

1. Leistungsmessung
  - 1.1 Indirekte Leistungsmessung
    - a. Stromrichtige Leistungsmessung
    - b. Spannungsrichtige Leistungsmessung
  - 1.2 Direkte Leistungsmessung
    - a. Schaltung und Eigenverbrauch
  - 1.3 Blindleistungsmessung
  - 1.4 Leistungsmessung mit Wandler
  - 1.5 Leistungsmessung im Drehstromnetz
    - 1.5.1 Symmetrisch belastetes Drehstromnetz
      - a. 4 – Leiternetz
      - b. 3 – Leiternetz
      - c. Blindleistung im 3 – Leiternetz
    - 1.5.2 Unsymmetrisch belastetes Drehstromnetz
      - a. 4 – Leiternetz
      - b. 3 – Leiternetz
      - c. Zweitwattmetermethode – Methode (ARON – Schaltung)
      - d. Blindleistungsmessung

1. Leistungsmessung:1.1 Indirekte Leistungsmessung:

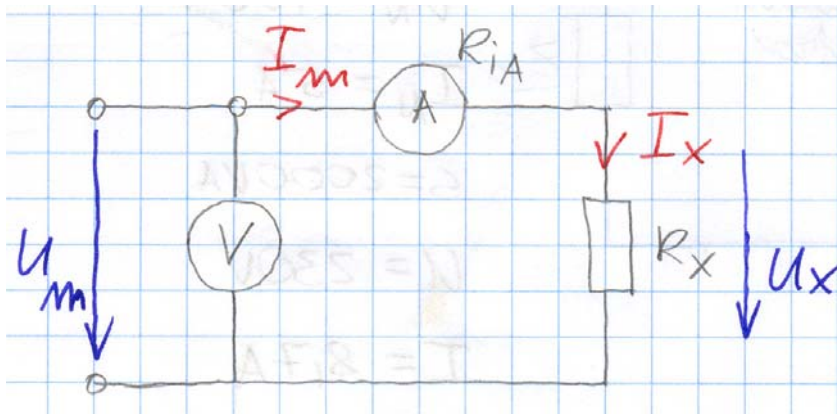
Durch Messung von Strom und Spannung kann die Leistung ermittelt werden. Bei Gleichstrom ergibt sich daraus die gesamte Wirkleistung (P). Bei Wechselstrom lässt sich die Scheinleistung berechnen. (Bei der Messung kleinerer Leistungen muss der Eigenverbrauch der Messgeräte berücksichtigt werden).

$$\text{GS: } P = U \cdot I$$

$$\text{WS: } S = U \cdot I$$

a. Stromrichtige Schaltung:

Anwendung: bei hochohmigen Lastwiderstand ( $R_x$ )

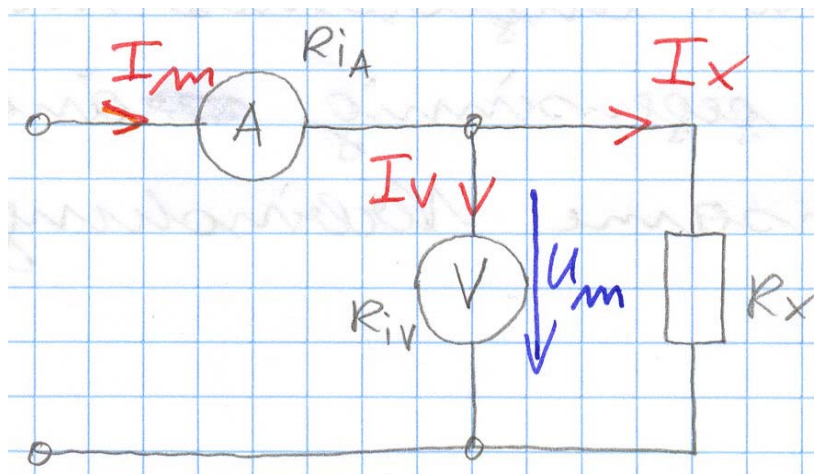


$$\begin{aligned} P_x &= U_x \cdot I_x \\ &= (U_m - I_m \cdot R_{iA}) \cdot I_m \\ &= U_m \cdot I_m - I_m^2 \cdot R_{iA} \end{aligned}$$

Eigenverbrauch des Amperemeters

b. Spannungsrichtige Schaltung:

Anwendung: bei niederohmigen Verbrauchern ( $R_x$ )



$$\begin{aligned} P_x &= U_x \cdot I_x \\ &= U_m \cdot (I_m - I_v) \\ &= U_m \cdot I_m - \frac{U_m^2}{R_{iV}} \end{aligned}$$

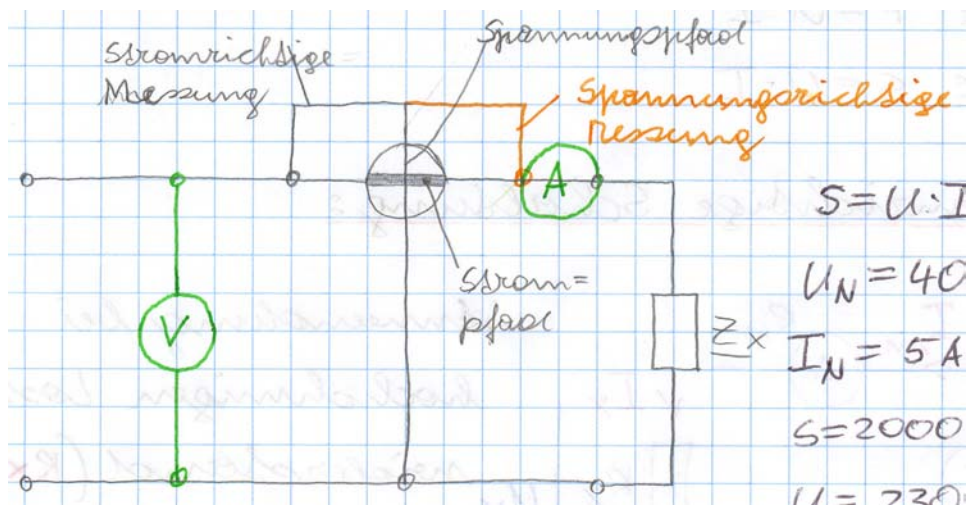
Eigenverbrauch des Voltmeters

## 1.2 Direkte Leistungsmessung:

Eine direkte Leistungsmessung erhält man mit Hilfe elektrodynamischer Messgeräte oder von Messgeräten mit dem Abtastverfahren.

### a. Schaltung und Eigenverbrauch:

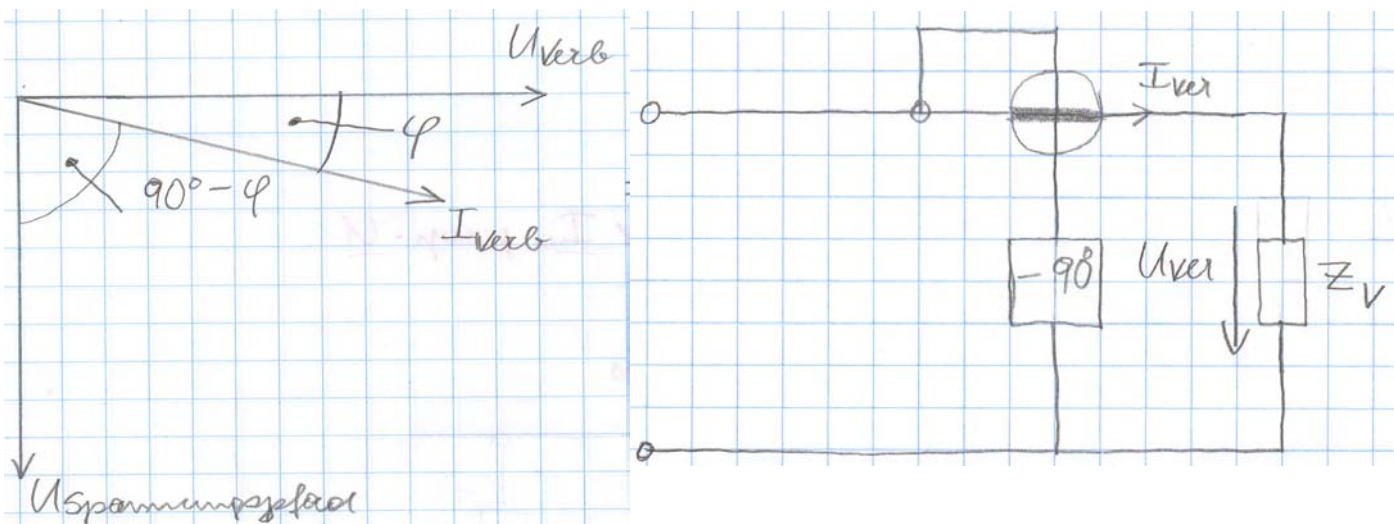
Je nach Schaltung werden bei der Leistungsmessung, die im Strom – oder Spannungspfad auftretenden Verluste mit gemessen. Da das Produkt aus  $I$  und  $U$  gemessen wird, ist es ratsam um eine Überlastung zu vermeiden auch Strom und Spannung zu messen.



## 1.3 Blindleistungsmessung:

Man kann zwar die Blindleistung durch  $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$  ermitteln  $\rightarrow$  ungenau, weil die Messgerätefehler von drei Instrumenten in die Berechnung mit eingehen.

Die Anzeige ist proportional zu  $U \cdot I \cdot \cos(\varphi) \rightarrow$  sorgt man dafür, dass die Spannung am Spannungspfad der Verbraucherspannung um  $90^\circ$  nacheilt, so wird die Blindleistung gemessen.



$$Q = U * I * \cos(90^\circ - \varphi) = U * I * \sin(\varphi)$$

$$\text{Spezialfall: } \varphi = 0 \rightarrow Q = U * I * \sin(0^\circ) = 0$$

#### 1.4 Leistungsmessung mit Wandler:

Bei Verbraucher hoher Leistung werden oft Strom und Spannung in auf das Messgerät angepasste Werte transformiert. (indirekte Leistungsmessung)

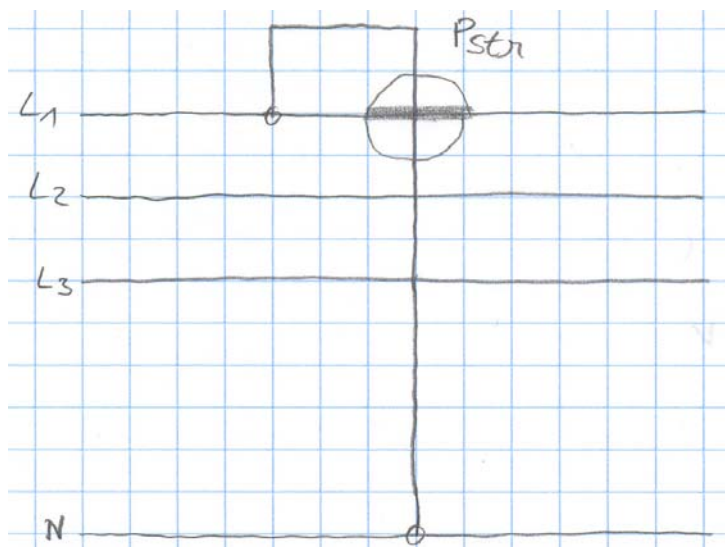
#### 1.5 Leistungsmessung im Drehstromnetz:

##### 1.5.1 Symmetrisch belastetes Drehstromnetz:

###### a. 4 – Leiternetz:

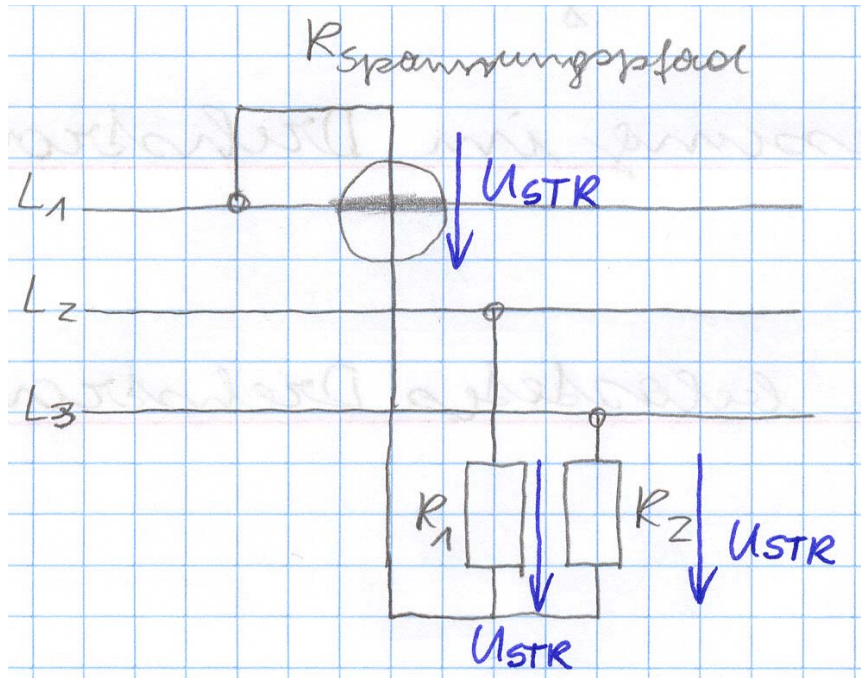
In diesem Fall genügt eine Leistungsmessung in einer der Phasen. Die angezeigte Leistung entspricht der Strangleistung. Die gesamte Drehstromleistung ergibt sich aus

$$P_{ges} = 3 * P_{Str}.$$

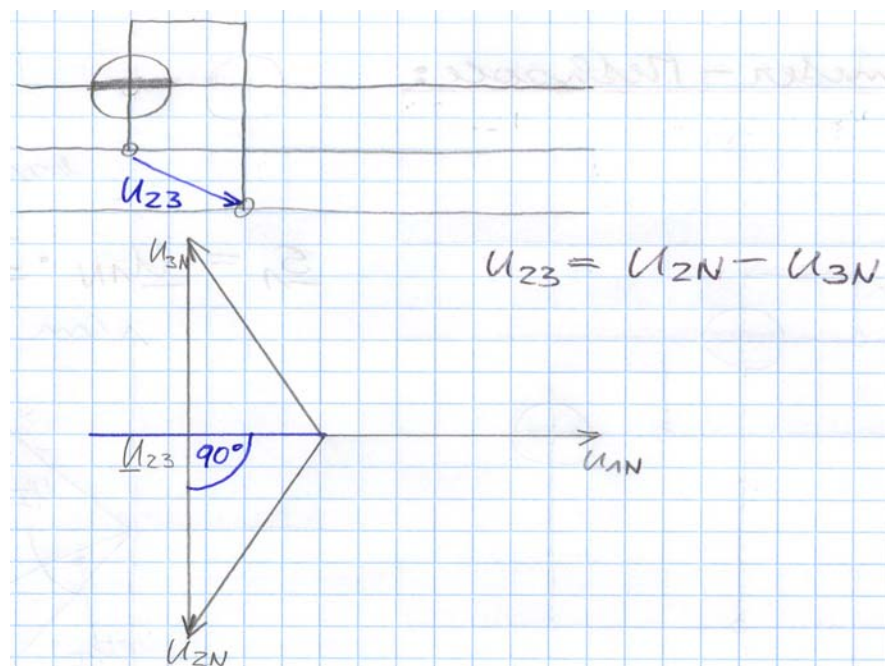


b. 3 – Leiternetz:

Wegen des fehlenden Neutralleiters muss für den Spannungspfad ein künstlicher Sternpunkt geschaffen werden. Alle drei Widerstände müssen gleich groß sein und dem des Spannungspfad entsprechen. Die Anzeige ist meist so kalibriert, dass die gesamte Drehstromleistung angezeigt wird.

c. Blindleistungsmessung im 3 – Leiternetz:

Bei der Blindleistungsmessung im 3 – Leiternetz benötigt man keine „Kunstschaltung“ wie im 1 – Phasennetz. Man muss nur den Spannungspfad an eine Spannung anschließen, die jener für die Wirkleistungsmessung benötigten Spannung um  $90^\circ$  nacheilt.



$$|U_{23}| = \sqrt{3} * |U_{1N}|$$

$$\Rightarrow Q_{ges} = \sqrt{3} * Q_{gemessen}$$

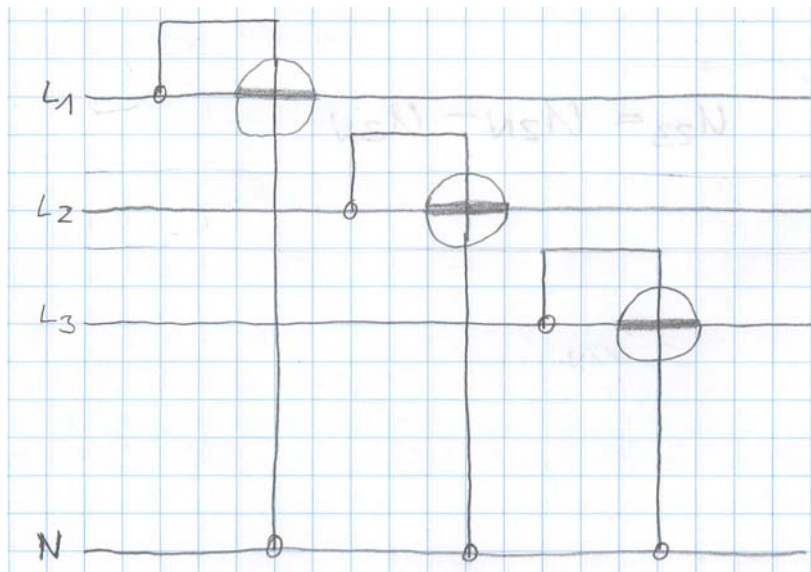


Wird die Wirkleistung im Leiter  $L_1$  gemessen so ist der zugehörige Spannungspfad an  $U_{1N}$  zu legen. Für die Blindleistungsmessung muss daher der Spannungspfad an  $U_{23}$  gelegt werden, da diese Spannung  $U_{1N}$  um  $90^\circ$  nacheilt. Da die Leiterspannung das  $\sqrt{3} * \text{fache}$  der Strangspannung ist, wird die  $\sqrt{3} * \text{fache}$  Strangblindleistung gemessen.

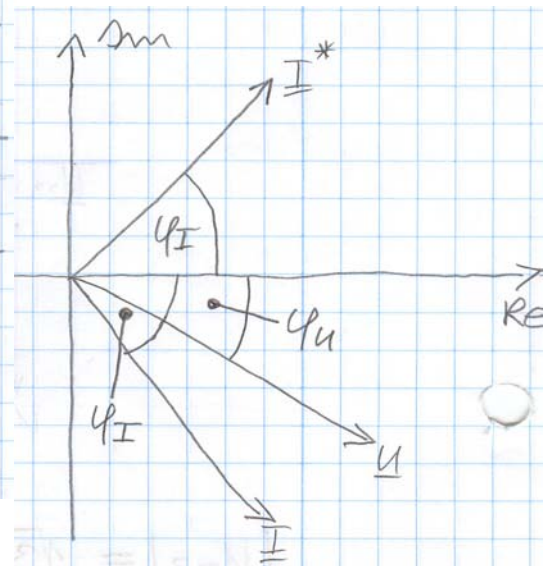
### 1.5.2 Unsymmetrisch belastetes Drehstromnetz:

Grundsätzlich benötigt man für die Leistungsmessung bei unsymmetrischer Belastung  $z \geq n - 1$  Messgeräte ( $n = \text{Anz. der Leiter}$ ).

#### a. 4 – Leiternetz (Drei – Wattmeter – Methode):



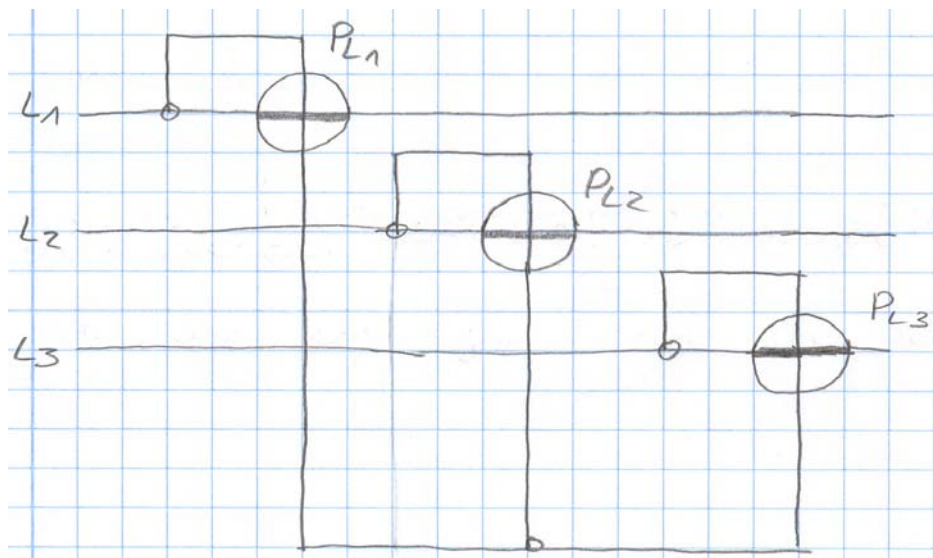
$$\underline{S}_1 = \underline{U}_{1N} * \underline{I}_1^*$$



$$P_{ges} = P_1 + P_2 + P_3$$

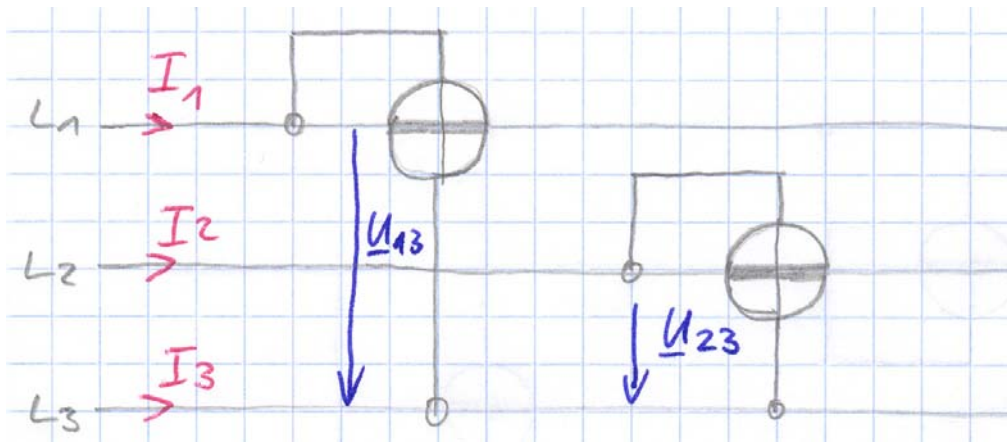
$$\underline{S}_1 = \underline{U}_{1N} * \underline{I}_1 * \cos(\varphi) + j * \underline{U}_{1N} * \underline{I}_1 * \sin(\varphi)$$

#### b. 3 – Leiternetz:



Die Spannungspfade der einzelnen Wattmeter bilden einen künstlichen Sternpunkt. Die von den Wattmetern angezeigten Leistungen entsprechen nicht den einzelnen Strangleistungen, da die Spannungen an den Wattmetern nicht mehr den Stranggrößen entsprechen. Die Summe der drei Wattmeteranzeigen ergibt jedoch trotzdem die gesamte Wirkleistung.

c. Zwei – Wattmeter – Methode (ARON – Schaltung):



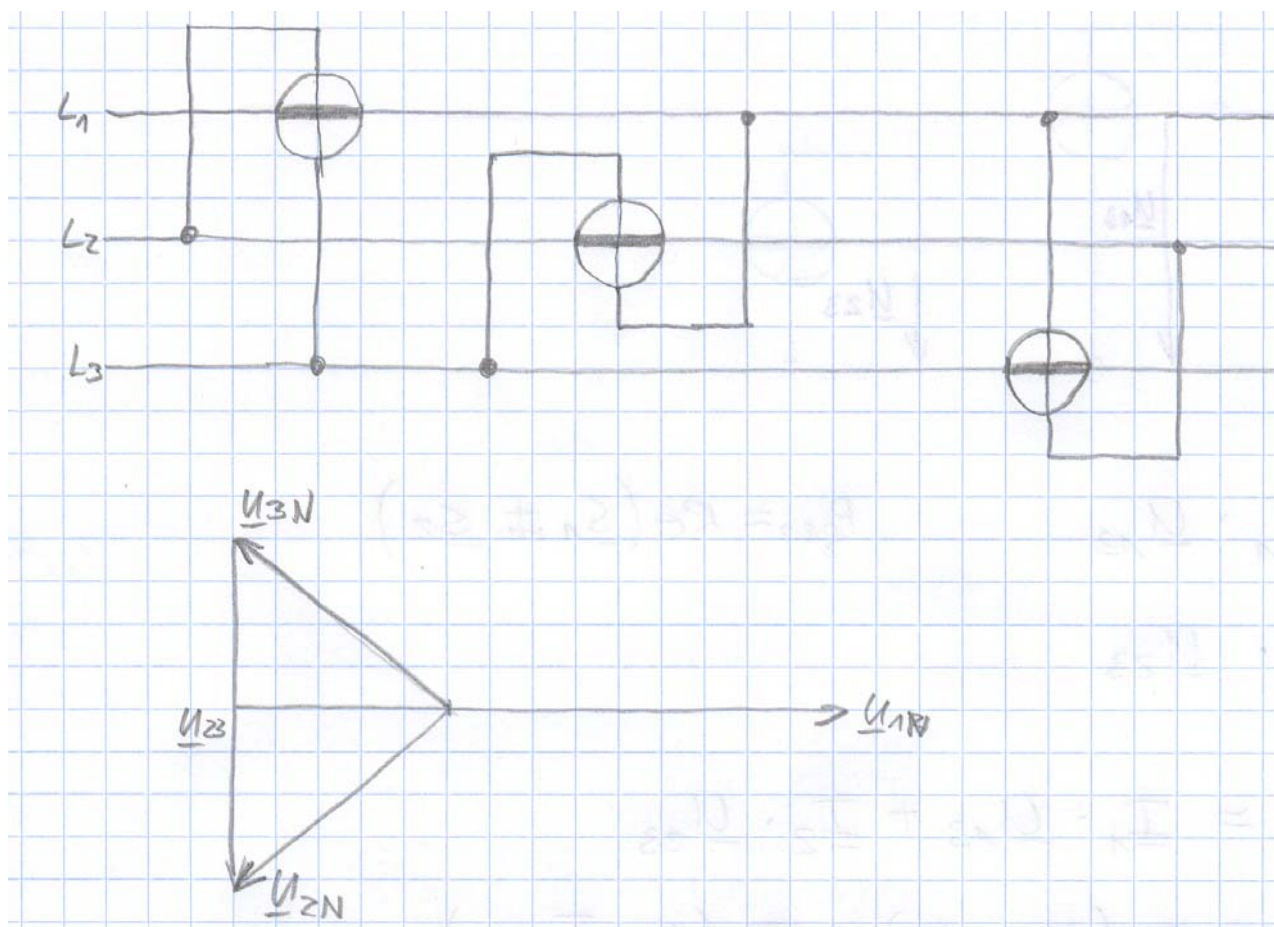
$$\underline{S}_1 = \underline{I}_1 * \underline{U}_{13}$$

$$\underline{S}_2 = \underline{I}_2 * \underline{U}_{23}$$

$$P_{ges} = \text{Re}*(\underline{S}_1 + \underline{S}_2)$$

$$\begin{aligned} \underline{S}_1 + \underline{S}_2 &= \underline{I}_1 * \underline{U}_{13} + \underline{I}_2 * \underline{U}_{23} \\ &= \underline{I}_1 * (\underline{U}_1 - \underline{U}_3) + \underline{I}_2 * (\underline{U}_2 - \underline{U}_3) \\ &= \underline{I}_1 * \underline{U}_1 - \underline{I}_1 * \underline{U}_3 + \underline{I}_2 * \underline{U}_2 - \underline{I}_2 * \underline{U}_3 \\ &= \underline{I}_1 * \underline{U}_1 + \underline{I}_2 * \underline{U}_2 + \underline{U}_3 * (-\underline{I}_1 - \underline{I}_2) \\ \text{Re}*(\underline{S}_1 + \underline{S}_2) &= \text{Re}*(\underline{I}_1 * \underline{U}_1 + \underline{I}_2 * \underline{U}_2 + \underline{I}_3 * \underline{U}_3) \\ \underline{I}_3 + \underline{I}_2 + \underline{I}_1 &= 0 \Rightarrow \underline{I}_3 = -\underline{I}_1 - \underline{I}_2 \end{aligned}$$

$\underline{I}_3 + \underline{I}_2 + \underline{I}_1 = 0 \Rightarrow \underline{I}_3 = -\underline{I}_1 - \underline{I}_2$   
 → Aufgrund der Gültigkeit dieser Bedingung ist es möglich die Leistung mit zwei Wattmetern zu messen.  
 Gilt nur im 3 – Leiternetz!

d. Blindleistungsmessung:

$$Q_{ges} = \frac{Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3}}{\sqrt{3}}$$

da die verkettete Spannung, anstatt der Phasenspannung gemessen wird.