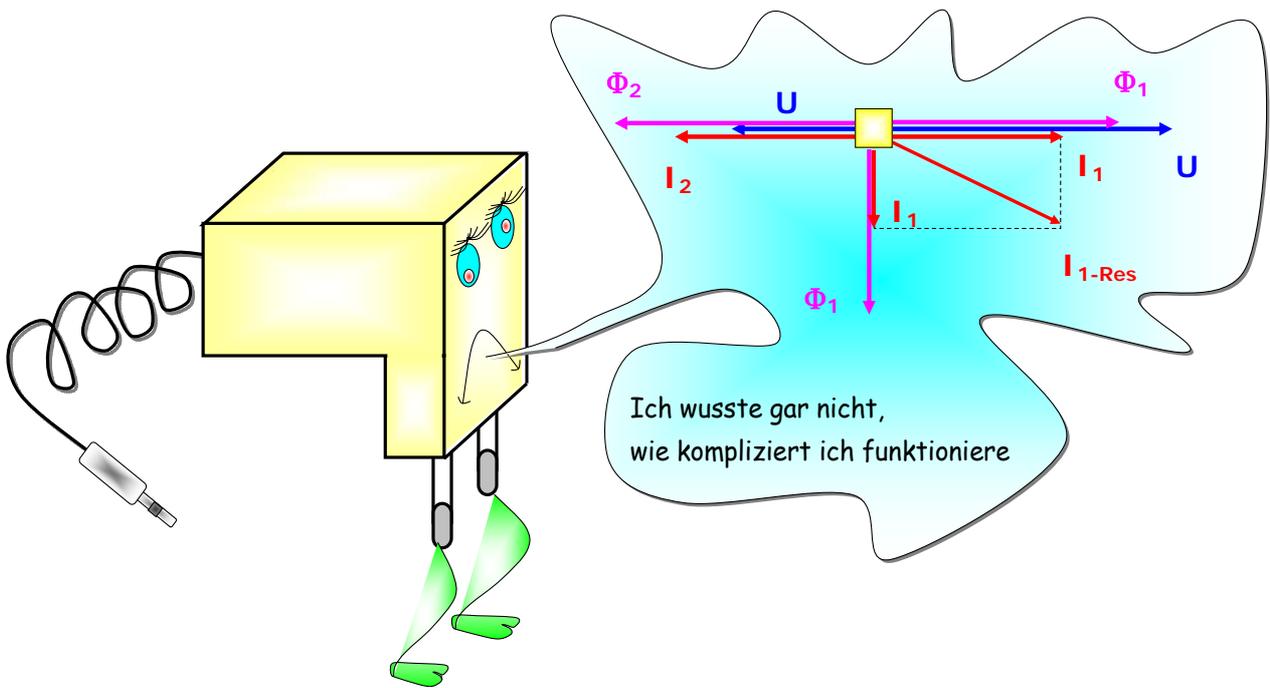


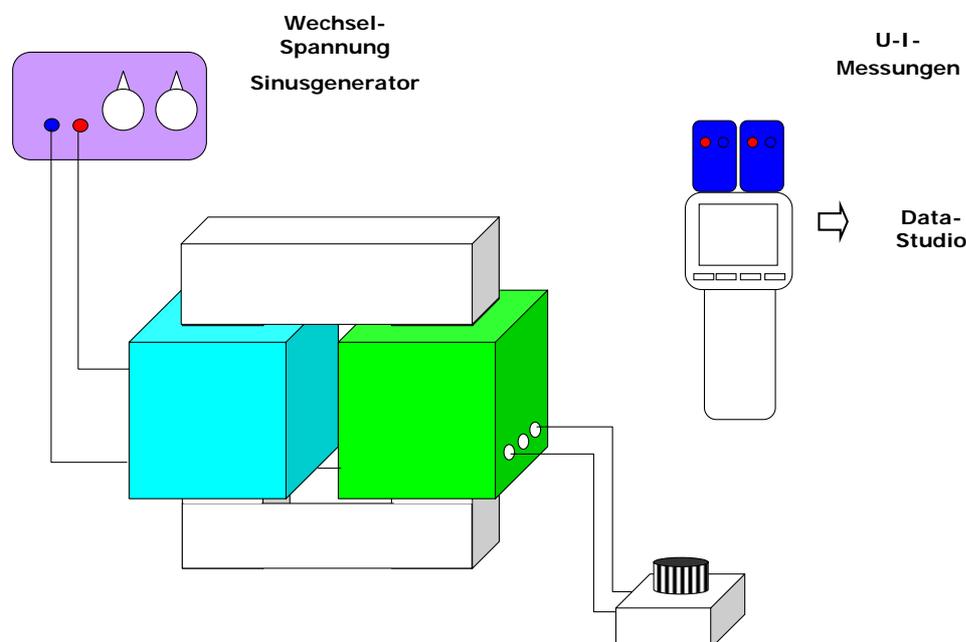
Transformator

TRANSFORMATOR	1
ÜBERBLICK	3
Lernziele.....	3
EXPERIMENT	4
Voraussagen.....	4
Geräteausstattung	4
Arbeitsauftrag.....	4
SCHÜLERANTWORTBLATT TRANSFORMATOR.....	5
TIPPS	6
DIDAKTISCHE HINWEISE	7
WEITERE TRAFOVERSUCHE	8
Trafo-Versuch 01.....	8
Trafo-Versuch 02.....	9
Trafo-Versuch 03.....	10
Lösungsvorschläge:	14
Trafoversuche.....	13



Überblick

- **Zeitbedarf:** 2 Unterrichtsstunden (ca 90 Minuten)
- **Klassenstufe:** 11 -12
- **Schwierigkeitsgrad:** 7



Kern:

Der Transformator wird mit seiner Primärseite an einen hinreichend leistungsstarken Sinusgenerator angeschlossen. Die Sekundärseite wird mit einem Potentiometer belastet ... Der Widerstandswert richtet sich nach den Windungsverhältnissen. Mit einem U-I-Sensor werden verschiedene Messungen am Trafo ausgeführt und analysiert.

Achtung: Die Stromstärke darf beim U-I-Sensor den Wert von 1A nicht überschreiten! Die Spannung muss unter 10V liegen!

Beschreibung

- Mit zwei U-I-Sensoren werden die Sekundär und Primärspannungen und Ströme bestimmt.
- Die Energiestromstärken auf der Primär- und Sekundärseite werden als berechneten Größen ausgegeben.
- Mit einem Magnetfeldsensor in einem Luftspalt kann die magnetische Flussdichte bestimmt werden ... allerdings ist mit dem Luftspalt eine schlechtere Anpassung verbunden.
- Die Messwerte werden bei unterschiedlicher Belastung der Sekundärseite aufgenommen.
- Die Phasenbeziehungen der Sensordaten werden analysiert.

Man muss darauf achten, dass die Spannungen unter 10V und die Stromstärken unter 1A bleiben.

Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler

- vertiefen ihr Verständnis bzgl. der Lorentzkraft.
- wenden die „Galileische Methode“ in diesen Experimenten an und lernen die naturwissenschaftliche Arbeitsweise (→ Hypothesen, Modellvorstellungen führen zu → Vorhersagen → die in Experimenten falsifiziert oder verifiziert werden → usw. ...)
- lernen den Einsatz eines Computer-Mess-Erfassungs – UND Auswertungs-Systems.

Experiment

Voraussagen

Die Teams beantworten das Schüler-Antwort-Blatt als Hausaufgabe. Im Sinne der so genannten „Galileischen Methode“ (Experimente sind immer theoriegeleitet) – im Sinne der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise (... auf der Basis von Hypothesen, Modellvorstellungen und schon vorhandenen Theorien werden Vorhersagen formuliert; im Experiment werden diese Vorhersagen falsifiziert oder verifiziert) – ist es wesentlich, dass die verbale Beschreibung und die Vorhersagen formuliert wurden, bevor die Messung durchgeführt wird.

Geräteausstattung

- Xplorer-GLX
- 2 U-I-Sensoren
- Transformator mit Eisenkern, Primär- und Sekundärspule
- Sinusgenerator hinreichender Leistung
- Schüler-Antwortblatt

Arbeitsauftrag

Vor der Messung mit dem Messerfassungssystem beantworten Sie bitte den Teil des **Schüler-Antwortblattes**, der sich mit den Vorhersagen befasst.

- [01] Sie überlegen mit Ihrem Team, welche Messungen „rund um den Trafo“ interessant sein könnten.
- [02] Machen Sie passende Vorhersagen zu Ihren Messvorhaben!
- [03] Überprüfen Sie Ihre Vorhersagen im Experiment.
- [04] Analysieren Sie die Ergebnisse! Wie passen Sie zu den vorhandenen oder „deduktiv abgeleitete“ Vorstellungen“.

[A] Definitionen – Begriffe

- [A.01]** Was versteht man unter der physikalischen Größe „Flussdichte“?
- [A.02]** Was versteht man unter „Induktion“?
- [A.03]** Wozu benötigt man einen Trafo bei der Übertragung von elektrischer Energie über weite Strecken?
- [A.04]** Axel geht von folgender Gleichung aus: $P=U \cdot I$ mit $I = U/R$ bekommt er $P = U^2/R$. Daraus schließt er, dass er die Spannung reduzieren muss, damit die Verluste bei der Übertragung kleiner werden. Also will er die elektrische Energie bei möglichst kleiner Spannung übertragen.
- Christina meint, dass Axel durch die Reduktion der Speisespannung die Verluste längs der Übertragungsleitung tatsächlich senken kann. ABER, man könnte doch auch folgendermaßen argumentieren: $P=U \cdot I$ und mit $U = I \cdot R$ bekommt man $P = I^2 \cdot R$. Also muss man logischer Weise die Stromstärke reduzieren, damit die Verluste längs der Übertragungsleitung sinken.
- Diskutiere in deinem Team diese Standpunkte → Welche Lösung findet ihr?
- [A.05]** Welche Phasenverhältnisse erwarten Sie zwischen den hier auftretenden relevanten physikalischen Größen?

[B] Vorhersagen (im Sinne der Galileischen Methode)

- [C.01]** Planen Sie Experimente „rund um den Trafo“ und
- [C.02]** formulieren Sie dazu passende Vorhersagen!
- [C.03]** Wie kann man den hier zu untersuchenden Zusammenhang als Formel darstellen?

[C] Messung

- [C.01]** Führen Sie die Messung durch!
- [C.02]** Vergleichen Sie mit Ihren Vorhersagen

[D] Folgerungen – Analyse

- [D.01]** Analysieren Sie Ihre Messdaten
- [D.02]** Diskutieren Sie das Ergebnis ... mögliche Fehleranalyse

Tipps

Axel geht von folgender Gleichung aus: $P=U \cdot I$ mit $I = U/R$ bekommt er $P = U^2/R$. Daraus schließt er, dass er die Spannung reduzieren muss, damit die Verluste bei der Übertragung kleiner werden. Also will er die elektrische Energie bei möglichst kleiner Spannung übertragen.

Christina meint, dass Axel durch die Reduktion der Speisespannung die Verluste längs der Übertragungsleitung tatsächlich senken kann. ABER, man könnte doch auch folgendermaßen argumentieren: $P=U \cdot I$ und mit $U = I \cdot R$ bekommt man $P = I^2 \cdot R$. Also muss man logischer Weise die Stromstärke reduzieren, damit die Verluste längs der Übertragungsleitung sinken.

In den Überlegungen von Axel und Christina steckt der Fehler, dass zwischen dem Lastwiderstand am Ende der Übertragungsstrecke und dem Leitungswiderstand auf dem Übertragungsweg nicht unterschieden wird.

Natürlich werden die Verluste auf dem Übertragungsweg in beiden Fällen geringer - ALSO auch bei der Reduktion der Spannung, DENN durch die Reduktion der Spannung sinkt selbstverständlich die Stromstärke in der Übertragungsleitung und damit auch die Verlustleistung. ABER, diese Lösung ist nicht sehr „sinnvoll“, denn der Sinn einer Übertragungsleitung ist die Übertragung einer „großen Energie“. Bei der Lösung von Christina wird die Stromstärke reduziert – UND damit man bei kleiner Stromstärke eine große Energiestromstärke erhält, muss man die Spannung entsprechend erhöhen. Vielleicht helfen folgende zwei „U-Ideen“, diese Verhältnisse deutlich zu machen:

Idee A: Will man bei gleichen Verlusten längs der Übertragungswege die Ausgangsleistung um den Faktor 1000 steigern, muss man den Strom durch die Übertragungsleitungen konstant halten und die Spannung um den Faktor 1000 steigern. Bei gleicher Stromstärke in den Übertragungsleitungen ist die gleiche Potenzialdifferenz längs der Übertragungsleitung notwendig – also bleibt der Verlust konstant.

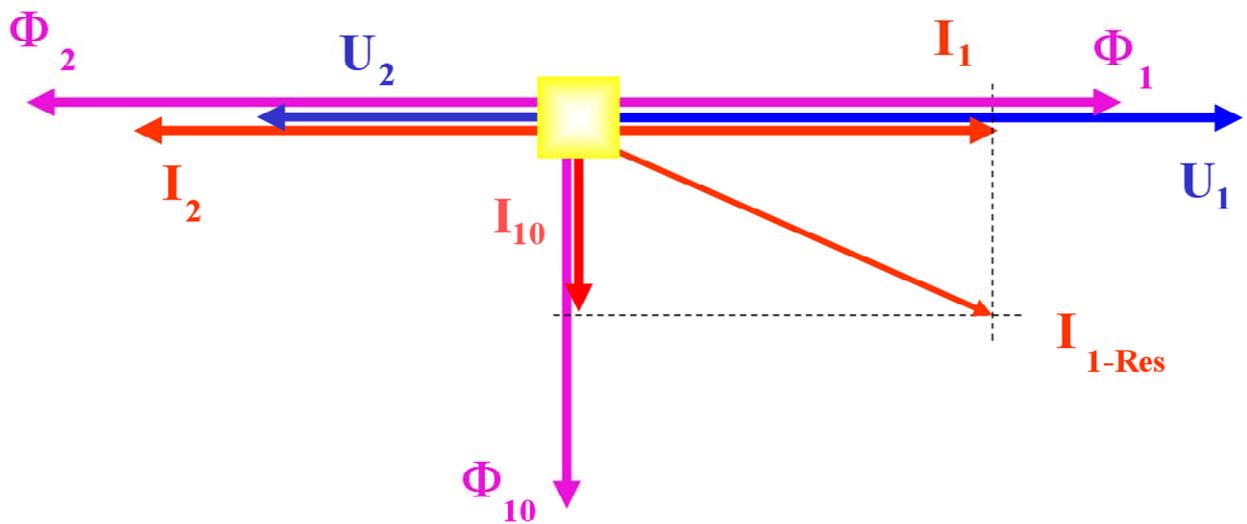
Idee B: Will man die Verluste längs der Übertragungsleitungen senken, muss man die Stromstärke in den Übertragungsleitungen senken - z.B. auf die Hälfte ... dazu gehört die halbe Potenzialdifferenz (Spannung längs der Übertragungsleitung) ... und die Verlustleistung sinkt auf ein Viertel. Um bei dieser halben Übertragungsstromstärke die gleiche Leistung ans andere Ende zu bringen, benötigen wir die doppelte Spannung am Ausgang ...

Didaktische Hinweise

Phasenverhältnisse der betroffenen Größen

- o ... siehe → [Zeiger in der Wechselstromlehre.ppt](#)
- o ... siehe → [Transformator_Energiestrom.ppt](#)
- o ... siehe → [Drahtleitung_ & Energiestrom.ppt](#)
- o ... siehe → [E-Lehre_Elektrodynamik.ppt](#)

Phasenbeziehung am Trafo



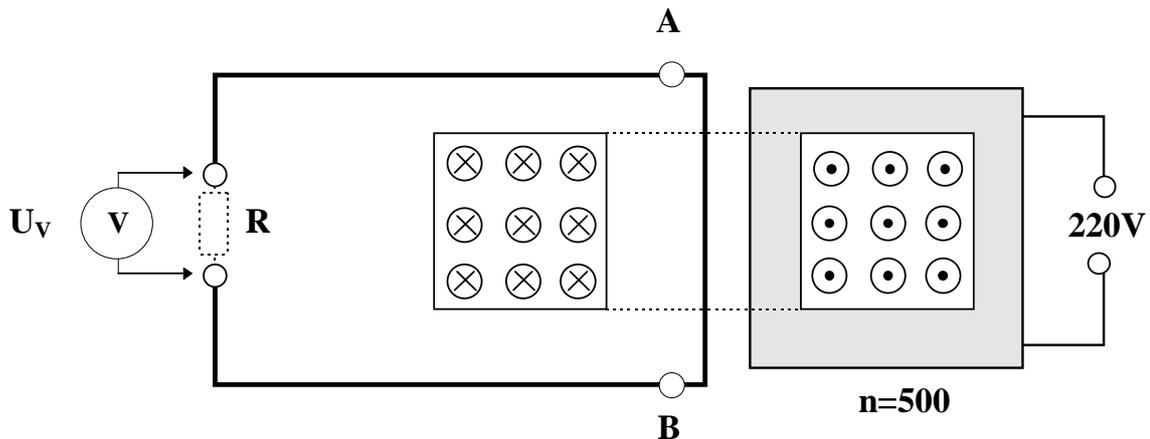
Weitere Trafoversuche

Trafo-Versuch 01

Geräte:

- Netz-Primärspule | 500 Windungen | 220V
- Zugehöriger U-Eisenkern & passendes Joch
- Experimentierkabel
- Hochohmiges Voltmeter

Schaltung



Theorie

Die obige Schaltung zeigt einen Transformator, der auf der Primärseite 500 Windungen hat, die an einer sinusförmigen Wechselspannung von 220V liegen. Die Sekundärwicklung besteht aus einer Windung (Laborkabel).

- [a] Die magnetische Flußdichte verläuft zu einem bestimmten Zeitpunkt t_1 so, wie dies im obigen Bild dargestellt ist und zu diesem Zeitpunkt sei außerdem

$$\frac{d\Phi}{dt} > 0$$

In welcher Richtung verläuft zu diesem Zeitpunkt t_1 der Strom auf der Sekundärseite? Das Meßgerätee habe in dieser Fragestellung einen extrem hohen Widerstand R .¹

- [b] In welche Richtung zeigt die Induktionsspannung U_{AB} zu diesem Zeitpunkt? Wo liegt der Pluspol, wo der Minuspol?²
- [c] Welcher Zusammenhang ergibt sich zwischen U_V und der Induktionsspannung auf der Sekundärseite dieses Trafos? Wie groß ist $U_{V \text{ effektiv}}$?

- [d] Zeigen Sie, daß folgende Gleichung gilt: $I_{\text{effektiv}(t1)} = \frac{1}{R} \cdot \frac{d\Phi}{dt}$

Versuch 1

Bestimmen Sie die Effektiv-Spannung auf der Sekundärseite des Trafos.³

¹ Der Strom verläuft in dieser Sekundärwicklung im „Gegenuhrzeigersinn“; er ist so gerichtet, daß sein Magnetfeld dem eingezeichneten Magnetfeld entgegengerichtet ist.

² Die Induktionsspannung zeigt von A nach B; außerhalb einer Spannungsquelle sind die Strom und Spannungspfeile parallel ($\uparrow\uparrow$) - innerhalb sind sie antiparallel ($\uparrow\downarrow$).

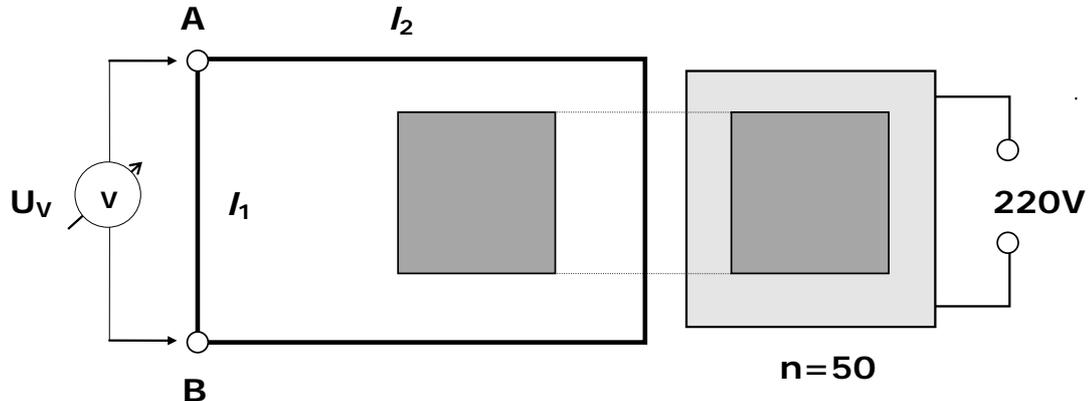
³ Für die Induktionsspannung ergibt sich $U_V = U_i = U_p / 500$

Trafo-Versuch 02

Geräte:

- Netz-Primärspule | 500 Windungen | 220V
- Zugehöriger U-Eisenkern & passendes Joch
- Experimentierkabel
- Hochohmiges Voltmeter

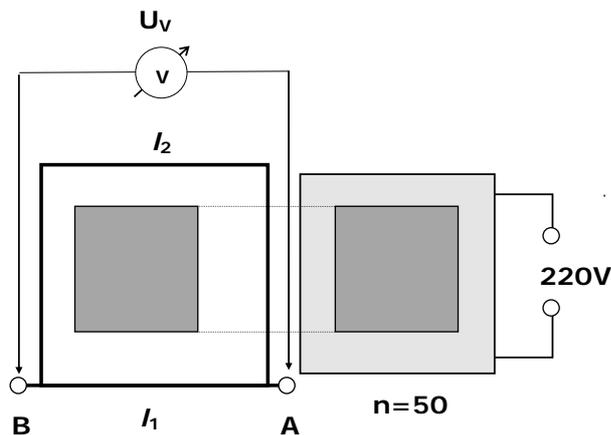
Versuch 2.1



Die Schaltung zeigt einen Transformator, der auf der Primärseite 500 Windungen hat, die an einer sinusförmigen Wechselspannung von 220V liegen. Die Sekundärwicklung besteht aus einer Windung, die aus entsprechenden Laborkabeln zusammengesetzt wird. Für einen ersten Versuch wählt man für I_1 (**kurze** Kabelstrecke zwischen A und B) ein ganz kurzes Laborkabel (30cm) und für I_2 (**lange** Kabelstrecke) ein möglichst langes Laborkabel (1m).

- [a] Berechnen Sie die Effektiv-Spannung U_v , die das Voltmeter anzeigt.
 [b] Messen Sie die Effektiv-Spannung auf der Sekundärseite des Trafos.

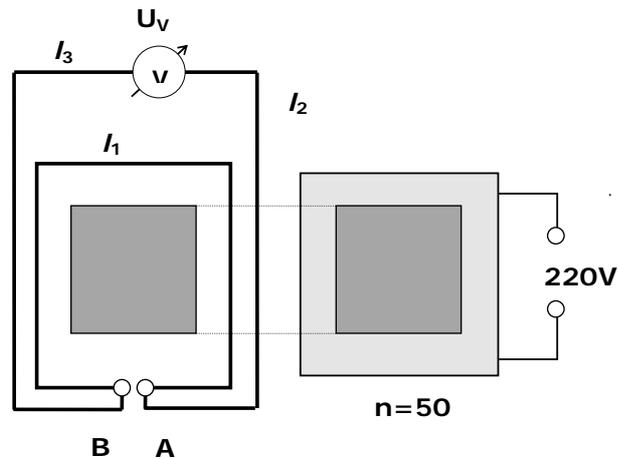
Versuch 2.2



Die Schaltung zeigt einen Transformator, der auf der Primärseite 500 Windungen hat, die an einer sinusförmigen Wechselspannung von 220V liegen. Die Sekundärwicklung besteht aus einer Windung, die aus entsprechenden Laborkabeln zusammengesetzt wird. Für einen ersten Versuch wählt man für I_1 (**kurze** Kabelstrecke zwischen A und B) ein ganz kurzes Laborkabel (30cm) und für I_2 (**lange** Kabelstrecke) ein möglichst langes Laborkabel (1m).

- [a] Berechnen Sie die Effektiv-Spannung U_v , die das Voltmeter anzeigt.
 [b] Messen Sie die Effektiv-Spannung auf der Sekundärseite des Trafos.

Trafo-Versuch 03



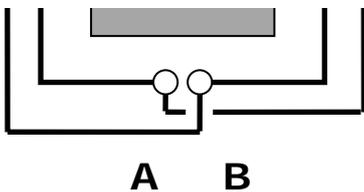
Geräte:

- Netz-Primärspule | 500 Windungen | 220V
- Zugehöriger U-Eisenkern & passendes Joch
- Experimentierkabel
- Hochohmiges Voltmeter

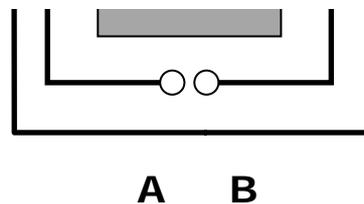
Versuch 3.1

Die Schaltung zeigt einen Transformator, der auf der Primärseite 500 Windungen hat, die an einer sinusförmigen Wechselspannung von 220V liegen. Die Sekundärwicklung wird aus drei Kabeln I_1 , I_2 und I_3 zusammengesetzt (In einem ersten Versuch wählt man jeweils gleich lange Kabel von 1m Länge).

- [a] Berechnen Sie die Effektiv-Spannung U_V , die das Voltmeter anzeigt.
 [b] Überprüfen Sie Ihre Vermutung bzw. Berechnung!
 [c] Ändert sich die Spannung U_V , wenn man die Anschlüsse A und B des Voltmeters vertauscht?
 [d] Welche Spannung stellt man fest, wenn man beiden Anschlüsse des Voltmeters bei A und B von der Sekundärwicklung trennt und direkt miteinander kurzschließt?



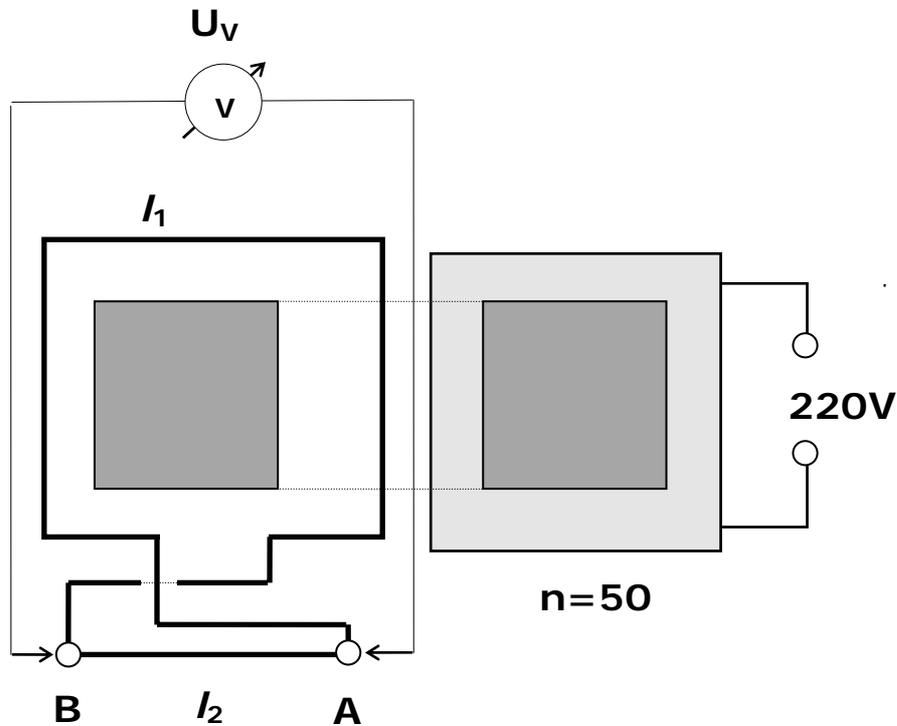
zu c



zu d

Versuch 3.2

Die Schaltung zeigt einen Transformator, der auf der Primärseite 500 Windungen hat, die an einer sinusförmigen Wechselspannung von 220V liegen. Die Sekundärwicklung wird aus zwei Kabeln l_1 , l_2 zusammengesetzt (In einem ersten Versuch wählt man für $l_1 = 1\text{m}$ und für $l_2 = 0,3\text{m}$). Für die Zuleitungsdrähte zum Voltmeter verwendet man ebenfalls Laborkabel von 1m Länge.



- [a] Berechnen Sie die Effektiv-Spannung U_v , die das Voltmeter anzeigt.
 [b] Überprüfen Sie Ihre Vermutung bzw. Berechnung!

Trafo-Versuch IV

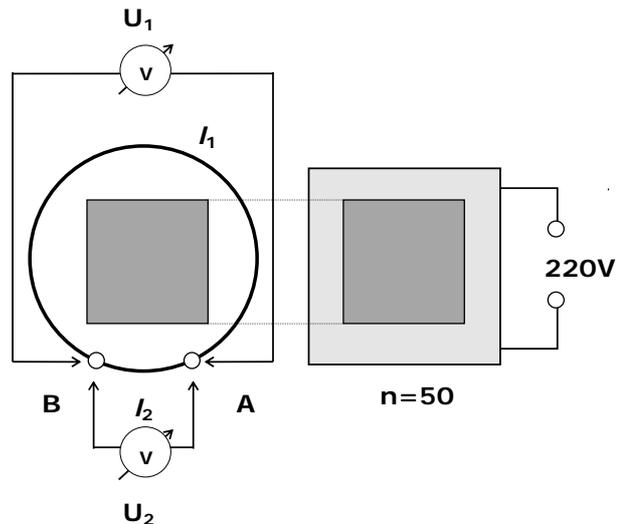
Geräte:

- Netz-Primärspule | 500 Windungen | 220V
- Zugehöriger U-Eisenkern & passendes Joch
- Experimentierkabel
- Hochohmiges Voltmeter

Versuch 4.1

Die Schaltung zeigt einen Transformator, der auf der Primärseite 500 Windungen hat, die an einer sinusförmigen Wechselspannung von 220V liegen. Die Sekundärwicklung wird aus zwei Kabeln I_1 , I_2 zusammengesetzt (In einem ersten Versuch wählt man für $I_1 = 1\text{m}$ und für $I_2 = 0,3\text{m}$). Für die Zuleitungsdrähte zum Voltmeter verwendet man passende Laborkabel.

- [a] Berechnen Sie die Effektiv-Spannungen U_1 und U_2 !
- [b] Überprüfen Sie Ihre Vermutung bzw. Berechnung im Experiment!

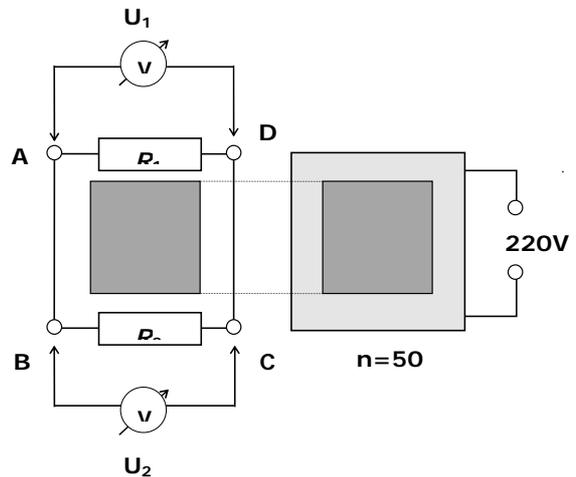


Versuch 4.2

Die obige Schaltung zeigt einen Transformator, der auf der Primärseite 500 Windungen hat, die an einer sinusförmigen Wechselspannung von 220V liegen. Die Sekundärwicklung wird aus zwei technischen Widerständen ($1\text{k}\Omega$ und $5\text{k}\Omega$) und den entsprechenden Verbindungskabeln aufgebaut - die Längen dieser Verbindungskabel spielen keine Rolle, da ihre Innenwiderstände im Vergleich zu den Widerstandswerten der beiden technischen Widerstände vernachlässigbar klein sind.

- [a] Die beiden Widerstände R_1 und R_2 sind parallelgeschaltet - im allgemeinen kann man bei parallelgeschalteten Widerständen davon ausgehen, daß an beiden Widerständen die gleiche Spannung ansteht (also $U_1 = U_2$). Da die beiden Widerstände vom gleichen Strom durchflossen werden und an beiden Widerständen die gleiche Spannung auftritt, müßten die Widerstände ($R=U/I$) gleich groß sein. Was geschieht nun aber, wenn man verschieden große Widerstände einbaut?

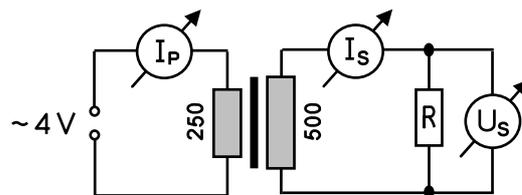
- [b] Berechnen Sie die Spannungen U_1 und U_2
- [c] Überprüfen Sie Ihre Vermutung bzw. Berechnung!



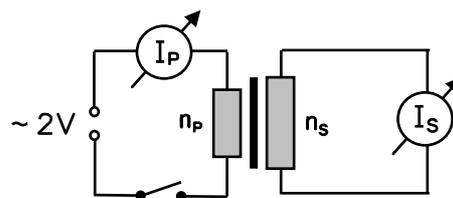
Trafoversuche 05

Arbeitsauftrag

- Diskutieren Sie Vorhersagen, die Sie bei den folgenden Schaltungen erwarten!
- Begründen Sie Ihre Vorhersagen mit passenden Modellvorstellungen!
- Bauen Sie die Schaltungen auf!
- Verifizieren oder falsifizieren Sie Ihre Vorhersagen



Bilder Bernhard Ehret



Lösungsvorschläge:

Versuch 2.1

Die Sekundärwicklung, die überall aus dem gleichen elektrischen Leiter (gleiches Material, gleicher Querschnitt) bestehen soll, wird überall vom gleichen Strom I_S durchflossen. Also ergeben sich Spannungsabfälle U_1 an I_1 und U_2 an I_2 , die folgender Gleichung genügt:

$$I_S = \frac{U_{1V}}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \text{ oder } \frac{U_{1V}}{I_1} = \frac{U_2}{I_2}$$

Für die Induktionsspannung U_i auf der Sekundärseite gilt

$$U_i = \frac{n_S}{n_P} \cdot U_P \quad \text{und} \quad U_i = U_{1V} + U_2$$

Damit ergibt sich:

$$U_{1V} = \frac{I_1}{I_1 + I_2} \cdot \frac{1}{n_P} \cdot U_P$$

Versuch 2.2

Ohne Änderung der Spannung U_V (im Experiment leicht überprüfbar!) legen wir das Kabel I_1 ganz eng um den Eisenkern, so dass die beiden Punkte A und B in dem Schaltbild „nach oben“ wandern. Auf diese Weise haben wir die verwirrende doppelte Kabelführung im Zwischenraum des Eisenkerns beseitigt und diesen Fall auf den Fall Versuch 2.1 zurückgeführt. Der einzige Unterschied zwischen diesen beiden Versuchen besteht also darin, daß wir bei 2.1 den Spannungsabfall am kürzeren Kabelstück I_1 messen, während wir jetzt den Spannungsabfall am längeren Kabelstück I_2 messen.

Dann ergibt sich völlig analog zu oben : $U_{2V} = \frac{I_2}{I_1 + I_2} \cdot \frac{1}{n_P} \cdot U_P$

Versuch 3.1

Das Voltmeter zeigt keinen Ausschlag, da in der für die Induktion wichtigen „umschlossenen Fläche“ kein veränderliches Magnetfeld liegt!

Versuch 3.2

Völlig analog zu den Überlegungen 2.1 und 2.2. ergibt sich: $U_V = U_1 + U_2$

Versuch 4.2

Im Prinzip handelt es sich hier um eine Kombination der Versuche 2.1 und 2.2

Versuch 4.3

Dass die Spannungen an zwei parallel geschalteten Widerständen gleich groß sind, gilt natürlich nur, wenn die beiden Widerstände nicht ein veränderliches Magnetfeld mit einer daraus resultierenden Induktionsspannung umschließen.

Auch dieser Fall genügt den Gleichungen, die in 2.1 und 2.2 hergeleitet wurden. Man muß nur für die Kabellängen die Widerstandswerte R_1 und R_2 einsetzen.



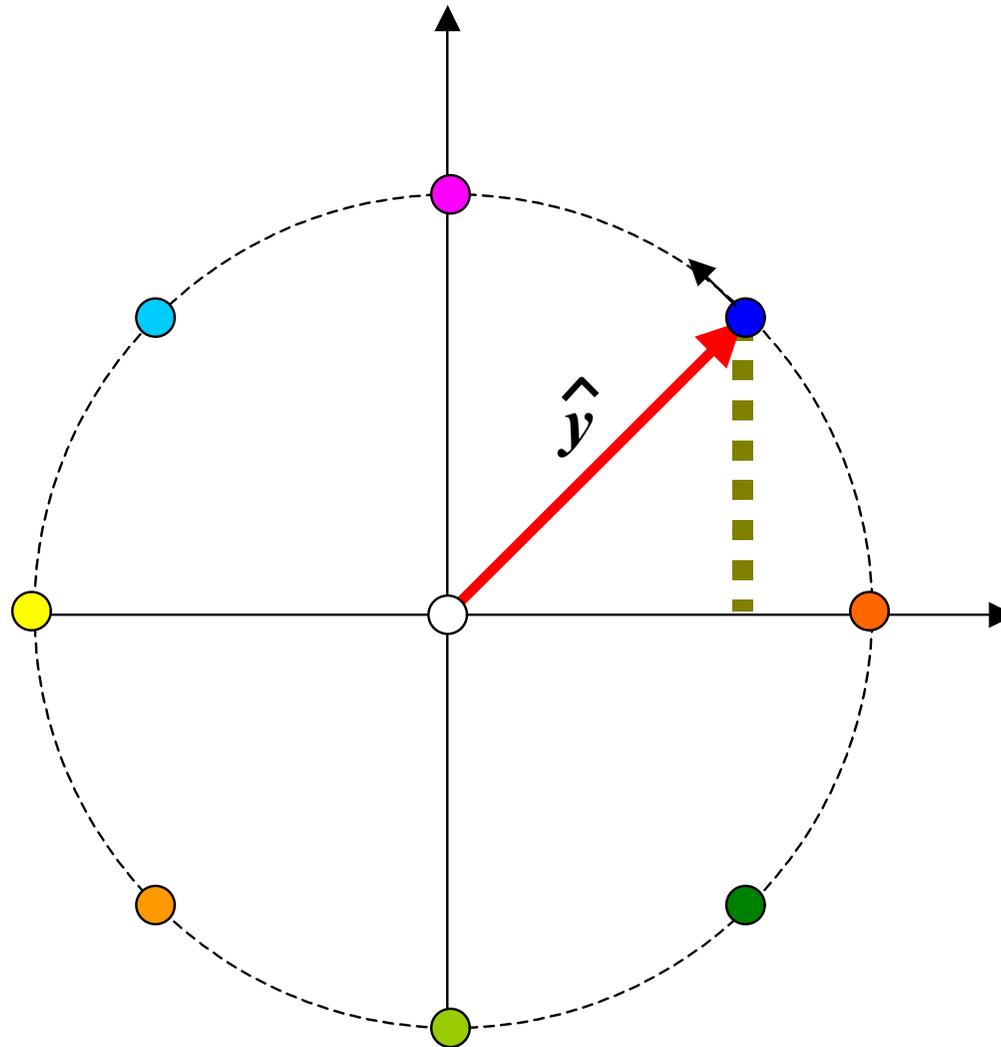
... in der E-Lehre



franz kranzinger



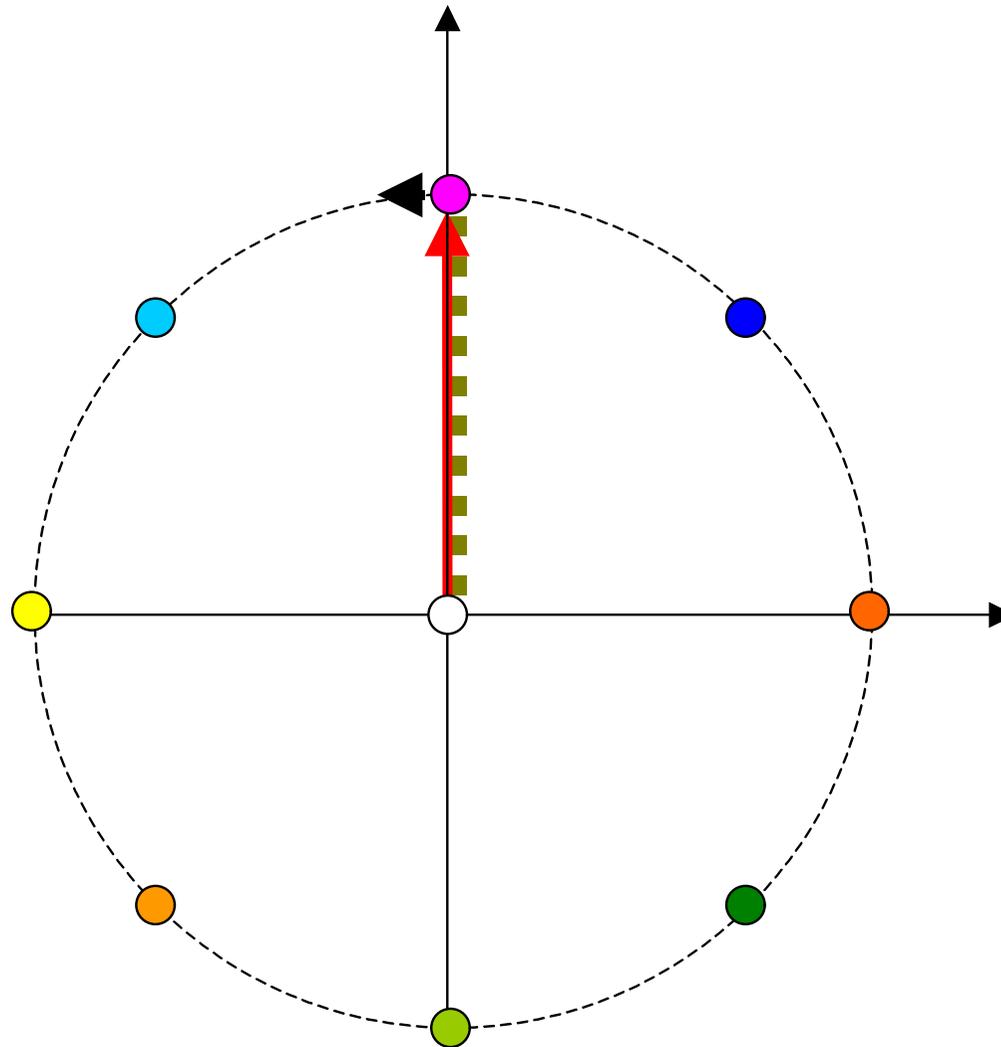
Zeiger ...



$$\varphi \longrightarrow \mathcal{Y}_\varphi$$



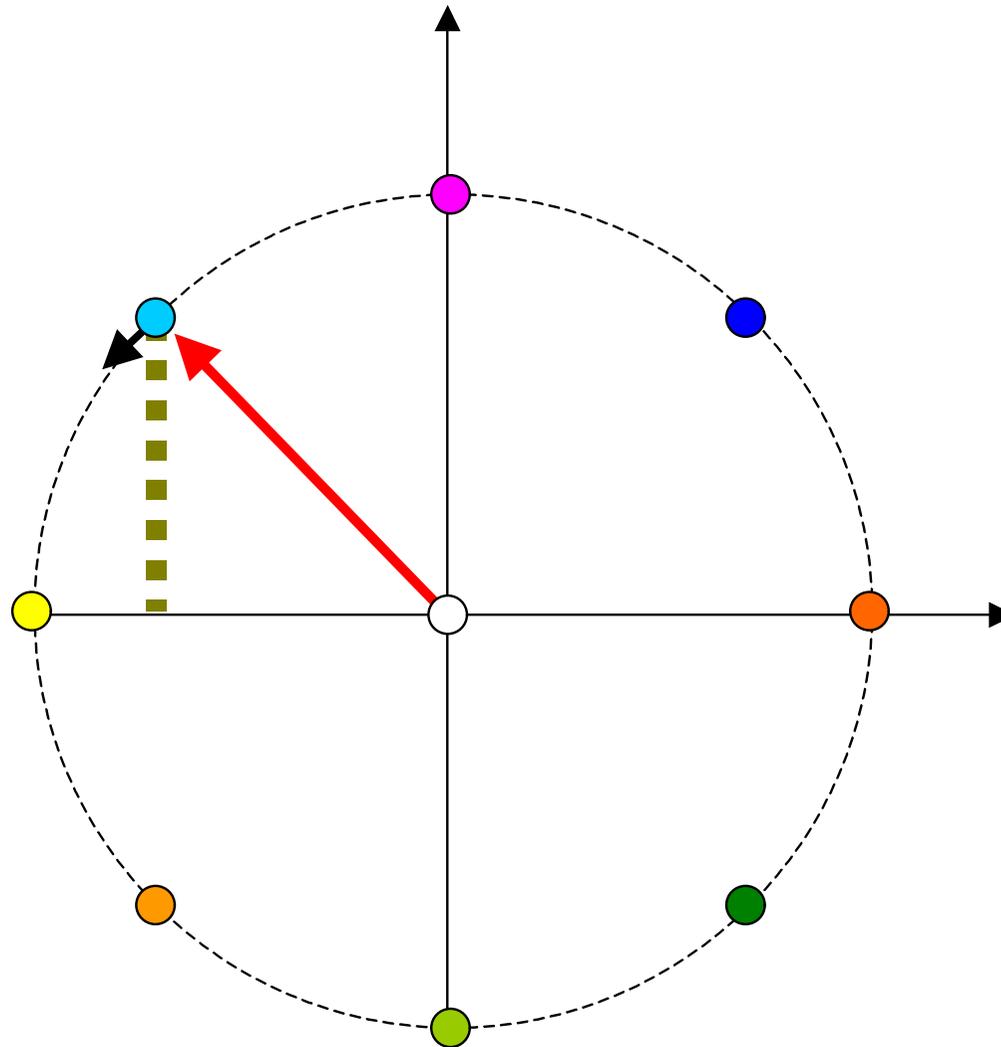
Zeiger ...



$$\varphi \longrightarrow y_\varphi$$



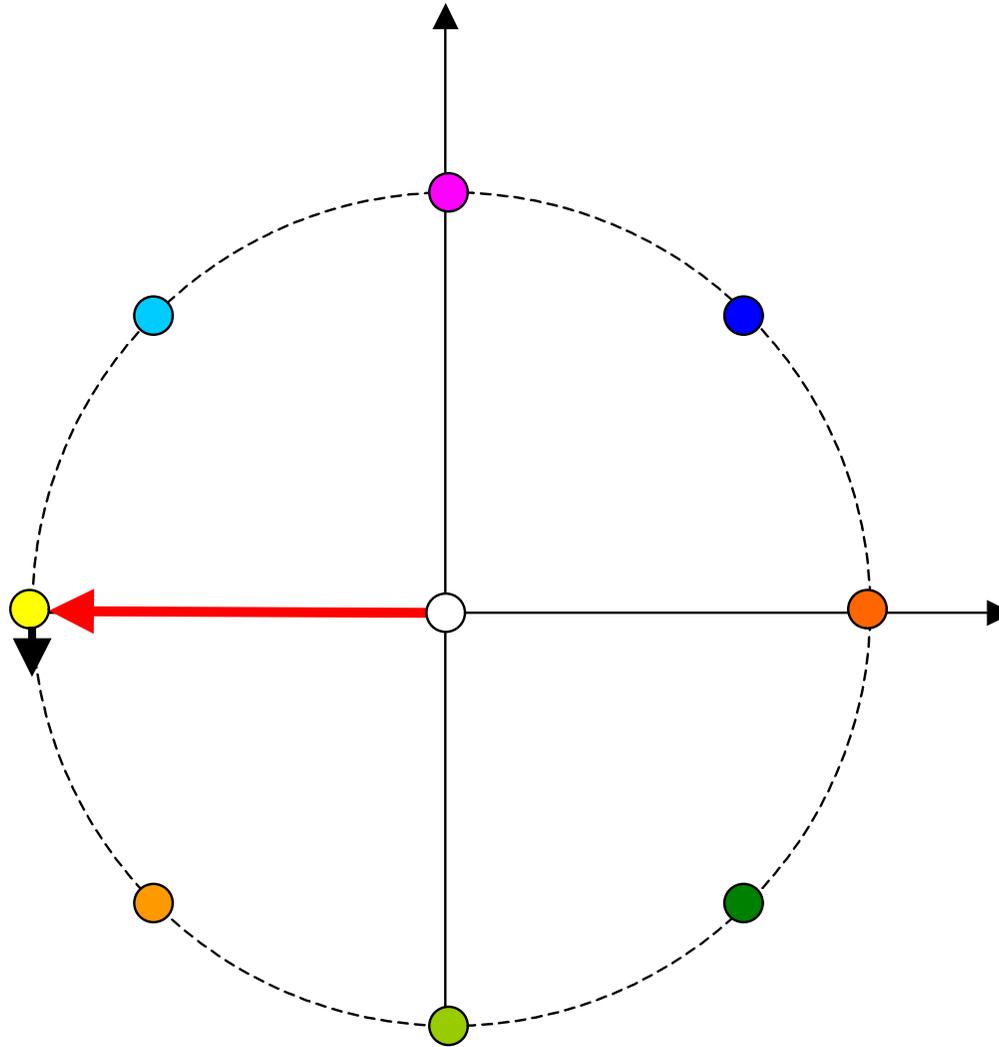
Zeiger ...



$$\varphi \longrightarrow y_\varphi$$



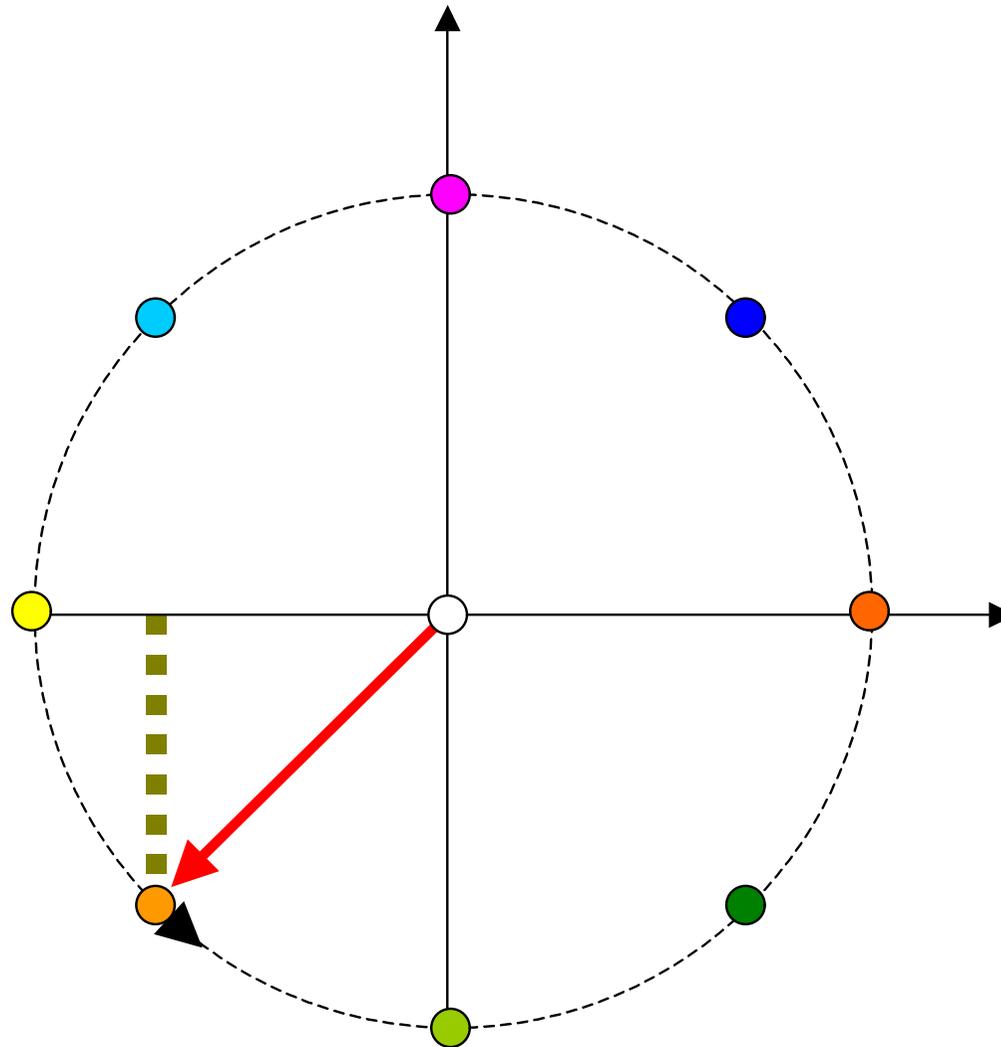
Zeiger ...



$$\varphi \longrightarrow \mathcal{Y}_\varphi$$



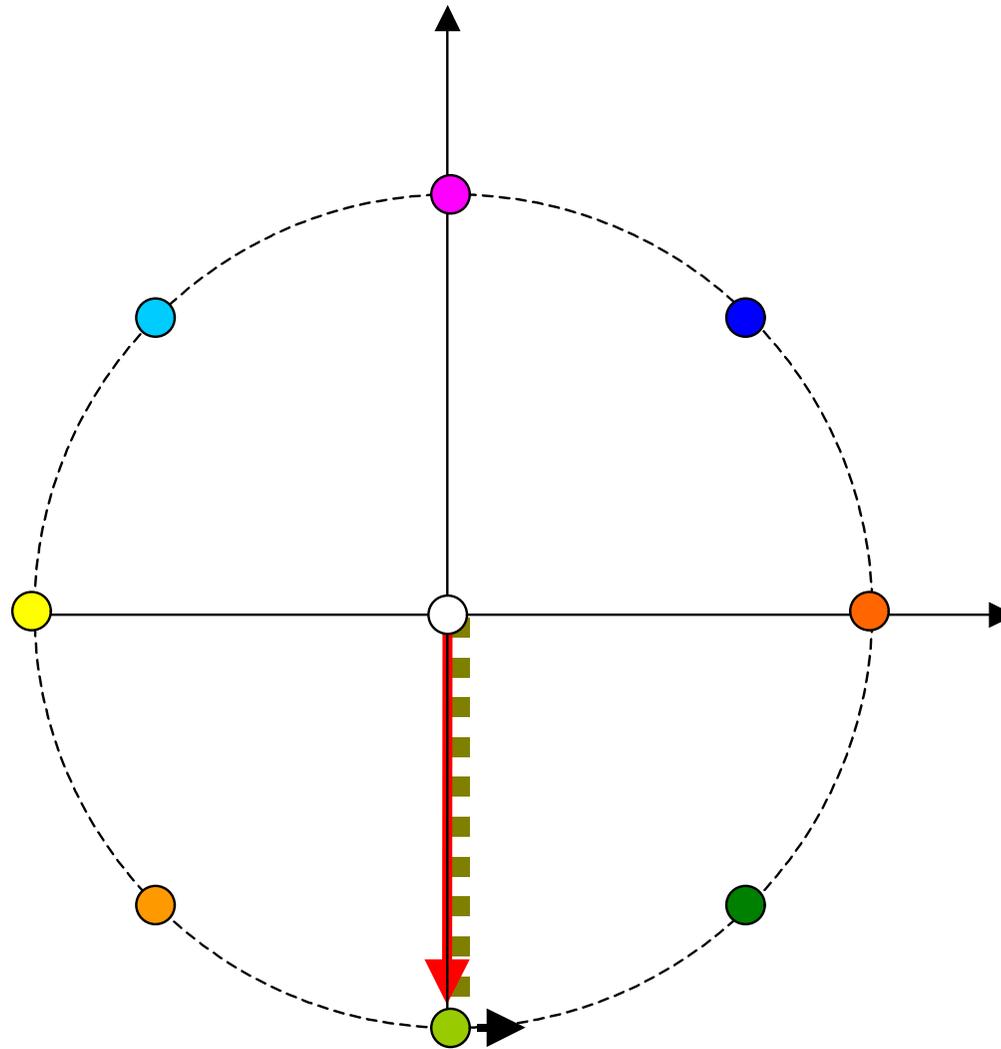
Zeiger ...



$$\varphi \longrightarrow y_\varphi$$



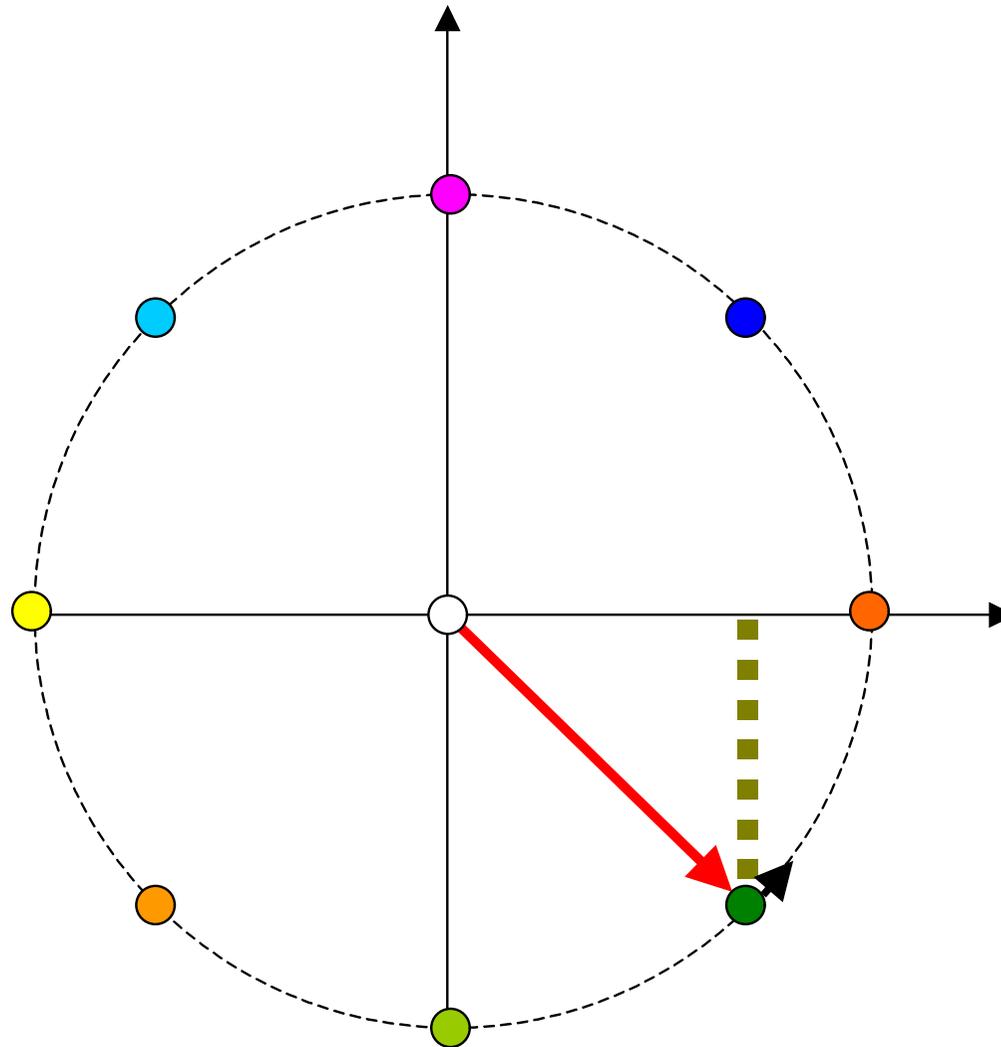
Zeiger ...



$$\varphi \longrightarrow y_\varphi$$



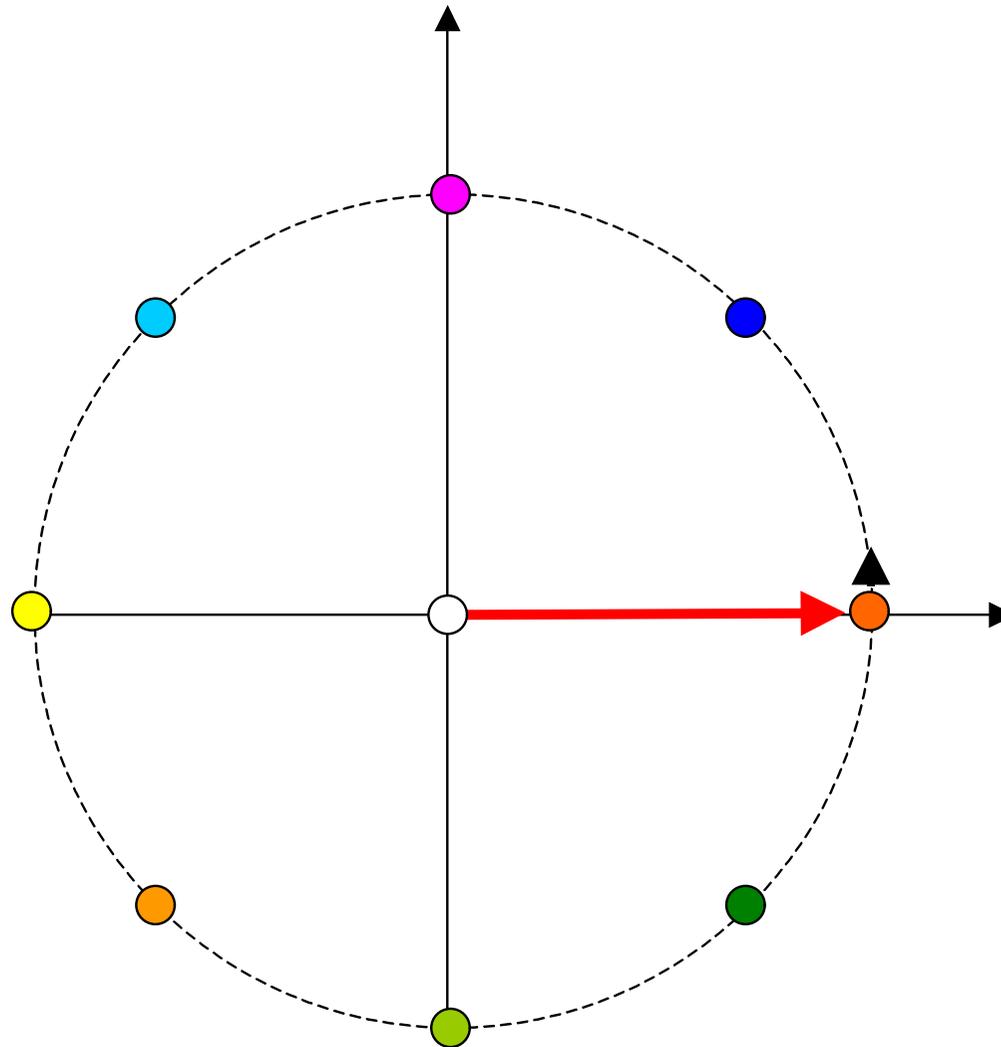
Zeiger ...



$$\varphi \longrightarrow y_\varphi$$



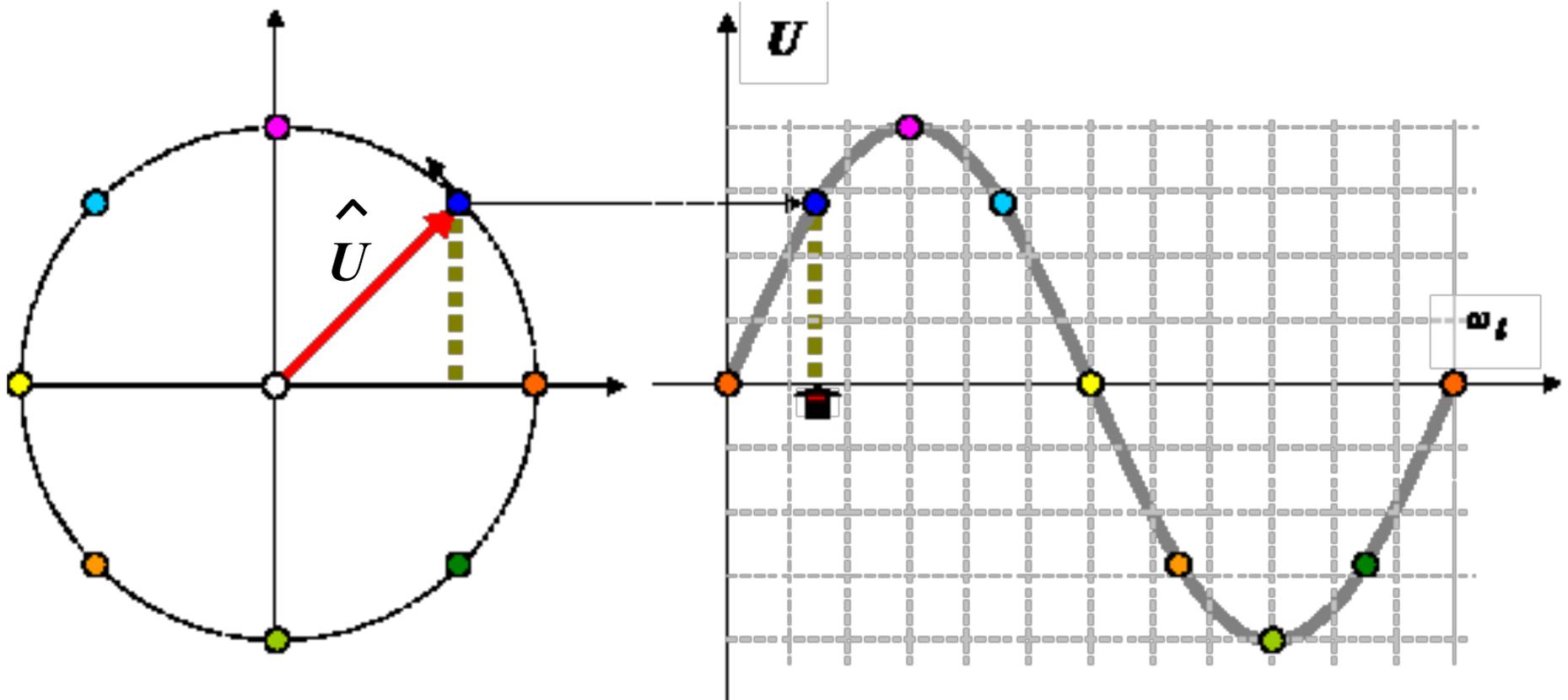
Zeiger ...



$\varphi \longrightarrow \mathcal{Y}_\varphi$

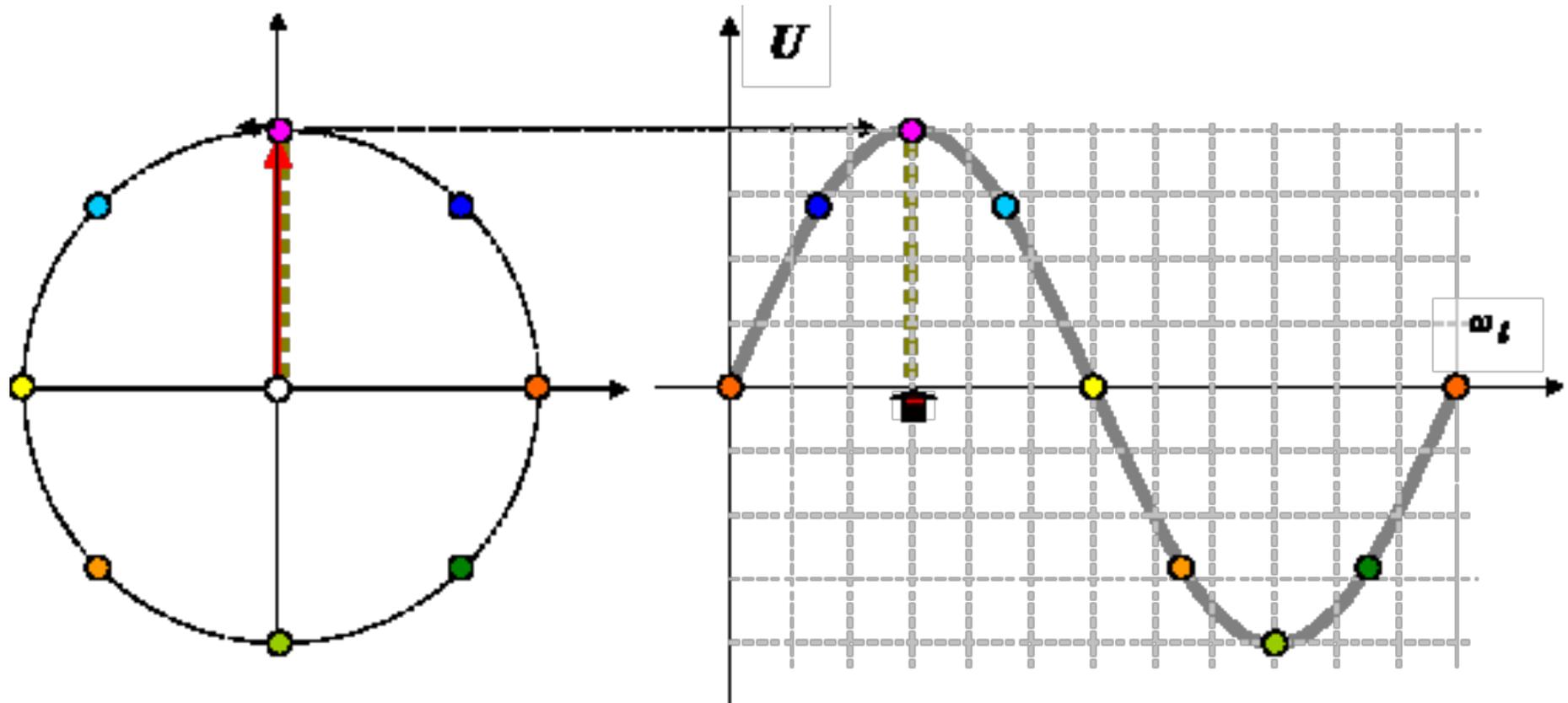


Zeiger ...



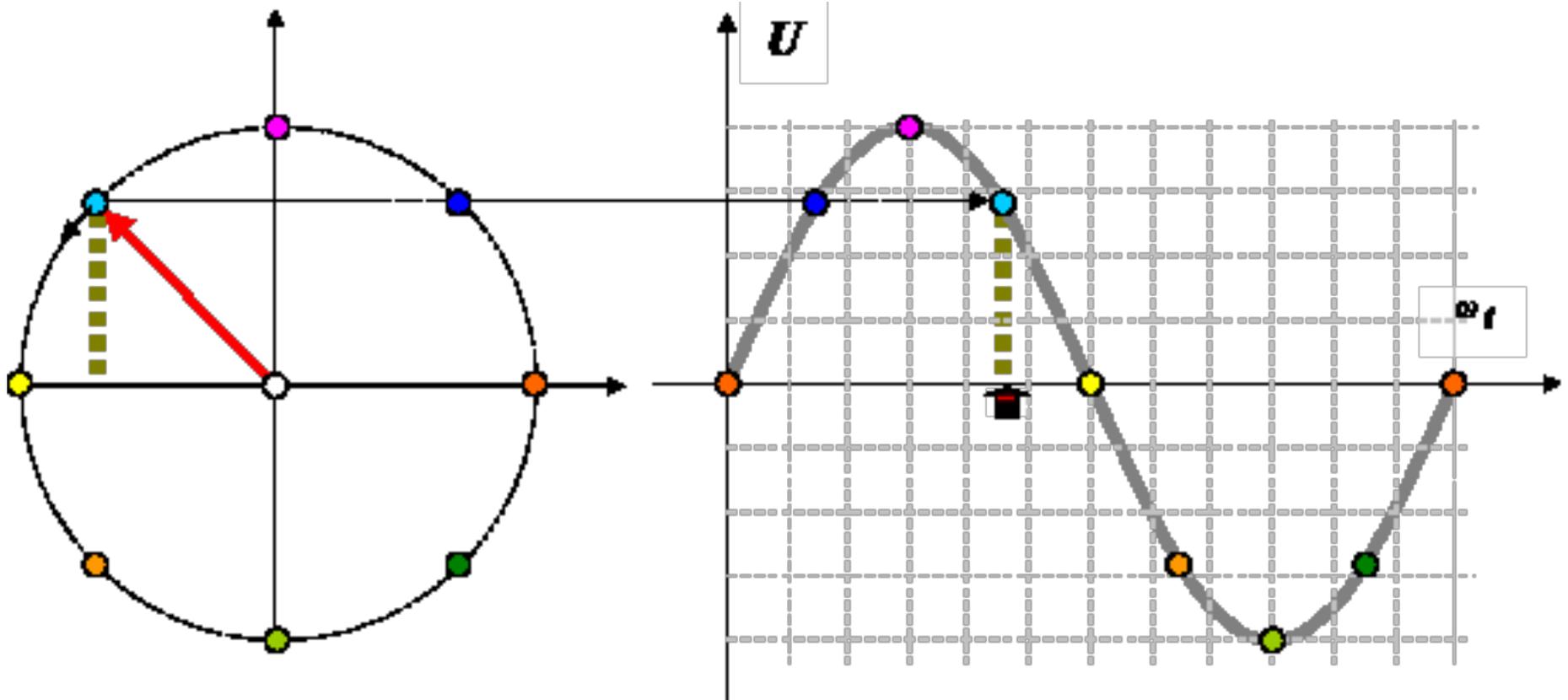
$$\varphi \longrightarrow y_\varphi$$

Zeiger ...



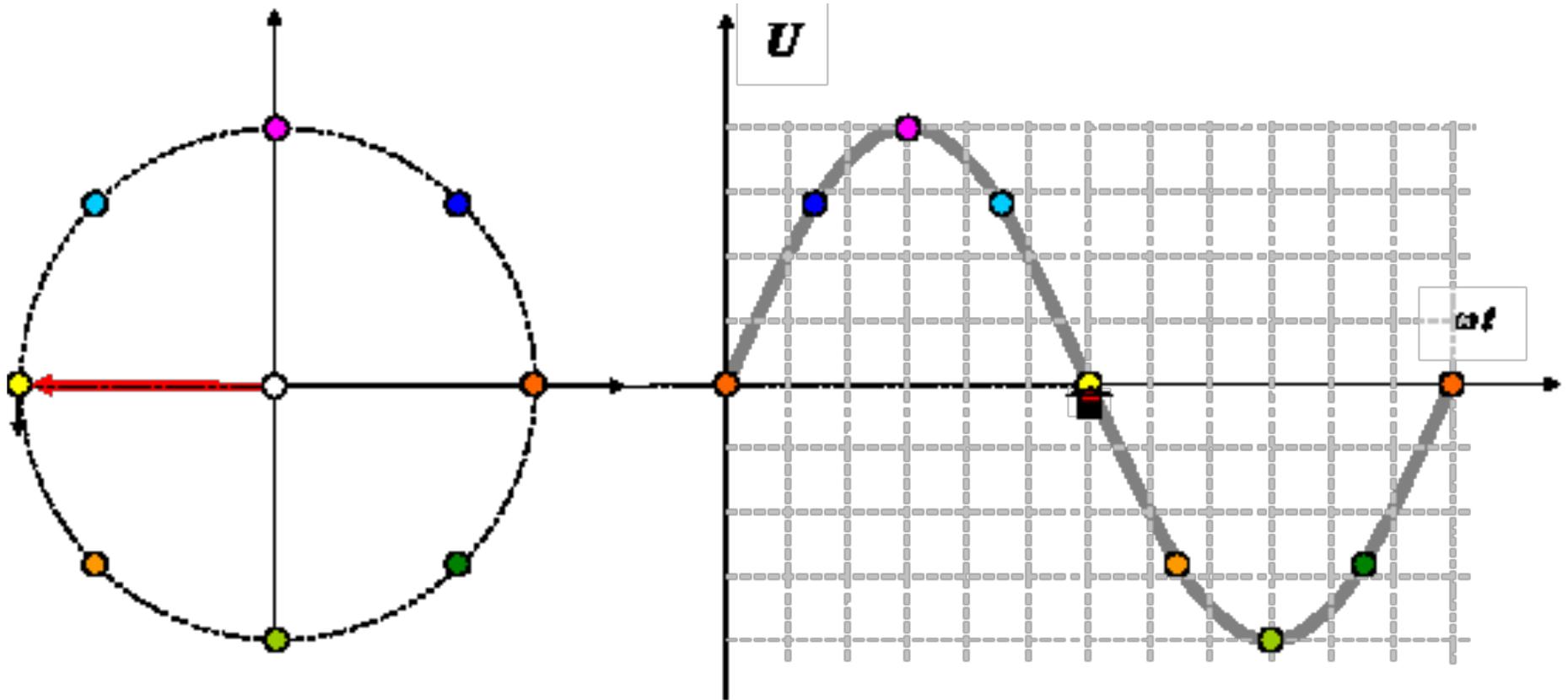
$$\varphi \longrightarrow y_{\varphi}$$

Zeiger ...



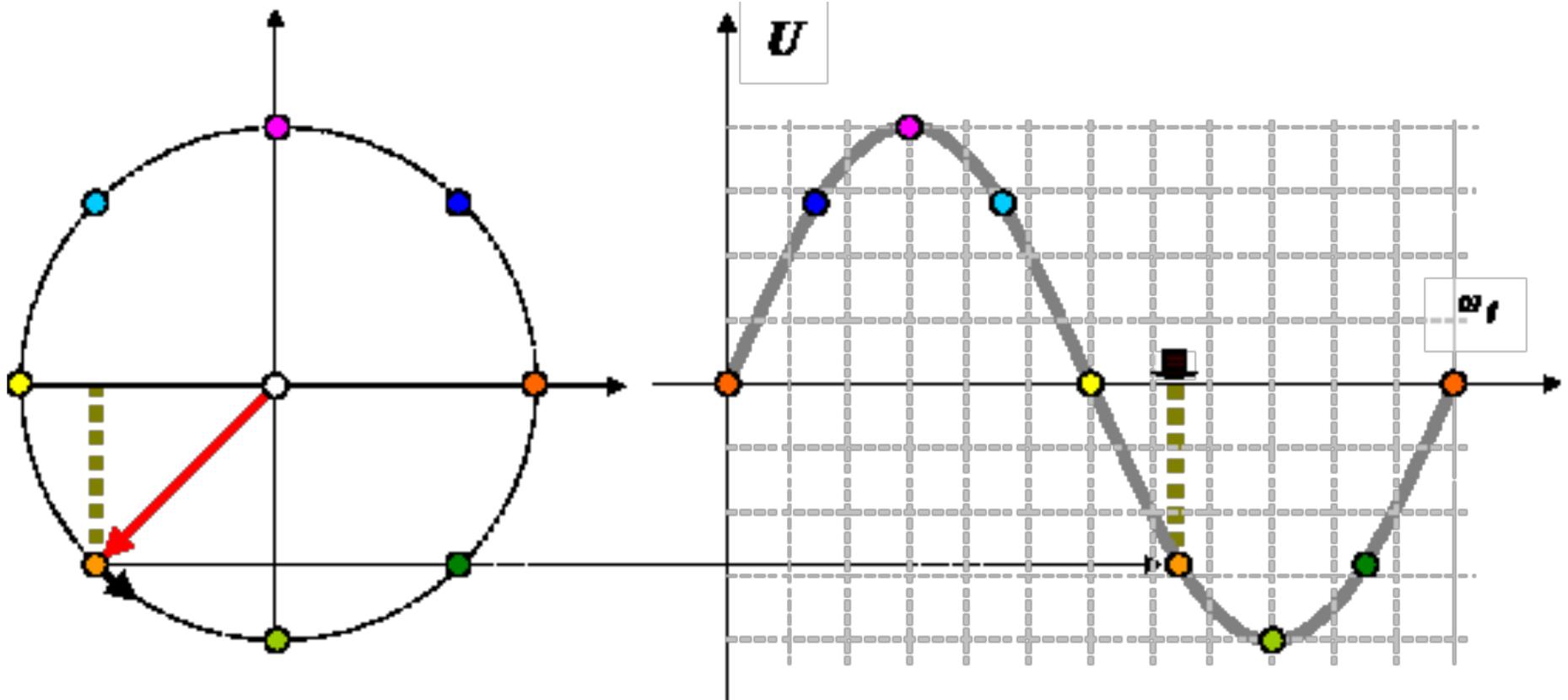
$$\varphi \longrightarrow y_{\varphi}$$

Zeiger ...



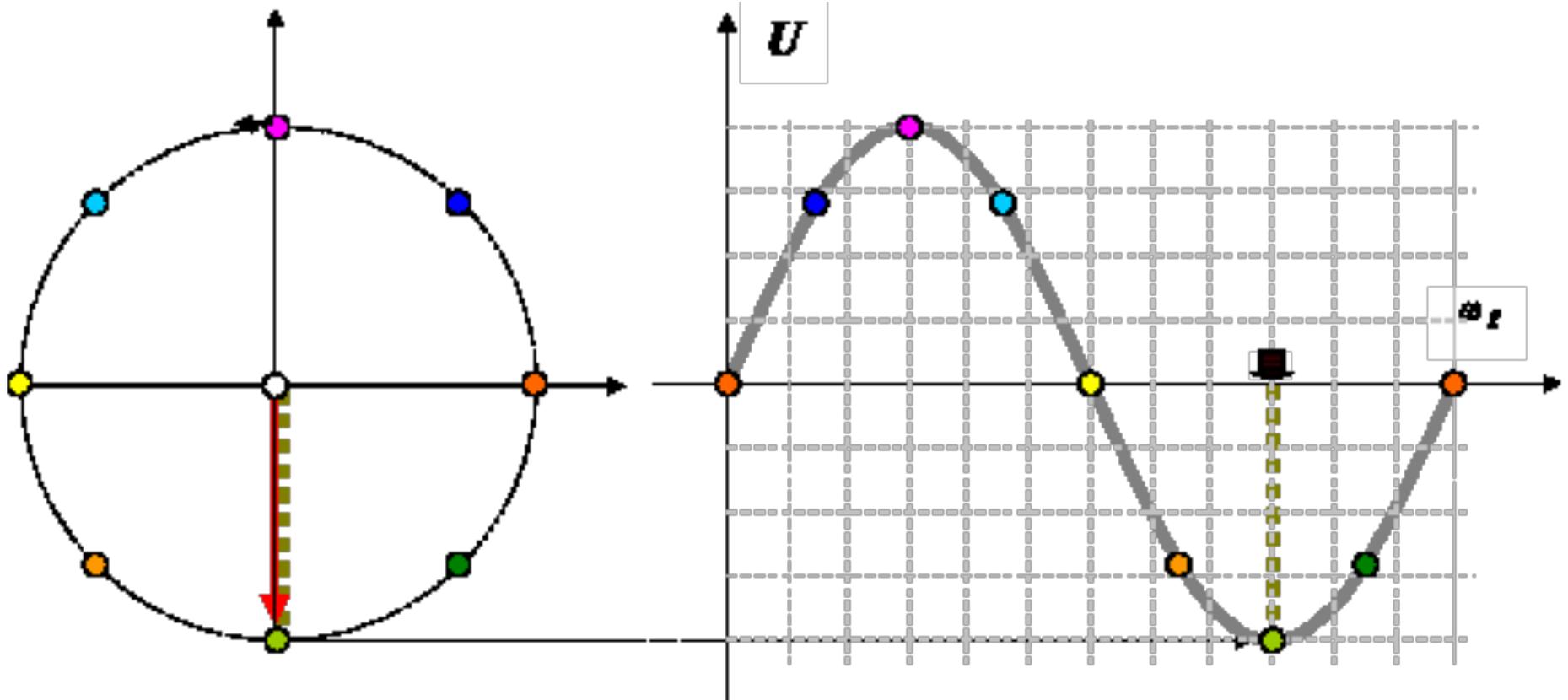
$$\varphi \longrightarrow y_{\varphi}$$

Zeiger ...



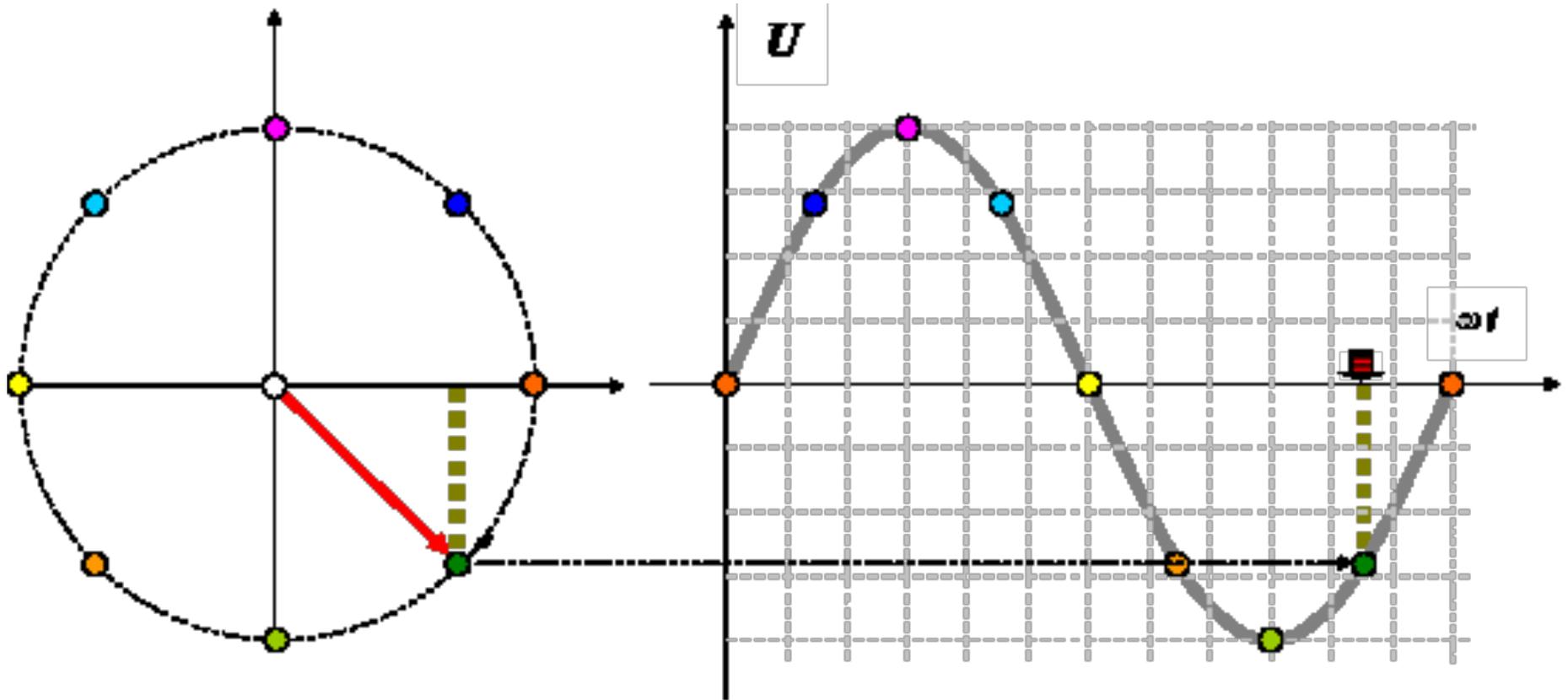
$$\varphi \longrightarrow y_{\varphi}$$

Zeiger ...



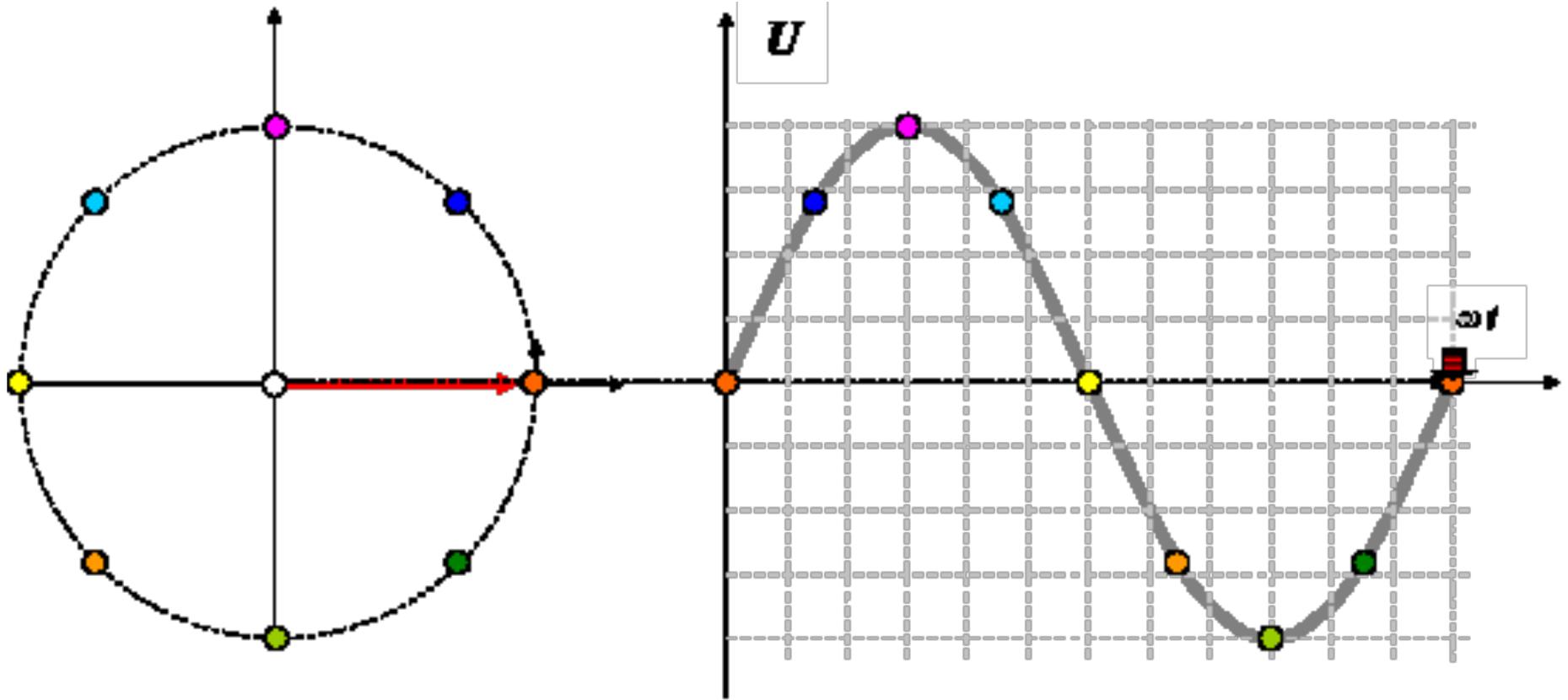
$$\varphi \longrightarrow y_\varphi$$

Zeiger ...



$$\varphi \longrightarrow y_{\varphi}$$

Zeiger ...



$$\varphi \longrightarrow y_\varphi$$

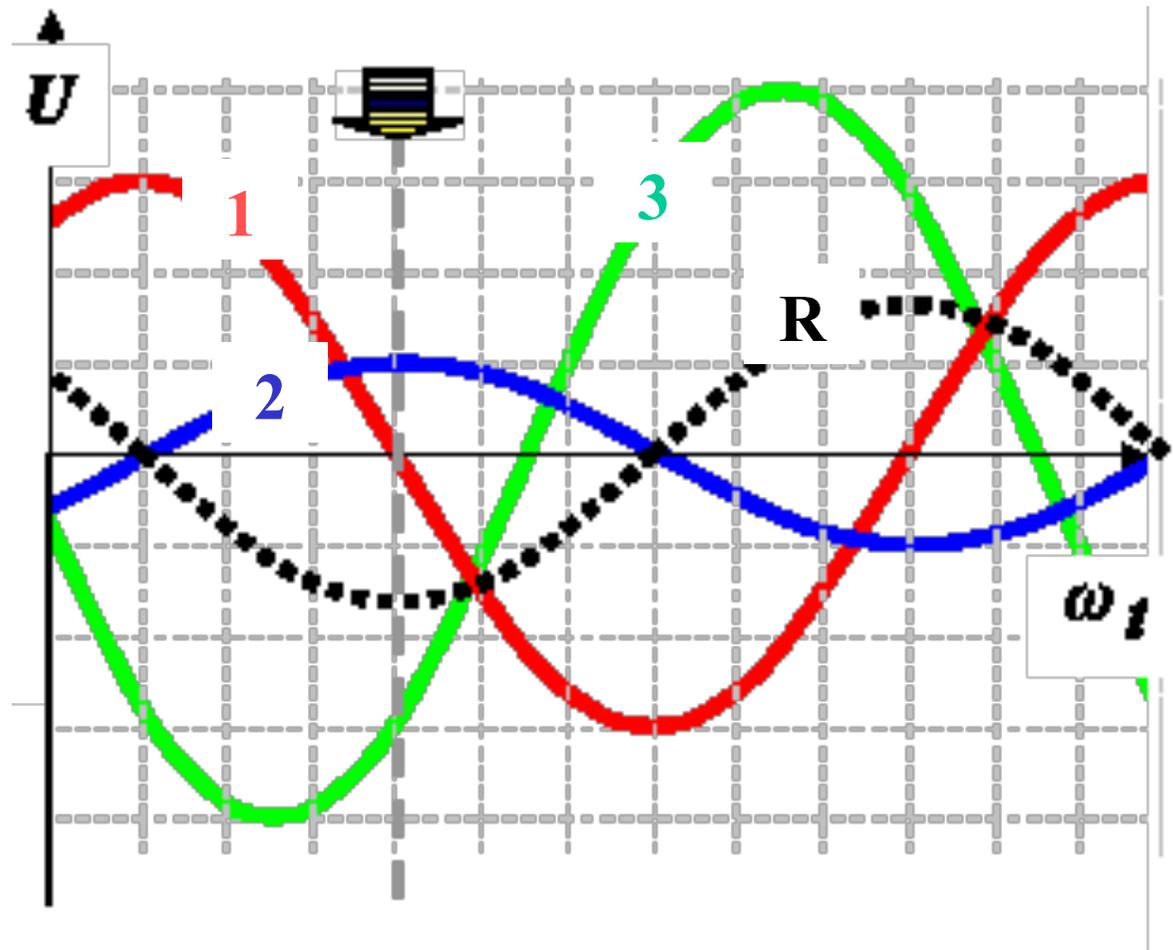
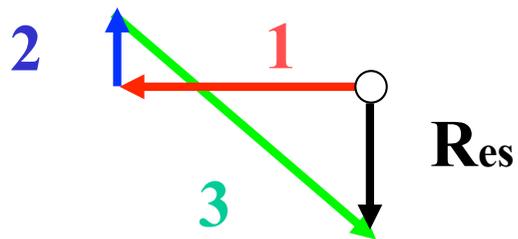
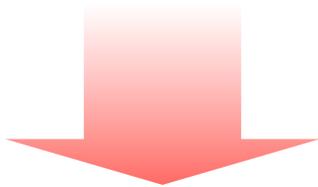
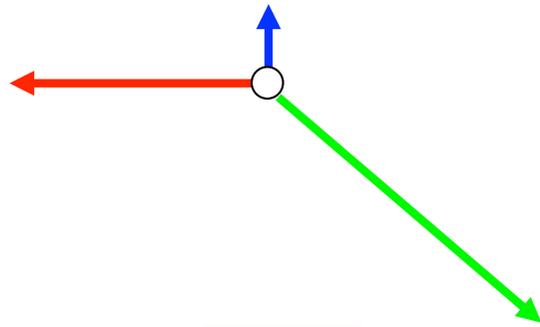


... zentrale Botschaft:

- ... im „Zeiger“ steckt alle Information, die im Diagramm enthalten ist ... und umgekehrt!
- ... die Handhabung der „Zeiger“ ist einfacher!



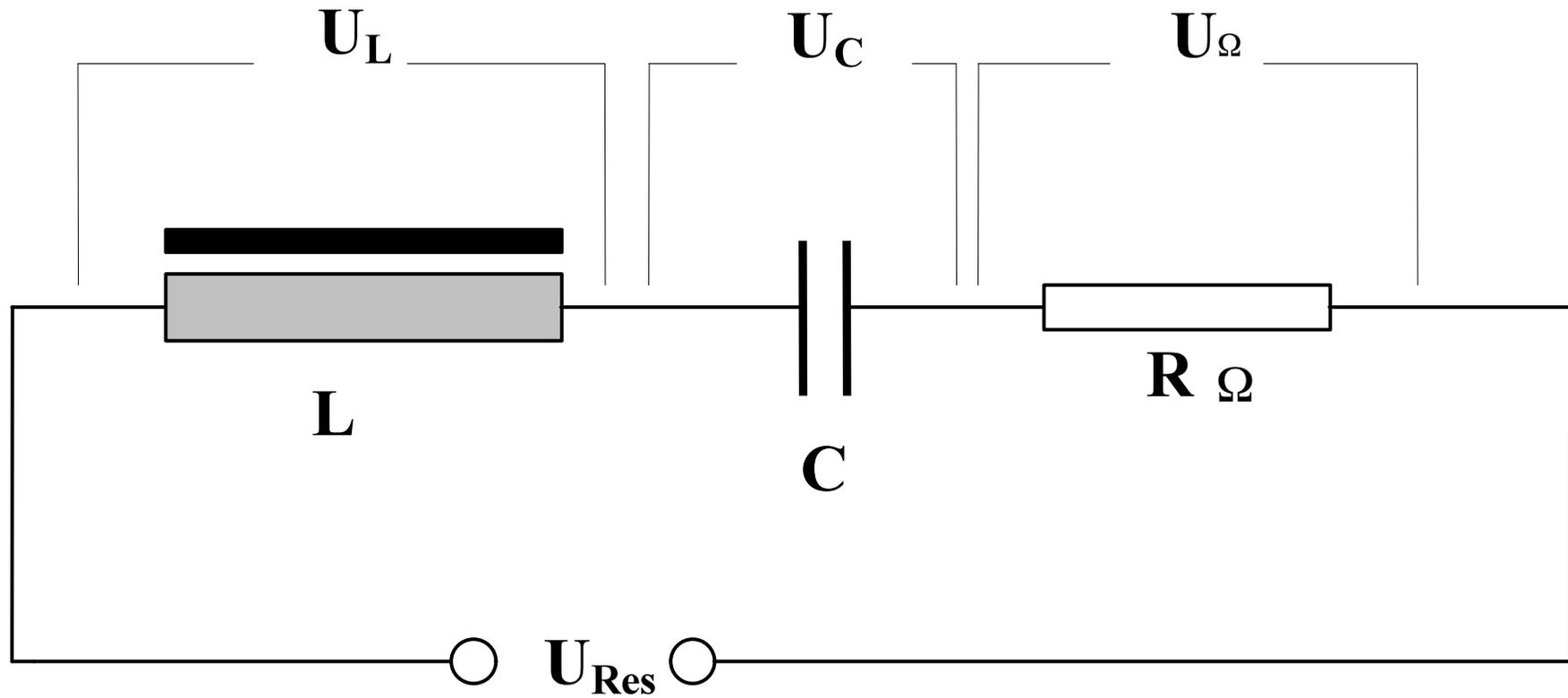
Zeiger ...



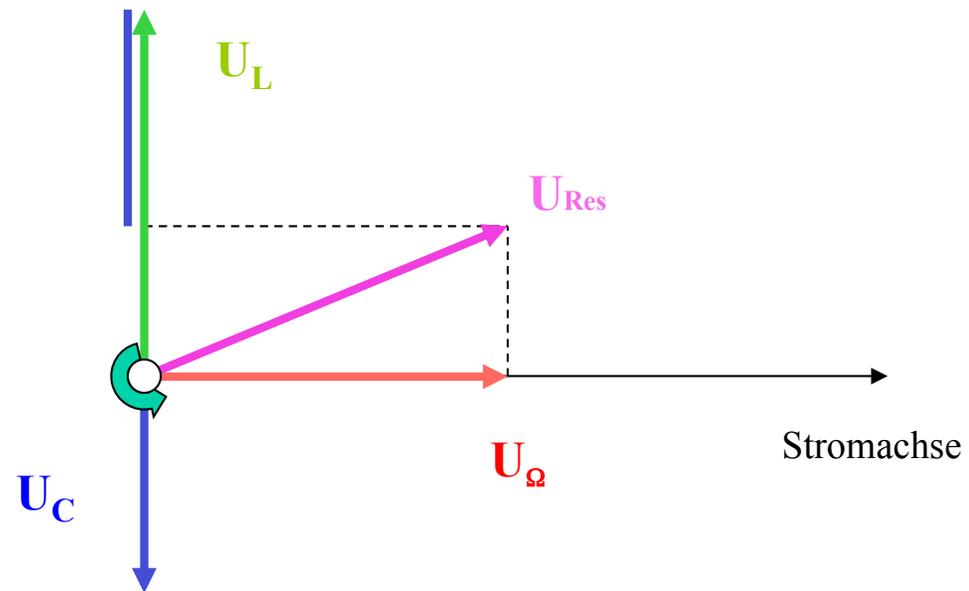
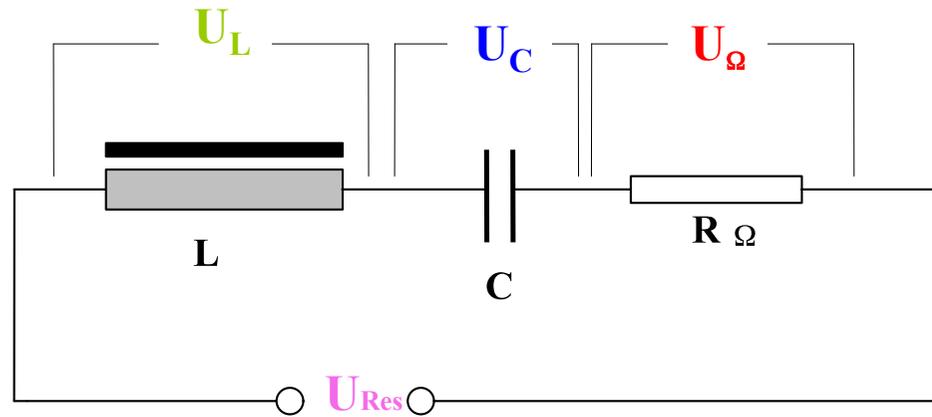
Diagramm

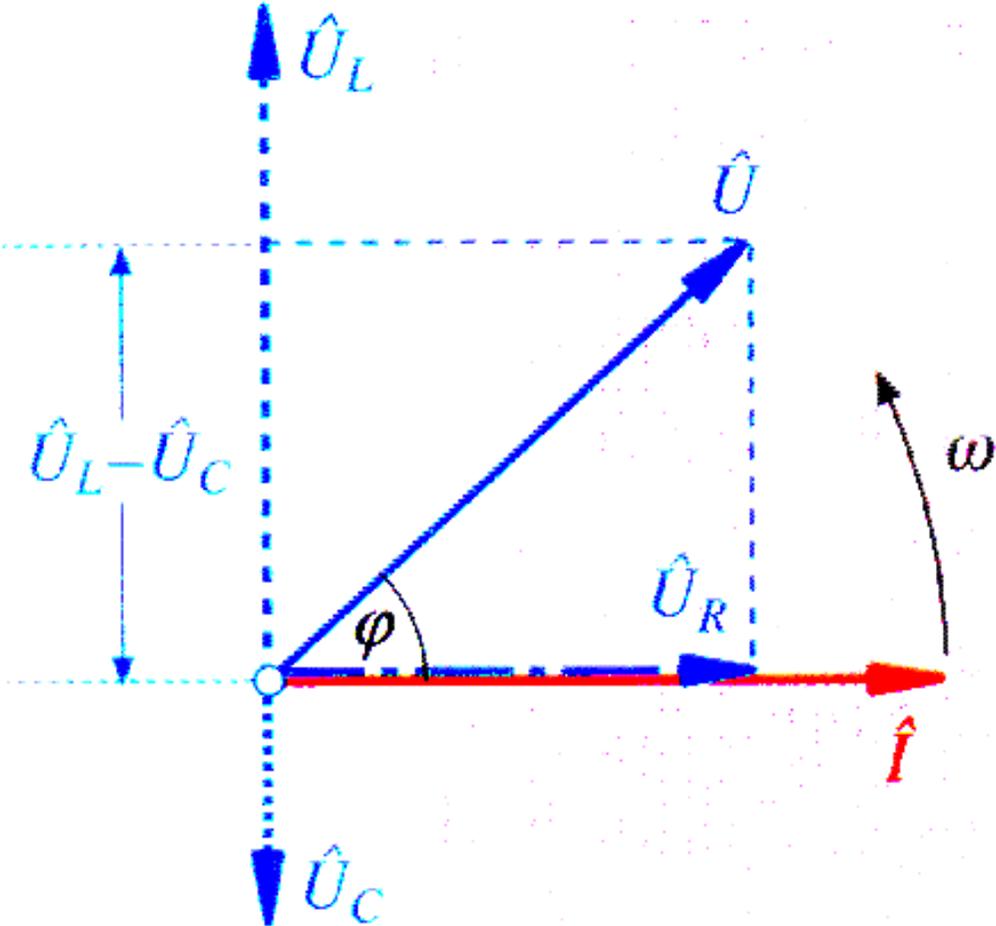


Reihen-Schaltung \rightarrow Experiment

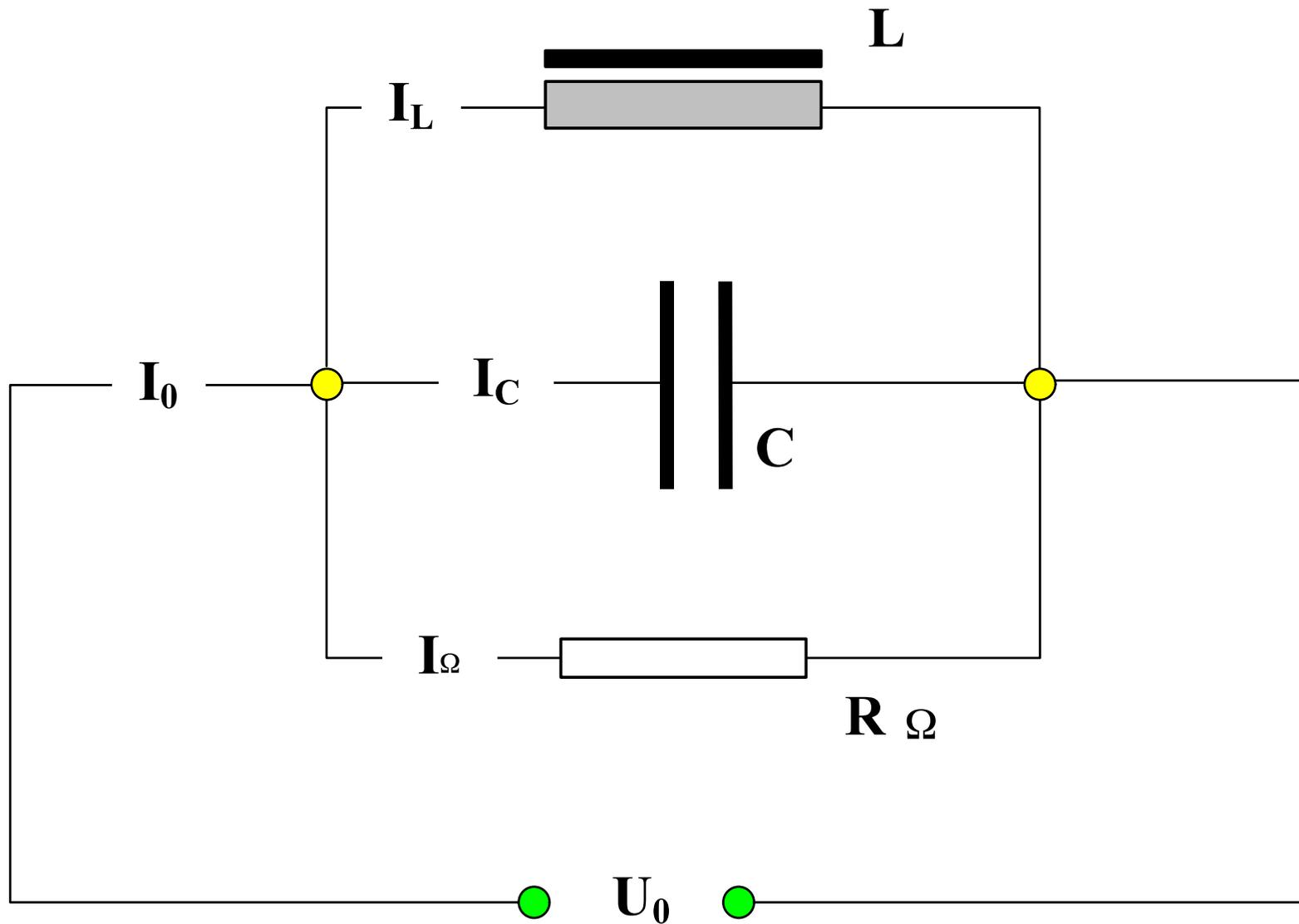


Reihenschaltung

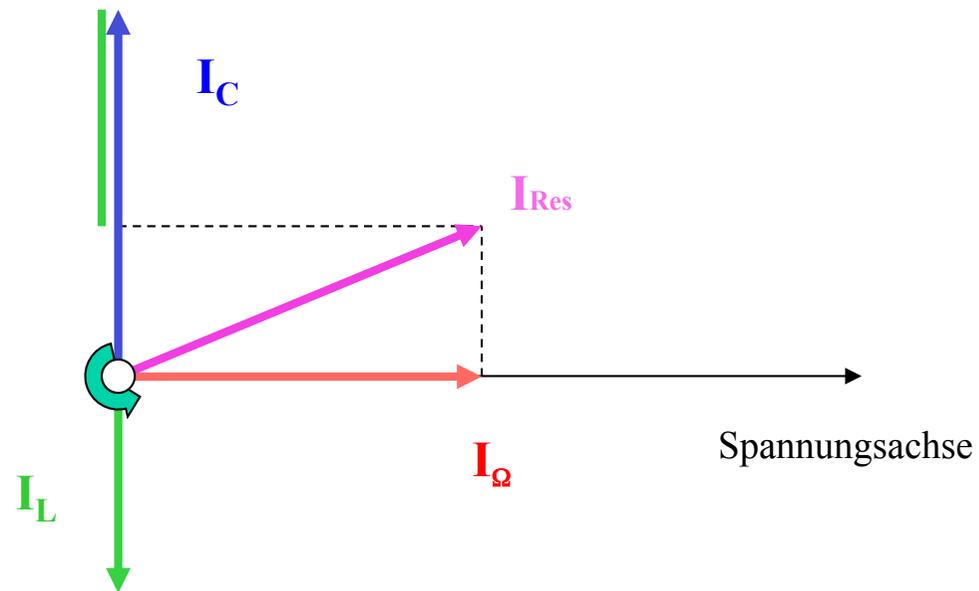
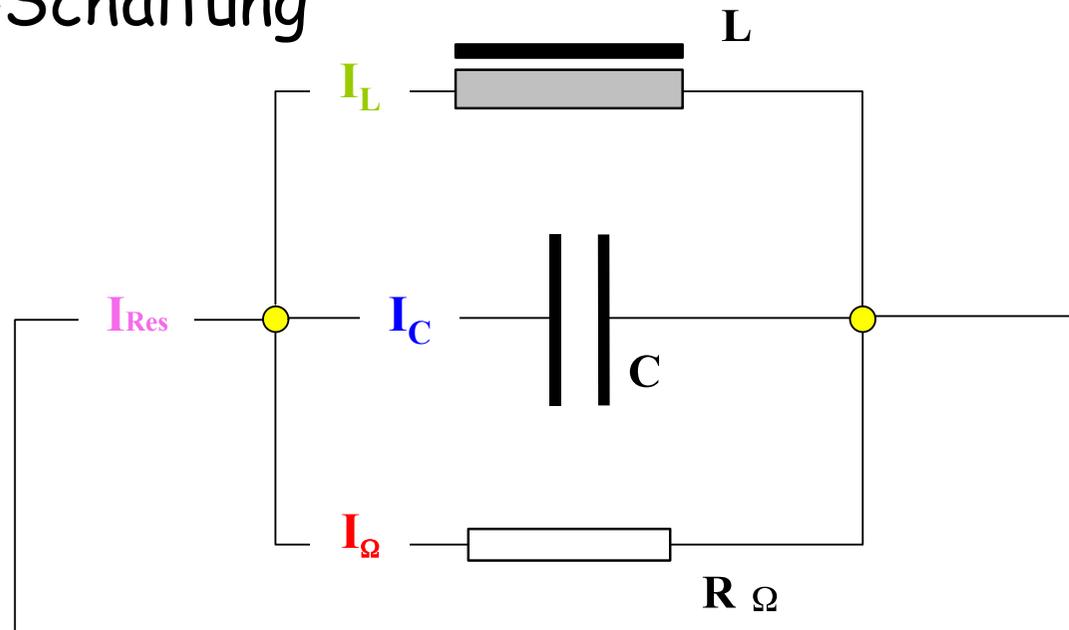


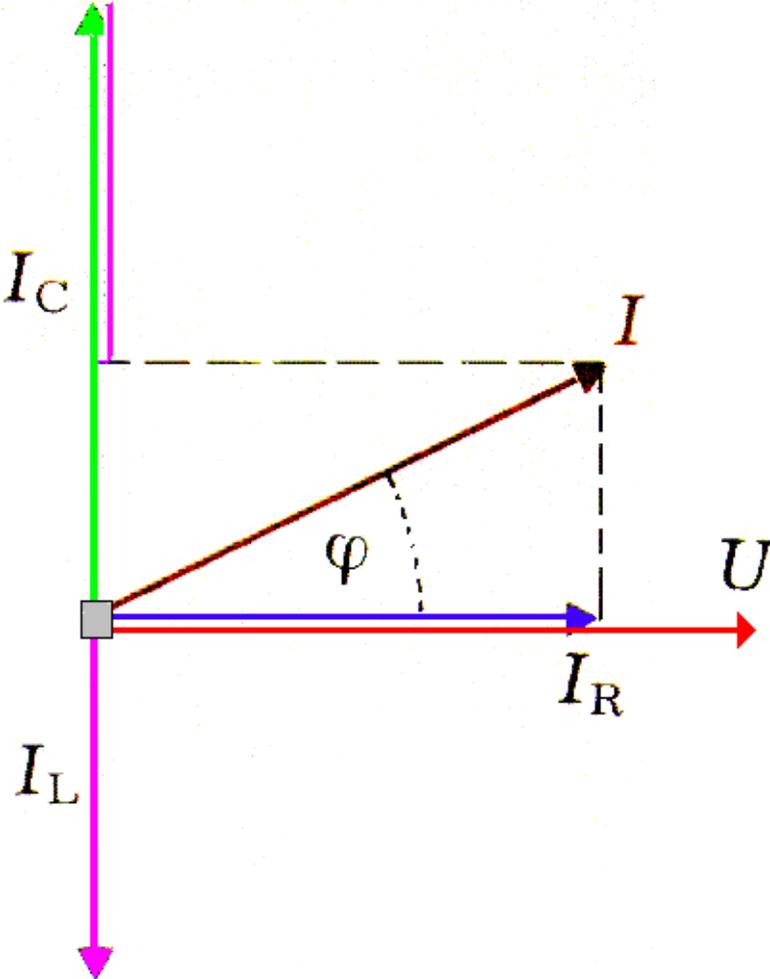


Parallel-Schaltung - Experiment



Parallel-Schaltung

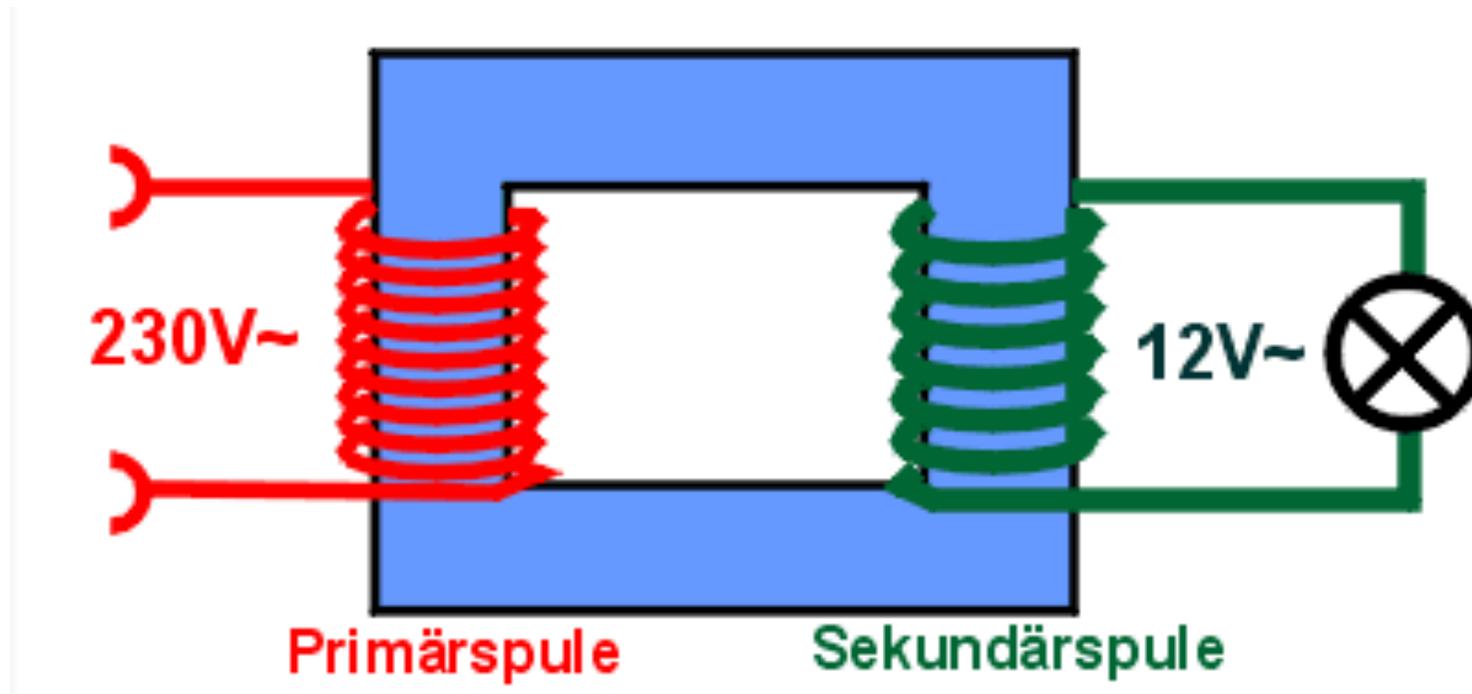




Strom-Zeiger



Begriffe ...



... Experimente wiederholen ... siehe PPT-Elektrodynamik SI



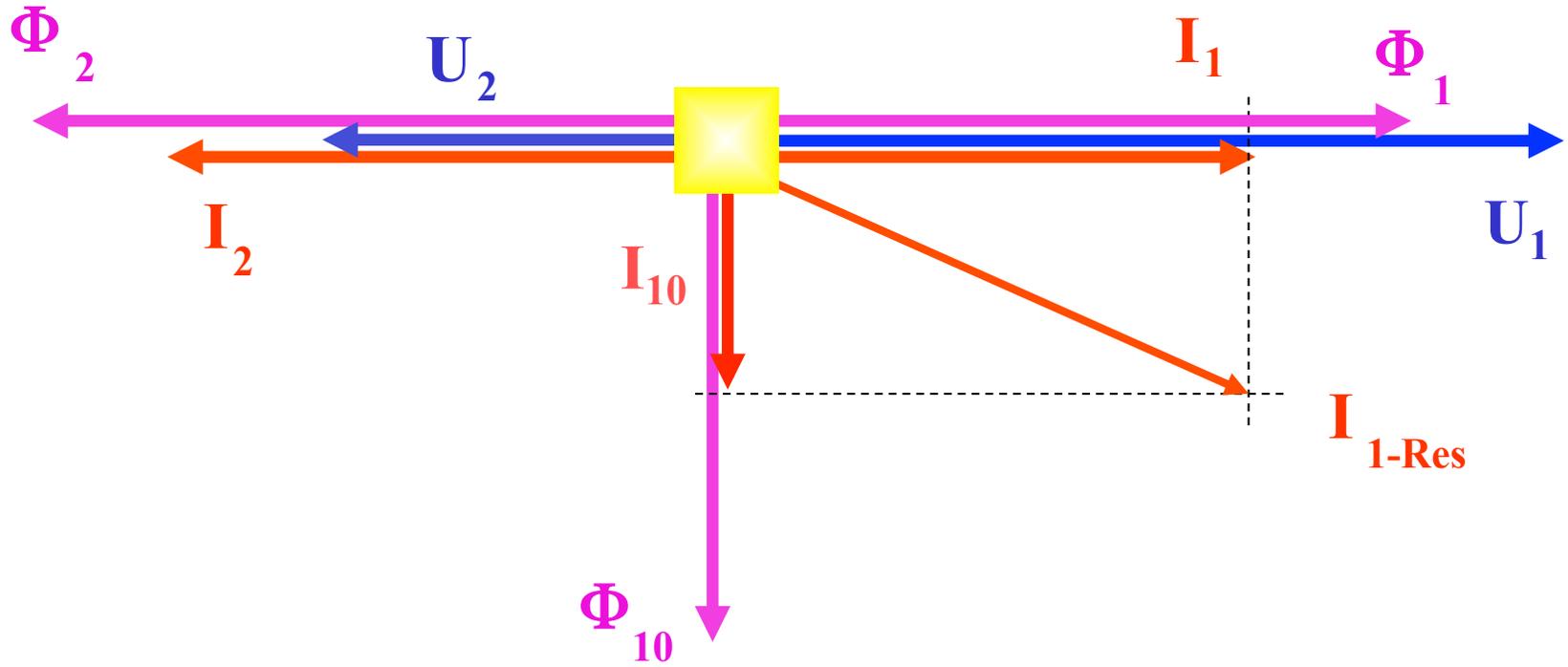
Transformator

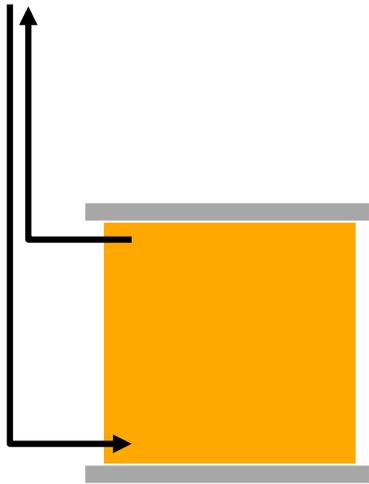
Zeichnen Sie
das Zeigerdiagramm
eines Transformators

- $U_1 \dots$ Primärspannung
- $I_{10} \dots$ Leerlaufstrom
- $\Phi_{10} \dots$ magn. Fluss im Leerlauf
- $U_2 \dots$ Sekundärspannung
- $I_2 \dots$ Sekundärstrom – bei Belastung
- $\Phi_2 \dots$ magn. Fluss durch I_2
- $I_1 \dots$ Primärstrom – bei Belastung
- $\Phi_1 \dots$ magn. Fluss durch I_1



Transformer

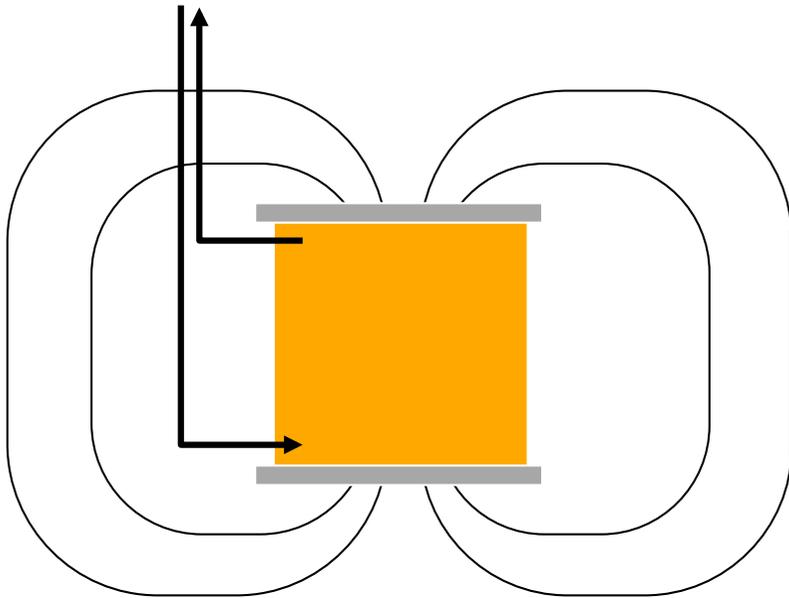




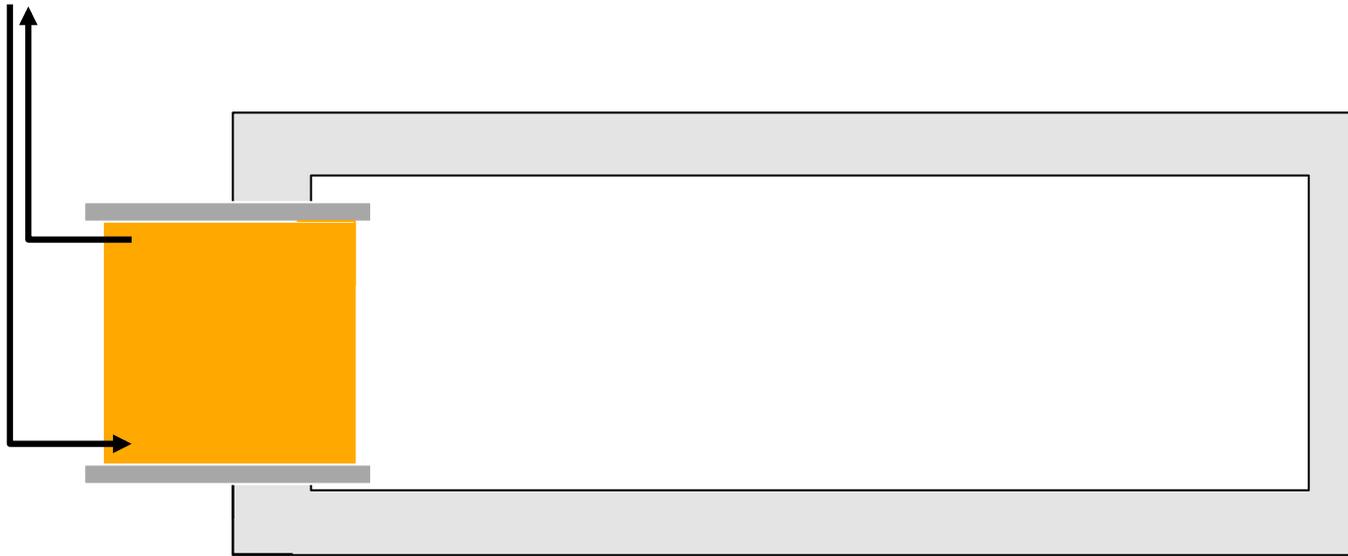
... eine von einem sinusförmigen Strom durchflossene Spule



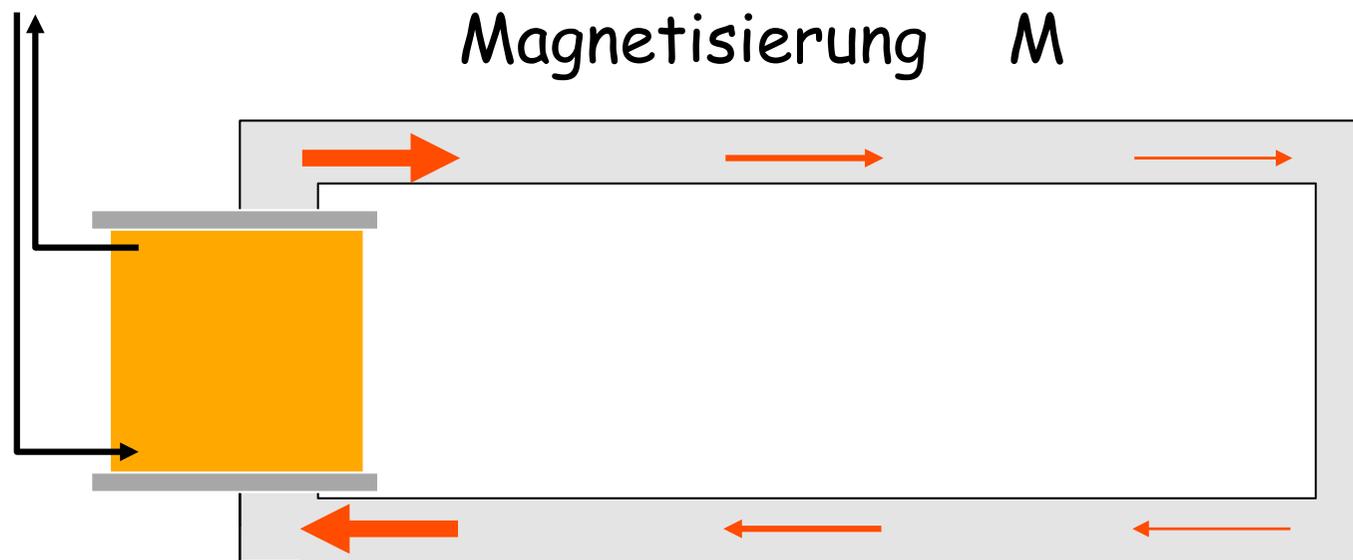
H-Feld



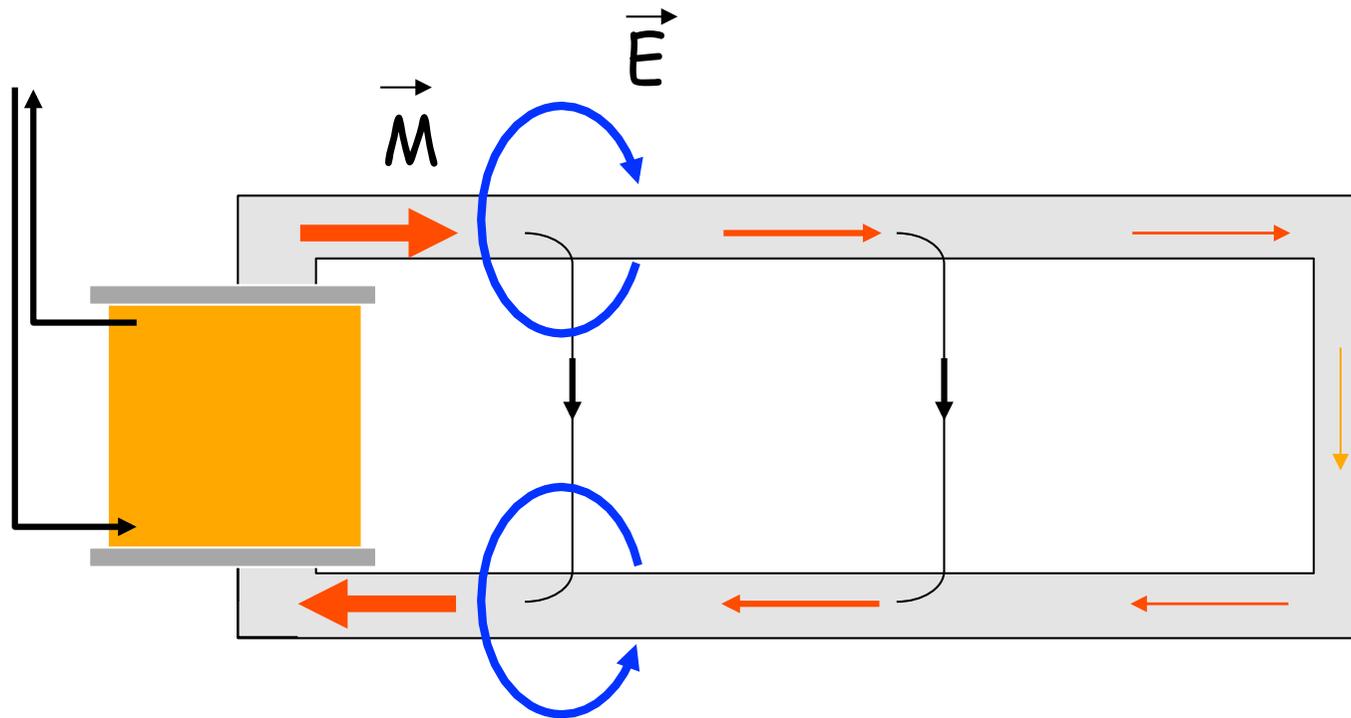
... erzeugt eine „sinusförmige“ H-Feld-Stärke



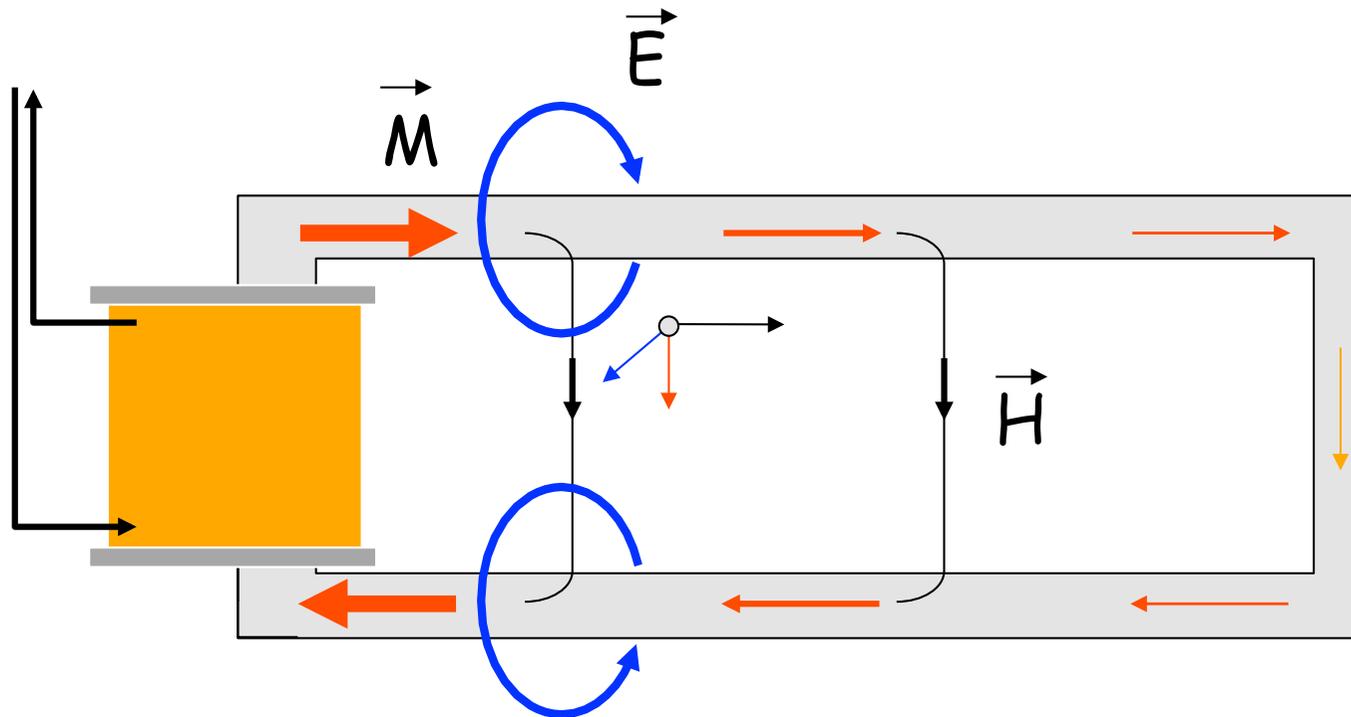
... hat die Spule einen geschlossenen Eisenkern, dann



... erzeugt die H-Feldstärke-Verteilung der „Luftspule“ im Weicheisenkern eine „sinusförmige“ Magnetisierung M

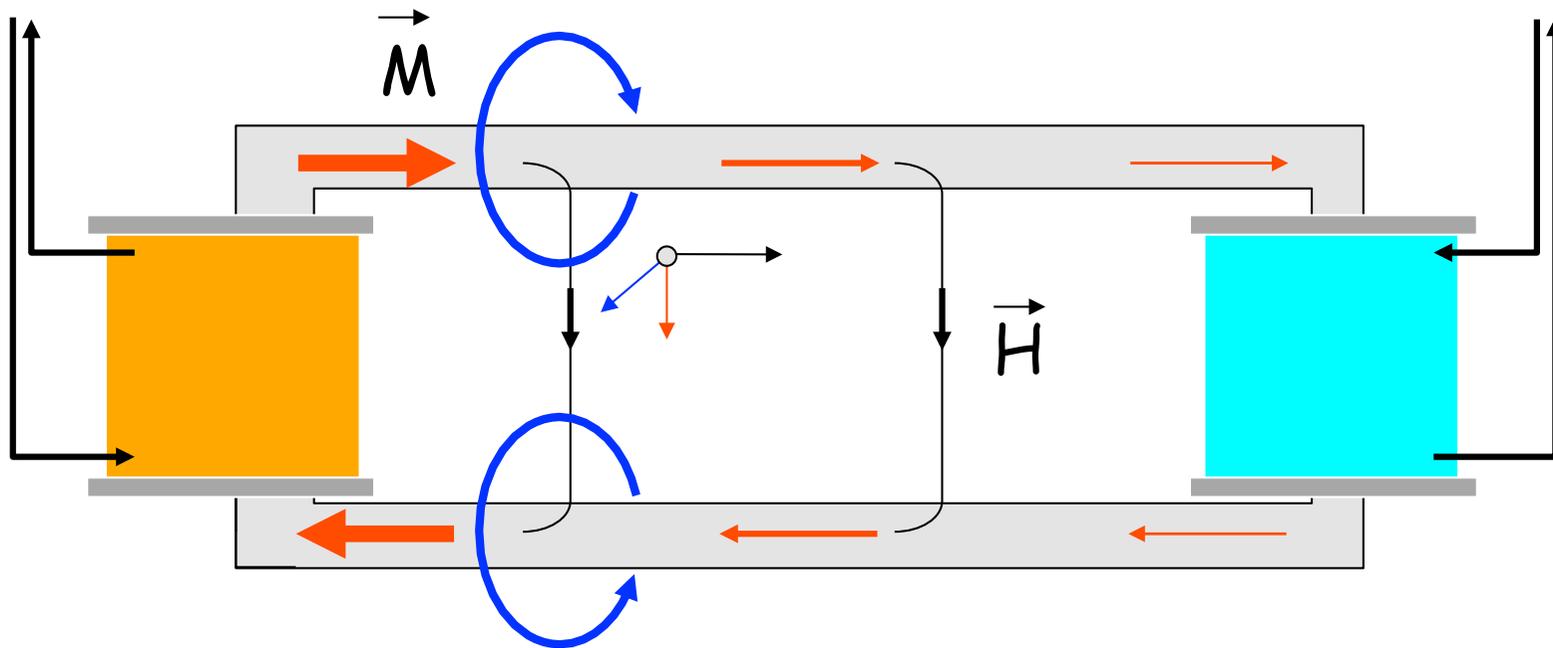


... die veränderliche M -Feld erzeugt ein E -Feld

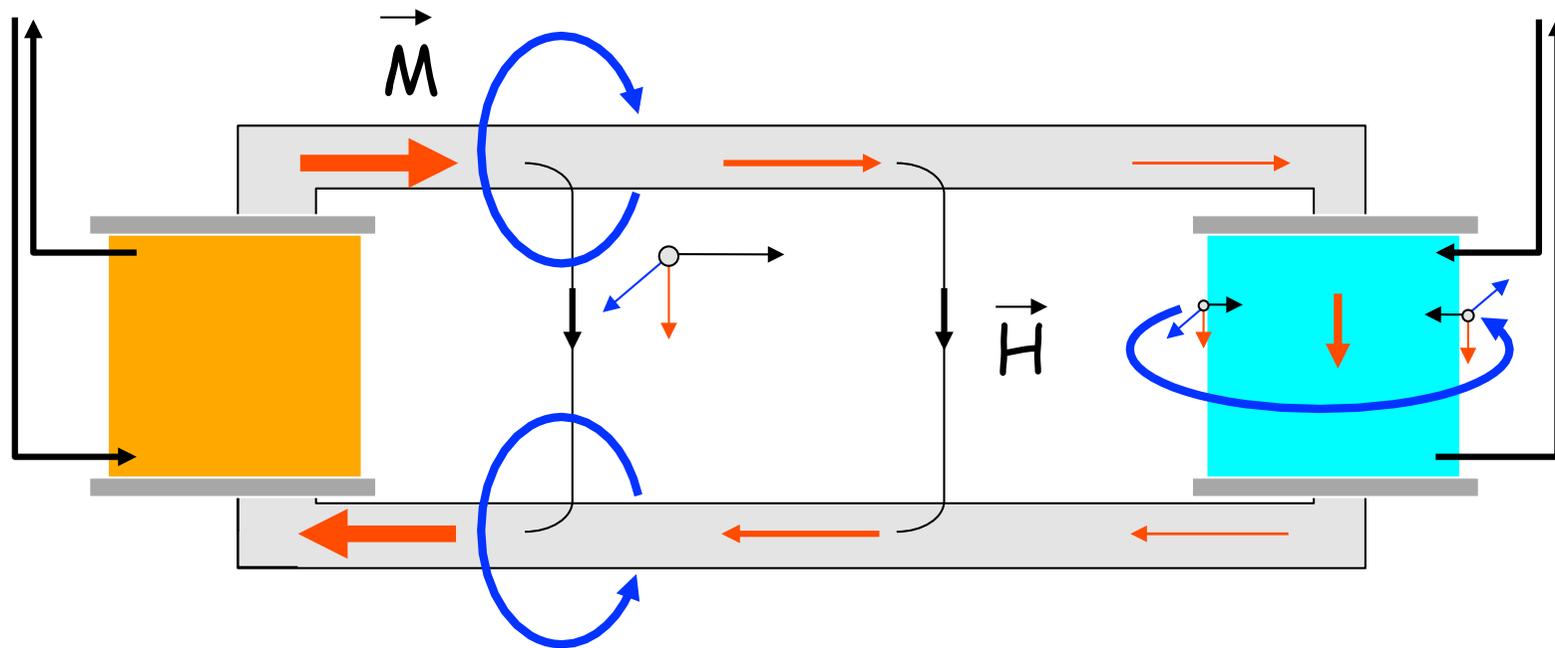


... die rechte Handregel des Energietransports („Poyntingvektor“) zeigt die Richtung des Energiestromes

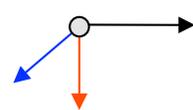
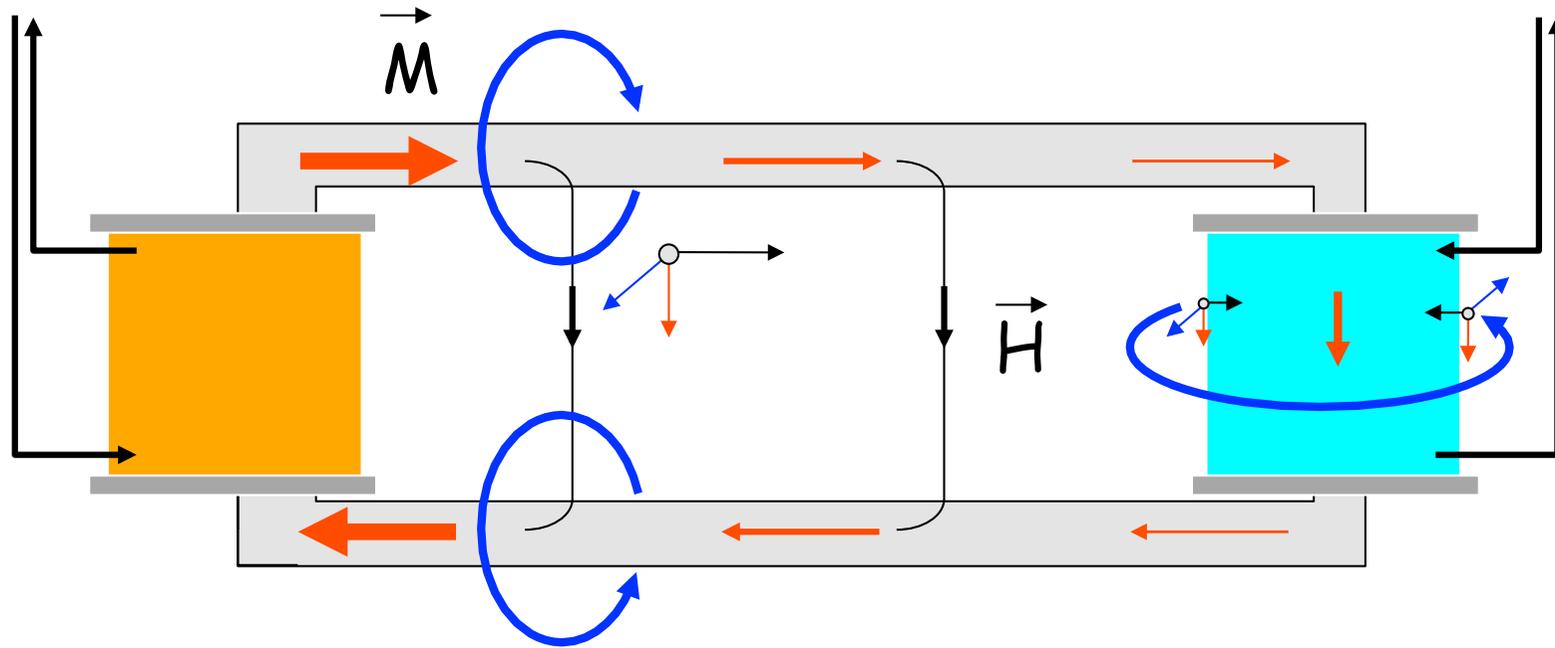




... sitzt auf dem Eisenkern eine Sekundärspule ...



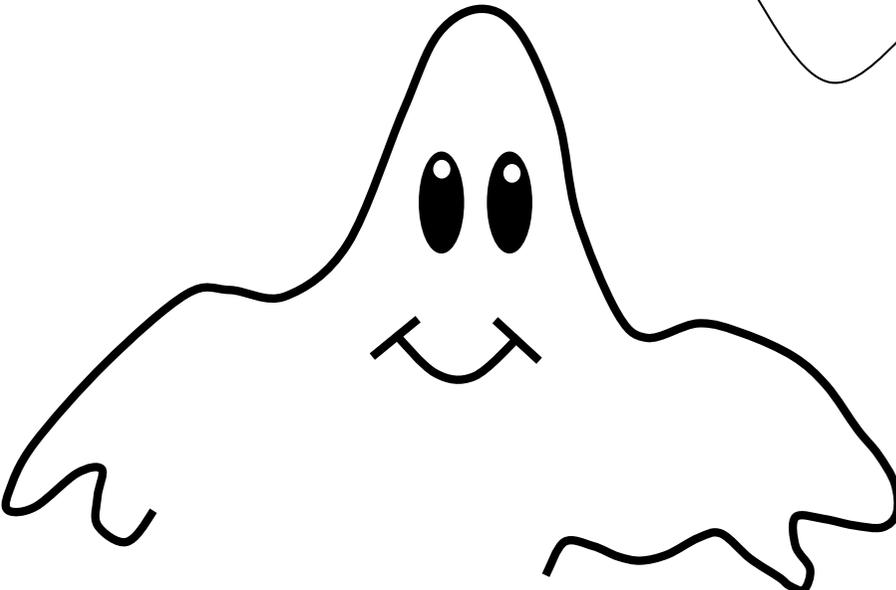
... ergibt dort die „rechte-Hand-Regel des Energietransports“ die Richtung des Energiestroms



rechte Handregel
Energiestrom

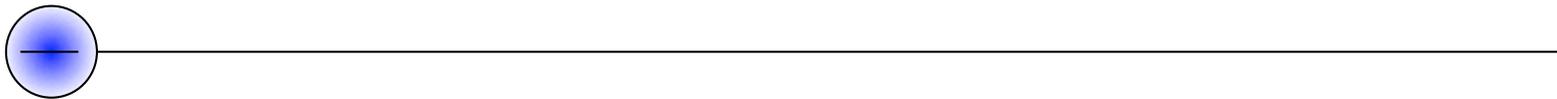
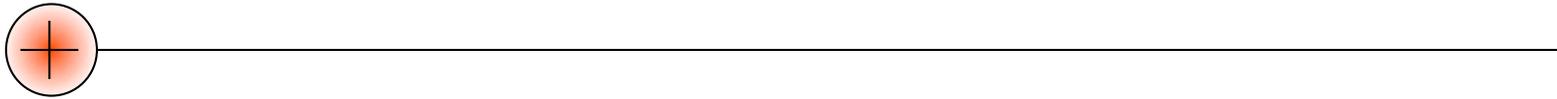


2-Drahtleitung Energiestrom



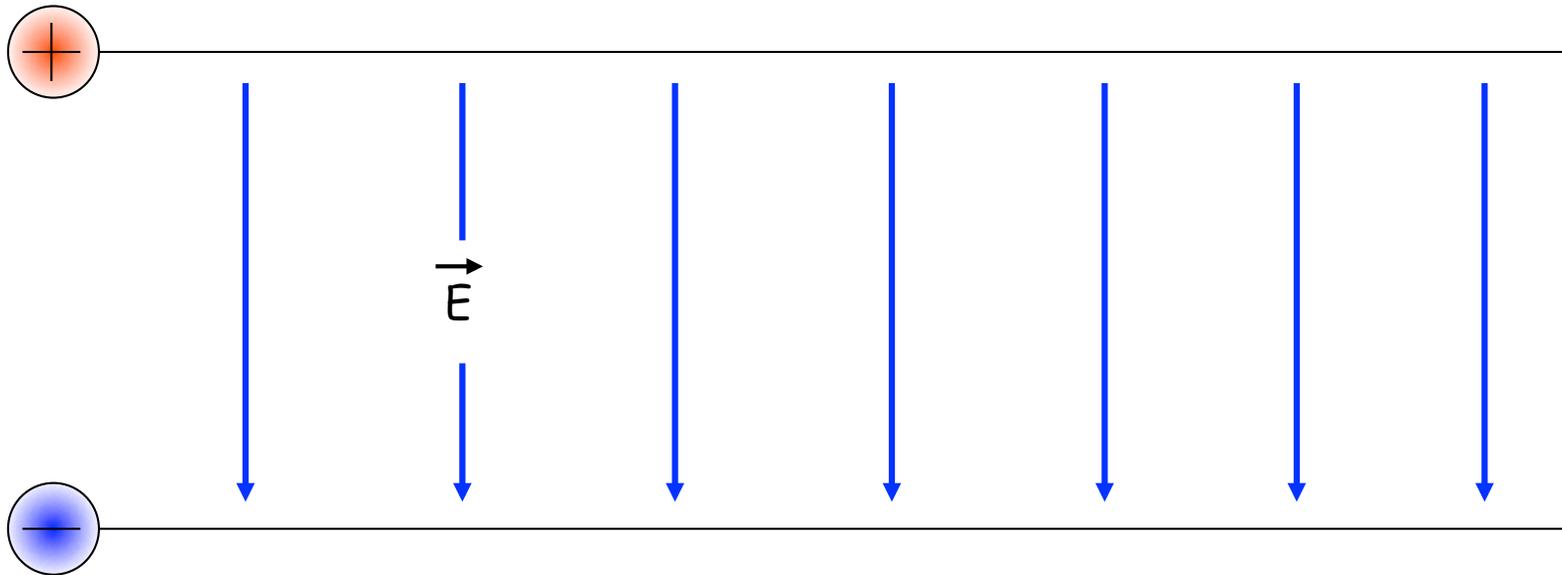
franz kranzinger





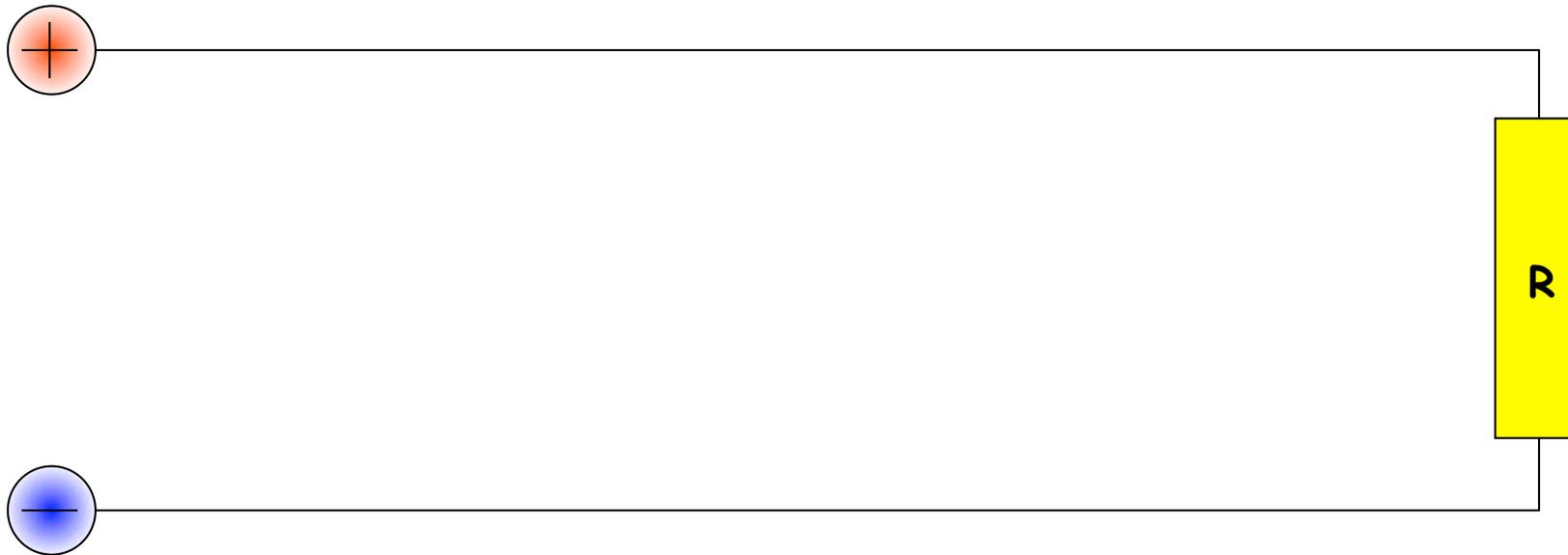
... wir haben eine „Zweidrahtleitung“





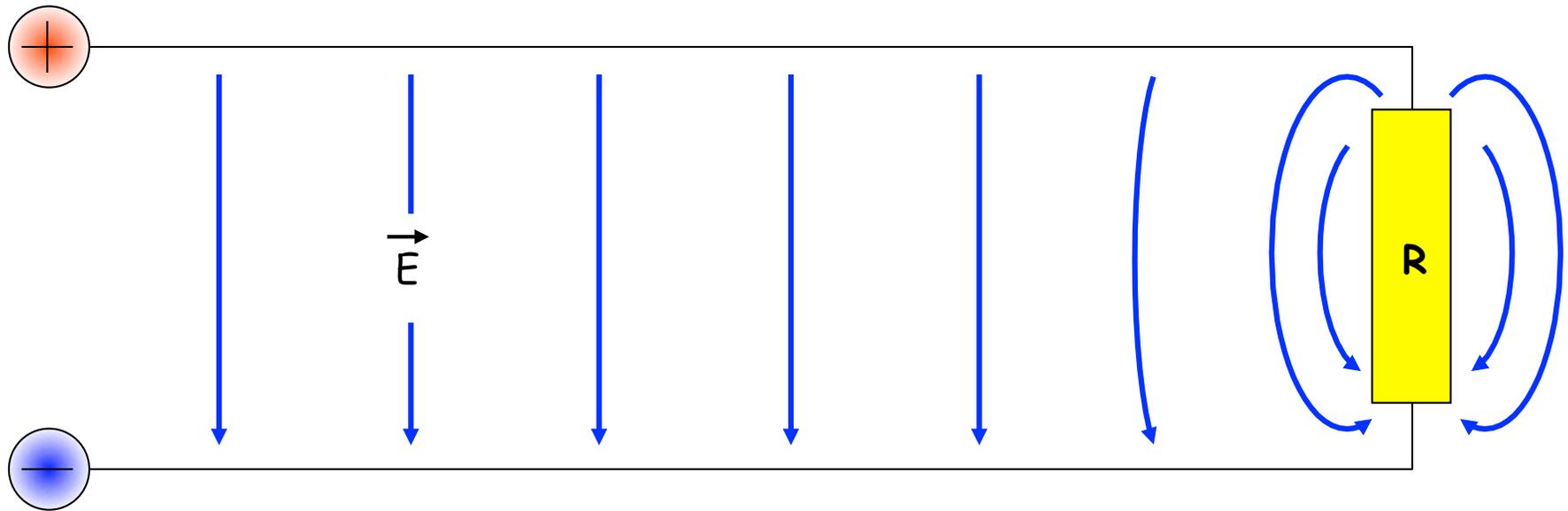
zwischen den beiden Leitungen besteht ein elektrisches Feld ...



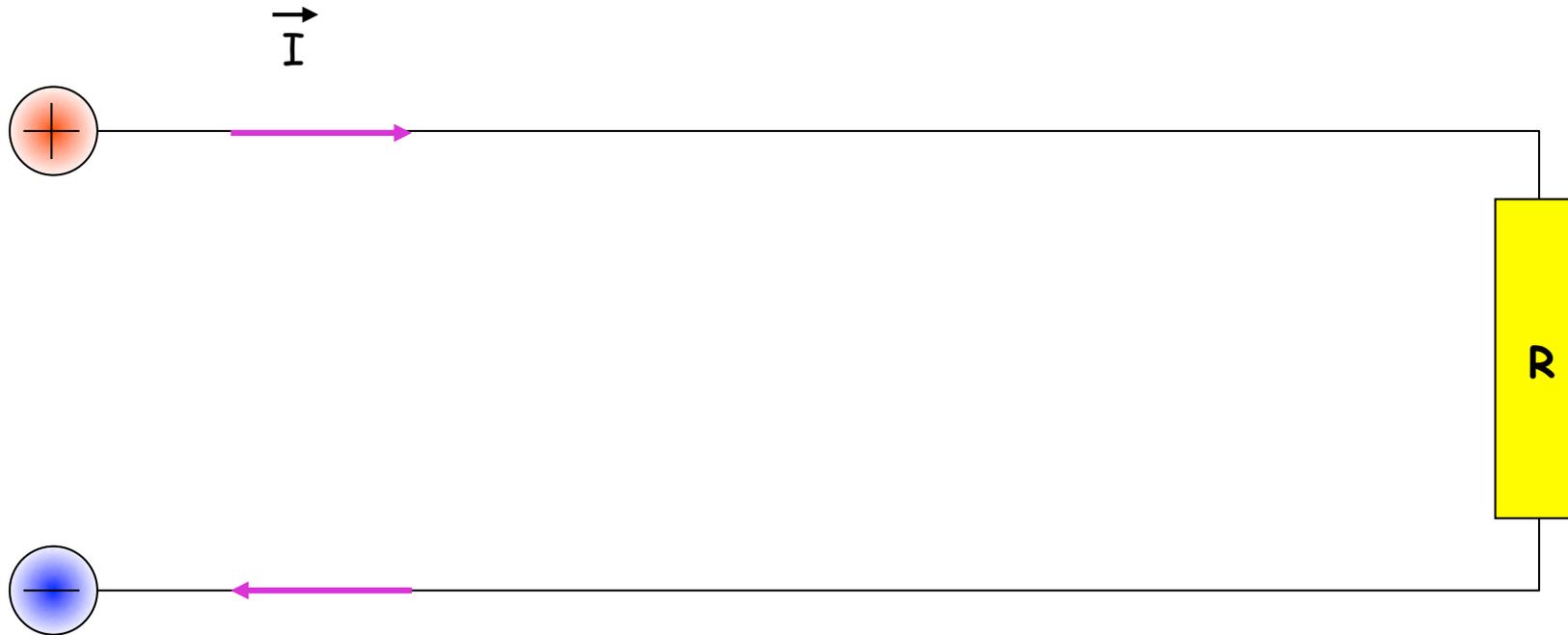


... ist der Stromkreis geschlossen, ergibt sich im Umfeld des Widerstandes ...



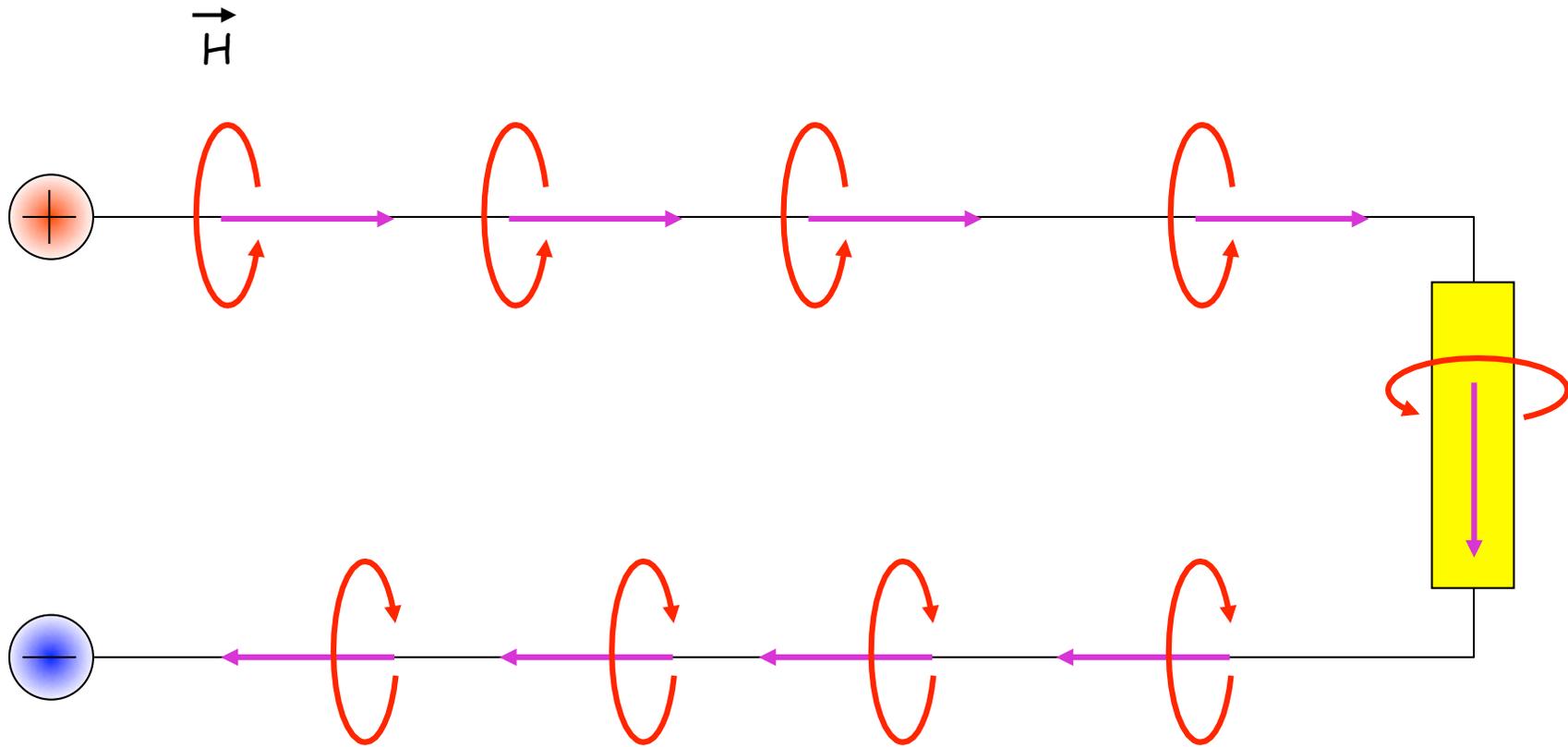


... ebenfalls ein E-Feld ...

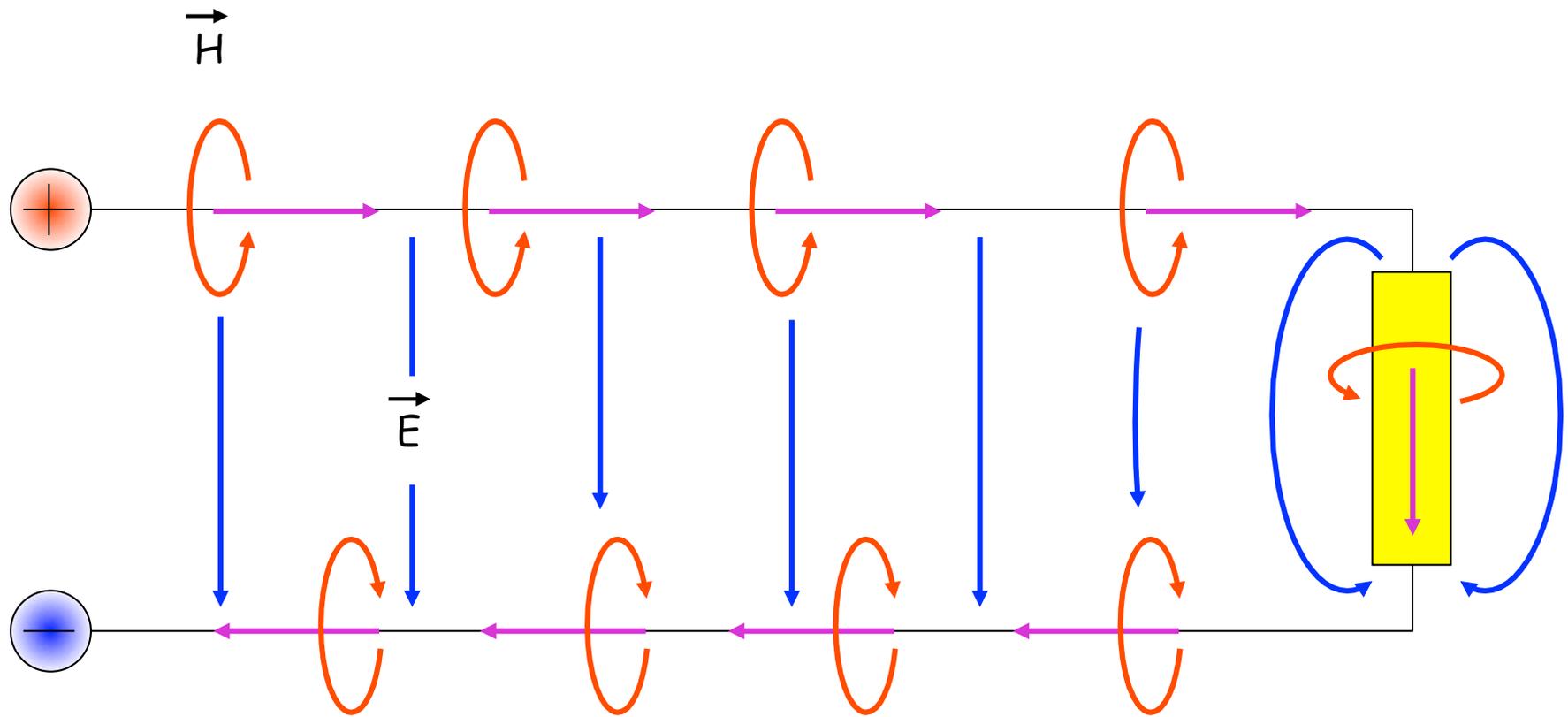


... ein elektrischer Strom I

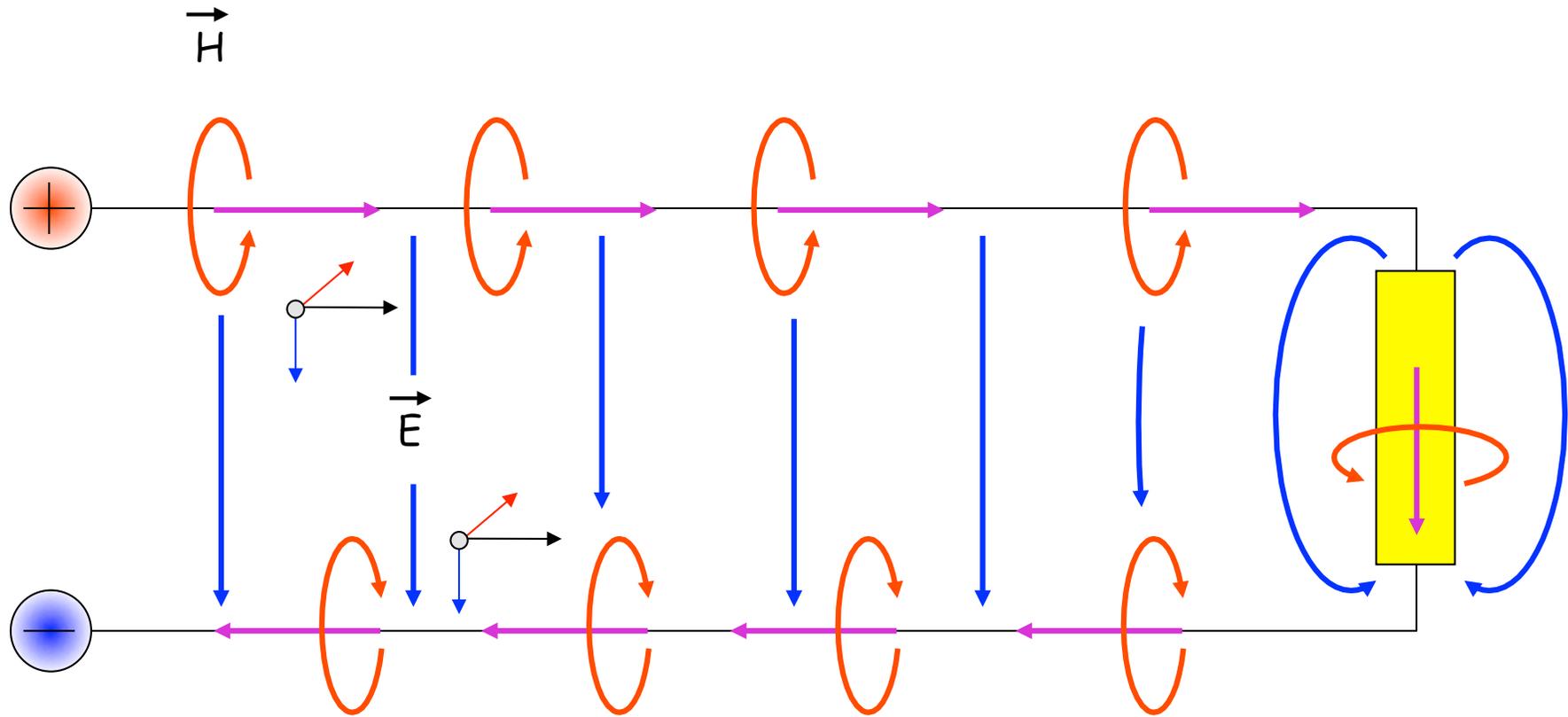




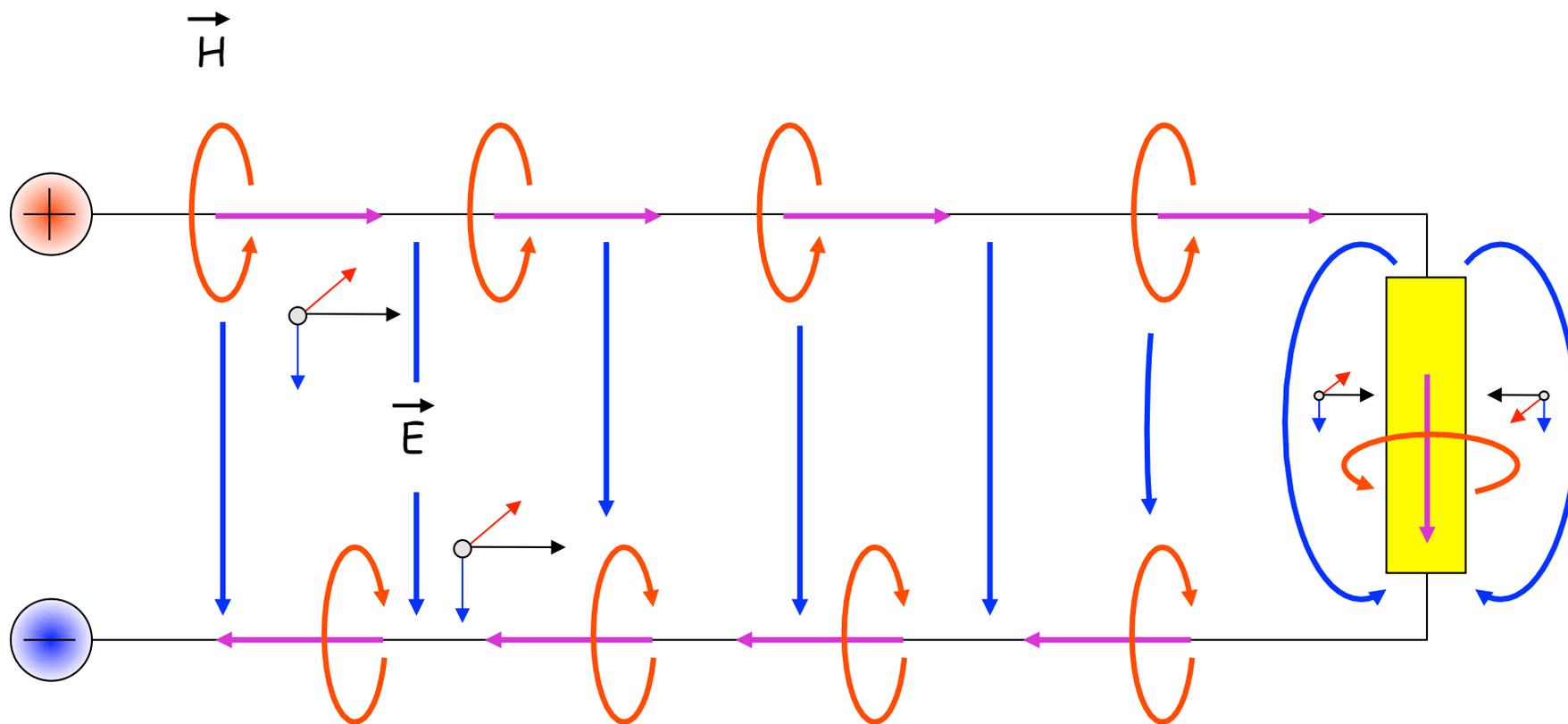
... führt zu einem H-Feld in der Umgebung der „Zweidrahtleitung“



... zusammen erkennen wir ein E-Feld und ein H-Feld

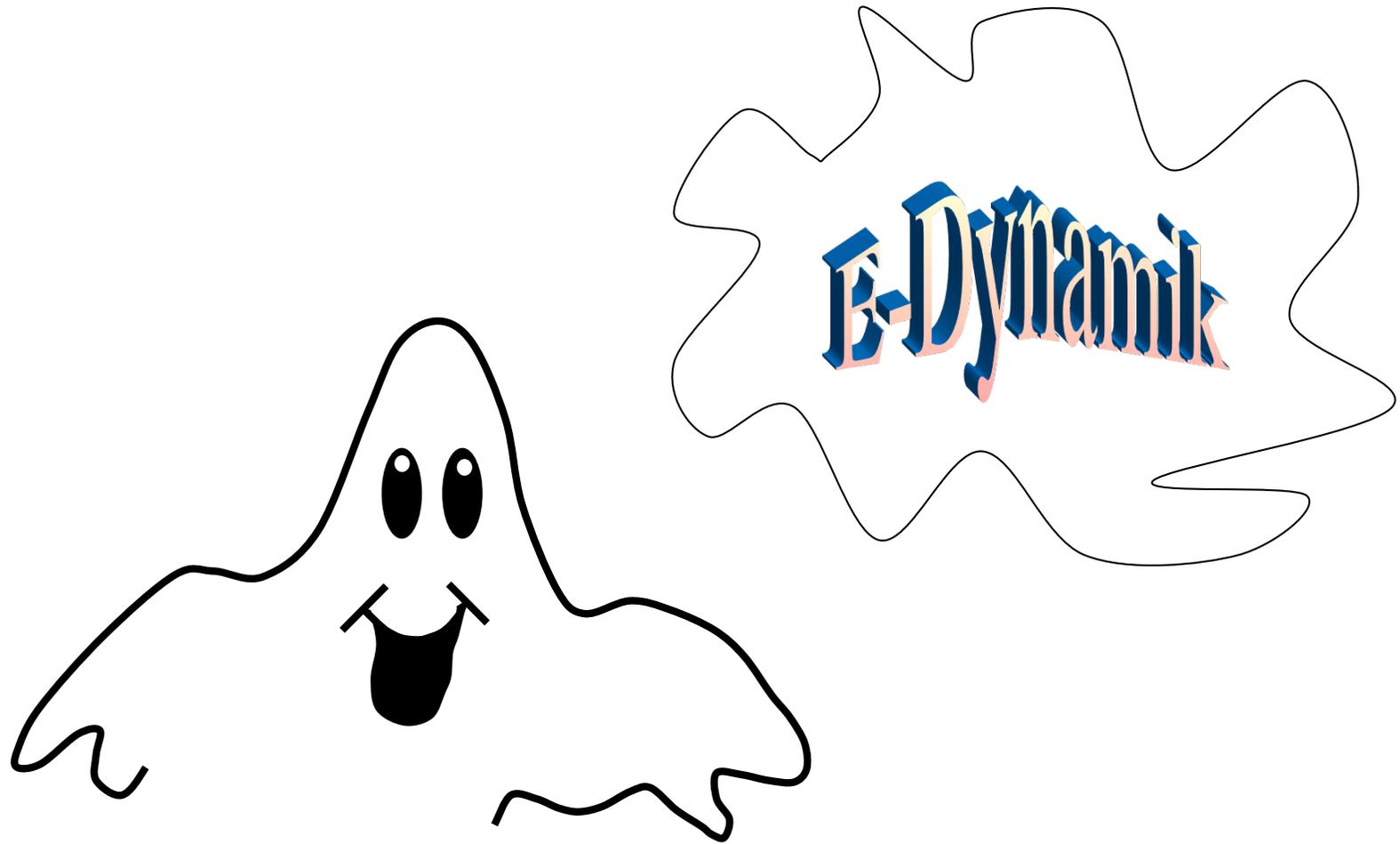


... und mit der „Rechten-Hand-Regel“ des Energiestromes finden wir die Energiestromrichtung längs der Leitung



... und am Widerstand R





... im Alltag



Kernideen → Elektro-Dynamik

WIRKUNGEN

Chemische Wirkung

Wärme-Wirkung

magnetische Wirkung

Lorentz-Kraft

Elektromotor

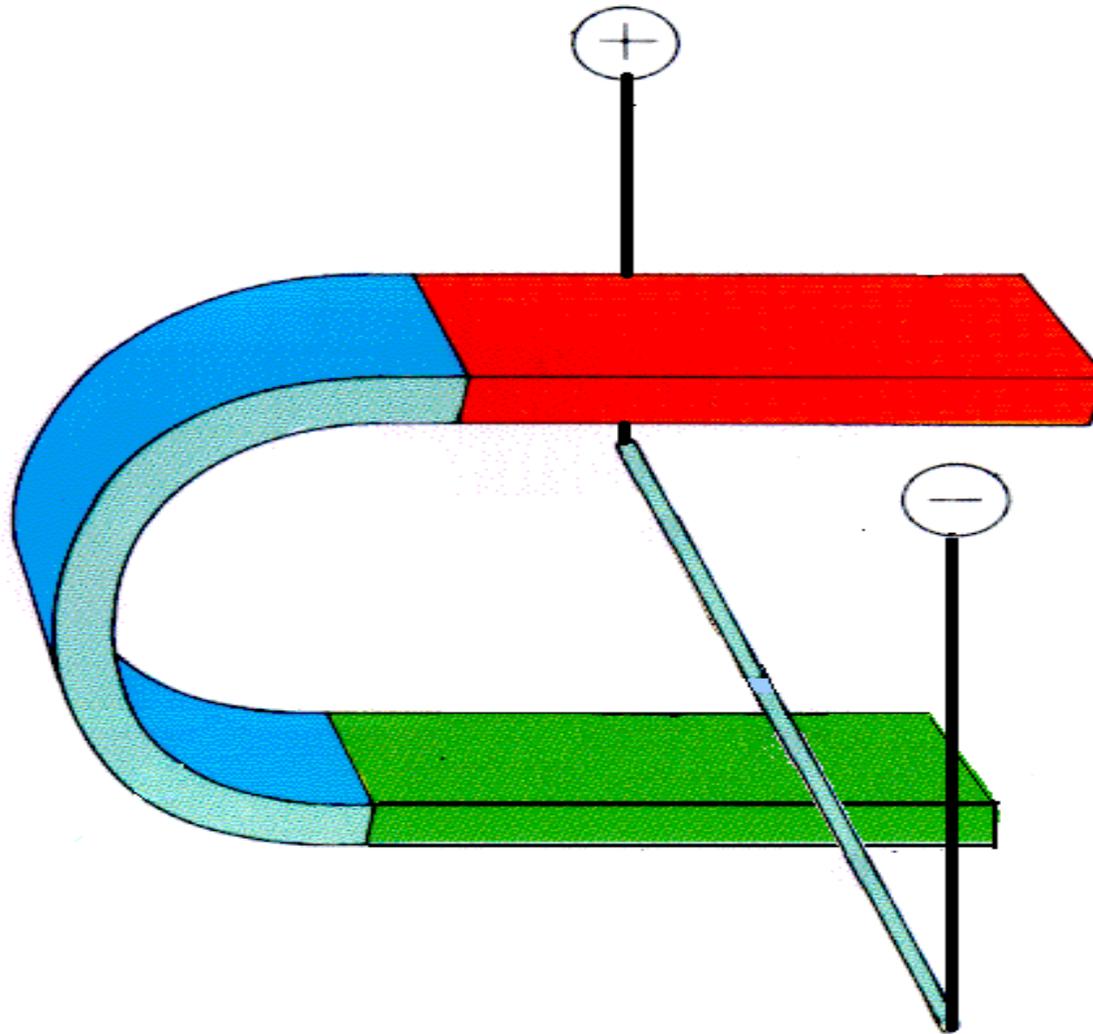
Induktion

Generator

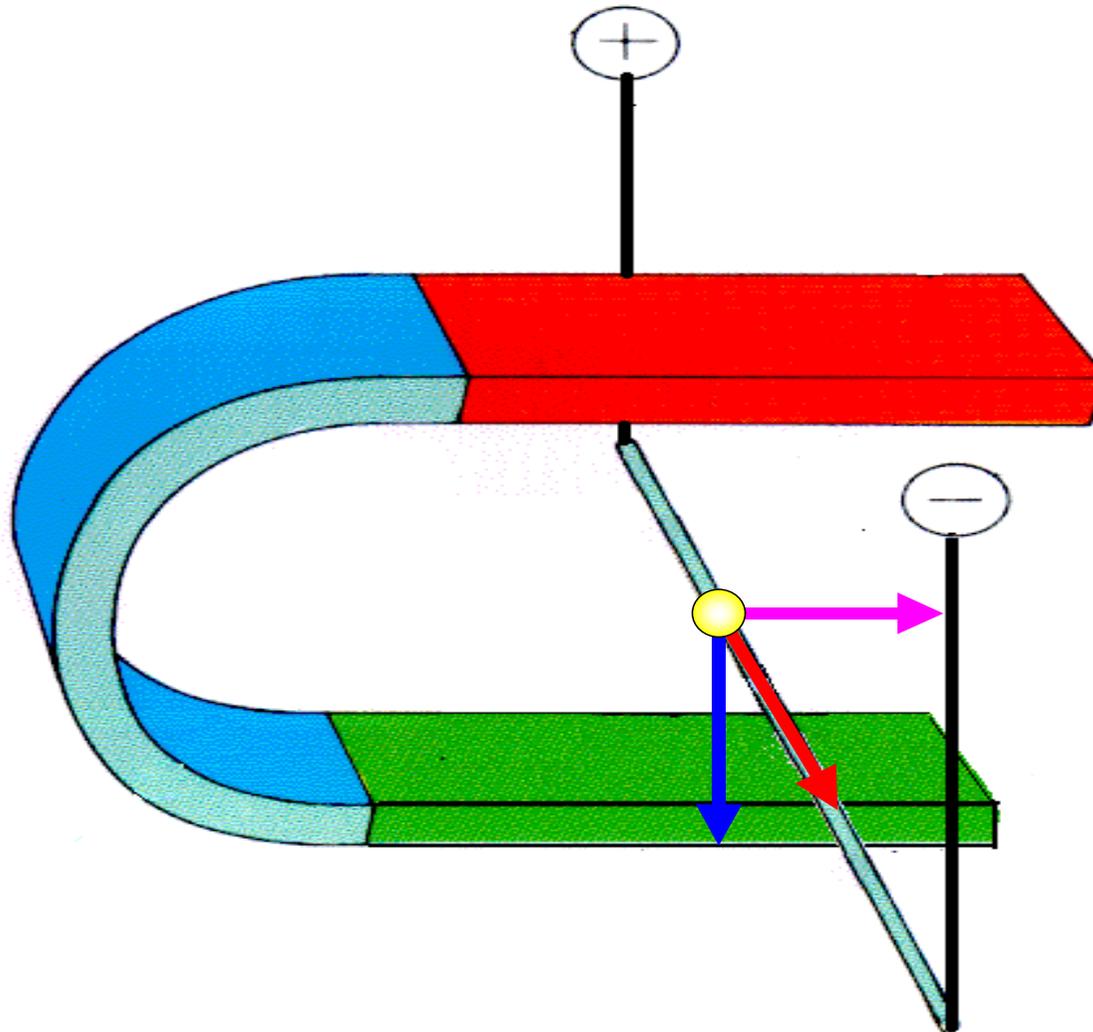
Transformator



Kraft auf stromdurchflossene Leiter



Rechte-Hand-Regel



... wir sind in Klasse 10

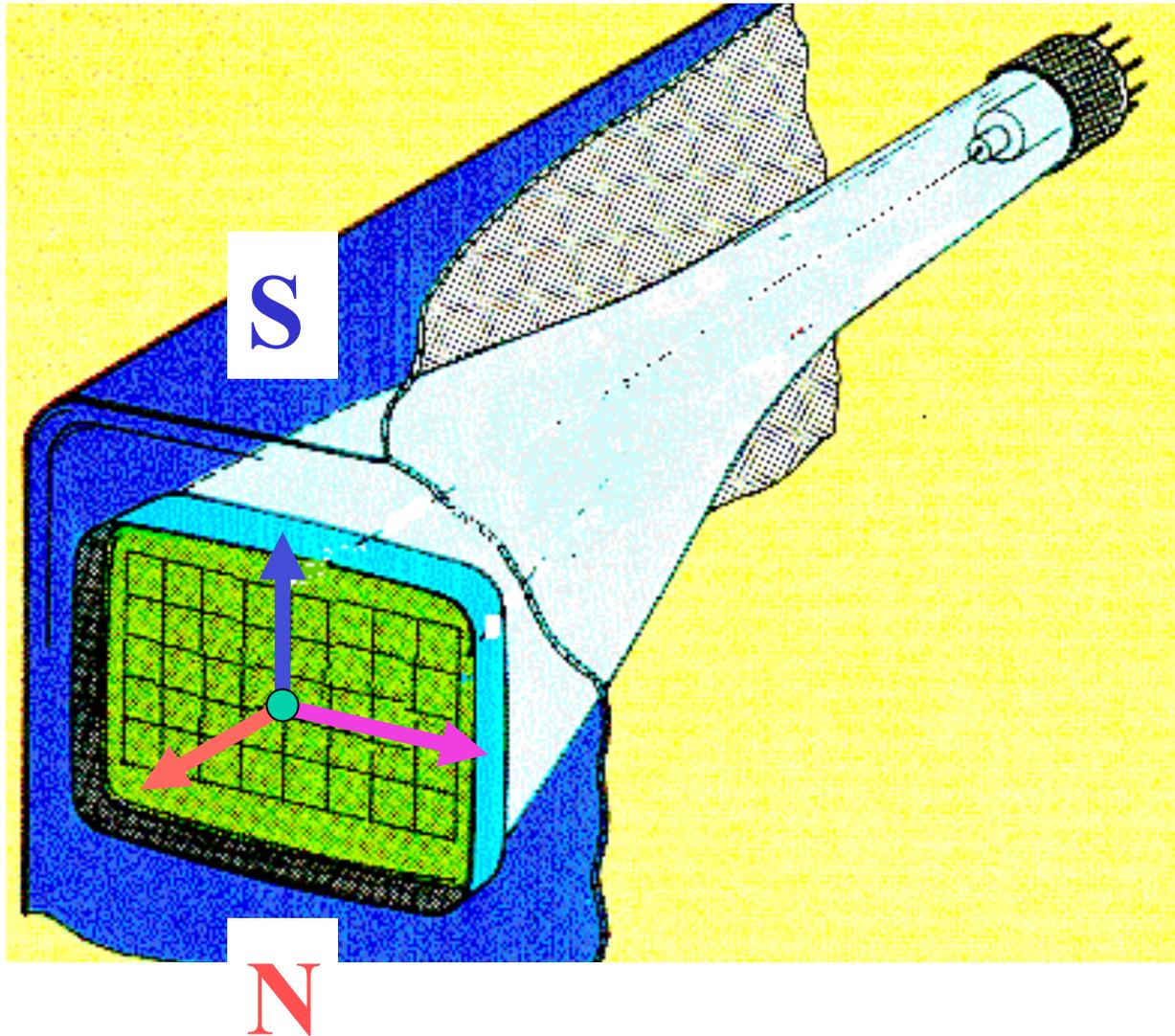
- ✚ ... die Klasse kennt also inzwischen den Unterschied zwischen der „elektrischen Ladung“ und den „Ladungsträgern“
- ✚ ... Strafzettelmodell ...
- ✚ ... Elektronen ... „elektrische Strafzettel“...
- ✚ ... „Elektronen“ - negative Ladungsträger fließen entgegen dem Ladungsstrom

➔ rechte Hand ... Ladungsstrom

➔ linke Hand ... Elektronenstrom



Lorentzkraft



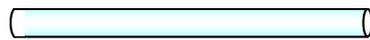
Immer wenn sich Ladungsträger in einem Magnetfeld bewegen, werden sie abgelenkt!



mechanisches Modell



Welche Möglichkeiten gibt es,
die Luft im Glasrohr zu bewegen?



B



A

Teamarbeit ... Übertragung des mechanischen Modells auf die E-Lehre ... Pflichtvorgabe der
BS-Physik: Analogie-Betrachtungen



Teamarbeit ... Übertragung auf die E-Lehre

Teamarbeit A → Prinzip: Elektromotor

- Luft wird durch das Glasrohr geblasen
- Ladung fließen durch das Kabel
- Ladungsträger erfahren eine Ablenkung
- Kraft auf das Kabel

... S-Beitrag: Ladungsverschiebung quer zum Kabel ... Halleffekt

Teamarbeit B → Prinzip: Dynamo

- Luft wird mit dem Glasrohr bewegt
- Ladung wird mit dem Kabel bewegt
- Ladungsträger im Kabel erfahren eine Ablenkung
- Strom im Kabel ... Induktionsstrom



... wie werden Leitersträger
reagieren ... kein
Magnet-Feld ... kurze
Zeit später ...

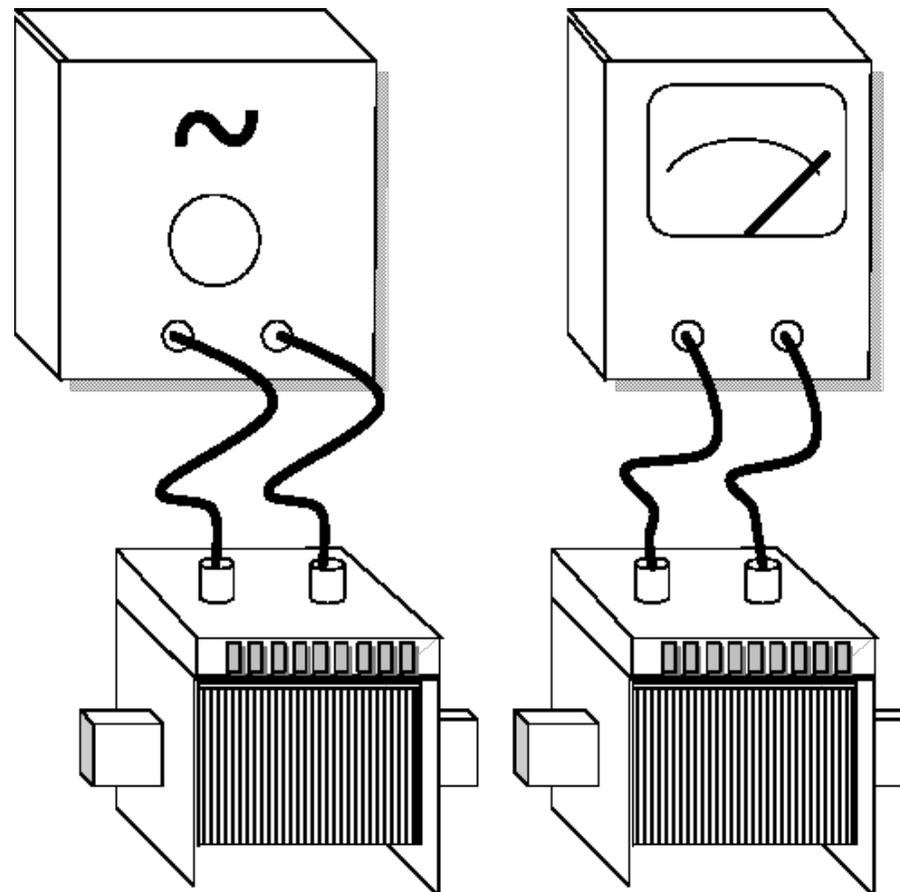
Praktikum ... Experimente ...

... relative Bewegung Leiter | Magnetfeld

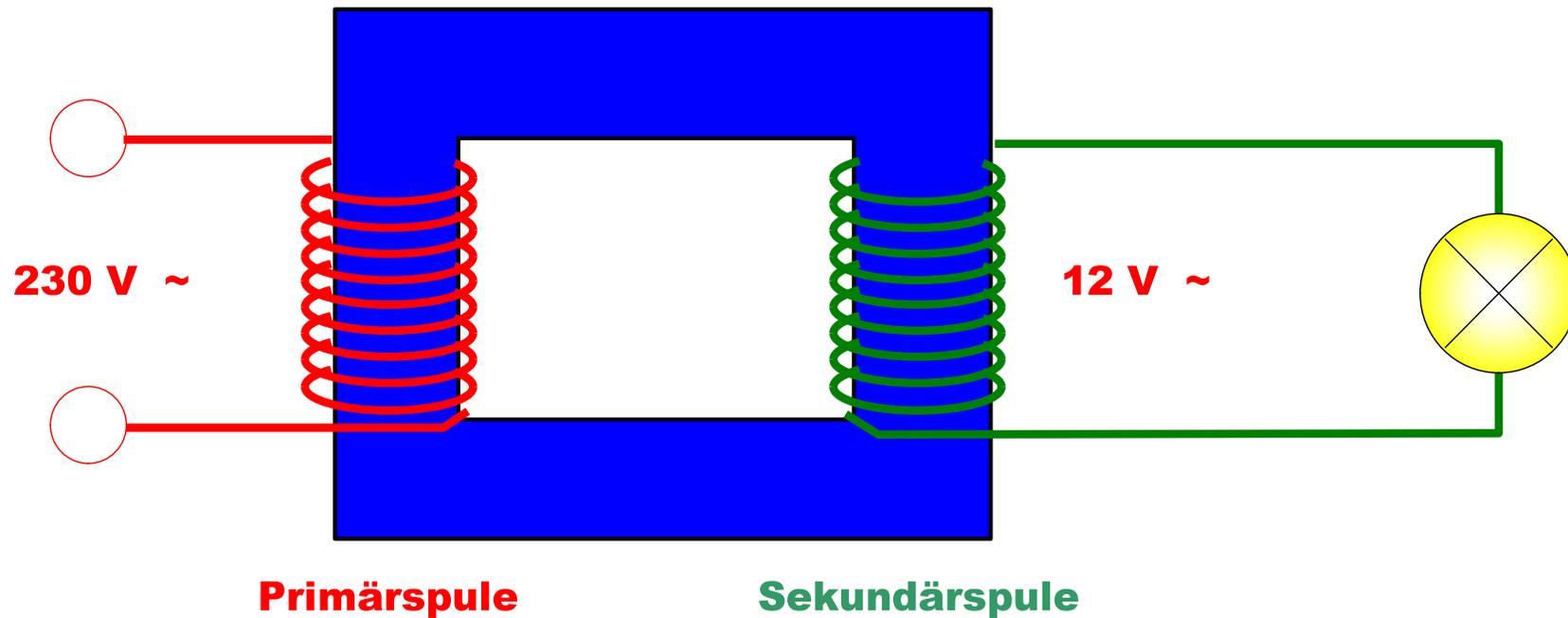
... Induktion bei Magnetfeldänderungen →

... Transformator-Prinzip

Experiment!



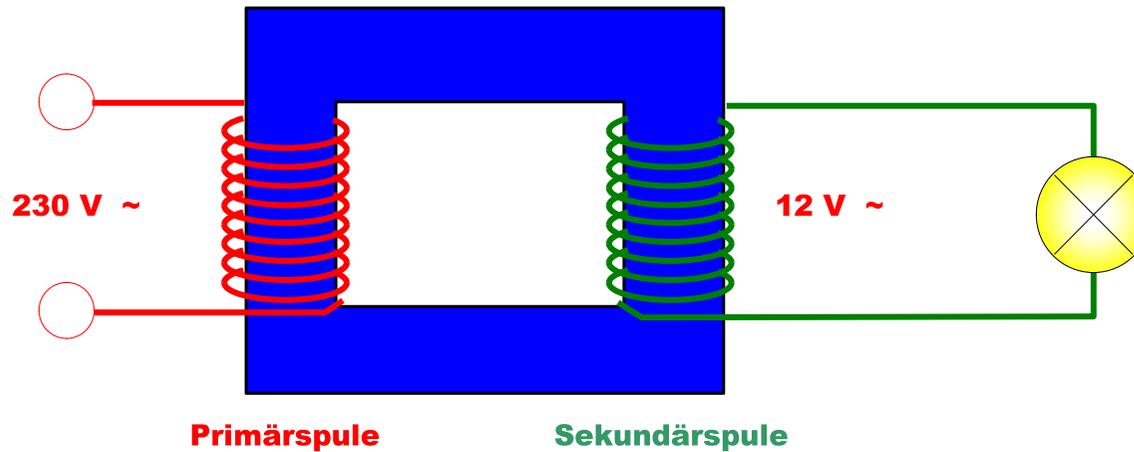
Begriffe ... Experimente → Spannungs-Formel ...



$$\frac{U_{\text{Primär}}}{U_{\text{Sekundär}}} = \frac{n_{\text{Primär}}}{n_{\text{Sekundär}}}$$



Begriffe ... EES → Strom-Formel ...



Energiestrom primär
 $25 \text{ Watt} \approx 230 \text{ V} \cdot 0,11 \text{ A}$

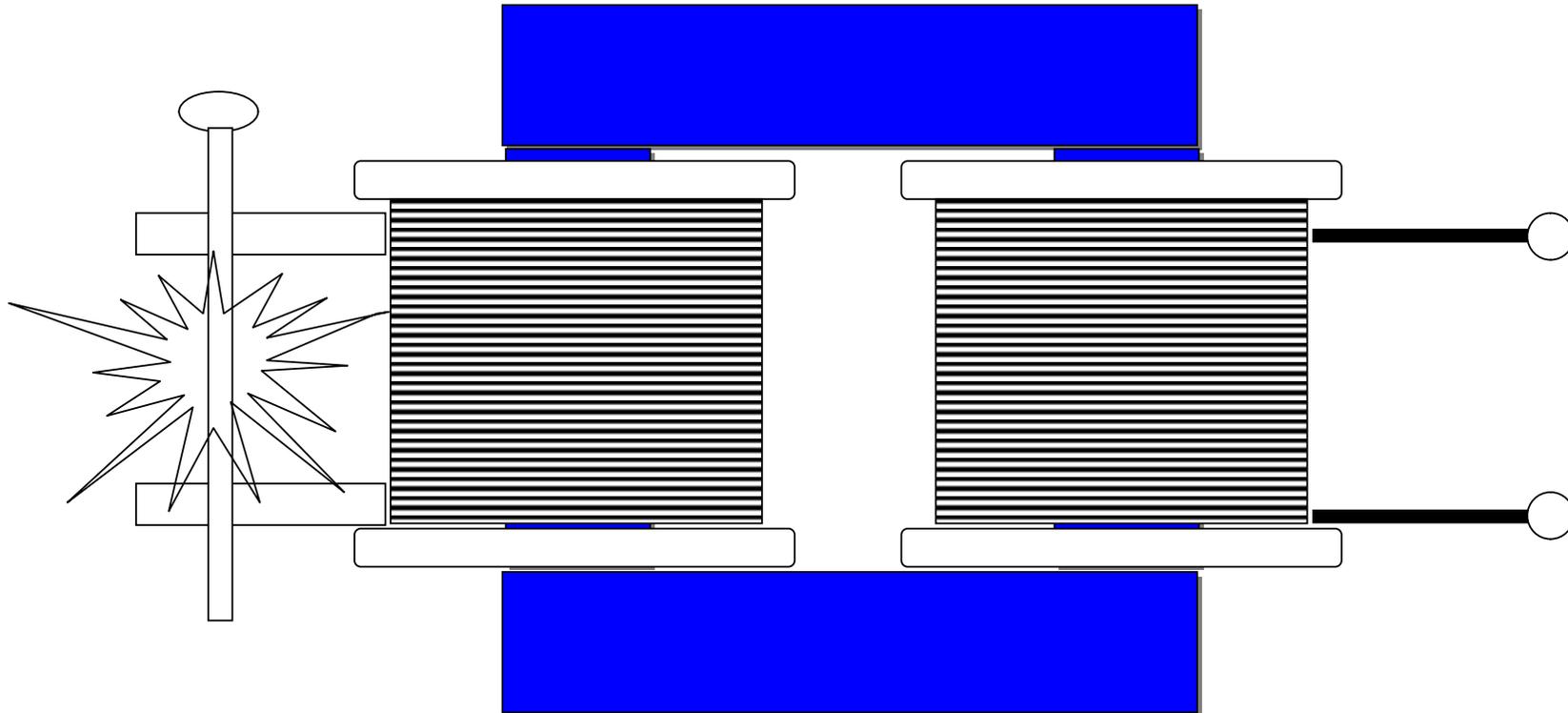
Energiestrom sekundär
 $25 \text{ Watt} \approx 12 \text{ V} \cdot 2,1 \text{ A}$

$$I_{\text{Primär}} \cdot U_{\text{Primär}} = U_{\text{Sekundär}} \cdot I_{\text{Sekundär}}$$

$$\frac{I_{\text{Primär}}}{I_{\text{Sekundär}}} = \frac{U_{\text{Sekundär}}}{U_{\text{Primär}}}$$



Exp 02

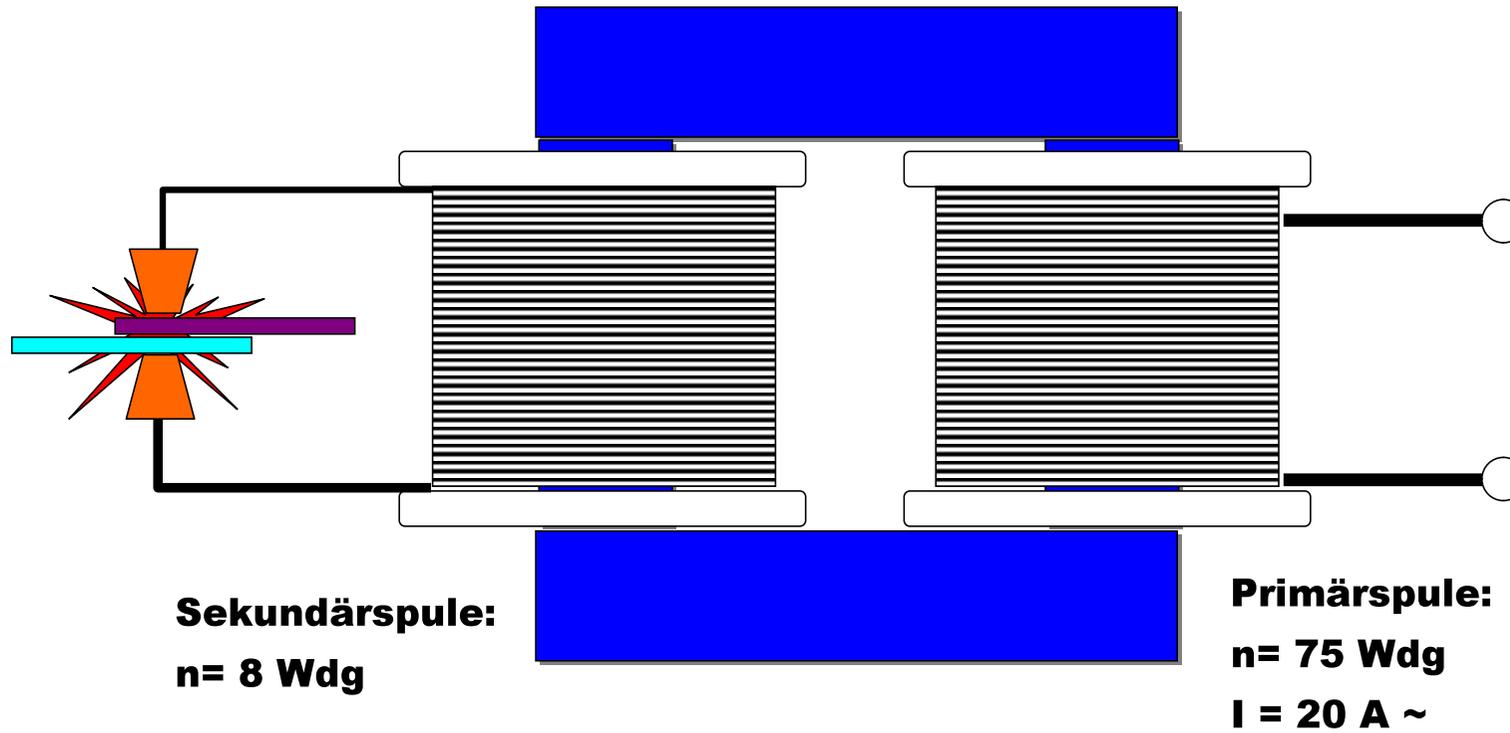


Sekundärspule:
 $n = 8$ Wdg

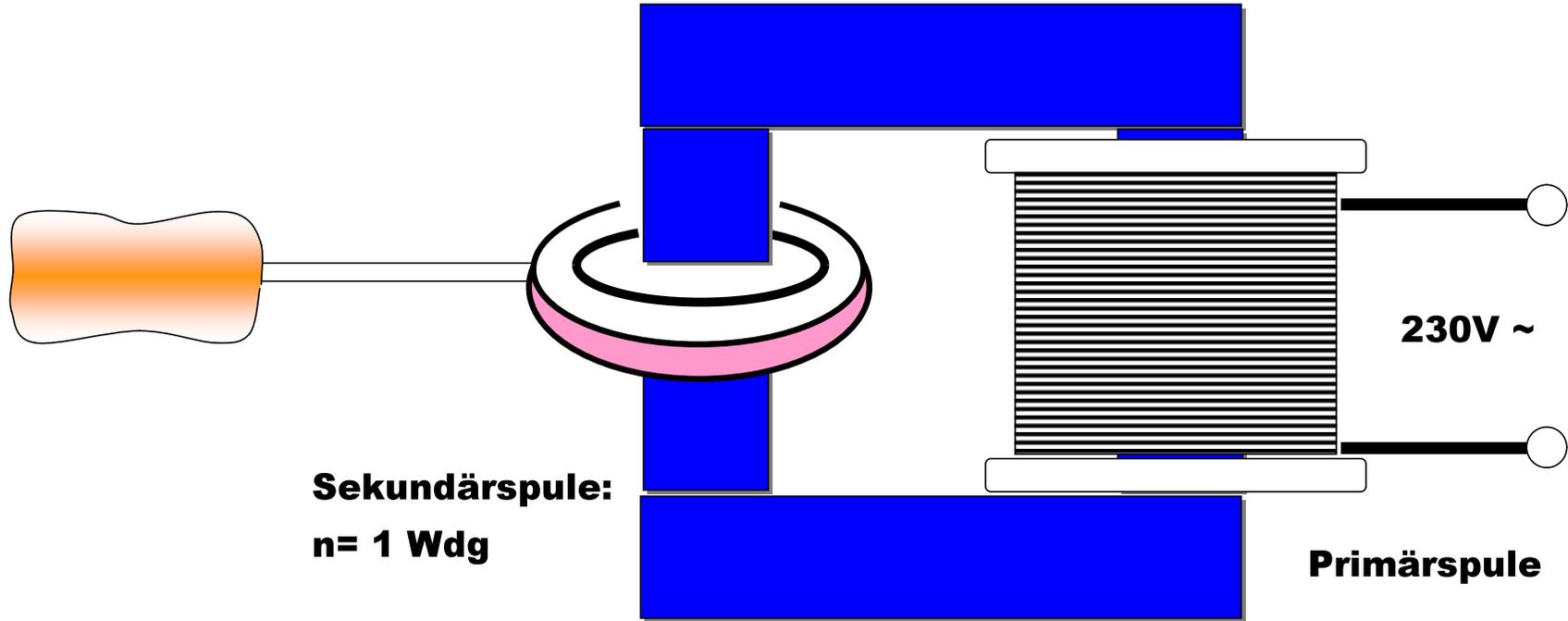
Primärspule:
 $n = 75$ Wdg
 $I = 20$ A ~



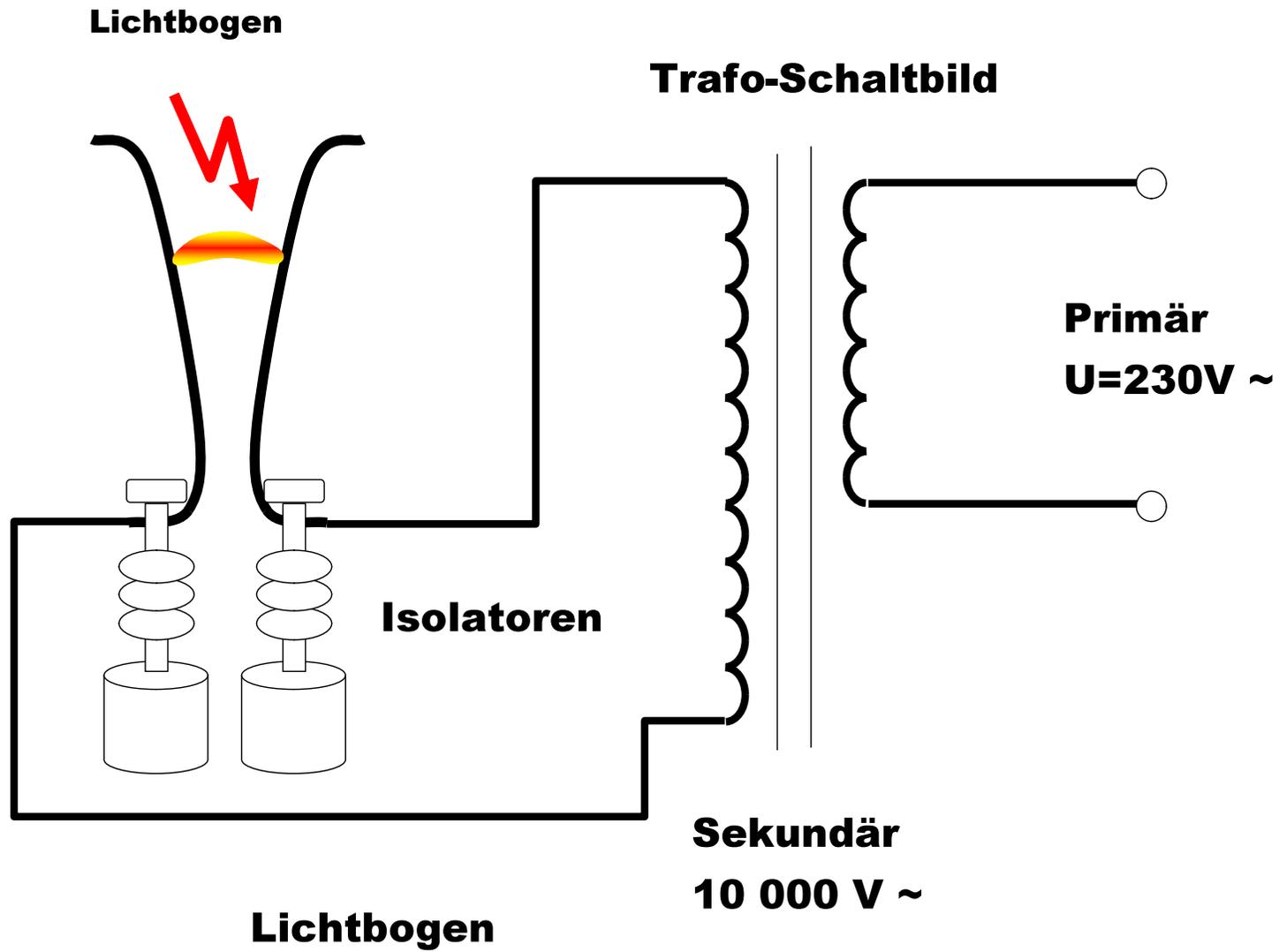
Exp 03

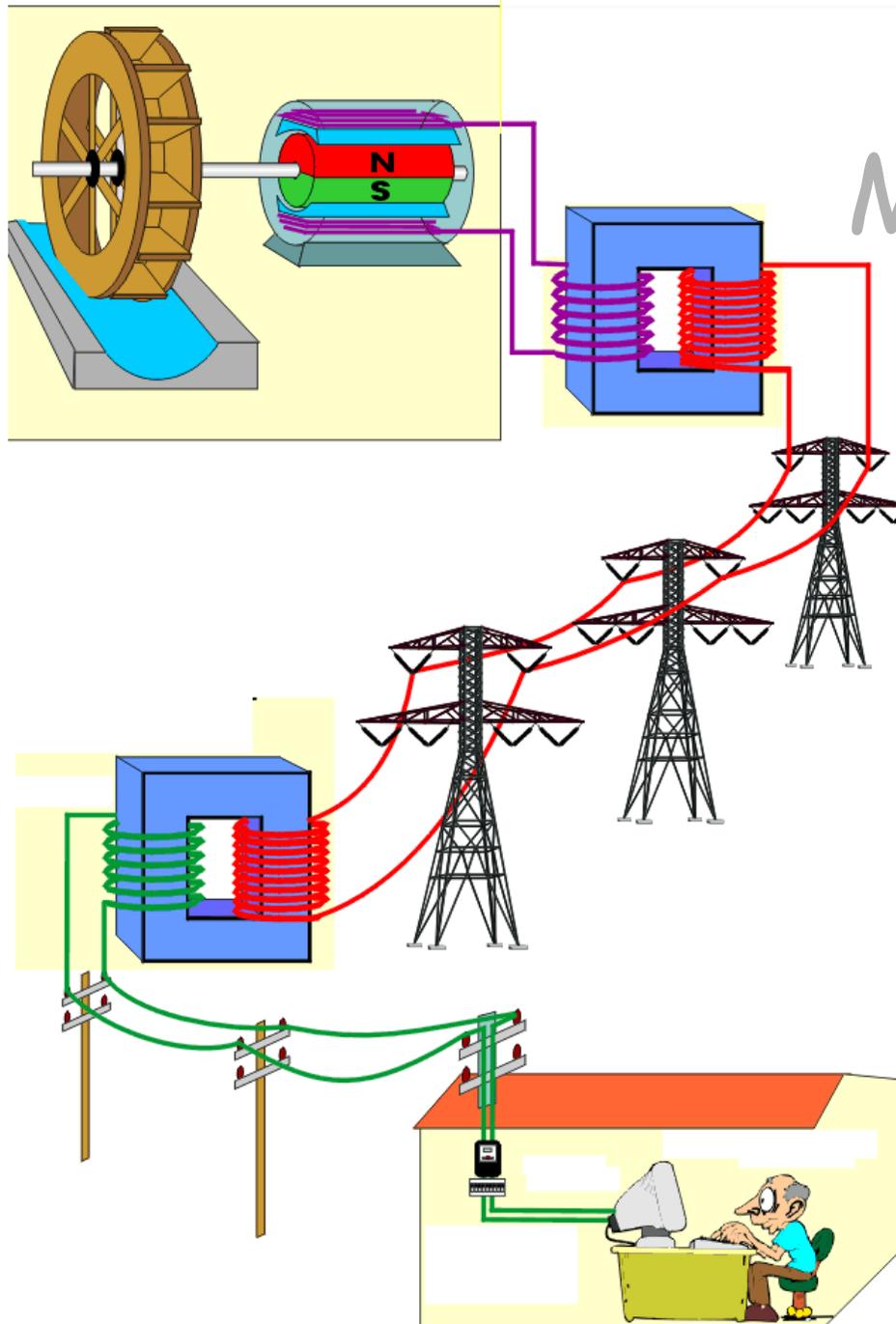


Exp 04



Exp 05





Exp 06

Modellexperiment

Achtung:

Die Schultrafos haben so große Verluste, dass der Vorteil

„U-groß bei kleinem I“

bei der Übertragung elektrischer Energie im Modellversuch evtl. nicht deutlich wird



Gretel:

Energiestrom-Verlust ... Leitungswiderstände

$$P_{\text{Verlust}} = \Delta U_{\text{Leitungen}} \cdot I$$

... Spannungsabfall an R_{Leitung} :

$$\Delta U_{\text{Leitungen}} = R_{\text{Leitung}} \cdot I$$

$$\rightarrow P_{\text{Verlust}} = R_{\text{Leitungen}} \cdot I^2$$

Bei 380 000 Voltleitungen (im Vgl. mit 230V), sinkt der Strom um den Faktor 1652 $\rightarrow P_{\text{Verlust}}$ sinkt um Faktor $(1652)^2$



Hans:

Energiestrom-Verlust (Leitungswiderstände) $P_{\text{Verlust}} = \Delta U_{\text{Leitungen}} \cdot I$

... Spannungsabfall an R_{Leitung} : $\Delta U_{\text{Leitungen}} = R_{\text{Leitung}} \cdot I$

Stromstärke

$$I = \frac{U_0}{R_{\text{Leitung}} + R_{\text{Last}}}$$

$$\rightarrow P_{\text{Verlust}} = R_{\text{Leitung}} \cdot \frac{U_0^2}{(R_{\text{Leitung}} + R_{\text{Last}})^2}$$

Bei 380 000 Voltleitungen (im Vgl. mit 230V), steigt die Spannung \rightarrow
um den Faktor 1652 $\rightarrow P_{\text{Verlust}}$ steigt um Faktor $(1652)^2$

