

# Die I07-Elektronik-AG

## Kapitel 4 – Wechselstrom

Lars-Chr. Schulze, DC0BM    Ulrich Biester, DK7AU

Version 1.0

# Wechselstrom

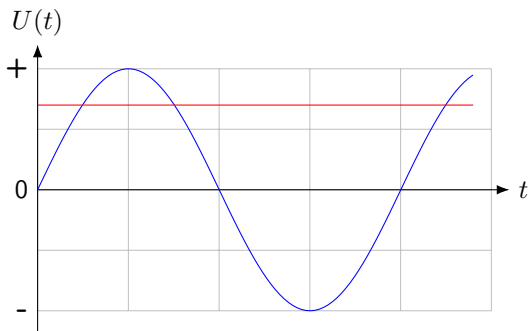
## Was ist Wechselstrom I

- Bislang hatten wir nur mit Stromquellen zu tun, bei der die Polarität der Ausgänge immer gleich war. Das war die *Gleichspannung*.
- Ein **Verpolen** der Spannungsversorgung hätte außerdem für die meisten unserer Schaltungen **fatale Folgen** gehabt.
- Es gibt jetzt aber auch die Möglichkeit, dass sich die Polarität der Ausgänge einer Spannungsquelle periodisch ändert.
- Aus + wird -, aus - wird + und wieder zurück.
- Die Spannung schwingt dann wie eine Schaukel hin und her. In diesem Fall spricht man von **Wechselspannung**.
- Das mag jetzt merkwürdig klingen, ist aber ein natürlicher Effekt.
- Ein Stromgenerator, wie z. B. die *Lichtmaschine* im Auto oder ein *Fahrrad-Dynamo*, erzeugt von sich aus erst einmal Wechselspannung.
- Wechselspannung (oder Wechselstrom) wird auch mit **AC** („Alternating Current“) bezeichnet, im Gegensatz zur Gleichspannung, welche mit **DC** („Direct Current“) bezeichnet wird.

# Wechselstrom

## Was ist Wechselstrom II

- Es ist jetzt aber (in den meisten Fällen) aber nicht so, dass die Spannung schlagartig hin- und herspringt, sondern die Spannung steigt langsam bis zu ihrem Höchstwert an, um dann wieder bis auf Null abzufallen.
- Dann wechselt die Polarität und die Spannung steigt langsam bis zu ihrem negativen Höchstwert an und geht dann wieder auf Null zurück.



# Wechselstrom

## Was ist Wechselstrom III

- Wie in dem Diagramm zu sehen ist, schwingt die Spannung wie eine Schaukel zwischen ihrem positiven und negativen Maximalwert hin und her (blaue Kurve).
- Mathematisch schreibt man hierfür  $U(t)$ .
- Gesprochen wird das „U von t“ und soll andeuten, dass die Spannung nicht konstant, sondern von der Zeit abhängig ist.
- Der in dem Diagramm dargestellte Verlauf der Spannung entspricht einer sog. **Sinus**schwingung.
- Die Sinusschwingung ist in der Technik von großer Bedeutung.
- Sog. **Signalgeneratoren** können aber auch andere Kurvenformen, wie z. B. **Dreieck** oder **Sägezahn**, erzeugen.
- Zum Vergleich ist in dem Diagramm in roter Farbe nochmal der Verlauf einer Gleichspannung eingetragen.
- Man erkennt, dass die Gleichspannung konstant, also von der Zeit unabhängig ist.

## Die Frequenz

Was ist eine **Frequenz**?

Wer hat den Begriff schon mal gehört?

# Wechselstrom

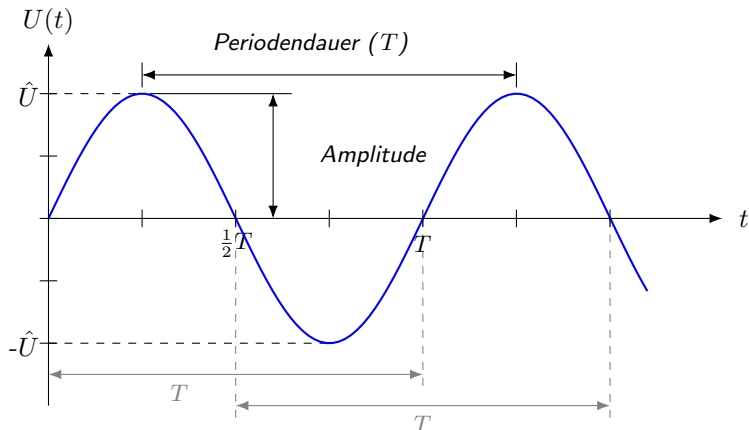
## Einschub - Was ist eine Frequenz I

- Mit **Frequenz** bezeichnet man ganz allgemein eine **Anzahl** von **Ereignissen in einer bestimmten Zeit**.
- Dies können z. B. Wasserwellen sein, die pro Minute an den Strand laufen.
- Oder auch die Anzahl von Autos, die in einer Minute oder einer Stunde vor Eurem Haus vorbeifahren.
- Ein anderes Beispiel wäre die Schaukel.
- In Wissenschaft und Technik wird als Bezugszeitraum meist eine Sekunde (1s) angenommen.
- In diesem Fall wird die Frequenz dann in **Hertz** angegeben, zu Ehren des Physikers **Heinrich Hertz**.
- Es sind auch andere Zeitangaben möglich, z. B. findet Weihnachten ein Mal im Jahr statt.
- Das entspräche dann ca. 0,0000000317 Weihnachten pro Sekunde. Diese Angabe ist doch aber eher unhandlich 😊.

# Wechselstrom

## Wechselstrom reloaded I

- Mit diesem Wissen sehen wir uns das Diagramm mit der Schwingung noch einmal an.



# Wechselstrom

## Wechselstrom reloaded II

- Der maximale Wert der Spannung (oder die maximale Auslenkung der Schaukel) wird als **Amplitude** bezeichnet.
- In der Technik kennzeichnet man dieses durch ein kleines Dreieck über dem Formelsymbol, im Falle einer Spannung also  $\hat{U}$ , gesprochen „U Dach“.
- Die Zeit, die für eine vollständige Schwingung benötigt, wird als **Periodendauer** bezeichnet.
- Die Periodendauer ist der zeitliche Abstand zwischen zwei gleichen Punkten der Schwingung, also z. B. zwei positiven Maximalauslenkungen, oder zwei negativen Maximalauslenkungen.
- Periodendauer und Frequenz stehen in einem festen Verhältnis zueinander. Will man jetzt die zu einer Periodendauer gehörende **Frequenz** berechnen, so ist dies einfach der Kehrwert.

$$f = \frac{1}{T}$$

- Das Formelsymbol für die Frequenz ist das kleine  $f$ , die Einheit ist **Hertz**, was im Prinzip „pro Sekunde“ ( $\frac{1}{s}$ ) bedeutet.

### Beispiel:

- Unsere Schaukel schwingt innerhalb einer halben Sekunde ein Mal hin und her.
- Dann haben wir eine Periodendauer von  $T = 0.5 \text{ s}$ .
- Es ist leicht einzusehen, dass wir dann zwei Schwingungen pro Sekunde schaffen, also beträgt die Frequenz

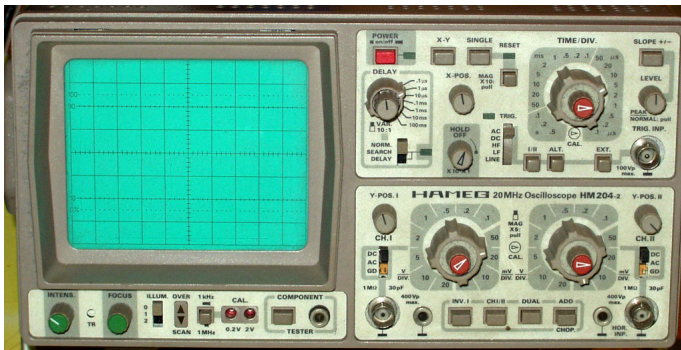
$$f = \frac{1}{T} = 1 : 0.5 \text{ s} = 2 \text{ Hz}$$

# Wechselstrom

## Wechselstrom – Vor- und Nachteile I

- Sowohl Gleich- als auch Wechselspannung haben in der Technik ihre Bedeutung.
- Gleichspannung wird zur Versorgung der meisten elektronischen Schaltungen benötigt.
- Auf der anderen Seite ist Wechselstrom für unser Stromnetz unverzichtbar, da sich Wechselstrom einfach (mittels eines Trafos) transformieren, d. h. in der Spannung verändern, lässt.
- Unser Stromnetz basiert auf Wechselspannung mit 230 Volt und 50 Hz.
- Allerdings ist die Strecke, über die sich Wechselstrom übertragen lässt, begrenzt.
- Durch hochfrequenzähnliche Effekte fließt die Energie über lange Strecken hinweg gegen die Erde ab.
- Selbst bei verlustfreien Leitungen kommt bei einer Wechselspannung nach 300 bis 400 km nichts mehr von der eingespeisten Energie an.
- Daher verwendet man für die „Stromautobahnen“ auch Gleichspannung.

# Das Oszilloskop



# Wechselstrom

## Das Oszilloskop I

- Wie kann man jetzt zeitlich veränderliche Signale messen?
- Unsere normalen Multimeter können zwar Spannungen, Ströme und Widerstände messen, den **zeitlichen** Verlauf einer Spannung oder eines Stroms können sie aber nicht darstellen.
- Um den zeitlichen Verlauf eines sich verändernden Signals darstellen zu können, wird ein **Oszilloskop** benötigt.
- Früher wurde hierfür eine sog. **Kathodenstrahlröhre** verwendet.
- Heute sind auch Oszilloskope meist digital.
- Die Funktionsweise lässt sich aber an der Röhrenversion deutlich einfacher erläutern.

# Wechselstrom

## Das Oszilloskop II

### Aufbau einer Oszillographen-Röhre

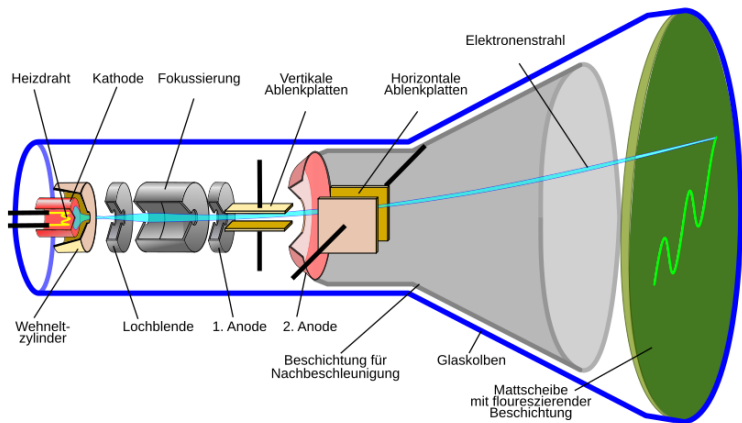


Bild von Wikipedia [4].

Deutsche Beschriftung von DC0BM.

# Wechselstrom

## Das Oszilloskop III

- Bei der **Kathodenstrahlröhre** handelt es sich (wie bei allen Röhren) um einen luftleeren Glaskolben.
- Durch einen glühenden Heizdraht, die **Kathode**, werden Elektronen freigesetzt.
- Die Kathode ist umgeben von einem negativ geladenen Metallzylinder, dem **Wehneltzylinder**, benannt nach seinem Entwickler.
- Dieser Zylinder ist negativ geladen, wodurch um die Kathode herum eine große Elektronenwolke erzeugt wird.
- Durch die weiter vorne im Röhrenhals angebrachten, positiv geladenen Anoden werden jedoch einige Elektronen durch das Loch im Wehneltzylinder abgesaugt.
- Wir haben einen **Elektronenstrahl** erzeugt (in der Abbildung hellblau dargestellt).
- Nach Durchlaufen der Fokussierelektroden wird der Elektronenstrahl durch zwei Paar **Ablenkplatten** geschickt. Mit diesen Ablenkplatten kann die Richtung des Elektronenstrahls beeinflusst werden.
- Das eine Paar ist für horizontale Ablenkung zuständig, das andere Paar für die vertikale Ablenkung.

# Wechselstrom

## Das Oszilloskop IV

- Da sich gleiche Ladungen abstoßen und ungleiche Ladungen anziehen, kann damit die Richtung des Elektronenstrahls beeinflusst werden.
- Legt man z. B. an die **obere** Ablenkplatte eine **positive** Spannung und an die **untere** Ablenkplatte eine **negative** Spannung, wird der Elektronenstrahl nach **oben** abgelenkt.
- Vertauscht man die Polaritäten, wird der Elektronenstrahl nach **unten** abgelenkt.
- Das Gleiche gilt sinngemäß für die horizontalen Ablenkplatten.
- Auf diese Weise kann der Elektronenstrahl beliebig in zwei Richtungen abgelenkt werden.
- Auf der Vorderseite der Röhre trifft der Elektronenstrahl dann auf eine fluoreszierende Schicht, die **Mattscheibe**.
- Diese wandelt die **Bewegungsenergie** der Elektronen in **Licht** um. Man sieht dann einen leuchtenden Punkt.

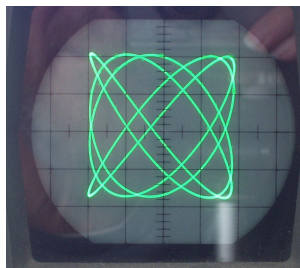
# Wechselstrom

## Das Oszilloskop V

- Wird der Elektronenstrahl durch eine geeignete Steuerspannung schnell hin und her bewegt, können auf der Mattscheibe Linien und Kurven gezeichnet werden.
- Normalerweise wird der Elektronenstrahl in der Horizontalen **langsam** von **links nach rechts** bewegt.
- Wenn der Elektronenstrahl am rechten Rand angekommen ist, wird er **schnell** wieder an den **linken Rand** zurückbewegt.
- An die **senkrechten Ablenkplatten** legt man (über einen Verstärker) das **zu untersuchende Signal**, und das Oszilloskop zeichnet dann genau die Diagramme, wie sie auf den vorherigen Folien dargestellt wurden.
  - Dies war übrigens auch das Prinzip der Fernsehöhren, auch wenn diese im Detail etwas anders aufgebaut waren.
  - Bewegt man den Elektronenstrahl relativ schnell von links nach rechts und zurück, dabei langsam von oben nach unten und ändert die Helligkeit des Strahl, so kann man damit ein Bild darstellen.

### Lissajous-Figuren

- Das Oszilloskop ist nicht nur ein nützliches Messinstrument, sondern man kann auch einige „Spieleereien“ damit machen.
- Am bekanntesten sind hier wohl die **Lissajous-Figuren** [5].
- Lissajous-Figuren dienen aber nicht nur zur Belustigung, sondern sie werden auch messtechnisch eingesetzt.



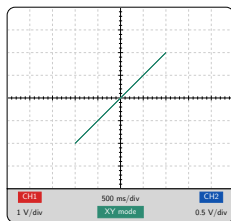
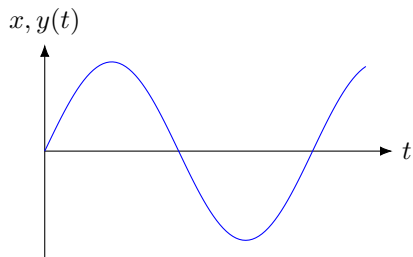
### Wie entstehen Lissajous-Figuren

- Im normalen Betrieb eines Oszilloskops läuft der Elektronenstrahl automatisch von links nach rechts und wieder zurück.
- Es ist bei den meisten Oszilloskopen aber auch möglich, diese in den sog. **X-Y-Modus** zu schalten.
- Das bedeutet, dass nicht nur die Ablenkung des Elektronenstrahls in senkrechter Richtung von außen durch ein Signal gesteuert wird, sondern auch die Ablenkung in horizontaler Richtung.
- Damit lassen sich jetzt beliebige Muster auf die Mattscheibe schreiben.

# Wechselstrom

## Lissajous-Figuren

- Betrachten wir zunächst den Fall, dass wir das **gleiche** Signal sowohl auf die waagrechte (X) als auch auf die senkrechte (Y) Ablenkung geben.
- Da der Elektronenstrahl jetzt in beiden Richtungen immer gleich abgelenkt wird, schreibt er eine schräge Linie in einem Winkel von  $45^\circ$  auf den Bildschirm<sup>1</sup>.

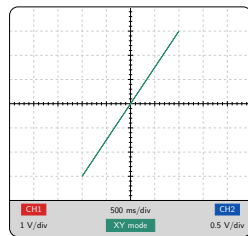
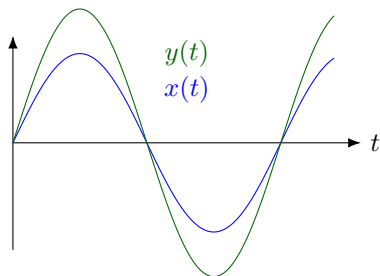


<sup>1</sup>Vorausgesetzt, die Verstärkung ist in beiden Kanälen des Oszilloskops die gleiche. Dies ist manchmal etwas knifflig einzustellen.

# Wechselstrom

## Lissajous-Figuren

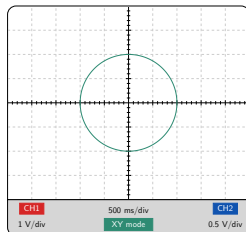
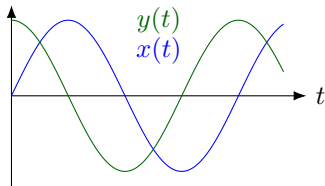
- Jetzt legen wir an die senkrechten Ablenkplatten eine größere Spannung an als an die horizontalen.
- Die Linie wird jetzt steiler.



# Wechselstrom

## Lissajous-Figuren

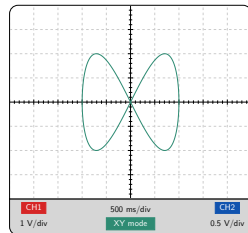
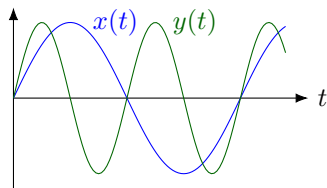
- Im vorherigen Beispiel haben wir zwei Signale unterschiedlicher Stärke auf die beiden Ablenkplatten gegeben.
- Die beiden Signale schwingen aber **gemeinsam** hin und her. Ihre **Maxima** und **Minima** waren zum **gleichen Zeitpunkt**.
- Man sagt dazu, die beiden Signale sind **in Phase**.
- Jetzt **verschieben** wir das eine Signal gegenüber dem anderen, und zwar um genau ein Viertel der Periodendauer  $T$ .
- Das Ergebnis ist jetzt ein Kreis!



# Wechselstrom

## Lissajous-Figuren

- In unserem letzten Beispiel haben beide Signale die gleiche Stärke (Amplitude), aber das Signal für die senkrechte Ablenkung hat die doppelte Frequenz.
- Jetzt erhalten wir eine liegende Acht.



- Durch Veränderung der Amplitude, der Frequenz oder der Phase zwischen den beiden Signalen lassen sich viele unterschiedliche Muster erzeugen.
- Viele Beispiele zu Lissajous-Figuren mit Animationen findet man auch auf Wikipedia [5].

# Wechselstrom I

## Referenzen

- [1] Der Deutsche Amateur-Radio-Club e.V.: [www.darc.de](http://www.darc.de)
- [2] Die Webseite des OV I07: [www.amateurfunk-leer.de](http://www.amateurfunk-leer.de)
- [3] Verband der Funkamateure in Telekommunikation und Post e.V. (früher: Vereinigung der Funkamateure der Deutschen Bundespost): [www.vfdb.org](http://www.vfdb.org), [z31.vfdb.org](http://z31.vfdb.org)
- [4] Wikipedia: Schemazeichnung einer Oszillografenröhre. Verwendung gemeinfrei gem.  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%A3%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE\\_%D0%BE%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9\\_%D0%AD%D0%9B%D0%A2.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%A3%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%BE%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%AD%D0%9B%D0%A2.svg)  
( [Устройство\\_осциллографической\\_ЭЛТ.svg](#) )
- [5] <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Lissajous-Figur&oldid=260133876>

© Alle Rechte beim DARC OV I07 bzw. den Autoren. Für Ausbildungs- und Lehrzwecke frei verwendbar.  
Die gewerbliche oder kommerzielle Nutzung bedarf der schriftlichen Genehmigung.

Nicht referenzierte Bilder von DJ1FC oder vom Author.

Version 1.0, April 2026. Dokument erstellt mit L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X unter Verwendung der Pakete TikZ, CircuiTikZ und Beamer.