



RF-Dummy-Load DL 100

Die hohe Dauerbelastbarkeit von 40 W und der große Frequenzbereich zeichnen das RF-Dummy-Load besonders aus. Der Hochleistungs-Abschlusswiderstand in 50-Ω-Technik findet sowohl im Bereich der Funkamateure und CB-Funker als auch in der professionellen HF-Technik seine Anwendung.

Allgemeines

In fast allen Schaltungen, in denen hochfrequente Signale verarbeitet werden, sind bei der Entwicklung, im Herstellungsprozess oder auch nach Reparaturen Arbeitsschritte durchzuführen, die eine korrekte Ausgangsbeschaltung erfordern. So ist es bei Abgleicharbeiten, Messungen zur Überprüfung technischer Daten oder bei der Fehlersuche zwingend notwendig, die Signalein- und Ausgänge impedanzrichtig zu beschalten. Wird diese Forderung bei HF-Schaltungen missachtet, lassen sich keine verwertbaren Ergebnisse erzielen. Ein falsch angepasster Abschluss erzeugt an diesem Reflexionen, sodass die Funktion der gesamten Schaltung bzw. des Gerätes

nicht unbedingt gegeben sein muss. Dabei ist zu bedenken, dass ein Gerät zwar an der Buchse „endet“, für die Funktionstüchtigkeit des Systems aber auch die Außenbeschaltung wichtig ist.

Die falsche Beschaltung eines Einganges hat oft „nur“ eine erhöhte Schwingneigung zur Folge. Ein unkontrolliertes Schwingen durch nicht oder falsch beschaltete Eingänge ist bei kompletten Geräten nicht zu erwarten, in einzelnen Schaltungsteilen, vor allem in Verstärkern mit hohen Verstärkungsfaktoren, kann sich aber durchaus eine Oszillation ausbilden. Dabei besteht aber selten die Gefahr eines Defektes an der Schaltung.

Andere Voraussetzungen ergeben sich jedoch bei der Betrachtung eines HF-Ausganges. Ohne oder mit falschem Abschluss

beschaltet, werden die HF-Signale am Abschluss ganz oder teilweise reflektiert und so an die HF-Quelle „zurückgegeben“. Bei kleinen Signalpegeln ist dies zwar noch nicht unbedingt schädlich, bei HF-Verstärkern mit mehreren Watt Sendeleistung muss diese reflektierte Leistung aber von der Endstufe aufgenommen und in Verlustwärme umgewandelt werden. Da-

Technische Daten: ELV DL 100

Impedanz:	50 Ω
Frequenzbereich:	DC bis 1 GHz
VSWR (DC bis 1 GHz):	≤ 1,2
Leistung:	40 W (CW) 100 W (max. 5 min)
Anschluss:	N-Buchse
Abmessungen:	100 x 100 x 133 mm

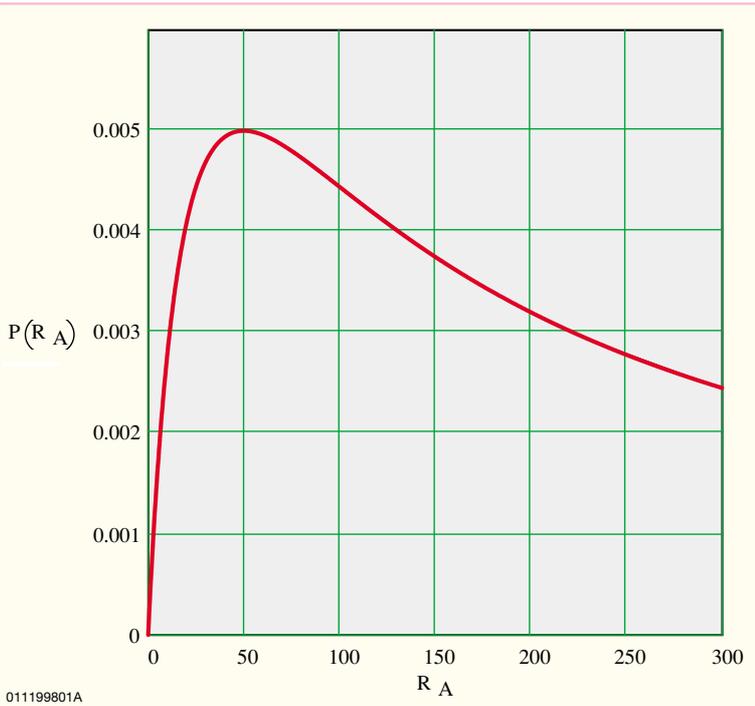


Bild 1:
Leistung an der Last in Abhängigkeit vom Lastwiderstand

ohmschen Widerständen, dies ist aber für das Verständnis nicht weiter relevant. Abbildung 1 zeigt den Verlauf der an einem Lastwiderstand R_A umgesetzten Wirkleistung, die sich aus der in Bild 2 dargestellten Schaltung ergibt. Als Innenwiderstand ist dabei der in der HF-Technik übliche Wert von 50Ω angesetzt. Gut zu erkennen ist das Leistungsmaximum bei einem Lastwiderstand von 50Ω , d. h. bei Erfüllung der Anpassbedingung $R_A = R_I$.

Wird diese Bedingung für Leistungsanpassung nicht erfüllt, kommt es zu Reflexionen am Lastwiderstand (= Abschluss). Bei einer Reflexion wird ein Teil der vom Sender zur Last „laufenden“ Leistung (Welle) reflektiert, d. h. wieder zurückgeschickt; es entsteht eine rücklaufende Welle. Die in der Last umgesetzte Leistung ist somit um den Betrag der rücklaufenden Welle reduziert. Betrachtet man die beiden Wellen auf der Leitung, so kommt es zu einer Überlagerung. Es entsteht eine sogenannte stehende Welle.

Entlang der Leitung bilden sich dabei Maxima und Minima, die, betrachtet man sie als Spannung, auch nachgemessen werden können. Je nach Wert des Abschlusswiderstandes sind diese Extremwerte mehr

bei kann es dann zu einer thermischen Überlastung kommen, die ggf. zu einer Zerstörung der Endstufenhalbleiter führen kann. Moderne Endstufen sind aber im Allgemeinen gegen eine Fehlanpassung am Ausgang „immun“.

Das Haupteinsatzgebiet des RF-Dummy-Load liegt im Test von Sendestufen - von der HF-Endstufe über die Anschlussleitungen bis zur Antenne. Wobei das ELV DL 100 meist als Antennenersatz zum Einsatz kommen dürfte. Zum Test einer Endstufe ist es nicht sinnvoll und auch nicht immer zulässig, eine Antenne als Last anzuschalten. Die Aussendungen der Antenne sind, befindet man sich in unmittelbarer Nähe dieser, nicht gesundheitsfördernd; außerdem kann es, vor allem beim Abgleich und bei der Reparatur von Sendeanlagen, dazu kommen, dass durch erhöhte Oberschwingungsanteile Aussendungen in sensible Frequenzbereiche fallen. Dabei ist es unangenehm, vor allem für die Nachbarschaft, wenn das Fernsehprogramm gestört wird, kritisch und gefährlich wird es aber, wenn z. B. sicherheitsrelevante Dienste wie Polizei-, Feuerwehr- oder der Flugfunk betroffen sind. Daher ist es immer erforderlich, HF-Endstufen an Leistungsabschlüssen zu betreiben, die die Senderleistung nicht abstrahlen, sondern

in Wärme umsetzen. Erst wenn die einwandfreie Funktion der Sendeanlage sichergestellt ist, darf wieder eine Antenne angeschlossen werden. Die Anforderung,

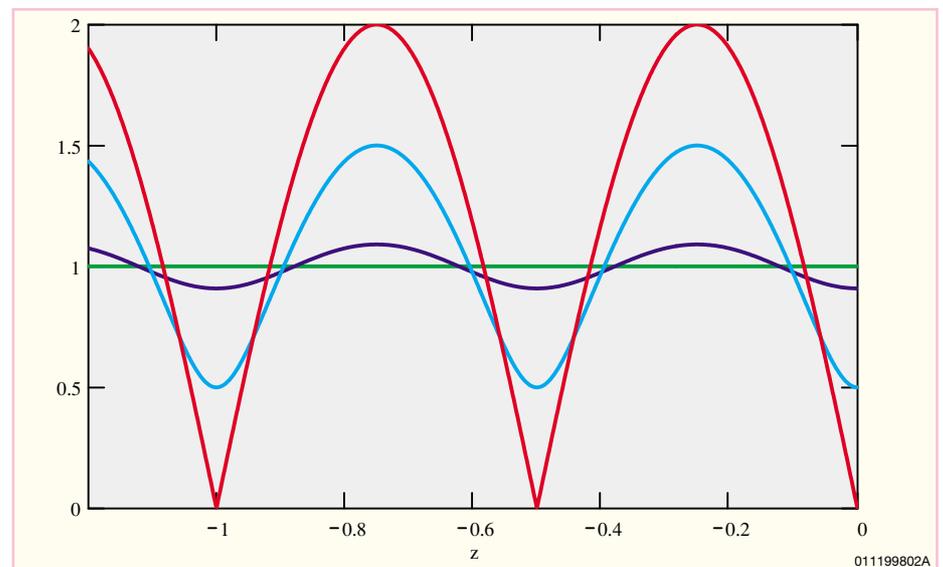


Bild 3: Spannungsverlauf auf der Leitung bei verschiedenen Abschlüssen

die dabei an einen solchen Leistungsabschluss gestellt wird, ist die möglichst optimale Nachbildung des Systemwellenwiderstandes.

In der HF-Technik wird stets mit Leistungsanpassung gearbeitet, d. h. oberstes Ziel ist es, die maximale Leistung an der Last umzusetzen. Nur so ist es z. B. bei Sendeanlagen gewährleistet, dass sich eine max. Reichweite einstellt. Leistungsanpassung wird aber nur erreicht, wenn der Innenwiderstand der Quelle und der Lastwiderstand den gleichen reellen Wert annehmen. In der HF-Technik gibt es zwar noch andere Fälle mit komplexen, d. h. nicht rein

oder weniger ausgeprägt. Abbildung 3 zeigt den Spannungsverlauf auf einer Leitung bei verschiedenen Abschlüssen. Bei einem Kurzschluss oder einer leerlaufenden Leitung wird die gesamte vorlaufende Energie reflektiert. In diesen Fällen fallen die Minima auf Null ab, während die Maxima doppelte Signalamplitude besitzen (rot). Je besser der Abschluss wird, desto weniger ausgeprägt sind diese Extremwerte (hellblau, blau), bis hin zum idealen Abschluss, bei dem sich keine stehende Welle ausbildet, da keine Reflexion vorhanden ist (grün). Die „Güte“ eines Abschlusses lässt sich durch die Ausprägung der stehenden Wel-

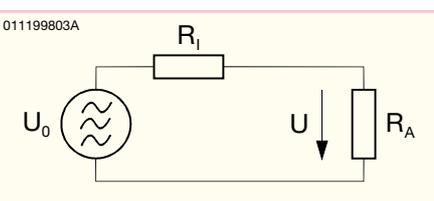


Bild 2: Prinzipschaltbild zur Leistungsanpassung

le charakterisieren. Mit dem Stehwellenverhältnis VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) ist eine Maßeinheit für „Qualität“ als Abschluss eingeführt. Als Definition gilt:

$$VSWR = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

Dabei sind für die Spannungswerte U_{\max} und U_{\min} nur die Beträge der Minima und Maxima einzusetzen. Bei einem idealen Abschluss existieren diese Extremwerte auf der Leitung nicht, bzw. sie sind gleich groß; in diesem Fall wird das Stehwellenverhältnis $VSWR = 1$. Im anderen Extrem, d. h. bei Kurzschluss oder Leerlauf als „Abschluss“ ist idealerweise das Minima so stark ausgeprägt, dass sich der Wert Null ergibt. Dies würde ein VSWR von ∞ zur Folge haben. Messtechnisch ist dies natürlich nicht nachvollziehbar, da u. a. das Rauschen keinen Nullwert zulässt. Letztere Betrachtung zeigt auch schon die „Schwäche“, die in der Angabe eines Stehwellenverhältnisses steckt: Man erhält nur den Betrag, und kann so beispielsweise keine Unterscheidung zwischen Leerlauf und Kurzschluss treffen. Weiterhin kann so nicht direkt auf die Höhe der an der Last umgesetzten und der reflektierten Leistung geschlossen werden. Dazu ist die Angabe des Reflexionsfaktors Γ besser geeignet. Hierbei handelt es sich um einen komplexen Wert, der den Abschluss in Betrag und Phase charakterisiert und eine direkte Aussage über die Höhe der reflektierten Leistung zulässt. Für die reine Amplitudenbetrachtung reicht der Betrag von Γ aus. Dieser lässt sich über folgende Gleichung aus dem Stehwellenverhältnis errechnen:

$$|\Gamma| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

So wird aus einem Stehwellenverhältnis von 3 ein Reflexionsfaktor von 0,5. Hiermit kann man dann die Aussage treffen, dass die rücklaufende Welle vom Betrag her halb so groß wie die hinlaufende Welle ist. An der Last wird daher gegenüber dem idealen Abschluss nicht die gesamte Leis-

tung umgesetzt, da aufgrund der Reflexion 1/4 wieder zum Sender „zurückläuft“.

Aus diesen kurzen Einführungen erkennt man schon, wie wichtig es ist, den Abschluss mit dem korrektem Widerstandswert auszuführen: Fehlanpassungen führen zu Reflexionen. Diese haben den Nachteil, dass nicht die gesamte Leistung am Abschluss zur Verfügung steht. Außerdem bilden sich stehende Wellen aus, d. h. bei einer Leistungsmessung ist es nicht mehr egal, an welcher Position in der Leitung das Messgerät eingefügt wird. Ein Verschieben um einige Zentimeter kann dabei, je nach Frequenz, einen Unterschied zwischen Null und doppeltem Pegel zeigen, d. h. einen Messfehler von 100% ergeben. Daher ist es in der HF-Technik unabdingbar, stets mit einem korrekten Abschlusswiderstand zu arbeiten. Die Schaltungsbeschreibung zu dem bis in den GHz-Bereich nutzbaren ELV DL 100 erfolgt im nächsten Abschnitt.

Schaltung

Prinzipiell stellt sich die Schaltung, wie in Abbildung 4 gezeigt, sehr einfach dar. Bis hin zu einigen Megahertz stimmt das Schaltbild vielleicht auch mit der praktischen Realisierbarkeit überein. Je höher die Arbeitsfrequenz wird, desto mehr kommen parasitäre Eigenschaften zum Tragen.

Auf einfache Art und Weise könnte der Abschluss, soll er denn nur bis hin zu einigen Megahertz arbeiten, mit einfachem handelsüblichem Metallfilm-, oder für höhere Leistungen als Draht-Zement-Widerstände ausgeführt werden. Doch schon beim einfachen Drahtwiderstand kann man sich die Probleme dieser Konstruktionen vergegenwärtigen. Betrachtet man den Aufbau, so erkennt man einen einfachen Draht, der auf einem isolierten Träger aufgebracht ist und mittels Zementkörper geschützt wird.

Ein solcher Aufbau erinnert einen HF-Techniker sofort an eine Induktivität, und es würde ihm nie einfallen, einen solchen „Widerstand“ als Referenzabschluss einzusetzen. Es gibt zwar die Möglichkeit, durch spezielle Wickeltechniken die Induktivität dieser Widerstände klein zu halten, jedoch spätestens bei hundert Megahertz sind diese nicht mehr brauchbar.

Um gute Ergebnisse im Stehwellenverhältnis über einen großen Frequenzbereich zu erzielen, ist der Einsatz spezieller Bauteile erforderlich. Diese HF-Komponenten basieren auf einer speziellen Metall- oder Halbleiterstruktur, mit der dann der entsprechende Widerstandswert nachgebildet wird.

Durch die Möglichkeit, diese mit extrem kleinen Abmessungen zu realisieren, sind auch die parasitären Kapazitäten und Induktivitäten gering. Im ELV-RF-Dummy-

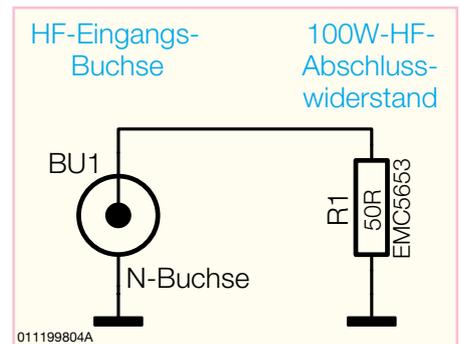


Bild 4: Schaltbild des ELV DL 100

Load kommt ein Beryllium-Substrat in Dickfilm-Technologie zum Einsatz. Die genauen technischen Daten sind im nebenstehenden Kasten zusammengefasst.

Bemerkenswert ist dabei, dass das Bauteil trotz der kleinen Abmessungen bei entsprechender Kühlung in der Lage ist, 100 W HF-Leistung in Wärme umzusetzen.

Ein weiterer wichtiger Kennwert ist das Stehwellenverhältnis. Dieses wird von mehreren Parametern beeinflusst. Neben den technischen Daten des eigentlichen Bauteiles macht sich hier der Aufbau bemerkbar. Daher wurde auch hier besonderer Wert auf gute HF-technische Ausführung gelegt, während die sonst im Vordergrund stehende Einfachheit im Aufbau zurückstehen musste.

Die Beschreibung der reinen Schaltung beschränkt sich dabei auf die beiden dargestellten Bauteile: Das Eingangssignal an der Buchse BU 1 gelangt über ein kurzes Leitungsstück auf den Hochleistungsabschluss R 1.

Die Eingangsbuchse ist dabei wie in der HF-Technik üblich als N-Buchse ausgeführt. Für den Abschluss anderer Steckverbinder, z. B. des bei den CB-Funkern üblichen PL-Steckers, ist ein entsprechendes Adapterkabel notwendig.

Nachbau

Eigentlich kann bei einer solchen HF-Schaltung kein Unterschied zwischen dem Aufbau und der Schaltung gemacht werden, da nahezu alle Arbeitsschritte einen Einfluss auf die späteren technischen Daten haben können. Bei nicht korrekter Ausführung des Aufbaus lassen sich die technischen Daten beliebig verschlechtern. Daher ist hier besonders sorgfältig vorzugehen. Die in Abbildung 5 dargestellte Detailansicht kann dabei zur Hilfe genommen werden.

Im ersten Arbeitsschritt sind Stirnplatte und N-Buchse an den Kühlkörper anzuschrauben. Dazu wird die Stirnplatte auf die Oberseite des hier bearbeiteten Kühlkörpers gelegt und grob über den Bohrungen ausgerichtet. Anschließend ist auch

Technische Daten: EMC Model 5653

Impedanz:	50 Ω (nominal)
Verlustleistung:	
- 100 W (CW) bei 100 °C Kühlkörpertemperatur	
- 1000 W (Peak) bei 100 μ s Pulsdauer und 1 % Tastverhältnis	
Material:	
- Substrat:	Beryllium
- Träger:	Aluminium
VSWR:	$\leq 1,15$ DC bis 2 GHz
	$\leq 1,2$ bis 3 GHz
	$\leq 1,35$ bis 4 GHz
Frequenzbereich:	DC bis 4 GHz
Abmessungen:	20,4 x 9,7 x 4,1 mm

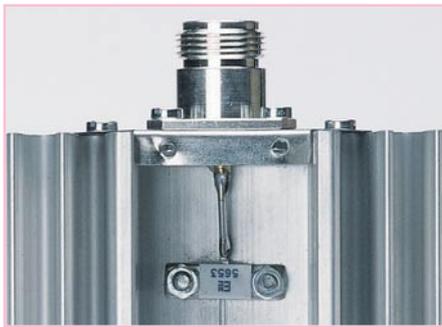


Bild 5: Detailansicht des Aufbaus

die Buchse aufzulegen und so auszurichten, dass der Lötkelch nach oben zeigt. In die Bohrungen, die sowohl Buchse als auch Stirnblech halten, sind dann die beiden M3x10-mm-Schrauben zunächst nur locker einzudrehen. Seitlich neben der Buchse befestigen zwei M3x6-mm-Schrauben das Stirnblech, nachdem es bündig mit dem Kühlkörper abschließend ausgerichtet wurde. In die noch freien Bohrungen der N-Buchse ist dann von außen je eine M3x6-mm-Schraube einzusetzen, auf die von der Rückseite her eine entsprechende Mutter mit Zahnscheibe aufzuschrauben ist. Das Festziehen der beiden Schrauben, die Buchse und Kühlkörper verbinden, schließt diesen Arbeitsschritt ab.

Um die HF-Leistung, die vom Abschlusswiderstand in Wärme umgesetzt wird, auch abführen zu können, besteht das ELV DL 100 aus zwei Kühlkörpern. Diese werden mit vier Schrauben M3 x 16 mm miteinander verschraubt. Damit der Übergang zwischen den beiden Kühlkörpern einen möglichst kleinen Wärmewiderstand hat, sind die Rücken der Kühlkörper dünn (!) mit Wärmeleitpaste zu bestreichen. Hier gilt nicht das Motto: „viel hilft viel“, son-

dern es ist nur ein dünner Film aufzubringen. Dann sind die Kühlkörper so zu positionieren, dass die vier Bohrungen direkt übereinander liegen. Über den mittleren Bohrungen wird anschließend der Abschlusswiderstand ausgerichtet. Dabei ist besonders vorsichtig vorzugehen, da der Anschlusspin, der zur Buchse zeigen muss, nur sehr dünn ist. Die Verbindung der beiden Kühlkörper mit dem Widerstand erfolgt mit den M3x16mm-Schrauben, die vom Widerstand aus gesehen durchzustecken sind und mit den entsprechenden Muttern und unterlegten Zahnscheiben auf der Gegenseite verschraubt werden.

Im nächsten Schritt wird die elektrische Verbindung zwischen Buchse und Widerstand mit Hilfe des 15 mm langen Drahtstückes hergestellt. Der Draht wird dabei zunächst in die Lötfläche der Buchse eingeführt und dann leicht nach unten gebogen, um den Anschluss des Abschlusswiderstandes zu erreichen. Danach sind beide Enden sorgfältig zu verlöten.

Bevor nun der mechanische Schutz in Form eines Deckels aufgeschraubt wird, ist es ratsam, die Schrauben nochmals nachzuziehen. Der Deckel ist so aufzusetzen, dass der kurze Flansch auf dem Kühlkörper aufliegt. Verschraubt wird das Teil mit zwei M3x16-mm-Schrauben, passenden Muttern und unterlegten Zahnscheiben an den beiden Kühlkörpern und mit zwei Knippingschrauben 2,9 x 6,5 mm im Stirnblech.

Zum Abschluss ist der mitgelieferte Fuß mit den vier Gehäusefüßen und dem Typenschild zu bekleben und das RF-Dummy-Load aufzuschieben. Damit ist der Nachbau abgeschlossen und es folgen einige Ausführungen zum Gebrauch.

Stückliste: HF-Dummy-Load DL 100

Widerstand:

1 50-Ω-HF-Chipwiderstand, EMC5653

Sonstiges:

- 1 Kühlkörper A, SK88, bearbeitet
- 1 Kühlkörper B, SK88, bearbeitet
- 1 Stirnplatte, bearbeitet
- 1 Abdeckblech, bearbeitet
- 1 Standfuß, bearbeitet
- 1 N-Einbaubuchse mit 4-Loch-Flanschbefestigung
- 2 Knippingschrauben, 2,9 x 6,5 mm
- 4 Zylinderkopfschrauben, M3 x 6 mm
- 2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 10 mm
- 4 Zylinderkopfschrauben, M3 x 16 mm
- 6 Muttern, M3
- 6 Fächerscheiben, M3
- 4 Gummiklebefüße
- 1 Tube Wärmeleitpaste
- 1 Typenschildaufkleber
- 1,5 cm Kupferdraht, 1,5 mm²

Inbetriebnahme und Installation

Die eigentliche Inbetriebnahme beschränkt sich auf die Kontrolle des ohmschen Widerstandswertes von der Buchse aus. Somit kann ein Kurzschluss ausgeschlossen werden. Weitere Überprüfungen der Funktion sind, korrekter Aufbau vorausgesetzt, nicht notwendig.

Für den Betrieb sind folgende Hinweise noch zu beachten. Da das Gerät dazu bestimmt ist, elektrische Energie in Wärmeenergie umzuwandeln, wird sich das Gerät erwärmen. Dabei hängt die Kühlkörpertemperatur von der eingespeisten elektrischen Leistung ab. Da diese bei Nennlast bis auf ca. 90 °C ansteigen kann, darf das RF-Dummy-Load nicht in der Nähe brennbarer Materialien betrieben und während des Betriebes nicht berührt werden. Außerdem ist stets der mitgelieferte Standfuß zu verwenden, um eine ungehinderte Luftzirkulation sicherzustellen.

Die angegebene max. Verlustleistung von 40 W bezieht sich auf eine Umgebungstemperatur von 25 °C. Dabei kann diese als Dauerleistung angelegt werden. Sollen höhere Leistungen „verbraten“ werden, so ist die Betriebsdauer einzuschränken. Abbildung 6 zeigt die Abhängigkeit der Kühlkörpertemperatur von der eingespeisten Leistung über Zeit gesehen. Leistungen größer 100 W sollten aber aufgrund der sehr schnellen Erwärmung des Bauteils nicht angelegt werden.

Hohe Leistungsreserven in Verbindung mit den guten technischen Daten machen das DL 100 für fast jeden HF-Techniker zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel. **ELV**

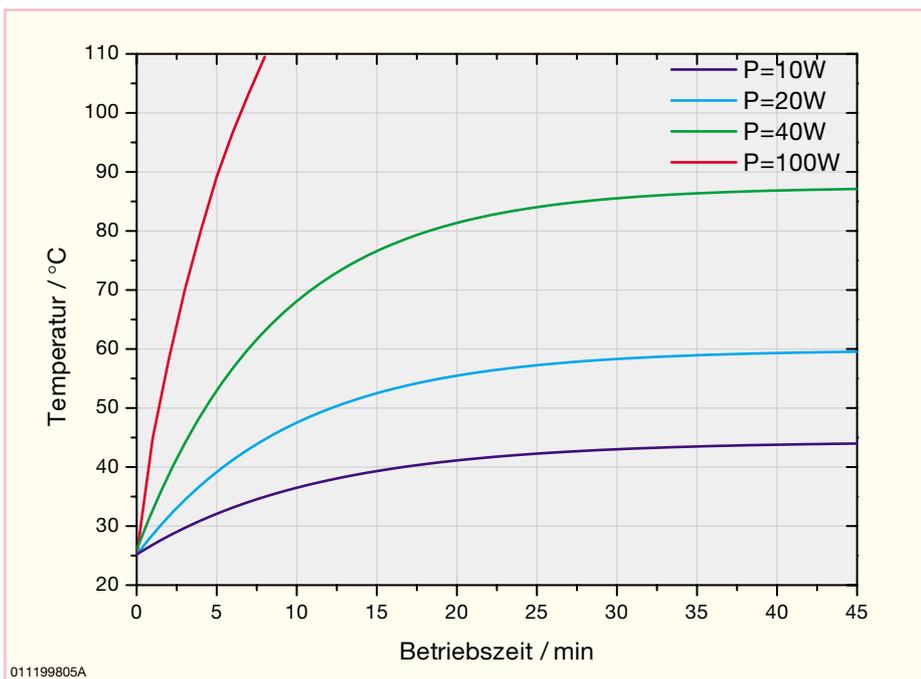


Bild 6: Kühlkörpertemperatur bei verschiedenen Leistungen