslinie ist unbedingt erforderlich.

Nunmehr sind lediglich die Enden der jetzt offenen Bohrung, wie in Abbildung 7.17 dargestellt, mit einer Flachfeile auf der ganzen Länge auf die erforderlichen Maße zu feilen. Ob die Rinnen tatsächlich in ihre jeweiligen Halterungen passen, sollte beim Feilen immer geprüft werden. Letztendlich sind mit der Metall-Handsäge die vier 5 mm starken Rinnenbefestigungen abzusägen. Die Kanten sind mit einer feinen Feile zu entgraten.



Abbildung 7.18: Biegen des Kupferrohrs Bild 1



Abbildung 7.19: Biegen des Kupferrohrs Bild 1

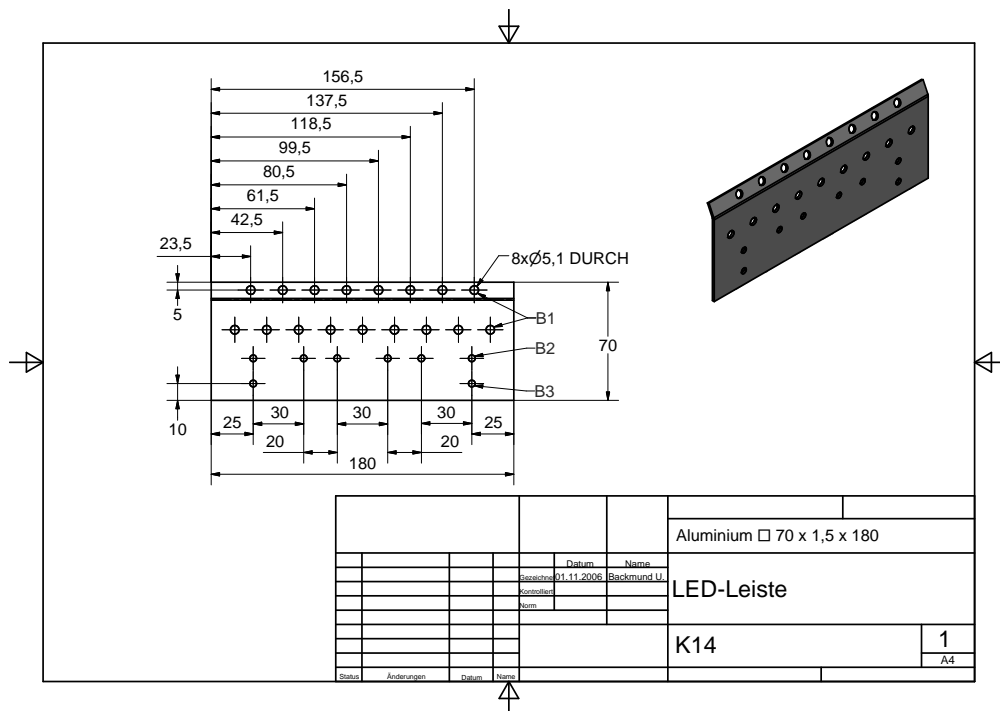


Abbildung 7.21: Bauteil [K13], Seite 1/2

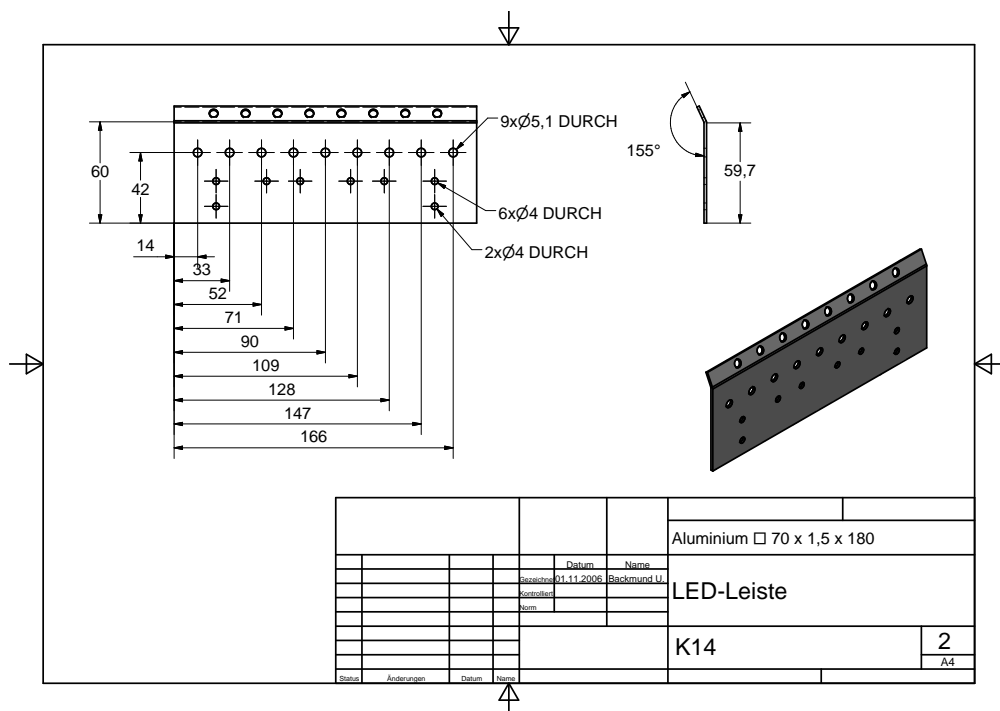


Abbildung 7.22: Bauteil [K13], Seite 2/2

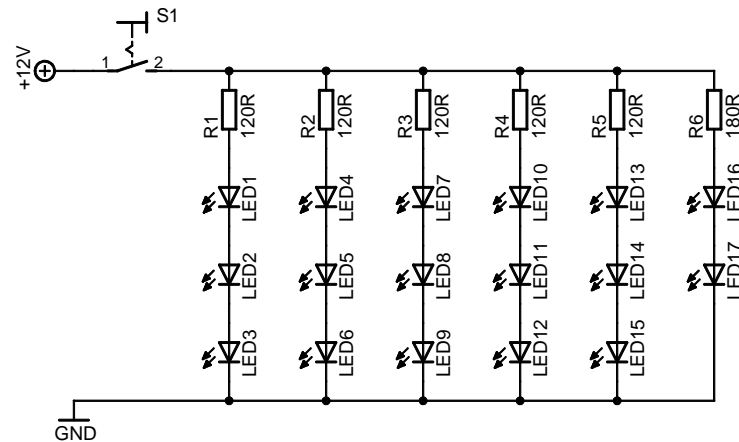


Abbildung 7.23: Schaltplan LED-Leiste, Seite 1/1

bleibende Ausrichtung der Diodenanschlüsse ist empfehlenswert, da dies die Verkabelung der Leuchtdioden erleichtern wird. Die Leuchtdioden sind gemäß Abbildung 7.23 miteinander zu verlöten. Es werden fünfmal drei Leuchtdioden mit einem 120 Ω -Vorwiderstand [E02] (Objekt 23) und einmal zwei Leuchtdioden mit einem 180 Ω -Vorwiderstand [E03] (Objekt 24) in Serie geschaltet. Die sechs resultierenden Reihen werden sodann parallel geschaltet (siehe Abbildung 7.23). Abschließend muss die Leiste mit ausreichend langen Kabeln für den Anschluss an die Spannungsquelle versehen werden.

7.9 Heizröhrchen [K15]

Für die Herstellung der zwei Heizröhrchen [K15], Objekt 25, werden die 160 mm langen Kupferrohre mit einem Außendurchmesser von 6 mm und einer Wandstärke von 0,2 mm benötigt (Tabelle 5.1 auf Seite 37). Wobei hier die Anmerkungen zu Objekt 25 in Abschnitt 5 auf Seite 40 zu beachten sind. Weiterhin werden die sechs Hochlastwiderstände [E04], Objekt 26, und das V2A-Rundrohr, Objekt 27, oder alternativ die Aderendhülsen, Objekt 28, benötigt (Tabelle 5.2 auf Seite 37).

In einem Kupferröhrchen werden drei in Reihe geschaltete Hochlastwiderstände als Heizelemente untergebracht. Jedoch können die Widerstände nicht einfach durch Löten miteinander verbunden werden. Die Lötverbindungen würden auf Grund der von den Widerständen ausgehenden Hitze wieder auseinander gehen. Die Widerstände müssen deshalb mit einer Quetschverbindung zusammengeschlossen (Crimpen) werden. Als Quetschverbindungen können entweder fertige Aderendhülsen (ohne Kunststoffkragen) oder, wie beim Prototypen umgesetzt, aus einem Stück V2A-Rundrohr hergestellte Verbindungen verwendet werden.

Die selbst gebauten Quetschverbindung (8 Stück) bestehen aus ca. 8 mm lan-

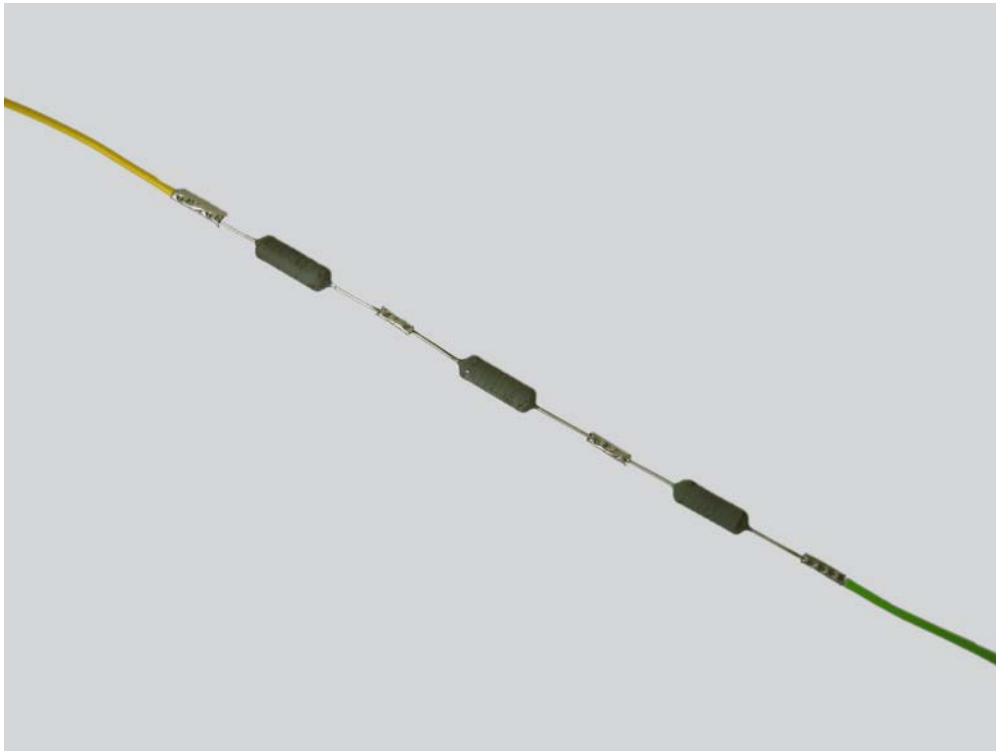


Abbildung 7.24: Die verkabelten und verbundenen Widerstände

gen Edelstahlröhrchen, die mit einer Hand-Metallsäge von dem V2A-Rundrohr abgeschnitten werden. Die gegebenenfalls durch das Sägen verschlossenen Rohre können mit einem geeignetem Bohrer ($\approx \varnothing 1$ mm) wieder aufgebohrt werden. Hierbei ist unbedingt ein Maschinenschraubstock zu verwenden.

Alle Anschlüsse der Widerstände sind gleichmäßig so zu kürzen, dass drei Widerstände inklusive der nötigen Versorgungsanschlüsse in einem Kupferrohr Platz finden. Die Versorgungsanschlüsse dürfen nicht aus dem Rohr heraus schauen.

Im nächsten Schritt sind die Widerstände untereinander und mit den Versorgungskabeln zu verbinden. Dazu werden die Anschlüsse von beiden Seiten in die Röhrchen bzw. Aderendhülsen geschoben bis sie in der Mitte zusammenstoßen. Dann werden die Edelstahlröhrchen mit einem Schraubstock bzw. die Aderendhülsen mit der entsprechenden Zange, fest zusammengepresst (siehe Abbildung 7.24).

Anschließend sind die Widerstände vorsichtig in die Kupferröhrchen zu schieben. Dabei werden die Widerstände mit etwas Wärmeleitpaste, Objekt 48, eingeschmiert. An den Kupferrohrenden sollten nur noch die Versorgungskabel der Widerstände aus dem Rohr schauen. Ist dies der Fall, sind die Rohrenden zur Fixierung der Kabel mit etwas Silikon zu schließen. Nachdem das Silikon getrocknet ist, ist Schrumpfschlauch zur endgültigen Abdichtung über die Rohrenden zu ziehen. Dieser sollte mindestens 5 mm über das Rohr und 20 mm über das Anschlusskabel gezogen werden. Nun ist der Schlauch mit einem Heißluft-

gebläse dicht an das Kupferrohr zu schrumpfen. Allerdings ist nicht notwendig, dass der Schrumpfschlauch ebenso dicht an der Verkabelung liegt. Es ist zu beachten, dass das Heizröhrchen, solange der Schrumpfschlauch noch warm ist, in die Rinne gelegt werden sollte, da der Schrumpfschlauch möglicherweise nach dem Abkühlen unflexibel und starr wird.

7.10 Vorratsbehälter [K16]

Als Vorratsbehälter [K16] für das Isopropanol dient ein Vierkant-Weithals-Behälter, 200 ml, aus PVC (Objekt 29).

Im folgendem wird die Pumpe [E11], Objekt 63, mit dem Vorratsbehälter verbunden (siehe Abbildung 7.25). Da mit der Pumpe einer Autowaschanlage im Normalfall nur gefördert und nicht angesaugt werden kann, muss die Pumpe so tief wie möglich am Behälter angeschlossen werden. Für den Anschluss der Pumpe an den Vorratsbehälter wird eine Einschraubverschraubung, Objekt 30, verwendet. Für diese wird mit einem Kegelsenker vorsichtig eine Bohrung an entsprechender Stelle in den Behälter gebohrt. Der Bohrungsdurchmesser richtet sich dabei nach dem Gewinde der verwendeten Einschraubverschraubung (R1/8). Die Verschraubung wird anschließend lediglich mit einer passenden Mutter, Objekt 112, in den Behälter eingeschraubt (siehe Abbildung 7.25). Mit einem kleinem Stück Schlauch, Objekt 113, dessen Innendurchmesser von der Einschraubverschraubung abhängig ist, kann dann die Pumpe mit dem Behälter verbunden werden. Um den Schlauch an den Behälter anzuschließen, muss zuerst die Überwurfmutter der Einschraubverschraubung über den Schlauch gezogen, danach der Schlauch über die Verschraubungsaufnahme geschoben und mit der Überwurfmutter festgeschraubt werden. Letztlich muss noch der Schlauch an der Pumpe angeschlossen werden. Bei der im Prototypen verbauten Pumpe konnte der Schlauch einfach über den Ansaugstutzen geschoben werden.

Überdies muss für die Rückführung des Isopropanols eine $\varnothing 5$ mm Bohrung mit einem Bodenabstand von ca. 45 mm in den Vorratsbehälter gebohrt werden (siehe Abbildung 7.25).

7.11 Erhöhung [K17]

Für die Erhöhungen [K17], Objekt 31, müssen aus dem Restmaterial, welches in Abschnitt 7.1 auf Seite 49 bei der Fertigung des Beckens angefallen ist, lediglich drei $145 \times 20 \times 20$ große Quader herausgesägt werden (siehe Abbildung 7.26). Es ist wichtig, dass bei den fertigen Erhöhungen zwei gegenüberliegende Quaderseiten eben und zueinander parallel sind. Dies sollte jedoch auf Grund der Beschaffenheit des verwendeten Materials ohne weiteres gegeben sein. Abschließend sind nach Abbildung 7.26 jeweils zwei $\varnothing 2,7$ mm Bohrungen in die ebene Seite der Erhöhungen zu bohren.



Abbildung 7.25: Pumpe und Vorratsbehälter [K16]

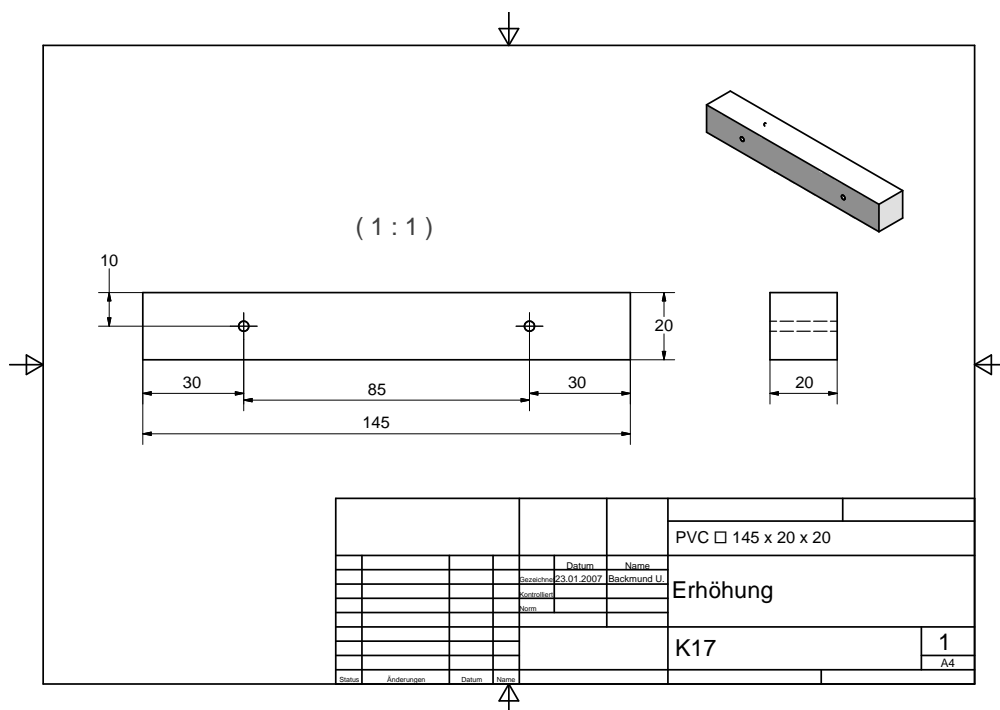


Abbildung 7.26: Bauteil [K17], Seite 1/1

Kapitel 8

Zusammenbau der Kammer

8.1 Schließen des Beckens

Die Wärmetauschplatte [K03] wird im folgendem Arbeitsschritt mit dem Wasserbecken, [K01] und [K02], verschraubt. Dazu ist die Wärmetauschplatte [K03] unter Zuhilfenahme der Maße aus Abbildung 8.1 auf dem Wasserbecken zu platzieren. Mit einem Körner werden jetzt die Mittelpunkte der Bohrungen der Wärmetauschplatte per Augenmaß auf den PVC-Rahmen übertragen. Danach wird die Aluminiumplatte wieder vom Becken herunter genommen. Um das Eindrehen der Schrauben (Objekt 32) zu erleichtern und ein eventuelles Springen des PVC-Rahmens zu vermeiden, werden an den markierten Stellen Bohrungen in das PVC gesetzt. Der Bohrungsdurchmesser sollte in etwa gleich dem Kerndurchmesser der Schrauben ($\varnothing 2,6$ mm), das heißt kleiner als der Gesamtdurchmesser der Schrauben, und die Bohrungstiefe etwas größer als die Schraubenlänge (15 mm) sein.

Anschließend wird rund um das Becken, mit etwas Abstand zum Beckenrand zwischen den Schraubenlöchern und dem Beckenrand ein ca. 4 mm breiter **ununterbrochener** Silikonstreifen aufgetragen (Objekt 33). Es ist auf einen sauberen, trockenen, fett- und staubfreien Untergrund zu achten. Die Wärmetauschplatte wird dann, damit sie mit dem Becken verschraubt werden kann, vorsichtig auf dem Wasserbecken bzw. unmittelbar auf dem weichen Silikon platziert. Es empfiehlt sich die Wärmetauschplatte erst leicht an das Becken zu schrauben. Abschließend sollten dann Schrauben fest, jedoch nicht zu fest, „kreuzweise“ angezogen werden. Herausquellendes Silikon kann mit dem Finger und ein wenig Seifenwasser weggewischt werden.

Abhängig von der Temperatur braucht das Silikon etwa 24 Stunden bis es trocken ist.

8.2 Lackieren der Kühlplatte

Im folgendem Arbeitsschritt ist die Oberseite der Kühlplatte mit einem schwarzen Acrylharz-Lack (Objekt 34, Tabelle 5.2 auf Seite 37) zu lackieren. Da die meisten Lacke jedoch auf Aluminium nur bedingt haften, ist es ratsam die Plattenoberseite zuvor mit einem Kunststoffgrund, Objekt 121, zu grundieren.

stellen. Allerdings erschwert dies die Lackierung erheblich.

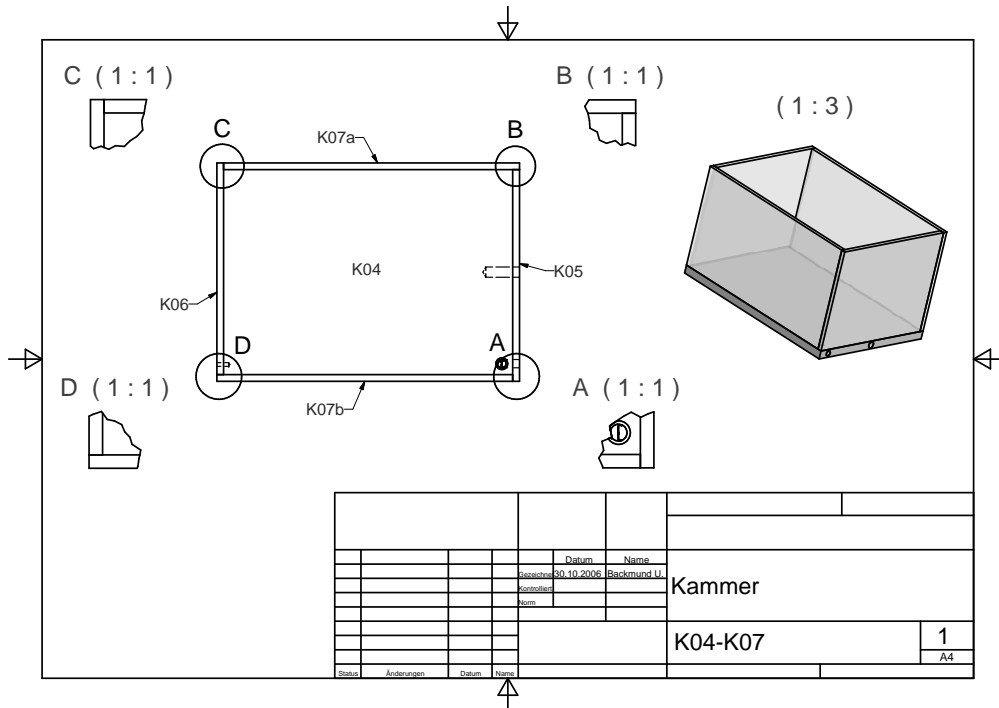


Abbildung 8.2: Bauteil K04-K07, Seite 1/1

8.3 Aufstellen der Glaswände

Im folgenden Abschnitt werden die Glaswände [K05], [K06] und [K07a/b] (Objekt 7-9) mit Silikon (Objekt 33) auf der Kühlplatte [K04] platziert (Tabelle 5.1 auf Seite 37). Auch hier sei angemerkt, dass bei der Verarbeitung von Silikon auf einen sauberen, trockenen, fett- und staubfreien Untergrund zu achten ist.

Als erstes muss an den Plattenrand der Kühlplatte gleichmäßig ein ca. 7 mm breiter Silikonstreifen von A über B nach C (siehe Abbildung 8.2) aufgetragen werden. Überdies muss im Anschluss daran auf diejenige 100 mm lange Seite der Glaswand [K05], die später mit der Scheibe [K07a] zusammenstoßen wird (siehe *Detailansicht B* in Abbildung 8.2), ein weiterer Silikonstreifen aufgespritzt werden. Danach wird zuerst eine der zwei Glaswände [K07], wie in Abbildung 8.2 zu sehen, sachte auf das auf die Platte aufgetragene Silikon gesetzt. Dabei wird die Glaswand an den Seiten der Kühlplatte ausgerichtet. Folgend wird die Glaswand [K05] so auf die Platte gesetzt, dass die mit Silikon versehene Glasseite auf die Glaswand [K07a] zeigt. Jedoch sollte hierbei vorerst gerade so viel Abstand zu [K07a] gehalten werden, dass der auf [K05] haftende Silikonstreifen die Scheibe [K07a] nicht berührt. Im letzten Schritt wird die Glasplatte [K05], wie in *Detailansicht B* angedeutet, an [K07a] herangeschoben.

Nun sollten die Fugen auf ausreichend Silikon geprüft werden. Sollte die Menge an Silikon für eine zuverlässige Abdichtung der Fuge nicht genügen, muss

etwas Silikon nachgespritzt werden. Prinzipiell sollte schon jetzt vorsichtig mit einem mit Seifenwasser angefeuchteten Zeigefinger in einem Zug über die Fugen gefahren werden. Dadurch wird zum einen das Silikon in die Fugen gedrückt und zum anderen eine glatte Oberfläche der Fuge erreicht. Überflüssiges Silikon sollte sofort mit einem angefeuchteten Lappen entfernt werden, da sich getrocknetes Silikon nur sehr mühselig entfernen lässt.

Nachfolgend wird, wie schon zuvor, ein Silikonstreifen von D nach A auf den Plattenrand der Kühlplatte gespritzt. Ebenso auf eine der 100 mm langen Seiten der zweiten Glaswand [K07b]. Anschließend wird die Glasscheibe [K07b] mit ein wenig Abstand zu [K05] auf dem Silikonstreifen der Kühlplatte platziert. Dabei muss auch hier die mit Silikon bespritzte Glasseite auf die Glasscheibe [K05] zeigen. Folgend kann Scheibe [K07b], wie in *Detailansicht A* der Abbildung 8.2 angedeutet, an [K05] gedrückt werden. Zuletzt wird Glaswand [K06] auf die gleiche Art und Weise aufgestellt.

Es sollte unbedingt eine Trockenzeit von mindestens 24 Stunden eingehalten werden. In dieser Zeit sollten die Fugen nicht berührt oder belastet werden.

8.4 Ausstattung des PVC-Oberteils

Um die Rinnen in das PVC-Oberteil einsetzen zu können, sind die vier Rinnenbefestigungen [K12] mit dem PVC-Kleber (Objekt 4) unter Beachtung von Abbildung 8.3 (*Detailansicht A*) in das PVC-Oberteil zu kleben. Sobald der Kleber getrocknet ist, können die Kupferrinnen [K11] inklusive der fertigen Heizröhrchen [K15] in ihre Halterungen eingesetzt werden (siehe Abbildung 8.4 auf der nächsten Seite). Die Kabel der Heizelemente sind durch die dafür vorgesehenen Bohrungen zu ziehen.

Nächst sind die 90°-Kupferrohrbögen [K13] in die dafür vorgesehenen Bohrungen (siehe Abbildung 8.3 auf der nächsten Seite und 4.2 auf Seite 31) zu schieben.

Zuletzt ist die Anschlussbuchse, Objekt 123, in die vorgesehene Bohrung des PVC-Oberteils zu schrauben.

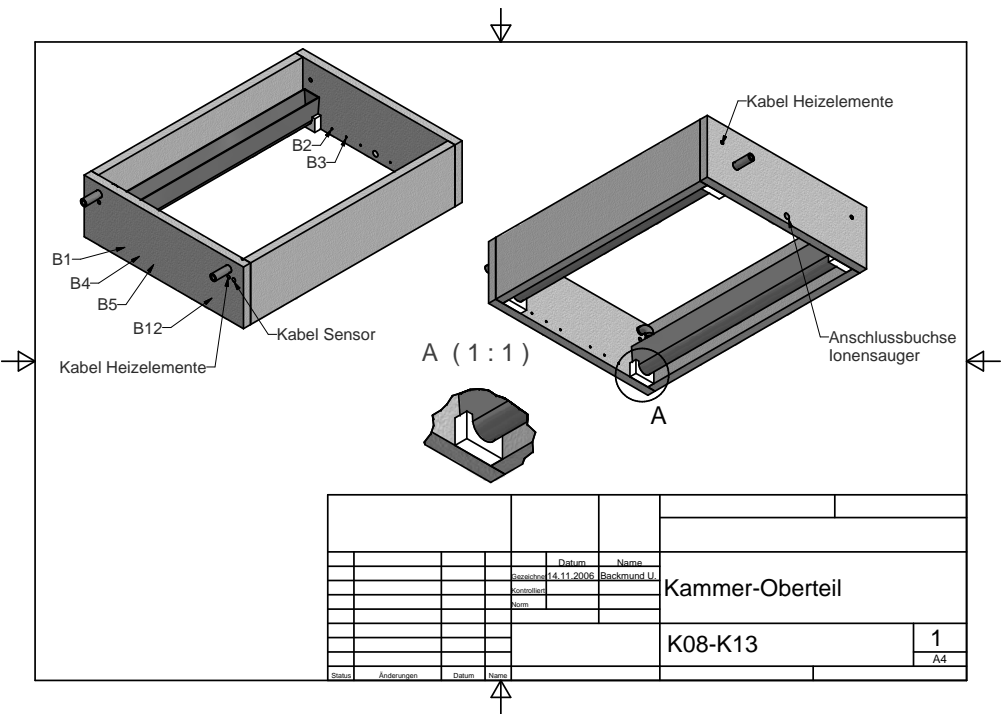


Abbildung 8.3: Kammer-Oberteil Seite 1/1



Abbildung 8.4: PVC-Oberteil, ausgestattet mit Rinne und Rinnenbefestigung

8.5 Aufsetzen des PVC-Oberteils

Zunächst muss mit der Silikonpistole (Objekt 33) auf den Rand der Glaswände ein ca. 4 mm breiter **durchgehender** Silikonstreifen aufgetragen werden. Danach wird das PVC-Oberteil behutsam auf die Glaswände aufgesetzt. Auch hier sollte, wie schon öfters geschehen, mit Zeigefinger und Seifenwasser eine glatte und dichte Fuge bewirkt werden. Eine Trockenzeit von minimal 24 Stunden ist zu beachten. Währenddessen sollten die Fugen nicht berührt und belastet werden.

Da die Kammer später nur noch schwerlich gesäubert werden kann, sollte an dieser Stelle der Innenraum der Kammer, insbesondere die Glasflächen, gereinigt werden.

Anschließend muss noch der Draht für den Ionensauger, (Objekt 35, Tabelle 5.2 auf Seite 37) fortlaufend durch die Ringschraubösen gefädelt werden. Damit später der Ionensauger an die Anschlussbuchse angeschlossen werden kann, muss mit dem Einfädeln mit der in *Bohrung B1* eingeschraubten Öse (siehe Abbildung 8.3 auf der vorherigen Seite) begonnen werden. Von dort geht es direkt zur Ringschrauböse der *Bohrung B2*, dann ohne Unterbrechung durch die Öse der *Bohrung B3* zur Ringschrauböse der *Bohrung B4* und so weiter, bis der Draht schließlich durch die letzte in *Bohrung B12* eingeschraubte Öse geführt wird. Folgend muss die Anschlussbuchse (Objekt 123) in die entsprechende Bohrung eingeschraubt werden. Am Schluss wird der Draht so straff wie möglich gespannt und die beiden Drahtenden unter Spannung am Lötanschluss der in den Rahmen eingeschraubten Anschlussbuchse befestigt.

8.6 Installation der LED-Leiste

Die LED-Leiste [K14] wird mit Linsen-Blechschauben, Objekt 36, an die Beckenwand geschraubt (siehe auch Abbildung 11.3 auf Seite 99). Jedoch sind auch hier, wie in Abschnitt 8.1, Bohrungen in der Größe des Kerndurchmessers der verwendeten Schrauben ($\varnothing 2,2$ mm) zu setzen. Dazu wird die LED-Leiste, wie in Abbildung 8.5 zu sehen, an die Beckenwand gehalten, um dann die Bohrlochmittelpunkte auf das PVC zu übertragen. Vorsicht, Schraube und Bohrung sollte nicht tiefer als 15 mm in die Beckenwand gehen. Die Schrauben sind unter Umständen mit einer Metall-Handsäge zu kürzen.

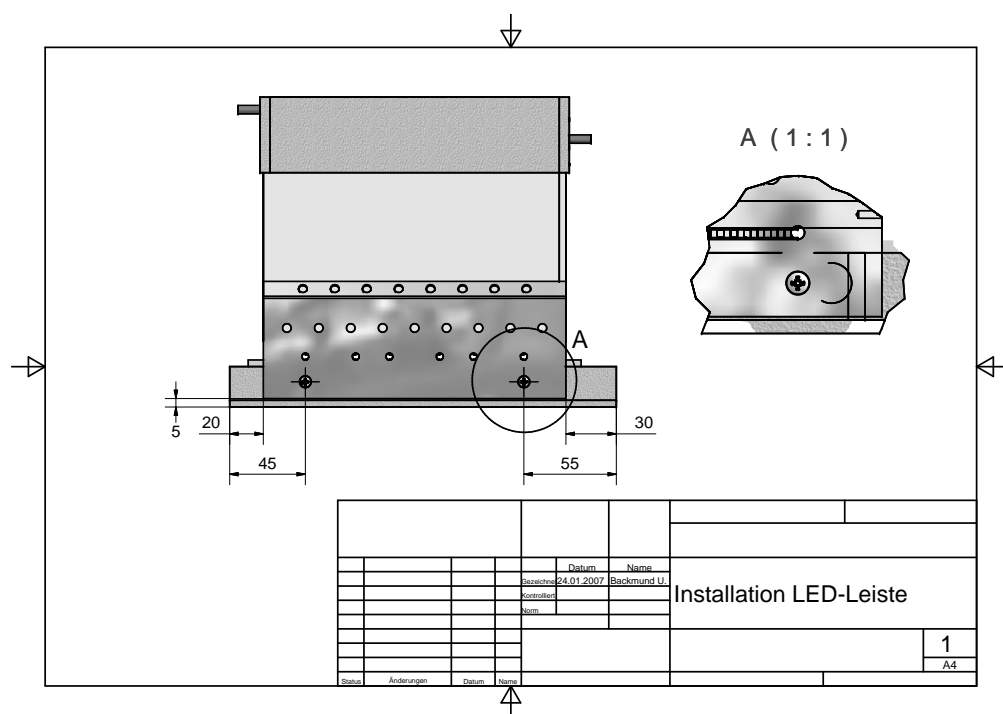


Abbildung 8.5: LED-Leiste

Kapitel 9

Elektronik

9.1 Allgemeines

Die im folgenden aufgeführten Schaltungen werden auf einer Lochrasterplatte [E05], Objekt 37, angeordnet (siehe Tabelle 5.2 auf Seite 37). Zu diesem Zweck werden die Anschlüsse der einzelnen Bauteile durch die Löcher der Platte gesteckt. Danach werden die Anschlüsse entsprechend den Schaltplänen auf der Rückseite der Lochrasterplatte mit Draht verbunden und verlötet. Die Ausführungen in Abschnitt 6.3 auf Seite 46 sind zu beachten.

Um die Länge der im weiteren eingesetzten Kabel besser festlegen zu können, sollte man sich schon jetzt überlegen, an welcher Stelle die Lochrasterplatte, die fast die gesamte Elektronik tragen wird, platziert werden soll. Beim Prototypen wurde die Lochrasterplatte mit Abstandhaltern auf der Oberseite des Netzteilgehäuses montiert. Diese Anordnung hat sich angeboten, da bestimmte elektronische Bauteile zur Kühlung ebenfalls auf dem Gehäuse platziert wurden. Die Platte wird dazu einfach mit zwei Abstandsbolzen (Objekt 38) M3-Flachkopfschrauben (Objekt 39) und M3-Sechskantmutter (Objekt 78) montiert. Dazu sind in das Gehäuse und in zwei diagonal gegenüberliegende Ecken der Lochrasterplatte $\varnothing 3,2$ mm Bohrungen zu setzen (siehe Abbildung 9.1).

Die Verkabelung der Schaltungen mit den Steuerelementen, wie Schaltern und Tastern, oder den Spannungsausgängen des Netzteils wird erst in Kapitel 11 durchgeführt.

9.2 Spannungsquelle [E06]

Die Versorgung der elektronischen Bauteile mit Spannung wird von einem Computer-Netzteil [E06], Objekt 40, übernommen (siehe Tabelle 5.2 auf Seite 37). Die erforderlichen technischen Daten sind bereits in Abschnitt 5 auf Seite 40 aufgeführt.

Um die Kammer später bequem ein- und ausschalten zu können, muss ein zentraler Schalter am Netzteil vorhanden sein bzw. ergänzt werden. Die Mehrzahl der gebräuchlichen Computernetzteile besitzen einen Hauptschalter direkt am Gehäuse selbst oder einen an einem Kabel befindlichen Hauptschalter, wie

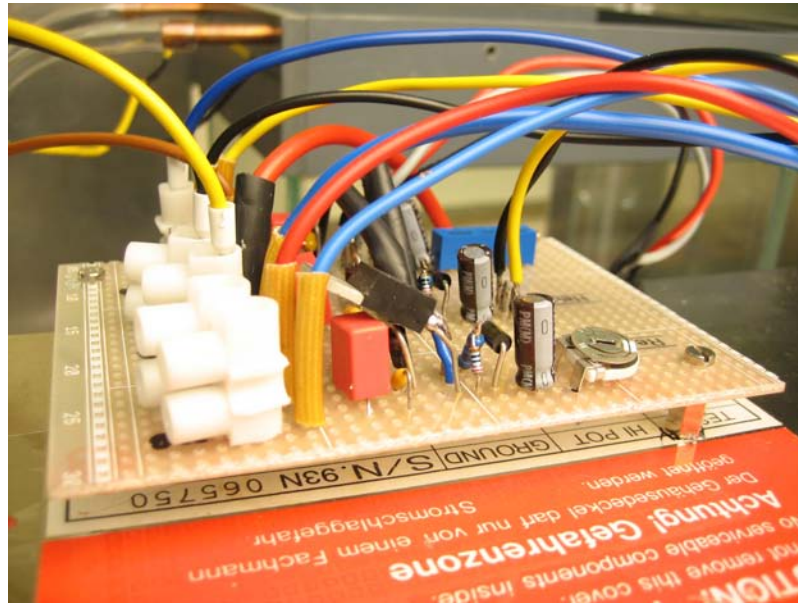


Abbildung 9.1: Lochrasterplatte auf dem Gehäuse

das im Prototyp verbaute Gerät. In diesem Fall muss kein Schalter mehr integriert werden. Nichtsdestoweniger gibt es Netzteile die keinen Hauptschalter besitzen oder solche, die zwar einen Schalter aufweisen, aber bei Betätigung desselben nicht anlaufen. Hier kann es sich unter Umständen um ein *ATX-Netzteil* handeln. Um solch ein Netzteil vollständig einzuschalten, muss der sogenannte *Power-On-Pin* des *Main-Power-Steckers* mit *Masse* verbunden werden. Der *Main-Power-Stecker* ist derjenige Stecker des Netzteils, der normalerweise die Versorgung des Mainboards übernehmen würde. Er dürfte mit 20 oder 24 Pins der größte Stecker des Netzteils sein. Der *Power-On-Pin* hängt in der Regel an einem *grünen Kabel* (Pin 9 oder 14) und die *Masse-Pins* an einem schwarzen (siehe auch Tabelle 11.1 auf Seite 101) ([Schmidt: pc-erfahrung.de](http://pc-erfahrung.de)). An dieser Stelle kann dann bei Existenz eines Hauptschalters das *Power-On-Kabel* mit einem *Masse-Kabel* kurz geschlossen oder in beiden Fällen ein Kippschalter eingebaut werden, der das *Power-On-Kabel* beim Einschalten mit Masse verbindet. ATX-Netzteile müssen übrigens nicht unbedingt einen am Gehäuse befindlichen Hauptschalter aufweisen. Auf Grund der Vielfältigkeit der auf dem freien Markt angebotenen Netzteile muss hier spezifisch vorgegangen werden. Im World Wide Web finden sich zu diesem Thema ausreichend Informationen.

9.3 Schaltung der Rinnen-Heizung

Da die Rinnen-Heizung für einen korrekten Betrieb der Kammer regelbar sein muss, ist eine Schaltung mit einem einstellbaren Festspannungsregler nötig. Für den Aufbau der Schaltung sind die Objekte 42-46 der Materialliste (siehe Tabelle 5.2 auf Seite 37) bereit zu legen. Die Schaltung der Rinnen-Heizung ist auf eine Spannungsversorgung von +12 V ausgelegt. Der entsprechende Ausgang des

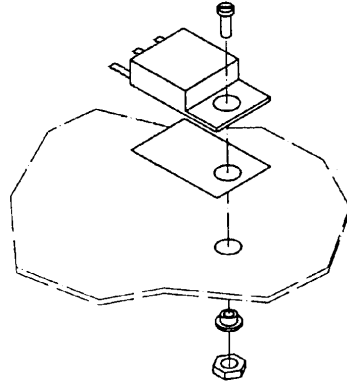


Abbildung 9.2: Montage Gehäuse TO 220

Computernetzteils wird mit maximal 1,5 A belastet.

Auf die Lochrasterplatte [E05], Objekt 37, wird gemäß dem zugehörigen Schaltplan (siehe Abbildung 9.3), wie in Kapitel 9.1 auf Seite 79 beschrieben, die Schaltung für die Rinnen-Heizung aufgebaut. Mit Ausnahme des Spannungsreglers [E7IC1] (Objekt 42) und dem Potentiometer [E7R2] (Objekt 44) werden alle Bauteile der Schaltung direkt auf der Lochrasterplatte platziert.

Der einstellbare Spannungsregler muss auf Grund der an ihm anfallenden Verlustleistung, welche in Wärme umgesetzt wird, gekühlt werden. Hierzu wird der Spannungsregler auf dem Metallgehäuse des Computernetzteils, möglichst nahe der im Gehäuse befindlichen Lüftungslöcher, montiert. Durch den permanenten Luftstrom des Netzteillüfters ist somit eine optimale Kühlung des Bauteils gewährleistet. Für die Montage des Spannungsreglers ist an der gewünschten Stelle eine $\varnothing 3,2$ mm Bohrung in das Gehäuse zu setzen. Dazu sollte, wenn möglich, der zu bohrende Gehäuseteil vom Netzteil demontiert werden. Anschließend ist der vorgesehene Gehäusesitzplatz des Spannungsreglers in der Größe der Glimmerscheibe (Objekt 47) dünn mit Wärmeleitpaste (Objekt 48) zu bestreichen. Danach wird die Glimmerscheibe und der Spannungsregler, dessen Kühlfläche ebenfalls dünn mit Wärmeleitpaste eingeschmiert wird, wie in Abbildung 9.2 zu sehen, auf das Gehäuse gesetzt. Zuletzt wird die Isolierbuchse, Objekt 47, wie in Abbildung 9.2 zu sehen, von hinten in die Bohrung gesteckt und der Spannungsregler mit der Zylinderkopfschraube und der zugehörigen Mutter auf dem Gehäuse fixiert.

Auf der Lochrasterplatte werden anstelle des Spannungsreglers drei Steckerstifte, Objekt 49, eingelötet. Der Spannungsregler wird dann durch Kabel mit der Lochrasterplatte verbunden. Dafür werden an die drei Pins des Reglers ausreichend lange Kabel gelötet und die Enden der Kabel mit Steckschuhen, Objekt 50, versehen.

Ferner müssen für die spätere Integration des Potentiometers (im Schaltplan

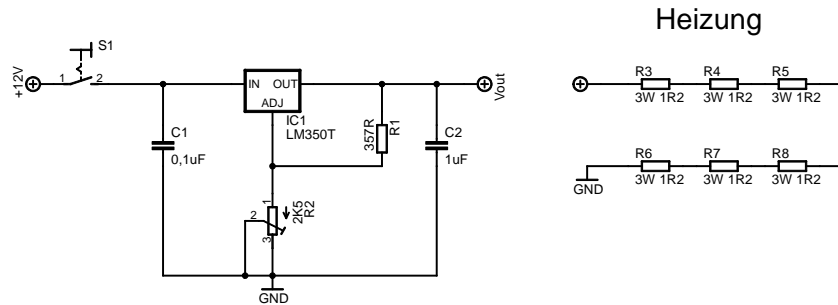


Abbildung 9.3: Schaltplan Rinnen-Heizung, Seite 1/1

mit „R2“ bezeichnet) zwei Steckerstifte in die Schaltung eingebaut werden. Das Potentiometer wird dann mit Kabeln auf die gleiche Art und Weise wie zuvor der Spannungsregler in die Schaltung eingebunden. Jedoch sollte hier besonders auf eine ausreichende Länge der benutzten Kabel geachtet werden, da das Potentiometer später in die Frontplatte des Gehäuses eingesetzt wird.

Für den Spannungseingang, den Spannungsausgang und die Masse (bezeichnet mit „GND“) sind gleichfalls Steckerstifte in die Lochrasterplatte zu setzen (siehe Abbildung 9.3). Es empfiehlt sich neben den Steckerstiften auf der Lochplatte entsprechende Beschriftungen anzubringen.

Letztlich werden die Heizröhrchen mit einer Lüsterklemme in Reihe geschaltet. Die verbleibenden Anschlusskabel der Heizung werden mit den Ausgängen auf der Lochrasterplatte verbunden, wofür noch die Anschlusskabel mit Steckschuhen zu versehen wären.

9.4 Schaltung der Pumpe

Die im Prototypen eingesetzte Pumpe [E11], Objekt 63, zur Förderung des Isoopropanols wird mit einer Spannung von ca. 1,5 V bei 0,7 A betrieben (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 38). Diese Werte können jedoch von Pumpe zu Pumpe verschieden sein und müssen selbst erprobt werden.

Im folgenden werden zwei Schaltungen zur Verfügung gestellt, die sich insbesondere in der Versorgungsspannung und in der Ausgangsspannung unterscheiden. Alle Schaltungen erlauben eine Regelung der auf die Pumpe geschalteten Ausgangsspannung.

Die erste Schaltung („P1“) kann zum Einsatz kommen, sofern die Pumpe nicht weniger als 1,25 V oder mehr als 10 V benötigt. Unter Umständen ist

auch hier eine aufwendige Montage des Spannungsreglers auf dem Netzteilgehäuse oder einem Kühlkörper zur Abführung der in Wärme anfallenden Verlustleistung P_V unerlässlich. Ab einer Verlustleistung P_V von 2 W sollte eine solche Montage durchgeführt werden. Fällt am Spannungsregler eine maximale Verlustleistung P_V von 7 W an, kann auch in diesem Fall der Spannungsregler zur Kühlung auf dem Netzteilgehäuse montiert werden. Bei größeren Werten, muss ein separater Kühlkörper verwendet werden.

Die Verlustleistung P_V berechnet sich wie folgt:

$$P_V = \Delta U \cdot I_A \quad (9.1)$$

wobei

U_E := Eingangsspannung (hier: 12 V)

U_A := Ausgangsspannung

$\Delta U = U_E - U_A$:= Spannungsabfall

I_A := Ausgangsstrom

Die zweite Schaltung („P2“) kann nur dann verwendet werden, wenn der +5 V Netzteilausgang mit mehr als 22 A belastet werden kann, da die Peltierelemente unbedingt auf diesen Ausgang geschaltet werden müssen und dieser dadurch mit etwa 22 A belastet wird. Die Ausgangsspannung V_A dieser Variante liegt zwischen 1,25 V und maximal 3 V.

Die gewählte Schaltung wird auf die Lochrasterplatte neben die Heizungsschaltung aus Abschnitt 9.3 platziert.

Um die Pumpe mit den Ausgängen der Schaltung zu verbinden, sind zwei Kabel mit Steckschuhen auszustatten. Der Anschluss der Verbindungskabel an die Pumpe sollte mit Flachsteckhülsen, Objekt 56, zu bewerkstelligen sein, da es sich bei der verwendeten Pumpe um ein Bauteil aus dem Automobilbau handelt. Die Flachsteckhülsen werden mit der entsprechenden Zange an die Kabelenden gequetscht. Die Größe der Stecker richtet sich nach den an der Pumpe verbauten Flachsteckern. Alternativ können die Kabel auch einfach an die Pumpenanschlüsse gelötet werden.

9.4.1 Schaltung „P1“

Für Schaltung „P1“ werden die Objekte 51-55 benötigt (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 38). Die Schaltung wird an den +12 V Netzteilausgang angeschlossen.

Schaltung „P1“ (siehe Abbildung 9.4) ist äquivalent zur Schaltung aus Abschnitt 9.3 auf Seite 80. Auch hier muss der Spannungsregler [E8IC1], Objekt 51, unter Umständen (siehe oben) zur Kühlung auf dem Gehäuse des Netzteils montiert werden. Die weitere Vorgehensweise gleicht der aus Abschnitt 9.3.

Für einen regelbaren Spannungsausgang V_{out} von 1,25 V bis 6,4 V muss für R1 ein 240 Ω Widerstand und für R2 ein 1 k Ω -Einstellregler verwendet werden. Für einen Spannungsausgang V_{out} von 1,25 V bis 10 V ein 287 Ω -Widerstand und ein 2 k Ω -Einstellregler. Der Einstellregler wird im Gegensatz zu Abschnitt 9.3 auf Seite 80 auf die Lochrasterplatte gesetzt.

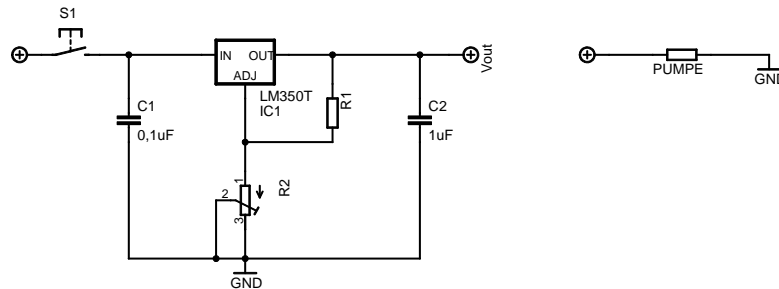


Abbildung 9.4: Schaltplan P1 bzw. P2, Seite 1/1

9.4.2 Schaltung „P2“

Schaltung „P2“ gleicht Schaltung „P1“ aus dem vorhergehenden Abschnitt (siehe Abbildung 9.4) außer, dass die Schaltung an +5 V angeschlossen wird. Dadurch verringert sich die Verlustleistung, die am Spannungsregler anfällt, und eine aufwendige Montage des Reglers auf dem Gehäuse ist voraussichtlich unnötig. Der Spannungsregler kann deshalb mit auf die Lochrasterplatte gesetzt werden. Der Spannungsausgang V_A kann in diesem Fall mit dem Einstellregler von 1,25 V bis 3 V geregelt werden. Für R1 ist ein 357 Ω-Widerstand und für R2 ein 500 Ω-Einstellregler zu verwenden.

9.5 Schaltung des Temperaturschaltmoduls

Das Temperaturschaltmodul [E09], Objekt 57, wird mit einer Gleichspannung von 3 V bei 50 mA betrieben (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 38).

Ursprünglich war die Spannungsversorgung des Temperaturschaltmoduls über das Computer-Netzteil, wie im unten stehenden Abschnitt aufgezeigt, vorgesehen. Allerdings hat sich bei Versuchen mit dem Prototypen herausgestellt, dass unter Umständen ein Spannungsüberschlag vom Ionensauger zum Temperatursensor der Rinne stattfinden kann, der das Temperaturschaltmodul irreparabel beschädigt. Um dies zu verhindern, muss der Stromkreis des Temperaturschaltmoduls vom Stromkreis des Ionensaugers galvanisch getrennt werden. Die einfachste Art dies zu erreichen, ist die Spannungsversorgung des Temperaturschaltmoduls mit Batterien. Damit das Modul nur während des Betriebs der Nebelkammer mit den Batterien verbunden ist und auch weiterhin eine galvanische Trennung gewährleistet ist, wird in den Stromkreis des Temperaturschaltmoduls ein Relais eingebaut, welches sich automatisch beim Einschalten

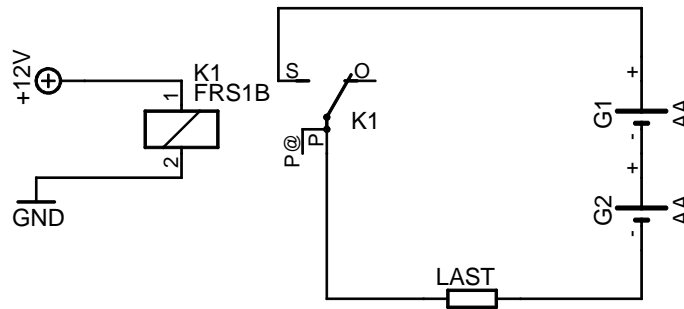


Abbildung 9.5: Schaltplan Temperaturschaltmodul: Batterie, Seite 1/1

der Kammer schließen soll. Dabei wird das Relais über einen +12 V Ausgang des Computernetzteils gesteuert (siehe Abbildung 9.5). Das Relais kann ebenfalls mit auf die Lochrasterplatte gesetzt werden. Für die zwei Anschlüsse des Steuerstromkreises, als auch für die des Laststromkreises (Schließer: S und P) sind Steckerstifte in die Lochrasterplatte einzuarbeiten.

Trotz der gerade aufgezeigten Möglichkeit wird im folgendem die Versorgung des Temperaturschaltmoduls mit dem Computernetzteil beschrieben.

Versorgung mit dem Computernetzteil

Wenn das verwendete Netzgerät einen +3,3 V Ausgang besitzt, kann das Modul direkt mit einem kleinen 6 Ω -Vorwiderstand an diesen Ausgang angeschlossen werden.

Hat das Netzteil keinen solchen Ausgang muss eine weitere Schaltung mit einem Spannungsregler, Objekt 58-62, auf die Lochrasterplatte [E05] gesetzt werden. Die Schaltung (siehe Abbildung 9.6) gleicht den Schaltungen aus Abschnitt 9.3 und 9.4.1. Allerdings wird in diesem Fall der veränderliche Widerstand R2 durch einen konstanten 332 Ω -Widerstand, Objekt 60, ersetzt.

Indes ist aber bei dieser Schaltung zu beachten, dass sie an den -5 V Ausgang des Netzteils angeschlossen werden soll. Dazu muss der -5 V Ausgang an den „GND“ Eingang der Schaltung gelegt werden und der „GND“ Ausgang des Netzteils an den positiven Spannungseingang der Schaltung (siehe Abbildung 9.6). Bei einer falschen Verkabelung kann es zu Schäden an den Bauteilen kommen. Sollte der +5 V Ausgang des Computernetzteils trotz der Belastung

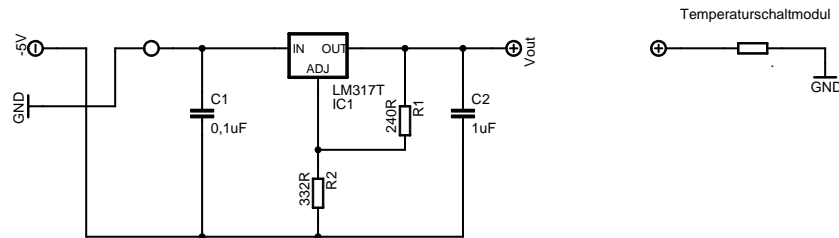


Abbildung 9.6: Schaltplan Temperaturschaltmodul: Computernetzteil,
Seite 1/1

durch die Peltierelemente (22 A) und evtl. der Pumpe noch zusätzlich belastet werden können, kann diese Schaltung selbstverständlich auch mit +5 V versorgt werden.

Achtung! Vor dem Anschluss des Temperaturschaltmoduls an die Ausgänge der Schaltung sollte die Spannung mit einem Voltmeter überprüft werden.

Kapitel 10

Fertigung des Gehäuses

Das Gehäuse muss der Nebelkammer selbst, dem Computernetzteil, der Pumpe, dem Vorratsbehälter und der benötigten Elektronik Platz bieten (siehe Abbildung 10.1). Beim Prototypen kam ein Netzteil älterer Bauart zum Einsatz, welches überaus viel Platz beansprucht hat. Aus diesem Grund dürfte das nachstehend beschriebene Gehäuse in den meisten Fällen ausreichend sein. Das Computernetzteil, welches im Prototypen verbaut worden ist, hat eine Breite von 150 mm. Sollte ein breiteres Netzteil verwendet werden, müsste das Gehäuse dementsprechend angepasst werden. Zur Beurteilung des eigenen Platzbedarfs und zur Übersicht kann Abbildung 10.1 herangezogen werden.

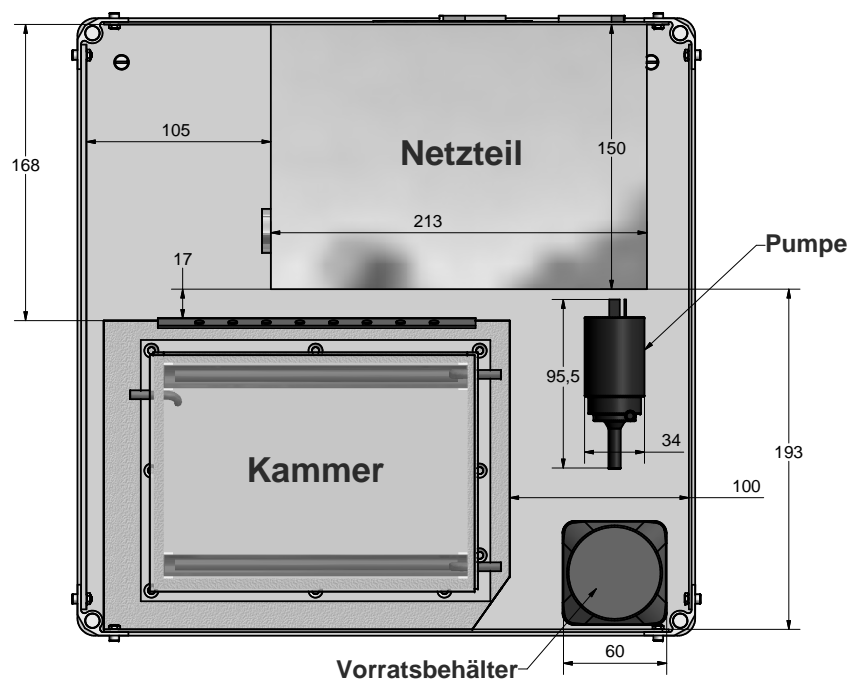


Abbildung 10.1: Anordnung im Gehäuse

10.1 Grundplatte [G01]

Für die Grundplatte [G01], Objekt 64, wird die 350×350 große und 4 mm starke Aluminiumplatte benötigt (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 38).

Zuerst sind in die Ecken der Platte vier M8-Innengewinde zu schneiden. Dazu sind zunächst nach Abbildung 10.2 auf der nächsten Seite vier $\varnothing 6,8$ mm Kernlöcher zu bohren und mit einem Kegelsenker leicht anzusenken. Im Anschluss werden die M8-Gewinde unter Zuhilfenahme eines dreiteiligen Handgewindebohrersatzes in die Bohrungen geschnitten. Hierfür wird zuerst mit dem Vorschneider, dann mit dem Mittelschneider und zuletzt mit dem Fertigschneider gearbeitet. Übrigens, ein zweiteiliger Satz besteht nur aus Vor- und Fertigschneider. Es ist darauf zu achten, dass der Schneider **genau axial** in das Kernloch eingeführt wird, was immer wieder, auch während dem Schneiden, mit einem Winkel geprüft werden sollte. Beim Schneiden sollte etwas Schmierstoff, zum Beispiel Öl, verwendet werden.

Wer das Schneiden von Gewinden unbedingt vermeiden möchte, kann statt dessen vier Einnietmuttern in die Platte einziehen.

Überdies werden in die Ecken und in die Mitte der Aluminiumplatte gemäß Abbildung 10.2 auf der nächsten Seite fünf $\varnothing 4,1$ mm Bohrungen für die Gerätefüße gesetzt. Danach wird bei allen Bohrungen mit einem Kegelsenker (90° Spitzenwinkel) eine Schraubensenkung hergestellt. Der Durchmesser der Senkung richtet sich im wesentlichen nach dem Durchmesser des Schraubenkopfes derjenigen Schrauben (Objekt 74), welche zur Montage der Gerätefüße (Objekt 72) verwendet werden. Die Schraubenköpfe müssen bündig mit der Oberfläche der Platte abschließen. Als Richtwert wird hier ein Durchmesser von 8,4 mm angegeben.

Um später die Nebelkammer an der Grundplatte fixieren zu können, müssen noch sechs $\varnothing 4$ mm Bohrungen, wie in Abbildung 10.2 zu sehen, durch die Platte gesetzt werden.

10.2 Profil [G02]

Für die Kanten des Gehäuses (siehe Abbildung 10.11 auf Seite 96) müssen von dem 1 m langen Profil [G02] (Objekt 65) vier 207 mm lange Stücke mit einer Metall-Handsäge abgeschnitten werden (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 38). Dabei ist auf einen geraden Schnitt zu achten. Deshalb sollte die Schnittlinie zur besseren Orientierung während des Sägens angerissen werden.

Die Länge der Profilstücke setzt sich aus der Kammerhöhe (Wasserbecken + Wärmetauschplatte + Peltierelemente + Kühlplatte + Glaswände + PVC-Oberteil; ohne Glasdeckel) und einem bestimmten Aufschlag zusammen (siehe Abbildung 10.3 auf der nächsten Seite):

$$\text{Profillänge} = \text{Kammerhöhe} + 20 \text{ mm} + \frac{1}{3} \cdot \text{Höhe Dichtungsgummi}$$

Die oben aufgeführten 20 mm müssen auf Grund der Kammer-Erhöhung [K17] addiert werden. Sollten beim bisherigen Kammerbau Materialien verwendet worden sein deren Maße vom Plan abweichen, muss unter Umständen die Länge der

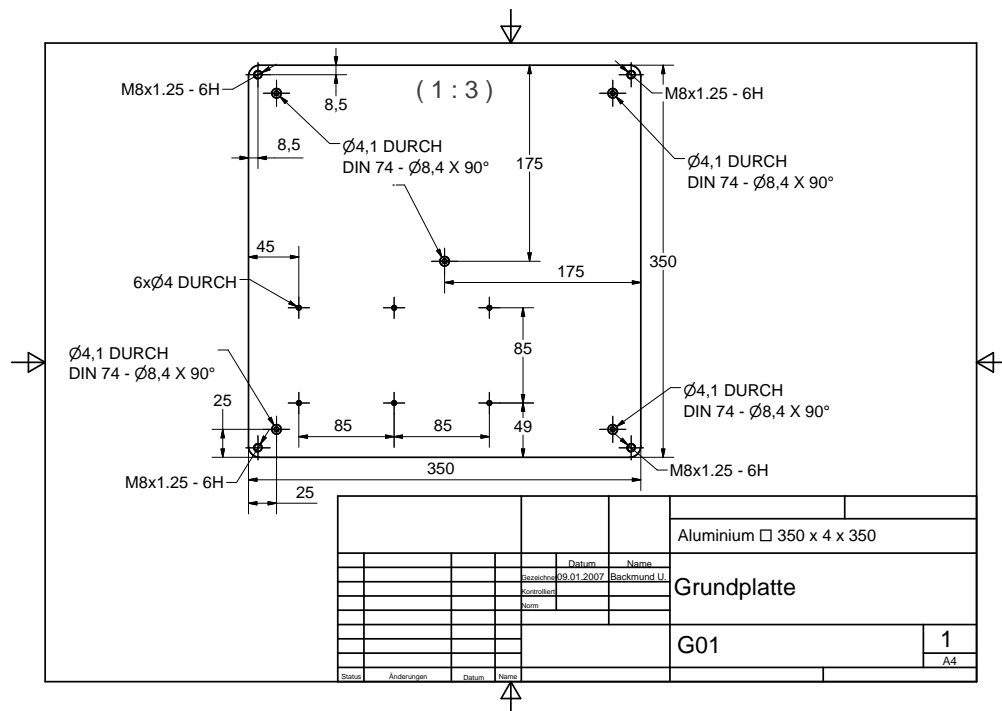


Abbildung 10.2: Bauteil G01, Seite 1/1

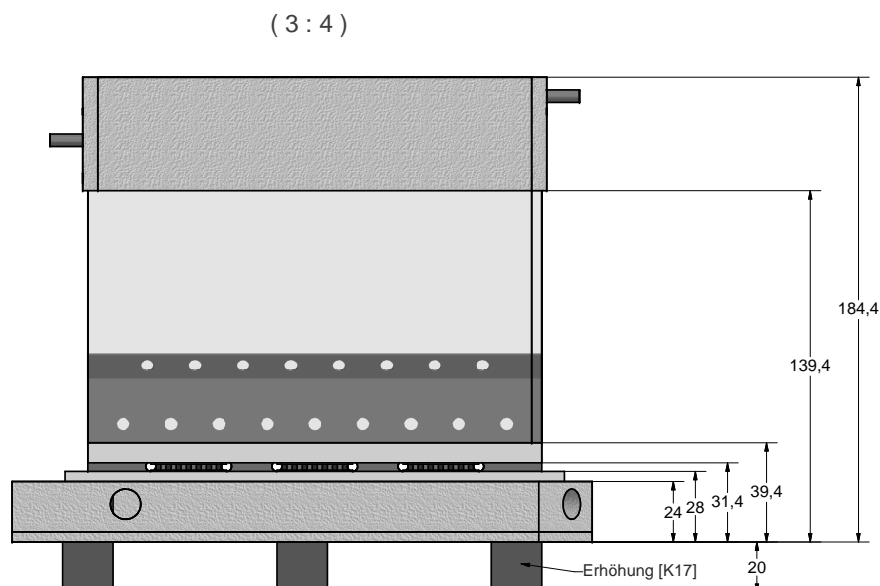


Abbildung 10.3: Ermittlung der Kammerhöhe

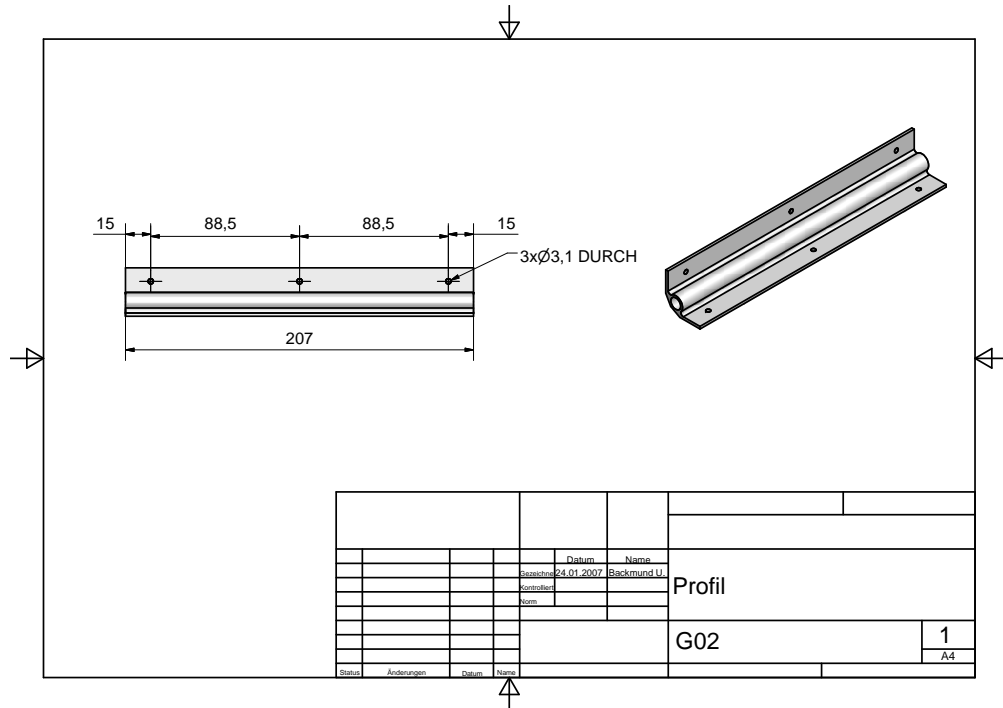


Abbildung 10.4: Bauteil G02, Seite 1/1

Profile den eigenen Gegebenheiten angepasst werden. Jedoch wäre dann zu beachten, dass dies Auswirkungen auf die Bemassung der Gewindestangen und Gehäuse-Seitenteile haben wird.

Abschließend werden sechs Ø3,1 mm Bohrungen gemäß Abbildung 10.4 durch das Profil gebohrt.

10.3 Gewindestangen [G03]

Um später die Profile, die Grundplatte und den Gehäusedeckel miteinander verschrauben zu können (siehe Abbildung 10.11 auf Seite 96), müssen von der M8-Gewindestange, Objekt 66, mit der Metall-Handsäge vier 237 mm lange Stücke abgeschnitten werden (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 38).

Sollte in Abschnitt 10.2 die Profillänge abgeändert worden sein, ist zu beachten, dass sich die Länge der Stangen aus der im vorhergehenden Abschnitt ermittelten Profillänge und einem erneuten Zuschlag von 25 mm, ergibt.

Länge Gewindestange = Profillänge + 30 mm

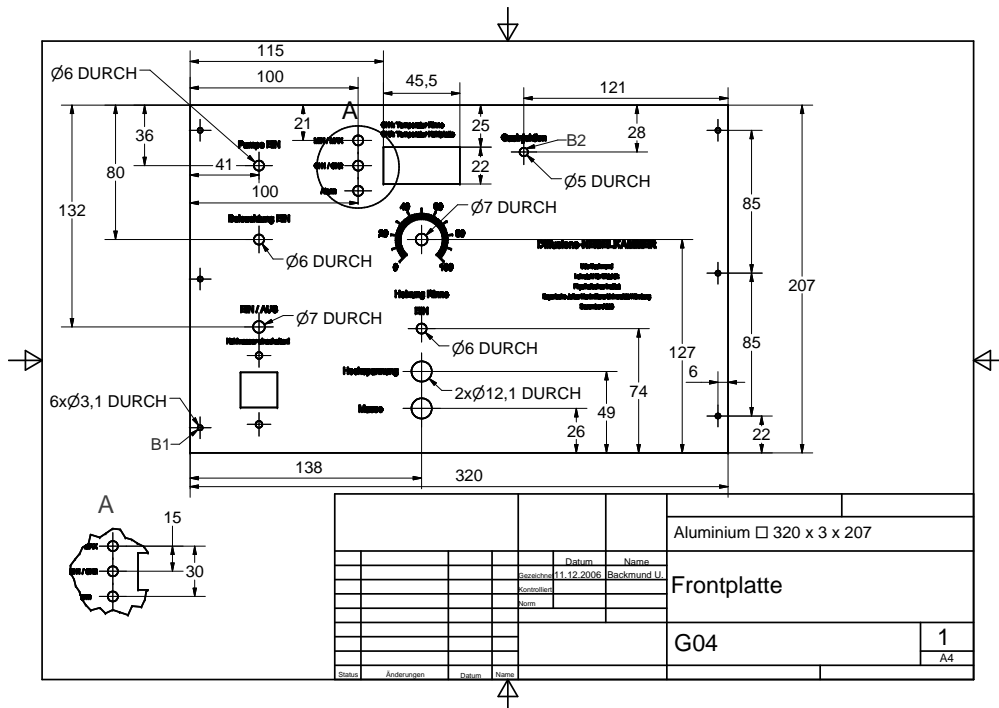


Abbildung 10.5: Bauteil G04, Seite 1/2

10.4 Frontplatte [G04]

Als Rohmaterial für die Frontplatte [G04], Objekt 67, dient die Aluminiumplatte mit den Maßen $320 \times 4 \times 207$ mm (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 38).

Die Höhe der 320 mm langen und 4 mm starken Frontplatte [G04] muss gleich der Profillänge aus Abschnitt 10.2 sein.

Als erstes werden durch die Frontplatte die *Bohrungen B1* nach Abbildung 10.5 an den Rand der Platte gesetzt. Sie dienen später zur Befestigung der Frontplatte an das Gehäuse-Profil.

Weiter werden die verbleibenden Bohrungen für Schalter, Taster und Buchsen gemäß Abbildung 10.5 durch die Platte gesetzt. Wobei die jeweiligen Bohrungsdurchmesser den verwendeten Bedienelementen individuell angepasst werden müssen (siehe auch Abbildung 10.6). Weiterhin ist eine rechteckige Aufnahme für das Temperaturschaltmodul [E09] in die Platte zu sägen. Dazu wird zuerst die gewünschte rechteckige Aufnahme auf der Platte angerissen. Folgend werden tangential in die Ecken der Aufnahme Ø7 mm Bohrungen gesetzt und anschließend das Fenster mit der Handsäge ausgesägt. Dazu wird das Sägeblatt auf einer Seite der Verspannung ausgehängt, durch eine Bohrung geführt und wieder eingespannt. Jetzt kann die rechteckige Aufnahme entlang einer angerissenen Linie ausgesägt werden. Unter Umständen muss, besonders in den Ecken, mit einer Feile nachgearbeitet werden. Auch hier sind die Maße den eigenen Gegebenheiten anzupassen.

Das beim Prototypen verwendete Netzteil besitzt einen Netzschalter, der ebenfalls eine rechteckige Aufnahme in der Frontplatte benötigt. Sollte beim

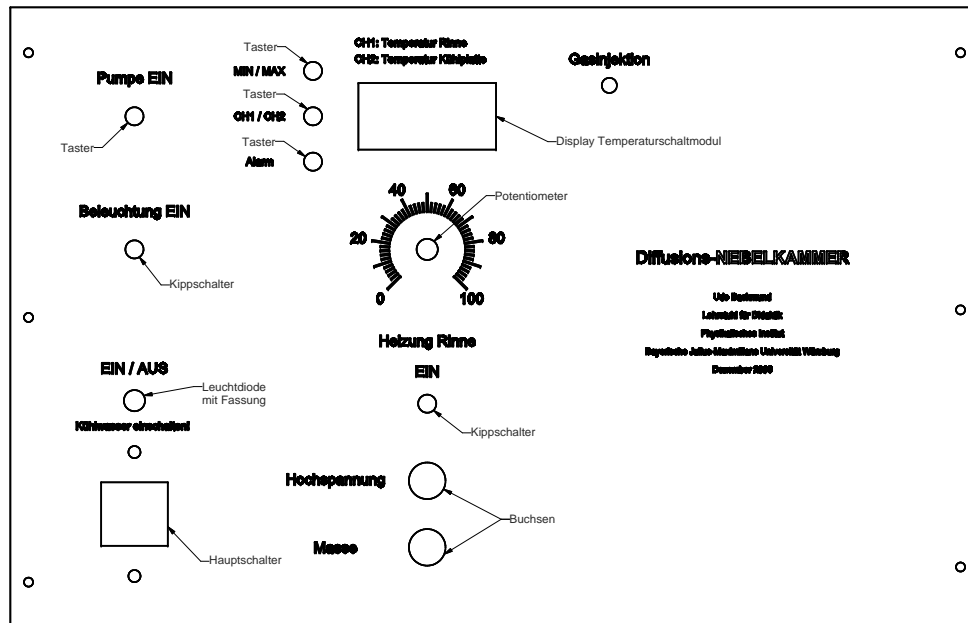


Abbildung 10.6: Bauteil G04, Seite 2/2

verwendeten Netzteil schon ein Netzschalter direkt am Gehäuse der Spannungsquelle selbst existieren, muss natürlich keine Aufnahme für einen Netzschalter geschaffen werden. Die Kammer wird dann direkt über diesen Schalter ein- und ausgeschaltet. Ansonsten ist hier individuell eine Aufnahme für den verwendeten Schalter zu schaffen.

Alle Bohrungen und Schnittkanten sind mit dem Kegelsenker bzw. einer feinen Feile zu entgraten.

Für *Bohrung B2*, die später zur Injektion eines radioaktiven Gases genutzt werden soll, wird noch ein etwa 15 mm langes Rundrohr aus einem weichen Metall mit einem Außendurchmesser von $\varnothing 5$ mm benötigt (Objekt 86, Tabelle 5.4 auf Seite 38). Zuerst muss ein Ende des Rohres unter Zuhilfenahme eines geeigneten Werkzeuges, wie zum Beispiel einem Körner, Durchtreiber oder Vorstecher, etwas aufgeweitet werden. Danach wird das Rohr von vorne mit dem unbehandeltem Ende zuerst durch *Bohrung B2* der Frontplatte gesteckt. Das Rohr sollte auf der Plattenvorderseite bündig abschließen und auf Grund des geweiteten Rohrendes fest in der Bohrung sitzen.

Die auf den Zeichnungen zu erkennende Beschriftung der Frontplatte wurde beim Prototypen in die Platte graviert. Dies kann aber auch auf andere Art und Weise, zum Beispiel durch beschriftete Aufkleber, geschehen.

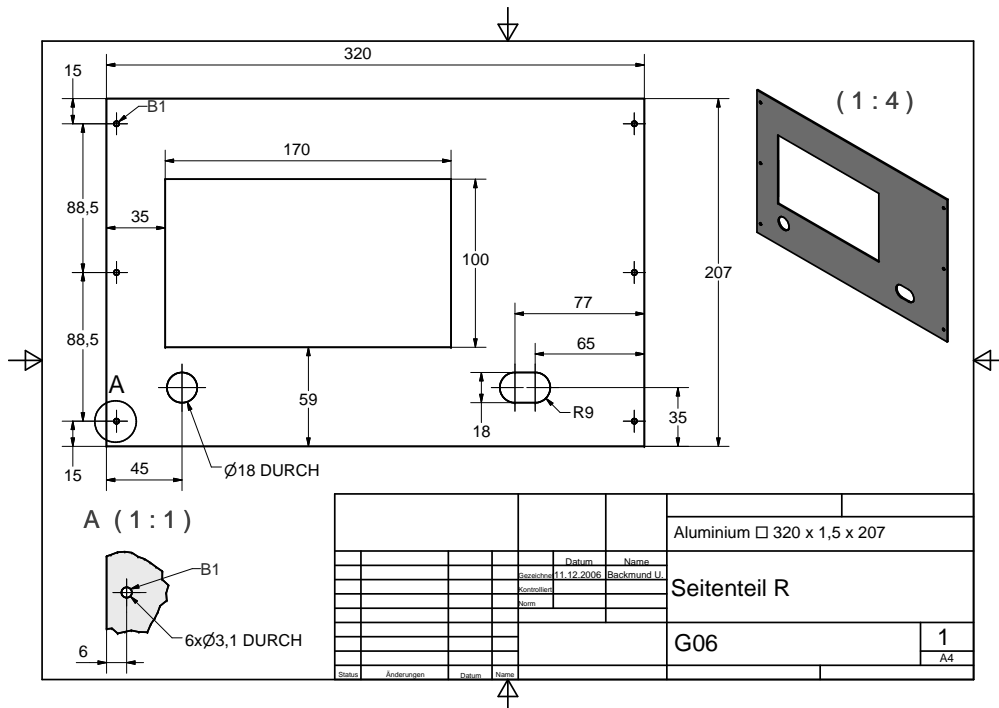


Abbildung 10.7: Bauteil G06, Seite 1/1

10.5 Seitenteile [G05], [G06] und [G07]

Für die Seitenteile [G05], [G06] und [G07], Objekt 68-70, werden drei 320 mm lange und 1,5 mm starke Alubleche benötigt (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 38). Die Höhe der Seitenteile ist gleich der Höhe der Frontplatte (siehe Abschnitt 10.4). In *alle drei* Bleche sind die *Bohrungen B1* zu setzen (siehe Abbildung 10.7), wie in Zeichnung Bauteil [G06] auf Seite 1 zu sehen ist.

In eines der Bleche ist dann nach Abbildung 10.7 ein Fenster zu schneiden. Zu diesem Zweck wird, ähnlich wie in Abschnitt 10.4, das Fenster auf dem Blech angerissen und in die Ecken, tangential zu den angerissenen Linien, $\varnothing 7\text{mm}$ Bohrungen durch das Blech gesetzt. Dann kann mit einer Stichsäge, wie schon zuvor in Abschnitt 10.4, das Fenster des Seitenteils ausgesägt werden. Dazu muss das Werkstück, um während dem Sägen Schwingungen des Bleches zu vermeiden, möglichst Nahe an der Schnittlinie verspannt werden. Die Hinweise in Abschnitt 6.2.2 auf Seite 45 sind zu beachten.

Überdies muss ein weiteres Fenster in das *hintere oder linke* Seitenteil gesägt werden. Dieses Fenster muss dem Lüfter und den Anschlüssen des Computernetzteils individuell angepasst werden. Abbildung 10.8 zeigt, wie dies beim Prototypen umgesetzt worden ist. Hier ist auch zu erörtern, wie das Computernetzteil fixiert werden kann. Unter Umständen sind Bohrungen in das jeweilige Seitenteil zu bohren.

Letztlich muss noch die Ø18 mm Bohrung und das Langloch für die Kühlwasserschläuche in das Bauteil [G06] (rechtes Seitenteil) gearbeitet werden (siehe Abbildung 10.7).



Abbildung 10.8: Linkes Gehäuse-Seitenteil

Alle Bohrungen und Schnittkanten sind zu entgraten.

10.6 Deckel [G08]

Für den Gehäusedeckel [G08], Objekt 71, ist die 350×350 große und 4 mm starke PVC-Platte herzunehmen (siehe Tabelle 5.3 auf Seite 38).

In den Ecken der Platte werden nach Abbildung 10.9 vier $\varnothing 10$ mm Bohrungen durch die Platte gesetzt.

Das Fenster für die Kammer und die Glasdeckelhalterung [G09] werden erst bei der Endmontage (Abschnitt 11.5 auf Seite 105) angefertigt.

10.7 Zusammenbau des Gehäuses

Als Erstes sind die fünf Gerätefüße (Anschraubpuffer), Objekt 72, an die Grundplatte [G01] anzuschrauben (Tabelle 5.3 auf Seite 38). Dazu werden die M4-Senkschrauben, Objekt 74, in die vorbereiteten Schraubensenkungen gesteckt, die Puffer auf der gegenüberliegenden Seite über die Schrauben geschoben und mit den M4-Sechskantmutter festgeschraubt. Die Schrauben dürfen nicht über den Puffer herausragen (siehe Abbildung 10.10). In diesem Fall müssten die Schrauben mit einer Metall-Handsäge auf das richtige Maß gekürzt werden.

In die vier M8-Innengewinde in den Ecken der Grundplatte [G01] wird nun jeweils eine Gewindestange [G03] geschraubt und mit einer M8-Sechskantmutter, Objekt 75, auf der Plattenunterseite (die Seite mit den Gerätefüßen) gegengeschraubt (siehe Abbildung 10.10). Die Gewindestange sollte dabei etwa bündig mit der Mutter abschließen.

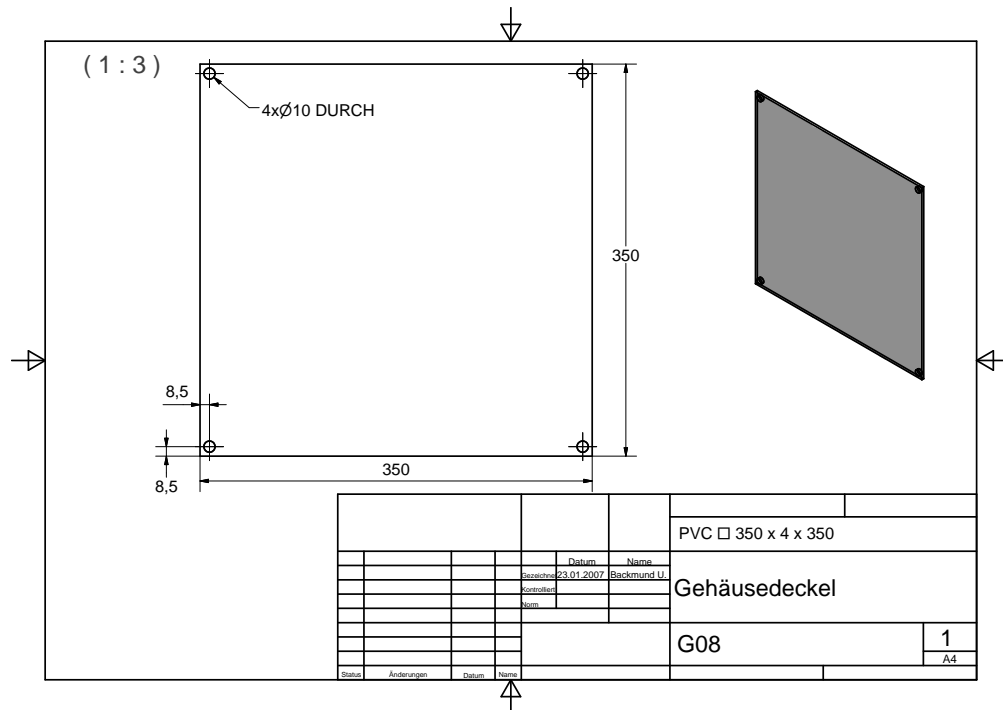


Abbildung 10.9: Bauteil G08, Seite 1/2



Abbildung 10.10: Detailaufnahme Gerätefuß und Verschraubung Gewindestange

Anschließend werden die Profile [G02] über jeweils eine der Gewindestangen geschoben. Folgend sollte dann die Frontplatte [G04] und das rechte Seitenteil [G06], wie in Abbildung 10.11 zu sehen, mit den M3-Zylinderschrauben, Objekt 76, und den M3-Sechskantmuttern, Objekt 78, an die Profile geschraubt werden (siehe Tabelle 5.4 auf Seite 38). Die übrigen zwei Seitenteile werden jetzt an das noch lose Profil, nicht aber mit den beiden anderen Profilen, verschraubt. Dadurch kann das linke und hintere Seitenteil, wie in Abbildung 10.11 gezeigt, zur Endmontage (Kapitel 11 auf der nächsten Seite) abgenommen werden.

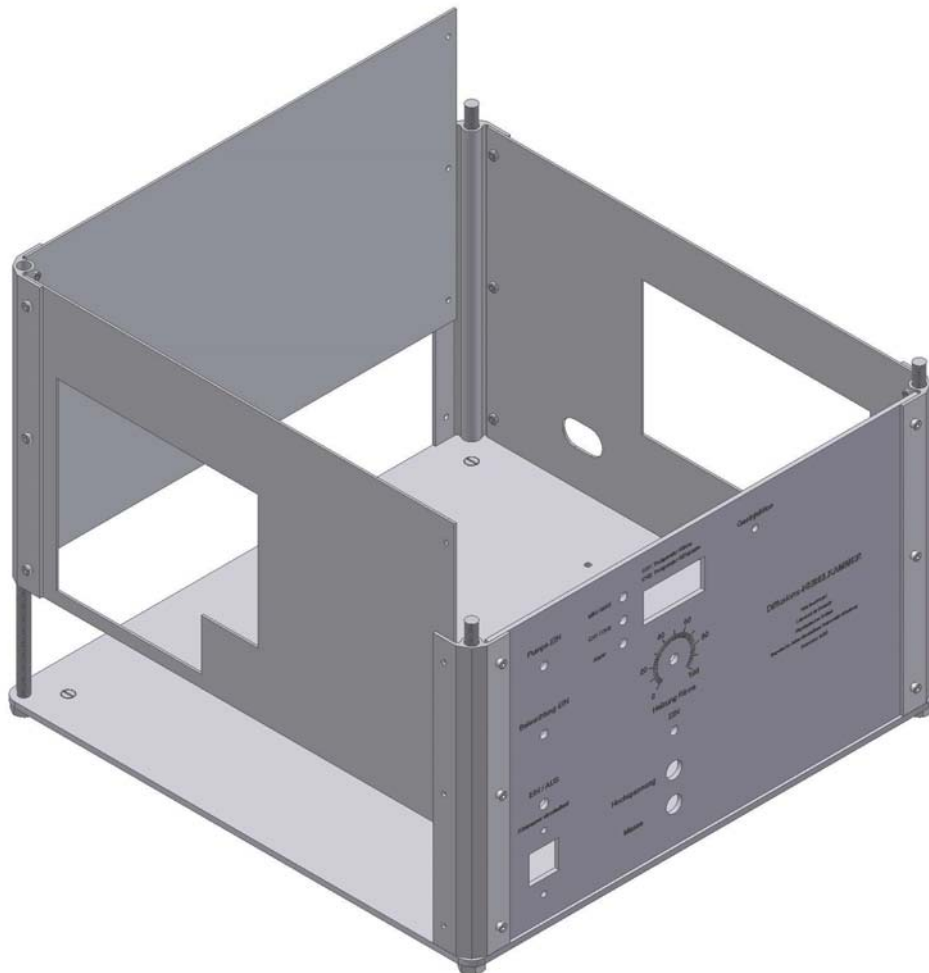


Abbildung 10.11: Das GEHÄUSE

Kapitel 11

Endmontage

Für die Endmontage ist das linke und hintere Seitenteil des Gehäuses zusammen mit dem dazwischen liegendem Profil, wie schon in Abschnitt 10.7 auf Seite 94 beschrieben, abzunehmen (siehe Abbildung vrefgehäuse).

Achtung, sobald die Peltierelemente an das Computer-Netzteil angeschlossen sind, darf das Netzteil nur bei laufender Wasserkühlung eingeschaltet werden.

11.1 Positionieren der Nebelkammer

Für die Positionierung der Kammer müssen als erstes die Erhöhungen [K17], mit Linsen-Blebschrauben (Objekt 79, Tabelle 5.4 auf Seite 38) auf die Oberseite der Grundplatte geschraubt werden (siehe Abbildung 11.1). Die Oberfläche der PVC-Erhöhung wird sodann dünn mit einem PVC-Kleber bestrichen. Anschließend wird umgehend das Wasserbecken [K01] & [K02] auf die Erhöhungen gesetzt und ausgerichtet. Dabei müssen die Druckschlauchtüllen durch die dafür vorgesehenen Löcher des rechten Seitenteils [G06] geführt werden. Das Becken ist richtig ausgerichtet, wenn es bündig mit dem Seitenteil abschließt und die Tülle des Kühlwasserzuflusses im Zentrum der Bohrung sitzt.

Nachdem der Kleber getrocknet ist, können die Kühlwasserschläuche, Objekt 80, über die Tüllen des Beckens geschoben und mit Schlauchschellen, Objekt 81, oder vergleichbaren Schlauchsicherungen gesichert werden.

Jetzt können, falls noch nicht geschehen, die Peltierelemente [E12], Objekt 82, mit ihrer Warmseite auf der Wärmetauschplatte [K03] platziert werden. Dazu können die Positionen der sechs Peltierelemente auf der Wärmetauschplatte gemäß Abbildung 11.2 für eine gleichmäßige Verteilung der Elemente auf die Platte übertragen werden. Die Anschlusskabel der Elemente werden durch die Bohrungen der LED-Leiste [K14] geführt und die Elemente entsprechend der Markierungen ausgerichtet (siehe Abbildung 11.3). Letztlich ist noch die Auflagefläche der Elemente dünn mit einer Wärmeleitpaste, Objekt 48, einzuschmieren. Dadurch sollen Unebenheiten ausgeglichen und eine optimale Verbindung zur Wärmetauschplatte sichergestellt werden.

Bevor die eigentliche Kammer auf die Peltierelemente gesetzt werden kann, müssen auch die Kaltseiten der Peltierelemente dünn mit Wärmeleitpaste einge-

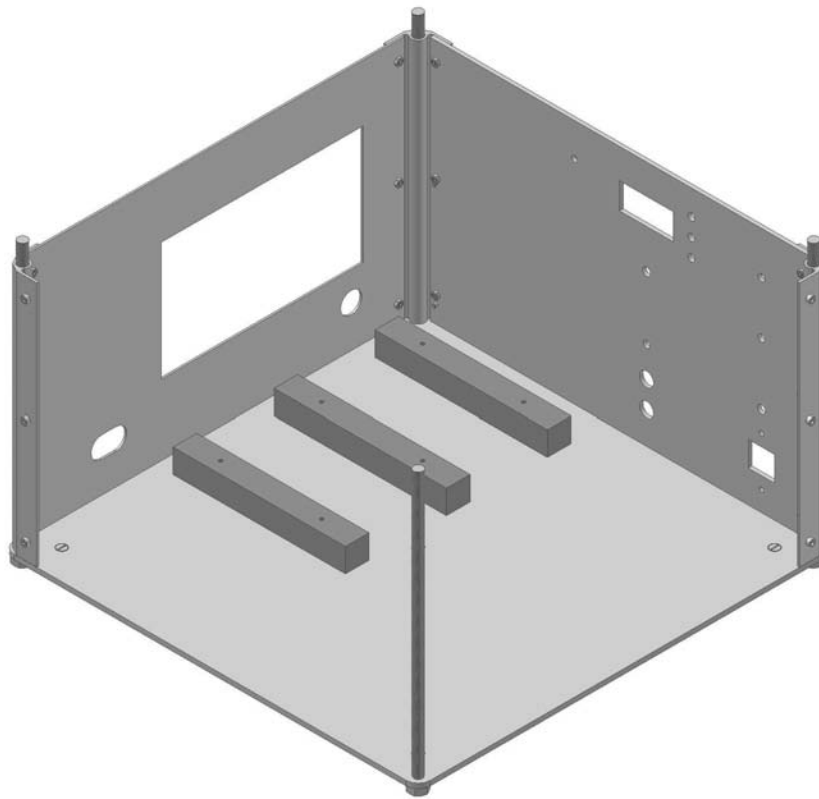


Abbildung 11.1: Montage der Erhöhungen [K17]

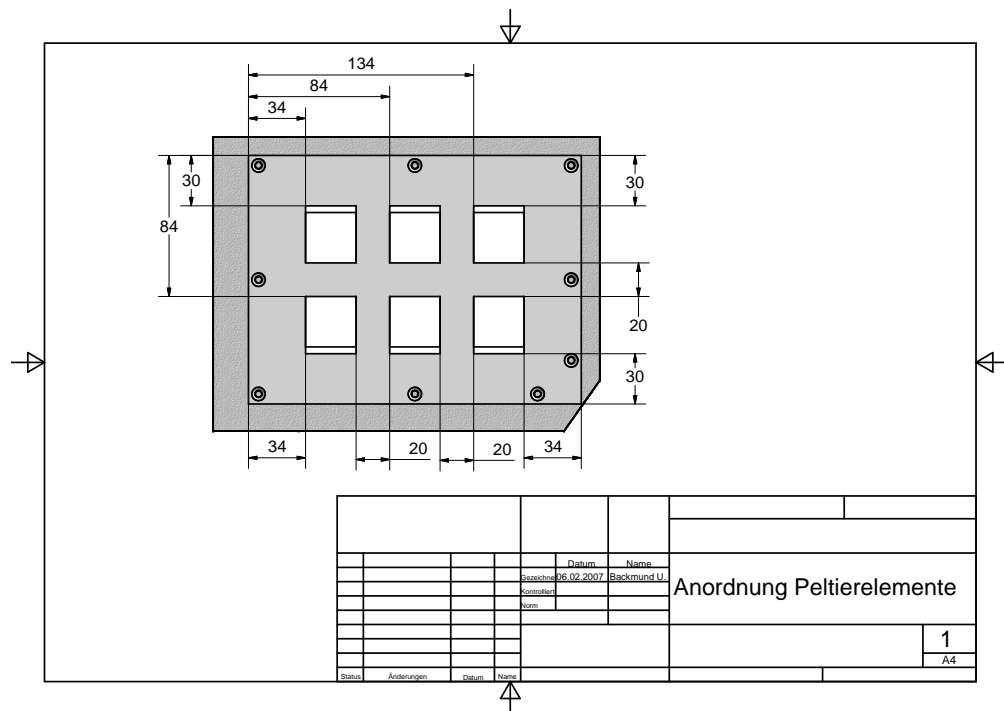


Abbildung 11.2: Anordnung der Peltierelemente

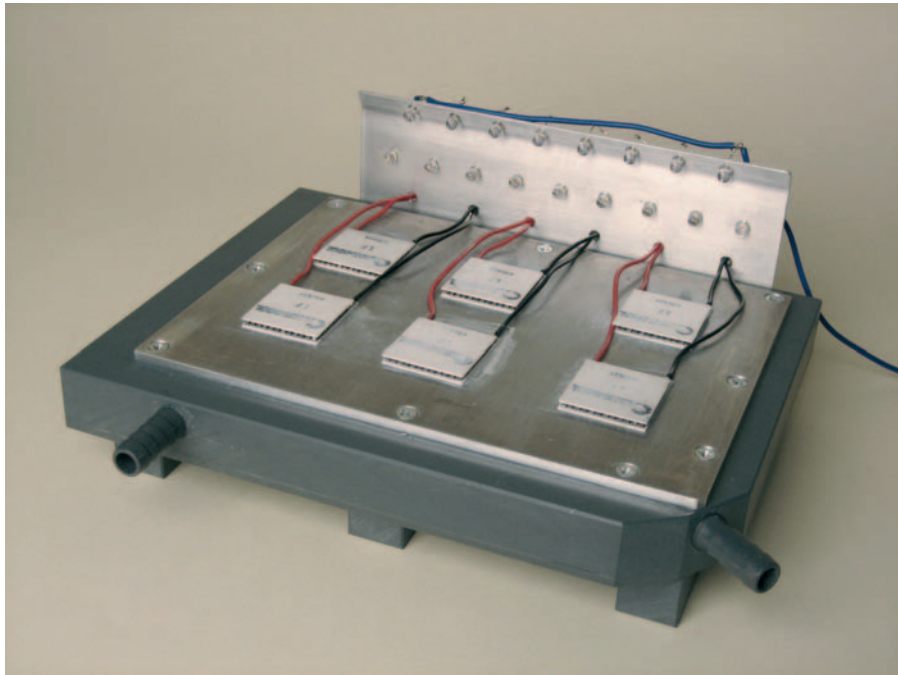


Abbildung 11.3: Der Unterbau der Nebelkammer mit LED-Leiste und Peltier-elementen

schmiert werden. Zudem sollte das „Massekabel“ an der Kühlplatte angebracht werden. Dazu wird ein ausreichend langes Kabel mit einem Ringkabelschuh, Objekt 84, versehen und mit einer Linsen-Blechschrabe, Objekt 98, an der Kühlplatte festgeschraubt (beachte *Bohrung 3* in Abschnitt 7.3 auf Seite 53). Jetzt kann die Kammer auf die Peltierelemente gesetzt werden. Dabei sollte die Kammer bezüglich der Wärmetauschplatte mittig ausgerichtet werden.

Letztlich ist noch das Röhrchen für die Gasinjektion über ein Schlauchstück, Objekt 85, mit dem dafür vorgesehenen Rohr im PVC-Oberteil der Kammer zu verbinden.

11.2 Verkabelung

In den folgenden Abschnitten wird lediglich beschrieben, welche Bauteile und Anschlüsse miteinander verbunden werden müssen. Dass die Kabelenden dabei an den jeweiligen Anschluss gelötet werden müssen, wird nicht immer explizit ausgeführt.

Alle Kabelenden, die bei der Verkabelung mit Lüsterklemmen verschraubt werden müssen, sollten mit entsprechenden Aderendhülsen versehen oder zumindest mit dem LötKolben verzinnt werden (beachte Abschnitt 6.3 auf Seite 46).

Es wird empfohlen alle verwendeten Kabel so lange zu lassen, wie es ein unkomplizierter Ein- und Ausbau der kabelgebundenen Bauteile erfordert. Auf der anderen Seite sollten die Kabel nicht zu lange sein, da sonst die große Kabelmasse den Einbau der Bauteile in das Gehäuse erschwert.

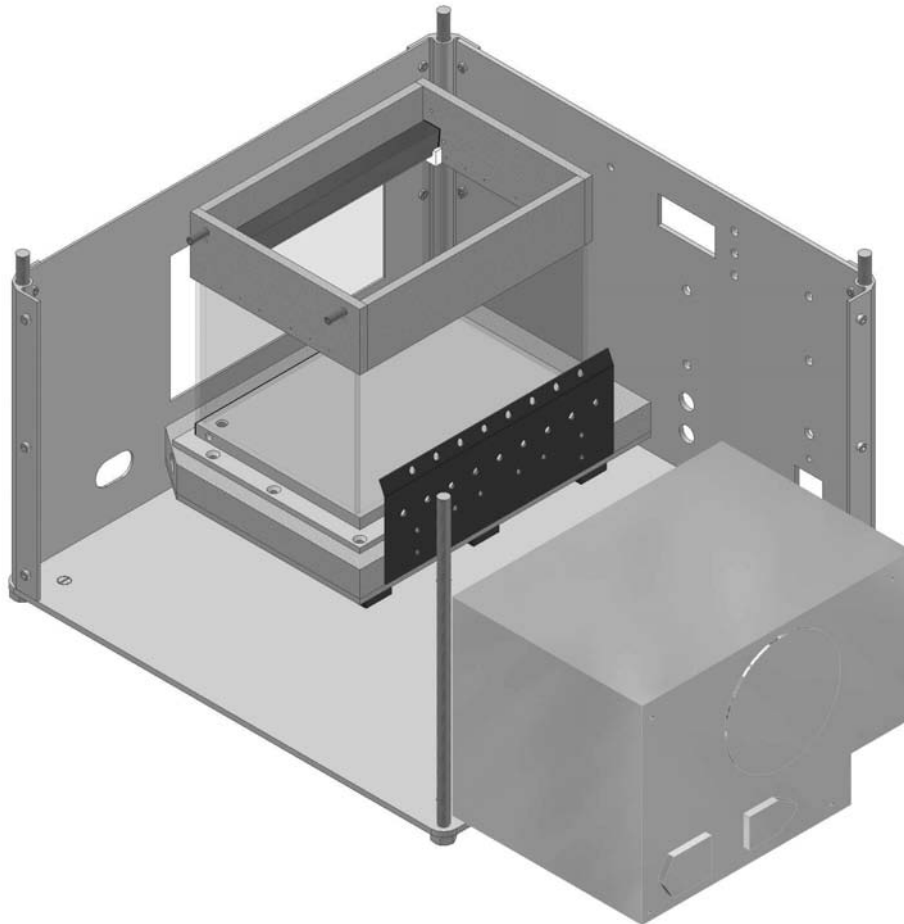


Abbildung 11.4: Positionierung des Netzteils während der Verkabelung

Zur Verkabelung sollte das Netzteil noch nicht auf seine endgültige Position gestellt werden, sondern unmittelbar vor das Gehäuse (siehe Abbildung 11.4). Dies erleichtert die Verkabelung. Später wird dann lediglich das Netzteil in das Gehäuse geschoben.

11.2.1 Verkabelung Netzteil

Für eine platzsparende und geordnete Verkabelung empfiehlt sich die Montage einer 12 bis 16 poligen Reihe von Lüsterklemmen, Objekt 87, auf dem Netzteilgehäuse (siehe Tabelle 5.4 auf Seite 38). Dazu wird die Lüsterklemmenreihe, ähnlich wie schon die Spannungsregler in Kapitel 9 auf Seite 79, auf das Gehäuse geschraubt (Objekt 88). Die Lüsterklemmen sollten nahe dem Kabelausgang des Netzteils angebracht werden.

Folgend sind alle mehrpoligen Stecker an den Kabeln des Netzteils mit einem Seitenschneider abzutrennen.

Im Anschluss werden für die Versorgung der Peltierelemente sechs +5 V-Kabel (in der Regel rot) und sechs Masse-Kabel (meistens schwarz) mit

dem Seitenschneider so weit gekürzt, dass sie problemlos in den ersten sechs Lüsterklemmen verschraubt werden können. Es werden auf Grund des hohen Stromes immer zwei gleiche Kabel pro Klemme verarbeitet. Die Kabelenden sollten hierzu mit entsprechenden Aderendhülsen, Objekt 89, ausgestattet werden.

Auf die gleiche Art und Weise müssen Anschlüsse für die *Rinnen-Heizung*, die *Pumpe*, das *Temperaturschaltmodul*, die *LED-Leiste* und die *Kontrollleuchte* (Objekt 90) eingerichtet werden.

Bei einer 14 poligen Lüsterklemmen-Reihe muss jedoch das Temperaturschaltmodul und die Kontrollleuchte über ein gemeinsames Lüsterklemmenpaar versorgt werden. Unter Umständen können auch die LED-Leiste und Pumpe, falls die jeweilige vorgeschaltete Elektronik auf die gleiche Eingangsspannung ausgelegt ist (siehe Kapitel 9 auf Seite 79), auf ein Lüsterklemmenpaar geklemmt werden. Damit wäre dann nur eine 12 polige Reihe Lüsterklemmen nötig.

Einen Überblick über die gängige Zuordnung der jeweiligen Kabelfarbe gibt Tabelle 11.1. Fernerhin kann die Farbzweisung nur über die Beschriftung der Platine im Netzteilinneren überprüft werden.

FUNKTION	KABEL-FARBE
Power-ON	grün
Masse	schwarz
+3,3 V VDC	orange
+5 V VDC	rot
−5 V VDC	weiß
−12 V VDC	blau
+12 V VDC	gelb

Tabelle 11.1: Zuordnung der Kabel-Farbe

11.2.2 Verkabelung der Einbaubuchsen

In die Frontplatte sind die beiden Einbaubuchsen [E14] & [E15], Objekt 91 & 92, in die dafür vorgesehenen Bohrungen zu schrauben (siehe Tabelle 5.4 auf Seite 38). Die gelbe Buchse für den Masse- und die blaue für den Hochspannungs-Anschluss.

Danach wird das „Massekabel“, welches mit der Kühlplatte [K04] verbunden ist (siehe Abschnitt 11.1 auf Seite 97), an die gelbe Buchse gelötet und die Lötverbindung großzügig mit einem Stück Schrumpfschlauch isoliert. Dabei ist es ratsam, wenn der Schrumpfschlauch so groß gewählt wird, dass er über die gesamte Buchse geschoben werden kann.

Weiterhin muss das Drahtgitter des PVC-Oberteils, der Ionensauger, über ein Kabel mit der blauen Einbaubuchse verbunden werden. Dazu wird einfach der 2 mm-Stecker, Objekt 123, an ein Kabel gelötet und dieses mit der blauen Hochspannungs-Buchse verbunden. Hierbei sollte das Kabel auf der gesamten Länge nochmals besonders mit Schrumpfschlauch isoliert werden. Auf ein Schrumpfen des Schlauches kann hier zwecks einer verbesserten Isolation ver-

zichtet werden. Insbesondere ist der Anschluss an die Buchse, wie schon zuvor bei der gelben Buchse, zu isolieren.

11.2.3 Verkabelung Peltierelemente

Für die Verkabelung der Peltierelemente [E12] werden die Verbindungsklemmen, Objekt 93, benötigt (siehe Tabelle 5.4 auf Seite 38).

Als Erstes sind je zwei Peltierelemente durch die Verbindungsklemmen parallel zu schalten. Dafür werden jeweils die beiden gleichfarbigen Versorgungskabel der Peltierelemente, welche aus den Bohrungen der LED-Leiste ragen, unter Zuhilfenahme einer Verbindungsklemme miteinander verbunden. Über den verbleibenden Anschluss der Klemme können die Elemente durch die vorbereiteten Lüsterklemmen (+5 V) an das Netzgerät angeschlossen werden. Dabei sollte auf Grund des hohen Stromes, etwa 7 A pro Leitung, Litzen-Kabel mit einem ausreichendem Querschnitt (ca. $1,5 \text{ mm}^2$) verwendet werden.

11.2.4 Verkabelung Schaltung „Rinnen-Heizung“

Zur Verkabelung der Rinnen-Heizung muss zuerst ein Kippschalter [E16], Objekt 94, für das Ein- und Ausschalten der Rinnen-Heizung und das Potentiometer [E7R2], Objekt 44, zur Regelung der Heizung an entsprechender Stelle in der Frontplatte montiert werden.

Anschließend wird der GND-Eingang der Elektronik für die Rinnen-Heizung auf der Lochrasterplatte mit der dafür vorgesehenen Lüsterklemme (Masse) verbunden (siehe Abschnitt 9.3 auf Seite 80). Weiterhin wird der Kippschalter mit der für die Heizung vorgesehenen spannungsführenden Lüsterklemme (+12 V) verbunden. Der zweite Anschluss des Schalters wird mit dem Spannungseingang der Elektronik der Rinnen-Heizung mittels Steckschuh verbunden.

Das Potentiometer wird, wie schon in Abschnitt 9.3 ausgeführt, mit der Lochrasterplatte verbunden. Weiterhin muss noch der Poti-Knopf, der Zeiger und die Abdeckkappe (Objekt 106-108) auf die Achse des Potentiometers montiert werden (siehe Tabelle 5.5 auf Seite 39).

11.2.5 Verkabelung Temperaturschaltmodul

Im ersten Schritt sind an das Temperaturschaltmodul [E09], Objekt 57, gemäß der mitgelieferten Bedienungsanleitung drei Taster für die Funktionen „MIN/MAX“, „PLUS“ und „ALARM“ anzuschließen. Bei der Verkabelung des Moduls können Kabel geringen Querschnitts verwendet werden. Für die Spannungsversorgung des Moduls müssen noch ausreichend lange Kabel angelötet werden. Danach sind, für eine dauerhafte Display-Beleuchtung, die Lötbrücken X4-11 und X12-12 zu schließen (siehe Bedienungsanleitung).

Nachdem alle Lötarbeiten am Temperaturschaltmodul durchgeführt worden sind, kann das Modul und die Taster in die Frontplatte eingebaut werden. Weiterhin ist das Modul mit der jeweils gewählten Spannungsquelle bzw. dem Relais zu verbinden. Hier sind **unbedingt** die Ausführungen des Abschnitts 9.5 auf Seite 84 zu beachten. Für die Versorgung mit Batterien wird der Batteriehälter, Objekt 126, zwei Mignon-Batterien (Typ AA) und der Batterieclip,

Objekt 127, benötigt. Der Masseanschluss (GND) der Spannungsversorgung des Moduls wird über den Batterieclip direkt an den negativen Pol des Batteriehalters angeschlossen. Der Plus-Pol des Batterieclips und der Eingang für die Spannungsversorgung des Moduls werden über Steckerstifte mit dem Schließer des Relais (S und P; Laststromkreis) verbunden (siehe Abbildung 9.5 auf Seite 85). Weiterhin muss der Steuerstromkreis des Relais über die vorbereiteten Lüsterklemmen mit einem +12 V Ausgang des Computernetzteils verbunden werden. Das Relais wurde richtig verkabelt, wenn mit der Inbetriebnahme des Computernetzteils der Laststromkreis des Relais geschlossen wird.

Abschließend müssen noch die schon werkseitig angelöteten Temperatursensoren montiert werden. Da sich gezeigt hat, dass mit den Sensorgehäusen die Temperatur der zu messenden Bereiche nicht korrekt wiedergegeben wird, müssen diese vorsichtig demontiert werden. Zum Vorschein kommt ein mit Kleber umschlossener Sensor, der ebenfalls von der Klebmasse befreit werden sollte.

Da Sensor 1 zur Temperaturmessung direkt in das in der Rinne befindliche Isopropanol gelegt werden soll, muss dieser als auch die Lötstellen wasserdicht verpackt werden. Dazu wird der Sensor (CH 1) mit Wärmeleitpaste eingeschmiert und mit einem Schrumpfschlauch überzogen. Der Durchmesser des Schrumpfschlauches sollte dabei möglichst klein gewählt werden. Weiterhin ist der Schlauch etwa 30 mm weit über das Sensorkabel zu ziehen und sollte knapp 15 mm über den Sensor hinausstehen. Jetzt ist der gesamte Schrumpfschlauch mit einem Heißluftgebläse zu schrumpfen. Um den Sensor vollends abzudichten muss noch das über den Sensor hinausragende Schlauchstück geschlossen werden. Dazu ist das Schlauchende mit einem Feuerzeug bis zum Schmelzpunkt zu erhitzen und anschließend mit einem geeigneten Gegenstand platt zusammenzudrücken. Dadurch sollte das Schlauchende dicht verschweißt sein. Gegebenenfalls muss dies, um ein optimales Ergebnis zu erhalten, ein- bis zweimal wiederholt werden. Der Sensor darf beim Erhitzen des Schlauchendes nicht zu heiß werden! Im nächsten Schritt ist das Kabel des Sensors 1 15 bis 20 cm vom Sensor entfernt mit einem Seitenschneider durchzuschneiden. Infolgedessen kann das Kabel durch die dafür vorgesehene Bohrung im PVC-Oberteil der Kammer gezogen werden (siehe Abbildung 8.3 auf Seite 75). Der Sensor selbst wird einfach in die Rinne gelegt. Letztlich muss der Sensor wieder mit Lüsterklemmen mit dem zuvor abgetrennten Sensorkabel verbunden werden.

Im nächsten Schritt ist der zweite Sensor (CH 2) in die dafür vorgesehene Bohrung der Kühlplatte [K04] (siehe Abschnitt 7.3 auf Seite 53) zu stecken. Dabei sollten die Sensor-Anschlüsse zur Vermeidung eines Kurzschlusses mit Schrumpfschlauch isoliert und der Sensor zur Verbesserung der Wärmeübertragung mit Wärmeleitpaste (Objekt 48) eingeschmiert werden. Unter Umständen kann der Sensor auch mit etwas Wärmeleitkleber (Objekt 105) in die Bohrung geklebt werden.

Ob die Sensoren die korrekte Temperatur im Rahmen einer akzeptablen Toleranz wiedergeben, muss bei Betrieb der Kammer mit einem zusätzlichen Messgerät geprüft werden.

11.2.6 Verkabelung Schaltung „Pumpe“

Der GND-Eingang der Pumpenschaltung ist mit der dafür vorgesehenen Lüsterklemme (Masse) zu verbinden (vergleiche Abschnitt 9.4 auf Seite 82).

In die Frontplatte wird nun ein Taster [E17], Objekt 95, eingeschraubt. Infolgedessen wird dieser mit der für die Pumpe vorgesehenen spannungsführenden Lüsterklemme (+5 V oder +12 V) verbunden. Danach wird der zweite Anschluss des Tasters mit dem Spannungseingang der Pumpen-Schaltung verkabelt.

11.2.7 Verkabelung LED-Leiste

Vorbereitend muss der Kippschalter [E16], Objekt 94, für das Ein- und Ausschalten der Beleuchtung in der Frontplatte verschraubt werden (siehe Tabelle 5.4 auf Seite 38).

Die LED-Leiste bzw. die Schaltung der LED-Leiste ist über den Kippschalter mit den dafür vorgesehenen Lüsterklemmen der Spannungsversorgung (+12 V) zu verbinden. Auf eine korrekte Polung ist zu achten.

11.2.8 Verkabelung Kontrollleuchte

An die rote Leuchtdiode [E13], Objekt 90, muss ein geeigneter Vorwiderstand gelötet werden. Bei einer angelegten Spannung von +3,3 V sollte ein 62 Ω -Vorwiderstand oder bei +5 V ein 147 Ω -Widerstand ausreichen (Objekt 96).

Nachfolgend wird die LED mit der Spannungsversorgung verbunden. Auch hier ist auf eine richtige Polung zu achten.

11.3 Positionierung des Netzteils

Nachdem alles vollständig verkabelt und angeschlossen wurde, kann das Netzteil an seine endgültige Position im Gehäuse geschoben werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass alle Kabel einen geordneten Weg in das Gehäuse finden. Die Kabel können auch teilweise, um eine zu großes Durcheinander zu vermeiden, in die Freiräume unter der Nebelkammer geschoben werden. Es sollte mit Bedacht vorgegangen werden.

Abschließend sollte die Verkabelung nochmals überprüft werden. Es könnten sich Kabel wieder gelöst haben oder Kurzschlüsse beim Hineinschieben entstanden sein.

11.4 Positionierung der Pumpe und des Vorratsbehälters

Falls noch nicht geschehen, sollte die Pumpe jetzt, unter Beachtung der Polung, an die zuge dachte Spannungsquelle angeschlossen (siehe Abschnitt 9.4 auf Seite 82) und zusammen mit dem Vorratsbehälter im Gehäuse positioniert werden. Eventuell muss der Verbindungsschlauch zwischen der Pumpe und dem Vorratsbehälter noch etwas gekürzt werden.

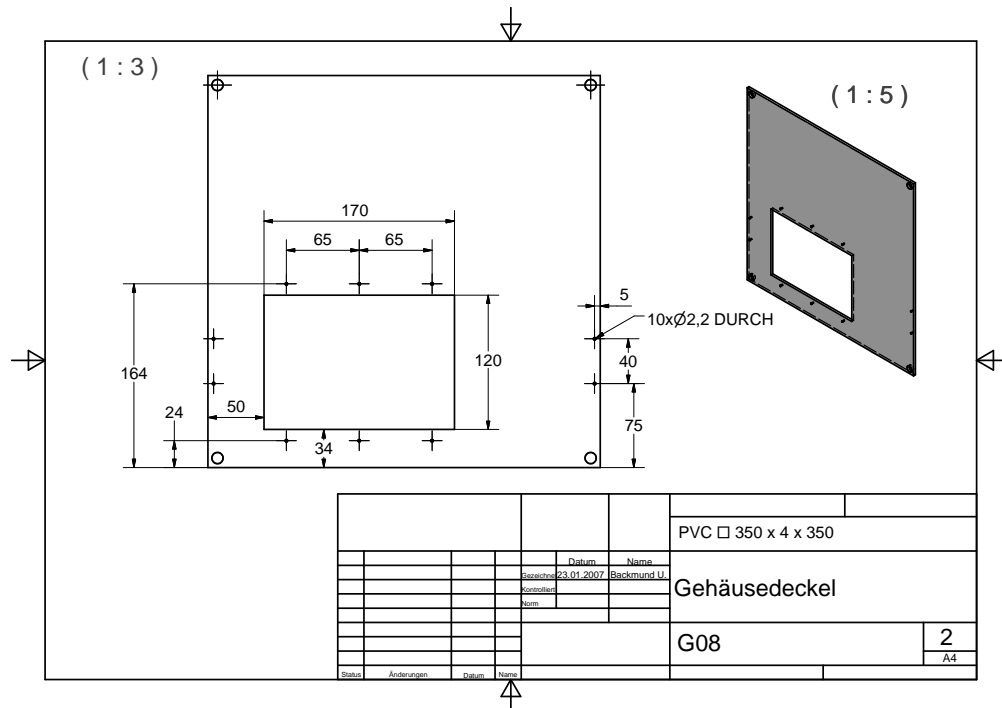


Abbildung 11.5: Bauteil G08, Seite 2/2

Darüber hinaus muss noch die Pumpe mit den 2-Propanol-Zuflüssen des Kammeroberteils verbunden werden. Dazu müssen zwei gleich lange Schlauchstücke von ungefähr 90 mm zurecht geschnitten und über die Stutzen der Zuflüsse geschoben werden. Danach werden die Schläuche mit dem Y-Schlauchverbinder, Objekt 104, verbunden und über einen weiteren Schlauch an die Pumpe angeschlossen.

Mit einem Schlauch, Objekt 85, ist jetzt noch der Isopropanol-Abfluss mit der Bohrung im Vorratsbehälter zu verbinden.

Es empfiehlt sich später einen Testlauf der 2-Propanol-Förderung durchzuführen. Es ist möglich, dass das Propanol anfänglich ungleichmäßig in die Rinnen gefördert wird. Hier muss die Schlauchlänge angepasst und mit der Fördermenge über den Regler der Pumpenschaltung gespielt werden. Beim späteren Betrieb der Kammer sollte die Rinne immer mindestens zur Hälfte gefüllt sein.

11.5 Endmontage des Gehäuses

Die anfangs abgenommenen Seitenteile sind wieder in das Gehäuse einzusetzen und vollends mit den Profilen zu verschrauben.

Um das noch fehlende Fenster in den Gehäusedeckel schneiden zu können ist zur Sicherheit die Position der Kammer relativ zu den Seitenteilen abzumessen. Im Normalfall sollten die ermittelten Maße denen aus Abbildung 11.5 entsprechen. Kleinere Abweichungen können vernachlässigt werden, zumal auch die Kammer selbst auf den Peltierelementen etwas verschoben werden kann.

Falls die Maße in etwa mit denen der Zeichnung übereinstimmen, kann das Fenster laut Zeichnung in den Deckel gesägt werden. Dafür ist das Fenster auf dem PVC anzureißen, vier Bohrungen tangential in die Ecken zu setzen und mit der Stichsäge vorsichtig auszusägen. Das dabei anfallende Reststück wird noch für die Fertigung der Glasdeckelhalterung benötigt. Selbstverständlich muss auch hier die PVC-Platte zum Sägen verspannt werden. Die Schnittkanten sind mit einer feinen Feile zu entgraten.

Auf die Rückseite des Gehäusedeckels ist noch der selbstklebende Dichtungsgummi, Objekt 97, rund um das Fenster aufzukleben.

Glasdeckelhalterung [G09] Folgend ist noch eine Halterung für den die Kammer abschließenden Glasdeckel zu fertigen. Als Rohmaterial dient hierzu das Reststück, welches beim Heraussägen des Fensters übrig geblieben ist. Aus diesem Material sind acht Quader mit den in Tabelle 11.2 aufgelisteten Maßen herauszusägen.

ANZAHL	BEMASSUNG
2	$170 \times 4 \times 10$
2	$170 \times 4 \times 15$
2	$70 \times 4 \times 10$
2	$70 \times 4 \times 15$

Tabelle 11.2: Rohmaterial für die Glasdeckelhalterungen [G09]

Anschließend sind die 10 mm und 15 mm breiten Quader gleicher Länge, wie in Abbildung 11.6 angedeutet, mit einem PVC-Kleber aufeinanderzukleben. Nach ausreichender Trocknung der Klebestellen werden abschließend $\varnothing 3$ mm Bohrungen gemäß der zugehörigen Zeichnung gesetzt.

Die Halterungen werden dann mit Linsen-Blechsrauben, Objekt 100, auf dem Gehäusedeckel festgeschraubt (siehe Tabelle 5.4 auf Seite 38). Jedoch sind auch hier, wie in Abschnitt 8.5 auf Seite 77, Bohrungen in der Größe des Kerndurchmessers ($\varnothing 2,2$ mm) der verwendeten Schrauben zu setzen. Hierfür muss zuerst der Glasdeckel [K18] (Objekt 101, Tabelle 5.5 auf Seite 39) auf dem Gehäusedeckel aufgelegt, die Deckelhalterungen [G09] positioniert und dann die Mittelpunkte der Bohrungen auf das PVC übertragen werden (siehe auch Abbildung 11.5). Allerdings muss beachtet werden, dass die beiden 70 mm langen Halterungen, wie in Abbildung 11.7 zu sehen, lediglich am Rand des Gehäusedeckels montiert werden. Diese Halterungen sollen lediglich ein eventuelles zu Boden Fallen des Glasdeckels verhindern. Die Schrauben müssen unter Umständen mit einer Metall-Handsäge gekürzt werden.

Jetzt kann der Deckel auf das Gehäuse aufgesetzt und mit den Rändelmuttern, Objekt 102, bzw. den Flügelmuttern, Objekt 103, festgeschraubt werden.

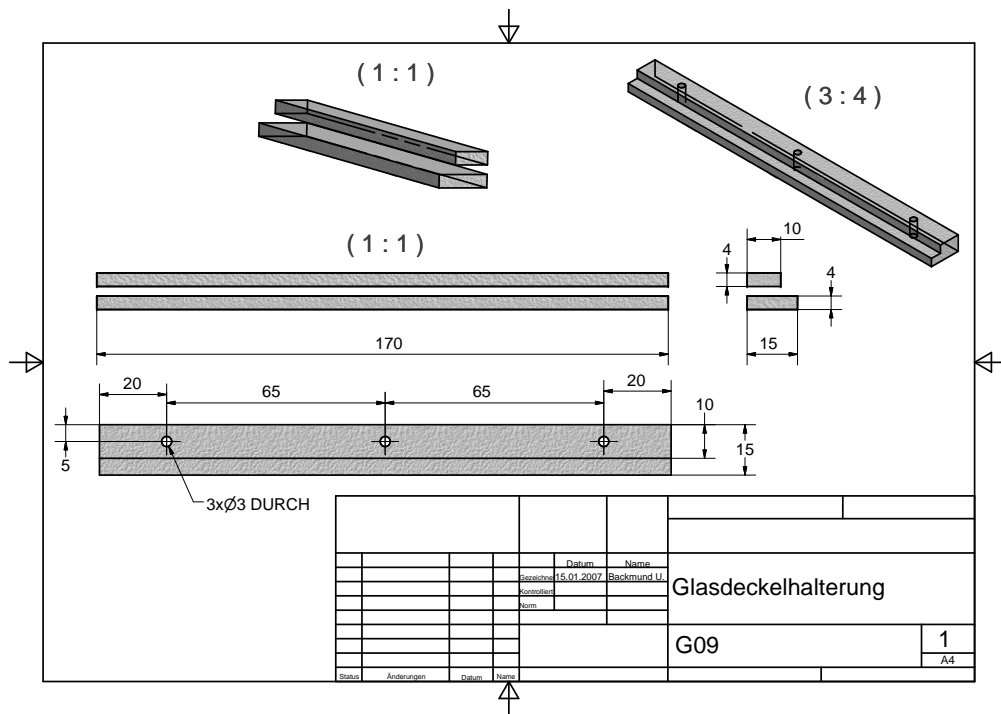


Abbildung 11.6: Bauteil G09, Seite 1/2

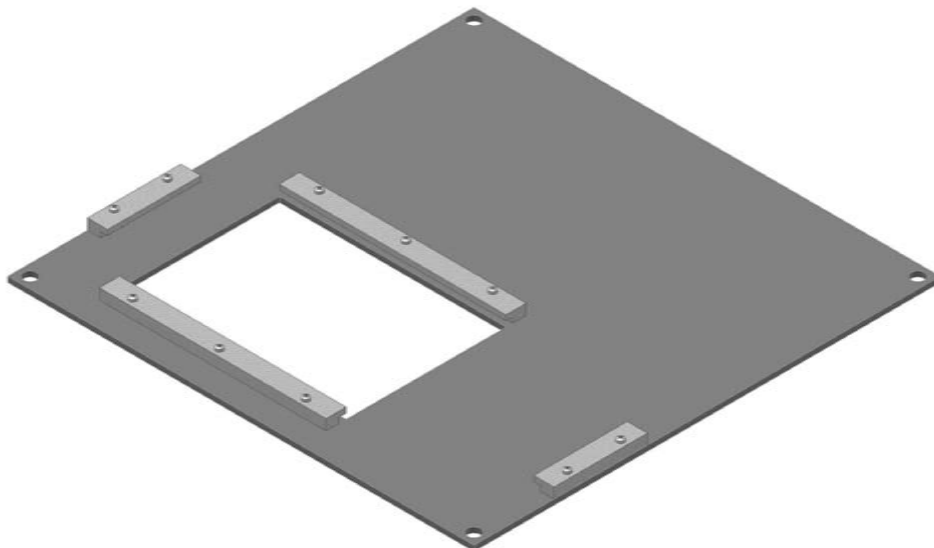


Abbildung 11.7: Gehäusedeckel mit Fenster und Glasdeckelhalterungen

Kapitel 12

Inbetriebnahme

Achtung! Es wird dringend empfohlen die nachfolgenden Erläuterungen vor der Inbetriebnahme der Diffusionsnebelkammer sorgfältig zu lesen.

Bei der ersten Inbetriebnahme ist eine eingehende Sichtprüfung aller Bauteile durchzuführen. Insbesondere sollte geprüft werden, ob am Becken Kühlwasser austritt. Auch die Spannungsfreiheit des Gehäuses sollte bei eingeschaltetem Netzteil mit einem Messgerät überprüft werden.

12.1 Vorbereitungen

Vor der Inbetriebnahme der Diffusions-Nebelkammer muss der Schlauch des Kühlwasserzuflusses (siehe Abbildung 12.1) an die Wasserversorgung angeschlossen werden, wobei auf einen **festen Sitz** desselbigen zu achten ist. Der Schlauch ist mit den gängigen Labor-Wasseranschlüssen (Tüllen, Oliven) kompatibel. Weiterhin ist der Schlauch des Wasserabflusses in ein Wasserbecken mit Abfluss zu hängen.

Füllen des Vorratsbehälter

Anschließend muss der Vorratsbehälter bis knapp unter die Rücklaufbohrung mit Isopropanol, Objekt 111, gefüllt werden. Dazu ist der Gehäusedeckel abzunehmen. Zum Befüllen des Behälters muss möglicherweise ein Trichter oder eine Spritze zu Hilfe genommen werden. Überdies muss beachtet werden, dass der Deckel des Vorratsbehälters nach dem Befüllen nicht luftdicht auf den Behälter geschraubt werden darf, da sonst der Abfluss des Isopropanols aus dem Kammerinneren gestört sein kann.

Verbinden mit einer Hochspannungsquelle

Zuletzt muss die Nebelkammer an ein Hochspannungsnetzgerät angeschlossen werden. Dazu muss die blaue Hochspannungsbuchse **über einen 10-M Ω -Widerstand**, Objekt 120, mit dem Minuspol und die gelbe Massebuchse mit dem **geerdeten** Pluspol der Hochspannungsversorgung verbunden werden (siehe Abbildung 12.2). **Achtung, die Hochspannung darf keinesfalls**



Abbildung 12.1: rechte Seitenansicht

an die Massebuchse angeschlossen werden. Ebenso muss der Pluspol des Netzgerätes unbedingt geerdet werden.

12.2 Inbetriebnahme

Kühlwasserinbetriebnahme

Vor der Inbetriebnahme der Nebelkammer muss **als Erstes** das Kühlwasser eingeschaltet werden. Dies ist **immer** sicherzustellen. Die Durchflussmenge sollte anfangs auf *gute 3 l/min* eingestellt werden. Die jeweils zutreffende Durchflussmenge hängt von der Wasser- und Umgebungstemperatur ab und kann deshalb von Versuch zu Versuch variieren. Um eine erfolgreiche Durchführung des Experiments nicht zu gefährden, sollte immer mit einer hohen Durchflussmenge begonnen werden. Im Laufe des Experiments kann diese dann allmählich verringert werden.

Beim Füllen des Beckens mit Kühlwasser sollte aus dem Beckeninneren die gesamte dort befindliche Luft entweichen. Dazu muss das Gehäuse etwas schräg gestellt werden, so dass die Luft durch den Kühlwasserablauf als höchsten Punkt entweichen kann.

Wird zu einem späteren Zeitpunkt Luft im Beckeninneren festgestellt, sind die Hinweise des Absatzes „Anhaltspunkte“ zu beachten.

Inbetriebnahme der Peltierelemente

Erst jetzt kann die Kammer mit dem Hauptschalter in Betrieb genommen werden. Dadurch wird an die Peltierelemente umgehend Spannung angelegt. Über



Abbildung 12.2: Versuchsaufbau

das Temperaturschaltmodul (CH2) sollte nunmehr ein Abfallen der Kühlplattentemperatur zu beobachten sein.

Füllen der Rinnen

Während die Platte heruntergekühlt wird, kann durch Betätigung des Tasters „Pumpe EIN“ die Rinne mit Isopropanol gefüllt werden.

Wurde die beim Prototypen verwendete Pumpe längere Zeit nicht in Betrieb genommen, kann es vorkommen, dass der Taster mehrmals hintereinander gedrückt werden muss bis die Pumpe anläuft.

Soll die Kammer nur ein bis zwei Stunden in Betrieb genommen werden, empfiehlt es sich die Rinnen nicht vollständig (ca. 2/3) zu befüllen. Dadurch wird der Alkohol bei Inbetriebnahme der Rinnen-Heizung schneller erwärmt.

Inbetriebnahme der Rinnen-Heizung

Nach etwa fünf Minuten kann die Rinnen-Heizung mit dem Schalter „Heizung EIN“ eingeschaltet werden. Über das Potentiometer kann der Heizstrom individuell geregelt werden. Der Heizstrom für die Inbetriebnahme sollte etwa ein Viertel **über** der Einstellung für den kontinuierlichen Betrieb der Kammer liegen. Dieser Wert muss für jede Kammer eigens ermittelt werden.

Bei einer Kühlplatten-Temperatur von -10°C bis -15°C hat sich für den kontinuierlichen Betrieb des Prototypen eine Alkohol-Temperatur von etwa 45°C bis 50°C als gut herausgestellt.

Inbetriebnahme des Ionensaugers

Kurz nach der Inbetriebnahme der Heizung sollte der Ionensauger in Betrieb genommen werden. **Dabei ist es *äußerst wichtig*, dass das externe Hochspannungsnetzgerät nur eingeschaltet werden darf, wenn die Spannungsausgänge des Netzgerätes auf 0 V geregelt sind.** Wird die Hochspannungsquelle nicht spannungslos eingeschaltet, kann es beim Einschalten zur Entstehung von Funken kommen, wodurch das Alkohol-Dampf-Gemisch in der Kammer entzündet werden kann (Verpuffung). Zudem ist es möglich, dass es einen Spannungsüberschlag auf den Sensor des Temperaturschaltmoduls gibt, wodurch das Gerät irreperabel zerstört wird.

Nachdem die Hochspannungsversorgung spannungslos eingeschaltet worden ist, kann die Spannung langsam auf 1,5 kV bis 3 kV erhöht werden.

Einschalten der Beleuchtung

Die Beleuchtung kann jederzeit, spätestens aber jedoch zur Beobachtung der Teilchenspuren, durch Betätigung des Schalters „**Beleuchtung EIN**“ eingeschaltet werden.

Anhaltspunkte

Nach ungefähr zehn bis 15 Minuten sollte die Kühlplatte der Kammer auf mindestens -10°C heruntergekühlt sein. Vermutlich werden keine Teilchenspuren entstehen, wenn dieser Wert überschritten wird. Wird dieser Wert nicht erreicht, muss die Durchflussmenge des Kühlwassers erhöht werden. Kann dadurch keine Verbesserung erzielt werden, könnten Luftpolster zwischen Kühlwasser und Wärmetauschplatte sein. Um diese entfernen zu können, sollten zuerst die Isopropanol führenden Rinnen mit einer geeigneten Spritze (Objekt 129) entleert werden, bevor das Gehäuse zur Beseitigung der Luftpolster erneut schräg gestellt werden kann. Weiter ist möglich, dass die Wärmeleitung zwischen Peltierelementen und Wärmetauschplatte bzw. Kühlplatte gestört ist.

Prinzipiell sollte die Nebelkammer nach ca. 15 Minuten nach Inbetriebnahme einsatzbereit sein.

12.3 Einstellung der Heizung

Sobald in der Kammer ein Tröpfchenregen zu beobachten ist, hat die Nebelkammer ihre Betriebsbereitschaft erreicht und allmählich sollten die ersten Spuren zu erkennen sein. Für die Feineinstellung der Heizung sollte ein radioaktives Gas oder Präparat in die Kammer eingebracht werden (siehe auch Abschnitt 12.5 auf der nächsten Seite). Das Gas kann problemlos über den Stutzen der **Gasinjektion** eingeblasen werden. Infolge der erhöhten *Aktivität* und den damit vermehrt auftretenden Nebelspuren wird das Auffinden der optimalen Einstellung der Heizung erleichtert. Eine gute Einstellung liegt vor, wenn erstens die Kondensationsstreifen scharf und deutlich zu erkennen, zweitens alle Spuren, insbesondere diejenigen, welche sich nur schwach und unstetig abzeichnen (β -Teilchen), gut zu erkennen sind.

Sobald die Heizung gut abgestimmt worden ist, kann dazu übergegangen werden, seltene radioaktive Ereignisse, wie zum Beispiel die natürliche Umgebungsstrahlung (Nulleffekt), zu beobachten.

Es ist möglich, dass nach einiger Zeit die Deutlichkeit der Spuren abnimmt oder diese sogar ganz verschwinden. In diesem Fall sollte der Heizstrom, bis die Spuren wieder sichtbar werden, in kleinen Schritten nach unten geregelt werden.

12.4 Wichtige Hinweise

Wie schon in Abschnitt 12.2 erwähnt kann es zu einer Verpuffung des in der Kammer befindlichen Alkohol-Dampf-Gemisches kommen. In diesem Fall muss das unter Umständen noch brennende Gas gelöscht und die Nebelkammer und das Hochspannungsnetzgerät bis auf weiteres ausgeschaltet werden. Nachdem eine kurze Sichtprüfung der Kammer durchgeführt und die entstandenen Rauchgase aus dem Kammerinneren entfernt worden sind, kann die Kammer wieder in Betrieb genommen werden. Bei den ersten Versuchen mit der Nebelkammer hat sich herausgestellt, dass eine Verpuffung keine nennenswerten Schäden an der Kammer verursacht. Jedoch erschrickt man durch das plötzliche Auftreten der Verpuffung.

Da die bisher aufgetretenen Verpuffungen **ausschließlich** mit Veränderungen am Hochspannungsnetzgerät in Zusammenhang standen, kann eine zündfähige Entladung statischer Elektrizität als Zündquelle angenommen werden. Beachtet man jedoch die Hinweise des Abschnitts zur Inbetriebnahme des Ionensaugers und vermeidet während des Betriebs der Kammer umfangreiche Modifikationen am Hochspannungsnetzgerät, ist keine Verpuffung zu erwarten.

Achtung! Da eine plötzliche Verpuffung prinzipiell nicht ausgeschlossen werden kann, darf der Kammerdeckel niemals fest auf der Kammer montiert werden, damit der bei einer Verpuffung entstehende Druck entweichen kann.

12.5 Radioaktive Quellen

Grundsätzlich können alle denkbaren radioaktiven Quellen (Gase, Präparate) in die Kammer eingebracht werden. Andererseits sind relativ aktive Strahlungsquellen für den Einsatz in einer Diffusionsnebelkammer ungeeignet. 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 nicht mehr zu erkennen.

Radioaktive Gase können leicht über den Stutzen der **Gasinjektion** in die Kammer eingebracht werden. Feststoffe werden mit einer geeigneten Pinzette von oben in die Kammer gelegt. Dazu ist zuerst die am Ionensauger anliegende Spannung langsam auf Null zu regeln. Beim Hineinlegen des Präparats ist besonders auf den feinen Draht des Ionensaugers Acht zu geben.

Beim Experimentieren mit dem Prototypen haben sich unter Verwendung des radioaktiven Gases Radon besonders eindrucksvolle Ergebnisse ergeben. Dazu wird beispielsweise ein leicht radioaktiver Glühstrumpf, Objekt 130, (Cam-



Abbildung 12.3: Radioaktive Quellen

pingleuchten) in das Innere einer 50 ml Spritze (Objekt 129) gebracht (siehe Abbildung 12.3). Glühstrümpfe enthalten das radioaktive Element Thorium. Beim Zerfall des Thoriums entsteht laufend Radon ($\text{Rn } 220$), das mit der Spritze über den Stutzen der Gasinjektion in die Nebelkammer eingebracht werden kann. Das Radon zerfällt unter Emission von α -Teilchen mit einer Halbwertszeit von 56 s in Polonium ($\text{Po } 216$), das mit einer Halbwertszeit von 0,15 s wiederum unter Emission von α -Teilchen in das instabile $\text{Pb } 212$ zerfällt (GSI: Schüler Labor; Hammer u. a. 1997; Rapp 2006). Da bei Glühstrümpfen die Gefahr der Kontamination durch Inkorporation besteht, sollten Schüler nicht in direkten Kontakt mit Glühstrümpfen kommen. Beim Einkauf der Glühstrümpfe muss beachtet werden, dass mittlerweile auch nicht-radioaktive Glühstrümpfe hergestellt werden.

Weiterhin sei an dieser Stelle auf die geltenden Strahlenschutzbestimmungen, die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 20. Juli 2001 sowie die Röntgenverordnung (RöV) vom 30. April 2003, und auf die jeweiligen Anordnungen der zuständigen Kultusministerien hingewiesen.

12.6 Außerbetriebnahme

Bei der Außerbetriebnahme der Nebelkammer muss lediglich darauf geachtet werden, dass das Kühlwasser nach dem Ausschalten mittels Hauptschalter ein paar Minuten nachlaufen sollte. Dadurch wird die restliche Wärmemenge vollständig von den Peltierelementen abgeführt.

Bei der Außerbetriebnahme des Ionensaugers ist das Hochspannungsnetzgerät, bevor es ausgeschaltet wird, auf 0 V zurückzustellen.

Im Hinblick auf die nächste Inbetriebnahme sollten wieder alle Schalter auf „AUS“ gestellt werden.

Ist abzusehen, dass die Nebelkammer in den nächsten Wochen nicht mehr in

Betrieb genommen wird, sollten die Rinnen der Kammer mit einer Spritze vom restlichen Alkohol befreit werden.

12.7 Fehlerquellen

Falls sich keine Nebelspuren einstellen, sollten folgende Punkte beachtet werden (Phywe: [Betriebsanleitung „Nebekammer mit Peltierkühlung“](#)):

- Hat die Kühlplatte eine Temperatur von -10 °C erreicht bzw. unterschritten?
- Ist das Kühlwasser zu warm (maximal 18 °C)?
- Es sollte überprüft werden, ob die Hochspannung angelegt wurde. Weiter sollte mit einem Voltmeter die Spannung direkt an den Buchsen „Hochspannung“ und „Masse“ gemessen werden. Bricht diese zusammen, muss die Kammer getrocknet, der Vorratsbehälter geleert und mit frischem Isopropanol gefüllt werden.
- Überdies kann es möglich sein, dass die Heizleistung bisher nicht ausgereicht hat. Der Heizstrom wäre zu erhöhen und nach einiger Zeit schrittweise zurückzunehmen.
- Bei der Entwicklung der Kammer hat sich herausgestellt, dass die Kammer, insbesondere im unteren Teil, vollständig abgedichtet sein muss. Undichte Stellen in der Kammerwand können die Entstehung der empfindlichen Schicht erheblich stören. Aus diesem Grund wurde unter anderem die Idee verworfen zu Demonstrationszwecken durch eine Bohrung in der Glaswand der Kammer einen Strahlerstift einzubringen.

Kapitel 13

Zusatz

In diesem Kapitel sollten als Zusatz die Baupläne für einen Präparathalter zur Einbringung des radioaktiven Präparats „Radium-226“ von Phywe (Art.Nr. 09044.31 oder 09044.32) zur Verfügung gestellt werden (siehe Abbildung 13.1). Jedoch hat sich bereits bei den ersten Versuchen mit dem Präparat herausgestellt, dass die Aktivität des „Radium-226“ zu hoch ist und dadurch, wie schon in Abschnitt 3.1 auf Seite 20 erläutert, keine Nebelspuren zu sehen sind. Trotz dieser Tatsache soll dieses Kapitel bestehen bleiben. Zum einen wird an diesem Problem weiterhin gearbeitet und zum anderen soll dieser Entwurf den Anstoß für eigene Anstrengungen in diese Richtung geben.



Abbildung 13.1: Phywe: Präparat Radium-226, 3,7kBq bzw. 60 kBq ([Phywe: Betriebsanleitung „Präparat Radium-226“](#))

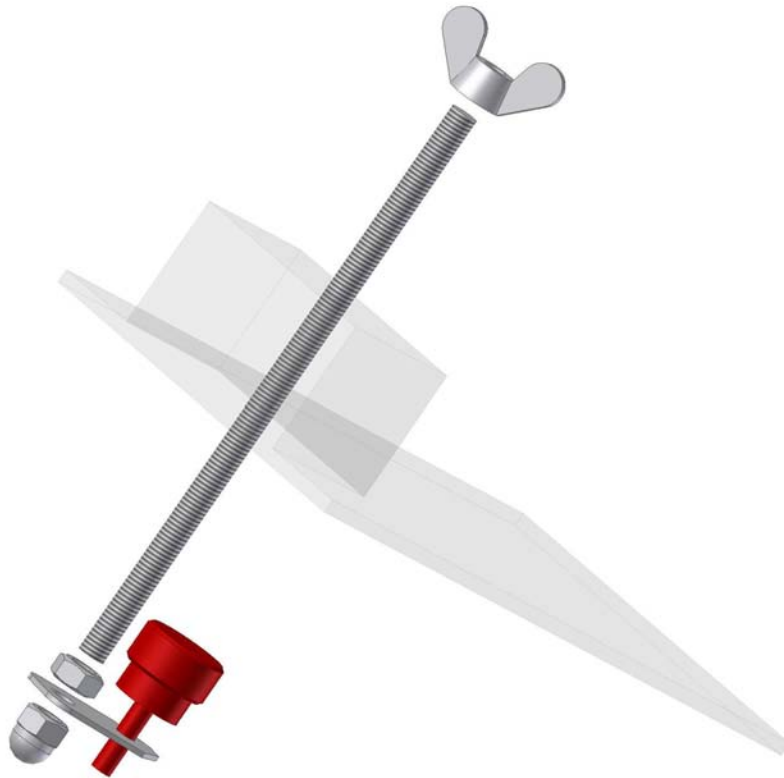


Abbildung 13.2: Präparathalter

Der Präparathalter (siehe Abbildung 13.2) wird an Stelle des Nebelkammer-Glasdeckels eingesetzt. Über die Flügelmutter kann das Präparat auf die Höhe der empfindlichen Schicht eingestellt werden.

Der Deckel [Z02] kann in Acrylglas, besser bekannt als Plexiglas, ausgeführt werden. Der in Abbildung 13.4 zu erkennende $73 \times 40 \times 40$ mm große Quader kann mit einem Acrylglas-Kleber auf die 200×133 mm große und 4 mm starke Platte geklebt werden. Allerdings muss erwähnt werden, dass unter Umständen langfristig am Acrylglas Schäden zu erwarten sind. Acrylglas wird unter anderem von Alkohol angegriffen. Für die Gewindestange und die Aufnahme [Z01] des Präparats (siehe Abbildung 13.3) wäre eine Ausführung in Edelstahl empfehlenswert.

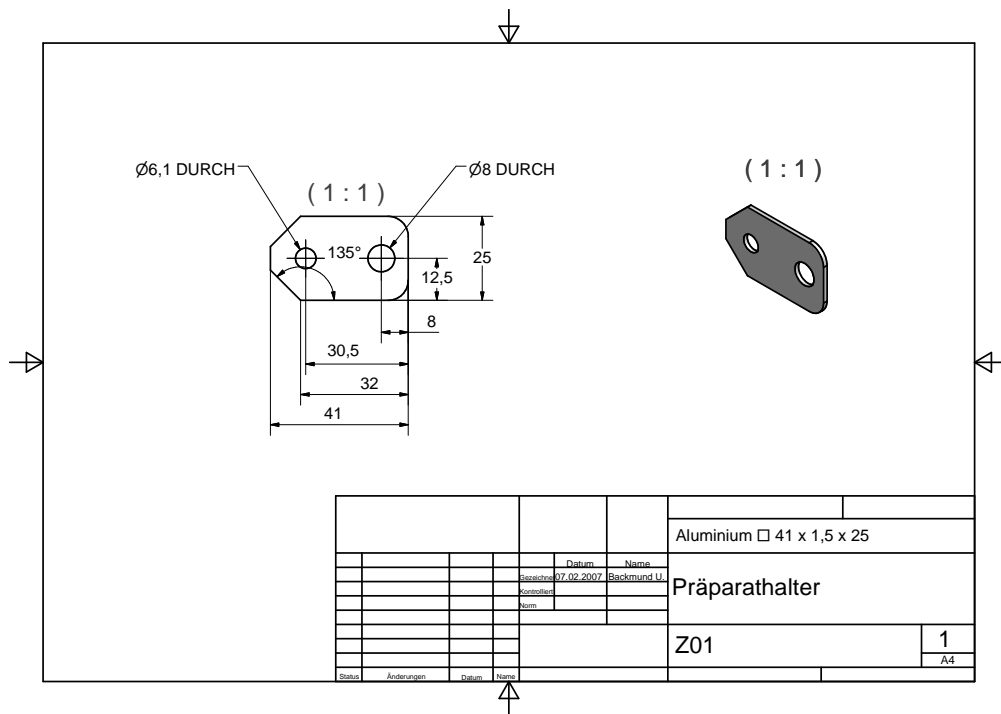


Abbildung 13.3: Bauteil Z01, Seite 1/1

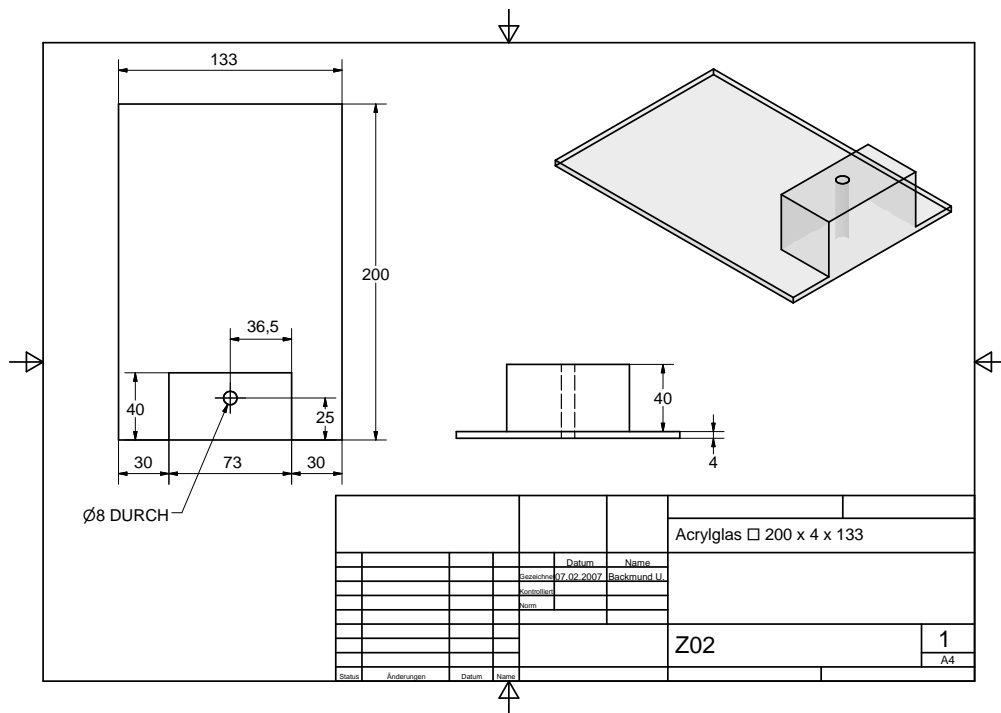


Abbildung 13.4: Bauteil Z02, Seite 1/1

Literaturverzeichnis

alfer

ALFER ALUMINIUM GESELLSCHAFT MBH (Hrsg.): *alfer: combitech-Bleche*. Wutöschingen: alfer aluminium Gesellschaft mbH. – Broschüre der Firma „alfer“ aus dem Baumarkt

Bastian u. a. 2004

BASTIAN, Peter ; BUMILLER, Horst ; BURGMAIER, Monika ; EICHLER, Walter ; HUBER, Franz ; MANDERLA, Jürgen ; SPIELVOGEL, Otto ; TKOTZ, Klaus ; WINTER, Ulrich ; ZIEGLER, Klaus ; JAUFMANN, Norbert: *Fachkunde Elektrotechnik*. 24., überarb. und erw. Auflage. Haan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel, 2004

Bethge u. a. 2001

BETHGE, Klaus ; WALTER, Gertrud ; WIEDEMANN, Bernhard: *Kernphysik: eine Einführung*. 2., aktualisierte und erw. Auflage. Berlin [u.a.] : Springer-Verlag, 2001

Braun u. a. 1999

BRAUN, Herwig ; DOBLER, Hans-Dieter ; DOLL, Werner ; FISCHER, Ulrich ; GÜNTER, Werner ; HEINZLER, Max ; HÖLL, Helmut ; IGNATOWITZ, Eckhard ; RÖHRER, Thomas ; RÖHRER, Werner ; SCHILLING, Karl ; STRECKER, Dieter: *Fachkunde Metall*. 53. Auflage. Haan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel, 1999

Braun u. Garovic 2001

BRAUN, Katja ; GAROVIC, Sandra: *Werken mit Acrylglas für Einsteiger*. München : Augustus Verlag, 2001

Brosowski 1986

BROSOWSKI, Gerd: Ein Modellversuch zur Wilsonschen Nebelkammer. In: *MNU: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* (1986), Nr. 7, S. 415

Poppe: wilson

CHRISTOPH (Hrsg.): *Der Nobelpreis für Physik 1927*. <http://www.nobelpreis.org/physik/wilson.htm>, Abruf: 01. Dez. 2006

Demtröder 2005

DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik: Kern-, Teilchen-, und Astrophysik*. Bd. 4. 2. Auflage. Berlin [u.a.] : Springer-Verlag, 2005. – S. 98–100

Fischer u. a. 1999

FISCHER, Ulrich ; HEINZLER, Max ; KILGUS, Roland ; NÄHER, Friedrich ; PAETZOLD, Heinz ; RÖHRER, Werner ; SCHILLING, Karl ; STEPHAN, Andreas: *Tabellenbuch Metall*. 41. Auflage. Haan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel, 1999

Fischer Elektronik: Technische Erläuterungen

FISCHER ELEKTRONIK GMBH UND CO. KG (Hrsg.): *fischer elektronik: Technische Erläuterungen*. Lüdenscheid: Fischer Elektronik GmbH und Co. KG, <http://www.fischerelektronik.de/fischer/uploadfischerfcool/Fischer/A.1.1.pdf>, Abruf: 28. Feb. 2007

GSI: Schüler Labor

GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONENFORSCHUNG MBH (Hrsg.): *Schüler Labor: Station 8, Auswertung von Nebelkammerbildern*. Darmstadt: Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, <http://www.gsi.de/documents/DOC-2005-Nov-177-1.pdf>, Abruf: 10. Feb. 2007

GLOBUS: REN/11

GLOBUS FACHMÄRKTE GMBH & CO. KG (Hrsg.): *Tipp: Lackieren (REN/11)*. Völklingen: GLOBUS Fachmärkte GmbH & Co. KG, http://www.globus-baumarkt.de/documents/REN_11.pdf, Abruf: 1. Feb. 2007

GLOBUS: HAND/12

GLOBUS FACHMÄRKTE GMBH & CO. KG (Hrsg.): *Tipp: Weich- und Hartlöten (HAND/12)*. Völklingen: GLOBUS Fachmärkte GmbH & Co. KG, http://www.globus-baumarkt.de/documents/HAND_12.pdf, Abruf: 1. Feb. 2007

Gläser 1976

GLÄSER, Manfred: Praxis Schriftenreihe: Physik. In: *Die Nebelkammer im experimentellen Unterricht* Bd. 33. Köln : Aulis Verlag Deubner & Co KG, 1976

Grehn u. Krause 1999

GREHN, Joachim (Hrsg.) ; KRAUSE, Joachim (Hrsg.): *Metzler Physik*. 3. Auflage. Hannover : Schroedel Verlag, 1999

Greulich u. Kilian 2000

GREULICH, Walter (Hrsg.) ; KILIAN, Ulrich (Hrsg.): *Lexikon der Physik*. Bd. 4. Heidelberg [u.a.] : Spektrum Akademischer Verlag, 2000. – S. 72

Hammer u. a. 1997

HAMMER, Anton ; HAMMER, Hildegard ; HAMMER, Karl: *Physikalische Formeln und Tabellen*. 6. Auflage. München : J. Lindauer Verlag (Schaefer), 1997

Harbeck u. a. 1973

HARBECK, Gerd ; GREHN, Joachim ; HOLZ, Hans-Gerd ; LANGENSIEPEN, Fritz: *Brenneke Schuster - Physik: Oberstufe*. 3., verbesserte Auflage. Braunschweig : Friedr. Vieweg + Sohn GmbH, Verlag, 1973. – S. 538–540

Höfling u. a. 1981

HÖFLING, Oskar ; MIROW, Bernd ; BECKER, Gerhard: *Physik: Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium*. 13., neubearbeitete und erw. Auflage. Bonn : Dümmler Verlag, 1981. – S. 856–861

Huber 1972

HUBER, Paul: *Einführung in die Physik: Kernphysik*. Bd. 3 T. 2. München [u.a.] : Ernst Reinhardt Verlag, 1972. – S. 175–178

Kircher u. a. 2001

KIRCHER, Ernst ; GIRWIDZ, Raimund ; HÄUSSLER, Peter: *Physikdidaktik: eine Einführung*. 2., aktualisierte Auflage. Berlin [u.a.] : Springer-Verlag, 2001

Meschede 2004

MESCHEDER, Dieter (Hrsg.): *Gerthsen Physik*. 21. Auflage. Berlin [u.a.] : Springer-Verlag, 2004

Nobel Foundation: Wilson

THE NOBEL FOUNDATION (Hrsg.): *C.T.R. Wilson: The Nobel Prize in Physics 1927 (Biography)*. Stockholm: The Nobel Foundation, http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1927/wilson-bio.html, Abruf: 10. Feb. 2007

Nobel Foundation: Nobel Prize 1927

THE NOBEL FOUNDATION (Hrsg.): *The Nobel Prize in Physics 1927*. Stockholm: The Nobel Foundation, http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1927/, Abruf: 10. Feb. 2007

Paus 2002

PAUS, Hans J.: *Physik: in Experimenten und Beispielen*. 2., aktualisierte und überarb. Auflage. München [u.a.] : Carl Hanser Verlag, 2002. – S. 941–942

von Philipsborn u. Geipel 2003

PHILIPSBORN, Henning von ; GEIPEL, Rudolf ; STMUGV, Byer. (Hrsg.): *Strahlenschutz: Umwelt & Entwicklung Bayern*. 7., neu bearbeitete und erw. Auflage. München, 2003

Phywe: Betriebsanleitung „Nebelkammer mit Peltierkühlung“

PHYWE SYSTEME GMBH & CO. KG (Hrsg.): *Betriebsanleitung: Nebelkammer mit Peltierkühlung (Art.Nr. 09043.01)*. Göttingen: Phywe Systeme GmbH & Co. KG

Phywe: Betriebsanleitung „Präparat Radium-226“

PHYWE SYSTEME GMBH & CO. KG (Hrsg.): *Betriebsanleitung: Präparat Radium-226, 3,7 kBq/60 kBq (Art.Nr. 09044.31/32)*. Göttingen: Phywe Systeme GmbH & Co. KG

Phywe: L/S-Informationsblatt

PHYWE SYSTEME GMBH & CO. KG (Hrsg.): *Lehrer- / Schüler- Informationsblatt: Beobachtungen an der Diffusionsnebelkammer*. Göttingen: Phywe Systeme GmbH & Co. KG, http://nebelkammer.phywe.de/download/Lehrer_Schueler_Infoblatt.pdf, Abruf: 5. Jan. 2007

Phywe: Schüler Arbeitsblatt

PHYWE SYSTEME GMBH & CO. KG (Hrsg.): *Schüler Arbeitsblatt: Entstehung von Nebelspuren in der Nebelkammer*. Göttingen: Phywe Systeme GmbH & Co. KG, http://nebelkammer.phywe.de/download/Schueler_Arbeitsblatt.pdf, Abruf: 5. Jan. 2007

Poppe: nobelpreis.org

POPPE, Christoph (Hrsg.): *www.nobelpreis.org*. <http://www.nobelpreis.org/>, Abruf: 01. Dez. 2006

pw-Internet Solutions

PW-INTERNET SOLUTIONS GMBH (Hrsg.): *Bohrerkunde - der richtige Bohrer für jede Gelegenheit*. Mönchengladbach: pw-Internet Solutions GmbH, http://www.baumarkt.de/b_markt/fr_info/bohrerkunde.htm, Abruf: 30. Okt. 2006

Quelle: Werkzeugkunde

QUELLE GMBH (Hrsg.): *Werkzeugkunde: Stichsäge*. Fürth: Quelle GmbH, <http://www.quelle.de/angebote/info.Werkzeugkunde.Stichsaeger.html>, Abruf: 27. Okt. 2006

Rapp 2006

RAPP, Thomas (Hrsg.): *Rapp-Instruments: Nebelkammern*. <http://www.rapp-instruments.de/index5.htm>, Abruf: 25. Aug. 2006

Schmidt: pc-erfahrung.de

SCHMIDT, Meik (Hrsg.): *ATX-Netzteil: Beschreibung, Pinbelegung, Testen auf Funktionalität*. <http://www.pc-erfahrung.de/hardware/atx-netzteil.html>, Abruf: 15. Dez. 2006

Schnabel: elektronik-kompodium.de

SCHNABEL, Patrick (Hrsg.): *das ELKO, das ELEktronik-KOMPodium: Löten*. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/grd/0705261.htm>, Abruf: 10. Feb. 2007

Tipler 2000

TIPLER, Paul A.: *Physik*. 3., korrigierter Nachdruck der 1. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2000

Abbildungsverzeichnis

1.1	Überblick über verschiedene Nebelkammern	13
3.1	<i>Charles Thomson Rees Wilson</i>	20
4.1	Die fertiggestellte Diffusions-Nebelkammer (Prototyp)	30
4.2	Die eigentliche Nebelkammer	31
4.3	Die eigentliche Nebelkammer	31
4.4	Nebelkammerspuren (von der Seite aufgenommen)	32
4.5	Nebelkammerspuren (von oben aufgenommen)	33
4.6	Nebelkammerspuren (von oben aufgenommen)	33
5.1	Materialliste Seite 1/6	37
5.2	Materialliste Seite 2/6	37
5.3	Materialliste Seite 3/6	38
5.4	Materialliste Seite 4/6	38
5.5	Materialliste Seite 5/6	39
5.6	Materialliste Seite 6/6	39
6.1	Drehzahlschaubild einer Bohrmaschine	44
7.1	Bauteil K02, Seite 1/2	50
7.2	Bauteil K02, Seite 2/2	51
7.3	Bauteil K01, Seite 1/1	51
7.4	Baugruppe K01-K02, Seite 1/1	52
7.5	Bauteil K03, Seite 1/1	53
7.6	Bauteil K04, Seite 1/1	54
7.7	Bauteil [K08], Seite 1/2	55
7.8	Bauteil [K09], Seite 2/2	56
7.9	Baugruppe K08-K10, Seite 1/1	56
7.10	Anordnung der Rundstange und des Kupferbleches	57
7.11	Bauteil [K11], Seite 1/1	58
7.12	Biegen der Rinne Bild 1	58
7.13	Biegen der Rinne Bild 2	59
7.14	Biegen der Rinne Bild 3	59
7.15	Biegen der Rinne Bild 4	60
7.16	Bauteil [K12], Seite 1/2	61
7.17	Bauteil [K12], Seite 2/2	62

7.18 Biegen des Kupferrohrs Bild 1	63
7.19 Biegen des Kupferrohrs Bild 1	63
7.20 Bauteil [K13], Seite 1/1	64
7.21 Bauteil [K13], Seite 1/2	65
7.22 Bauteil [K13], Seite 2/2	65
7.23 Schaltplan LED-Leiste, Seite 1/1	66
7.24 Die verkabelten und verbundenen Widerstände	67
7.25 Pumpe und Vorratsbehälter [K16]	69
7.26 Bauteil [K17], Seite 1/1	69
8.1 Baugruppe K01-K03, Seite 1/1	72
8.2 Bauteil K04-K07, Seite 1/1	73
8.3 Kammer-Oberteil Seite 1/1	75
8.4 PVC-Oberteil, ausgestattet mit Rinne und Rinnenbefestigung	75
8.5 LED-Leiste	77
9.1 Lochrasterplatte auf dem Gehäuse	80
9.2 Montage Gehäuse TO 220	81
9.3 Schaltplan Rinnen-Heizung, Seite 1/1	82
9.4 Schaltplan P1 bzw. P2, Seite 1/1	84
9.5 Schaltplan Temperaturschaltmodul: Batterie, Seite 1/1	85
9.6 Schaltplan Temperaturschaltmodul: Computernetzteil, Seite 1/1	86
10.1 Anordnung im Gehäuse	87
10.2 Bauteil G01, Seite 1/1	89
10.3 Ermittlung der Kammerhöhe	89
10.4 Bauteil G02, Seite 1/1	90
10.5 Bauteil G04, Seite 1/2	91
10.6 Bauteil G04, Seite 2/2	92
10.7 Bauteil G06, Seite 1/1	93
10.8 Linkes Gehäuse-Seitenteil	94
10.9 Bauteil G08, Seite 1/2	95
10.10 Detailaufnahme Gerätefuß und Verschraubung Gewindestange	95
10.11 Das GEHÄUSE	96
11.1 Montage der Erhöhungen [K17]	98
11.2 Anordnung der Peltierelemente	98
11.3 Der Unterbau der Nebelkammer mit LED-Leiste und Peltierele- menten	99
11.4 Positionierung des Netzteils während der Verkabelung	100
11.5 Bauteil G08, Seite 2/2	105
11.6 Bauteil G09, Seite 1/2	107
11.7 Gehäusedeckel mit Fenster und Glasdeckelhalterungen	107
12.1 rechte Seitenansicht	110
12.2 Versuchsaufbau	111
12.3 Radioaktive Quellen	114

13.1	Phywe: Präparat Radium-226, 3,7 kBq bzw. 60 kBq	117
13.2	Präparathalter	118
13.3	Bauteil Z01, Seite 1/1	119
13.4	Bauteil Z02, Seite 1/1	119

Teil III

Anhang

Anhang A

MATERIALLISTEN

Soweit nichts anderes angegeben ist, sind die Zeichnungen, ausschließlich der Isometrieansichten, im MASSSTAB 1:2 angefertigt.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Objekt	Menge	Bauteil- nummer	Benennung	Sachnummer/Norm- Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung	Preis	Gesamt	Alternative
1	1	K01	Beckenboden		PVC	175 x 4 x 230		1,00 €	1,00 €	1,00 €
2	1	K02	Beckenwand		PVC	175 x 20 x 230		4,80 €	4,80 €	4,80 €
3	2	K02.1	Druckschlauchtüllen 12 - 12		PVC		siehe unten	4,00 €	8,00 €	3,00 €
4	1		PVC-Kleber				z.B.: Tangit			
5	1	K03	Wärmetauschplatte		Aluminium	148 x 4 x 198		14,00 €	14,00 €	14,00 €
6	1	K04	Kühlplatte		Aluminium	130 x 8 x 180		21,00 €	21,00 €	21,00 €
7	1	K05	Glaswand A		Glas	126 x 4 x 100				
8	1	K06	Glaswand A		Glas	126 x 4 x 100				
9	2	K07a/b	Glaswand B		Glas	176 x 4 x 100				
10	1	K08	PVC-Oberteile		PVC	134 x 6 x 45		0,50 €	0,50 €	0,50 €
11	1	K09	PVC-Oberteile		PVC	134 x 6 x 45		0,50 €	0,50 €	0,50 €
12	2	K10	PVC-Oberteile		PVC	172 x 6 x 45		0,60 €	1,20 €	1,20 €
13	2	K11	Rinne		Kupfer	171 x 0,5 x 44				
14	4	K11	Rinne		Kupfer	20 x 0,5 x 25				
15	1		Schiene			20 x 9 x 400	Metall oder Hartholz			
16	1		Rundstange			9	Metall oder Hartholz			
17	4	K12	Rinnenbefestigung		PVC	20 x 15 x 30	Reststück von [K02]			
18	3	K13	90°-Rohrbogen		Kupfer	5 x 1 x 400	weiches Kupfer			
19	1		Rundstange			9	Metall oder Hartholz			
20	1	K14	LED-Leiste		Aluminium	180 x 1,5 x 70		1,50 €	1,50 €	1,50 €
21	20	E01	LED WEISS 5 MM 10000 MCD				Conrad: Artikel-Nr.: 176724 - 62	0,49 €	9,80 €	9,80 €
22			2-Komponentenkleber				z.B. UHU plus schnellfest oder sofortfest			
23	5	E02	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 120R				Conrad			
24	1	E03	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 180R				Conrad			
25	2	K15	Heizröhrchen		Kupfer	6 x 0,2 x 160	Rundrohr			
26	6	E04	Drahtwiderstand 5W 1R2				Conrad: Artikel-Nr.: 401781 - 62	0,50 €	3,00 €	3,00 €

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Objekt	Menge	Bauteilnummer	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung	Preis	Gesamt	Alternative
27	1		V2A-Rundrohr, Innendurchm. ca. 0,9 mm		V2A	100				
28	1		Aderendhülsen ohne Kunststoffkragen 0,5 mm ² x 6 mm				Conrad: Artikel-Nr.: 611891 - 62; 100 St./Pack	0,99 €	Alternative zu O27	
29	1	K16	Vorratsbehälter		PVC		Laborbedarf; Vierkant-Weithals-Behälter 200 ml	0,50 €	0,50 €	0,50 €
30	1		gerade Einschraubverschraubung 8/6 - R1/8				Pneumatik	2,00 €	2,00 €	2,00 €
31	3	K17	Erhöhung		PVC	145 x 20 x 20	Reststück von [K02]			
32	9		Senk-Blechschraube	ISO 7050 ST3,5 x 13 - C						
33			Silikon							
34			Acrylharz-Lack (schwarz)				Kunsthharzlack			
35			Ionensauger				Draht; d=0,22mm			
36	2		Linsen-Blechschraube	ISO 7049 ST3,5 x 9,5 - C						
37	1	E05	Lochrasterplatte			100 x 75	Conrad: Artikel-Nr.: 529580 - 62	1,59 €	1,59 €	1,59 €
38	2		Abstandsbolzen M3 10x6x6				Conrad: Artikel-Nr.: 521638 - 62; 10 St./Pack	2,35 €	4,70 €	4,70 €
39	2		Flachkopfschraube	ISO 7045 - M3 x 5						
40	1	E06	Computer-Netzteil				gebraucht, aus altem PC			
41	1	E06	Computer-Netzteil				neu	20,00 €	Alternative zu O40	
42	1	E7IC1	einstellbarer Spannungsregler	LM350T			Conrad: Artikel-Nr.: 176052 - 93	1,95 €	1,95 €	1,95 €
43	1	E7R1	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%				Conrad			
44	1	E7R2	Präzisions-Potentiometer 2,5K				Conrad: Artikel-Nr.: 424153 - 93	3,79 €	3,79 €	3,79 €
45	1	E7C1	Keramikkondensator 0,1uF				Conrad			
46	1	E7C2	Keramikkondensator 1uF				Conrad			
47	2		Montagematerial für TO-220				Conrad: Artikel-Nr.: 153290 - 62; vollst. Set	0,95 €	1,90 €	1,90 €
48			Wärmeleitpaste							
49			Steckerstifte				Conrad: Artikel-Nr.: 526274 - 93; 100 St./Pack	1,63 €		
50			Steckschuhe 100 St.				Conrad: Artikel-Nr.: 526290 - 93; 100 St./Pack	2,55 €		
51	1	E8IC1	einstellbarer Spannungsregler	LM350T			Conrad: Artikel-Nr.: 176052 - 93	1,95 €	1,95 €	1,95 €
52	1	E8R1	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 240R o. 357R o. 287R				Conrad			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Objekt	Menge	Bauteilnummer	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung	Preis	Gesamt	Alternative
53	1	E8R2	Präzisions-Einstellregler, 500R o. 1k o. 2k				Conrad			
54	1	E8C1	Keramikkondensator 0,1uF				Conrad			
55	1	E8C2	Keramikkondensator 1uF				Conrad			
56	2		Flachsteckhülsen				Conrad			
57	1	E09	Temperaturschaltmodul				Conrad Artikel-Nr.: 126608 - 62	12,95 €	12,95 €	12,95 €
58	1	E10IC1	einstellbarer Spannungsregler	LM317T			Conrad Artikel-Nr.: 176001 - 93	1,02 €		
59	1	E10R1	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 240R				Conrad			
60	1	E10R2	0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 332R				Conrad			
61	1	E10C1	Keramikkondensator 0,1uF				Conrad			
62	1	E10C2	Keramikkondensator 1uF				Conrad			
63	1	E11	Pumpe				Pumpe Autowaschanlage	15,00 €	15,00 €	- €
64	1	G01	Grundplatte		Aluminium	350 x 4 x 350		25,20 €	25,20 €	
Alternative zu O64			Grundplatte		PVC	350 x 15 x 350		15,00 €		15,00 €
65	1	G02	Profil		Aluminium	1000	alfer; OBI	7,49 €	7,49 €	7,49 €
66	1	G03	Gewindestange M8			1000	alfer; OBI	3,99 €	3,99 €	3,99 €
67	1	G04	Frontplatte		Aluminium	320 x 3 x 207		19,00 €	19,00 €	19,00 €
68	1	G05	Seitenteil L		Aluminium	320 x 1,5 x 207		6,48 €	6,48 €	
Alternative zu O68			Seitenteil L		PVC			1,00 €		1,00 €
69	1	G06	Seitenteil R		Aluminium	320 x 1,5 x 207		6,48 €	6,48 €	
Alternative zu O69			Seitenteil R		PVC			1,00 €		1,00 €
70	1	G07	Seitenteil H		Aluminium	320 x 1,5 x 207		6,48 €	6,48 €	
Alternative zu O70			Seitenteil H		PVC			1,00 €		1,00 €
71	1	G08	Deckel		PVC	350 x 4 x 350		3,00 €	3,00 €	3,00 €
72	5		Anschraubpuffer 20 x 13 x 4 x 10				Conrad Artikel-Nr.: 522435 - 62	0,99 €	4,95 €	
73	5		Geraetefuss, selbstklebend 22,3 x 10,1				Conrad Artikel-Nr.: 525847 - 62	0,38 €		1,90 €
74	5		Senkschraube + Mutter	ISO 2009 - M4 x 12			mit Schlitz; DIN 963; OBI: 20 St./Pack, 16mm	2,39 €	0,60 €	0,60 €

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Objekt	Menge	Bauteil- nummer	Benennung	Sachnummer/Norm- Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung	Preis	Gesamt	Alternative
75	4		Sechskantmutter	ISO 4032 - M8			OBI: 10St./Pack	2,29 €	1,00 €	1,00 €
76	24		Zylinderschraube	ISO 4762 - M3 x 10			mit Innensechskant; DIN 912; OBI: 16 St./Pack	2,69 €	4,00 €	
77	24		Zylinderschraube + Mutter	ISO 1207 - M3 x 10			mit Schlitz; DIN 84; OBI: 26 St./Pack	2,69 €		2,50 €
78	24+2		Sechskantmutter	ISO 4032 - M3			OBI: 38St./Pack	2,29 €	1,60 €	
79	6		Linsen-Blechschrabe	ISO 7049 ST3,5 x 16 - C						
80	4		Kühlwasserschläuche				Phywe 39290.00; €/m; innen 10mm, außen 14mm	2,05 €	8,20 €	8,20 €
81	2		Schlauchschellen							
82	6	E12	Peltier-Element QC-71-1.4-8.5M				Conrad Artikel-Nr.: 189182 - 62	24,50 €	147,00 €	
83	6	E12	Peltier-Element				Pollin; Alternative zu O82	14,95 €		89,70 €
84	1		Ringkabelschuh				Conrad; Lochdurchmesser 3,2mm			
85	1		Schlauch				Phywe 39297.00; €/m; innen 5mm, außen 7mm	1,49 €	1,49 €	1,49 €
86	1		Rohr Gasinjektion				weiches Metall; geringe Wandstärke			
87	1		Lüsterklemmen				12 bis 16 polige Reihe	1,00 €	1,00 €	1,00 €
88	3		Schraube + Mutter				Verschraubung der Lüsterklemmenreihe			
89			Aderendhülsen verschiedene Größen					nicht unbedingt erforderlich		
90	1	E13	LED 5mm rot				Conrad: Artikel-Nr.: 184900 - 62	0,07 €	0,07 €	0,07 €
91	1	E14	Einbaubuchse 4mm gelb				Conrad Artikel-Nr.: 731583 - 62	0,99 €	0,99 €	0,99 €
92	1	E15	Einbaubuchse 4mm blau				Conrad Artikel-Nr.: 731580 - 62	0,99 €	0,99 €	0,99 €
93	10		Verbindungsklemme 3-Leiter				Conrad: Artikel-Nr.: 522374 - 62	0,34 €	3,40 €	3,40 €
94	2	E16	Kippschalter; Ein/Aus				Conrad: Artikel-Nr.: 701147 - 93	1,52 €	3,04 €	3,04 €
95	4	E17	Taster; Schließer				Conrad: Artikel-Nr.: 705012 - 93	0,77 €	3,08 €	3,08 €
96	1		0,6W-Metallschicht-Widerstand 1%, 62R o. 147R				Conrad			
97			Dichtungsgummi				Conrad: Artikel-Nr.: 318450 - 62			
98	1		Linsen-Blechschrabe	ISO 7049 ST2,9 x 6,5 - C						
99	4	G09	Glasdeckelhalterung				Reststück von [G08]			
100	10		Linsen-Blechschrabe	ISO 7049 ST2,9 x 13 - F						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Objekt	Menge	Bauteil- nummer	Benennung	Sachnummer/Norm- Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung	Preis	Gesamt	Alternative
101	1	K18	Glasdeckel		Glas	184 x 4 x 134		- €	- €	- €
102	4		Rändelmutter M8				alfer; OBI	1,79 €	7,16 €	
103	4		Flügelmutter M8				OBI: 5St./Pack	3,59 €		3,59 €
104	2		Y-Schlauchverbinder				Phywe 47518.01; 2 St./Set	0,55 €	0,55 €	0,55 €
105			Wärmeleitkleber							
106	1		Poti-Knopf; 6mm Achse, schwarz	Mentor: Serie 20			Conrad: Artikel-Nr.: 183633 - 62	1,53 €	1,53 €	1,53 €
107	1		Abdeckkappe; rot	Mentor: Serie 20			Conrad: Artikel-Nr.: 719714 - 62	0,18 €	0,18 €	0,18 €
108	1		Zeiger; schwarz	Mentor: Serie 20			Conrad: Artikel-Nr.: 183607 - 62	0,26 €	0,26 €	0,26 €
109			Schrumpfschlauch versch. Größen							
110			Litzenkabel; verschiedene Querschnitte u. Farben							
111			2-Propanol (Isopropanol)							
112	1		Mutter R1/8 mit Flansch							
113	1		Schlauch				passend zu Objekt 30			
114	1	Z01	Aufnahme Präparat		Edelstahl	41 x 1,5 x 25				
115	1	Z02	Kammerdeckel Präparathalter		Acrylglas	siehe Zeichnung				
116	1	Z03	Gewindestange M8		Edelstahl	230				
117	1		Hutmutter M8							
118	1		Sechskantmutter M8							
119	1		Flügelmutter / Rändelmutter							
120	1		Widerstand 10M							
121	1		Kunststoffgrund				z.B. Dulux: Universalgrund auf Kunstharzbasis			
122	12		Ringschraubösen 8 x 3 mm				OBI: 20St./Pack	2,69 €	1,60 €	1,60 €
123	1		Anschlussbuchse				Conrad: Artikel-Nr.: 733695 - 62			
124	1		Stecker 2 mm				Conrad: Artikel-Nr.: 731242 - 62			
125	1		Relais	FRS1 B S VDC 12			Conrad: Artikel-Nr.: 505196 - 62	1,31 €	1,31 €	1,31 €
126	1		Batteriehalter				Conrad: Artikel-Nr.: 615625 - 62	1,20 €	1,20 €	1,20 €

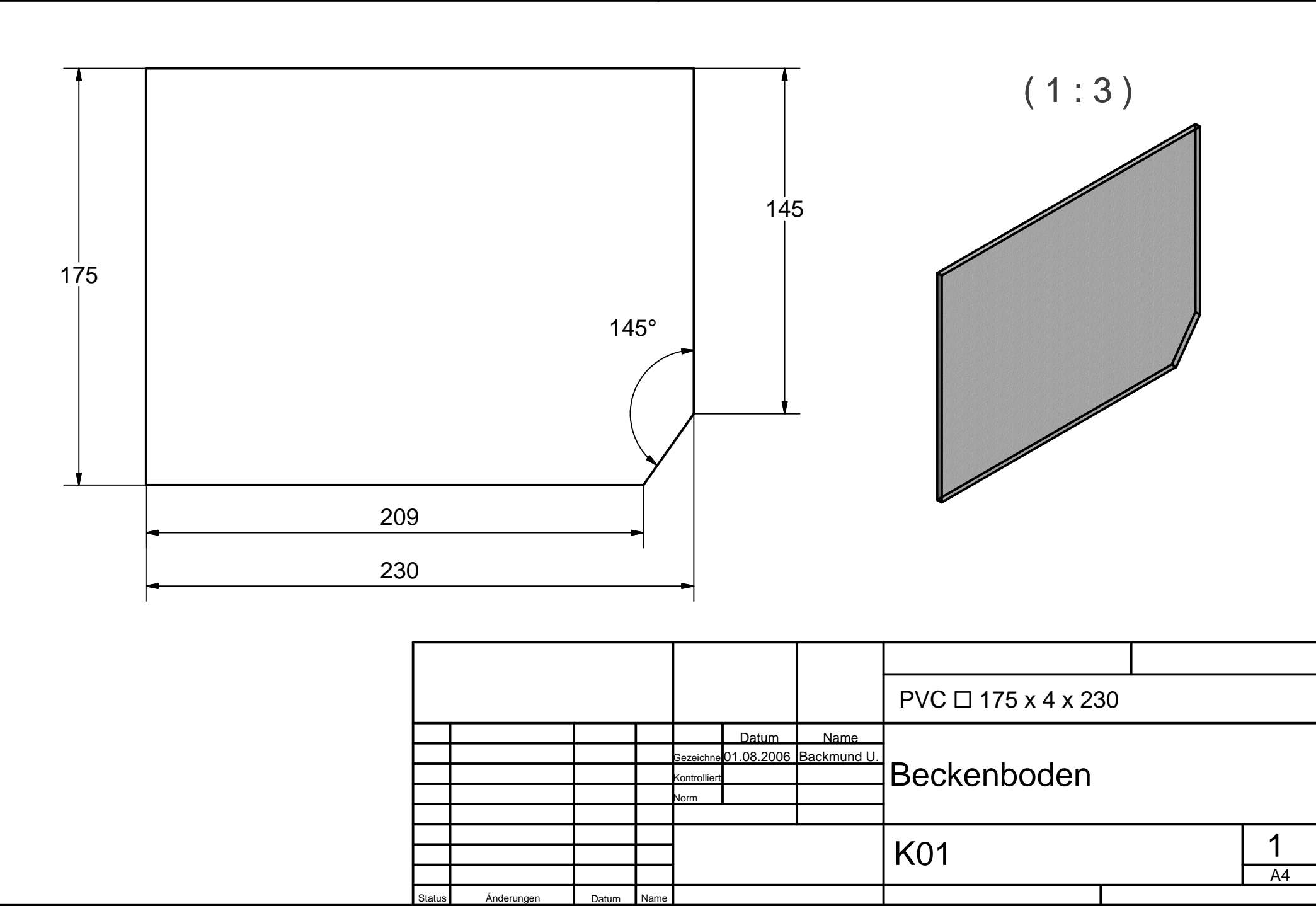
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Objekt	Menge	Bauteil- nummer	Benennung	Sachnummer/Norm- Kurzbezeichnung	Werkstoff	Halbzeug	Bemerkung	Preis	Gesamt	Alternative
127	1		Batterieclip				Conrad: Artikel-Nr.: 624691 - 62	0,40 €	0,40 €	0,40 €
128	2		Batterie Mignon (Typ AA)							
129	2		Spritze 50ml							
130	1		Glühstrumpf				z.B. Phywe 08360.00			

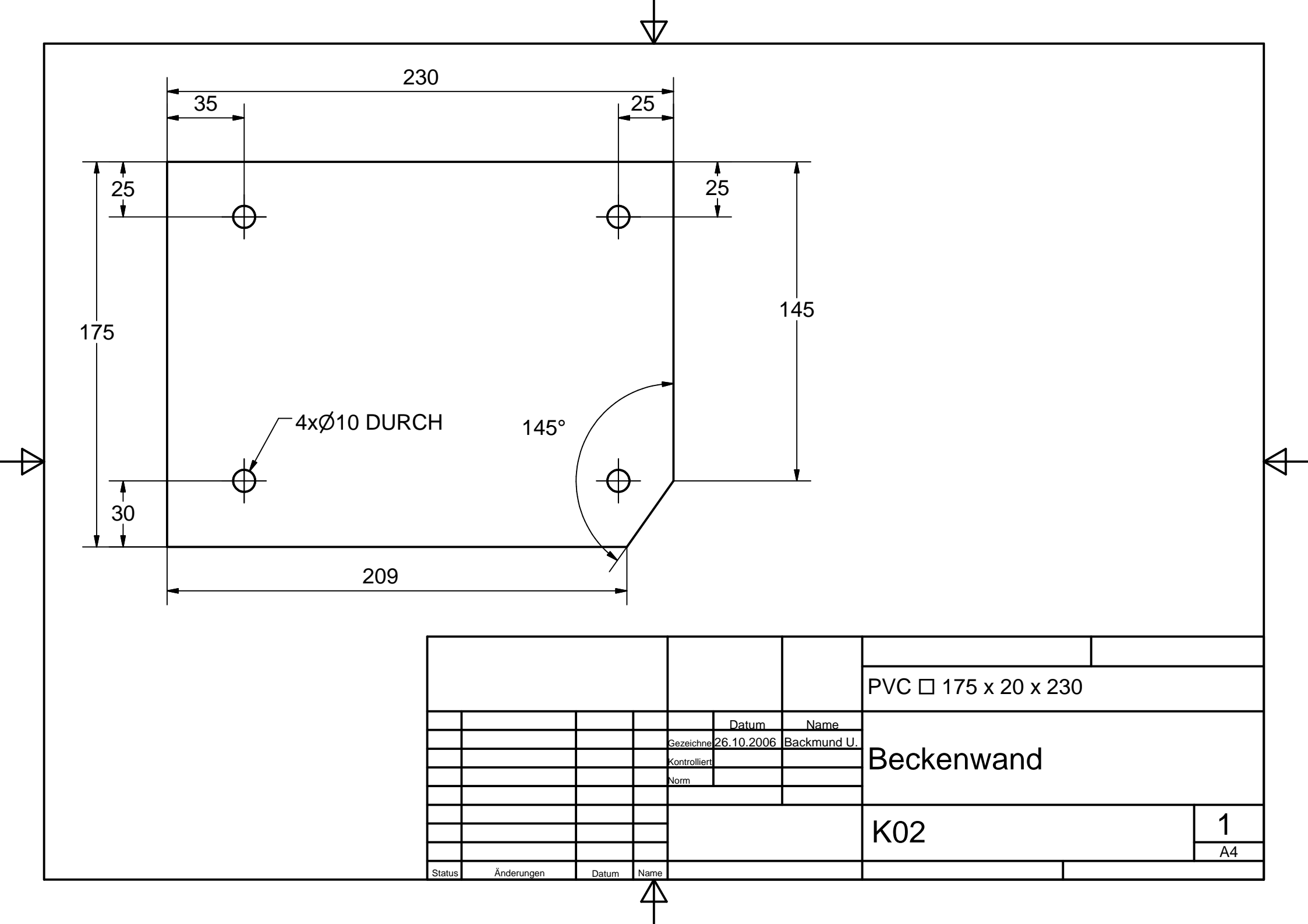
Summe: **385,35 €** **271,69 €**

Gehäuse: **97,43 €** **61,07 €**

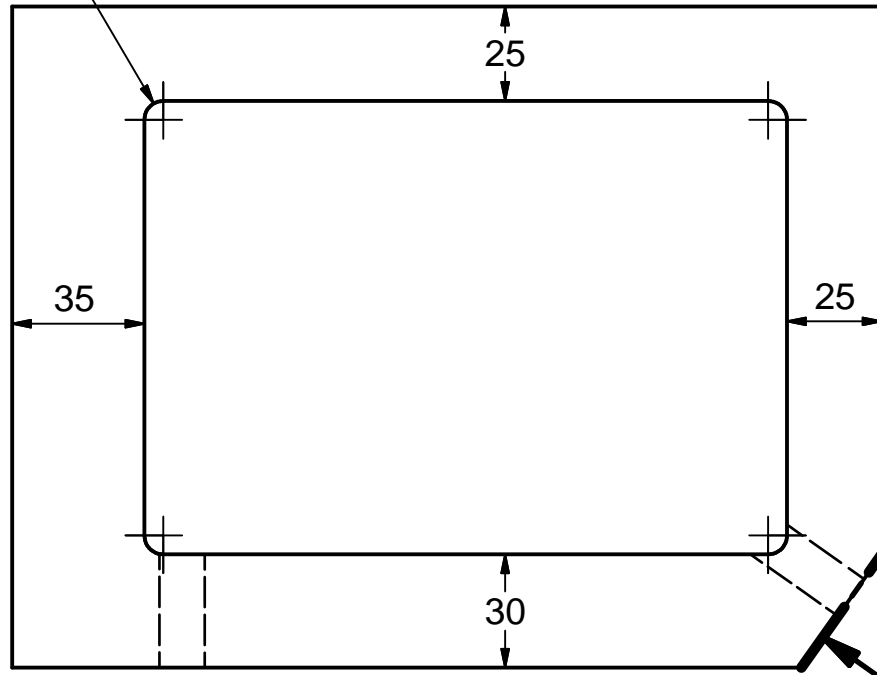
Anhang B

ZEICHNUNGEN

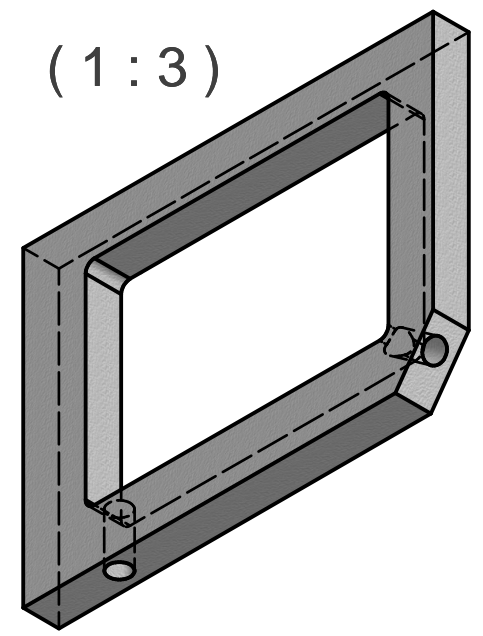




R5



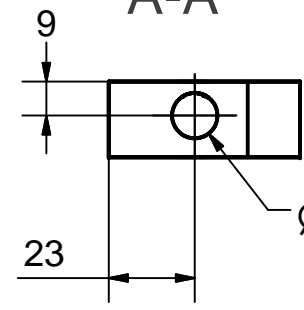
(1 : 3)



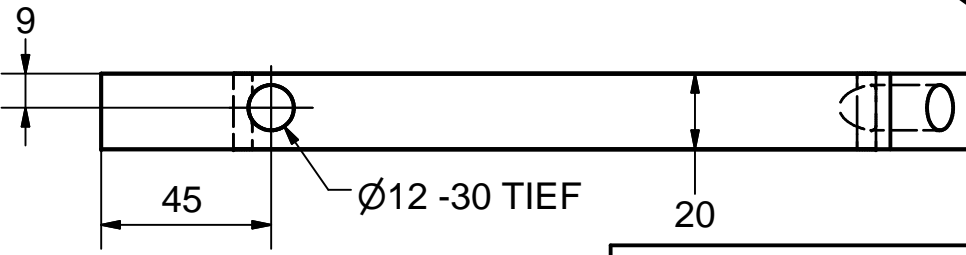
A

A

A-A

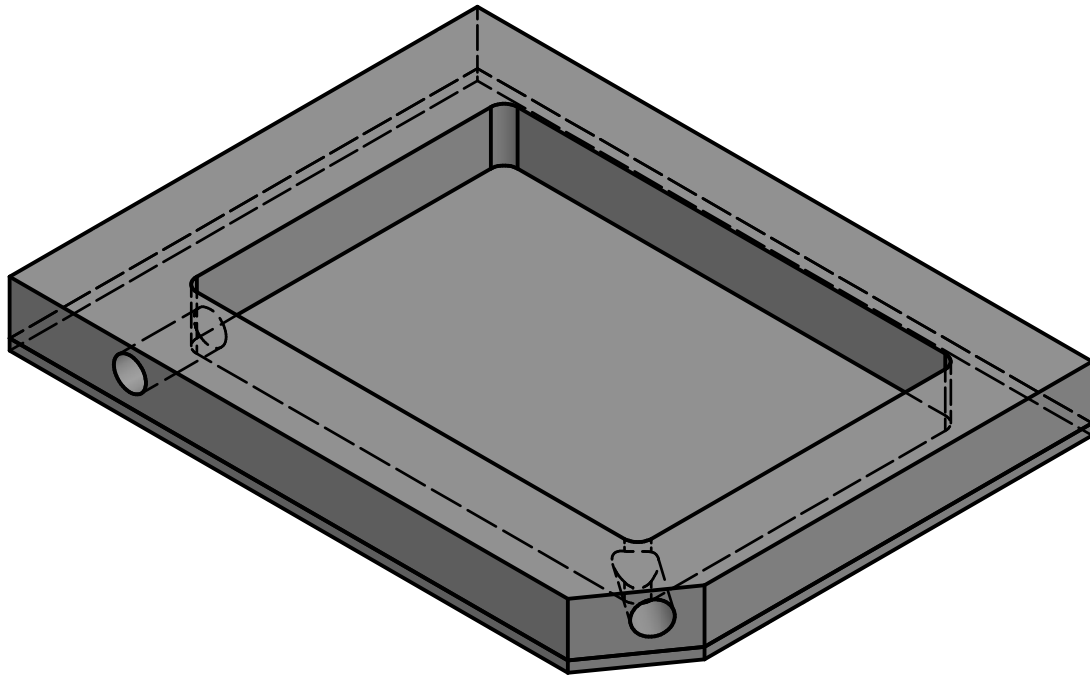


Ø12 -21 TIEF

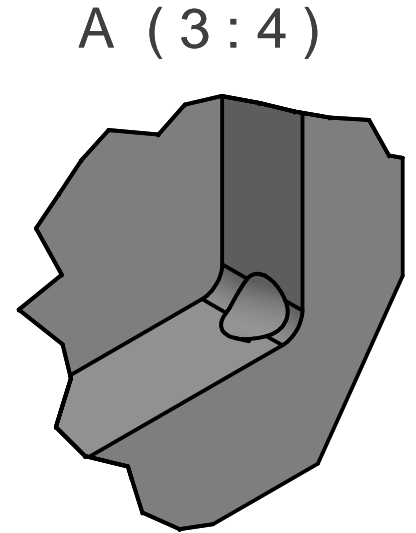
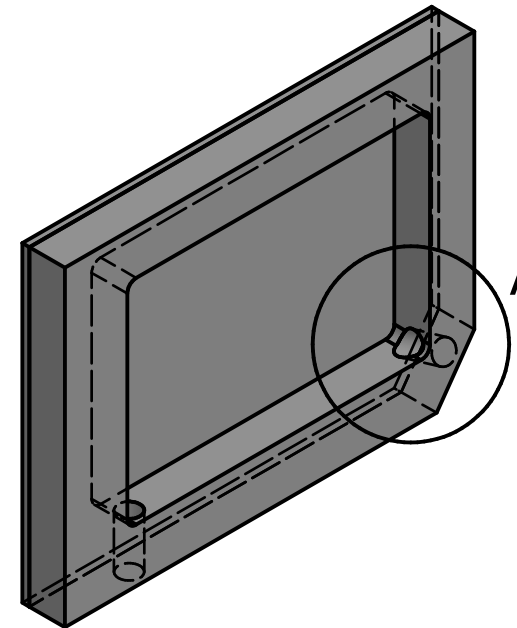


Ø12 -30 TIEF

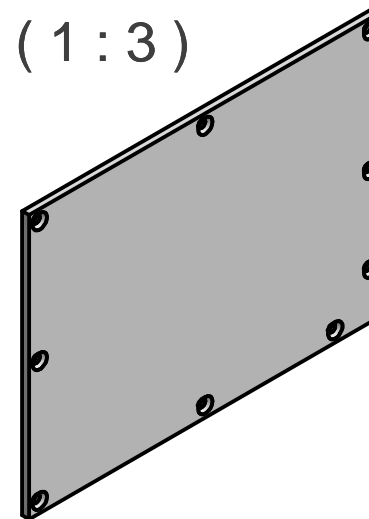
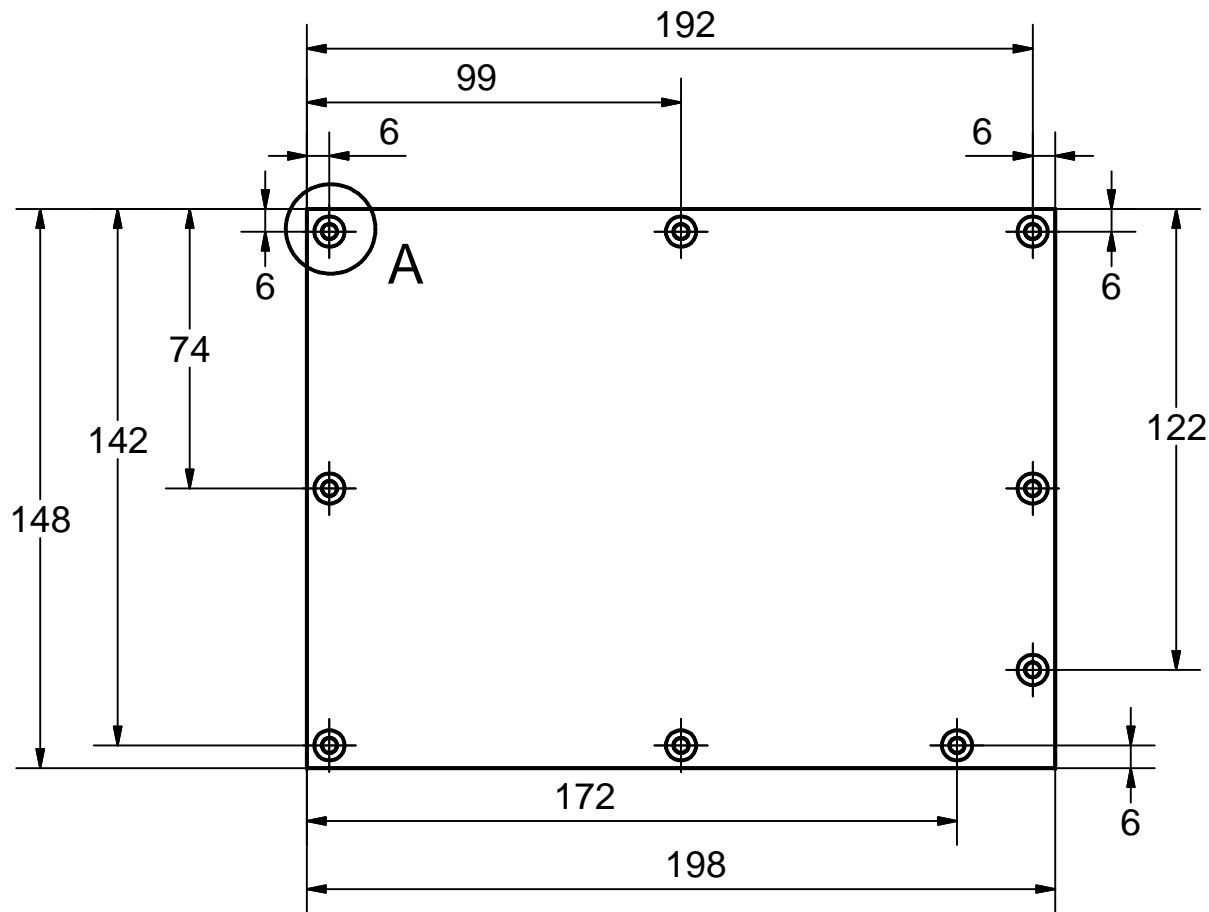
						PVC □ 175 x 20 x 230		
				Datum	Name	Beckenwand		
				Gezeichnet	26.10.2006			Backmund U.
				Kontrolliert				
				Norm				
						K02		
						2		
						A4		
Status	Änderungen	Datum	Name					



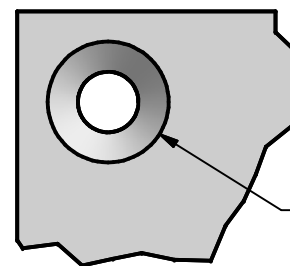
(1 : 3)



					Datum	Name		Wasserbecken			
				Gezeichnet	28.10.2006	Backmund U.					
				Kontrolliert							
				Norm							
								K01-K02		1	
										A4	
Status	Änderungen	Datum	Name								

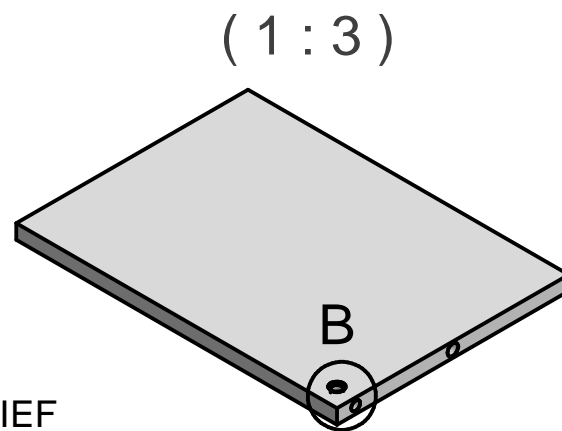
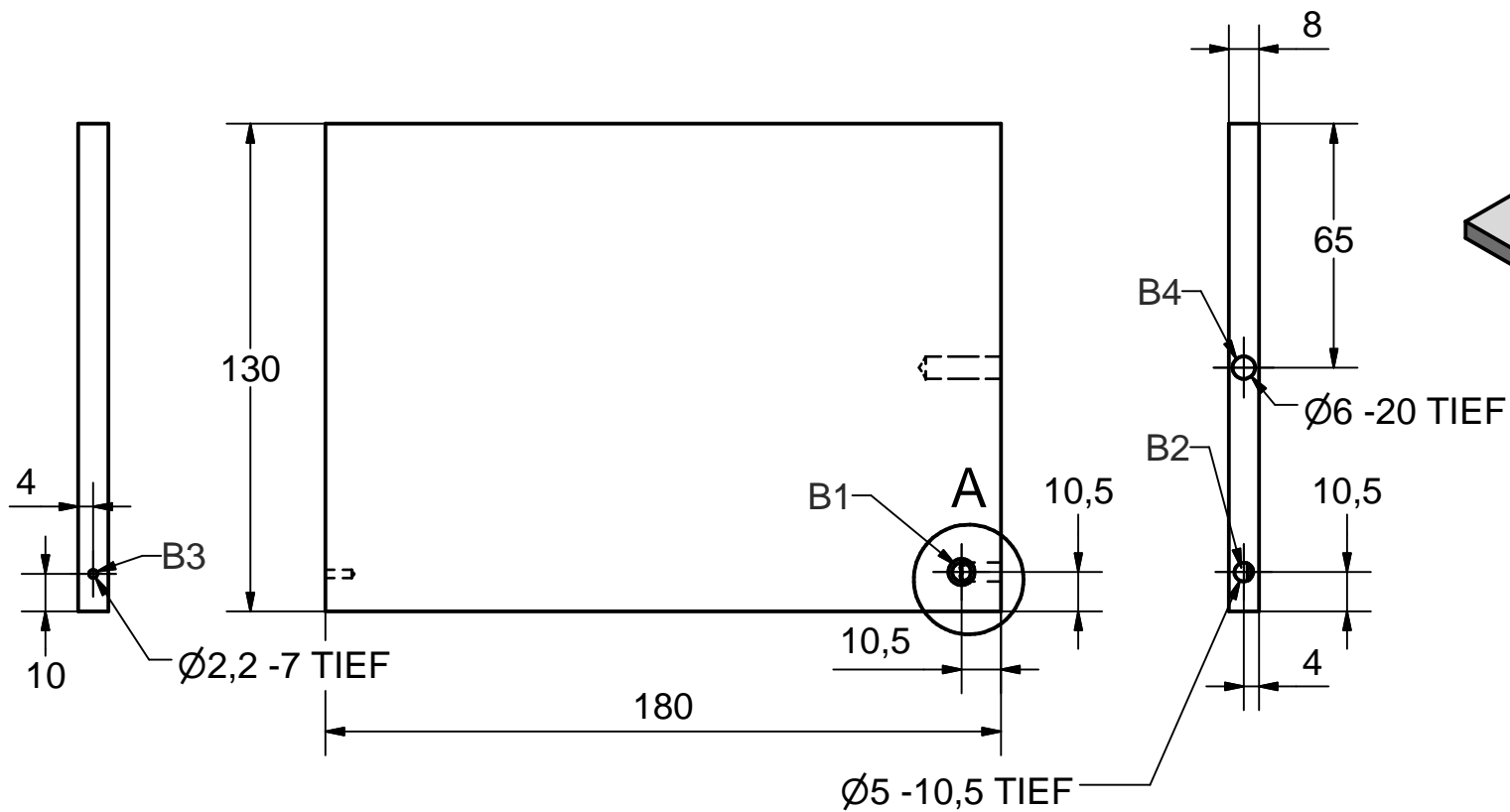


A (2 : 1)

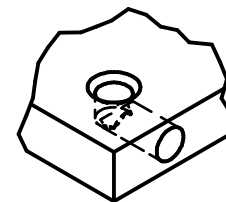


Ø4 DURCH
DIN 74 - Ø8 X 90°

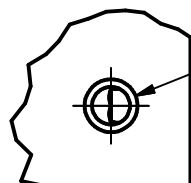
						Aluminium □ 148 x 4 x 198		
				Datum	Name	Wärmetauschplatte		
				Gezeichnet	01.08.2006			Backmund
				Kontrolliert				
				Norm				
						K03		
						1		
						A4		
Status	Änderungen	Datum	Name					



B (1 : 1)

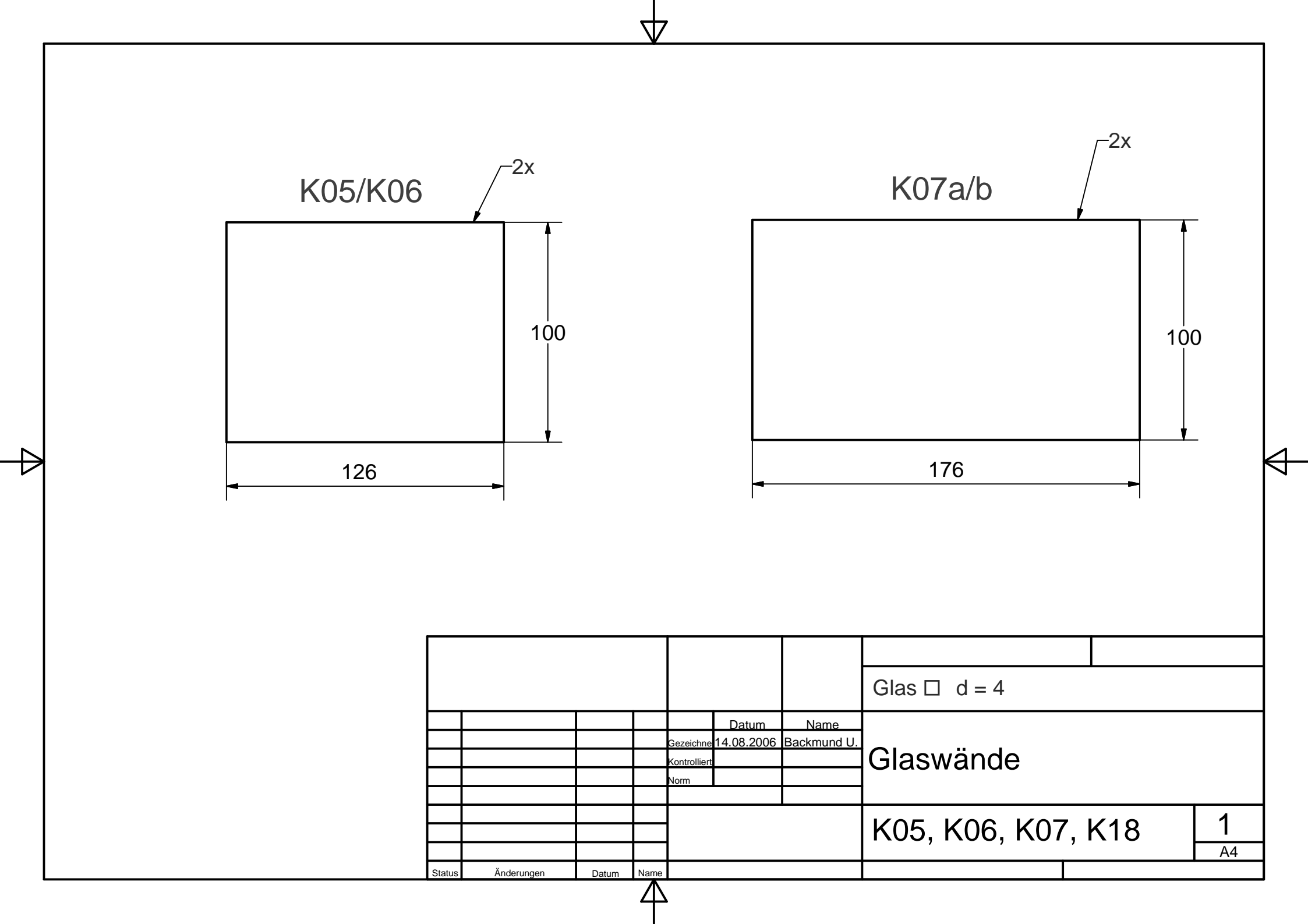


A (1 : 1)



$\varnothing 5 - 5$ TIEF
DIN 74 - $\varnothing 7 \times 90^\circ$

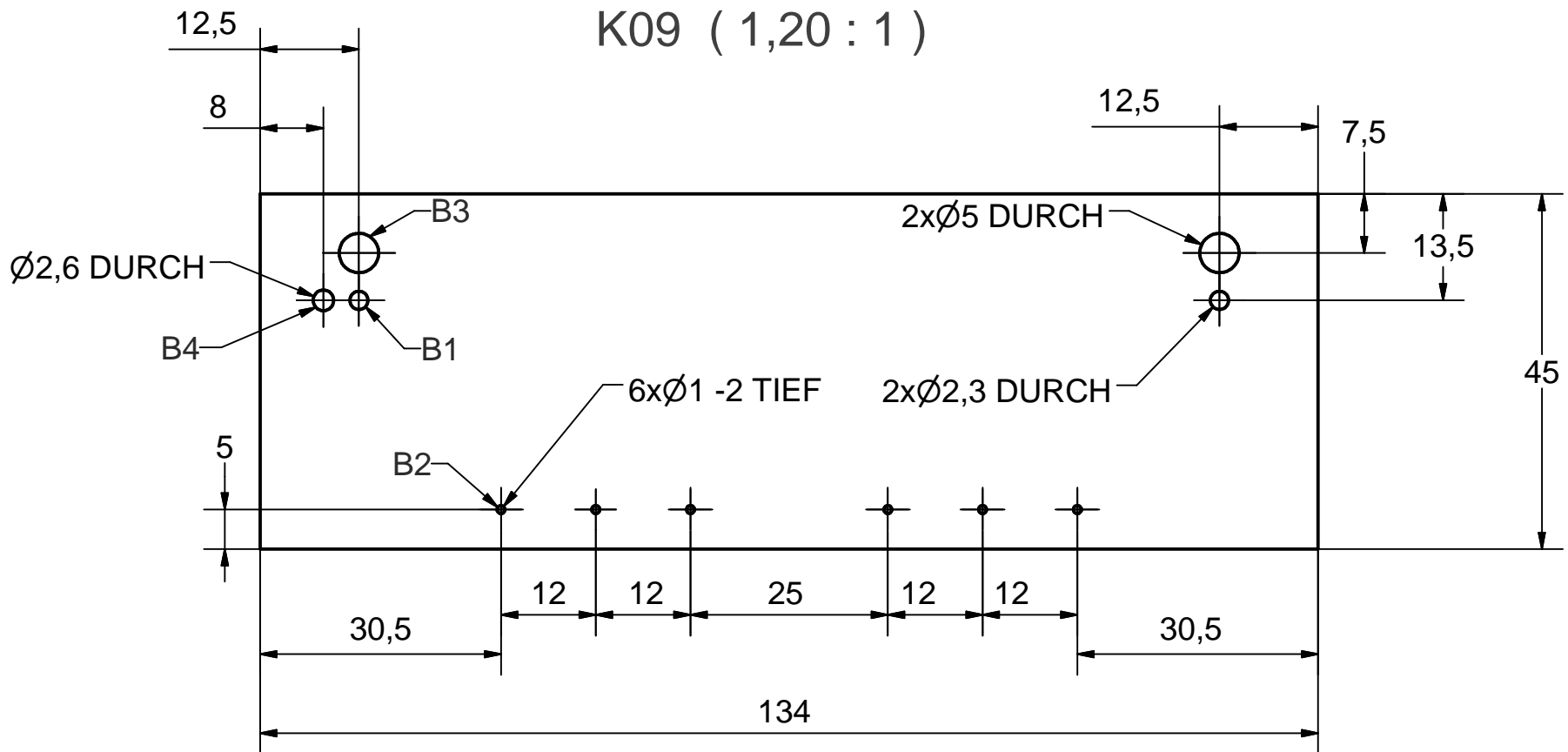
								Aluminium □ 130 x 8 x 180	
					Datum	Name		Kühlplatte	
				Gezeichnet	10.08.2006	Backmund U.			
				Kontrolliert					
				Norm					
							K04		1
									A4
Status	Änderungen	Datum	Name						



Glasdeckel K18



						(1 : 2)			
						Glas <input type="checkbox"/> d = 4			
					Datum	Name	Glaswände		
				Gezeichnet	14.08.2006	Backmund U.			
				Kontrolliert					
				Norm					
							K05, K06, K07, K18		2
							A4		
Status	Änderungen	Datum	Name						



								PVC <input type="checkbox"/> d = 6	
					Datum	Name		PVC-Oberteil	
				Gezeichnet	17.08.2006	Backmund U.			
				Kontrolliert					
				Norm					
							K08, K09, K10		
							2		
							A4		
Status	Änderungen	Datum	Name						

K10 (1 : 1)

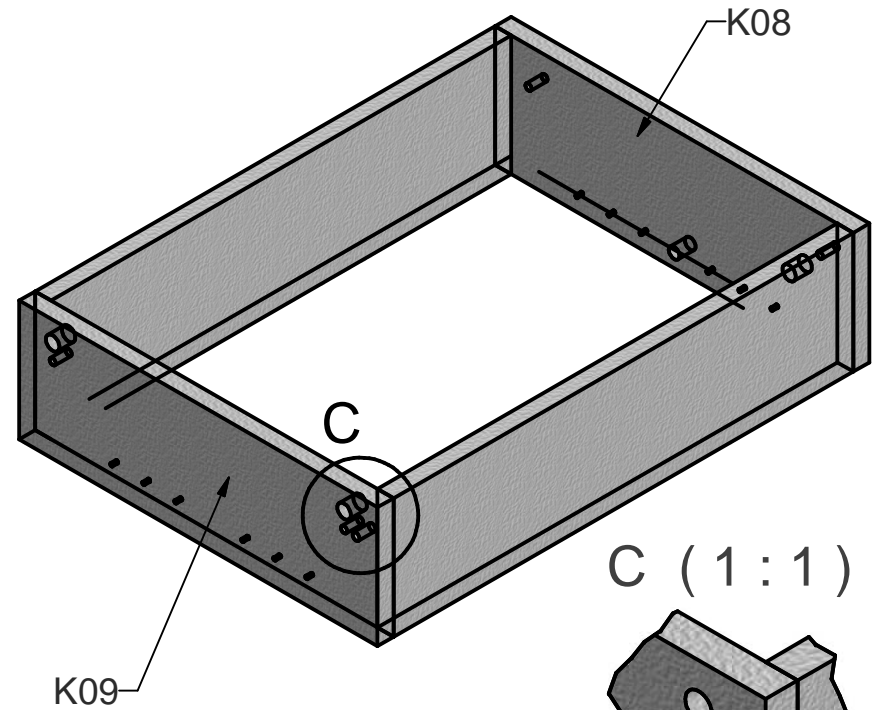
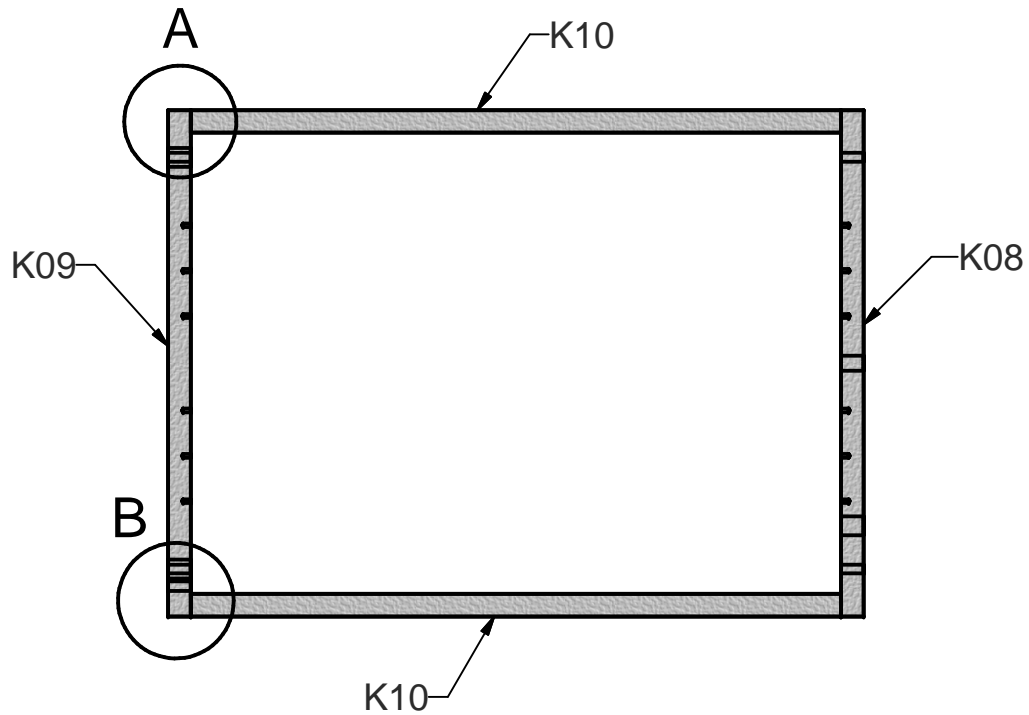
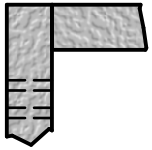
2x

45

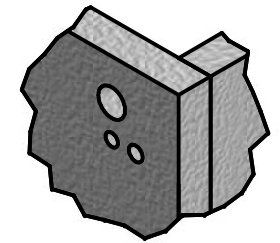
172

					Datum	Name		PVC-Oberteil			
				Gezeichnet	17.08.2006	Backmund U.					
				Kontrolliert							
				Norm							
								K08, K09, K10			3 A4
Status	Änderungen		Datum	Name							

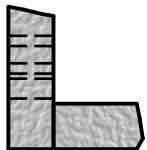
A (1:1)



C (1:1)

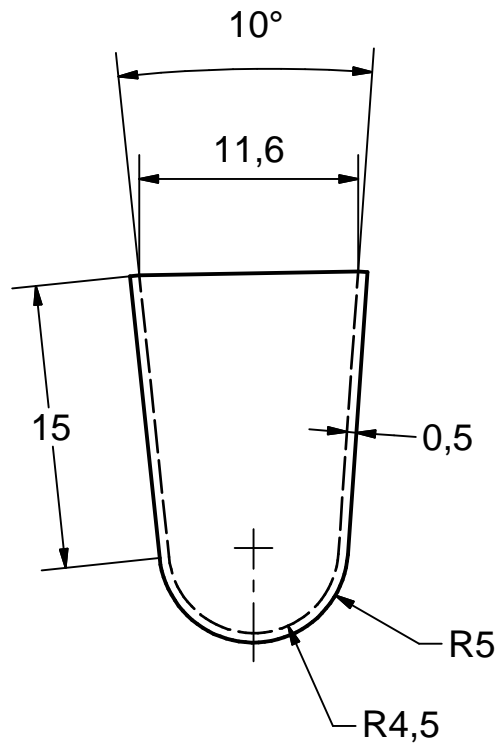


B (1:1)

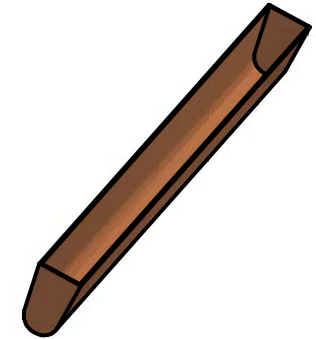
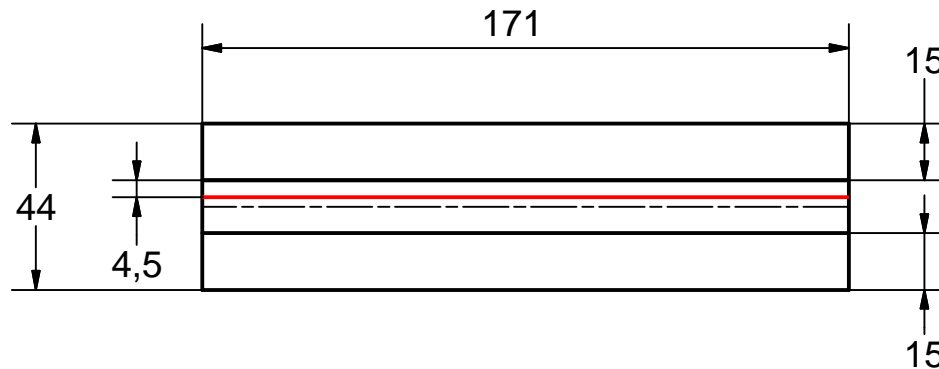


					Datum	Name		PVC-Oberteil	
				Gezeichnet	30.10.2006	Backmund U.			
				Kontrolliert					
				Norm					
						K08-K10		1	
								A4	
Status	Änderungen	Datum	Name						

(2,50 : 1)

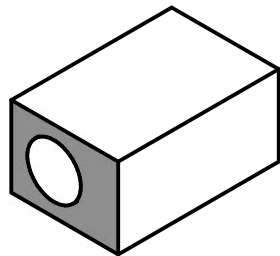


Abwicklung

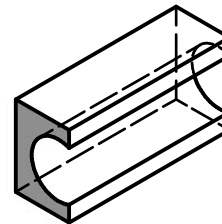


						Kupfer □ 44 x 0,5 x 171				
				Datum	Name	Rinne				
				Gezeichnet	17.08.2006					Backmund U.
				Kontrolliert						
				Norm						
							K11		1	
									A4	
Status	Änderungen	Datum	Name							

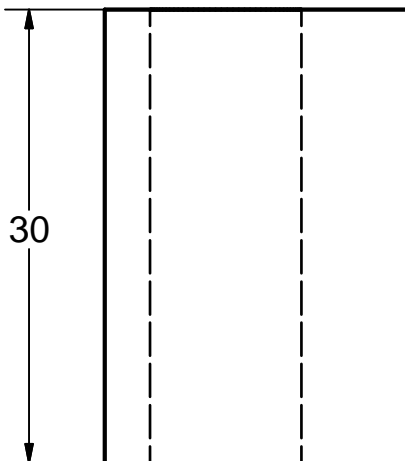
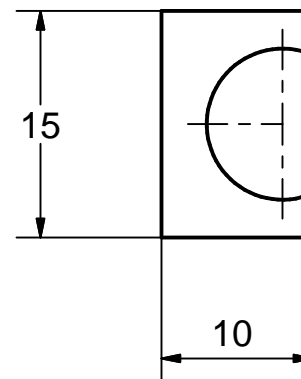
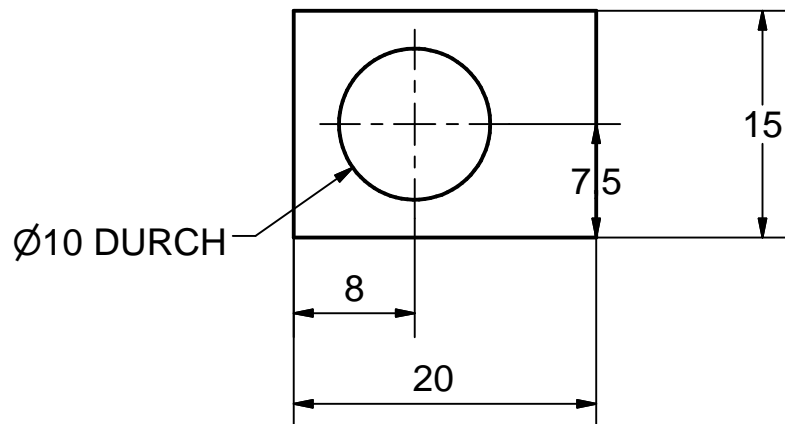
(1 : 1)



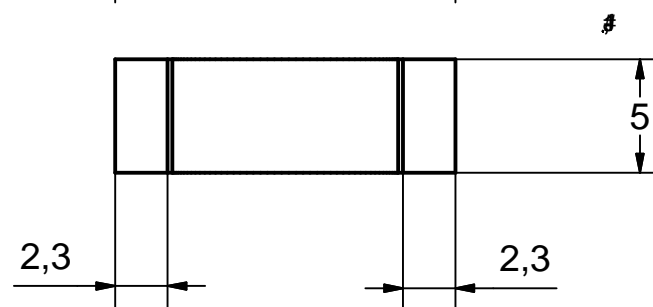
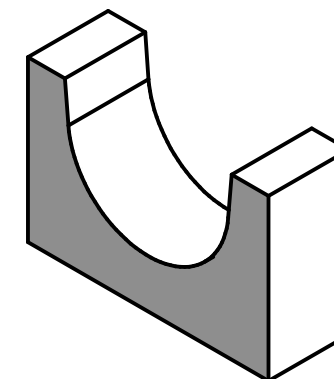
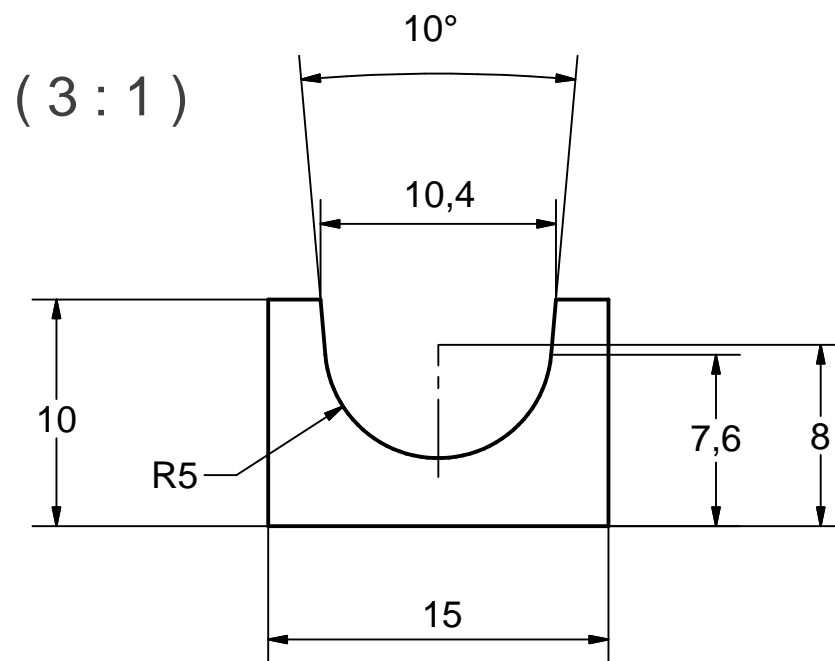
(1 : 1)



(2 : 1)



						PVC □ 15 x 20 x 30	
				Datum	Name	Rinnenbefestigung	
				Gezeichnet	17.08.2006 Backmund U.		
				Kontrolliert			
				Norm			
						K12	
						1	
						A4	
Status	Änderungen	Datum	Name				

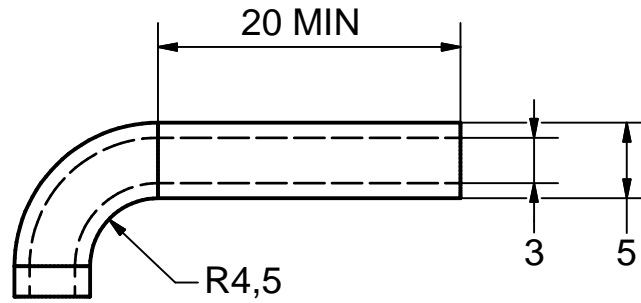


				Datum	Name	Rinnenbefestigung		
				Gezeichnet	17.08.2006			Backmund U.
				Kontrolliert				
				Norm				
						K12		
Status	Änderungen	Datum	Name					

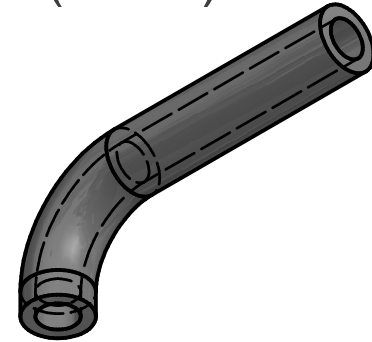
2

A4

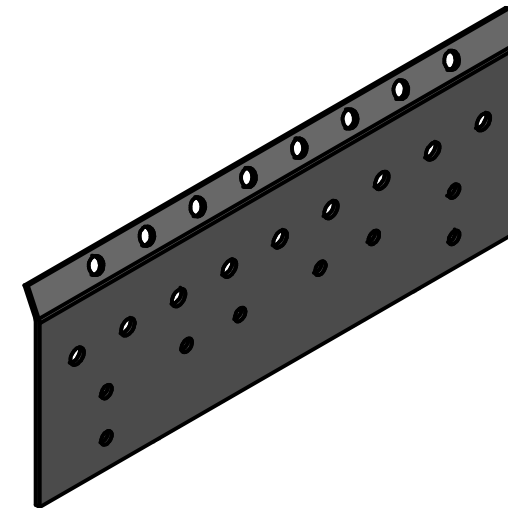
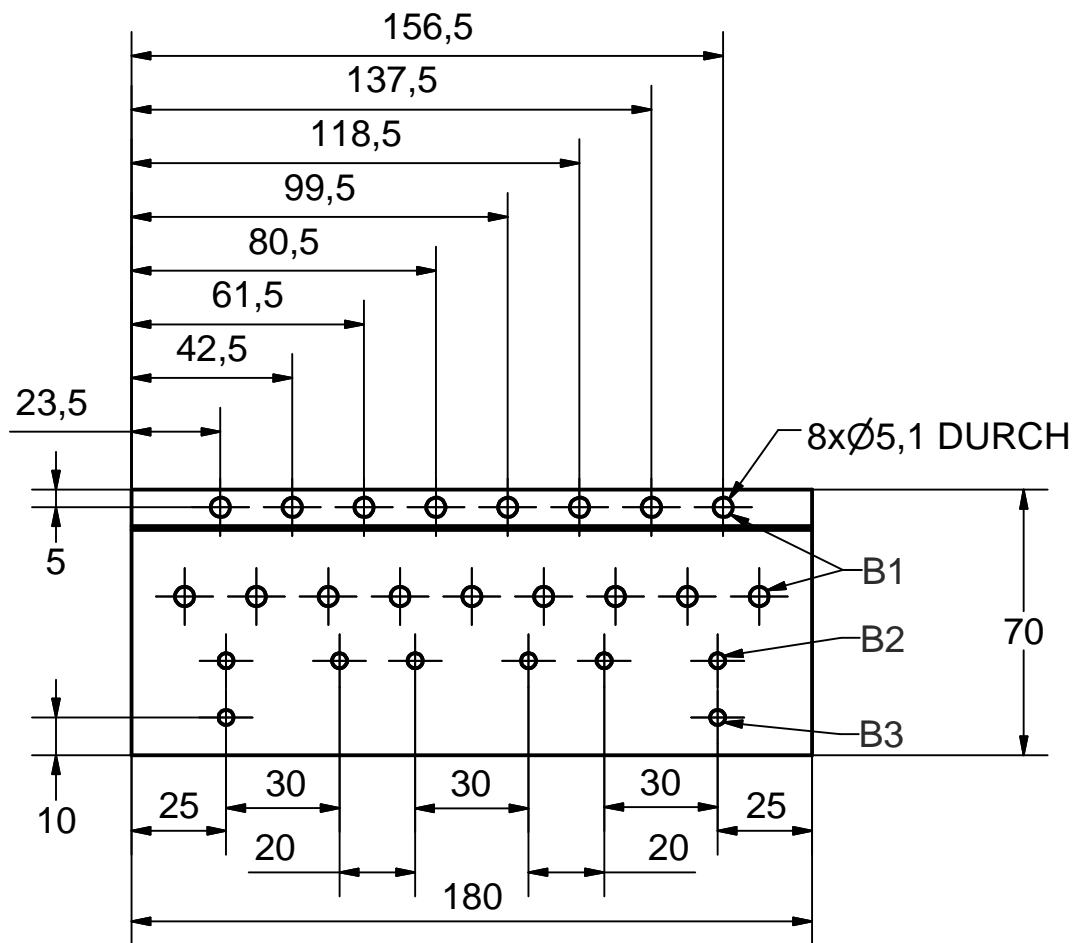
(2 : 1)



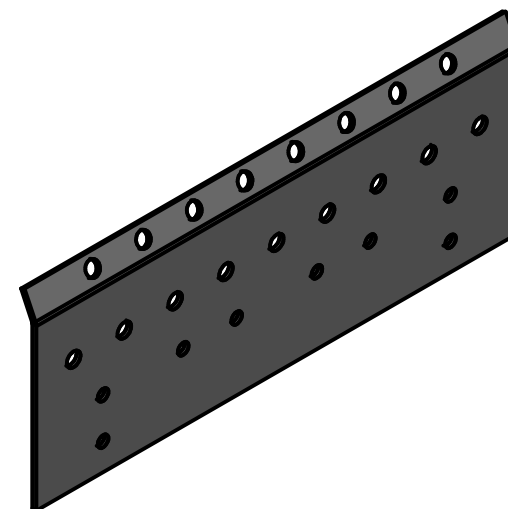
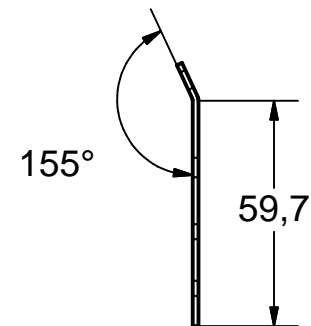
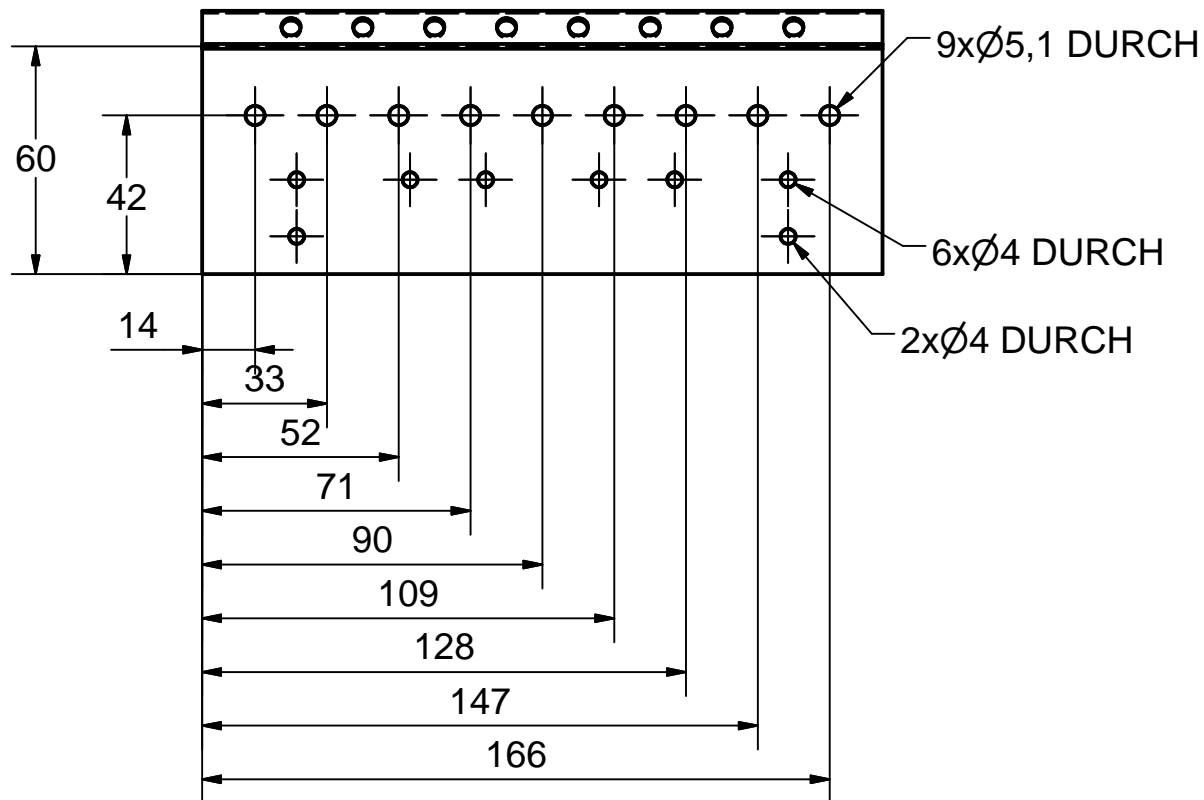
(2 : 1)



								Kupfer	
					Datum	Name		90°-Rohrbogen	
				Gezeichnet	20.11.2006	Backmund U.			
				Kontrolliert					
				Norm					
							K13		1
									A4
Status	Änderungen	Datum	Name						

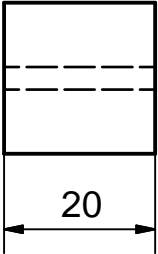
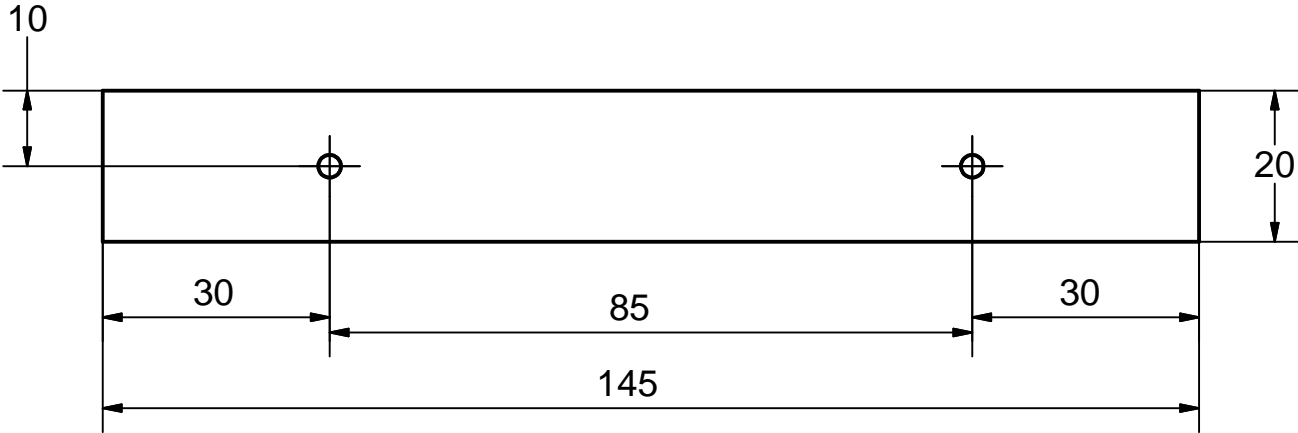
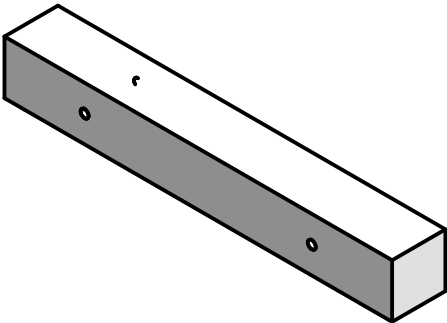


								Aluminium □ 70 x 1,5 x 180			
					Datum		Name	LED-Leiste			
				Gezeichnet	01.11.2006	Backmund U.					
				Kontrolliert							
				Norm							
								K14		1	
Status	Änderungen	Datum	Name								

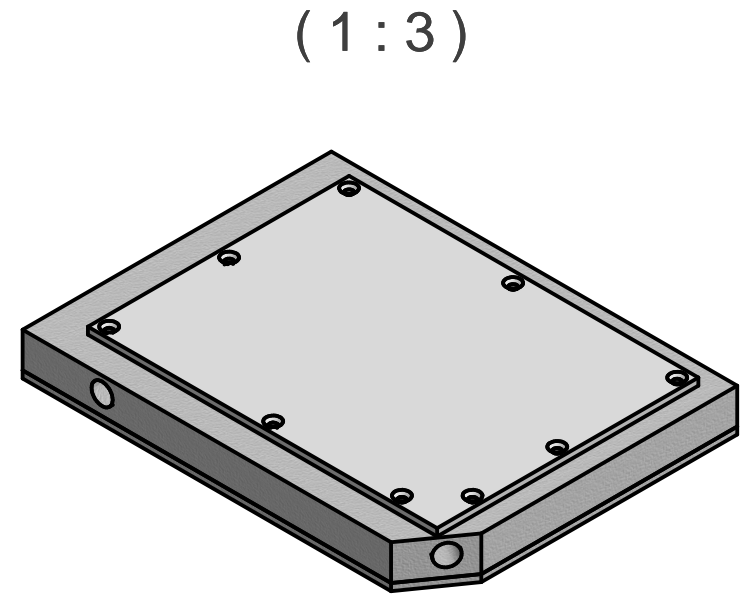
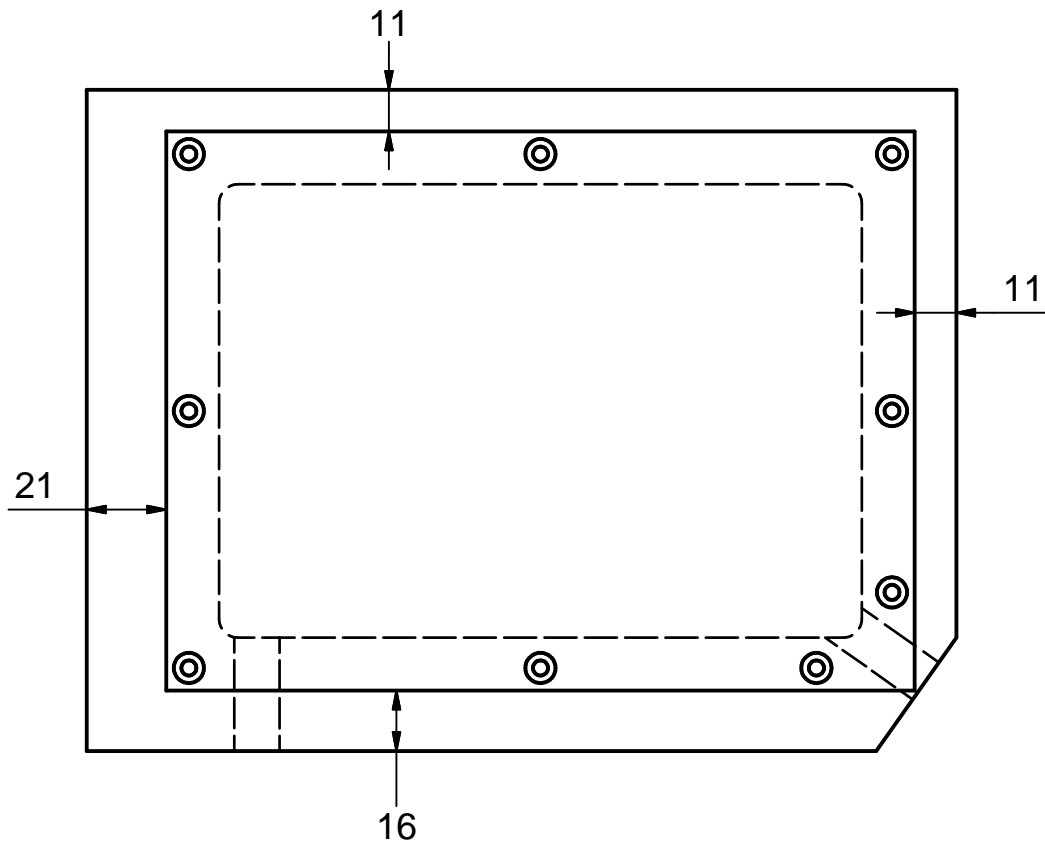


								Aluminium □ 70 x 1,5 x 180	
					Datum	Name		LED-Leiste	
				Gezeichnet	01.11.2006	Backmund U.			
				Kontrolliert					
				Norm					
							K14		2
									A4
Status	Änderungen	Datum	Name						

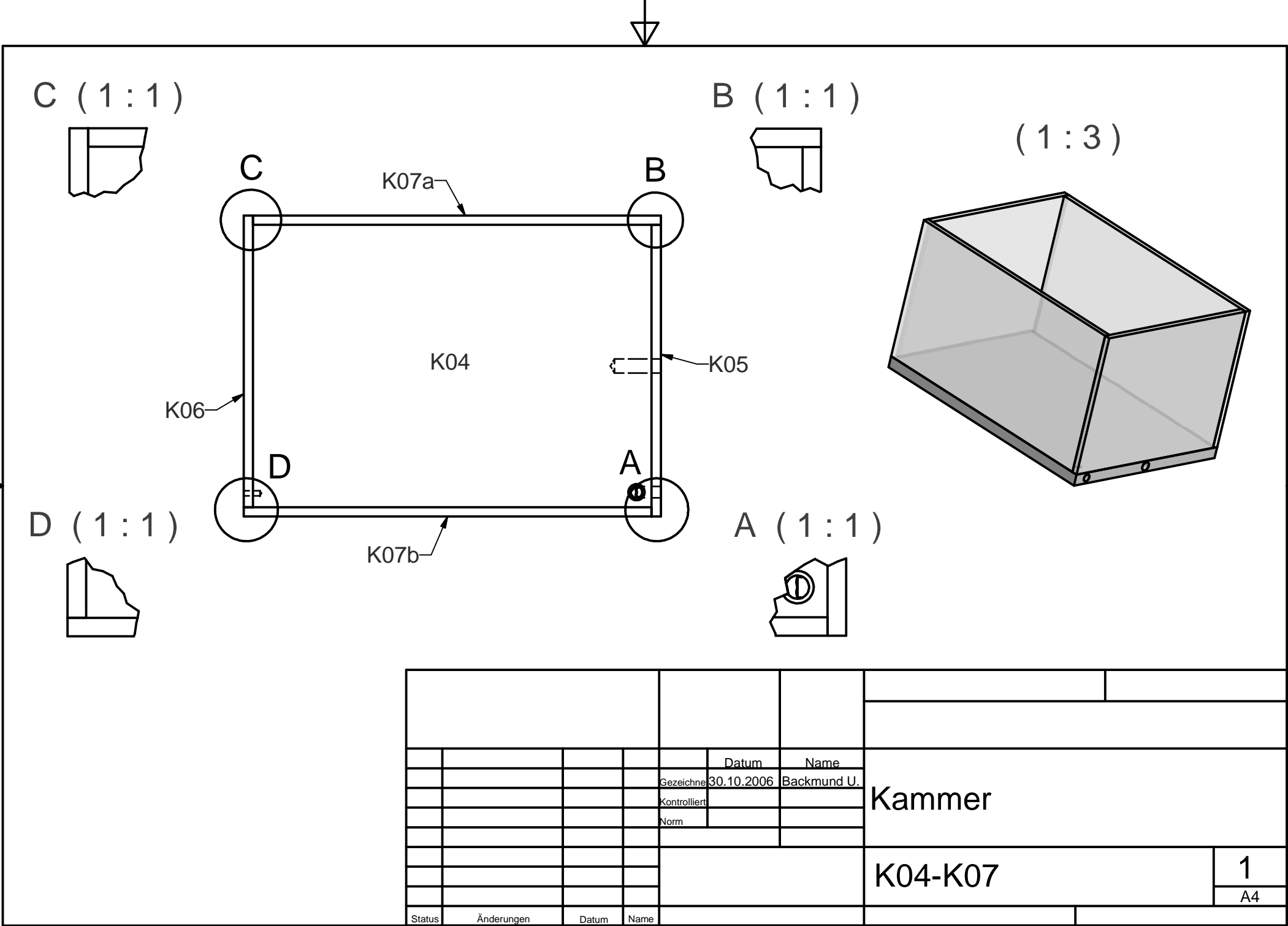
(1 : 1)

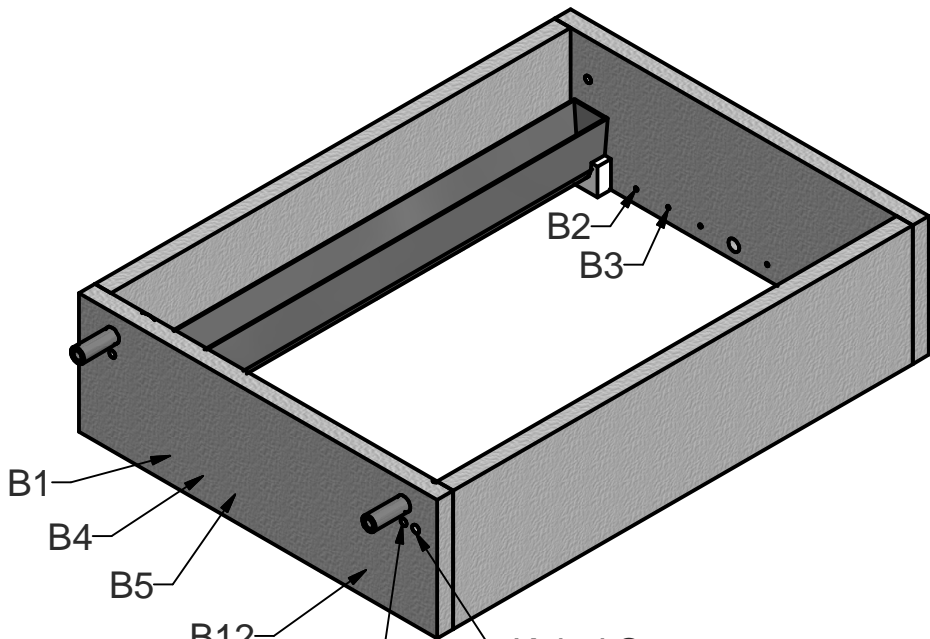


								PVC □ 145 x 20 x 20	
					Datum	Name		Erhöhung	
				Gezeichnet	23.01.2007	Backmund U.			
				Kontrolliert					
				Norm					
								K17	
								1	
								A4	
Status	Änderungen	Datum	Name						



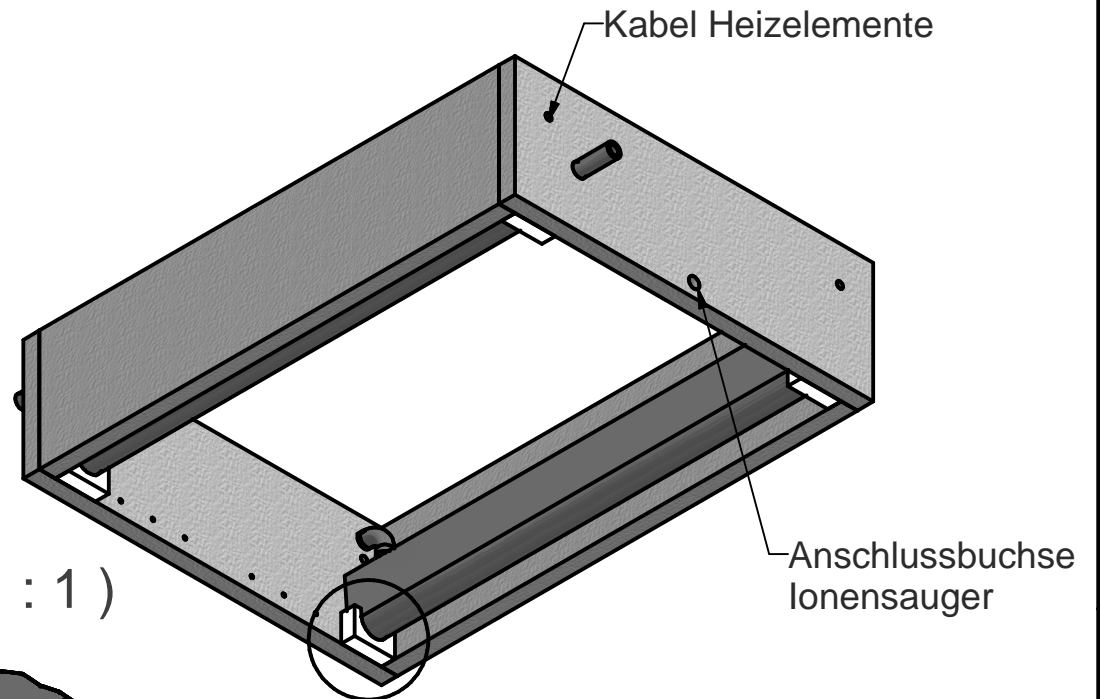
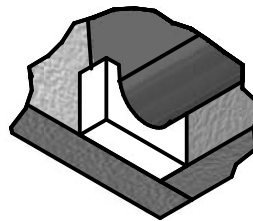
					Datum	Name		Becken + Wärmetauschplatte	
				Gezeichnet	14.11.2006	Backmund U.			
				Kontrolliert					
				Norm					
							K01-K03		1
Status	Änderungen	Datum	Name						A4





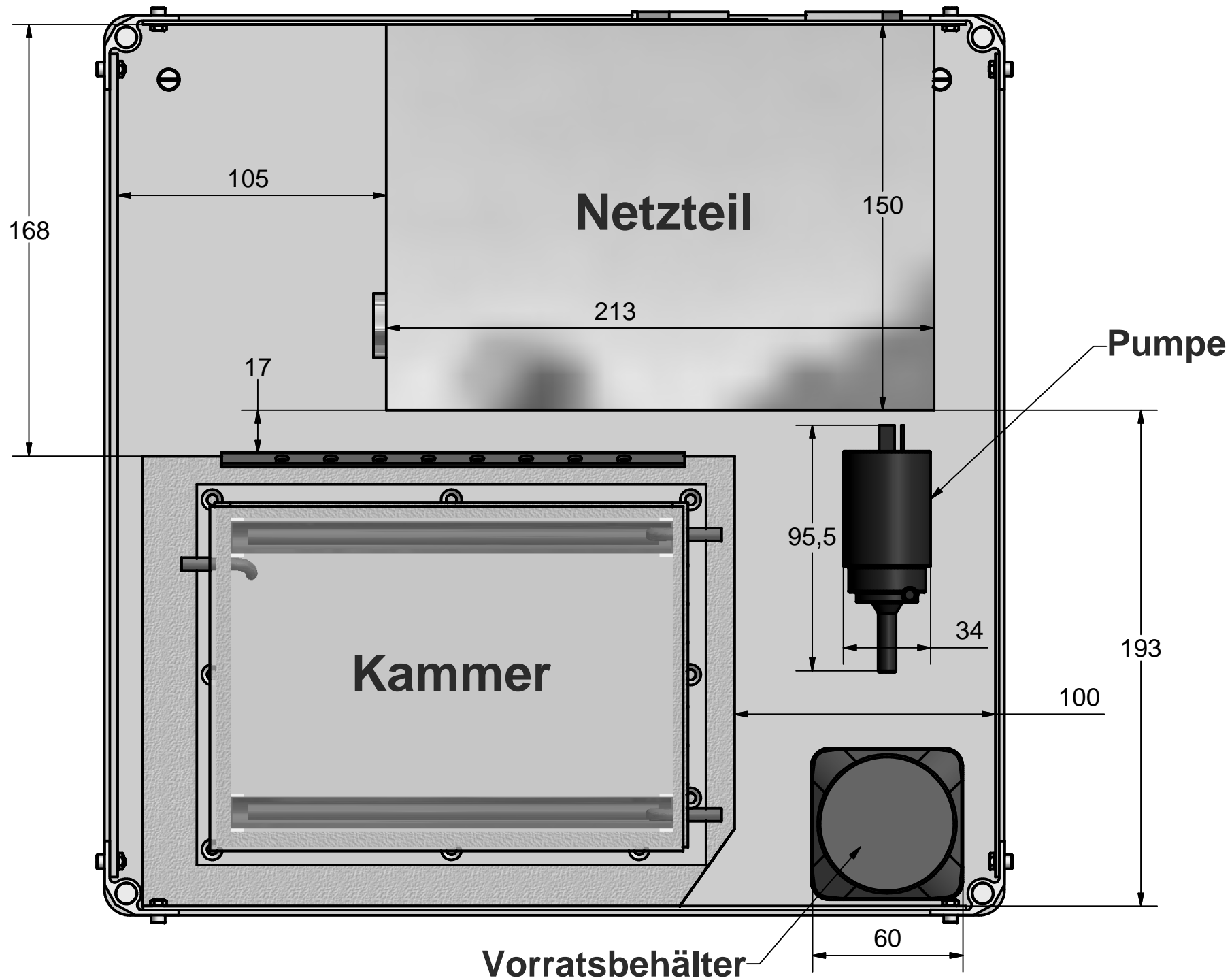
B1
B4
B5
B12
Kabel Heizelemente
Kabel Sensor

A (1:1)

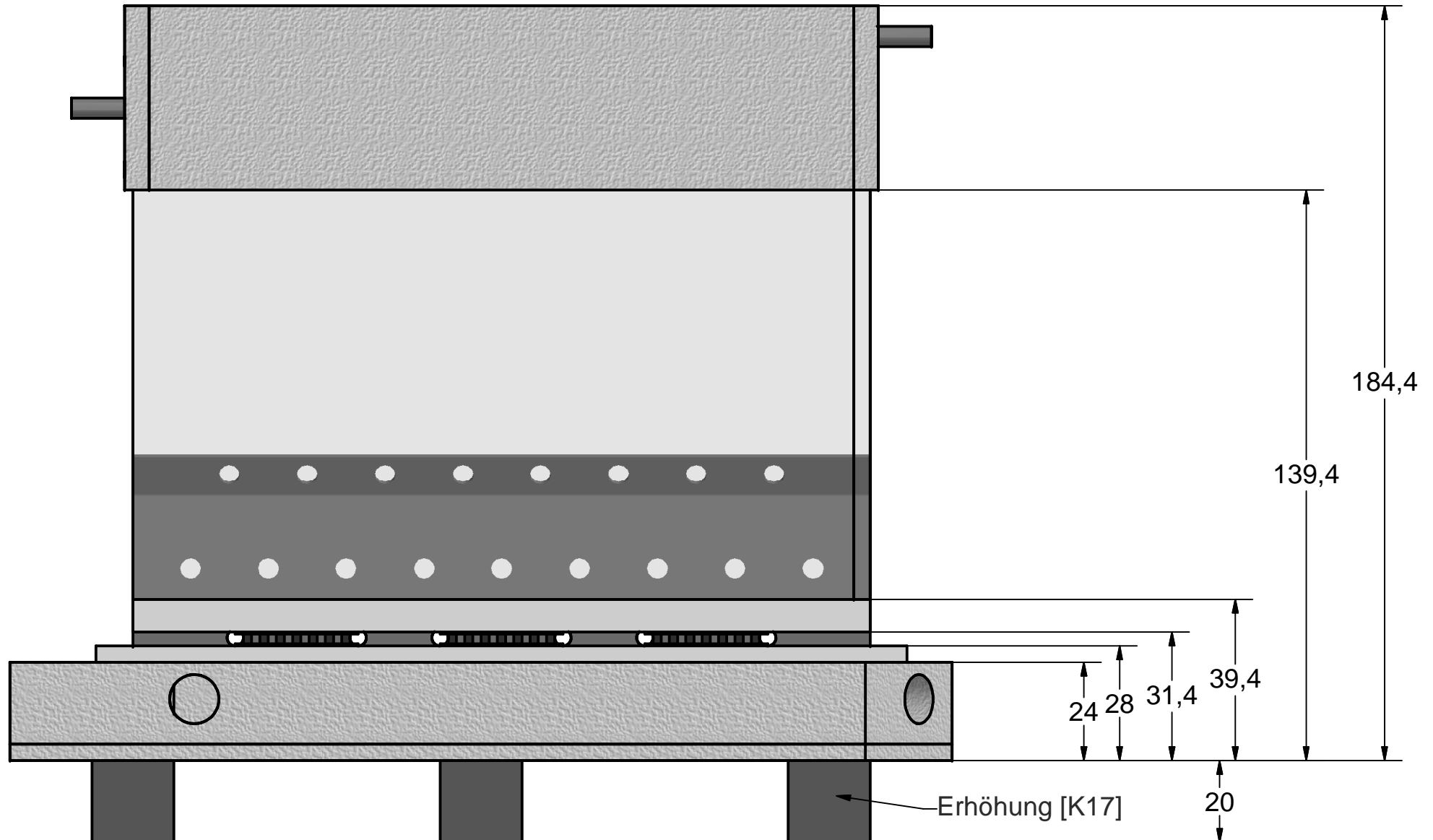


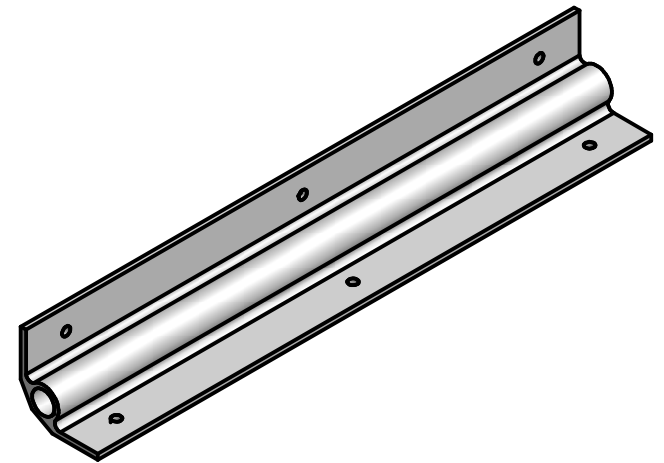
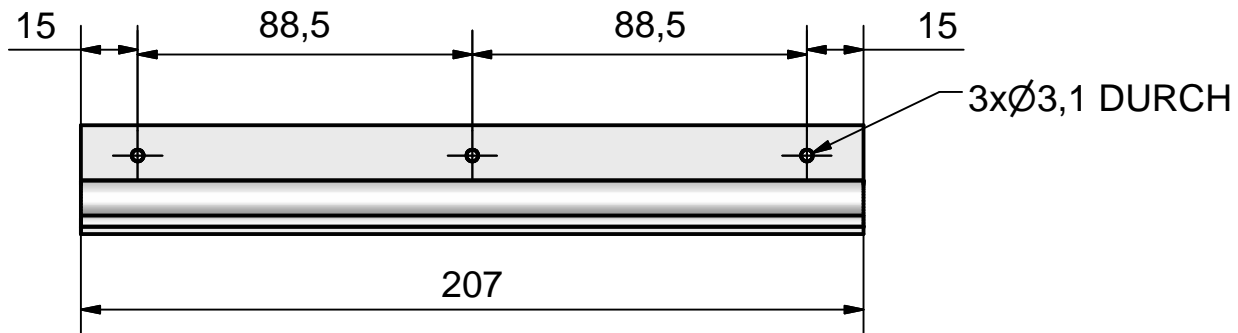
A

					Datum	Name	Kammer-Oberteil	
				Gezeichnet	14.11.2006	Backmund U.		
				Kontrolliert				
				Norm				
							K08-K13	1
Status	Änderungen	Datum	Name					A4



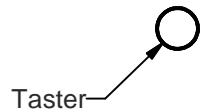
(3 : 4)





				Datum	Name	Profil				
				Gezeichnet	24.01.2007					Backmund U.
				Kontrolliert						
				Norm						
							G02			
							1			
							A4			
Status	Änderungen	Datum	Name							

Pumpe EIN



Taster
MIN / MAX

Taster
CH1 / CH2

Taster
Alarm

CH1: Temperatur Rinne
CH2: Temperatur Kühlplatte



Gasinjektion

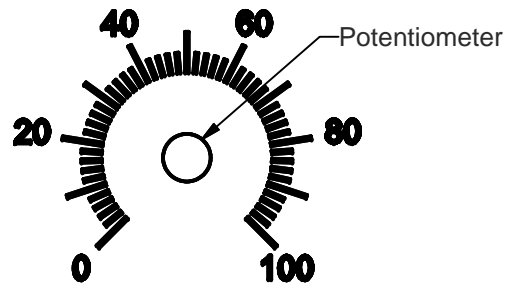


Display Temperaturschaltmodul

Beleuchtung EIN



Kippschalter



Heizung Rinne

EIN



Kippschalter

EIN / AUS



Leuchtdiode
mit Fassung

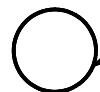
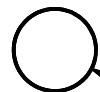
Kühlwasser einschalten!



Hauptschalter

Hochspannung

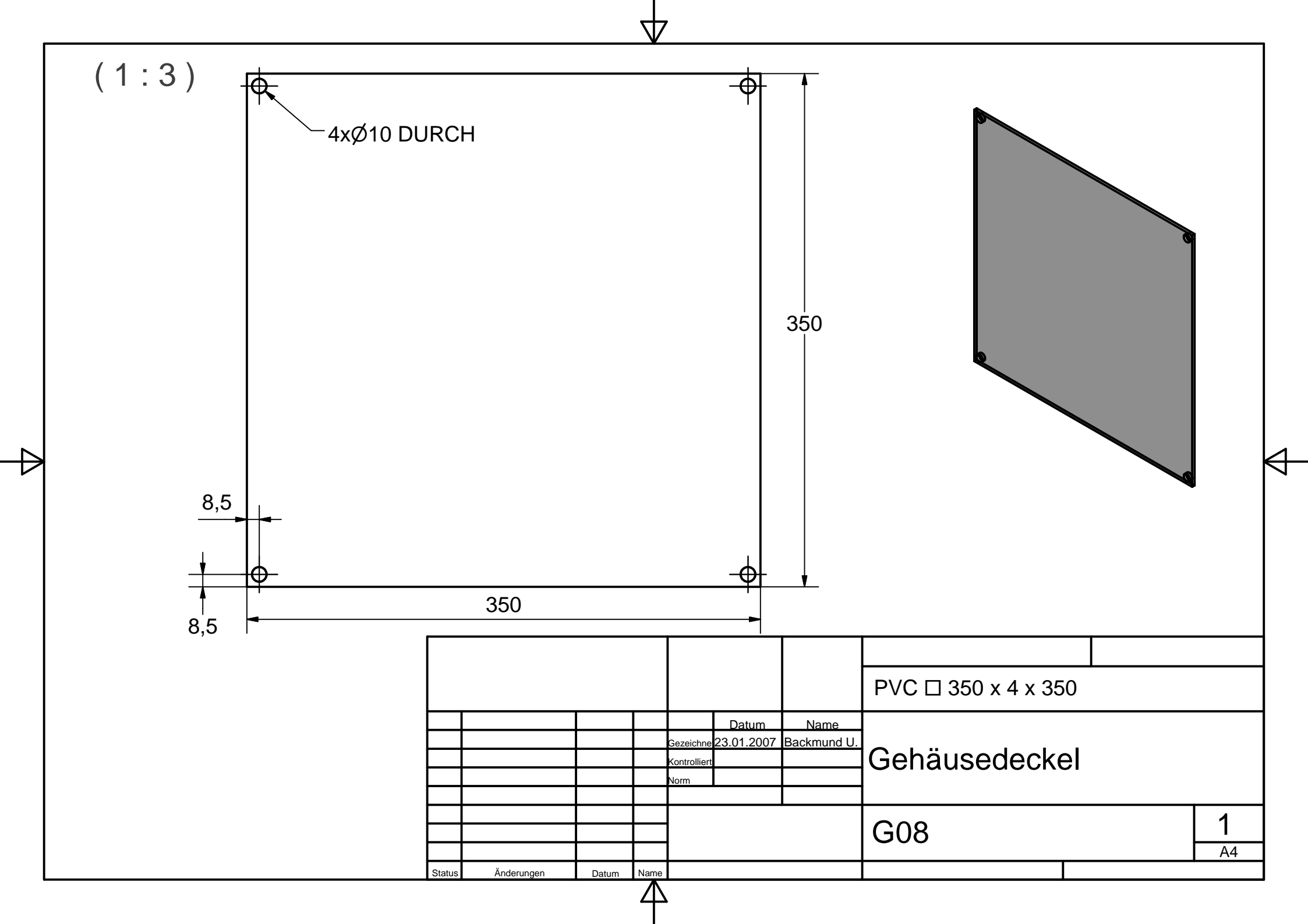
Masse

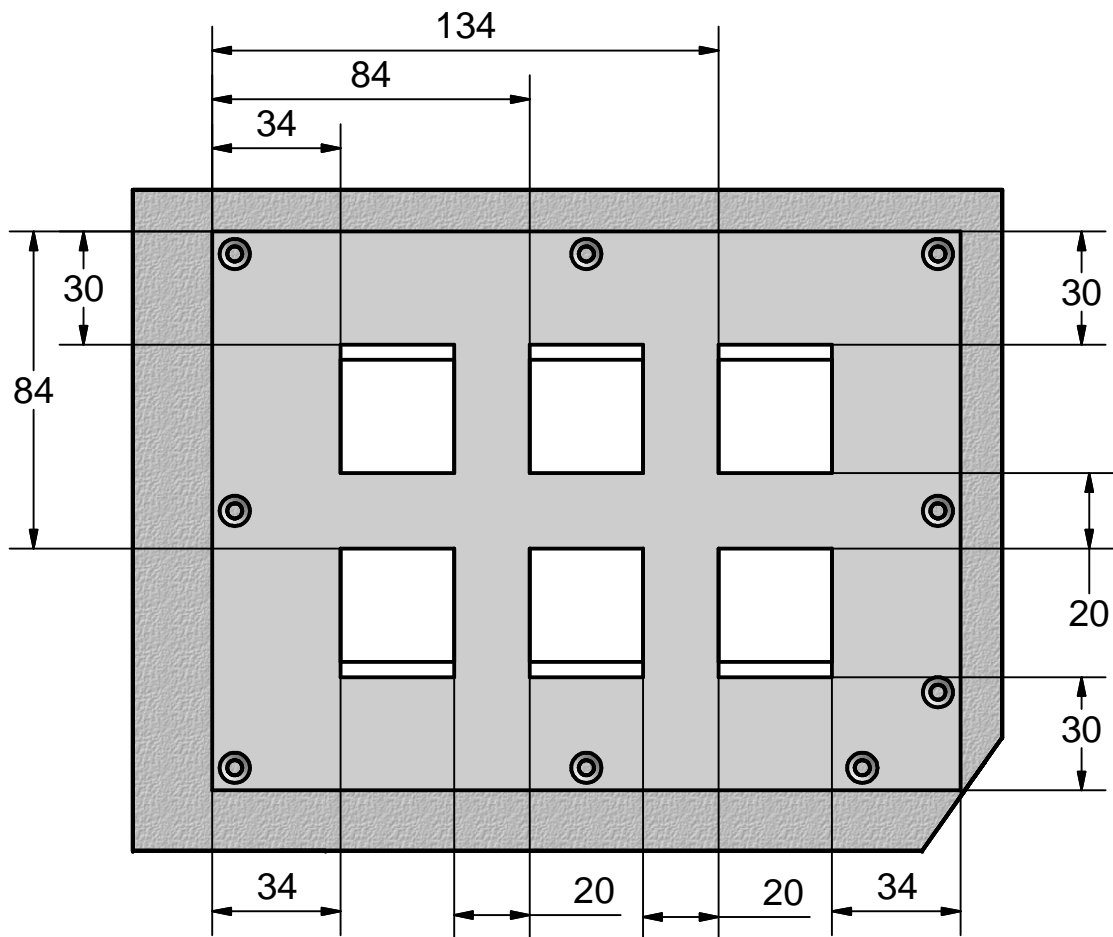


Buchsen

Diffusions-NEBELKAMMER

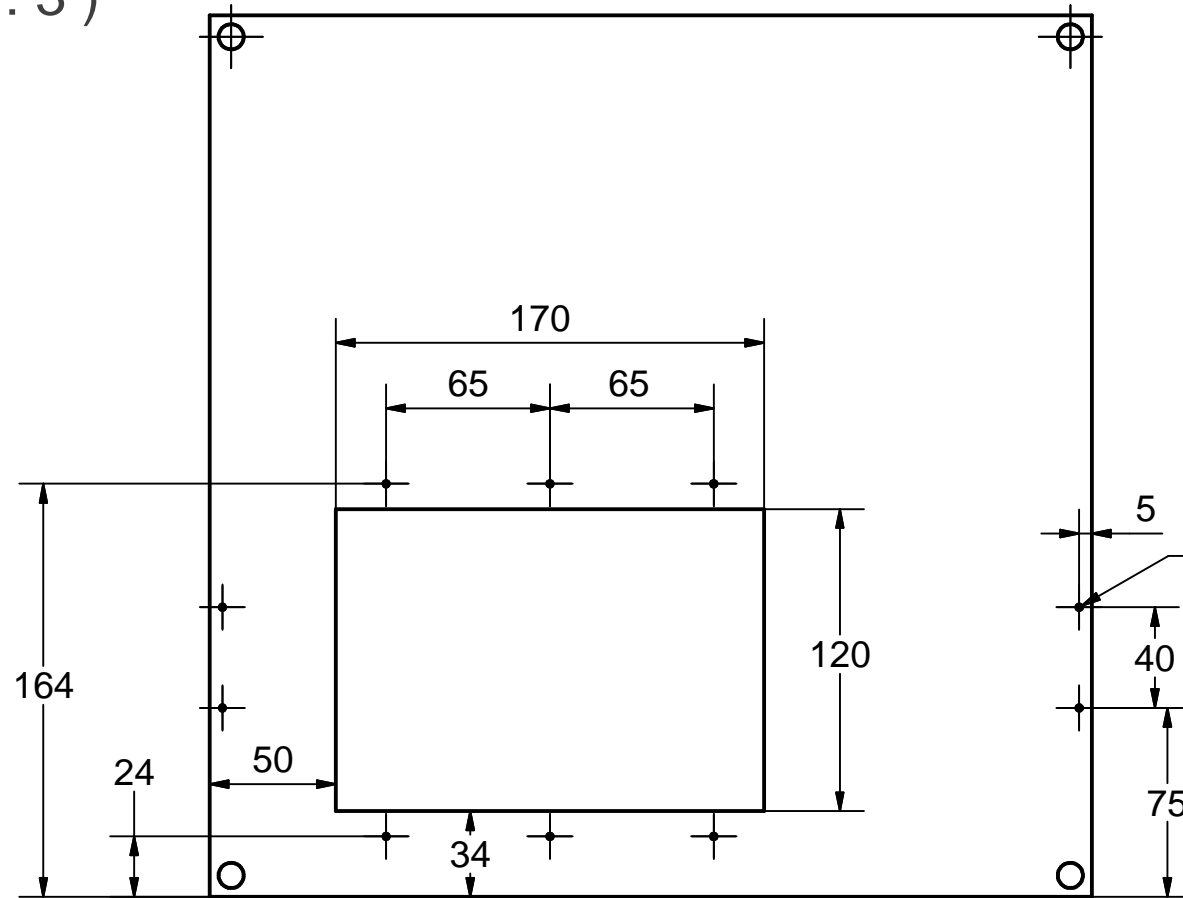
Udo Bachmann
Lehrstuhl für Didaktik
Physikalisches Institut
Bayrische Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Dezember 2008



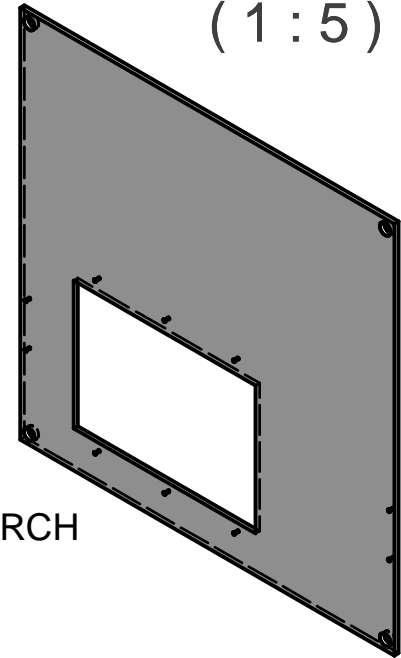


				Datum	Name		Anordnung Peltierelemente		
				Gezeichnet	06.02.2007	Backmund U.			
				Kontrolliert					
				Norm					
Status	Änderungen	Datum	Name						

(1 : 3)

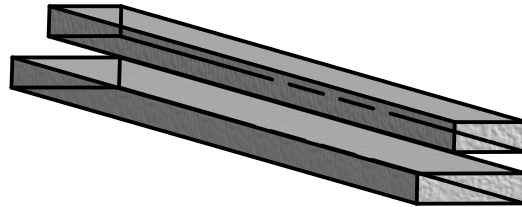


(1 : 5)

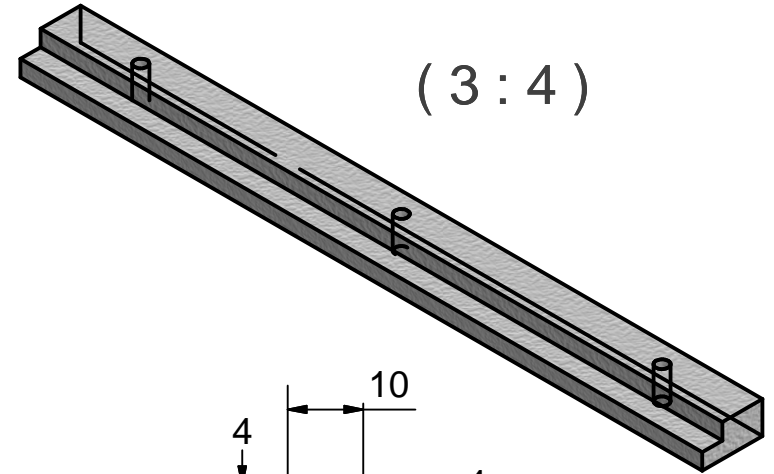


								PVC □ 350 x 4 x 350			
					Datum	Name		Gehäusedeckel			
				Gezeichnet	23.01.2007	Backmund U.					
				Kontrolliert							
				Norm							
							G08				2
Status	Änderungen	Datum	Name								

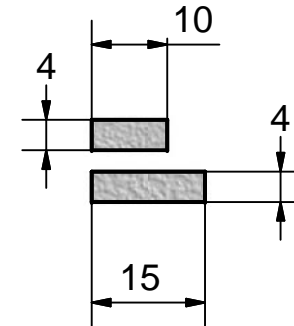
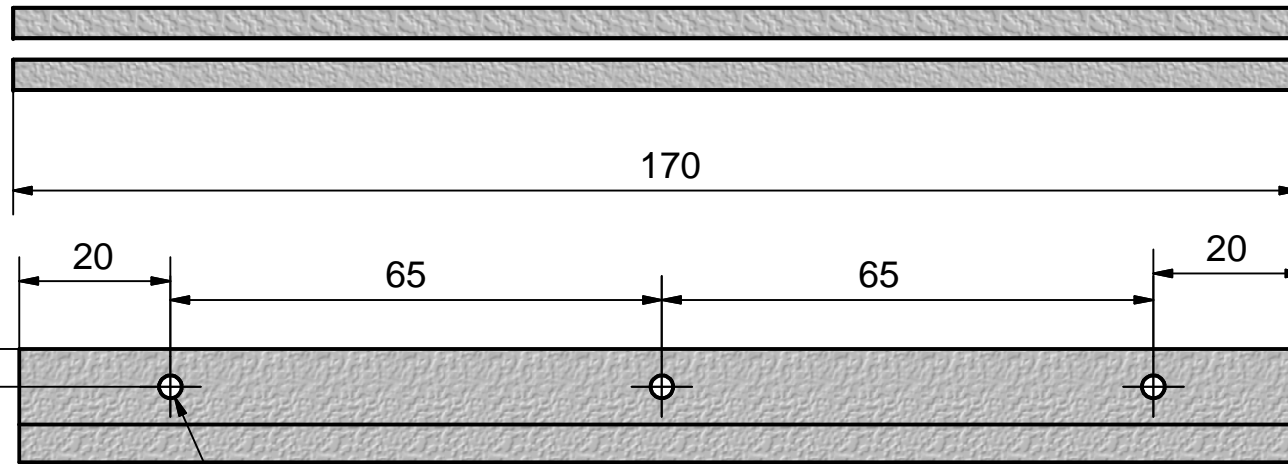
(1 : 1)



(3 : 4)

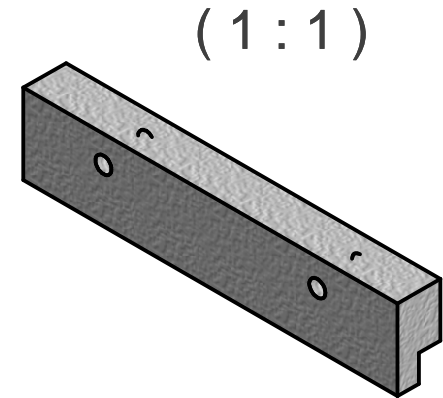
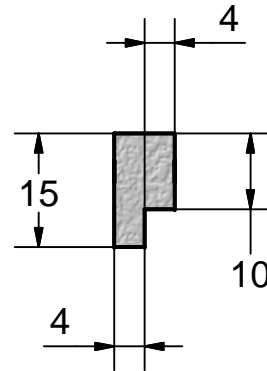
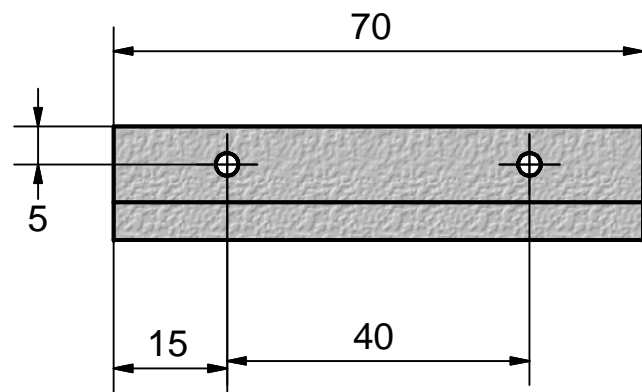


(1 : 1)



3xØ3 DURCH

					Datum		Name	Glasdeckelhalterung	
				Gezeichnet	15.01.2007		Backmund U.		
				Kontrolliert					
				Norm					
							G09		1
									A4
Status	Änderungen	Datum	Name						

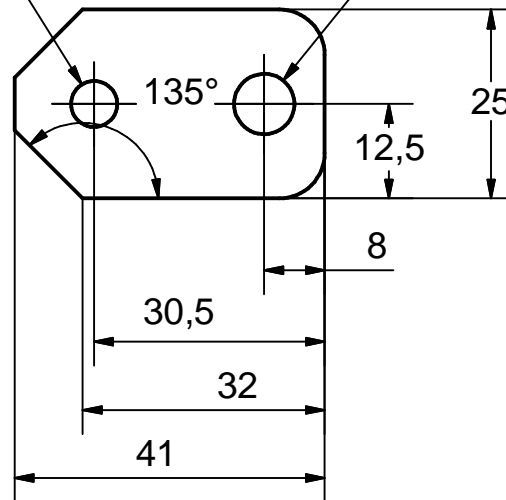


					Datum	Name	Glasdeckelhalterung	
				Gezeichnet	15.01.2007	Backmund U.		
				Kontrolliert				
				Norm				
							G09	2
								A4
Status	Änderungen	Datum	Name					

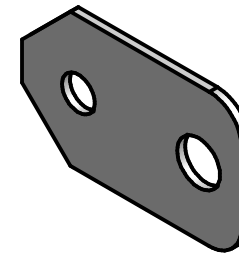
Ø6,1 DURCH

(1 : 1)

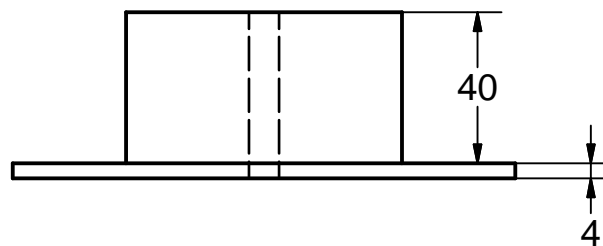
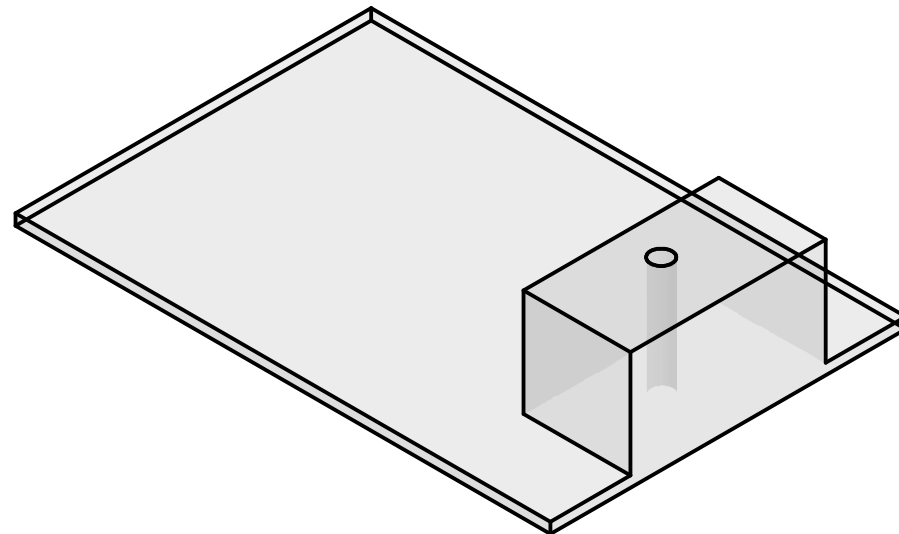
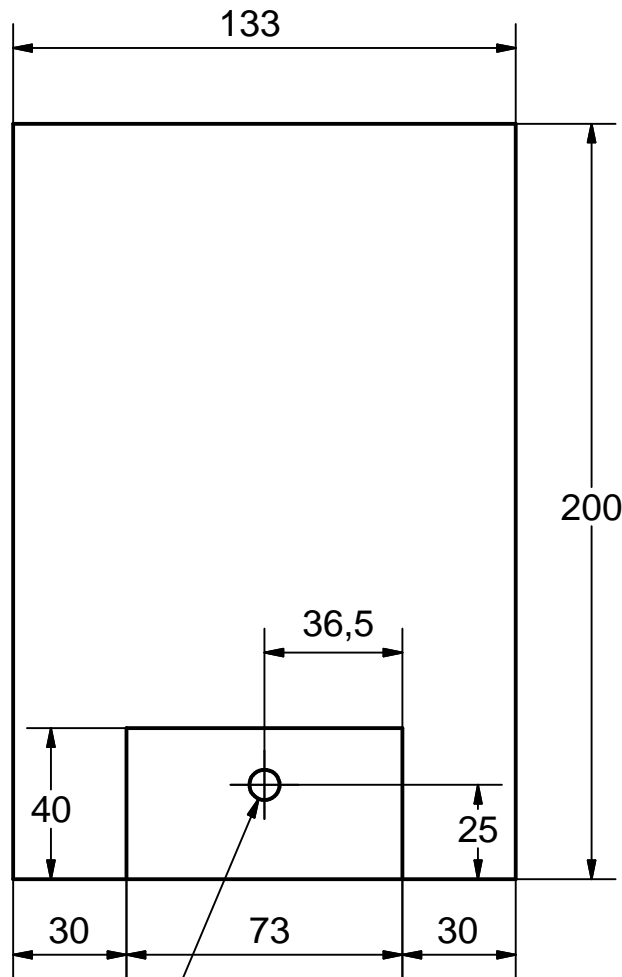
Ø8 DURCH



(1 : 1)



								Aluminium □ 41 x 1,5 x 25			
					Datum	Name		Präparathalter			
				Gezeichnet	07.02.2007	Backmund U.					
				Kontrolliert							
				Norm							
								Z01		1	
Status	Änderungen	Datum	Name								

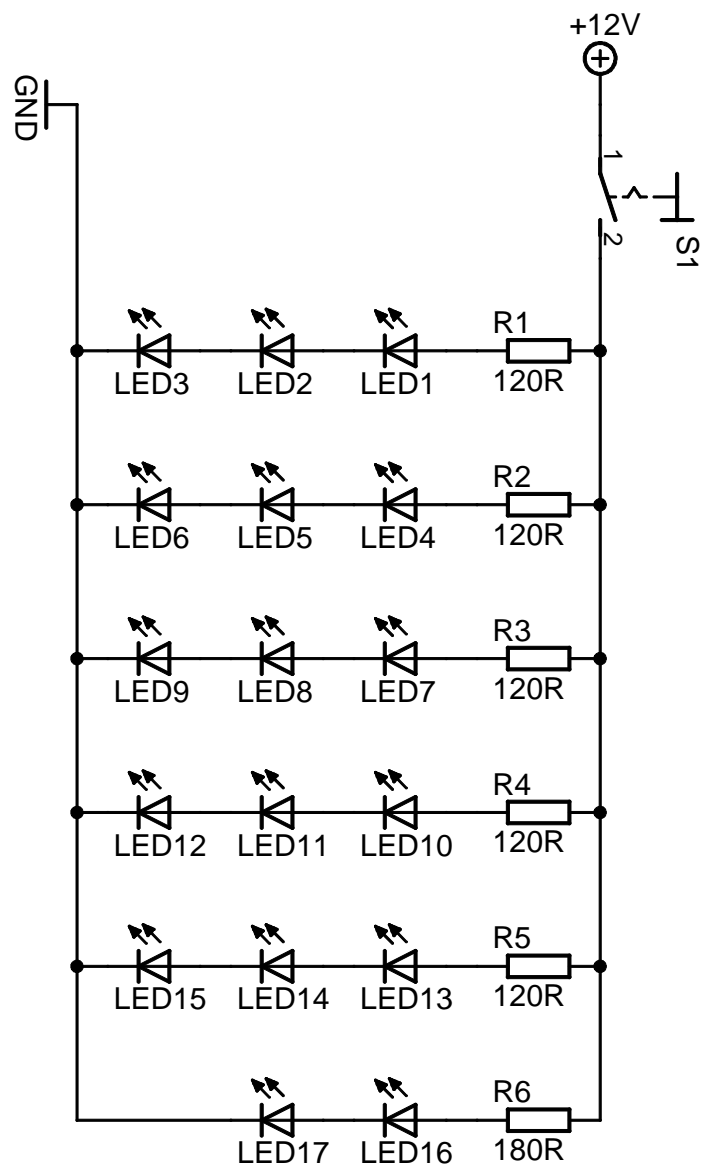


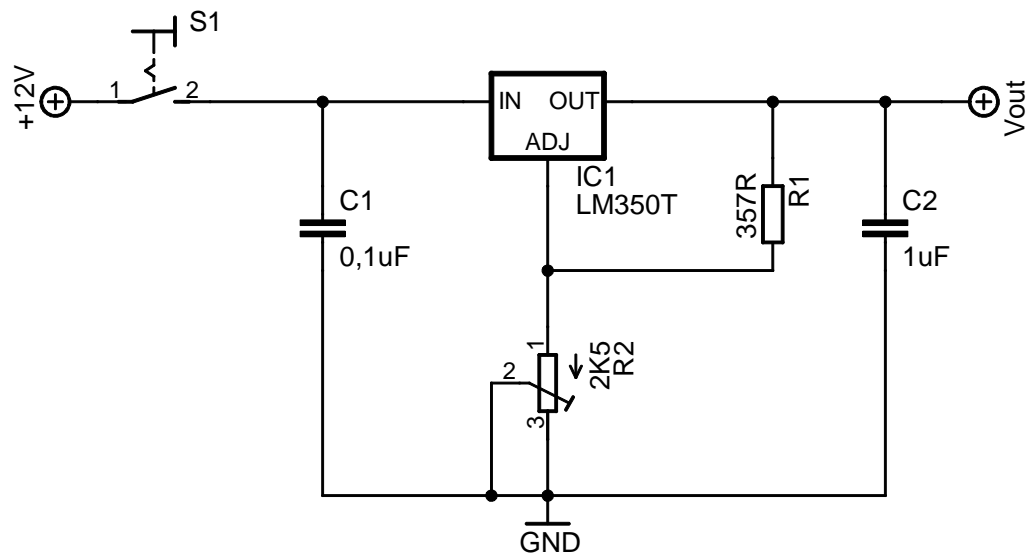
Ø8 DURCH

								Acrylglas □ 200 x 4 x 133		
				Datum	Name					
				Gezeichnet	07.02.2007					Backmund U.
				Kontrolliert						
				Norm						
							Z02		1	
Status	Änderungen	Datum	Name						A4	

Anhang C

SCHALTPLÄNE





Heizung

