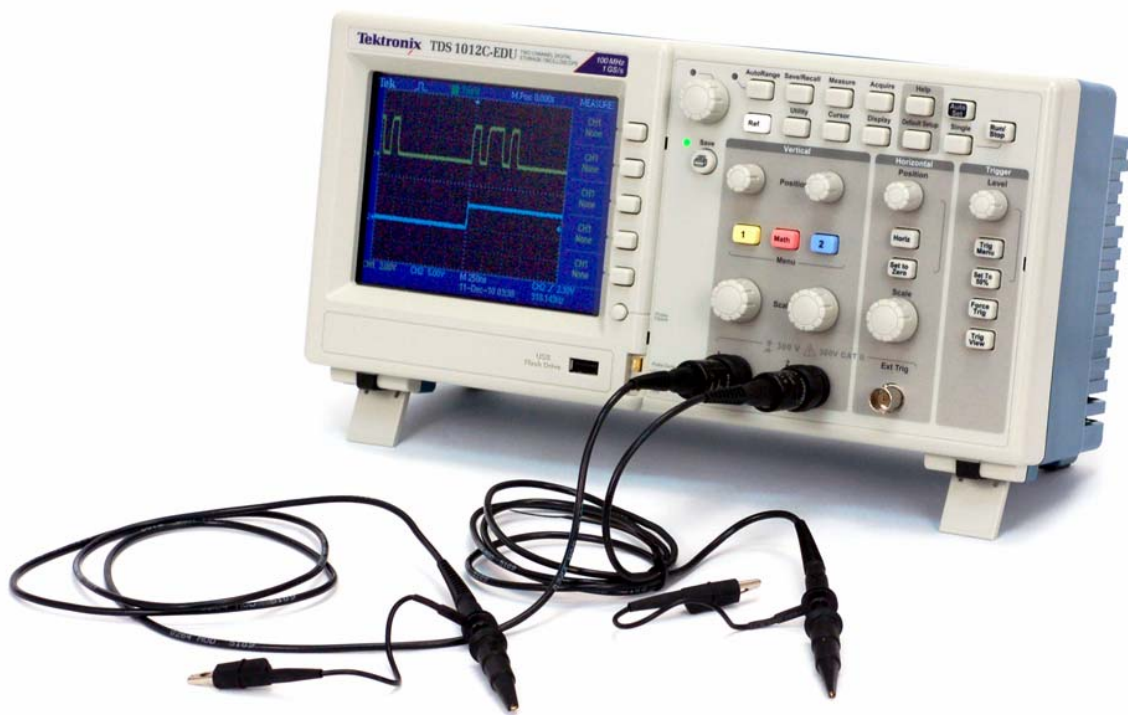




# Einführung: Oszilloskoptastköpfe Schulungsleiterhandbuch



Verschiedene praktische Übungen, mithilfe derer Sie die Oszilloskoptastköpfe kennenlernen können, einschließlich einiger Hinweise für eine hohe Signalgenauigkeit.

## **Copyright-Hinweis und Vervielfältigungsrechte**

©2011 Tektronix, Inc.

Dieses Dokument darf lediglich für die Schulung von Benutzern oder potentiellen Benutzern von Tektronix-Oszilloskopen und -Geräten gedruckt, verändert und verbreitet werden. Bei jeder Vervielfältigung muss eine Kopie dieser Seite enthalten sein, die diesen Hinweis enthält.

## Inhalt

<b>EINFÜHRUNG: HANDBUCH FÜR SCHULUNGSLEITER – LABORVERSUCHE .....</b>	<b>4</b>
ZIELE .....	4
<b>LABORVERSUCHE – EINFÜHRUNG .....</b>	<b>4</b>
ZIELE .....	4
GERÄTELISTE.....	4
<b>OSZILLOSKOPTASTKÖPFE: ÜBERBLICK.....</b>	<b>5</b>
EINLEITUNG.....	5
HINWEISE ZUR LEISTUNG .....	8
<b>TASTKOPFBELASTUNG.....</b>	<b>10</b>
AUSWIRKUNGEN DES EINGANGSWIDERSTANDS .....	11
AUSWIRKUNGEN DER EINGANGSKAPAZITÄT.....	11
AUSWIRKUNGEN DER TASTKOPFINDUKTIVITÄT .....	11
RAUSCHFESTIGKEIT.....	13
<b>VERSCHIEDENE ARTEN VON TASTKÖPFEN.....</b>	<b>13</b>
PASSIVE TASTKÖPFE .....	13
AKTIVE TASTKÖPFE .....	16
DIFFERENTIALTASTKÖPFE.....	18
STROMTASTKÖPFE .....	18
<b>VERWENDUNG EINES PASSIVEN TASTKOPFS.....</b>	<b>21</b>
EINSTELLUNG DER TASTKOPFKOMPENSATION.....	21
VERSCHIEDENE MESSMETHODEN .....	24
<b>ABSCHLUSSÜBUNG.....</b>	<b>25</b>

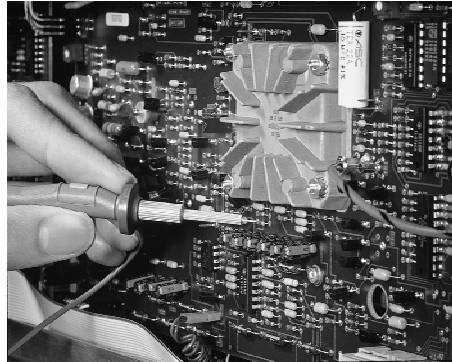
<b>Einführung: Handbuch für Schulungsleiter – Laborversuche</b>
<b>Ziele</b>
Zweck des Schulungsleiterhandbuch ist es, für jede Übung Antworten zu liefern.  Die Hinweise für den Schulungsleiter sind <b>fettgedruckt und in blauer Schrift</b> dargestellt.
<b>Laborversuche – Einführung</b>
<b>Ziele</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Die Schulungsteilnehmer lernen die grundlegenden Eigenschaften eines Oszilloskoptastkopfs kennen.</li><li>2. Dieses Handbuch beschreibt die verschiedenen Arten von Tastköpfen und ihre Verwendung.</li><li>3. Die Schulungsteilnehmer lernen, Tastköpfe an verschiedene Prüfpunkte in einem Schaltkreis anzuschließen.</li><li>4. Es wird erklärt, wie sich Tastköpfe auf die Qualität elektronischer Messungen auswirken.</li></ol>
<b>Geräteliste</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Ein Tektronix-Oszilloskop der Serie TDS1000C-EDU</li><li>2. Zwei passive Tastköpfe TPP0101 oder TPP0201 10x von Tektronix</li></ol>

## Oszilloskopastköpfe: Überblick

### Einleitung

Oszilloskopastköpfe sind eine physikalische und elektrische Verbindung zwischen einer Signalquelle und einem Oszilloskop. Die meisten Tastköpfe bestehen aus dem eigentlichen Tastkopf, einem flexiblen Kabel mit einer Länge von ein bis zwei Metern und einer Steckverbindung für den Oszilloskopeingang.

Mit dem eigentlichen Tastkopf können Sie den Tastkopf halten, während Sie die Tastkopfspitze mit dem Prüfpunkt verbinden. Die Tastkopfspitze verfügt häufig über einen Haken mit einer Feder, mit dem Sie den Tastkopf mit dem Prüfpunkt verbinden können. Der Tastkopf verfügt auch über einen Erdungsanschluss, der bei Spannungsmessungen der Referenzpunkt ist. (Bitte beachten Sie, dass Spannungsmessungen immer in Bezug auf einen Referenzpunkt erfolgen.) Bei vielen Tastköpfen besteht diese Erdung aus einem schwarzen Draht mit einer Krokodilklemme, mit der die Erdung von Prüfpunkten sehr einfach ist.



**Abbildung 1: Messen eines Schaltkreises.**

Wenn ein Tastkopf an einen Schaltkreis angeschlossen wird, kann dies Auswirkungen auf die Funktion des Schaltkreises haben. Außerdem kann ein Oszilloskop nur die Signale anzeigen und messen, die der Tastkopf an den Oszilloskopeingang überträgt. Die Auswirkungen des Tastkopfs auf den gemessenen Schaltkreis müssen sich auf ein Mindestmaß beschränken. Zudem muss eine entsprechende Signalgenauigkeit für die durchzuführende Messung beibehalten werden, da das Ergebnis ansonsten falsch oder irreführend sein kann.

## Einfacher und benutzerfreundlicher Anschluss

Bei dem idealen Tastkopf wäre eine physikalische Verbindung einfach und benutzerfreundlich möglich. Bei kleinen Schaltungen wie z. B. bei sehr dichten SMD-Technologien ist ein einfacher und benutzerfreundlicher Anschluss mithilfe von Subminiaturtastköpfen und verschiedenen Tastkopfspitzenadapter möglich. Bei Anwendungen wie z. B. industriellen Hochleistungsschaltungen mit höheren Spannungen und größeren Drähten sind größere Tastköpfe mit höheren Sicherheitsgrenzwerten erforderlich. Für Strommessungen ist ein Strommesskopf mit einer Klemmverbindung erforderlich. Diese wenigen Beispiele zeigen, dass es weder einen einzigen idealen Tastkopf noch eine einzige Konfiguration für alle Anwendungen geben kann. Aus diesem Grund gibt es verschiedene Tastkopfgrößen und Konfigurationen, um so den Anforderungen, die sich bei den verschiedenen Anwendungen für die physikalische Verbindung ergeben, gerecht zu werden.



**Abbildung 2: Subminiaturtastkopf.**



**Abbildung 3: Strommesskopf mit Klemmverbindung.**

Die meisten Tastköpfe werden mit Standardzubehör geliefert. Dieses Zubehör umfasst in der Regel eine Erdungsleiterklemme, die Sie an die Erdung einer Signalquelle anschließen können, ein Werkzeug zur Kompensationskorrektur sowie Zubehör (ein oder mehrere Teile) für die Tastkopfspitze, um den Tastkopf an Prüfpunkte anzuschließen.



**Abbildung 4: Typischer passiver Tastkopf mit Standardzubehör.**

**Signalgenauigkeit**

Der ideale Tastkopf würde jedes Signal mit einer absoluten Signalgenauigkeit von der Tastkopfspitze an den Oszilloskopeingang übertragen, sodass das Signal, das am Oszilloskopeingang ankommt, identisch ist mit dem Signal, das an der Tastkopfspitze erfasst wird. Für eine absolute Genauigkeit dürfte es in der Tastkopfschaltung zwischen Tastkopfspitze und Oszilloskop keine Dämpfung geben, die Bandbreite müsste unbegrenzt sein und es müsste für alle Frequenzen eine lineare Phase geben. Leider ist es nicht möglich, einen solchen idealen Tastkopf herzustellen. Die zentralen Leistungsaspekte tatsächlicher Tastköpfe werden im nächsten Abschnitt behandelt.

**Wichtige Punkte**

1. Tastköpfe stellen eine physikalische und elektrische Verbindung zwischen dem Oszilloskop und dem Prüfpunkt dar.
2. Wenn ein Tastkopf an einen Schaltkreis angeschlossen wird, beeinflusst das die Funktion des Schaltkreises.
3. Es gibt verschiedene Tastkopfgrößen und Konfigurationen, um den Anforderungen, die sich bei den verschiedenen Anwendungen für die physikalische Verbindung ergeben, gerecht zu werden.
4. Bei einem idealen Tastkopf würde das Signal am Oszilloskopeingang genau mit dem Signal am Prüfpunkt übereinstimmen.

**Übung**

1. Die Erdungsverbindung des Tastkopfs ist der Referenzpunkt für Spannungsmessungen.
  - a. Richtig
  - b. Falsch

**Antwort: a**
2. Was ist bei einem Oszilloskop wünschenswert? (Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.)
  - a. Seine Auswirkungen auf das entsprechende Signal sind minimal.
  - b. Es kann einfach mit dem zu testenden Gerät verbunden werden.
  - c. Es ist klein und kompakt.
  - d. Das Signal am Oszilloskop ist identisch mit dem Signal an der Tastkopfspitze.

**Antwort: a, b, d**

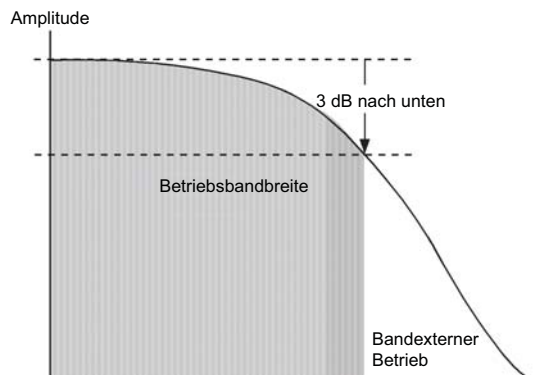
## Hinweise zur Leistung

### Dämpfung

Die Dämpfung ist das Verhältnis der Signalamplitude am Tastkopfeingang zu der am Ausgang. Sie wird in der Regel bei Gleichspannung gemessen. Viele Tastköpfe werden als „10-fach“-Tastköpfe bezeichnet. Das heißt, dass das auf das Oszilloskop angewandte Signal einem Zehntel der tatsächlichen Eingangssignalamplitude entspricht. Daher ist es wichtig, die Dämpfung des Tastkopfs zu kennen und sie in den Berechnungen zu berücksichtigen.

### Bandbreite

Die Bandbreite von Tastköpfen ist begrenzt. Die Bandbreite ist die Frequenz, bei der die Amplitude des dargestellten Sinussignals um 3 dB oder ca. 30 % gedämpft wird.



**Abbildung 5: Bei Frequenzen oberhalb dieser 3-dB-Schwelle werden Signalamplituden zu stark gedämpft und Messergebnisse sind nicht mehr verlässlich.**

Um sicherzustellen, dass die Amplitudenabweichung bei Sinuswellen max. 3 % beträgt, sollte die Bandbreite des Oszilloskops und des Tastkopfs mindestens fünfmal so hoch sein wie die des gestesteten Schaltkreises. Diese Daumenregel ist auch als „Fünffachregel“ bekannt.

$$\text{Oszilloskopbandbreite} \geq 5 \cdot \text{Oberwelle des Signals}$$

$$\text{Tastkopfbandbreite} \geq \text{Oszilloskopbandbreite}$$

*Beispiel: Bei einem Signal von 100 MHz sollte die Bandbreite des Oszilloskops und des Tastkopfs größer als 500 MHz sein.*

### Anstiegszeit

Die Bandbreite verhält sich umgekehrt zur Anstiegs- oder Abfallzeit. Die Anstiegszeit des Messsystems (Kombination aus Tastkopf und Oszilloskop) sollte weniger als ein Fünftel der Anstiegs- oder Abfallzeit des gemessenen Signals betragen – eine weitere „Fünffachregel“. Dadurch wird sichergestellt, dass die Abweisung bei der gemessenen Anstiegs- oder Abfallzeit maximal 3 % beträgt.

$$\text{Messsystemanstiegszeit} \leq \frac{\text{Signalanstiegszeit}}{5}$$

$$\text{Messsystemanstiegszeit} = \sqrt{(\text{Oszilloskopanstiegszeit})^2 + (\text{Tastkopfanstiegszeit})^2}$$

*Beispiel: Bei einer Signalanstiegszeit von 50 ns sollte die Messsystemanstiegszeit mindestens 10 ns betragen. Wenn das Oszilloskop eine Anstiegszeit von 2 ns hat, sollte die Tastkopfanstiegszeit schneller als 9,8 ns sein.*



**Lineare Phase**

Bandbreitenbegrenzungen betreffen auch die Signalform, indem verschiedene Frequenzkomponenten mit verschiedenen Zeiten verzögert werden. Diese Variationen führen zu Verzerrungen komplexer Signale, insbesondere von Impulsen.

**Wichtige Punkte**

1. Die Dämpfung ist das Verhältnis der Signalamplitude am Tastkopfeingang zu der am Ausgang.
2. Die Bandbreite des Oszilloskops und des Tastkopfs sollte mindestens fünfmal so hoch sein wie die des gestesteten Schaltkreises, um sicherzustellen, dass die Amplitudenabweichung bei Sinuswellen maximal 3 % beträgt.
3. Die Anstiegszeit des Messsystems sollte weniger als ein Fünftel der Anstiegs- oder Abfallzeit des gemessenen Signals betragen, um sicherzustellen, dass die Abweichung beim Messergebnis maximal 3 % beträgt.
4. Bandbreitenbegrenzungen betreffen auch die Signalform, indem verschiedene Frequenzkomponenten mit verschiedenen Zeiten verzögert werden.

**Übung**

1. Sie müssen eine 25-MHz-Sinuswelle messen. Welche Mindestbandbreite sollten der Tastkopf und das Oszilloskop haben?

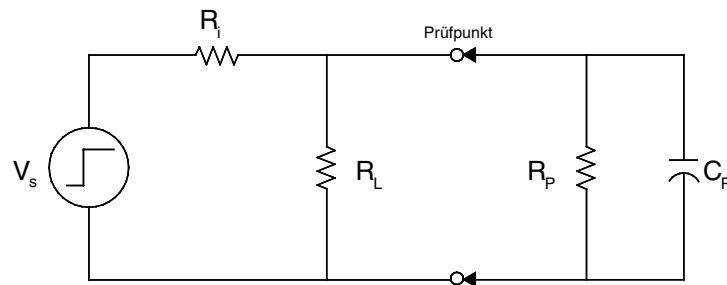
**Ausgehend von der „Fünffachregel“ für die Bandbreite:  
Mindestbandbreite =  $5 \times 25 \text{ MHz} = 125 \text{ MHz}$**

2. Wenn Sie ein +5-V-Signal mit einem 10fach-Tastkopf messen, wie hoch ist die Signalamplitude am Oszilloskopeingang?

**Signalamplitude =  $+5 \text{ V} / 10 = +0,5 \text{ V}$**

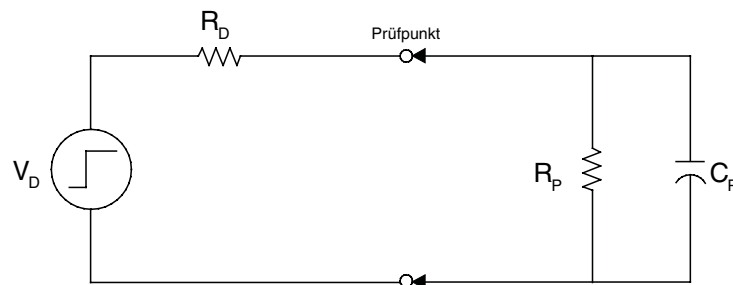
## Tastkopfbelastung

Die Tastkopfbelastung gibt an, wie sich der Tastkopf auf das zu prüfende Gerät auswirkt. Das zu prüfende Gerät kann eine Signalquelle ( $E_s$ ) mit einem Eingangswiderstand ( $R_i$ ) und mit einer Last ( $R_L$ ) sein. Der Tastkopf kann ein Widerstand ( $R_p$ ) und ein Kondensator ( $C_p$ ) sein.



**Abbildung 6: Gleichwertiges Schaltkreisdiagramm des zu prüfenden Geräts mit angeschlossenem Tastkopf.**

Für eine Vereinfachung der weiteren Analyse kann im Schaltkreisdiagramm das Thévenin-Äquivalent des zu prüfenden Geräts verwendet werden.



**Abbildung 7: Vereinfachtes Schaltkreisdiagramm unter Verwendung des Thévenin-Äquivalents des zu prüfenden Geräts.**

Bei dem idealen Tastkopf ist die Impedanz unbegrenzt, sodass kein Signalstrom vom Gerät entsteht. Wenn der Tastkopf das Gerät nicht belastet, wird die Funktion des Schaltkreises hinter dem Prüfpunkt nicht belastet und auch das Signal am Prüfpunkt wird nicht verändert. In der Praxis ist ein Tastkopf ohne Belastung jedoch nicht möglich. Ziel ist es jedoch immer, die Belastung zu minimieren, indem der richtige Tastkopf ausgewählt wird.

Die Impedanz des Geräts beeinflusst die Auswirkungen der Tastkopfbelastung. Bei einer geringen Geräteimpedanz ist die Belastung eines 10-fach-Tastkopfs mit einer hohen Impedanz sehr gering. Bei hohen Geräteimpedanzen kann sich das Signal am Prüfpunkt je nach Tastkopf jedoch stark ändern. Diese Signalveränderung ist dadurch bedingt, dass die Tastkopfimpedanz parallel zur Geräteimpedanz ist. Diese Belastung kann reduziert werden, indem Sie entweder einen Tastkopf mit einer höheren Impedanz (z. B. einen aktiven Tastkopf) verwenden oder indem Sie das Signal an einem Prüfpunkt messen, an dem die Impedanz geringer ist (z. B. Transistoremitter und FET-Quellen haben eine geringere Impedanz als Transistorkollektoren und FET-Drains).

Bei einer Geräteimpedanz von rund  $100 \Omega$  und einer Eingangsimpedanz des Tastkopfs von  $1 \text{ M}\Omega$  sind die Auswirkungen der Eingangsimpedanz des Tastkopfs minimal. Wenn die Signalfrequenz gering ist, sind auch die Auswirkungen der Eingangsimpedanz des Tastkopfs minimal.

### Auswirkungen des Eingangswiderstands

Bei Gleichstrom ist die reaktive Impedanz der Eingangskapazität des Tastkopfs unbegrenzt und führt zu keiner Belastung des zu prüfenden Geräts. Das heißt, die Tastkopfbelastung entsteht ausschließlich durch die Auswirkungen des Eingangswiderstands des Tastkopfs.

Ideal wäre  $V_{\text{meas}} = V_D$ . In der Praxis führt der Spannungsteiler zwischen dem zu prüfenden Gerät und dem Eingangswiderstand des Tastkopfs zu einer Verringerung der gemessenen Spannung. Sie können Widerstandsbelastung verringern, wenn Sie einen Tastkopf mit einem größeren Widerstand verwenden oder das Signal an einem Prüfpunkt mit einem geringeren Eingangswiderstand messen.

$$V_{\text{Meas}} = V_D \frac{R_p}{R_p + R_D}$$

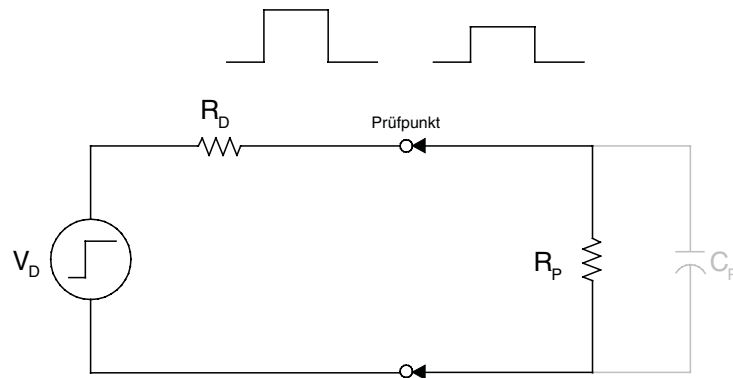


Abbildung 8: Auswirkungen des Eingangswiderstands ( $R_p$ ).

### Auswirkungen der Eingangskapazität

Bei höherer Signalfrequenz wird die reaktive Impedanz der Tastkopfkapazität geringer und hat vorrangig Auswirkungen auf die Tastkopfbelastung. Dadurch erhöht die kapazitive Last die Anstiegs- und Abfallzeiten von Signalen mit schnellen Übergängen und verringert die Amplitude von Hochfrequenzdetails von Signalen. Diese Belastung kann reduziert werden, indem Sie entweder einen Tastkopf mit einer niedrigeren Impedanz (z. B. einen aktiven Tastkopf) verwenden oder indem Sie das Signal an einem Prüfpunkt messen, an dem die Impedanz geringer ist.

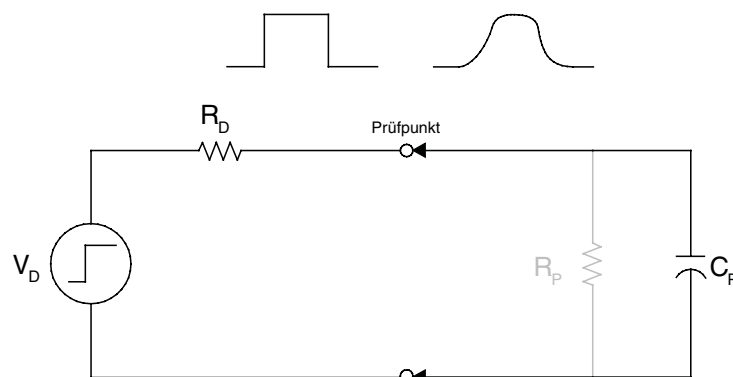


Abbildung 9: Auswirkungen der Eingangskapazität ( $C_p$ ).

Eine weitere Auswirkung, die durch die Eingangskapazität entsteht, ist die Verringerung der Anstiegszeit. Der Widerstand des zu prüfenden Geräts ( $R_D$ ) und die Impedanz (dominiert durch  $C_{in}$ ) des Messsystems (Tastkopf + Oszilloskop) bilden zusammen ein RC-Netzwerk. Wie bereits erwähnt, bekämpft ein Kondensator Spannungsänderungen. Wenn Sie also eine Stufenspannung mit einer Anstiegszeit von 0 ns an einen Kondensator anlegen, dauert es einige Zeit, bis der Kondensator auf diese Spannungsänderung reagiert. Diese Zeitspanne wird durch die Zeitkonstante des RC-Netzwerks bestimmt. Die Anstiegszeit (definiert als Verhältnis des 10%-Punkts zum 90%-Punkt) kann folgendermaßen gut geschätzt werden:

$$t_r = 2,2(R_D C_P)$$

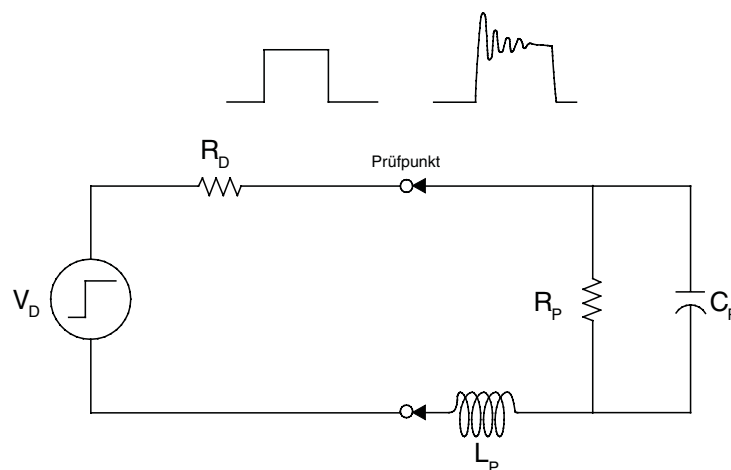
Beispiel: Bei einer Tastkopfeingangskapazität von 100 pF ergibt sich eine Anstiegszeit von 220 ns, wenn der Widerstand des zu prüfenden Geräts etwa 1 k $\Omega$  beträgt. Liegt die Eingangskapazität jedoch bei 10 pF, beträgt die Anstiegszeit hingegen nur 22 ns.

Die Auswirkungen der Tastkopfbelastung auf Ihren Schaltkreis sind unbedingt zu berücksichtigen. Bei Niedrigfrequenzanwendungen sind passive Standardtastköpfe in der Regel angemessen. Bei Hochfrequenzanwendungen sollten Sie jedoch Tastköpfe mit einer geringeren Eingangskapazität verwenden, wie etwa aktive Tastköpfe, auf die wir später zurückkommen.

### **Auswirkungen der Tastkopfinduktivität**

Da der Erdungsleiter ein Draht ist, besteht eine gewisse Induktivitätsverteilung. Diese Induktivität steht in Wechselwirkung mit der Tastkopfkapazität, sodass bei einer bestimmten Frequenz, die durch die Werte L und C bestimmt wird, ein Überschwingen entsteht. Das Überschwingen ist nicht vermeidbar, seine Auswirkungen können jedoch verringert werden, indem für den Tastkopf ein Erdungsleiter verwendet wird, der so kurz wie möglich ist.

Ähnlich ist es, wenn Sie ein Stück Draht an den Prüfpunkt anlöten und den Tastkopf mit dem Draht verbinden. Auch ein Draht von nur wenigen Zentimetern Länge kann bei hohen Frequenzen bedeutende Änderungen der Impedanz verursachen. Verwenden Sie daher bei Hochfrequenzmessungen die kürzesten Tastkopfspitzeadapter, die es gibt.



**Abbildung 10: Auswirkungen der Eingangsinduktivität.**

## Rauschfestigkeit

Leuchtstofflampen und Lüftermotoren sind nur zwei Quellen von elektrischem Rauschen, die wir in unserer Umgebung finden. Diese Quellen können ihr Rauschen auf nahegelegene elektrische Kabel und Schaltkreise übertragen, sodass die Signale vom Rauschen überlagert werden. Da induziertes Rauschen wahrscheinlich ist, ist ein einfaches Stück Draht für einen Oszilloskopstastkopf nicht unbedingt die ideale Lösung.

Die meisten Oszilloskopstastköpfe sind hingegen mit Koaxialkabeln ausgestattet, bei denen die Signalleitung mit einem Metallgeflecht umgeben ist, das die Erdung darstellt. Diese Erdung schirmt die Leitung zudem ab.

Der ideale Oszilloskopstastkopf ist allen Rauschquellen gegenüber unempfindlich. Dadurch wird das Signal, das an das Oszilloskop übertragen wird, mit nicht mehr Rauschen überlagert als das Signal am Prüfpunkt. In der Praxis ist es durch ein Abschirmen des Tastkopfs möglich, dass diese über eine hohe Rauschfestigkeit für die wichtigsten Signalebenen verfügen. Rauschen kann jedoch für gewisse Signale mit niedrigem Pegel noch immer ein Problem darstellen. Insbesondere Gleichtaktstörungen können für Differenzmessungen ein Problem darstellen. Darauf wird später noch näher eingegangen.

## Wichtige Punkte

1. Die Impedanz des Geräts beeinflusst die Auswirkungen der Tastkopfbelastung.
2. Bei Gleichspannung entsteht die Tastkopfbelastung ausschließlich durch die Auswirkungen des Eingangswiderstands des Tastkopfs. Der Spannungsteiler zwischen dem Gerätewiderstand und dem Eingangswiderstand des Tastkopfs führt zu einer Verringerung der gemessenen Spannung.
3. Bei höherer Signalfrequenz wird die reaktive Impedanz der Tastkopfkapazität geringer und hat vorrangig Auswirkungen auf die Tastkopfbelastung. Dadurch erhöht die kapazitive Last die Anstiegs- und Abfallzeiten von Signalen mit schnellen Übergängen und verringert die Amplitude von Hochfrequenzdetails von Signalen.
4. Die Tastkopfbelastung kann reduziert werden, indem Sie entweder einen Tastkopf mit einer höheren Impedanz (höherer Widerstand und geringere Kapazität) verwenden oder indem Sie das Signal an einem Prüfpunkt messen, an dem die Impedanz geringer ist.
5. Die Induktivität des Erdungsleiters steht in Wechselwirkung mit der Tastkopfkapazität, sodass bei einer bestimmten Frequenz, die durch die Werte L und C bestimmt wird, ein Überschwingen entsteht. Sie können dies minimieren, indem Sie die kürzesten Erdungsleiter und Tastkopfspitzenadapter verwenden, die es gibt.

## Übung

1. Wie hoch müsste die Impedanz des Tastkopfs sein, damit die Tastkopfbelastung minimal ist?
  - a.  $R_p = \infty$  und  $C_p = 0$
  - b.  $R_p = 0$  und  $C_p = \infty$
  - c.  $R_p = 0$  und  $C_p = 0$
  - d.  $R_p = \infty$  und  $C_p = \infty$

**Antwort: a**

2. Wenn  $V_D = 5 \text{ V}$ ,  $R_D = 1 \text{ M}\Omega$  und  $R_p = 10 \text{ M}\Omega$ , wie hoch ist dann  $V_{\text{meas}}$ ?

$$V_{\text{meas}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

**Antwort:  $V_{\text{meas}} = (5 \text{ V}) \times [10 \text{ M}\Omega / (10 \text{ M}\Omega + 1 \text{ M}\Omega)] = 4,55 \text{ V}$**

3. Wenn  $V_D$  eine 10-V-Stufe ist,  $R_D = 5 \text{ k}\Omega$  und  $C_p = 20 \text{ pF}$ , wie groß ist dann  $t_r$ ?

$t_r =$  \_\_\_\_\_

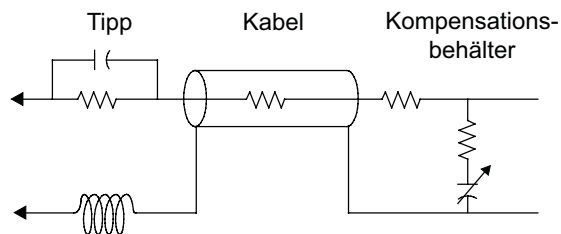
**Antwort:  $t_r = 2,2 (5 \text{ k}\Omega \times 20 \text{ pF}) = 220 \text{ ns}$**

## Verschiedene Arten von Tastköpfen

### Passive Tastköpfe

Passive Spannungstastköpfe bestehen aus passiven Komponenten: Drähten, Steckverbindungen, Widerständen und Kondensatoren. Sie verfügen über keine aktiven Komponenten wie etwa Transistoren oder Verstärker, weshalb keine Stromzufuhr erforderlich ist.

Hier sehen Sie ein vereinfachtes Schaltbild eines passiven Tastkopfs:



**Abbildung 11: Schaltbild eines passiven Tastkopfs.**

Passive Tastköpfe bieten die folgenden Vorteile:

- recht günstig
- mechanische Widerstandsfähigkeit
- breiter dynamischer Bereich
- hoher Eingangswiderstand

Ihr Hauptnachteil ist:

- hohe Eingangskapazität

Bei passiven Spannungstastköpfen wird in der Regel die Bandbreite und der Dämpfungsfaktor (z. B. 1fach oder 10fach) angegeben. Der Dämpfungsfaktor gibt das Verhältnis der Signalamplitude am Tastkopfeingang zu der am Ausgang an.

Die meisten Tastköpfe bieten mindestens die gleiche Bandbreite wie das Oszilloskop und haben eine 10fache Dämpfung. Das ist ein guter Kompromiss aus Bandbreite, kapazitiver Tastkopfbelastung und Empfindlichkeit für die meisten Anwendungen.



Abbildung 12: Passiver Tastkopf TPP0201 von Tektronix.

#### Passiver Spannungstastkopf TPP0101/TPP0201

- 10fache Dämpfung
- 200 MHz Bandbreite
- 1,5 Meter Länge

	<u>TPP0101</u>	<u>TPP0201</u>
Bandbreite	DC bis 100 MHz	DC bis 200 MHz
Eingangskapazität	< 12 pF (typ.)	< 12 pF (typ.)
Eingangswiderstand	10 M $\Omega$ $\pm$ 1,5 %	10 M $\Omega$ $\pm$ 1,5 %

### Übung

1. Wie groß ist bei einem passiven Tastkopf TPP0101 oder TPP0201 der ungefähre Wert  $t_r$ , wenn  $R_D = 1 \text{ M}\Omega$ ?

$$t_r = \underline{\hspace{10em}}$$

**Antwort:**  $t_r = 2,2 (1 \text{ M}\Omega \times 12 \text{ pF}) = 26,4 \mu\text{s}$

2. Wie groß ist  $V_{\text{meas}}$  bei einem passiven Tastkopf TPP0101 oder TPP0201 mit 10facher Dämpfung, wenn  $R_D = 1 \text{ M}\Omega$  und  $V_D = 5 \text{ V}$ ?

$$V_{\text{meas}} = \underline{\hspace{10em}}$$

**Antwort:**  $V_{\text{meas}} = (5 \text{ V}) \times [10 \text{ M}\Omega / (10 \text{ M}\Omega + 1 \text{ M}\Omega)] = 4,55 \text{ V}$

## Aktive Tastköpfe

Aktive Spannungstastköpfe beinhalten aktive Komponenten wie Transistoren und Verstärker und benötigen Strom. Hier sehen Sie ein vereinfachtes Schaltbild eines aktiven Tastkopfs:

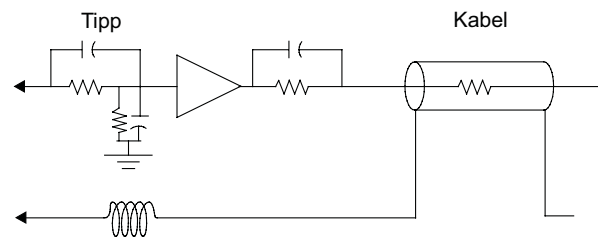


Abbildung 13: Schaltbild eines aktiven Tastkopfs.

Im Vergleich zu passiven Tastköpfen bieten aktive Tastköpfe die folgenden Vorteile:

- niedrige Eingangskapazität
- große Bandbreite
- hoher Eingangswiderstand
- bessere Signalgenauigkeit

Im Vergleich zu passiven Tastköpfen weisen aktive Tastköpfe die folgenden Nachteile auf:

- höhere Kosten
- begrenzter dynamischer Bereich
- geringere mechanische Widerstandsfähigkeit

Aktive Tastköpfe haben eine sehr niedrige Eingangskapazität. Dadurch kann der Tastkopf eine hohe Eingangsimpedanz über ein breites Spektrum an Frequenzen wahren. Die hohe Eingangsimpedanz eines aktiven Tastkopfs ermöglicht Messungen an einem Prüfpunkt mit unbekannter Impedanz, bei dem die Gefahr von Belastungen geringer ist. Bei geringerer Belastung können aktive Spannungstastköpfe für Schaltkreise mit hoher Impedanz verwendet werden, bei denen es mit passiven Tastköpfen zu starken Belastungen kommen würde. Aktive Tastköpfe sind zudem bei langen Erdungsleitern weniger induktionsanfällig.

Bei aktiven Komponenten ist der maximale Spannungsbereich aufgrund von Beschränkungen des Verstärkers und seiner Stromzufuhr stärker eingeschränkt.

Vergleichen Sie die Spezifikationen für diese passiven und aktiven Tastköpfe:

	<i>Passiver Tastkopf</i> <u>TPP0201</u>	<i>Aktiver Tastkopf</i> <u>TAP1500</u>
Dämpfung	10fach	10fach
Bandbreite	DC bis 200 MHz	DC bis 1500 MHz
Eingangskapazität	12 pF (typ.)	≤ 1 pF
Eingangswiderstand	10 MΩ	1 MΩ
Max. Eingangsspannung	300 V <sub>RMS</sub> CATII	±8 V





**Abbildung 14: Aktiver Tastkopf TAP1500 von Tektronix.**

Wie Sie sehen, unterscheidet sich die Form des Tastkopfs und insbesondere die Tastkopfspitze hier stark von einem passiven Tastkopf. Dieser kleinere Formfaktor und das kleinere Zubehör ermöglicht es, die Tastkopfspitze und die Erdung näher an kleine SMD-Komponenten zu bringen. Beachten Sie auch den großen Kasten, der mit dem Oszilloskop verbunden ist. Dieser Kasten enthält die Schaltungen für die Stromzufuhr, mit denen die aktiven Schaltungen im Tastkopf versorgt werden.

## Übung

1. Wie groß ist  $t_r$  bei einem passiven Tastkopf TPP0101 oder TPP0201, wenn  $R_D = 1 \text{ M}\Omega$ ?

$$t_r = \underline{\hspace{10em}}$$

**Antwort:  $t_r = 2,2 (1 \text{ M}\Omega \times 12 \text{ pF}) = 26,4 \mu\text{s}$**

2. Wie groß ist  $t_r$  bei einem aktiven Tastkopf TAP1500, wenn  $R_D = 100 \text{ k}\Omega$ ?

$$t_r = \underline{\hspace{10em}}$$

**Antwort:  $t_r = 2,2 (100 \text{ k}\Omega \times 1 \text{ pF}) = 220 \text{ ns}$**

3. Welcher Tastkopf bietet eine schnellere Anstiegszeit?

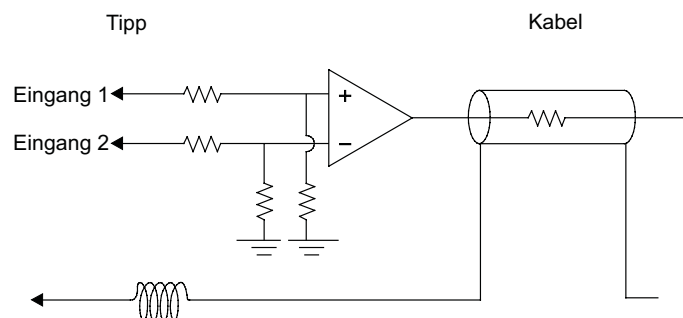
**Antwort: Der aktive Tastkopf TAP1500.**

## Differentialastköpfe

Passive und aktive Spannungstastköpfe messen die Spannung im Verhältnis zur Masse. Manchmal ist es erforderlich, die Differenz zwischen zwei Spannungsstärken zu messen, von denen keine geerdet ist. Diese „Differenzsignale“ beziehen sich auf einander anstatt auf die Masse. Beispiele für Differenzsignale sind Festplattenlesesignale, mehrphasige Netzsysteme und RS-422- und CAN-Datenkommunikationssignale.

In manchen Fällen können Sie Differenzsignale messen, indem Sie zwei Tastköpfe für die Durchführung massebezogener Messungen verwenden und dann mithilfe der mathematischen Funktionen des Oszilloskops einen Kanal vom anderen subtrahieren. Das funktioniert, wenn die Signale eine niedrige Frequenz aufweisen und ihre Amplitude groß genug ist, damit die Gefahr von Rauschen nicht besteht.

Dabei stellen sich jedoch auch einige Schwierigkeiten. Unterschiede in der Laufzeitverzögerung zwischen den Tastköpfen und den Oszilloskopkanälen führen zu einer Verzerrung der Signale. Insbesondere bei Hochgeschwindigkeitssignalen kann dies ein Problem darstellen und zu bedeutenden Fehlern bei der Amplitude und dem Timing führen. Zudem führt auch jede Differenz in der Verstärkung oder der Frequenzantwort zwischen den beiden Kanälen zu einer unvollständigen Tilgung von Gleichtaktstörungen oder einer Unterdrückung von Störungen, die etwa durch nahegelegene Taktzeilen oder Rauschen von externen Quellen wie z. B. Leuchtstofflampen auf beide Signalzeilen wirken.



**Abbildung 15: Schaltbild eines Differenzastkopfs.**

Ein Differenzastkopf nutzt, wie hier gezeigt, einen Differenzverstärker direkt im Tastkopf in der Nähe des Geräts, um die beiden Signale voneinander zu subtrahieren, was in einem einzigen Differenzsignal für Messungen durch einen Oszilloskopkanal resultiert. Aufgrund der übereinstimmenden Signalpfade innerhalb des Tastkopfs, kann ein Differenzastkopf ein sehr hohes DC-Gleichtaktunterdrückungsverhältnis (CMRR) über einen großen Frequenzbereich bieten.

Im Vergleich zum Subtrahieren der Messungen passiver Tastköpfe bieten aktive Differenzastköpfe die folgenden Vorteile:

- große Bandbreite
- großes DC-Gleichtaktunterdrückungsverhältnis (CMRR)
- minimale Verzerrung zwischen den Eingängen
- niedrige Eingangskapazität

Da es sich jedoch um aktive Tastköpfe handelt, weisen Differenzastköpfe im Vergleich zu passiven Tastköpfen die folgenden Nachteile auf:

- höhere Kosten
- begrenzter dynamischer Bereich
- geringere mechanische Widerstandsfähigkeit

In Abbildung 16 und 17 wird deutlich, dass die Form der Tastkopfspitze und auch das Zubehör speziell dafür ausgelegt ist, dass beide Eingänge übereinstimmen. Der kleinere Formfaktor (Abb. 16) ist für hohe Frequenzen und den Anschluss an mikroelektronische Geräte gedacht, während der in Abb. 17 gezeigte Tastkopf für hohe Spannungen und einen Anschluss an Hochleistungskomponenten gedacht ist.



**Abbildung 16: Differenzastköpfe TDP0500 und TDP1000 von Tektronix.**



**Abbildung 17: Hochspannungsdifferenzastkopf P5202 von Tektronix.**

## **Stromastköpfe**

Spannungstastköpfe können verwendet werden, um den Strom zu messen, der durch einen Schaltkreis fließt. Dies geschieht durch Messen des Spannungsabfalls (in der Regel eine Differenzmessung) über einen bekannten Widerstand (der dem Schaltkreis ggf. hinzugefügt werden muss). Sie müssen den Wert für die Spannung danach durch den Wert für den Widerstand teilen, um die Stromstärke zu errechnen.

Es gibt aber auch eine einfachere Möglichkeit, die Stromstärke zu messen: mit einem Stromastkopf. Der Stromfluss durch einen Kondensator erzeugt ein elektromagnetisches Feld um den Kondensator herum. Stromastköpfe sollen die Stärke dieses Feldes erkennen und sie in eine Spannungsstärke umwandeln, die von einem Oszilloskop gemessen werden kann. Dadurch können Sie Stromsignale mit einem Oszilloskop anzeigen und messen. In Kombination mit den Spannungsmessungsfunktionen eines Oszilloskops können Sie mit Stromastköpfen auch verschiedene Strommessungen durchführen.

Für Oszilloskope gibt es zwei Arten von Stromastköpfen: Wechselstromastköpfe (in der Regel passive Tastköpfe) und Gleichstrom-/Wechselstromastköpfe (in der Regel aktive Tastköpfe). Beide Typen erfassen Wechselstrom in einem Kondensator mithilfe des gleichen Umwandlungsprinzips. Gleichstrom-/Wechselstromastköpfe verfügen über ein zusätzliches Gerät, das Hall-Effekt-Gerät, um Gleichstrom zu erfassen, da Gleichstrom kein sich veränderndes Strömungsfeld erzeugt und daher keine Umwandlung verursachen kann.

Es gibt außerdem zwei Formfaktoren für Stromastköpfe: mit geteiltem Kern und mit festem Kern. Bei einem Stromastkopf mit festem Kern muss der zu messende Kondensator über den Kondensator des Tastkopftransformators gespeist werden, welcher daraufhin wieder mit dem Gerät verbunden wird. Der Vorteil eines Tastkopfs mit festem Kern ist die hochfrequente Antwort beim Messen sehr schneller Stromimpulse und Wechselstromsignale mit geringer Amplitude. Tastköpfe mit geteiltem Kern (s. u.) ermöglichen es dem Tastkopf, den Kondensator zu umschließen. Diese Tastköpfe bieten eine erheblich einfachere Verbindung mit den meisten Schaltkreisen.

Eine weitere wichtige Funktion einiger Stromastköpfe ist die automatische Skalierung. Mit Stromastköpfen wie den unten abgebildeten überträgt der Tastkopf die richtigen Skalierungsfaktoren und -einheiten, sodass das Oszilloskop die Signale und Messungen in den richtigen Einheiten (z. B. Ampere) anzeigt.

Wie Sie in den folgenden Abbildungen erkennen können, sind die Tastkopfspitzen mit geteiltem Kern so gestaltet, dass Sie sie um einen Kondensator herum festklammern können. Der Stromtastkopf mit kleinerem Formfaktor ist für Stromstärken bis zu 30 A eff/50 A<sub>peak</sub> und Frequenzen  $\geq 120$  MHz ausgelegt, wohingegen der andere abgebildete Tastkopf für höhere Stromstärken (bis zu 150 A eff/500 A<sub>peak</sub>) bei Frequenzen bis zu 20 MHz und einen Anschluss an viel größere Kondensatoren gedacht ist.



**Abbildung 18: Stromtastkopf TCP0030 von Tektronix.**



**Abbildung 19: Stromtastkopf TCP0150 von Tektronix.**

### Wichtige Punkte

1. Passive Tastköpfe sind relativ günstig und in mechanischer Hinsicht widerstandsfähig, sie haben jedoch in der Regel eine hohe Eingangskapazität.
2. Aktive Tastköpfe bieten eine geringe Eingangskapazität. Sie sind eine gute Lösung, um Hochfrequenzsignale oder Schaltkreise mit hoher Impedanz zu messen, da sie eine hohe Eingangsimpedanz über einen großen Frequenzbereich beibehalten können.
3. Ein Differenzastkopf bietet ein großes DC-Gleichtaktunterdrückungsverhältnis und minimale Verzerrung zwischen den Eingängen zum Messen von Differenzsignalen.
4. Ein Stromastkopf wird zum Messen von Strom verwendet. Einige Stromastköpfe können nur Wechselstrom erkennen. Zum Messen von Gleichstrom ist ein Gleichstrom-/Wechselstromastkopf erforderlich.

### Übung

1. Sie müssen die Spannung an einem Gerät messen, wobei keine Spannung geerdet ist. Welchen Tastkopftyp sollten Sie verwenden?

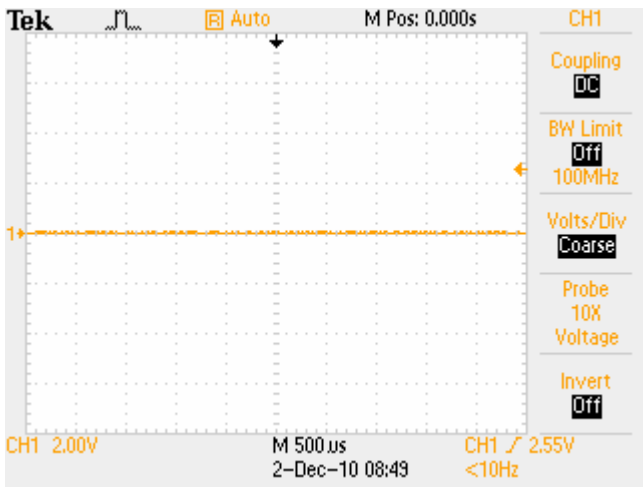
**Antwort: Einen Differenzspannungstastkopf.**

2. Sie müssen den Strom an einem Gerät messen. Welchen Tastkopftyp sollten Sie verwenden?

**Antwort: Einen Stromastkopf.**

3. Welchen Tastkopftyp müssen Sie verwenden, wenn Sie einen Hochfrequenzschaltkreis messen wollen?

**Antwort: Einen aktiven Tastkopf**

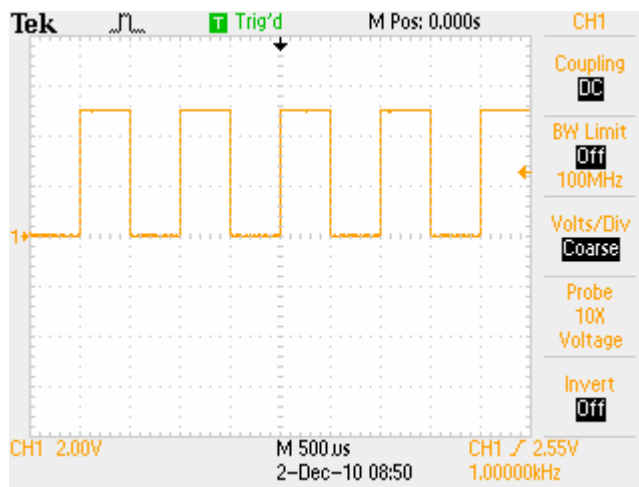
<b>Verwendung eines passiven Tastkopfs</b>	
<b>Einstellung der Tastkopfkompensation</b>	
1.	Die folgenden Schritte erklären das richtige Vorgehen zum Einstellen eines Oszilloskopastkopfs. Für eine optimale Signalgenauigkeit sollte dieses Verfahren jedes Mal ausgeführt werden, wenn der Tastkopf an das Oszilloskop angeschlossen wird.
a.	Schalten Sie das Oszilloskop ein. Drücken Sie hierfür oben links auf dem Gerät auf den Netzschalter.
b.	Drücken Sie auf dem Bedienfeld die Taste <b>Grundeinstellung</b> (Default Setup), um das Oszilloskop auf einen bekannten Zustand einzustellen.
c.	Verbinden Sie einen passiven 10fach-Tastkopf TPP0101 oder TPP0201 mit dem Eingang von Kanal 1. Um einen BNC-Anschluss anzuschließen, drücken und drehen Sie den Tastkopfstecker, bis er mit der Steckverbindung verbunden ist. Drehen Sie dann den Sicherungsring im Uhrzeigersinn, bis der Stecker einrastet.
2.	Damit das Oszilloskop korrekte Messungen durchführen kann, muss es die Dämpfung jedes Tastkopfs kennen. Einige Kombinationen aus Tastkopf und Oszilloskop stellen dies automatisch ein, bei anderen muss die Dämpfung manuell eingestellt werden.
a.	Drücken Sie die gelbe Taste <b>1</b> , um das Menü von Kanal 1 anzuzeigen.
b.	Stellen Sie sicher, dass die Anzeige seitlich auf dem Bildschirm <b>10fach</b> (10X) anzeigt (d. h. das Oszilloskop ist für einen 10fach-Tastkopf eingestellt).
	
c.	Schließen Sie den schwarzen Erdungsleiter an den Erdungsanschluss rechts unten am Oszilloskop an. Drücken Sie den breitesten Teil des Erdungsanschlusses zusammen, um die Krokodilklemme zu öffnen. Verbinden Sie ihn daraufhin mit dem Anschluss.
d.	Verbinden Sie die Tastkopfspitze mit dem <b>Tastkopfabgleichssignal</b> (Probe Comp) neben der Masse. Halten Sie den Tastkopf wie eine Spritze und ziehen Sie die Federspitze zurück, um die Hakenspitze des Tastkopfs freizulegen. Verbinden Sie ihn daraufhin mit dem Anschluss.
e.	Drücken Sie die Taste <b>Auto-Setup</b> (Autoset) auf dem Bedienfeld, um das Oszilloskop automatisch einzustellen.

3. Tastköpfe sind für die Eingänge bestimmter Oszilloskopmodelle ausgelegt. Es gibt jedoch leichte Unterschiede zwischen den Oszilloskopen und sogar zwischen verschiedenen Eingangskanälen in einem Oszilloskop. Um diese Unterschiede zu minimieren, müssen Sie einen passiven Tastkopf jedes Mal „kompensieren“, wenn Sie den Tastkopf/Kanalanschluss Ihres Oszilloskops ändern. Die Kompensation ist das Verfahren zum manuellen Einstellen der Wechselstromdämpfung durch Einstellen des Kapazitätenverhältnisses, das sich parallel zum Dämpfungswiderstand des Tastkopfs verhält.

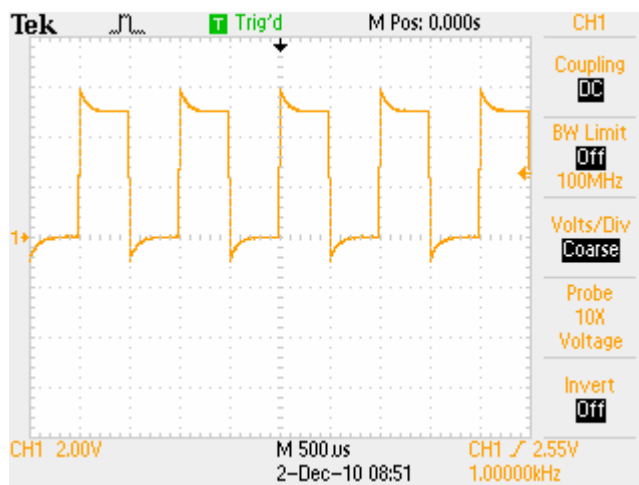
a. Verwenden Sie das mitgelieferte Einstellwerkzeug oder einen anderen nicht magnetischen Schraubendreher.

b. Stecken Sie das Tastkopfeinstellwerkzeug in die kleine Öffnung im Tastkopfkörper bei der Stelle, wo der Tastkopf mit dem BNC-Eingangsanschluss des Oszilloskops verbunden ist.

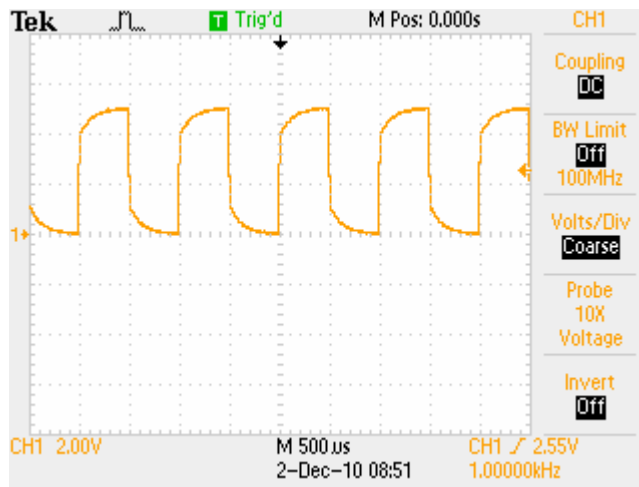
c. Drehen Sie das Einstellwerkzeug langsam, bis das Oszilloskop das oben abgeflachte Kalibrierungssignal ohne Überschwingung oder Abrundung anzeigt.



d. Ein überkompensierter Tastkopf sieht etwa folgendermaßen aus:



e. Ein unterkompensierter Tastkopf sieht etwa folgendermaßen aus:



<b>Wichtige Punkte</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Um die Belastung eines Tastkopfs auf einen Signalprüfpunkt zu verringern, muss die auf den Oszilloskopeingang übertragene Signalamplitude verringert oder gedämpft werden.</li> <li>2. Damit das Oszilloskop korrekte Messungen durchführen kann, muss es die Dämpfung jedes Tastkopfs kennen. Bei einigen Kombinationen aus Tastkopf und Oszilloskop muss dies manuell durchgeführt werden.</li> <li>3. Sie müssen einen passiven Tastkopf jedes Mal „kompensieren“, wenn Sie den Tastkopf/Kanalanschluss Ihres Oszilloskops ändern. Die Kompensierung erfolgt, indem der Tastkopf an ein Rechtecksignal angeschlossen wird. Daraufhin wird die Form des Signals an ein Rechtecksignal angepasst.</li> </ol>
<b>Verschiedene Messmethoden</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie Sie einen Tastkopf an einen Schaltkreis anschließen können. Beim Anschluss vieler Prüfpunkte, bei Rechteckstiftanschlüssen und einzelnen Drähten funktioniert es ganz gut, wenn Sie die Federspitze verwenden. Treten Probleme mit einem Schaltkreis auf, ist es häufig einfacher, einen spitzen Testpunkt zu verwenden. Dadurch können Sie die Tastkopfspitze genau auf einem Feinraasterbauteil positionieren, wie in den folgenden Schritten erklärt. <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Trennen Sie die Tastkopferdung vom Erdungsanschluss.</li> <li>b. Entfernen Sie die Tastkopfspitze vom Signalanschluss für den <b>Tastkopfabgleich</b> (Probe Comp).</li> <li>c. Ziehen Sie leicht an der Tastkopfspitze, bis Sie das Ende herausgezogen haben.</li> <li>d. Schließen Sie den Erdungsleiter des Tastkopfs wieder an den Erdungsanschluss an.</li> <li>e. Berühren Sie mit der spitzen Tastkopfspitze das <b>Tastkopfabgleichssignal</b> (Probe Comp) und stellen Sie sicher, dass das gleiche Signal auch auf der Anzeige angezeigt wird.</li> <li>f. Drücken Sie die Tastkopfspitze wieder auf den Tastkopf.</li> <li>g. Schließen Sie die Tastkopfspitze von Kanal 1 wieder an das <b>Tastkopfabgleichssignal</b> (Probe Comp) an.</li> </ol> </li> <li>2. Stellen Sie unbedingt sicher, dass der Tastkopf das Signal nicht zu stark belastet. Dies ist möglich, indem Sie das Signal beobachten, während ein zweiter Tastkopf angeschlossen wird. Beachten Sie in den folgenden Schritten, dass sich die Anzeige praktisch nicht verändert, wenn Sie mit dem Kanal-2-Tastkopf das Tastkopfabgleichssignal (Probe Comp) berühren. Dies deutet darauf hin, dass der zweite Tastkopf das Signal nicht deutlich belastet. <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Verbinden Sie einen weiteren passiven Tastkopf TPP0101 oder TPP0201 mit dem Eingang von Kanal 2.</li> <li>b. Schließen Sie den schwarzen Erdungsleiter von Kanal 2 an den Erdungsanschluss auf der Vorderseite des Oszilloskops (unten in der Mitte) an.</li> <li>c. Berühren Sie mit der Tastkopfspitze von Kanal 2 das <b>Tastkopfabgleichssignal</b> (Probe Comp).</li> <li>d. Die Anzeige verändert sich praktisch nicht, wenn Sie mit dem Kanal-2-Tastkopf das Tastkopfabgleichssignal (Probe Comp) berühren. Dies deutet darauf hin, dass der zweite Tastkopf das Signal nicht deutlich belastet.</li> </ol> </li> </ol>
<b>Wichtige Punkte</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um einen Tastkopf an einen Schaltkreis anzuschließen.</li> <li>2. Beim Anschluss vieler Prüfpunkte, bei Rechteckstiftanschlüssen und einzelnen Drähten ist die Federspitze eine gute Lösung.</li> <li>3. Treten Probleme mit einem Schaltkreis auf, ist es häufig einfacher, einen spitzen Testpunkt zu verwenden. Dadurch können Sie die Tastkopfspitze genau auf einem Feinraasterbauteil positionieren.</li> <li>4. Stellen Sie zudem auch unbedingt sicher, dass der Tastkopf das Signal nicht zu stark belastet. Dies ist möglich, indem Sie das Signal beobachten, während ein zweiter Tastkopf angeschlossen wird.</li> </ol>



## Abschlussübung

1. Ein Oszilloskopastkopf ist:
- nur ein Draht.
  - in der Regel nur ein Koaxialkabel.
  - ein vollständiger Schaltkreis, bestehend aus passiven und ggf. auch aktiven elektronischen Komponenten.
  - bei den meisten Messungen nicht erforderlich.

**Antwort: c**

2. Bei der Auswahl des Oszilloskopastkopfs beachten Sie Folgendes:
- Sie verwenden den Tastkopf, der bereits am Oszilloskop angeschlossen ist.
  - Sie wählen ausgehend von der Impedanz des Schaltkreises und der Frequenz und Amplitude des Signals den richtigen Tastkopf aus.
  - Sie nehmen einfach den erstbesten Tastkopf, den Sie finden.
  - Sie lenken die Person neben sich ab und schnappen sich ihren Tastkopf.

**Antwort: b**

3. Oszilloskope werden durch Folgendes charakterisiert:
- die Bandbreite
  - die maximale Spannung
  - die Eingangskapazität
  - Alle Aussagen treffen zu.

**Antwort: d**

4. Tastköpfe können angeschlossen werden an verschiedene:
- Prüfpunkte.
  - Anschlüsse.
  - Anschlüsse von Bauteilen.
  - Alle Aussagen treffen zu.

**Antwort: d**

5. Tastköpfe können die Qualität elektronischer Messungen folgendermaßen beeinträchtigen:
- Sie können die Gleichstrombelastung aufgrund des Eingangswiderstands des Tastkopfs verstärken.
  - Sie können die Wechselstrombelastung aufgrund der Eingangskapazität des Tastkopfs verstärken.
  - Sie verändern aufgrund der Bandbreite des Tastkopfs die Signalform.
  - Alle Aussagen treffen zu.

**Antwort: d**

Tektronix-Produkte sind durch erteilte und angemeldete US- und Auslandspatente geschützt. Die Informationen in dieser Broschüre machen Angaben in allen früheren Unterlagen hinfällig. Änderungen der Spezifikationen und der Preisgestaltung vorbehalten. TEKTRONIX und TEK sind eingetragene Marken der Tektronix, Inc. Alle anderen in diesem Dokument aufgeführten Handelsnamen sind Dienstleistungsmarken, Marken oder eingetragene Marken ihrer jeweiligen Inhaber.

001-1538-00

