Grundlagen Elektro

Zum Nachschlagen für Lernende – einfach erklärt, mit Skizzen und Aufgaben

1	**Grundlagen Strom** Gleichstrom, Wechselstrom, Drehstrom, Gefahren, Ampere, Volt, Watt und Kabeldicke, Auto 12 V und E-Auto, Schütz A1/A2, Phasentausch und Verriegelung	Wi-8F 1-17.0
2	**Pole, Drehzahl, Drehmoment und Polumschaltung** 2-, 4-, 6- und 8-polig, 50 und 60 Hz, Nm, Dahlander 4/2 und 8/4 mit Schema	Wi-8F 1-17.2
3	**Was ist ein Frequenzumrichter (FU)?** Die Hz verstellen die Drehzahl, Poti 0–10 V	Wi-8F 1-17.3
4	**Was ist eine SPS?** Eingänge, Ausgänge, KOP, FUP und AWL	Wi-8F 1-16.0

Die Lösungen der Aufgaben stehen jeweils gleich darunter. Zuerst selbst überlegen, dann nachschauen.

Achtung: Strom ist lebensgefährlich. Arbeiten an 230 V und 400 V nur durch ausgebildete Fachleute. Immer zuerst die 5 Sicherheitsregeln (Kapitel 1).

Kapitel 20 (neu)

Grundlagen Strom **Wi-8F 1-17.0**

Was ist Gleichstrom, was ist Wechselstrom, was ist Drehstrom? Die Grundbegriffe einfach erklärt, als Einstieg in das Kapitel Elektro.



ACHTUNG – Strom ist lebensgefährlich!

Bevor du mit dem Thema Elektro anfängst: Strom **sieht man nicht, hört man nicht und riecht man nicht**. Man merkt ihn erst, wenn es zu spät ist.

- Schon ein kleiner Strom von **ca. 30 mA** (0,03 A) durch den Körper kann das **Herz stoppen**. Darum löst ein FI-Schutzschalter bei 30 mA aus.
- Gefährlich ist es ab **50 V Wechselstrom** bzw. **120 V Gleichstrom**. Die Steckdose (230 V) und Drehstrom (400 V) sind **tödlich**.
- Auch nach dem Ausschalten kann noch Spannung da sein: Kondensatoren im **Frequenzumrichter** (über 500 V), **Hochvolt im E-Auto** (orange Kabel).
- Auch kleine Spannungen können gefährlich sein: Ein Kurzschluss an einer Autobatterie gibt Funken, Hitze und Verbrennungen.
- **Ausgeschaltet heisst nicht spannungsfrei!** Es gibt Anlagen und Länder, wo nicht der Aussenleiter (Plus/Phase), sondern der **Rückleiter geschaltet** wird, oder wo beide Leiter Spannung gegen Erde haben (z. B. früher in Teilen Italiens, IT-Netze wie in Norwegen, nicht verpolungssichere Stecker). Dann kann an einem «ausgeschalteten» Schütz an **A1 und A2 trotzdem 230 V** anliegen. Man meint, es ist aus – und es kann tödlich sein. Darum immer **jeden Leiter gegen Erde messen** (Regel 3).

Die 5 Sicherheitsregeln – immer in dieser Reihenfolge:

1. **Freischalten** (Hauptschalter aus, Sicherung raus)
2. **Gegen Wiedereinschalten sichern** (Schloss, Schild «Nicht einschalten»)
3. **Spannungsfreiheit feststellen** (mit geeignetem Prüfgerät messen)
4. **Erden und kurzschliessen**
5. **Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken**

Für Lernende: An elektrischen Anlagen nur arbeiten, wenn es erlaubt ist und eine Fachperson dabei ist. Arbeiten an 230 V und 400 V dürfen nur Fachleute mit Bewilligung machen. Im Zweifel: **Finger weg und fragen!**

Notfall: Zuerst den Strom abschalten (nie die Person direkt anfassen, solange sie noch am Strom hängt), dann helfen und die Sanität rufen: **144** (Europa: 112).

Spannung, Strom, Widerstand, Leistung

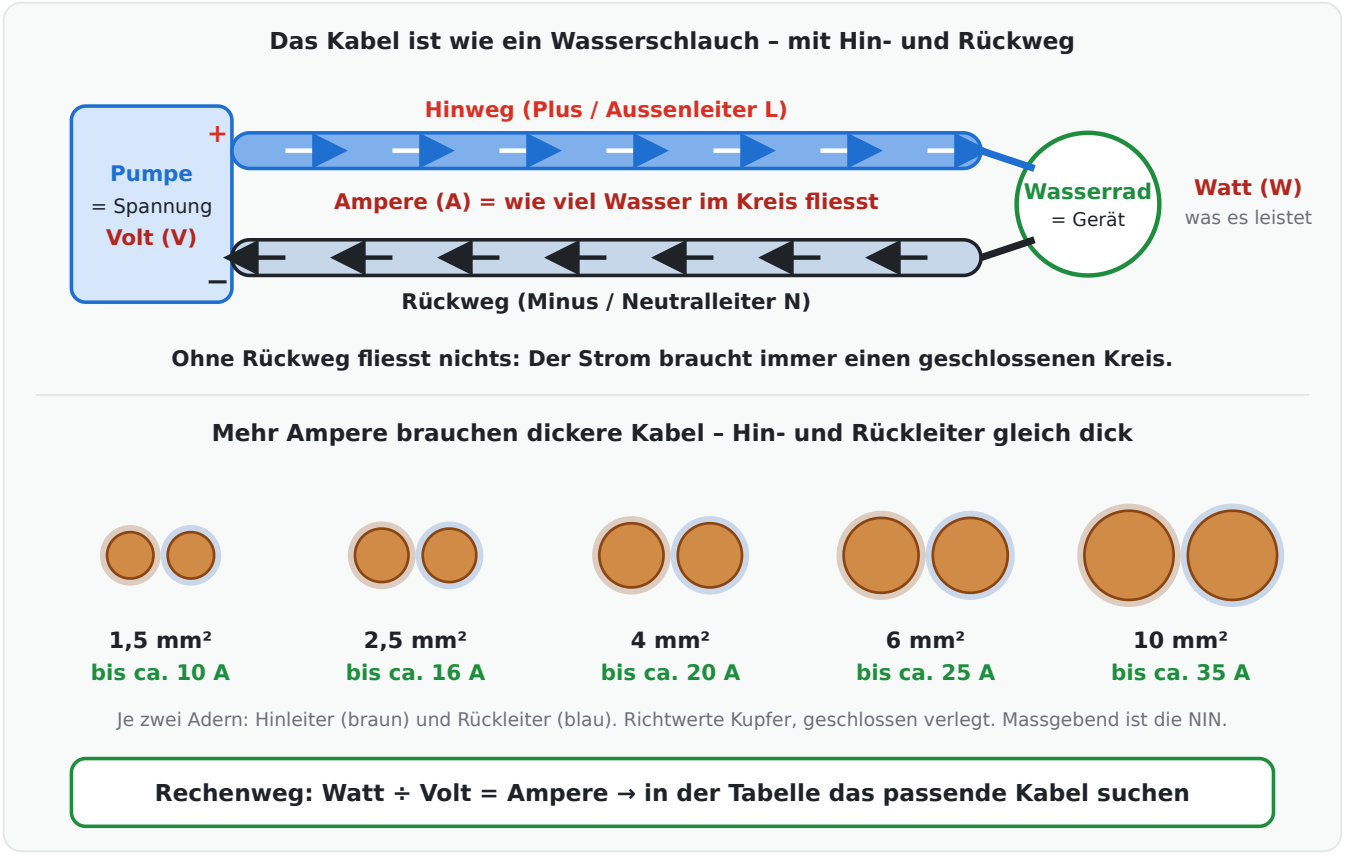
Strom kann man sich wie Wasser in einer Leitung vorstellen: Die **Spannung** ist der Druck, der **Strom** ist die Menge, die fliesst, der **Widerstand** ist eine Verengung im Rohr. Ohne Spannung fliesst kein Strom, und ohne geschlossenen Stromkreis auch nicht.

Grösse	Zeichen	Einheit	Vergleich mit Wasser
Spannung	U	Volt (V)	Wasserdruck
Strom (Stromstärke)	I	Ampere (A)	Wassermenge pro Sekunde
Widerstand	R	Ohm (Ω)	Verengung im Rohr
Leistung	P	Watt (W), Kilowatt (kW)	Arbeit, die das Wasser pro Sekunde leistet
Frequenz	f	Hertz (Hz)	wie oft das Wasser pro Sekunde hin und her schwappt

Merksatz: U = R × I (Ohmsches Gesetz) und **P = U × I**.
Beispiel: Ein Wasserkocher an 230 V zieht 8,7 A → P = 230 V × 8,7 A ≈ **2000 W = 2 kW**.

Ampere, Volt, Watt und Kabeldicke – was hängt zusammen?

Das ist einfacher, als es tönt. Stell dir das Kabel wie einen **Wasserschlauch** vor:



Grösse	Einheit	beim Wasser	im Alltag
Spannung	Volt (V)	der Druck in der Leitung	Steckdose 230 V, Drehstrom 400 V, Batterie 12 V
Strom	Ampere (A)	wie viel Wasser fliesst	Sicherung 10 A, 13 A, 16 A
Leistung	Watt (W), kW	was das Wasserrad leistet	Wasserkocher 2000 W, Motor 4 kW

Grösse	Einheit	beim Wasser	im Alltag
Kabeldicke	mm² (Querschnitt)	wie dick der Schlauch ist	1,5 mm² Lampe/Steckdose, 2,5 mm² Herd/Maschine

Merksatz: Watt = Volt × Ampere. Umgekehrt: **Ampere = Watt ÷ Volt**.
Je mehr Ampere fliessen, desto **dicker** muss das Kabel sein. Ein zu dünnes Kabel wird heiss, wie ein zu dünner Schlauch, durch den man zu viel Wasser drückt. Die **Sicherung** schützt das Kabel: Sie schaltet ab, bevor es zu heiss wird.

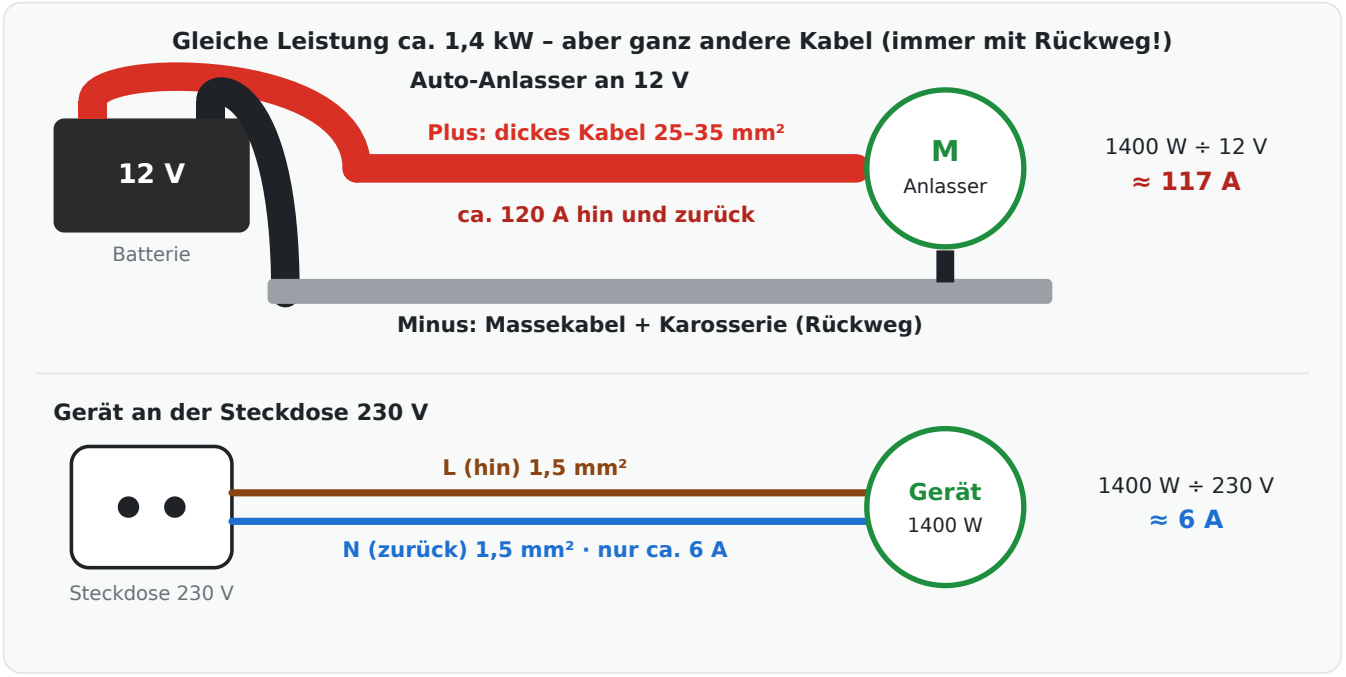
Ohne Minus geht nichts: Strom fliesst nur im **geschlossenen Kreis** – von der Quelle über den **Hinleiter** (Plus, Aussenleiter L) zum Gerät und über den **Rückleiter** (Minus, Neutralleiter N, beim Auto die Masse) wieder zurück. Fehlt der Rückweg oder ist er unterbrochen, läuft nichts. Der Rückleiter führt **gleich viel Strom** wie der Hinleiter und muss darum gleich dick sein. Beim Drehstrommotor fliesst der Strom über die anderen Aussenleiter zurück.

Beispiele zum Nachrechnen

Gerät	Rechnung	Strom	Kabel (Richtwert)
Wasserkocher 2000 W an 230 V	2000 ÷ 230	8,7 A	1,5 mm²
Heizlüfter 3000 W an 230 V	3000 ÷ 230	13 A	2,5 mm²
Heizung 5 kW an 230 V (einphasig)	5000 ÷ 230	22 A	6 mm²
gleiche Heizung 5 kW an 400 V Drehstrom	5000 ÷ (400 × 1,73)	7,2 A pro Leiter	1,5 mm²

Beispiel Auto: Warum hat der Anlasser so ein dickes Kabel?

Ein Auto hat nur **12 V**. Der Anlasser (Startermotor) braucht aber viel Leistung, bei einem normalen Benzinmotor etwa **1,4 kW**. Weil die Spannung so klein ist, muss sehr viel **Strom** fliessen:



	Auto-Anlasser	Gerät an der Steckdose
Leistung	ca. 1,4 kW	1,4 kW
Spannung	12 V (beim Starten sinkt sie auf ca. 10 V)	230 V
Strom	ca. 120 A, beim Anlaufen kurz 200–300 A und mehr	ca. 6 A
Kabel	meist 25–35 mm², bei Diesel und Lastwagen 50–70 mm²	1,5 mm²

Merksatz: Kleine Spannung = grosser Strom = dickes Kabel. Darum hat das Auto so dicke Batteriekabel, und darum ist das Kabel zum Anlasser so kurz wie möglich: Jeder Meter kostet Spannung, und dann dreht der Anlasser zu langsam.

Die 12 V der Autobatterie sind ungefährlich zum Berühren. Aber: Ein Kurzschluss mit einem Schraubenschlüssel zwischen Plus und Karosserie lässt Hunderte Ampere fliessen. Der Schlüssel glüht, es gibt Funken und Verbrennungen. Darum beim Arbeiten am Auto immer zuerst den **Minuspol abklemmen**.

▼ **Aufgabe: Ein Diesel-Anlasser hat 2,4 kW an 12 V. Wie viele Ampere fliessen ungefähr?**

Lösung: 2400 ÷ 12 = **200 A** (beim Anlaufen kurz noch mehr). Darum braucht ein Diesel noch dickere Kabel.

Beispiel E-Auto: Warum Hochvolt?

Ein Elektroauto braucht für den Antrieb sehr viel Leistung, zum Beispiel **150 kW**. Mit den 12 V einer normalen Autobatterie wären das über 12 000 Ampere. Das geht nicht, die Kabel wären so dick wie ein Arm. Darum arbeiten E-Autos mit **Hochvolt**: meist um **400 V**, neuere Modelle mit **800 V**.

E-Auto mit 150 kW Motor: Wie viele Ampere braucht es bei welcher Spannung?



Darum Hochvolt: höhere Spannung = weniger Ampere = dünnere, leichtere Kabel (Plus und Minus)

	12 V	400 V	800 V
Strom bei 150 kW	12 500 A	375 A	188 A
Kabel	nicht machbar	dick	halb so viel Strom, dünner und leichter
Schnellladen	–	gut	noch schneller, weil weniger Strom bei gleicher Leistung

Merksatz: Doppelte Spannung = halber Strom (bei gleicher Leistung). Darum werden die Spannungen bei E-Autos immer höher.

Achtung Hochvolt! Die Hochvolt-Kabel im E-Auto sind immer **orange**. 400 oder 800 V Gleichspannung sind **lebensgefährlich**. Orange Kabel und Stecker nie anfassen, nie trennen. Arbeiten daran nur durch Fachleute mit Hochvolt-Ausbildung. Das E-Auto hat zusätzlich eine kleine 12-V-Batterie für Licht, Radio und Steuerung.

▼ Aufgabe: Ein E-Auto lädt mit 200 kW an einer Schnellladesäule. Wie viel Strom fliesst bei 400 V und bei 800 V?

Lösung: 200 000 ÷ 400 = **500 A**. 200 000 ÷ 800 = **250 A**, also nur halb so viel.

Warum Drehstrom 400 V? Die gleiche Leistung braucht viel weniger Ampere, also dünnere Kabel. Darum laufen Maschinen mit Drehstrom. Bei Motoren kommt noch der Wirkungsgrad und der cos φ dazu, der Strom ist dann etwas grösser (siehe Nennstrom-Tabellen im Kapitel Elektromotoren).

Lange Kabel: Je länger das Kabel, desto mehr Spannung geht unterwegs verloren (Spannungsfall), wie Druckverlust in einem langen Schlauch. Bei langen Leitungen nimmt man darum ein dickeres Kabel. Richtwerte für die Kabeldicke stehen in der Tabelle «Kabelquerschnitt und Strom». Massgebend sind die Vorschriften (in der Schweiz die NIN) – Elektroinstallationen nur durch Fachleute.

▼ **Aufgabe: Ein Gerät hat 1150 W und läuft an 230 V. Wie viele Ampere zieht es?**

Lösung: 1150 ÷ 230 = **5 A**. Ein 1,5-mm²-Kabel reicht gut.

▼ **Aufgabe: Warum wird ein zu dünnes Verlängerungskabel warm, wenn man einen grossen Heizlüfter anschliesst?**

Lösung: Es fliessen viele Ampere durch ein dünnes Kabel. Der Draht hat Widerstand und wird dadurch warm, wie Reibung im zu dünnen Schlauch. Darum: Kabel ganz abrollen und genug dick wählen.

Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom im Bild

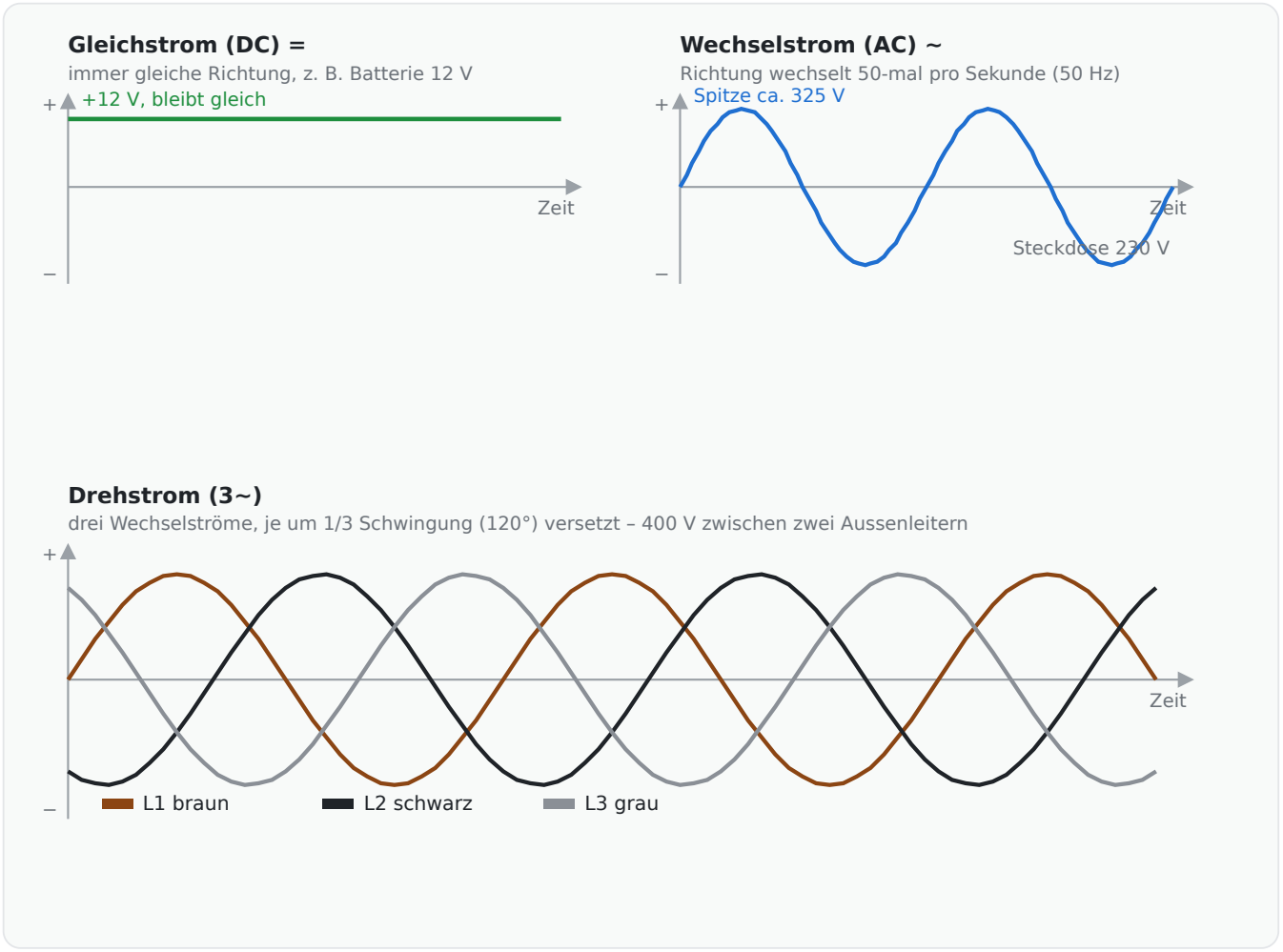


Bild: So verläuft die Spannung über die Zeit. Beim Gleichstrom bleibt sie gleich, beim Wechselstrom schwingt sie zwischen Plus und Minus, beim Drehstrom schwingen drei Leiter versetzt.

Gleichstrom (DC, Zeichen =)

Der Strom fliesst **immer in die gleiche Richtung**, vom Pluspol zum Minuspol. Die Spannung bleibt gleich. DC heisst «direct current».

Woher: Batterie, Akku, Autobatterie, Solarzelle, Netzteil.
Wofür: Steuerungen (meist **24 V DC**), Elektronik, Computer, Handy, Fahrzeuge, Akku-

Werkzeuge, ältere Gleichstrommotoren an Werkzeugmaschinen.

Wechselstrom (AC, Zeichen ~)

Die Richtung **wechselt ständig hin und her**. In der Schweiz und in Europa **50-mal pro Sekunde (50 Hz)**. AC heisst «alternating current».

Woher: aus dem Stromnetz, die normale Steckdose hat **230 V**.
Die 230 V sind ein Mittelwert (Effektivwert). Die Spannung erreicht in der Spitze sogar etwa **325 V**.
Wofür: Licht, Haushaltgeräte, kleine Maschinen, Handwerkzeuge mit Kabel.

Drehstrom (Zeichen 3~)

Drehstrom besteht aus **drei Wechselströmen**, die zeitlich um eine Drittelschwingung (120°) versetzt sind. Darum dreht sich das Magnetfeld im Motor von selbst, der Motor läuft ohne Hilfe an. Daher der Name «Drehstrom».

Leiter	Farbe (Schweiz)	Spannung
L1, L2, L3 (Aussenleiter)	braun, schwarz, grau	400 V zwischen zwei Aussenleitern
N (Neutralleiter)	blau	230 V zwischen Aussenleiter und N
PE (Schutzleiter)	grün-gelb	Schutz, führt normal keinen Strom

Wofür: Werkzeugmaschinen, Elektromotoren, Kompressoren, Schweissanlagen, grosse Heizungen. 400 V = 230 V × 1,73 (√3).

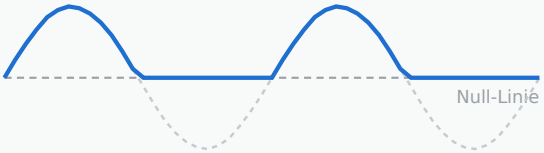
Vergleich auf einen Blick

	Gleichstrom	Wechselstrom	Drehstrom
Zeichen	= (DC)	~ (AC)	3~
Richtung	immer gleich	wechselt 50-mal pro Sekunde	3 Leiter, versetzt
Typische Spannung	1,5 V, 12 V, 24 V, 48 V	230 V	400 V
Quelle	Batterie, Akku, Netzteil, Solarzelle	Steckdose	CEE-Stecker rot, Hauptverteilung
In der Werkstatt	Steuerung 24 V, Sensoren, Akku-Werkzeug	Licht, Handbohrmaschine, Ladegerät	Drehbank, Fräse, Kompressor, Motor

Vom Wechselstrom zum Gleichstrom (Gleichrichten)

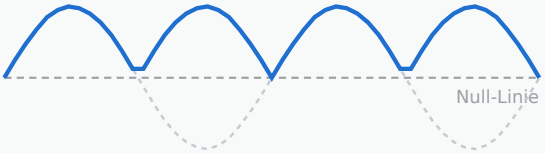
Ein Netzteil macht aus Wechselstrom Gleichstrom. Das geht in Schritten. Das Bauteil dafür ist die **Diode**: Sie lässt Strom nur in eine Richtung durch, wie ein Rückschlagventil beim Wasser.

① Einweg-Gleichrichter
1 Diode: der Teil unter der Null-Linie wird abgeschnitten



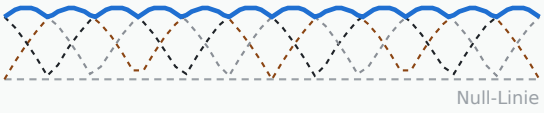
Lücken – die halbe Energie geht verloren

② Brückengleichrichter
4 Dioden: der untere Teil wird nach oben geklappt



keine Lücken mehr, aber noch «Buckel»

③ Drehstrom-Brücke
6 Dioden: drei Phasen versetzt – oben bleibt fast gerade



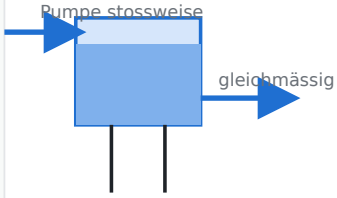
nur noch kleine Wellen (Restwelligkeit)

④ Glätten mit Kondensator
Kondensator speichert und füllt die Täler auf



fast glatter Gleichstrom

Der Kondensator ist wie ein Wasserturm



Die Pumpe (der Gleichrichter) liefert Wasser stossweise, in «Buckeln». Der Turm (der Kondensator) füllt sich bei jedem Buckel auf und gibt dazwischen Wasser ab. So kommt unten ein gleichmässiger Strom heraus. Je grösser der Turm, desto glatter der Gleichstrom. Zusätzlich hilft eine Drossel (Spule), sie bremst schnelle Schwankungen.

Schritt	Bauteil	Was passiert
① **Einweg**	1 Diode	Der Teil unter der Null-Linie wird abgeschnitten. Einfach, aber die Hälfte fehlt.
② **Brücke**	4 Dioden (Brückengleichrichter)	Der untere Teil wird nach oben geklappt. Keine Lücken mehr, aber noch Buckel.
③ **Drehstrom-Brücke**	6 Dioden (B6-Brücke)	Drei versetzte Phasen überlappen sich, oben bleibt fast eine gerade Linie. So arbeiten z. B. Frequenzumrichter und grosse Gleichstromantriebe.
④ **Glätten**	Kondensator (Elko), evtl. Drossel	Der Kondensator speichert Energie und füllt die Täler auf. Ergebnis: fast glatter Gleichstrom.

Merksatz: Dioden richten den Strom in eine Richtung, der **Kondensator glättet**. Mehr Phasen und ein grösserer Kondensator geben einen glatteren Gleichstrom.

▼ Aufgabe: Warum ist Gleichstrom aus Drehstrom glatter als aus einer Steckdose (230 V)?

Lösung: Beim Drehstrom kommen drei versetzte Phasen. Wenn eine Phase abfällt, steigt schon die nächste. Darum bleibt die Spannung oben fast gerade, und man braucht weniger Glättung.

Umwandeln: vom einen zum anderen

Gerät	macht aus	Beispiel
Transformator (Trafo)	Wechselstrom → Wechselstrom mit anderer Spannung	400 V auf 230 V oder 24 V AC für die Steuerung
Netzteil, Gleichrichter	Wechselstrom → Gleichstrom	230 V AC auf 24 V DC für SPS und Sensoren, Handy-Ladegerät
Wechselrichter	Gleichstrom → Wechselstrom	Solaranlage auf dem Dach speist ins Netz
Frequenzumrichter	Drehstrom → Drehstrom mit anderer Frequenz	Motor-Drehzahl stufenlos verstellen (Spindel, Pumpe)

Warum kommt aus der Steckdose Wechselstrom? Weil man Wechselstrom mit einem Trafo einfach auf hohe Spannung bringen kann. So geht auf langen Leitungen wenig Energie verloren. Erst beim Verbraucher wird die Spannung wieder heruntertransformiert.

Sicherheit

> Bis **50 V Wechselstrom** bzw. **120 V Gleichstrom** spricht man von Kleinspannung. Darüber ist Strom **lebensgefährlich**. Arbeiten an 230 V und 400 V nur durch Fachleute mit entsprechender Ausbildung. Vor jeder Arbeit: freischalten, gegen Wiedereinschalten sichern, Spannungsfreiheit prüfen.

▼ Aufgabe: Ist eine Autobatterie Gleichstrom oder Wechselstrom?

Lösung: Gleichstrom (12 V DC). Eine Batterie hat einen festen Plus- und Minuspol, der Strom fliesst immer in die gleiche Richtung.

▼ Aufgabe: Auf dem Typenschild eines Motors steht «3~ 400 V 50 Hz 4 kW». Was heisst das?

Lösung: Drehstrommotor (3~) für 400 V Netzspannung und 50 Hz, er gibt an der Welle 4 kW Leistung ab.

▼ Aufgabe: Wie viel Strom zieht eine 1150-W-Bohrmaschine an 230 V?

Lösung: I = P / U = 1150 W / 230 V = **5 A**.

Ergänzung zum Kapitel Elektromotoren

Pole, Drehzahl, Drehmoment und Polumschaltung

Wi-8F 1-17.2

Pole, Drehzahl und Drehmoment – einfach erklärt

Viele fragen: Warum dreht ein Motor 2900 1/min und ein anderer nur 960 1/min, obwohl beide am gleichen Netz (50 Hz) hängen? Die Antwort steckt in der **Polzahl**.

Was sind Pole? Im Ständer (dem festen Teil) sind die Wicklungen so verteilt, dass Magnetpole entstehen: Nordpol (N) und Südpol (S), immer paarweise. Ein Motor mit einem Paar heisst **2-polig**, mit zwei Paaren **4-polig** usw.

Warum mehr Pole langsamer drehen: Das Magnetfeld im Motor springt bei jeder Netzschwingung (50-mal pro Sekunde) **um ein Polpaar weiter**. Beim 2-poligen Motor ist das gleich eine ganze Umdrehung. Beim 4-poligen Motor gibt es zwei Polpaare im Kreis, also braucht das Feld zwei Schwingungen für eine Umdrehung, er dreht **halb so schnell**. Je mehr Pole, desto kleiner die Schritte, desto langsamer.

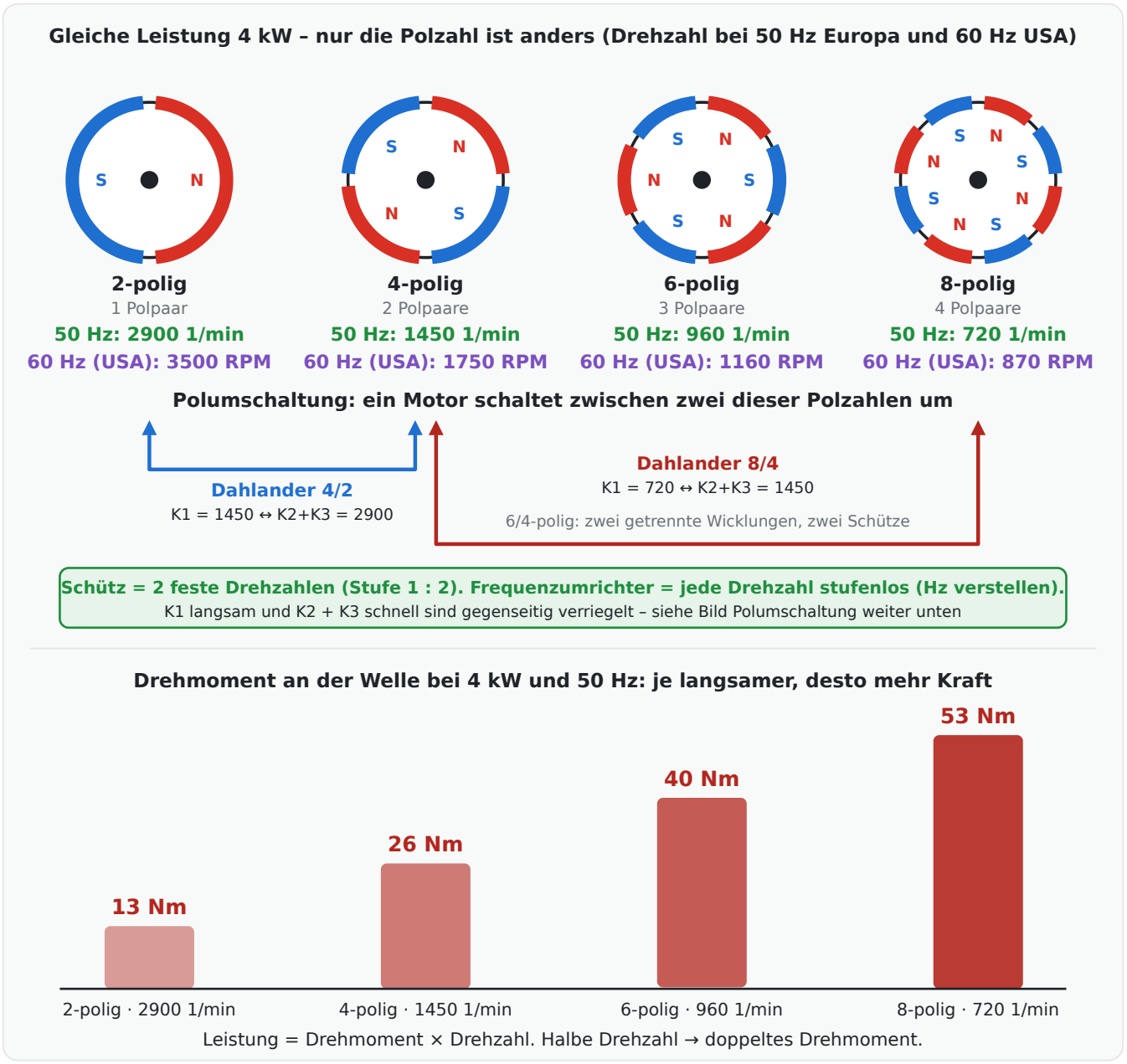


Bild: oben die vier üblichen Polzahlen mit ihren Nordpolen (rot) und Südpolen (blau), unten das Drehmoment bei gleicher Leistung von 4 kW.

Warum langsame Motoren mehr Kraft haben

Denk an das **Velo**: Mit der gleichen Kraft in den Beinen (gleiche Leistung) fährst du im kleinen Gang langsam, aber kommst leicht den Berg hinauf (viel Drehmoment). Im grossen Gang fährst du schnell, hast aber wenig Kraft. Beim Motor ist es genau gleich: **Leistung = Drehmoment × Drehzahl**. Wird die Drehzahl kleiner, wird das Drehmoment grösser.

Formel: M [Nm] = 9550 × P [kW] / n [1/min]
Merksatz: Doppelt so viele Pole = halbe Drehzahl = doppeltes Drehmoment (bei gleicher Leistung). Darum ist ein 4-kW-Motor mit 8 Polen grösser und schwerer als einer mit 2 Polen: Er muss mehr Drehmoment aushalten.

Polzahl	Drehzahl bei 50 Hz (Europa)	Drehzahl bei 60 Hz (USA)	Drehmoment bei 4 kW und 50 Hz	typisch für
2-polig	2900 1/min	3500 RPM	13 Nm	Pumpen, Lüfter, Schleifmaschinen
4-polig	1450 1/min	1750 RPM	26 Nm	der «Normalmotor»: Werkzeugmaschinen, Kompressoren
6-polig	960 1/min	1160 RPM	40 Nm	Förderbänder, Mischer, schwere Antriebe
8-polig	720 1/min	870 RPM	53 Nm	langsame, schwere Antriebe

1/min oder RPM? Das ist das Gleiche: Umdrehungen pro Minute. RPM ist die englische Abkürzung (revolutions per minute) und steht auf amerikanischen Motoren und in englischen Unterlagen.

50 Hz oder 60 Hz? In Europa hat das Netz 50 Hz, in den USA, Kanada und einigen anderen Ländern 60 Hz. Bei 60 Hz dreht der gleiche Motor um ein Fünftel schneller (60/50 = 1,2). Darum steht auf einem amerikanischen 4-poligen Motor 1750 RPM statt 1450 1/min. Ein Motor muss für das Netz gebaut sein, an dem er läuft: Typenschild prüfen!

Land / Gebiet	Netzfrequenz	Drehstrom (Industrie) ca.
Schweiz, Europa	50 Hz	400 V
China	50 Hz	380 V
Indien, Australien	50 Hz	400 V
Japan Ost (Tokio, Norden)	50 Hz	200 V
Japan West (Osaka, Nagoya, Süden)	60 Hz	200 V
USA, Kanada	60 Hz	meist 480 V (auch 208 / 230 V)
Mexiko, Südkorea	60 Hz	je nach Netz

> Japan ist ein Sonderfall: Das Land hat zwei Netze, im Osten 50 Hz, im Westen 60 Hz. Vor dem Liefern einer Maschine immer fragen, wo sie aufgestellt wird. Spannungen sind Richtwerte, im Einzelfall beim Kunden nachfragen.

Tipp vom Typenschild: Die Polzahl steht oft nicht drauf, aber die Drehzahl. Bei 50 Hz gilt: ca. 2900 → 2-polig, ca. 1450 → 4-polig, ca. 960 → 6-polig, ca. 720 → 8-polig. Bei 60 Hz: ca. 3500 → 2-polig, ca. 1750 → 4-polig, ca. 1160 → 6-polig, ca. 870 → 8-polig. Der Motor dreht immer etwas langsamer als das Magnetfeld (Schlupf), darum 1450 und nicht 1500.

▼ Aufgabe: Auf dem Typenschild steht 7,5 kW, 1450 1/min. Wie viele Pole hat der Motor und wie gross ist das Drehmoment?

Lösung: 1450 1/min → **4-polig**. M = 9550 × 7,5 / 1450 ≈ **49 Nm**.

▼ **Aufgabe: Man ersetzt einen 4-poligen durch einen 8-poligen Motor mit gleicher Leistung. Was passiert mit Drehzahl und Drehmoment?**

Lösung: Die Drehzahl wird halb so gross (ca. 720 statt 1450 1/min), das Drehmoment doppelt so gross.

Polumschaltung: ein Motor mit zwei Drehzahlen

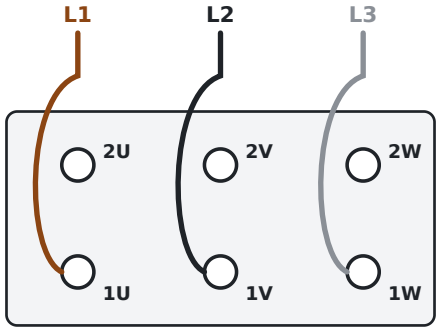
Manche Maschinen brauchen zwei feste Drehzahlen, z. B. eine Drehbank, ein Lüfter oder eine Hebebühne mit Schleich- und Schnellgang. Dafür gibt es **polumschaltbare Motoren**. Man ändert die Zahl der Pole – und damit die Drehzahl.

Der bekannteste ist der **Dahlandermotor**: Er hat **eine** Wicklung, die man so umschaltet, dass die Polzahl halbiert wird. Die Drehzahl verdoppelt sich also, z. B. **4/2-polig** (1450 / 2900 1/min) oder **8/4-polig** (720 / 1450 1/min).

Polumschaltung (Dahlander): ein Motor, zwei Drehzahlen im Verhältnis 1 : 2

LANGSAM (Dreieck Δ)

mehr Pole: 4-polig ≈ 1450 1/min (oder 8-polig ≈ 720)



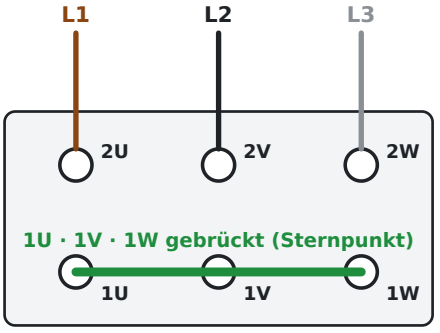
Klemmbrett Dahlandermotor

2U · 2V · 2W bleiben offen

Schütz K1 ein

SCHNELL (Doppelstern YY)

halbe Polzahl: 2-polig ≈ 2900 1/min (oder 4-polig ≈ 1450)



Klemmbrett Dahlandermotor

Schütze K2 + K3 ein

Mit drei Schützen umschalten

K1	K2	K3
langsam	**schnell**	**Sternbrücke**
L1-L3 → 1U 1V 1W	L1-L3 → 2U 2V 2W	verbindet 1U 1V 1W

verriegelt — immer zusammen

Langsam: nur K1.
Schnell: K2 und K3 zusammen.
K1 nie zusammen mit K2/K3!
Sonst Kurzschluss.

Achtung: Drehrichtung bei beiden Drehzahlen prüfen!

Je nach Motor müssen für «schnell» zwei Phasen getauscht angeschlossen werden – Anschlussplan des Herstellers beachten.

Schema Polumschaltung

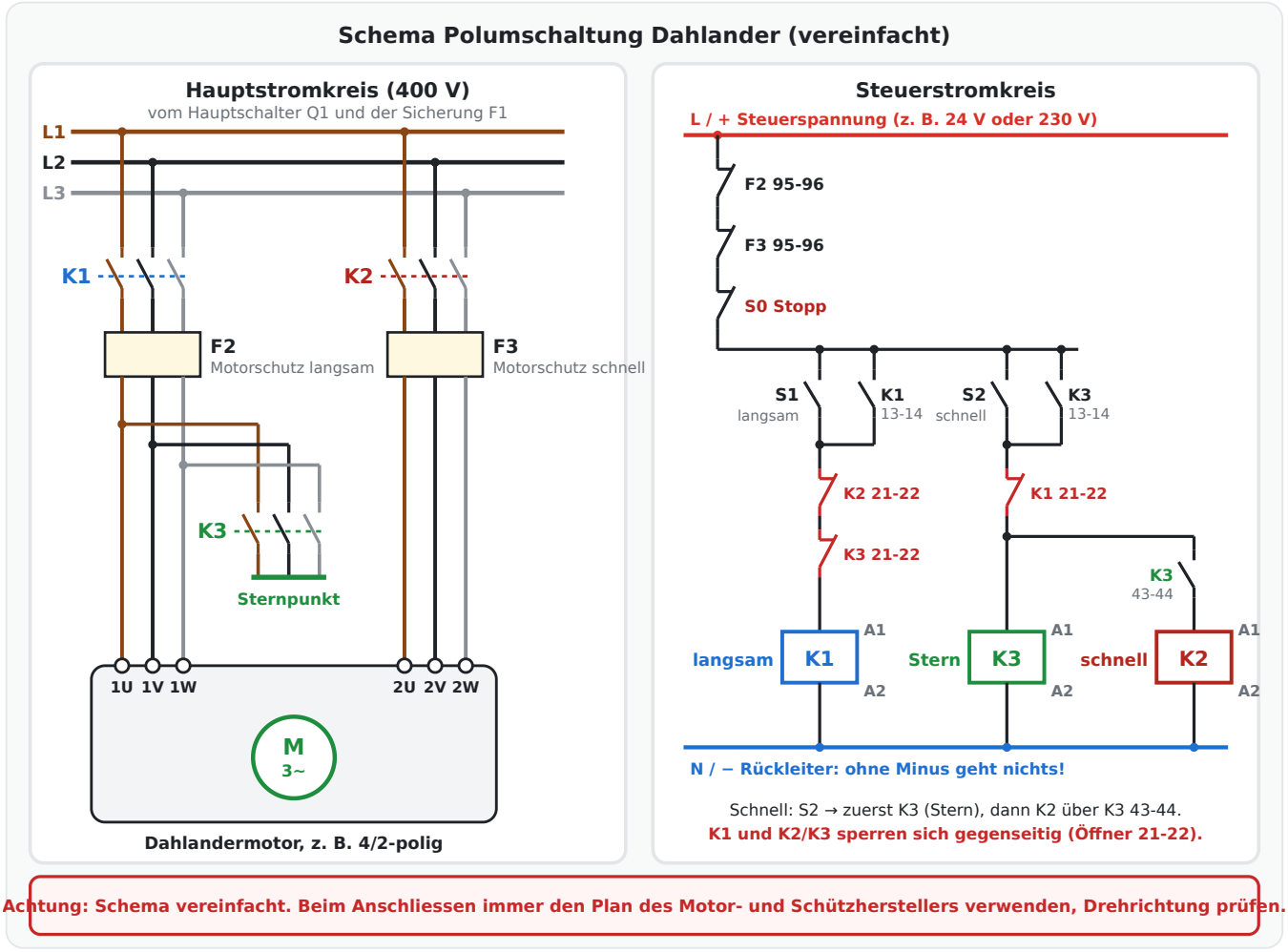


Bild: Links der Hauptstromkreis. K1 schaltet langsam (1U 1V 1W), K2 schaltet schnell (2U 2V 2W) und K3 brückt dabei 1U 1V 1W zum Sternpunkt. Rechts der Steuerstromkreis mit Stopp, zwei Tastern, Selbsthaltung (13-14) und gegenseitiger Verriegelung (21-22).

Motor	Langsam (Δ, 1U 1V 1W)	Schnell (YY, 2U 2V 2W)
Dahlander 4/2-polig	4-polig ≈ 1450 1/min	2-polig ≈ 2900 1/min
Dahlander 8/4-polig	8-polig ≈ 720 1/min	4-polig ≈ 1450 1/min
Bei 60 Hz (USA)	× 1,2 (z. B. 1750 statt 1450)	× 1,2 (z. B. 3500 statt 2900)

Merksatz: Dahlander = Verhältnis 1 : 2. Langsam: Netz an 1U 1V 1W (Dreieck), 2U 2V 2W offen. Schnell: Netz an 2U 2V 2W, und 1U 1V 1W werden zum Sternpunkt gebrückt (Doppelstern). Bei schnell hat der Motor meist etwas mehr Leistung.

Braucht man ein anderes Verhältnis (z. B. 6/4-polig, 1000 / 1450 1/min), hat der Motor **zwei getrennte Wicklungen**. Dann braucht es nur zwei Schütze, die gegenseitig verriegelt sind.

Achtung: Die Schütze für langsam (K1) und schnell (K2 + K3) müssen **gegenseitig verriegelt** sein (wie beim Wendeschütz), sonst gibt es einen Kurzschluss. Den Motorschutz für **jede Drehzahl** separat einstellen, die Ströme sind verschieden. Drehrichtung bei beiden Drehzahlen prüfen und immer den **Anschlussplan des Herstellers** beachten.

▼ Aufgabe: Ein Dahlandermotor 8/4-polig läuft langsam mit 720 1/min. Wie schnell läuft er im schnellen Gang?

Lösung: Halbe Polzahl = doppelte Drehzahl: ca. **1450 1/min** (4-polig).

▼ Aufgabe: Was passiert mit den Klemmen 1U 1V 1W im schnellen Gang?

Lösung: Sie werden über den Schütz K3 **miteinander verbunden** (Sternpunkt). Das Netz liegt dann an 2U 2V 2W.

Kapitel (neu)

Was ist ein Frequenzumrichter (FU)? Wi-8F 1-17.3

Ein Drehstrommotor am normalen Netz dreht immer etwa gleich schnell. Der **Frequenzumrichter (FU)** ist sein **Gaspedal**: Er verstellt die **Frequenz (Hertz)** und damit die **Drehzahl** des Motors, stufenlos.

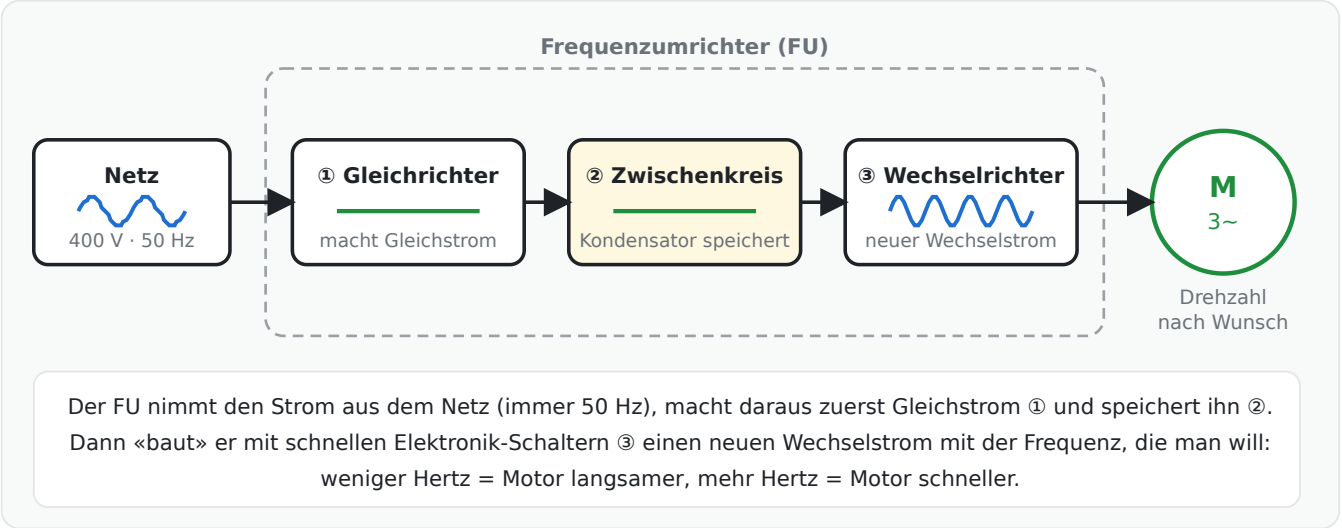
Warum die Hertz die Drehzahl bestimmen

Im Motor dreht sich ein Magnetfeld, und der Läufer dreht mit. Wie schnell sich das Feld dreht, hängt von der **Frequenz** ab: Je mehr Hertz, desto schneller. Aus dem Netz kommen immer **50 Hz**, darum hat ein Motor am Netz eine feste Drehzahl.

> **Formel:** Drehzahl n [1/min] = Frequenz f [Hz] × 60 / Polpaarzahl p
> Beispiel 4-poliger Motor (2 Polpaare) an 50 Hz: n = 50 × 60 / 2 = **1500 1/min** (wirklich etwas weniger, ca. 1450 1/min, weil der Läufer ein wenig «nachhinkt», das nennt man Schlupf).

Frequenz am FU	Drehzahl 4-poliger Motor (ca.)	Bemerkung
10 Hz	300 1/min	sehr langsam, Motor wird bei Dauerlast warm (eigener Lüfter dreht auch langsam)
25 Hz	750 1/min	halbe Drehzahl
50 Hz	1500 1/min	wie am Netz (Nenndrehzahl)
75 Hz	2250 1/min	schneller als am Netz, aber weniger Drehmoment
100 Hz	3000 1/min	nur wenn Motor und Mechanik dafür zugelassen sind

Was ist in einem FU drin?

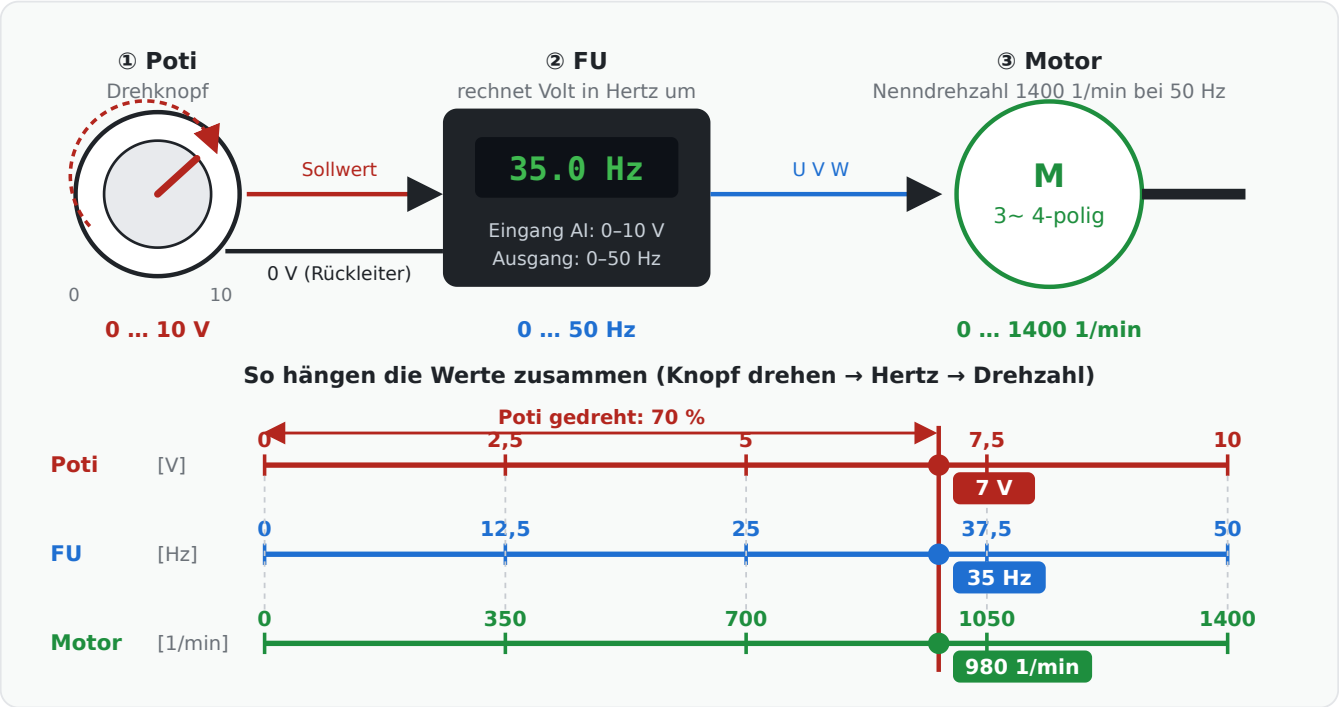


Der FU nimmt den Strom aus dem Netz (immer 50 Hz), macht daraus zuerst Gleichstrom ① und speichert ihn ②. Dann «baut» er mit schnellen Elektronik-Schaltern ③ einen neuen Wechselstrom mit der Frequenz, die man will: weniger Hertz = Motor langsamer, mehr Hertz = Motor schneller.

Der FU verstellt nicht nur die Frequenz, sondern auch die **Spannung** passend dazu. So behält der Motor auch bei kleiner Drehzahl seine Kraft. Den ersten Teil, das Gleichrichten, siehe Kapitel «Grundlagen Strom Wi-8F 1-17.0».

Drehzahl einstellen mit dem Poti (0–10 V)

Ohne FU dreht ein 4-poliger Motor an 50 Hz immer etwa gleich schnell, zum Beispiel **1400 1/min** (steht auf dem Typenschild). Mit FU kann man die Drehzahl mit einem **Drehknopf (Potentiometer, kurz Poti)** einstellen:



> Im Bild steht das Poti auf **7 V** (70 %). Der FU gibt darum **35 Hz** aus (70 % von 50 Hz), und der Motor dreht mit ca. **980 1/min** (70 % von 1400). Dreht man am Poti, wandert die rote Linie mit, und Hertz und Drehzahl ändern sich gleich mit.

Poti-Spannung	Frequenz am FU	Motor-Drehzahl (ca.)
0 V	0 Hz	0 1/min (steht)
2,5 V	12,5 Hz	350 1/min
5 V	25 Hz	700 1/min (halbe Drehzahl)
7,5 V	37,5 Hz	1050 1/min
10 V	50 Hz	1400 1/min (wie am Netz)

So funktioniert es: Das Poti hat drei Anschlüsse (10 V, 0 V und den Schleifer in der Mitte). Es braucht immer auch die **0-V-Leitung zurück**, sonst misst der FU nichts. Das Poti gibt eine Spannung zwischen 0 und 10 V an den **Sollwert-Eingang** des FU (meist «AI» = Analog-Eingang). Der FU rechnet die Volt in Hertz um: **10 V = 50 Hz**, 5 V = 25 Hz usw. Und die Hertz bestimmen die Drehzahl. Welche Frequenz zu 10 V gehört, kann man im FU einstellen (Parameter «Maximalfrequenz»).

> Statt dem Poti kann auch die **SPS** die 0–10 V liefern (Analog-Ausgang). Dann stellt das Programm die Drehzahl ein, zum Beispiel für ein Förderband, das je nach Teil schneller oder langsamer läuft.

▼ **Aufgabe: Das Poti steht auf 4 V. Welche Frequenz gibt der FU aus, und wie schnell dreht der Motor (1400 1/min bei 50 Hz)?**

Lösung: 4 V von 10 V = 40 %. 40 % von 50 Hz = **20 Hz**. 40 % von 1400 1/min = **560 1/min**.

Wofür braucht man einen FU?

Vorteil	Beispiel
Drehzahl stufenlos verstellen	Spindel einer Drehbank oder Fräse, Förderband
Sanft anfahren und bremsen	kein Ruck, schont Riemen, Getriebe und Werkstück; kleiner Anlaufstrom
Energie sparen	Pumpe oder Lüfter läuft nur so schnell wie nötig
Drehrichtung umschalten	per Knopf oder von der SPS, ohne Wendeschütz

Sicherheit

Achtung: Im Zwischenkreis ② sitzen grosse Kondensatoren. Sie bleiben nach dem Ausschalten noch einige Minuten **geladen, mit über 500 V Gleichspannung**. Darum: Nach dem Ausschalten die Wartezeit abwarten, die auf dem Gerät steht, und vor dem Arbeiten Spannungsfreiheit messen. Arbeiten am FU nur durch Fachleute.

Merksatz: Der FU ist das **Gaspedal** des Drehstrommotors: **mehr Hertz = schneller, weniger Hertz = langsamer.**

▼ **Aufgabe: Ein 4-poliger Motor läuft am FU mit 25 Hz. Wie schnell dreht er ungefähr?**

Lösung: n = 25 × 60 / 2 = **750 1/min** (wirklich etwas weniger wegen Schlupf).

▼ **Aufgabe: Was verstellt der FU, damit sich die Drehzahl ändert?**

Lösung: Die **Frequenz** (Hertz), und passend dazu die Spannung.

▼ **Aufgabe: Warum darf man einen FU nicht sofort nach dem Ausschalten öffnen?**

Lösung: Die Kondensatoren im Zwischenkreis sind noch mit über 500 V geladen. Man muss warten und messen.

Kapitel (neu)

Was ist eine SPS? Wi-8F 1-16.0

SPS heisst **Speicherprogrammierbare Steuerung**. Das ist ein kleiner, robuster Computer im Schaltschrank, der eine Maschine steuert. Er schaut, was die Maschine meldet, und entscheidet dann, was eingeschaltet wird.

Das Prinzip: Eingang – Programm – Ausgang

Jede SPS macht immer das Gleiche, in drei Schritten (auch EVA-Prinzip genannt: **E**ingabe, **V**erarbeitung, **A**usgabe):

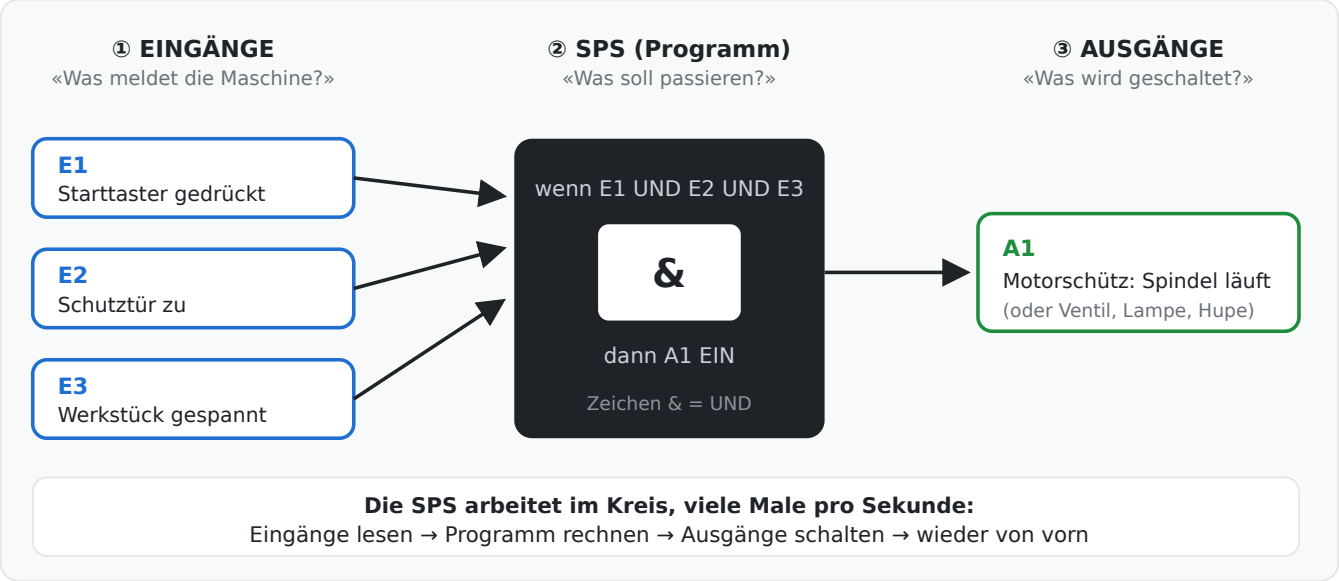


Bild: Die Spindel darf nur laufen, wenn alle drei Bedingungen erfüllt sind. Fehlt eine, bleibt der Ausgang aus.

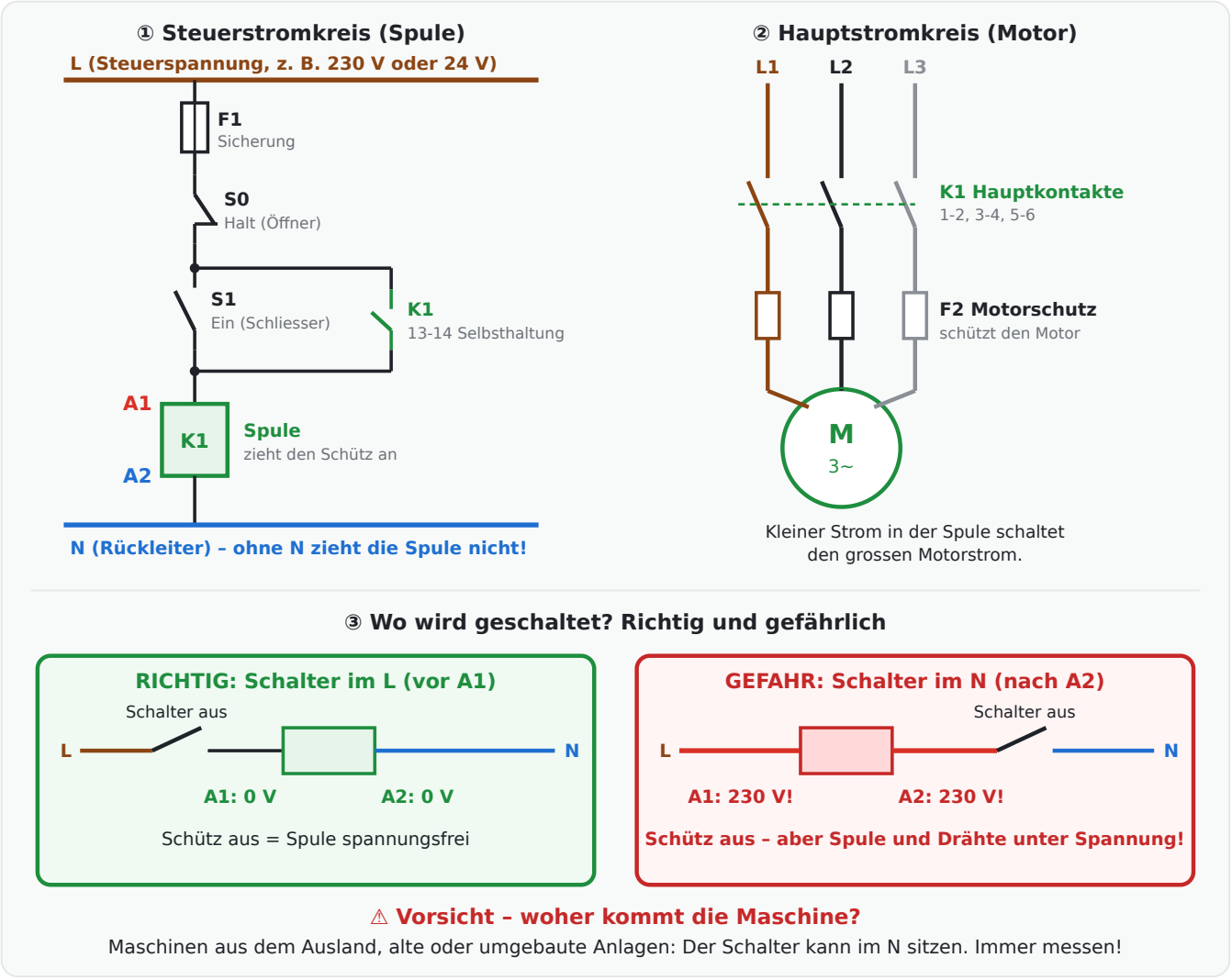
Teil	Was ist das?	Beispiele an der Maschine
Eingänge (E)	Die «Augen und Ohren» der SPS. Sie melden: ja oder nein, Strom da oder nicht.	Taster, Schalter, Endschalter, Näherungsschalter, Lichtschranke, Druckschalter, Temperaturfühler
Programm	Das «Gehirn». Hier steht, was bei welchen Meldungen passieren soll.	«Wenn Tür zu UND Start gedrückt, dann Motor ein»
Ausgänge (A)	Die «Hände» der SPS. Sie schalten etwas ein oder aus.	Schütz für Motor, Magnetventil für Zylinder, Lampe, Hupe

Die Eingänge und Ausgänge arbeiten meist mit **24 V Gleichstrom**. Die grossen Ströme (z. B. 400 V für den Motor) schaltet die SPS nicht selbst, sondern über ein **Schütz** oder Relais.

Ohne Minus geht nichts: Jeder Sensor, Taster und jedes Ventil braucht neben den 24 V auch den **Rückleiter 0 V** (oft «M» oder «0V» angeschrieben, blau). Fehlt die 0-V-Leitung, meldet kein Eingang etwas und kein Ausgang schaltet.

Wie wird ein Schütz angesteuert? (A1 und A2)

Ein **Schütz** ist ein grosser Schalter, der elektrisch eingeschaltet wird. Er hat eine **Spule** mit zwei Anschlüssen: **A1** und **A2**. Fliesst Strom durch die Spule, zieht sie die Kontakte an, und der Motor läuft. Ohne Strom fällt der Schütz ab.



Teil	Was es macht
A1	Anschluss der Spule, kommt vom **Aussenleiter L** (über Sicherung, Halt- und Ein-Taster). Bei 24-V-Steuerung: +24 V.
A2	Anschluss der Spule, geht zum **Rückleiter N** (bei 24 V: 0 V / M). Ohne diesen Rückweg zieht die Spule nicht an.
S0 Halt (Öffner)	Ist normal geschlossen. Drücken unterbricht den Strom, der Schütz fällt ab.
S1 Ein (Schliesser)	Ist normal offen. Drücken schliesst den Stromkreis, der Schütz zieht an.
K1 13-14 Selbsthaltung	Ein Hilfskontakt am Schütz, parallel zu S1. Er hält den Schütz eingeschaltet, wenn man S1 loslässt.
K1 1-2, 3-4, 5-6	Die Hauptkontakte. Sie schalten den grossen Motorstrom (L1, L2, L3).

Merksatz: Der Schalter (und der Halt-Taster) gehört immer in den **Aussenleiter L vor A1**. A2 geht direkt auf den Rückleiter N. Dann ist die Spule spannungsfrei, wenn der Schütz aus ist.

> **Achtung Gefahr:** Wird falsch verdrahtet und der Schalter in den Rückleiter N (nach A2) gesetzt, oder ist man in einem Land bzw. einer Anlage, wo der Rückleiter geschaltet wird oder beide Leiter Spannung gegen Erde haben, dann liegen bei ausgeschaltetem Schütz an **A1 und an A2 trotzdem 230 V**. Man meint, es ist aus, weil der Motor steht – aber die Drähte sind lebensgefährlich. **Vorsicht, woher die Maschine kommt:** Bei Maschinen aus dem Ausland, alten oder umgebauten Anlagen weiss man nie sicher, wie verdrahtet wurde. Darum: **vor jeder Arbeit alle Leiter gegen Erde messen**, nie dem Schalter allein vertrauen. Viele Maschinen verwenden darum eine **24-V-Steuerspannung**: Sie ist bei Berührung ungefährlich.

▼ **Aufgabe: Der Motor läuft, du lässt den Ein-Taster S1 los. Warum läuft der Motor weiter?**

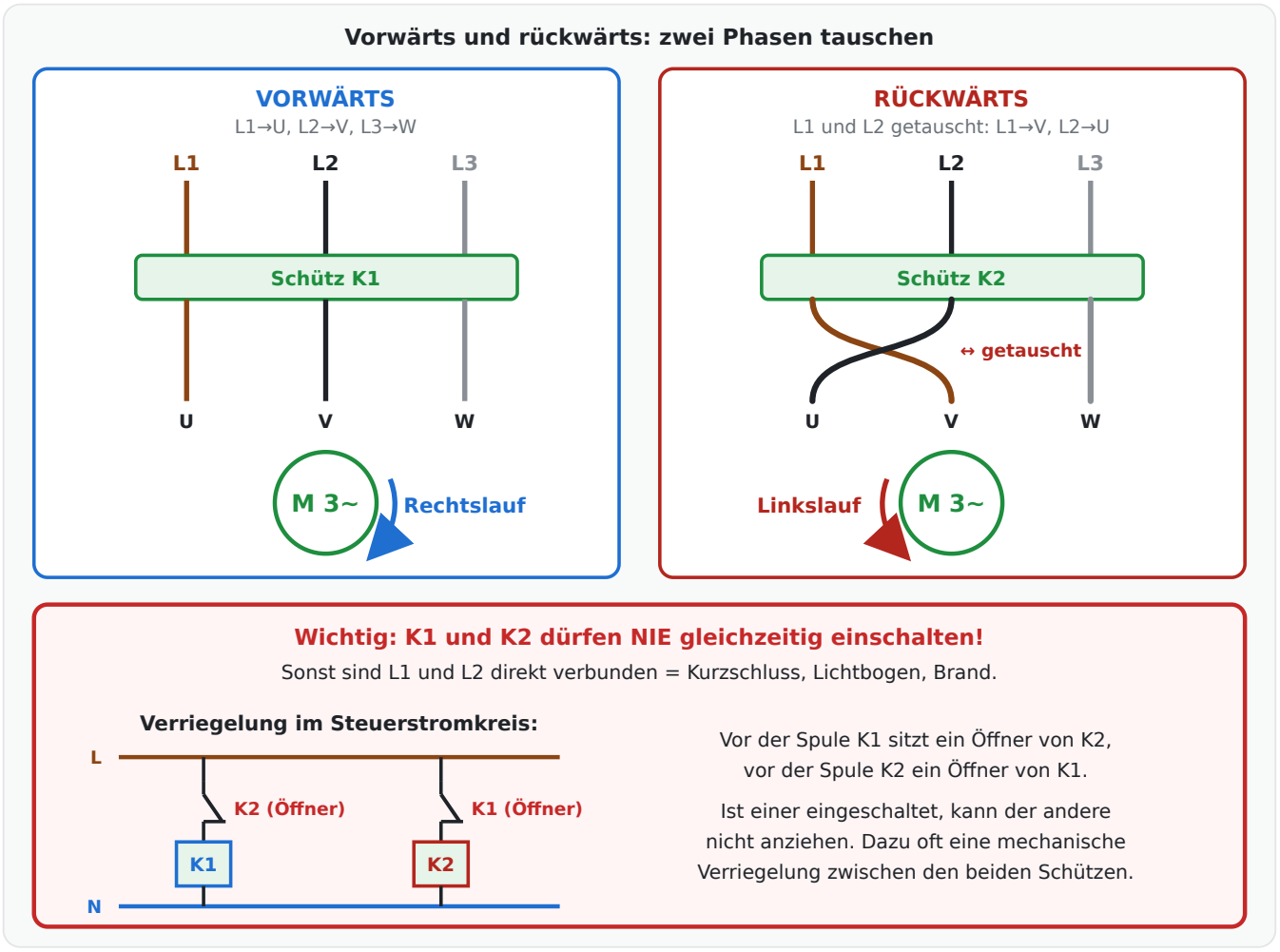
Lösung: Der Hilfskontakt **K1 13-14 (Selbsthaltung)** ist zu und hält den Strom zur Spule A1. Erst der Halt-Taster S0 unterbricht ihn.

▼ **Aufgabe: Der Schütz zieht nicht an, obwohl an A1 230 V gemessen werden. Was könnte fehlen?**

Lösung: Der **Rückleiter an A2** (N bzw. 0 V) ist unterbrochen oder nicht angeschlossen. Ohne Rückweg fliesst kein Strom durch die Spule.

Vorwärts und rückwärts: Phasen tauschen (Wendeschaltung)

Ein Drehstrommotor dreht in die Richtung, in die das **Drehfeld** läuft. Die Reihenfolge der drei Phasen L1 – L2 – L3 bestimmt diese Richtung. Will man den Motor umdrehen lassen, **tauscht man zwei Phasen** – zum Beispiel L1 und L2. Die dritte bleibt, wo sie ist.

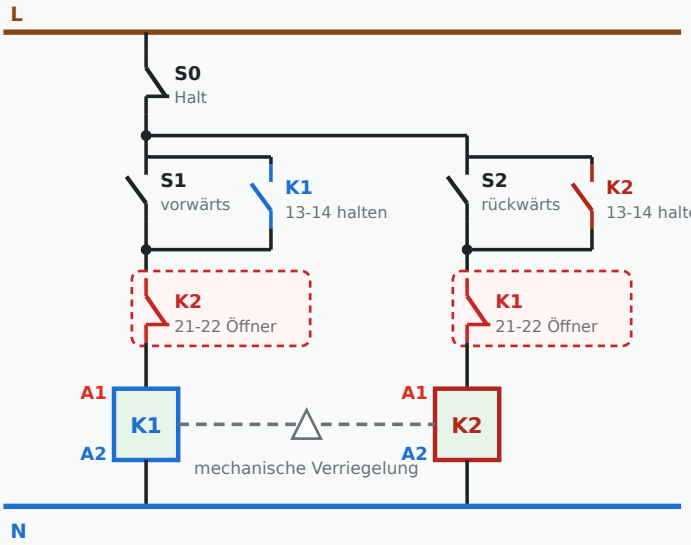


	Vorwärts (Rechtslauf)	Rückwärts (Linkslauf)
Schütz	K1	K2
Anschluss	L1→U, L2→V, L3→W	L1→V, L2→U, L3→W (L1 und L2 getauscht)
Verriegelung	Öffner von K2 vor der Spule K1	Öffner von K1 vor der Spule K2

Gegenseitige Verriegelung im Detail

Damit nie beide Schütze gleichzeitig eingeschaltet sind, sitzt im Weg zur Spule des einen Schützes ein **Öffner (21-22) des anderen**. Solange K1 eingeschaltet ist, ist sein Öffner offen, und K2 kann nicht anziehen. K2 kann erst einschalten, wenn K1 wieder **draussen** (abgefallen) ist – und umgekehrt.

Gegenseitige Verriegelung: K1 kann nur anziehen, wenn K2 draussen ist – und umgekehrt



So funktioniert es:

① S1 drücken → K1 zieht an (Vorwärts).

② Der Öffner K1 21-22 im Zweig von K2 geht auf.

③ S2 drücken bringt jetzt nichts:

K2 bekommt keinen Strom, er bleibt draussen.

④ Erst S0 Halt → K1 fällt ab → Öffner wieder zu.

⑤ Jetzt kann S2 den K2 einschalten (Rückwärts).

Doppelt gesichert:
elektrisch (Öffner 21-22) und
mechanisch (Riegel zwischen den Schützen)

Welcher Zustand ist möglich?

K1 aus, K2 aus	K1 ein, K2 aus	K1 aus, K2 ein	K1 ein, K2 ein
Motor steht	vorwärts	rückwärts	KURZSCHLUSS
möglich ✓	möglich ✓	möglich ✓	verhindert ✖

Merksatz: Zwei Phasen tauschen = andere Drehrichtung. Tauscht man alle drei der Reihe nach, bleibt die Drehrichtung gleich. Mit einem **Frequenzumrichter** geht es einfacher: Die Drehrichtung wird mit einem Eingang oder Parameter umgeschaltet, ohne Wendeschütz.

Achtung: Die zwei Schütze K1 und K2 dürfen **nie gleichzeitig** anziehen – sonst gibt es einen **Kurzschluss** zwischen zwei Phasen mit Lichtbogen. Darum immer elektrisch (Öffner) und wenn möglich mechanisch verriegeln. Nicht direkt von vorwärts auf rückwärts umschalten, sondern zuerst **stoppen**. Vor dem ersten Einschalten einer Maschine die Drehrichtung prüfen (Drehfeldmessgerät oder kurz antippen): Eine falsch drehende Pumpe, Säge oder Spindel kann Schaden anrichten.

▼ **Aufgabe: Ein neuer Motor dreht falsch herum. Was macht der Elektriker?**

Lösung: Bei ausgeschalteter und gesicherter Anlage **zwei Phasen tauschen** (z. B. L1 und L2 am Motor-Klemmbrett oder am Schütz). Dann dreht der Motor richtig.

▼ **Aufgabe: Warum braucht ein Wendeschütz eine Verriegelung?**

Lösung: Wenn K1 und K2 gleichzeitig einschalten, sind zwei Phasen direkt miteinander verbunden. Das ist ein Kurzschluss. Die Verriegelung verhindert das.

Die drei wichtigsten Verknüpfungen

Verknüpfung	Zeichen	Bedeutung	Beispiel
UND	&	Alle Bedingungen müssen erfüllt sein.	Motor läuft nur, wenn Tür zu **und** Start gedrückt.
ODER	≥1	Mindestens eine Bedingung muss erfüllt sein.	Lampe leuchtet, wenn Taster 1 **oder** Taster 2 gedrückt.
NICHT	1 mit Kreis	Dreht das Signal um: aus wird ein, ein wird aus.	Warnlampe leuchtet, wenn Tür **nicht** zu.

Beispiel mit drei Eingängen (UND)

1 = Signal da (24 V), 0 = kein Signal. Der Ausgang ist nur in der letzten Zeile ein:

E1 Start	E2 Tür zu	E3 Werkstück gespannt	A1 Spindel
0	0	0	0 aus
1	0	1	0 aus
1	1	0	0 aus
0	1	1	0 aus
1	**1**	**1**	**1 EIN**

> **Merksatz:** Die SPS **schaut** (Eingänge), **denkt** (Programm) und **schaltet** (Ausgänge), immer wieder, viele Male pro Sekunde.

Früher und heute

Früher hat man solche Steuerungen mit vielen Relais und Drähten gebaut (Relais- oder Schützsteuerung). Wollte man etwas ändern, musste man neu verdrahten.
Heute steht die Logik im Programm. Für eine Änderung wird nur das Programm angepasst, die Drähte bleiben. Darum heisst sie **«speicherprogrammierbar»**: Das Programm ist gespeichert und kann geändert werden.

SPS findet man fast überall: in Werkzeugmaschinen, Förderbändern, Liften, Ampeln, Heizungen, Waschanlagen.

Wie wird eine SPS programmiert?

Sprache	So sieht es aus	Gut für
FUP (Funktionsplan)	Kästchen mit &, ≥1 wie im Bild oben	Einsteiger, Logik auf einen Blick
KOP (Kontaktplan)	sieht aus wie ein Stromlaufplan mit Kontakten und Spulen	Elektriker, die Schemas gewohnt sind
ST (Strukturierter Text)	Text wie eine Programmiersprache: IF … THEN …	Rechnen, grössere Programme

Ein kleines Programm in vier Sprachen

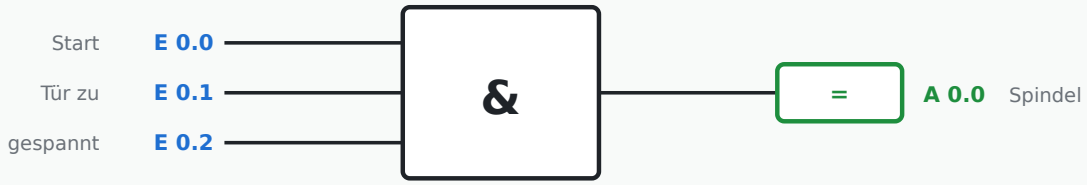
Die Aufgabe ist immer die gleiche wie im Bild oben: **Die Spindel (A 0.0) läuft nur, wenn Start (E 0.0) UND Tür zu (E 0.1) UND Werkstück gespannt (E 0.2).** Die Adressen E 0.0, A 0.0 usw. sind die Anschlüsse an der SPS: E = Eingang, A = Ausgang (englisch I und Q).

KOP – Kontaktplan
sieht aus wie ein Stromlaufplan: Strom fliesst von links nach rechts, nur wenn alle Kontakte zu sind



–| |– = Schliesser (Kontakt) –( )– = Spule (Ausgang)

FUP – Funktionsplan
Kästchen mit Logik-Zeichen: links rein, rechts raus



AWL – Anweisungsliste (wie kurze Befehle untereinander, «U» heisst UND):

```
U    E 0.0     // Start gedrückt
U    E 0.1     // UND Tür zu
U    E 0.2     // UND Werkstück gespannt
=    A 0.0     // dann Spindel EIN
```

ST – Strukturierter Text (wie eine Programmiersprache):

```
Spindel := Start AND Tuer_zu AND Gespannt;
```

Sprache	Früher / heute
KOP	Früher und heute, beliebt bei Elektrikern
FUP	Früher und heute, gut zum Lernen
AWL	Früher sehr verbreitet (z. B. ältere Siemens-Steuerungen S5 und S7-300). Gilt heute als veraltet, bei neuen Steuerungen oft nicht mehr möglich. In alten Maschinen findet man sie aber noch.
ST	Heute immer wichtiger, vor allem für grössere Programme

> Alle vier Sprachen machen hier genau das Gleiche. Es ist nur eine andere Art, es aufzuschreiben.

Sicherheit

> Der **Not-Halt** darf nicht nur über eine normale SPS laufen. Er wird fest verdrahtet oder über ein **Sicherheitsrelais** bzw. eine Sicherheits-SPS geführt. So stoppt die Maschine auch dann, wenn das Programm einen Fehler hat.

▼ Aufgabe: Eine Presse darf nur fahren, wenn der Bediener mit beiden Händen je einen Taster drückt. Welche Verknüpfung braucht es?

Lösung: **UND**. Taster links UND Taster rechts, dann Presse ein. So sind beide Hände weg vom Werkzeug. In der Praxis macht das ein Zweihand-Sicherheitsbaustein, nicht die normale SPS.

▼ Aufgabe: Eine Hupe soll ertönen, wenn die Tür offen ist ODER der Öldruck fehlt. Was ist ein Eingang, was ist ein Ausgang?

Lösung: Eingänge sind der Türschalter und der Öldruckschalter. Der Ausgang ist die Hupe. Verknüpfung: ODER.

▼ Aufgabe: Warum schaltet die SPS den 400-V-Motor nicht direkt?

Lösung: Die SPS-Ausgänge sind für 24 V und kleine Ströme gebaut. Sie schalten ein Schütz, und das Schütz schaltet den grossen Motorstrom.