

# Sicherheit bei der Elektronik-Restaurierung

## Lampenstrombegrenzer, Trenntransformator und variable Wechselstrom-Spannungsquelle

von Manuel Caldeira

Ein hohes Maß an Sicherheit sollte bei der Röhrenradio-Restauration absolute Priorität haben. Es sind hierbei hohe Spannungen im Spiel, die gefährlich sind und dem Menschen schaden können oder im Extremfall den Tod bedeuten. Dies kann nicht oft genug betont werden - man sollte es immer vor Augen haben, wenn man an diesen Geräten arbeitet. Allerdings überrascht die Anzahl der Hobbyisten in diesem Bereich, die nicht die notwendigen Schritte unternehmen, um ihr Hobby sicherer zu machen. Dabei ist es eigentlich ganz einfach und kostengünstig - Vorschläge dazu finden Sie in diesem Beitrag.



## Sicherheit geht vor

Ein paar einfache Geräte, von denen Sie das eine oder andere sogar selbst bauen können, machen die Arbeit mit Netzspannungen an älteren elektronischen Geräten deutlich sicherer. Diese Sicherheit gilt sowohl für den Hobbyisten als auch für die Geräte selbst, denn es ist definitiv keine gute Art, ein Projekt damit zu starten, dass ein wertvolles Röhrenradio beim ersten Einschalten durchbrennt.

In diesem Beitrag werde ich drei Werkzeuge beschreiben, die ich für absolut unverzichtbar halte, um Restaurierungen durchzuführen.

## Das „magische Trio“

Es scheint offensichtlich, dass man vor dem Beginn von Arbeiten an netzbetriebenen (historischen) elektronischen Geräten eine Arbeitsumgebung schafft, die die Sicherheit von Mensch und Geräten gewährleistet. Für die Geräte könnte ein Missgeschick irreparable Schäden bedeuten. Für Sie als Restaurator könnte es das Ende Ihres Lebens sein.

Deshalb gibt es neben einem Multimeter drei Geräte, die Ihnen helfen können, das Ziel „Sicherheit“ zu erreichen:

1. Lampenstrombegrenzer
2. Trenntransformator
3. Variable AC-Wechselstrom-Spannungsquelle (Spartransformator/Variac®)

Diese Geräte werden alle zwischen Stromnetz und Radio angeschlossen und ermöglichen es uns, die Spannungsversorgung des Radios in einer kontrollierten Weise zu gewährleisten. Das Ziel ist es, die Auswirkungen von Kurzschlüssen auf empfindliche Komponenten zu begrenzen und gleichzeitig dem Restaurator zu ermöglichen, sicher am Gerät arbeiten zu können.

Jedes der Geräte hat eine andere Funktion, die ich genauer beschreiben werde, bevor ich Ihnen zeige, wie man sie baut. Ich werde mich auf ein eigenes Projekt beziehen, bei dem ich zwei dieser Geräte in einem Gehäuse und mit einigen zusätzlichen Funktionen eingebaut habe, um die Benutzung einfach und intuitiv zu gestalten. Dieses Kombi-Gerät – ein Lampenstrombegrenzer mit Trenntransformator – ist im Titelbild zu diesem Beitrag zu sehen.

Drei einfache Geräte, die das Arbeiten an netzbetriebenen elektronischen Geräten viel sicherer machen:

### Lampenstrombegrenzer

Begrenzt den Strom auf ein kontrolliertes Maximum im Falle eines Kurzschlusses oder übermäßiger Leckage im Gerät.

### Transformator mit einstellbarer Ausgangsspannung (Variac®)

Ermöglicht eine schrittweise Erhöhung der an das zu prüfende Gerät angelegten Eingangsspannung von nahezu null bis zur vollen Netzspannung.

### Trenntransformator

Erzeugt eine Ausgangsspannung, die gleich der Eingangsspannung ist, aber vollständig elektrisch isoliert von ihr ist.

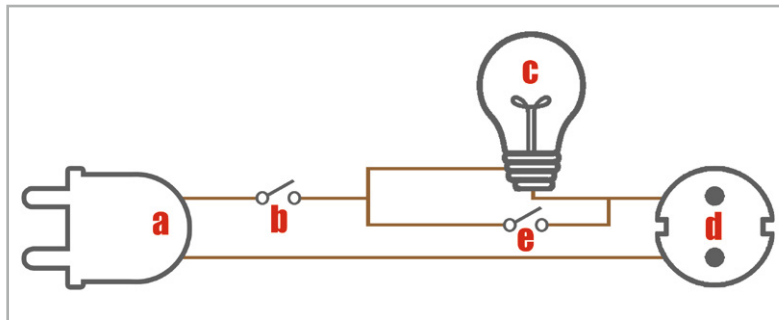


Bild 1: Verdrahtung des Lampenstrombegrenzers

## Lampenstrombegrenzer

Der Lampenstrombegrenzer limitiert den Strom auf ein kontrolliertes Maximum im Fall eines Kurzschlusses oder einer übermäßigen Leckage im Gerät. Das Funktionsprinzip basiert auf der Tatsache, dass eine Glühlampe eine begrenzende Wirkung auf die Strommenge hat, die durch das angeschlossene Gerät fließen kann.

Durch das Hinzufügen einer Glühlampe in Reihe mit dem zu prüfenden Gerät können Sie die Strommenge, die durch das Gerät fließen kann, begrenzen und Schäden im Falle eines Kurzschlusses oder bei Ausfall eines Bauteils vermeiden. Diese Vorrichtung wird in der Regel unter Verwendung gängiger und preiswerter Materialien vom Restaurator als DIY-Projekt gebaut.

Der Aufbau ist einfach: Wenn Sie Ihr Gerät an das Stromnetz anschließen, schalten Sie eine Glühlampe in Reihe mit dem Gerät. Auf diese Weise wirkt die Glühlampe beim Einschalten des Stroms als Serienlast und verhindert, dass Ihr Gerät direkt mit der Netzspannung in Berührung kommt. Um besser zu verstehen, wie das funktioniert, sollten wir einen genaueren Blick auf den Schaltplan (Bild 1) werfen.

Der Netzstecker (a) wird in die Steckdose gesteckt, und wir gehen in diesem Beispiel davon aus, dass der stromführende Draht (Phase) durch einen normalen Ein-/Aus-Schalter (b) geschaltet wird, mit dem Sie das angeschlossene Gerät bedienen. Der stromführende Draht ist mit einem Anschluss der Glühlampe (c) verbunden, während der andere Kontakt mit dem stromführenden Anschluss einer Netzsteckdose (d) verbunden ist, in die Sie Ihr Radio oder ein anderes Gerät einstecken.

Der Neutralleiter des Netzsteckers wird direkt mit dem Neutralleiter der Steckdose (d) verbunden. Ein weiterer Schalter (e) ermöglicht es Ihnen, die Glühlampe zu umgehen und Ihr Gerät uneingeschränkt mit Strom zu versorgen, wenn Sie festgestellt haben, dass kein Kurzschluss vorliegt.

Nehmen wir nun an, Sie haben einen direkten Kurzschluss in Ihrem Gerät. Dies wäre dasselbe wie ein tatsächlicher Kurzschluss der zwei Anschlüsse der Steckdose (d) und würde damit tatsächlich als Schalter für die Glühlampe dienen. Der maximale Strom, der durch den Kurzschluss fließt, ist damit auf den maximalen Strom begrenzt, der die Glühlampe durchfließen kann.

Wenn Sie zum Beispiel eine 60-W-Glühlampe verwenden, ergibt dies einen Strom von 0,25 A ( $P = 60 \text{ W}$ ,  $U = 240 \text{ V}$ ,  $I = P/U$ ), was wahrscheinlich zu wenig ist, um weitere Schäden an Ihrem Gerät zu verursachen.

## Achtung, Gefahr! – Hochspannung!

Die Spannungen im Inneren eines Röhrenradios können sehr hoch sein – im Bereich von Hunderten von Volt, sodass äußerste Vorsicht geboten ist, um lebensbedrohliche Stromschläge zu vermeiden.

Die beschriebenen Arbeiten dienen nur als Anschauungsbeispiel und zum Verständnis der verwendeten Technologie und sollten nur von dafür qualifizierten Technikern durchgeführt werden.

Übrigens verrät diese Berechnung auch, warum eine Glühlampe verwendet werden muss. Der Wolframfaden in der Glühlampe hat einen positiven Temperaturkoeffizienten (PTC). Das bedeutet, dass er im kalten Zustand einen geringen Widerstand hat. Wenn Strom fließt und sich der Draht erwärmt, steigt der Widerstand drastisch an und die benötigte Strombegrenzung wird erzeugt.

Wenn wir den Widerstand berechnen, den die 60-W-Glühlampe bei den angegebenen 250 mA durchlässt, sehen wir, dass er 960  $\Omega$  beträgt ( $R = P/I^2$ , also  $R = 60/(0,25)^2$ ). Wenn wir jedoch den Widerstand der kalten Glühlampe messen, sehen wir (Bild 2), dass er nur 85  $\Omega$  beträgt, was nach dem Ohmschen Gesetz einen Strom von 2,8 A ergibt!

Diese Eigenschaft ist entscheidend für unseren Lampenstrombegrenzer, denn man könnte sagen, dass er fast aus dem Stromkreis „verschwindet“, wenn normaler Strom durchfließt, aber sofort den Strom begrenzt, wenn eine hohe Stromspitze erkannt wird.

Man sollte ein paar Glühlampen mit verschiedenen Wattstärken besitzen, die man in die in Reihe geschalteten Glühlampenfassungen einsetzen kann, um damit den maximalen Strom, der durchgelassen wird, gegebenenfalls variabel zu begrenzen.

Im Folgenden die Werte für verschiedene Leistungsstufen der Glühlampen:

- 40-W-Glühlampe = 167 mA
- 60-W-Glühlampe = 250 mA
- 100-W-Glühlampe = 417 mA
- 200-W-Glühlampe = 833 mA

Eine einfachere Methode ist es jedoch, mehrere Fassungen mit darin eingesetzten Glühlampen und mit individuellen Schaltern parallel zu schalten, um diese in den Stromkreis zu schalten und so die Gesamtleistung der Glühlampen zu erhöhen.

Bild 3 zeigt das Konzept, das ich in meinem Lampenstrombegrenzer verwendet habe. Ich nutze zwei 40-W-Glühlampen (für C1 und C3) und zwei 60-W-Glühlampen (für C2 und C4). Damit kann ich eine Reihe von Kombinationen schalten, um mehr oder weniger Leistung in den Stromkreis einzubringen:

- 40 W (C1)
- 60 W (C2)
- 80 W (C1 + C3)
- 100 W (C1 + C2)
- 120 W (C2 + C4)
- 140 W (C1 + C2 + C3)
- 160 W (C2 + C3 + C4)
- 200 W (C1 + C2 + C3 + C4)

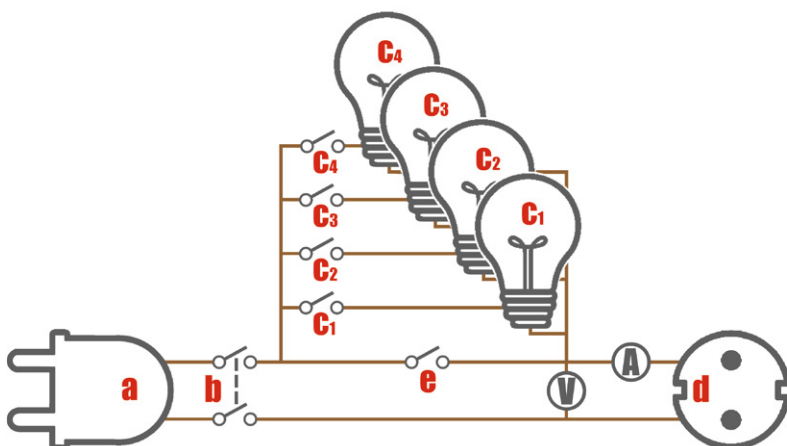


Bild 3: Der Schaltplan meines Lampenstrombegrenzers, der vier Glühlampen mit unterschiedlichen Wattstärken verwendet, die mit ihren jeweiligen Schaltern eingeschaltet werden können, um den Strom nach Bedarf zu begrenzen



Bild 2: Der Widerstand einer kalten 60-W-Glühlampe

Es ist ratsam, mit der niedrigsten Leistung zu beginnen und erst dann mehr Glühlampen einzuschalten, wenn sich beim ersten Einschalten keine übermäßige Stromaufnahme ergibt. Auf diese Weise kann man sich der maximalen Leistung annähern, ohne einen massiven Stromstoß zu riskieren. Diese Anordnung schützt auch das Radio oder ein anderes Gerät bei übermäßiger Stromaufnahme, selbst wenn es keinen Kurzschluss hat. Mit zunehmender Stromstärke steigt der Spannungsabfall an der/den Glühlampe(n), wodurch die Spannung, die das Radio oder Gerät erfährt, verringert wird.

Wenn das Gerät zu viel Strom zieht, leuchten die Glühlampen sehr hell, was als Warnung dient, dass etwas nicht in Ordnung ist. Mein Lampenstrombegrenzer verfügt über drei weitere Funktionen, die seine Verwendung noch einfacher machen. Erstens ist der Schalter (b) ein zweipoliger Schalter, der es mir ermöglicht, die Stromversorgung vollständig zu trennen, wenn ich sie ausschalte.

Die Gefahr, nur den stromführenden Draht (Phase) auszuschalten, besteht darin, dass wir nicht immer wissen können, welcher Draht stromführend und welcher neutral ist, da es viele Systeme gibt, bei denen der Netzstecker nicht gepolt ist. Wenn sowohl der stromführende als auch der neutrale Leiter ausgeschaltet sind, ist es sicherer, am System zu arbeiten. Man läuft so nicht Gefahr, das stromführende Netz zu berühren, wenn der Begrenzer tatsächlich ausgeschaltet ist, wie es bei einem einpoligen Schalter mit vertauschter stromführender und neutraler Verdrahtung der Fall wäre.

Die zweite Funktion fügt jedem der Glühlampenschalter (C1 bis C4) eine Kontrollleuchte hinzu, um uns visuell anzuzeigen, welche Glühlampen wir in den Stromkreis geschaltet haben. Ich habe Schalter mit eingebauten Mini-Neonleuchten verwendet, aber diese sind manchmal nicht leicht zu finden. Eine einfachere Alternative wäre die Verwendung von zweipoligen Schaltern für diese Funktion, wobei der zweite Pol jedes Schalters zum Einschalten einer 240-V-Mini-Neonlampe verwendet wird.

Und die dritte Funktion ist ein digitales Voltmeter/Amperemeter-Modul, das genau anzeigt, wie hoch die Stromaufnahme durch das zu prüfende Gerät ist sowie die effektive Spannung, die am Gerät anliegt. Diese Module sind überall erhältlich, und sollten einen Strom-/Spannungsbereich haben, der für die maximale Netzspannung und Stromstärke, mit denen wir voraussichtlich arbeiten werden, ausreicht. Das in Bild 4 gezeigte Volt-Amperemeter ist ein Beispiel für ein solches Modul. Bei diesem Gerät werden zudem noch weitere Eigenschaften wie Leistung, Frequenz und Leistungsfaktor (Wirkleistung/Scheinleistung) angezeigt.

### Transformator mit einstellbarer Ausgangsspannung (Variac®)

Der Transformator mit einstellbarer Ausgangsspannung bzw. Spartransformator (Spartrafo), der auch unter dem Markennamen Variac® bekannt ist, ermöglicht eine schrittweise Erhöhung der Eingangsspannung an das zu prüfende Gerät, von nahezu null bis zur vollen Netzspannung.

Auf dem Gebiet der netzbetriebenen elektronischen Geräte wie historischen Radios wird manchmal vergessen, dass die an ein Gerät angelegte Netzspannung tatsächlich recht hoch und mit ihr eine immense Leistung verbunden ist. Noch höher sind die resultierenden Gleichspannungspegel, die nach der Gleichrichtung des Wechselstroms in (Radio-)Röhrengeräten auftreten.

In einigen alten Radios und Verstärkern liegen die Gleichspannungen dabei oft über 500 Vdc. Stellen Sie sich nun vor, dass diese hohe Spannung plötzlich an ein Radio angelegt wird, das jahrzehntelang unbenutzt gelagert wurde, wobei einige Bauteile Feuchtigkeit absorbiert und im Laufe der Jahre Risse und Defekte entwickelt haben. Dies geschieht sehr oft, und einige Bauteile können kaputtgehen, wenn sie plötzlich den Belastungen durch hohe Spannungen ausgesetzt werden.

Elektrolyt- und Papierkondensatoren sind das beste Beispiel, aber sie sind nicht die einzigen Bauteile, denen dieses Schicksal widerfahren kann. Im Idealfall möchten wir die Versorgungsspannung langsam erhöhen. Eine variable Wechselspannungsquelle ist die beste Möglichkeit, dies zu erreichen, die praktischste Art ist die Verwendung eines variablen Spartransformators. Es handelt sich dabei um einen Transformator, der nur eine Wicklung um einen Kern besitzt, der aus ziemlich dickem Draht besteht (um den hohen Strom zu übertragen) und der sowohl als Primär- als auch als Sekundärwicklung fungiert. In Bild 5 sehen wir eine Skizze der Funktion des variablen Spartransformators. Die Netzspannungsquelle (a) wird angelegt und über einen Schalter (b) an die primären Anschlüsse (c) der Spule gelegt. Wir können dann einen Teil dieser Spannung an der Sekundärseite (d) abgreifen. Wie im Bild dargestellt, kann der sekundäre Abgriff an einem Punkt erfolgen, der ein Windungsverhältnis darstellt, das kleiner als (d und d<sub>1</sub>) oder sogar größer als das der Primärseite (d<sub>2</sub>) ist.

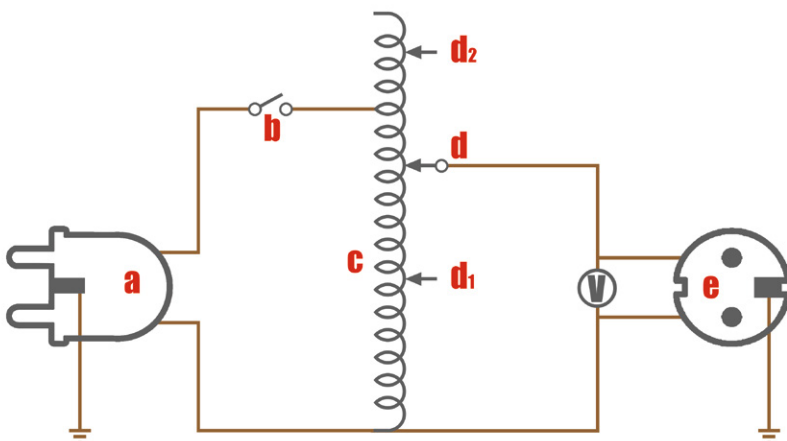


Bild 5: Variabler Transformator



Bild 4: Ein Voltmeter/Amperemeter-Modul, das die resultierende Spannung und den Strom am Gerät anzeigt

Die Sekundärseite hat einen direkten Anschlusspunkt wie die Primärseite (normalerweise der Neutralleiter), aber der andere Anschluss ist ein Abgriff an der Wicklung, die mithilfe eines Schleifers, der über die Wicklung gleitet, ganz ähnlich wie bei einem Potentiometer funktioniert.

In der Minimalstellung beträgt die Ausgangsspannung null Volt, während sie bei ihrem Maximum der Netzspannung entspricht oder – wie im Bild gezeigt – sogar darüber liegt. Viele dieser Geräte verfügen über ein Voltmeter zur Anzeige der Ausgangsspannung sowie über eine Netzsteckdose (e), in die das zu prüfende Gerät eingesteckt wird.

Eine der oft missverstandenen Eigenschaften eines Transformators mit einstellbarer Ausgangsspannung ist, dass die Sekundärseite nicht vom Netz isoliert ist, da ein gemeinsamer Anschlusspunkt verwendet wird. Wir betrachten diesen gemeinsamen Anschluss oft als neutral, aber in einem nicht polarisierten Netz könnte es genauso gut der stromführende Leiter sein, sodass er eine Stromschlaggefahr darstellt, genau wie bei der normalen Netzspannung z. B. an einer Steckdose.

Der Erdungsanschluss des Netzes ist ebenfalls üblich und sollte immer berücksichtigt werden, da dies ein weiterer Aspekt der nicht isolierten Eigenschaft dieses Geräts ist. Bild 6 zeigt einen typischen Spartransformator für die Elektronikwerkstatt. Dieser enthält eine Sicherung und einen Schalter zum Abschalten sowie ein Digitalvoltmeter zur Anzeige der Ausgangsspannung.

In Bild 7 sehen wir den Drehknopf, mit dem wir stufenlos die Ausgangsspannung einstellen können, und hier sehen wir deutlich, dass die Ausgangsspannung tatsächlich die Eingangsspannung die von der Primärseite gesehen wird, überschreiten kann.

### Trenntransformator

Ein Trenntransformator erzeugt eine Ausgangsspannung, die gleich der Eingangsspannung ist, aber vollständig elektrisch isoliert ist von der Eingangsspannung. Viele Menschen sind sich nicht bewusst, dass die Gefahr eines elektrischen Schlags tatsächlich aus dem Spannungsunterschied zwischen einem Punkt und einem anderen besteht.



Bild 6: Variabler Spartransformator für die Elektronikwerkstatt

Mit anderen Worten: Das Berühren einer Leitung mit einem bestimmten Potential (Spannungsniveau) ist nur dann gefährlich, wenn Sie einen anderen Punkt mit einem höheren oder niedrigeren Potential zwischen den beiden Kontaktpunkten gleichzeitig berühren, da man dann auf den Spannungsunterschied zwischen den beiden Leitungen reagiert.

Warum erleiden Sie also einen Stromschlag, wenn Sie den stromführenden Draht des Stromnetzes berühren? Der Grund liegt in einer Tatsache, die vielen ebenfalls nicht bewusst ist: Der Neutraleiter (Nullleiter, N) und der Schutzleiter (Erdung, PE) sind im Verteilerkasten miteinander verbunden, liegen also praktisch auf gleichem Niveau. In Bezug auf den Neutraleiter hat der stromführende Draht (Phase) eine Spannungshöhe von 240 VAC. Sie erhalten jedoch den gleichen Wert, wenn Sie ihn in Bezug auf den Schutzleiter messen.

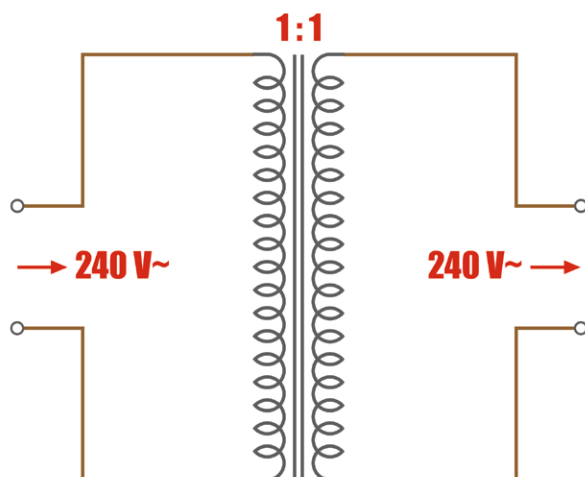


Bild 8: Ein 1:1-Trenntransformator. Die Ausgangsspannung entspricht der Eingangsspannung.



Bild 7: Die Ausgangsspannung kann sogar die Eingangsspannung übersteigen, in diesem Fall auf bis zu 300 VAC.

Wo liegt also das Problem? Nun, unser Körper ist Teil des Strompfads in Richtung Erde, sodass wir tatsächlich einen kompletten Stromkreis schließen, wenn wir den stromführenden Draht (Phase) berühren. Die Intensität des Schocks, den wir erfahren, hängt davon ab, wie stark die Isolierung unseres Körpers gegenüber der Erde ist, aber er kann stark genug sein, um ein Leben zu beenden.

Das ist die Gefahr für unsere Gesundheit, aber es gibt noch eine andere Gefahr - die für unsere elektronischen Geräte. Die meisten, wenn nicht sogar alle Erdungsanschlüsse von Prüfgeräten, sind tatsächlich mit der Netzerde verbunden. Dies geschieht intern aus Sicherheitsgründen, aber es ist eben auch eine Tatsache. Wenn wir z. B. auf Durchgang zwischen der äußeren Abschirmung eines Oszilloskop-Tastkopfes und dem Erdungsstift einer Netzsteckdose messen, zeigt das Ergebnis einen Kurzschluss an. Das Gleiche gilt für die meisten Signalgeneratoren, Verstärker, Audioquellen usw.

Stellen Sie sich nun vor, was passiert, wenn wir versuchen, einen bestimmten Punkt in einem Gerät zu messen, und die Erdung unseres Oszilloskops an einen Punkt anschließen, der nicht auf dem gleichen Potential wie die Netzerde liegt. Das kann schiefgehen, die Kabel des Tastkopfes könnten schmelzen, und auch das Oszilloskop selbst könnte schwer beschädigt werden.

An dieser Stelle kommt einem Trenntransformator entscheidende Bedeutung zu. In seiner einfachsten Form ist ein Trenntransformator (Bild 8) mit einer Primär- und einer Sekundärwicklung versehen, wobei das Wicklungsverhältnis normalerweise 1:1 ist. Das bedeutet, dass die Sekundärspannung gleich der Primärspannung ist. Das wichtige Detail dabei ist, dass die beiden Wicklungen elektrisch voneinander isoliert sind, sodass bei der Sekundärversorgung keine der beiden Leitungen mit der Netzerde verbunden ist.

Das separate Berühren einer der beiden Ausgänge an der Sekundärseite sollte nicht zu einem Stromschlag führen. Berühren Sie jedoch beide Ausgänge, führt dies zu einem Stromschlag, da der Potentialunterschied zwischen den beiden einen Stromfluss durch den Körper verursacht. Beim Testen bzw. der Messung an einem Gerät, das über einen Trenntransformator versorgt wird, geschieht etwas Erstaunliches:

Der Punkt im Stromkreis, der mit der Erdung des Oszilloskops verbunden ist, wird zum Erdungspunkt.

Der Trenntransformator ist besonders wichtig bei der Arbeit mit Radios, die überhaupt keinen Transformator verwenden („Hot-Chassis“). Diese arbeiten nach dem Prinzip, dass der Neutralleiter als die Erde (oder null Volt) des Radios betrachtet und die Spannung gleichgerichtet wird, um die B+-Spannung zu erzeugen. Alles wäre gut in einem streng gepolten System, in dem die beiden (Phase und Neutralleiter) stets korrekt verdrahtet sind. Leider ist dies nicht immer der Fall. In vielen Ländern sind die Netzstecker nicht gepolt, sodass es möglich ist, den Netzstecker „falsch“ herum anzuschließen. In diesem Fall ist das Gehäuse des Radios direkt mit dem Stromnetz verbunden, mit schmerzhaften - wenn nicht gar tödlichen - Folgen!

Andere Versionen der „Hot Chassis“-Radios verwenden einen Spartransformator, um die gewünschte Wechselspannung zu erhalten, und die erforderliche B+-Spannung zu erzeugen. Wie zuvor gesehen, ist die Sekundärseite des Spartransformators nicht elektrisch von der Primärseite isoliert. So besteht die gleiche Gefahr, dass das Chassis des Radios unter Spannung steht.

### Alle drei Geräte arbeiten zusammen

Idealerweise sollten alle drei Geräte (Lampenstrombegrenzer, Spartransformator, Trenntransformator) zusammen auf einer Restaurierungswerkbank verwendet werden. Sie können nacheinander angeschlossen werden:

1. Der Spartransformator, angeschlossen an das Netz, ermöglicht eine langsame Erhöhung der Versorgungsspannung.
2. Der Trenntransformator, eingesteckt in die Ausgangsbuchse des Spartransformators, sorgt dafür, dass die Versorgung ab diesem Punkt nicht geerdet ist.
3. Der Glühlampenbegrenzer schützt vor Kurzschlüssen oder übermäßiger Stromaufnahme aufgrund von Fehlern im Gerät.

### Sicherheit geht vor

Die Arbeit mit alten Röhrengeräten bringt viel Spaß, erfordert aber besondere Sorgfalt, um genügend Sicherheit zu gewährleisten. Es ist nicht kompliziert, eine sichere Umgebung zu schaffen, und ich möchte Sie dazu ermutigen, dies zu tun. Zumal sind die Vorrichtungen, mit denen dies erreicht werden kann, recht einfach, nicht besonders teuer, und mit dem nötigen Wissen und der Qualifikation können sie auch selbst gebaut werden. In [Bild 9](#) und [Bild 10](#) sehen Sie meine realisierten Projekte [1] dazu.

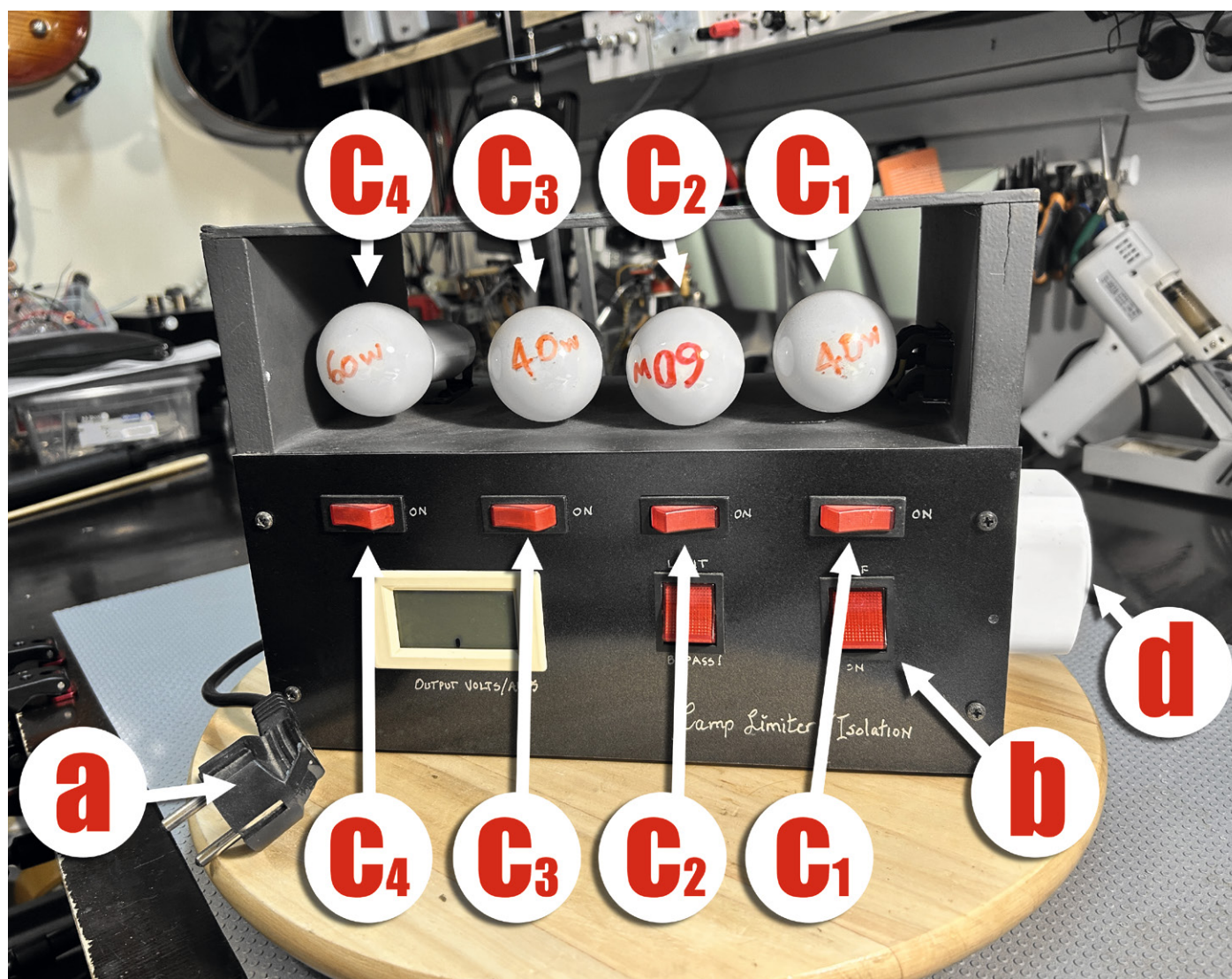


Bild 9: Mein Lampenstrombegrenzer mit integriertem Trenntransformator (Beschriftung wie in Bild 3). Er hat einen Hauptschalter (ON/OFF), einen LIMIT/BYPASS-Schalter und vier Glühlampen, die zur Einstellung der Strombegrenzung zugeschaltet werden können. Außerdem verfügt er über zwei Schalter an der Seite, mit denen der Anschluss oder die Aufhebung an die Erdung geschaltet werden können, sowie die Möglichkeit zur Umgehung des Trenntransformators, falls dies gewünscht wird. Ein digitales Messgerät zeigt den aufgenommenen Strom und die Spannung an, die tatsächlich an die Last (das Radio) weitergegeben werden. Dieses Gerät wurde für eine Reihe von Projekten ohne Spartransformator verwendet, aber seit der Fertigstellung des Sets ist die volle Kontrolle von Spannung und Strom der Quelle möglich.

**Über den Autor**

Manuel Caldeira schloss sein Studium der Elektrotechnik an der University of Natal (Durban) 1985 ab. Direkt nach der Universität begann er, bei Siemens (Südafrika) zu arbeiten. Danach ging er in die Wirtschaft, anstatt in der Technik zu bleiben. Schließlich kehrte er aus Spaß zur Elektronik zurück und genießt es, alte Röhrenradios zu restaurieren und an so ziemlich allem zu tüfteln, was ihm auf dem Gebiet der Elektronik gefällt.

Er betreibt von seinem Wohnsitz auf Madeira aus mit mehr als 19000 Abonnenten auf YouTube den Kanal „Electronics Old and New by M Caldeira“, der sich hauptsächlich mit Röhrenradios beschäftigt. In den vergangenen sechs Jahren hat er dazu mehr als 490 Videos veröffentlicht, die mehr als 2,7 Millionen mal abgerufen wurden.

**Fazit**

Denken Sie immer daran, dass die Wiederherstellung von Röhrengeräten möglich ist.

Die Wiederherstellung Ihrer Gesundheit nach einem Stromschlag kann kompliziert oder unmöglich sein.

Also, bereiten Sie Ihren Arbeitsbereich hinsichtlich der Sicherheit sorgsam vor und haben Sie dann viel Spaß beim Restaurieren. **ELV**

**i Weitere Infos**

[1] Videos zum Projekt Lampenstrombegrenzer mit Trenntransformator:

DIY Test Gear: Dim Bulb Limiter/Tester with Isolation - Design and Build: [https://youtu.be/BjkRZN\\_4yG8](https://youtu.be/BjkRZN_4yG8)

DIY Test Gear: Dim Bulb Limiter/Tester with Isolation - Tricky Question?: <https://youtu.be/4nmINEQ5ZHI>

DIY Test Gear: Improving the Dim Bulb Limiter/Tester with Isolation: <https://youtu.be/rQAatq--rLQ>

Alle Infos finden Sie auch online unter: [de.elv.com/elvjournals-links](https://de.elv.com/elvjournals-links)

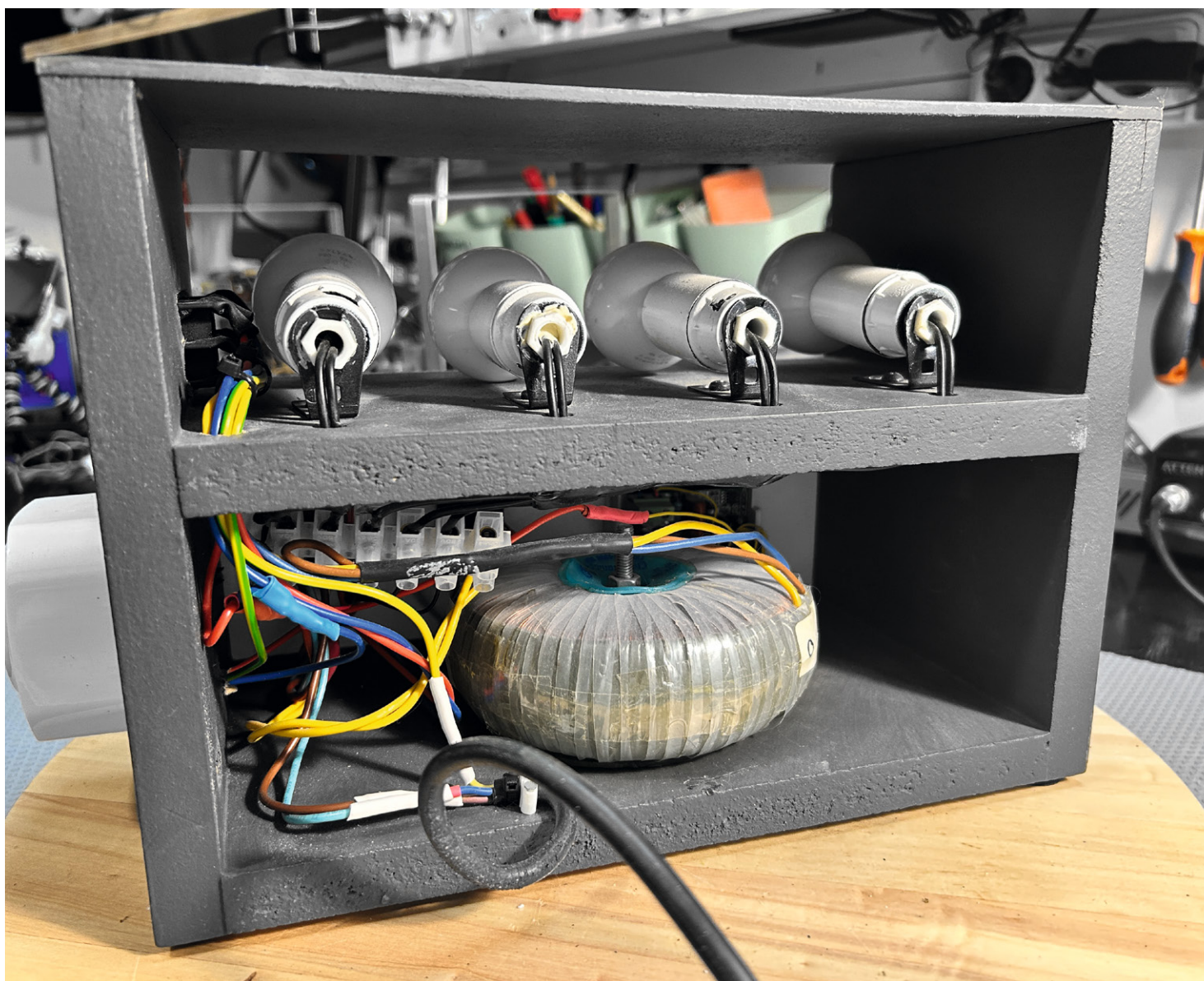


Bild 10: Die interne Verdrahtung des Lampenstrombegrenzers bzw. Trenntransformators