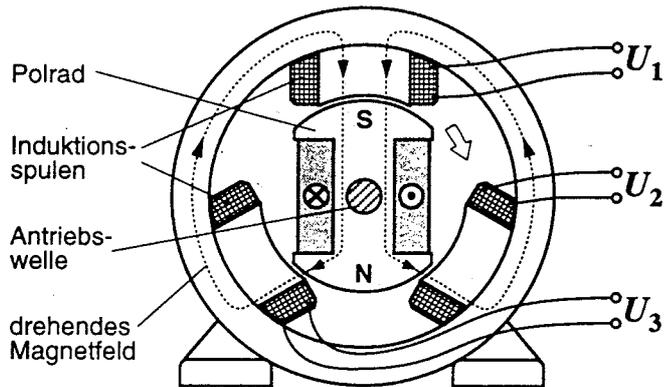
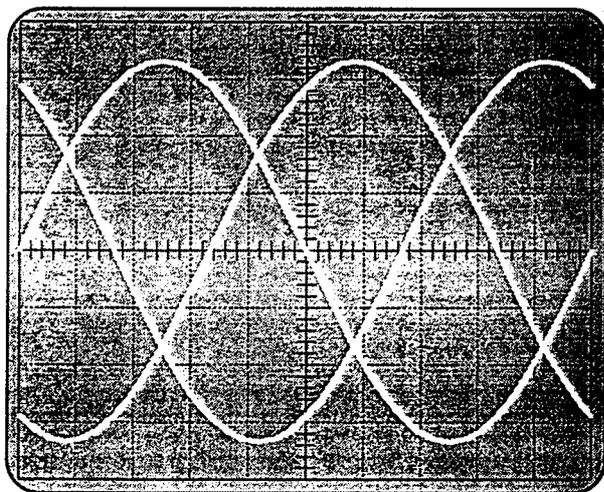


Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)

Erzeugung und Darstellung



Prinzip eines zweipoligen Drehstromgenerators
(das Polrad ist mit Gleichstrom erregt)



Oszillogramm einer Dreiphasen-Wechselspannung

Um Dreiphasenwechselstrom zu erzeugen, ordnet man im Stator eines Generators drei gleiche, räumlich versetzte Wicklungen (Stränge oder Phasen) an, in denen drei um 120° gegeneinander phasenverschobene sinusförmige Wechselspannungen induziert werden.

Drehstrom besteht aus drei Wechselströmen, die jeweils um eine Drittelperiode (d.h. um 120°) gegeneinander phasenverschoben sind.

Dieses System hat sich in Energieverteilnetzen allgemein durchgesetzt, weil es – wie wir sehen werden – folgende Vorteile hat:

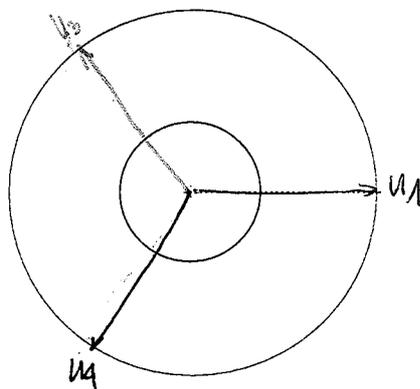
- Für die Übertragung des Drehstroms sind nur drei oder vier Leiter nötig. (Wirtschaftlichkeit).

- In Drehstromnetzen stehen zwei Spannungen (z.B. 400V und ²³⁰230V) zur Verfügung.

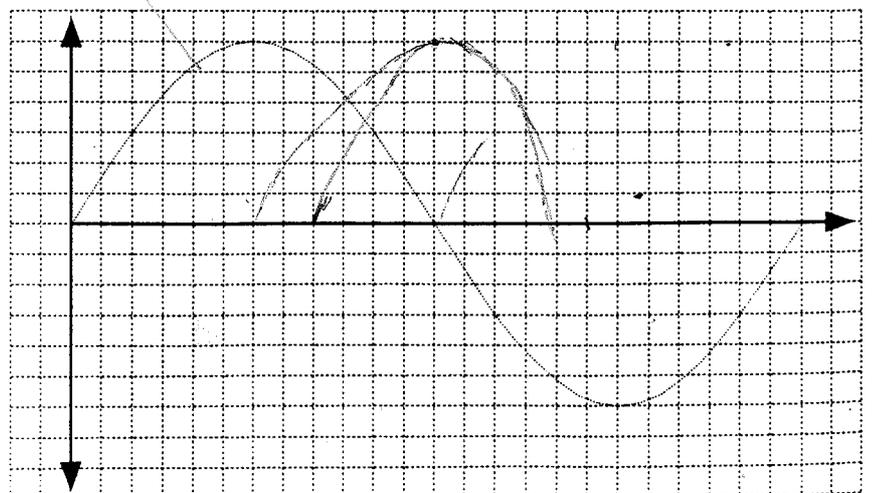
- Das Drehfeld ermöglicht den Bau besonders einfacher Motoren.

Aufgabe:

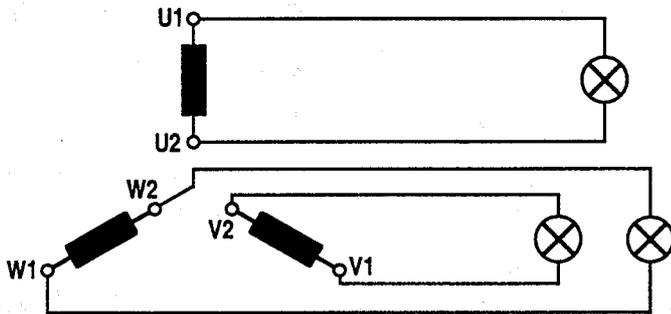
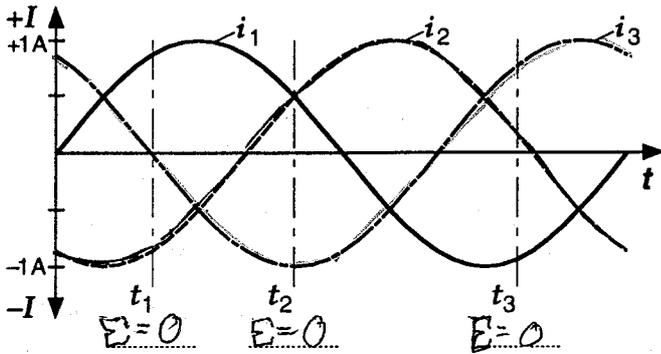
Zeichnen Sie ein Vektor- und ein Zeitdiagramm einer dreiphasigen Wechselspannung.



Die Vekturlänge entspricht vorzugsweise dem Effektivwert



Verkettungsschaltungen



Unverkettetes Dreiphasensystem (tragen Sie die Ströme in den Hin- und Rückleitern zum Zeitpunkt t_2 ein)

Bildet man in einem symmetrischen Drehstromsystem die Summe der Momentanwerte der Spannungen oder der Ströme, so stellt man fest, dass diese sich jederzeit aufheben:

Die Summe der Ströme / Spannungen ist zu jedem Zeitpunkt \emptyset

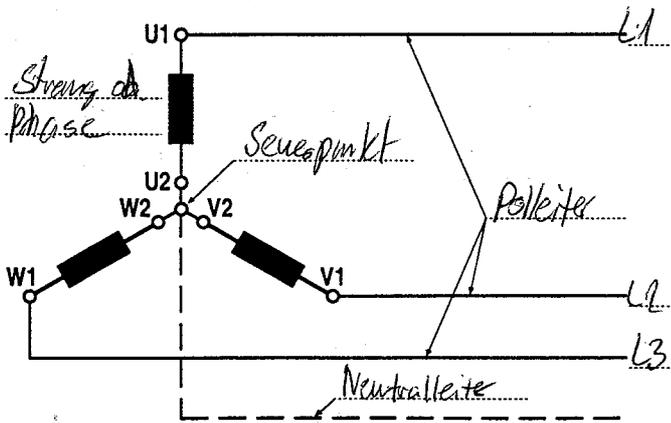
Damit die in einem Drehstromgenerator erzeugten drei Wechselströme Verbrauchern zugeführt werden können, sind drei Stromkreise mit vorer sechs Leitern nötig. Mit einem gemeinsamen Rückleiter für die drei Stromkreise kommt man mit vier Adern aus.

Bei gleicher Strangbelastung fließt im gemeinsamen Rückleiter kein Strom, so dass dieser ebenfalls weggelassen werden kann.

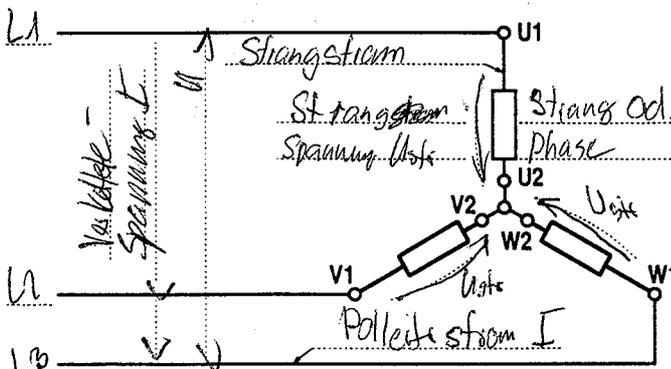
Bei symmetrischer Belastung einer Drehstromleitung sind anstatt sechs nur noch drei Leiter notwendig.

Drehstrom ist deshalb für die Übertragung von elektrischer Energie wirtschaftlicher.

Sternschaltung *Symbol y*



Erzeuger in Sternschaltung (hier mit einem Neutralleiter)



Verbraucher in Stern geschaltet (hier ohne Neutralleiter)

Erzeugerspulen und Verbraucherwiderstände nennt man bei Drehstrom **Strang** oder **Phase**. Die drei **Polleiter** – auch Aussenleiter genannt – führen vom Erzeuger zum Verbraucher.

Am **Sternpunkt** kann man einen **Neutralleiter** (Sternpunktleiter, Mittelleiter) anschliessen. Drehstromverbraucher wie z.B. Motoren kann man auch ohne Neutralleiter in Stern schalten.

Die Spannung zwischen den Polleitern ist die Nennspannung U

Der Wert kann auch **verkettete Spannung**, **Aussenleiter-** oder **Leiterspannung** heissen.

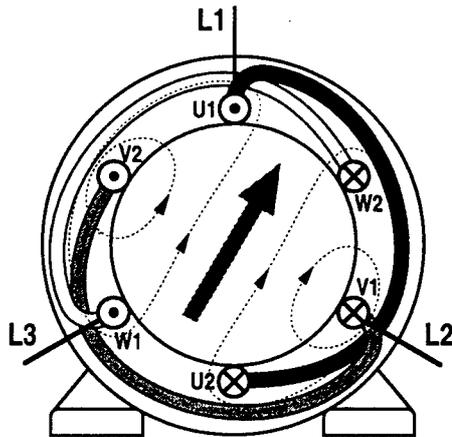
Die Spannung U_{st} misst man zwischen Polleiter und dem Sternpunkt

Andere Bezeichnungen für die Strangspannung sind **Sternspannung** oder **Phasenspannung**.

Bei der Sternspannung ist der Strangstrom I_{st} gleich dem Polleiterstrom

Von **symmetrischer Belastung** sprechen wir, wenn alle Polleiterströme gleich gross sind.

Das magnetische Drehfeld

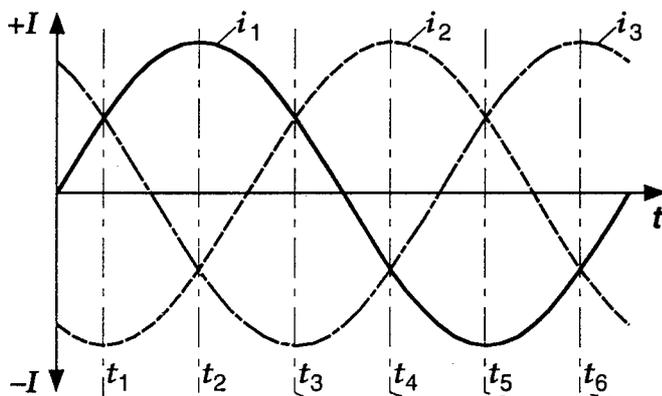


Zu jedem Zeitpunkt – hier z.B. bei t_4 – bilden die Felder der drei Strangspulen ein resultierendes Magnetfeld mit konstanter Stärke, aber dauernd wechselnder Richtung

Der Dreiphasenwechselstrom hat die besondere Eigenschaft, ein Drehfeld zu erzeugen; daher nennt man ihn Drehstrom. Unter einem Drehfeld versteht man ein magnetisches Feld, dessen Pole *bei ruhenden Spulen* rotieren.

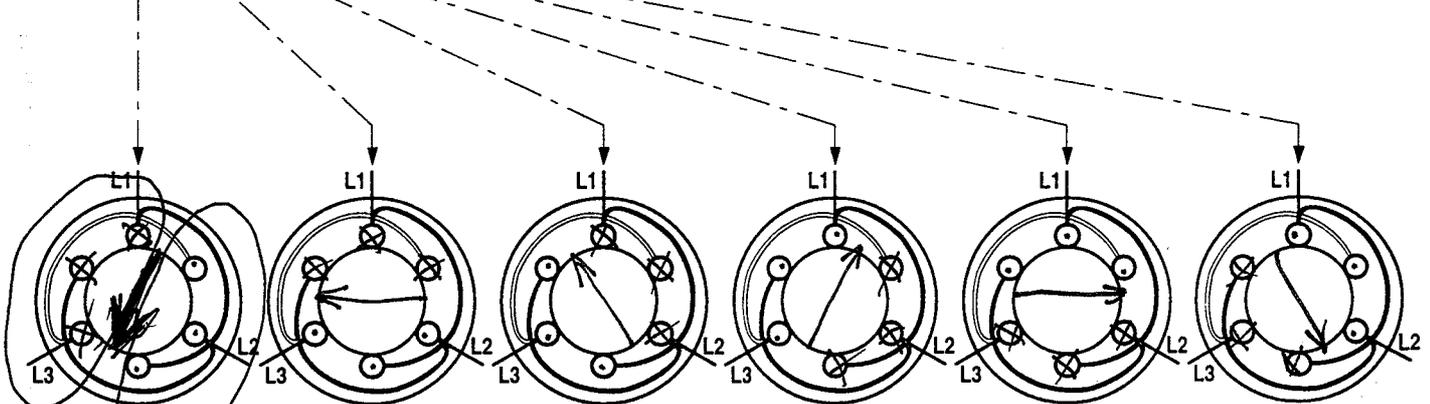
Zur Entstehung eines gleichmässig drehenden Feldes sind zwei Voraussetzungen zu erfüllen:

- Im Stator des Motors müssen drei gleiche, räumlich versetzte Wicklungen (Stränge oder Phasen) angeordnet sein.
- In den drei Strängen müssen drei sinusförmige Wechselströme fliessen, die um 120° gegeneinander phasenverschoben sind.



Das Drehfeld entsteht als Summe der Wechselfelder der drei phasenverschobenen Ströme. Die Stellung des resultierenden Magnetfeldes wird von den Momentanwerten der drei Wechselströme bestimmt. Es dreht absolut gleichmässig und rund.

Der magnetische Fluss und damit die Kraftwirkung des Drehfeldes ist in jedem Augenblick gleich gross.



Die Drehrichtung des Feldes ändert sich, wenn man zwei Polleiter vertauscht

Auf diese einfache Weise lässt sich die Drehrichtung eines Drehstrommotors ändern.

Erzeugt man im Rotor eines Motors ebenfalls ein Magnetfeld, so werden die ungleichnamigen Läuferpole vom Drehfeld angezogen. Damit dreht sich auch der Rotor – es wird elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt.

In der oben abgebildeten Maschine ist das Drehfeld zweipolig (Nord- und Südpol); man spricht von einem **Polpaar**. Im Verlaufe einer Periode dreht sich dieses Feld einmal; bei 50 Hz bedeutet dies 50 U/s resp. 3000 U/min.

Wird beim Wickeln eine grössere Polpaarzahl gewählt, dreht sich das Feld und damit auch der Rotor entsprechend langsamer.

12.3.7 Schrittmotor

Gleichstromwicklungen, die sich im Stator eines Motors befinden, können durch Gleichstromimpulse wechselnder Polarität angesteuert werden. Ändert sich die Stromrichtung in den einzelnen Wicklungen, werden sie umgepolt. Erfolgt die Umpolung nacheinander in einer Richtung, so entsteht ein Drehfeld, das seine Lage abhängig von der Impulsgeschwindigkeit schrittweise oder mit einer festliegenden, gleichbleibenden Drehgeschwindigkeit ändert.

Ein Permanentmagnetläufer stellt sich jeweils auf die Polarität des Ständerfeldes ein.

Der Läufer eines Schrittmotors kann zu schrittweiser oder gleichförmiger Drehbewegung angesteuert werden.

Schrittmotoren werden ein- oder mehrphasig hergestellt. Die Polarität der Ständerpole wird auf zwei Arten geändert.

Von **Unipolarbetrieb** spricht man, wenn jede Erregerwicklung aus zwei Spulen besteht (Bild 1). Jede Spule erzeugt einen Magnetfluß in einer Richtung. Durch Umschaltung der Spulen mit den zugehörigen Schaltern wird die Polarität geändert.

Besteht die Erregerwicklung aus einer Spule, deren Stromrichtung zur Umpolung fortlaufend geändert wird, spricht man von **Bipolarbetrieb** (Bild 2).

Am Beispiel eines Zweiphasen-Schrittmotors in Bipolarbetrieb soll die Wirkungsweise dargestellt werden. Bei der in Bild 2 gegebenen Schalterstellung stellt sich der Magnetläufer entsprechend der gemeinsamen Süd- und Nordpolbildung der Erregerwicklungen E1 und E2 ein. Wird der Schalter S2 betätigt (Bild 3), wechselt die Polarität der Erregerwicklung E2. Der neuen Polbildung der Erregerwicklungen folgend dreht sich der Läufer um 90° im Uhrzeigersinn.

Schließt sich eine Umschaltung von S1 an, wird die Erregerwicklung E1 umgepolt und der Läufer rastet nach einem weiteren Drehschritt von 90° in seine neue Lage ein. Bei weiteren Umschaltungen mit S2 und S1 vollführt der Läufer entsprechende Drehschritte. Die jeweilige Drehbewegung wird als Schrittwinkel bezeichnet. Dieser wird um so kleiner, je mehr Phasen und Pole der Motor hat.

Beispiel: Berechnen Sie den Schrittwinkel des in Bild 2 dargestellten Schrittmotors. Polpaarzahl $p = 1$; Phasenzahl $m = 2$.

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2 \cdot p \cdot m} = \frac{360^\circ}{2 \cdot 1 \cdot 2} = 90^\circ$$

Der Drehsinn (Richtung der Schrittfolge) kann durch Änderung der Reihenfolge der Stromimpulse umgekehrt werden.

Da mechanische Schalter große Schaltenergie benötigen, einer Abnutzung unterliegen und nur geringe Schaltgeschwindigkeiten zulassen, werden Schrittmotoren mit elektronischen Steuerschaltern betrieben. Diese formen Gleichstrom entsprechend den von einem Impulsgeber kommenden Steuerimpulsen in die dem Motor zugeführten Stromimpulse um.

Schrittmotoren werden durch eine spezielle Steuerelektronik angesteuert.

Schrittmotoren wandeln elektrische Steuerimpulse in die entsprechenden mechanischen Schrittfolgen ohne Schrittfehler um, so daß auf eine Rückmeldung verzichtet werden kann.

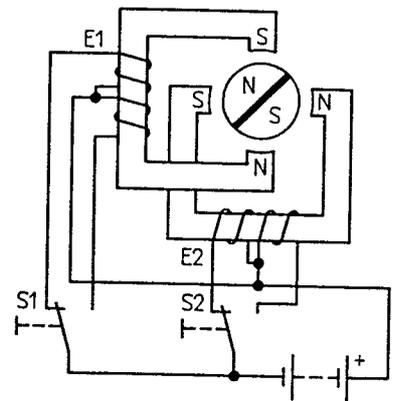


Bild 1: Zweiphasen-Schrittmotor, unipolarer Aufbau

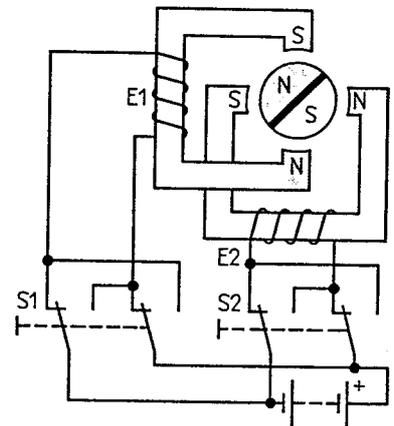


Bild 2: Zweiphasen-Schrittmotor, bipolarer Aufbau

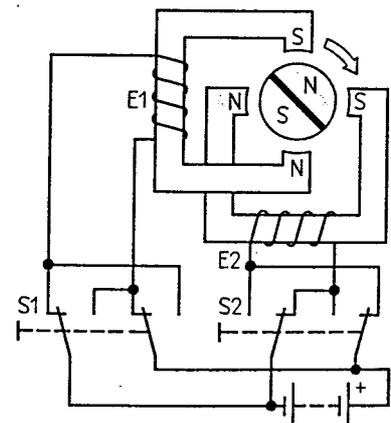


Bild 3: Schrittmotor (Bild 2) nach Betätigung von S2

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2p \cdot m}$$

- α Schrittwinkel
- m Phasenzahl
- p Polpaarzahl

Schrittmotor für kleine Schrittwinkel

Die für kleine Schrittwinkel erforderliche große Polzahl des Motors bedingt einen speziellen Aufbau. Bei Schrittwinkeln unter $7,5^\circ$ ist der Motor nach dem **Gleichpolprinzip** konstruiert (**Bild 1**). Es befindet sich auf der Läuferwelle ein Permanentmagnet mit axial ausgebildeten Polen, an dessen Stirnseiten gezahnte Polräder angebracht sind. Die Zähne jedes Polrades besitzen gleiche Polarität. Durch Verschieben der Polräder um eine halbe Zahnteilung wird ein Wechsel der Polarität der Pole am Läuferumfang erreicht (**Bild 2**).

Im geblechten Ständer befinden sich zwei Erregerwicklungen (Phasen). Jede Phase besteht aus zwei in Reihe geschalteten Spulen, welche die sich gegenüberliegenden Ständerpole bilden (**Bild 3**). Da die Zahnteilung des Ständers gleich der Zahnteilung eines Polrades ist, wird das Polrad jeweils in der Stellung einrasten, bei welcher der magnetische Widerstand für den Feldverlauf entsprechend der herrschenden Ständerpolarität am geringsten ist.

Zur Veranschaulichung der Wirkungsweise wird ein Motor mit nur neun Läuferzähnen je Polrad und zwei Zähnen je Ständerpol betrachtet (**Bild 3a**): Zwischen den Nordpolen des vorderen Polrades sind die Südpole des rückwärtigen Polrades zu erkennen. Der Läufer nimmt eine Raststellung ein, bei der den Ständerpolzähnen entgegengesetzte Polzähne des Läufers gegenüberstehen. Der magnetische Widerstand ist in diesem Fall am kleinsten.

Beim Umpolen des Stromes in der Wicklung E1 ändert sich die Polarität der entsprechenden Ständerzähne. Der Läufer reagiert darauf mit einer Drehung um den Schrittwinkel 10° (**Bild 3b**). Jede weitere Umpolung in der Reihenfolge E2, E1, E2 usw. bewirkt wieder eine Drehung um 10° im Uhrzeigersinn.

Der Schrittmotor nach dem Gleichpolprinzip besitzt einen vielpoligen Läufer und ermöglicht Drehbewegungen mit kleinem Schrittwinkel.

Wird der Schrittmotor mit konstanter Spannung betrieben, erhöht sich mit zunehmender Schrittfrequenz der Ständerblindwiderstand. Die Stromaufnahme und das Motordrehmoment nehmen dadurch ab. Soll das Drehmoment bei Frequenzzunahme ansteigen, müssen Schrittmotoren über eine Konstantstrom-Steuerung betrieben werden.

Bei normalem Lastmoment dreht sich der Läufer des Schrittmotors um genau den Schrittwinkel, der dem Ansteuerimpuls entspricht. Es kann jedoch ein Lastwinkel (Zurückbleiben des Läufers) bis zur annähernden Größe eines Schrittwinkels entstehen. Da sich dieser Fehler nicht mit der Anzahl der Schritte addiert, kann er am Ende eines Steuervorganges nie größer als ein Schrittwinkel sein.

Der Schrittmotor ermöglicht eine hohe Stellgenauigkeit.

Beim Abschalten des Ständerstromes tritt wegen der Wirkung des Läufermagneten ebenfalls ein Rastmoment (feste Läuferstellung) ein.

Motoren mit Schrittwinkeln ab $7,5^\circ$ werden auch nach dem Klauenpolprinzip (Seite 298) gebaut.

Wegen ihres einfachen Aufbaus und der großen Zuverlässigkeit werden Schrittmotoren für Stellantriebe, Fernsteuerungen, Fernschreiber, Druckerantriebe, Zähleinrichtungen und andere Bereiche der Steuer- und Regelungstechnik verwendet.

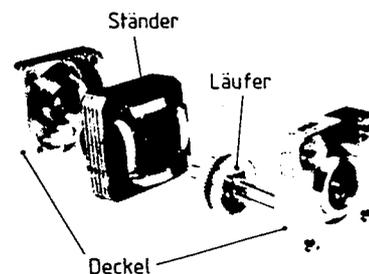


Bild 1: Schrittmotor nach dem Gleichpolprinzip

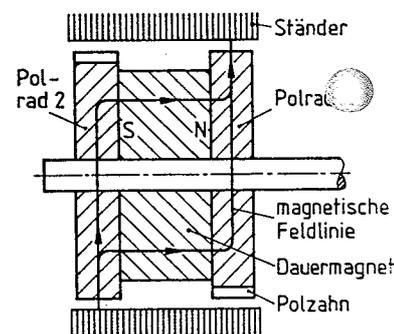


Bild 2: Feldverlauf im Läufer (Gleichpolprinzip)

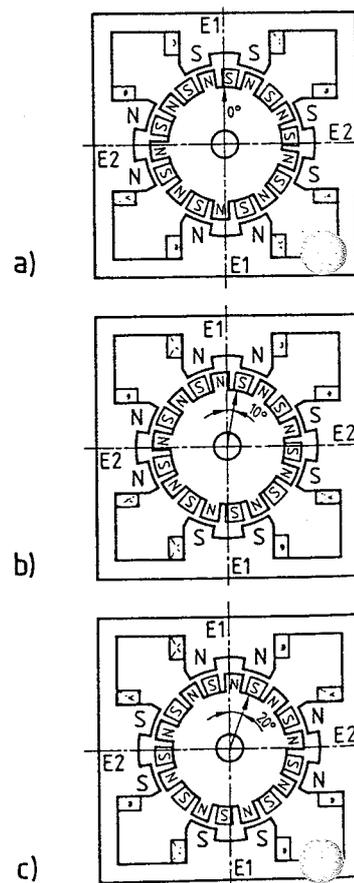


Bild 3: Wirkungsweise (Gleichpolprinzip)

Der Schrittmotor

Lesen Sie in den Büchern "Fachkunde Elektrotechnik" und "Informationstechnik" die Kapitel über den Schrittmotor und notieren Sie sich die wichtigsten Aspekte zu nachfolgenden Themata und Fragen.

Rotor, Läufer: Permanentmagnet
Magnetisierung (Typ)

Aufbau: 1- und multiphasig
Phasen

Polpaarzahl: Anzahl Magnetisierungspole (N-S) des Rotors

Phasenzahl: Anzahl Magnetpaare des Stators (N-S)

Was bedeutet der Schrittwinkel? Je mehr Phasen
kleinst mögliche mechanische
Bewegungseinheit

Welche Betriebsarten gibt es?
Statorpole: Unipolar, Bipolar

Wie funktioniert die Ansteuerung? Steuerelektronik mit elektronischen
Schaltern (Transistoren)

Welche Vorteile hat der Schrittmotor gegenüber anderen Elektromotoren?

- Präzise Positionierung des Rotors
- Möglichkeit der Genauigkeitsüberwachung
- Problemloses Interface zum Mikropr.