ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Netzwerke und Schaltungen II

Übung 5
Leistungsanpassung, Blindleistung und Dreiphasensystem

KOMMT IMMER AN PRÜFUNG

«EINFACHE» PUNKTE :)

THEORIE FÜR DIE ÜBUNG

Effektivwert $U = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t=t_0}^{t=t_0+T} u(t)^2\, dt}$

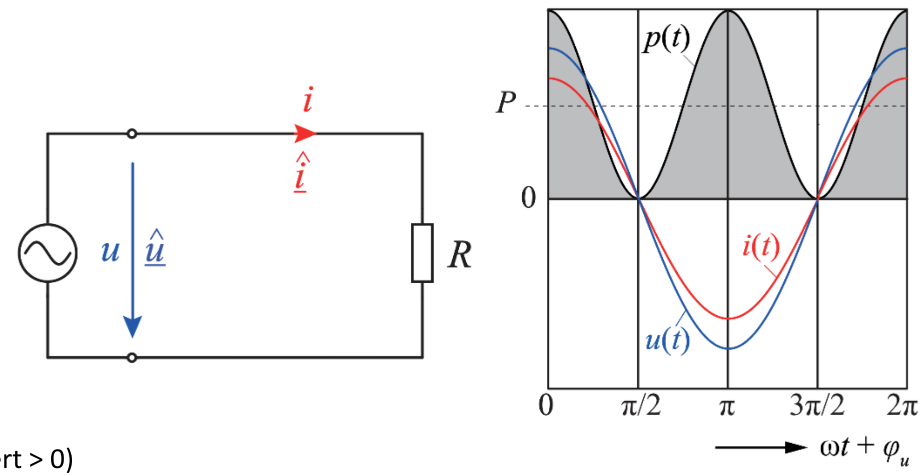
- **Für sinus/cosinus-Grössen gilt:**

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \quad \text{bzw} \quad I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$$

- an Impedanz $\underline{Z}$ gilt:

$$U = |\underline{Z}|\, I$$

Leistungen in reaktiven Zweipolen

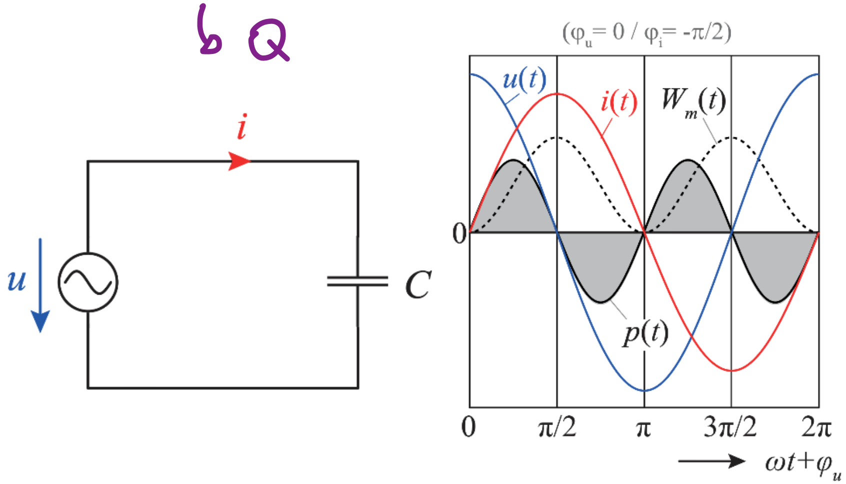


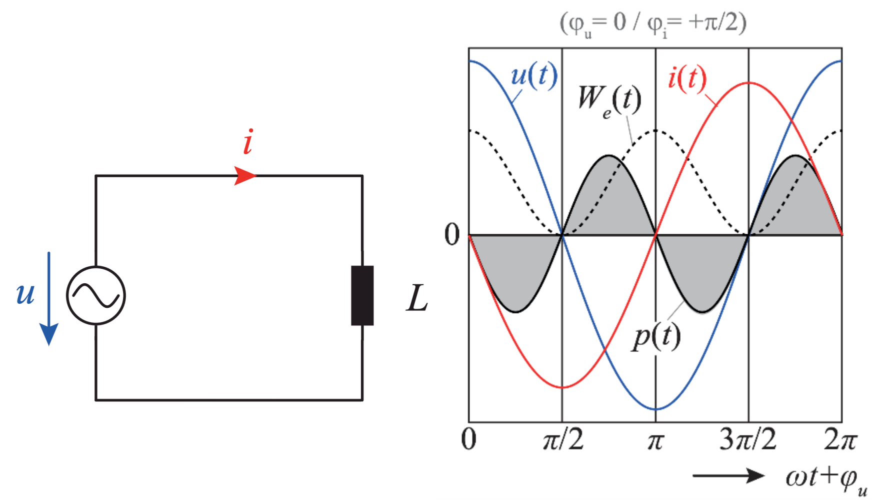
P

Wirkleistung (Mittelwert > 0)

Blindleistung (Mittelwert = 0)

Q





Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung (Formeln)

Merkt euch $\underline{S} = \frac{\hat{\underline{u}}\,\hat{\underline{i}}^*}{2}$

Phasendifferenz:

- $\Delta\varphi = \varphi_u - \varphi_i$

Wirkleistung P: Leistung wird in einem Widerstand in Wärme umgesetzt

- $P = \Re\{\underline{S}\} = S \cdot \cos(\Delta\varphi) = UI \cdot \cos(\Delta\varphi)$

Blindleistung Q: Pendelnde Leistung zwischen Verbraucher (L, C) und Quelle

- $Q = \Im\{\underline{S}\} = S \cdot \sin(\Delta\varphi) = UI \cdot \sin(\Delta\varphi)$

Scheinleistung $\underline{S}$: Beanspruchung der Bauelemente

! - $\boxed{\underline{S}} = P + jQ = UIe^{j\Delta\varphi} = \boxed{\frac{\hat{\underline{u}} \cdot \hat{\underline{i}}^*}{2}}$!
- $\underline{S} = S \cdot e^{j\Delta\varphi}, \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

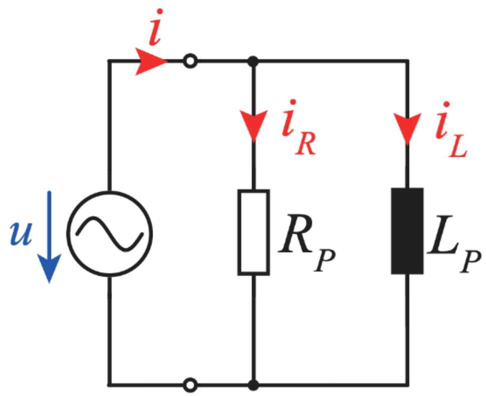
Leistungsfaktor:

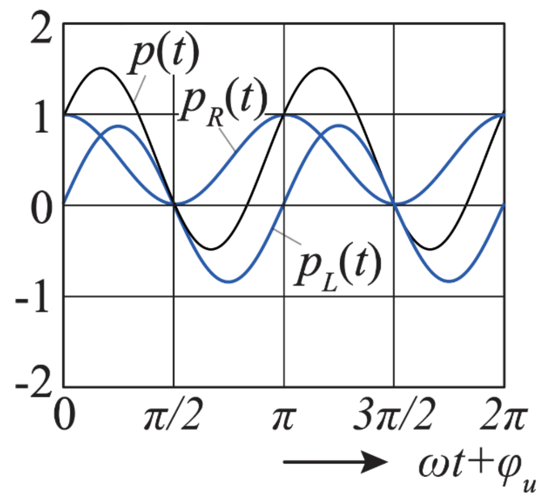
- $\lambda = \cos(\Delta\varphi) = \frac{P}{S}$

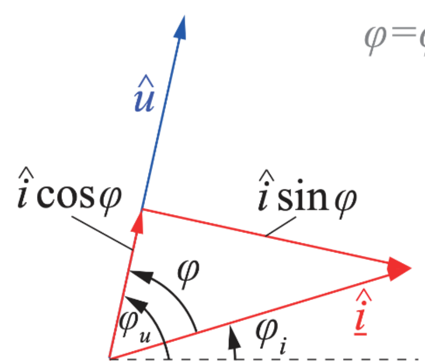
Einheiten:

[P] = W (Watt), [Q] = Var (Voltamper reaktiv), [S] = VA (Voltamper)

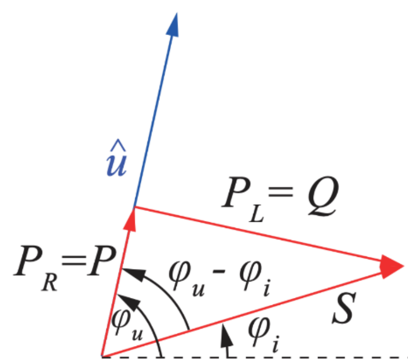
Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung (Beispielschaltung)





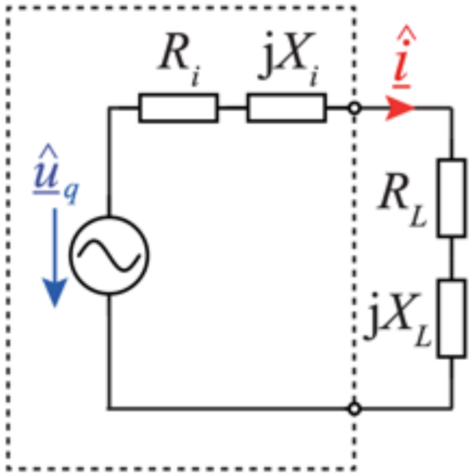


$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$



Gegeben: Quelle $\underline{\hat{u}}_q$ mit komplexem Innenwiderstand $\underline{Z}_i = R_i + jX_i$

Gesucht: $\underline{Z}_L = R_L + jX_L \rightarrow P_L$ maximieren

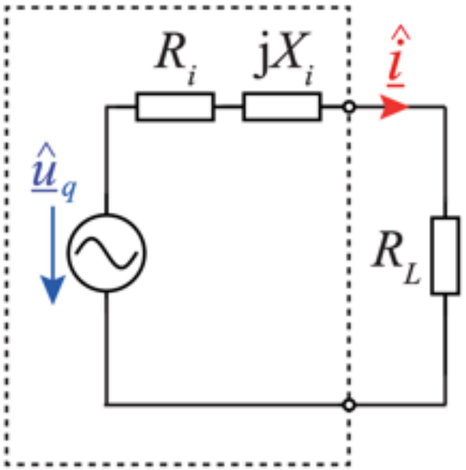


- $\boxed{\underline{Z}_L = \underline{Z}_i^* \ \ (X_L = -X_i\,, R_L = R_i)}$
- $\mathrm{P}_{\max} = \frac{\underline{\hat{u}}_q{}^2}{2}\frac{1}{4R_L}$

Leistungsanpassung mit Wirkwiderstand (Allgemeiner Fall)

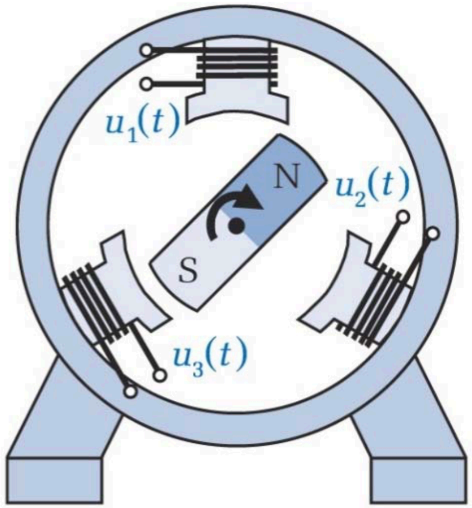
Gegeben: Quelle $\underline{\hat{u}}_q$ mit komplexem Innenwiderstand $\underline{Z}_i = R_i + jX_i$

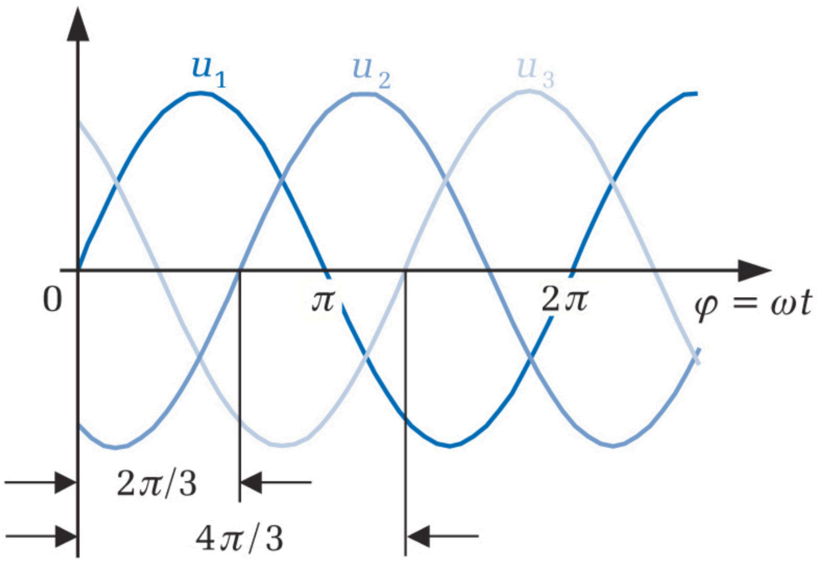
Gesucht: $R_L \rightarrow P_L$ maximal



- $\boxed{R_L = |\underline{Z}_i| = \sqrt{R_i^2 + X_i^2}}$
- $P_{max} = \frac{\hat{u}_q^2}{4} \cdot \frac{1}{R_i + \sqrt{R_i^2 + X_i^2}}$

Erzeugung eines Dreiphasensystems (z.B. Generator)

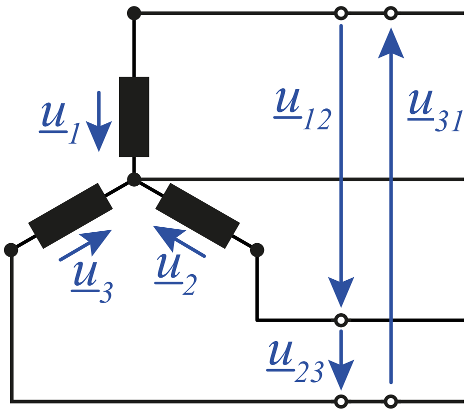


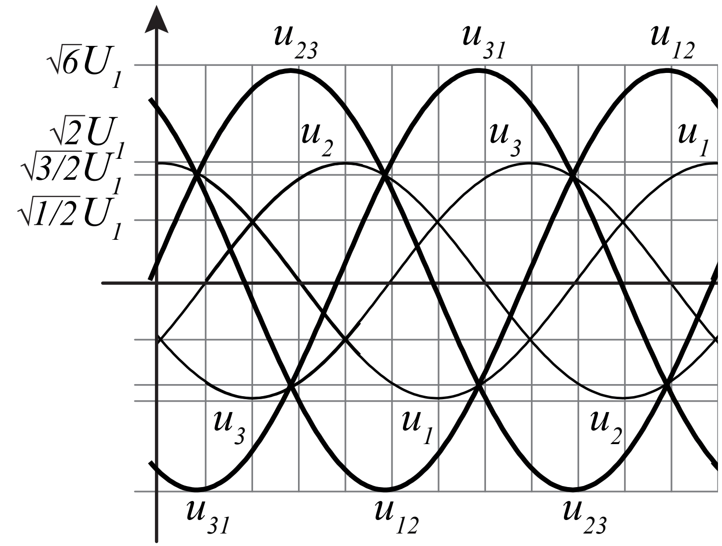


Fliessen drei 120° phasenverschobene Ströme durch drei 120° räumlich versetzte Spulen, ergibt die Überlagerung der Teilfelder ein räumlich umlaufendes Drehfeld.

Dreiphasensystem: Aussenleiter in der Sternschaltung

Aussenleiterspannungen in der Sternschaltung



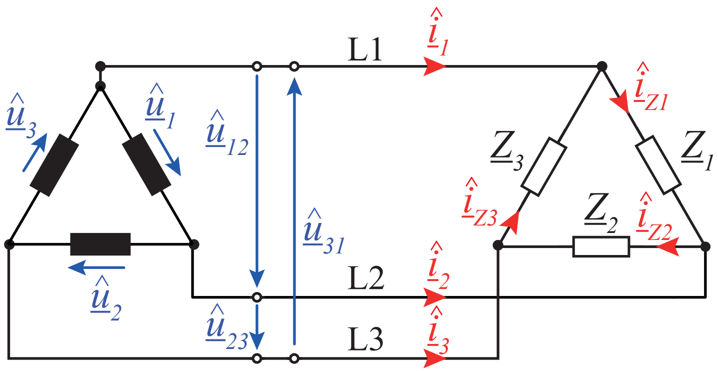


Komponenten
$i_1(t) = \hat{i}e^{i0}e^{i\Delta\varphi},\ i_2(t) = \hat{i}e^{i120°}e^{i\Delta\varphi},\ i_3(t) = \hat{i}e^{i240°}e^{i\Delta\varphi}$
$u_1(t) = \hat{u}e^{i0},\ u_2(t) = \hat{u}e^{i120°},\ u_3(t) = \hat{u}e^{i240°}$
$P_i = UI * \cos(\Delta\varphi)$

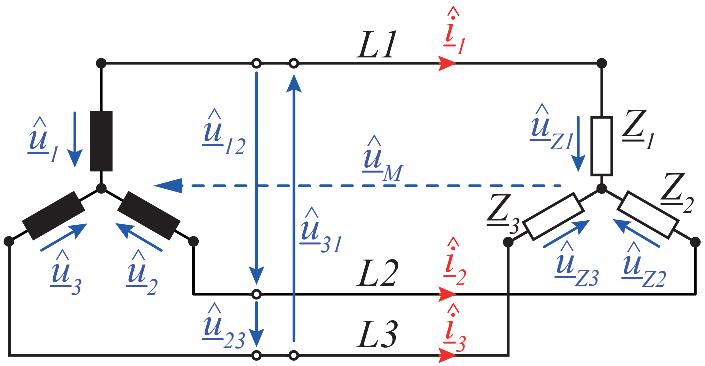
Aussenleiter
I
$\sqrt{3}U$
$P = 3 * UI * \cos(\Delta\varphi)$

Dreiphasensystem: Überblick

Dreieckschaltung



Sternschaltung

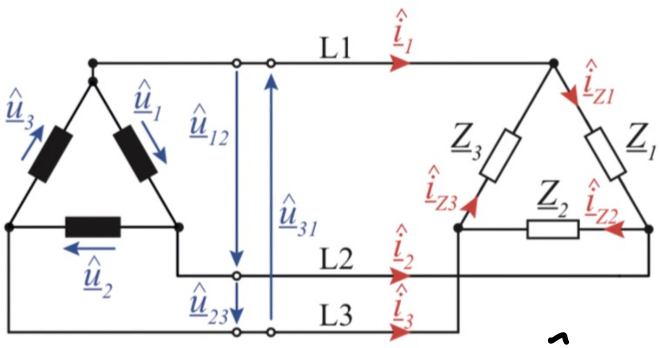


	Dreieckschaltung	**Sternschaltung**
Aussenleiterstrom I_L	$\sqrt{3}I$	I
Aussenleisterspannung U_L	U	$\sqrt{3}U$
Leistung (symmetrische Belastung)	$3 * UI * \cos(\Delta\varphi)$	$3 * UI * \cos(\Delta\varphi)$

- **falls Quelle und Last «nicht gleich geschaltet sind» (z.B. Quelle in Stern, Last in Dreieck): Wandle die Quelle um -> siehe Extra auf meiner Website**

Fall Dreieckschaltung:

- **Für Symmetrische Lasten fällt u1 genau über Z1 ab, u2 über Z2, u3 über Z3**



$$\boxed{a \cdot a^* = |a|^2 \ \forall a \in \mathbb{C}}$$

- **→ Berechne Ströme:** $\underline{\hat{i}}_{Z1} = \frac{\underline{\hat{u}}_1}{\underline{Z}_1}$
- **Berechne Scheinleistung:**

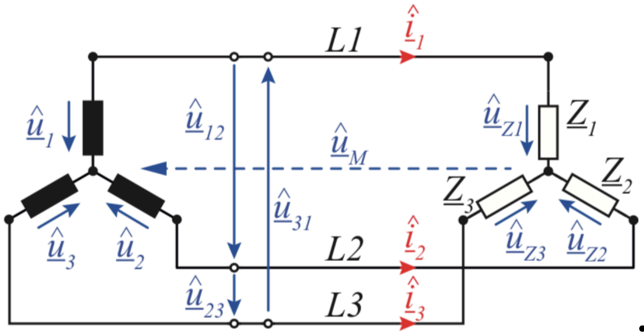
$$\underline{S} = 3\,\frac{\underline{\hat{u}}_1\,\underline{\hat{i}}_{Z1}^*}{2} = \frac{3}{2}\,\frac{\underline{\hat{u}}_1\,\underline{\hat{u}}_1^*}{\underline{Z}^*} = \frac{3|\underline{\hat{u}}_1|^2}{2\,\underline{Z}^*}$$

- **Zeichne/Berechne was sonst noch gefragt ist aus den jetzt bekannten Grössen**

- **falls Quelle und Last «nicht gleich geschaltet sind» (z.B. Quelle in Stern, Last in Dreieck): Wandle die Quelle um -> siehe Extra auf meiner Website**

Fall Sternschaltung:

- **Für Symmetrische Lasten fällt u1 genau über Z1 ab, u2 über Z2, u3 über Z3**



$\boxed{a \cdot a^* = |a|^2 \ \forall a \in \mathbb{C}}$

- **→ Berechne i1, i2, i3 mit** $\hat{i}_1 = \frac{\hat{u}_1}{\underline{Z}_1}$
- **Berechne Scheinleistung:** $\underline{S} = 3\,\frac{\hat{u}_1 \hat{i}_1^*}{2} = \frac{3}{2}\,\frac{\hat{u}_1 \hat{u}_1^*}{\underline{Z}^*} = \frac{3|\hat{u}_1|^2}{2\,\underline{Z}^*}$
- **Zeichne/Berechne was sonst noch gefragt ist aus den jetzt bekannten Grössen**

Schaut euch das Extra auf meiner Website an!

- **Quellenwandlung Stern <-> Dreieck**
- **Dieses sqrt(3)… war es jetzt mal oder geteilt?**
- **30° voreilen/nacheilen**

BEISPIELAUFGABE

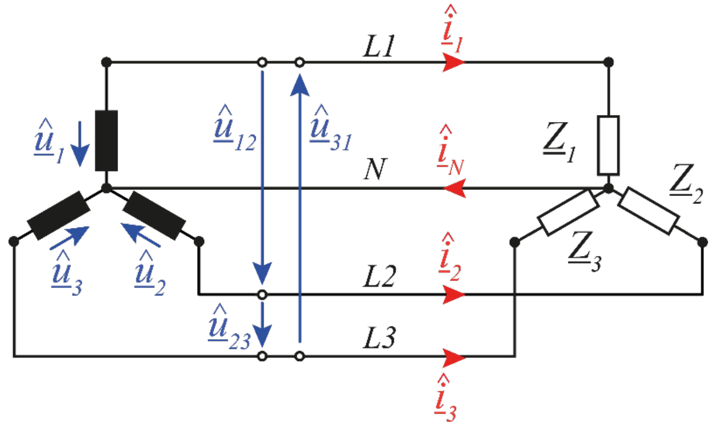
1) Berechnen Sie die Leistung am Verbraucher.

Für die folgenden Teilaufgaben wird eine symmetrische Belastung angenommen:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$
$$L_1 = L_2 = L_3 = L$$

2) Berechnen Sie die Leistung am Verbraucher für die symmetrische Belastung.

3) Geben Sie den Strom im Neutralleiter an.



$$\hat{\underline{u}}_1 = \hat{u}e^{j0},\ \hat{\underline{u}}_2 = \hat{u}e^{-j\frac{2\pi}{3}},\ \hat{\underline{u}}_3 = \hat{u}e^{-j\frac{4\pi}{3}}$$

Tipps für Serie 5

1. fasst alles ohne $\underline{Z}_a$ als Ersatzspannungsquelle zusammen um $\underline{Z}_i$ zu finden

2. Schaut vielleicht die Mulö an aber verschwendet keine Zeit hier... Diese Aufgabe ist viel zu schwierig ☹

3.1 einphasiges Ersatzschaltbild heisst einfach nur eine Impedanz und Quelle zu zeichnen.

4. schwierige Aufgabe! schaut zuerst mein Extra an und probiert dann die Mulö zu verstehen.

4.4 Stern-Dreiecks-Transformation (→ Zusammenfassung)