

## 1 Organisatorisches

- ✓ Protokollabgabe: spätestens 2 Wochen nach Versuchsdurchführung per Mail bei Prof. Schmidt

## 2 Versuchstechnik

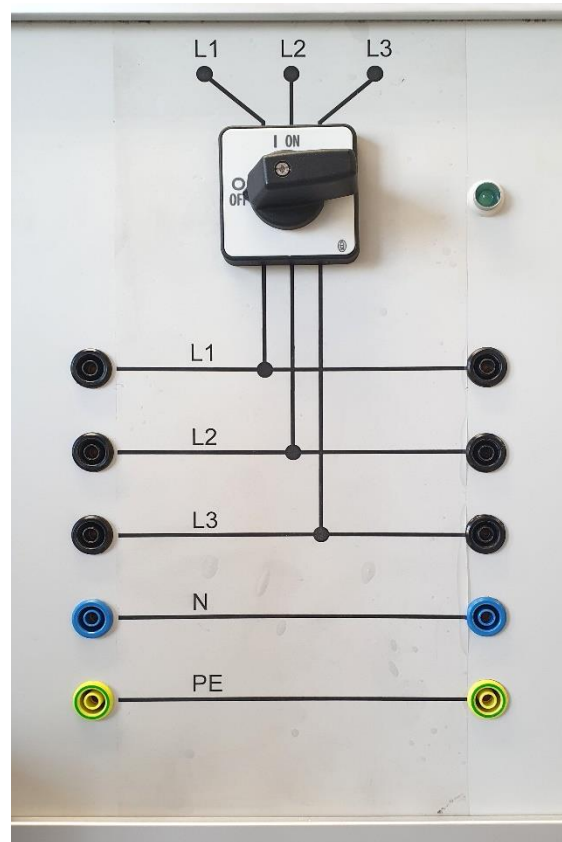
### ✓ Netzanalysator Equa

Für die Bedienung ist die Kenntnis der Einstellalgorithmen notwendig. Diese Algorithmen werden für jede Versuchsaufgabe im Rahmen der Präsentation angegeben.



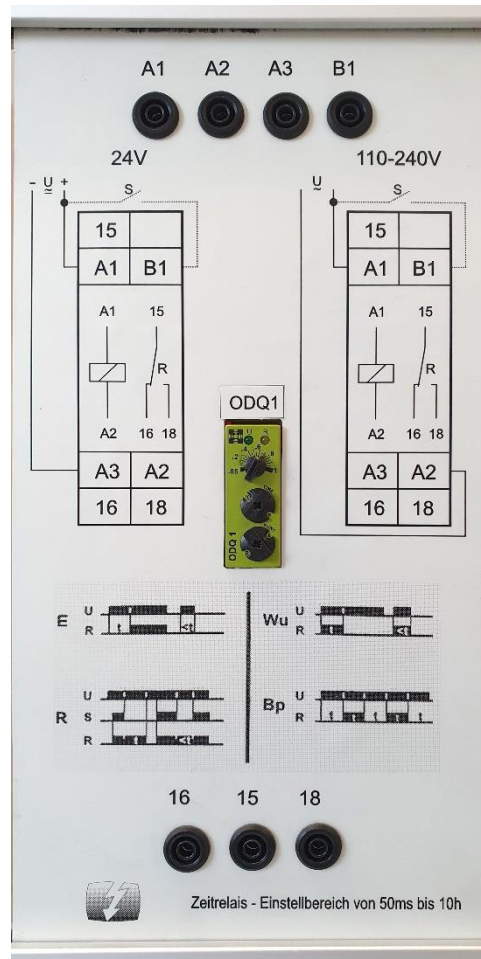
## ✓ Spannungsversorgung

- Für die Spannungsversorgung steht eine zuschaltbare Sammelschienenanordnung zur Verfügung auf der die Außenleiter, der Neutraleiter und der Schutzleiter aufgelegt sind.
- Der Anschluss der Versuchsanordnungen erfolgt berührungssicher mit 4mm-Sicherheitslaborleitungen



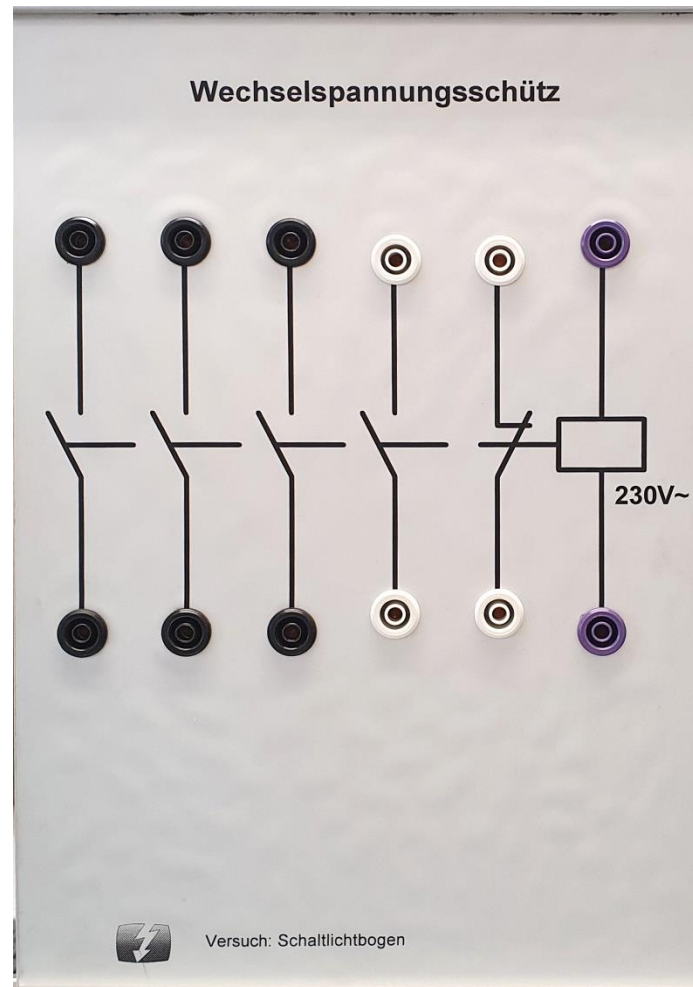
## ✓ Zeitrelais

- Für die Untersuchung von Spannungsschwankungen (Flicker) wird mit dem Zeitrelais die Zu- bzw. Abschaltung der periodisch schwankenden Last gesteuert



## ✓ Zeitrelais

- Die Schaltleistung des Zeitrelais ist zu gering, es kann das Schütz nur ansteuern, so dass der Arbeitsstromkreis entsprechend der Zeitvorgaben geschaltet wird.



## ✓ Strommesszange

- Um die Oberschwingungsbelastung des Stromverlaufs beurteilen zu können, wird der Zeitverlauf mit einer Strommesszange ermittelt.





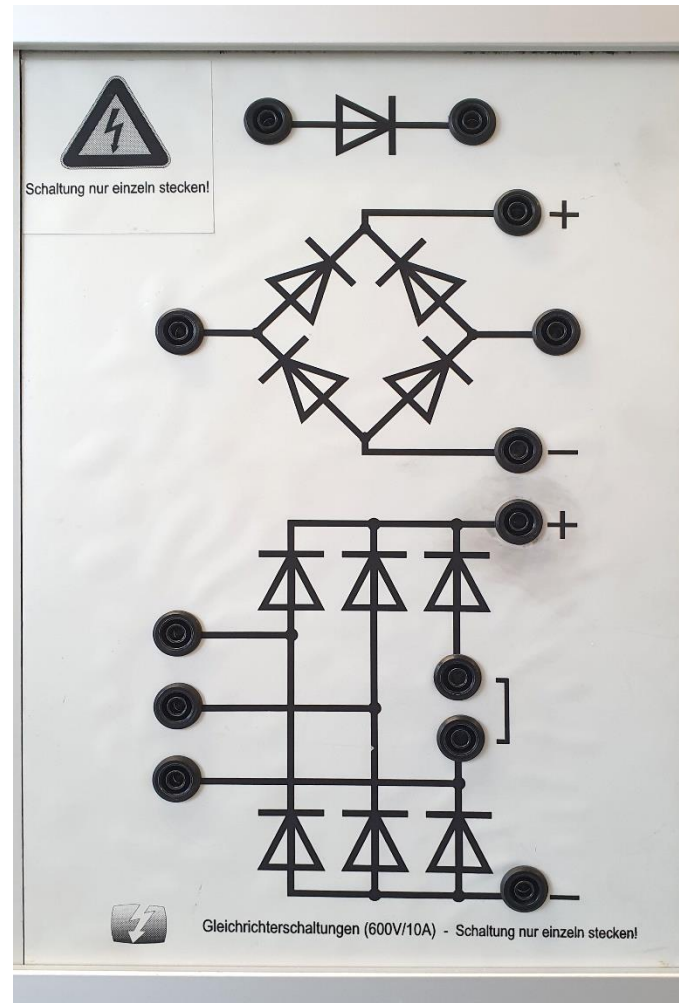
## ✓ Oberschwingungserzeuger

- Die Oberschwingungen im Stromverlauf eines leerlaufenden 10,4 kVA-Drehstrom-Regeltransformators werden analysiert.



## ✓ Oberschwingungserzeuger

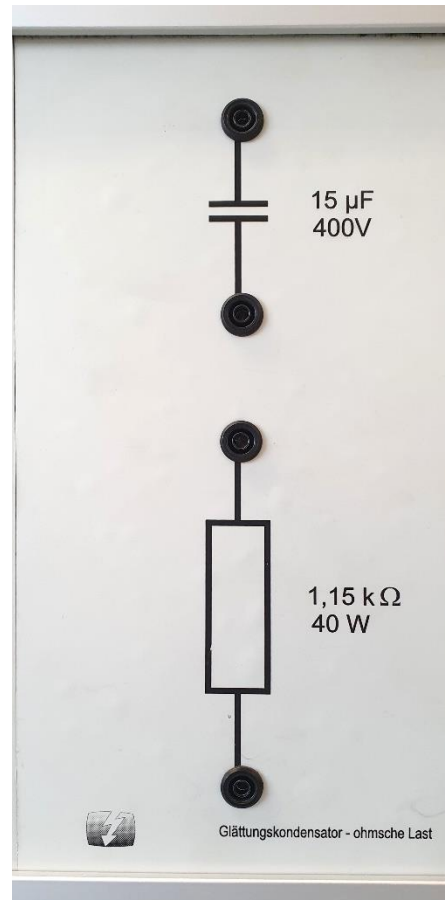
- Die Oberschwingungen im Stromverlauf von Gleichrichterschaltungen mit unterschiedlicher Pulszahl werden analysiert.





## ✓ Glättungskondensator und ohmsche Last

- Die Gleichspannung der Zweipuls-Gleichrichter-Brückenschaltung wird kapazitiv geglättet und eine ohmsch belastet



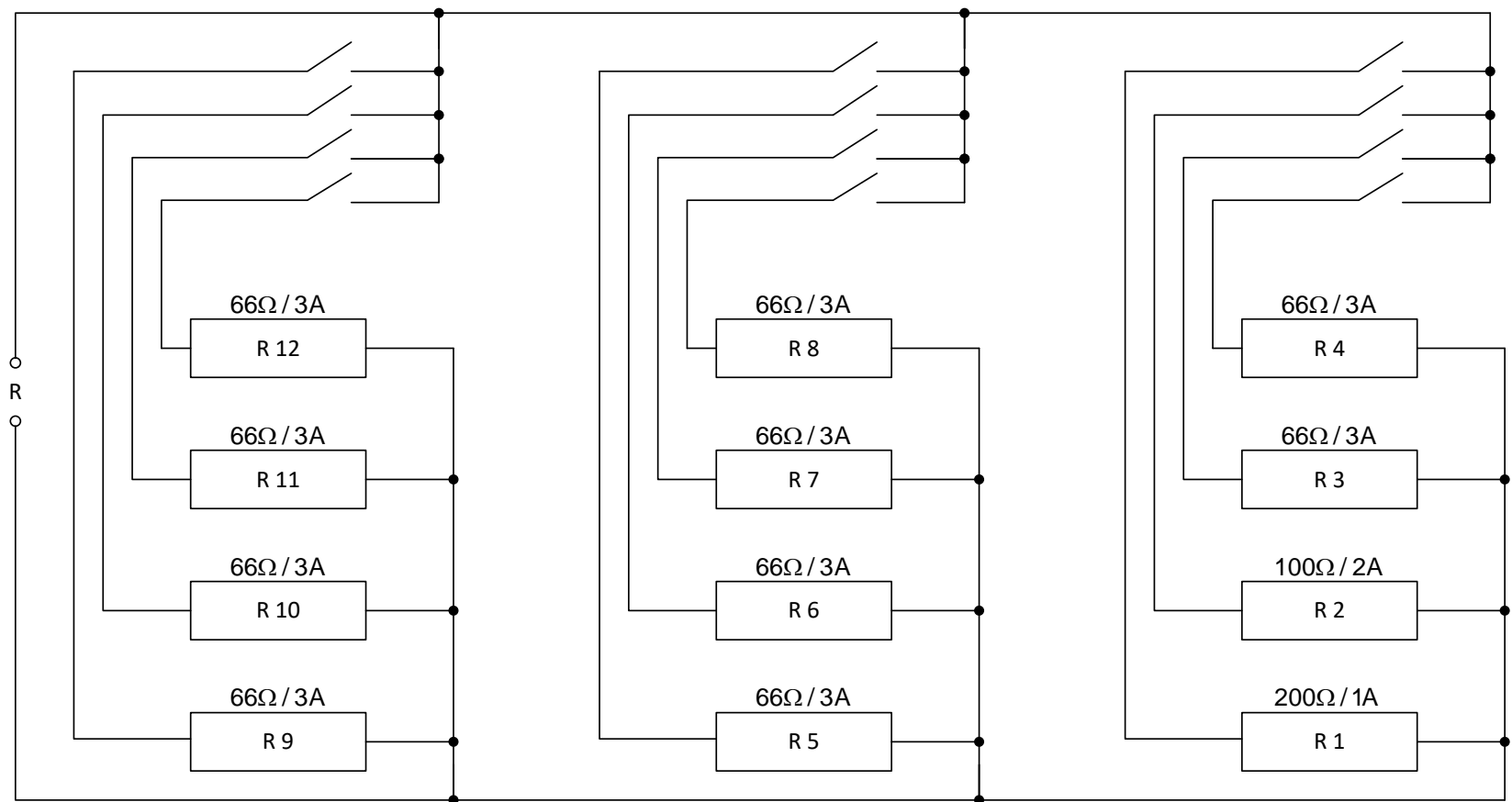
## ✓ Induktivitäten und ohmsche Lastwiderstände

- Die Gleichspannung der Sechspulspuls-Gleichrichter-Brückenschaltung wird induktiv geglättet und ohmsch belastet.
- Dazu müssen die zentral untergebrachten Impedanzen Eingestellt und auf den Versuchsplatz aufgeschaltet werden



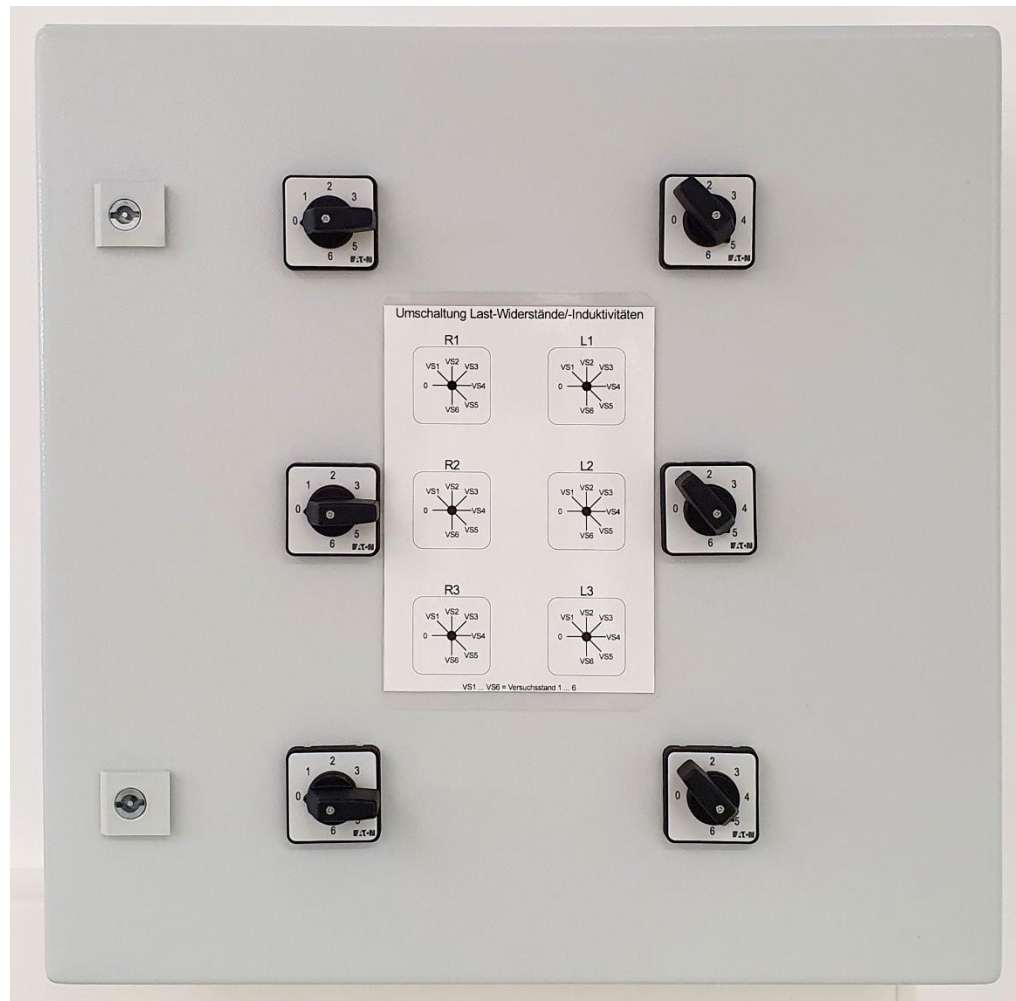
## ✓ Einstellung der ohmschen Lastwiderstände

- Durch zu- bzw. abschalten von Einzelwiderständen lassen sich unterschiedliche Werte einstellen. Jedem Widerstand  $r_1 \dots R_{10}$  ist ein Schalter zugeordnet, der mit der Nummer des Widerstandes beschriftet ist.

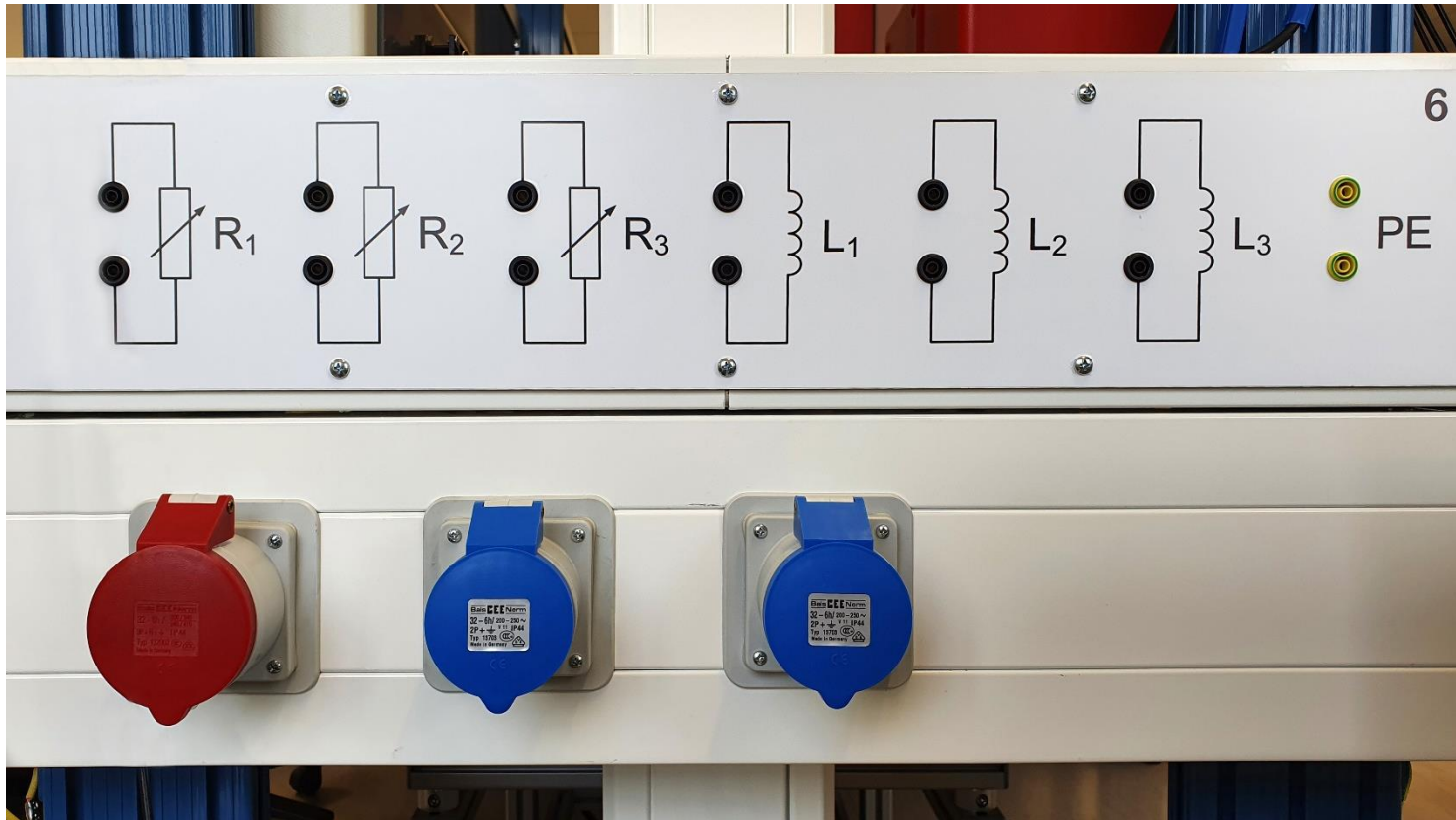


## ✓ **Aufschaltung der Induktivitäten und Lastwiderstände**

- Mit Wahlschaltern können die Impedanzen auf den gewünschten Versuchsplatz aufgeschaltet werden

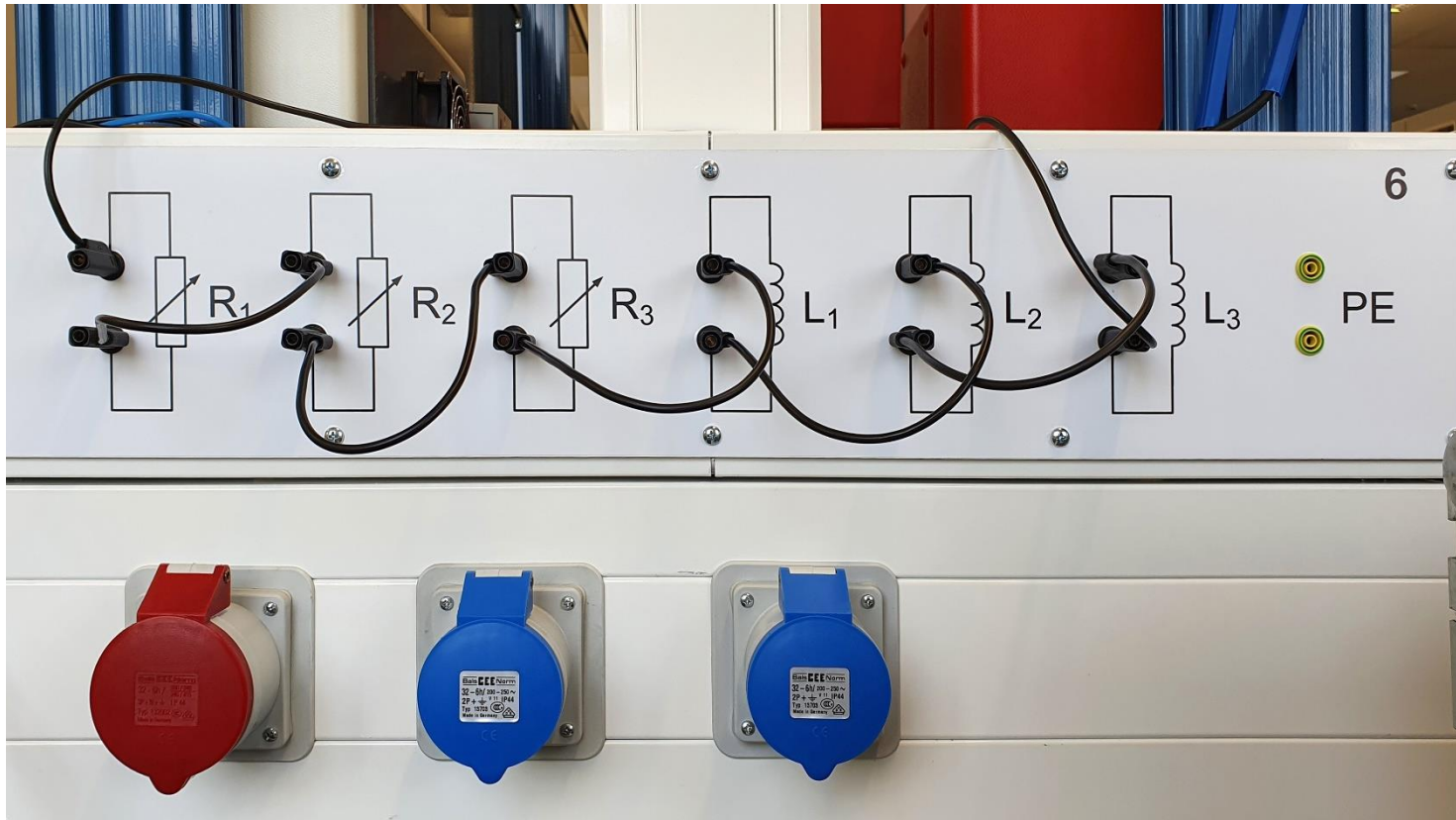


- ✓ **Steckfeld für die Induktivitäten und Lastwiderstände am Versuchstisch (seitlich links)**
- Die mit den Wahlschaltern zum Versuchstisch freigeschalteten Impedanzen können am Versuchstisch vom Steckfeld abgegriffen werden





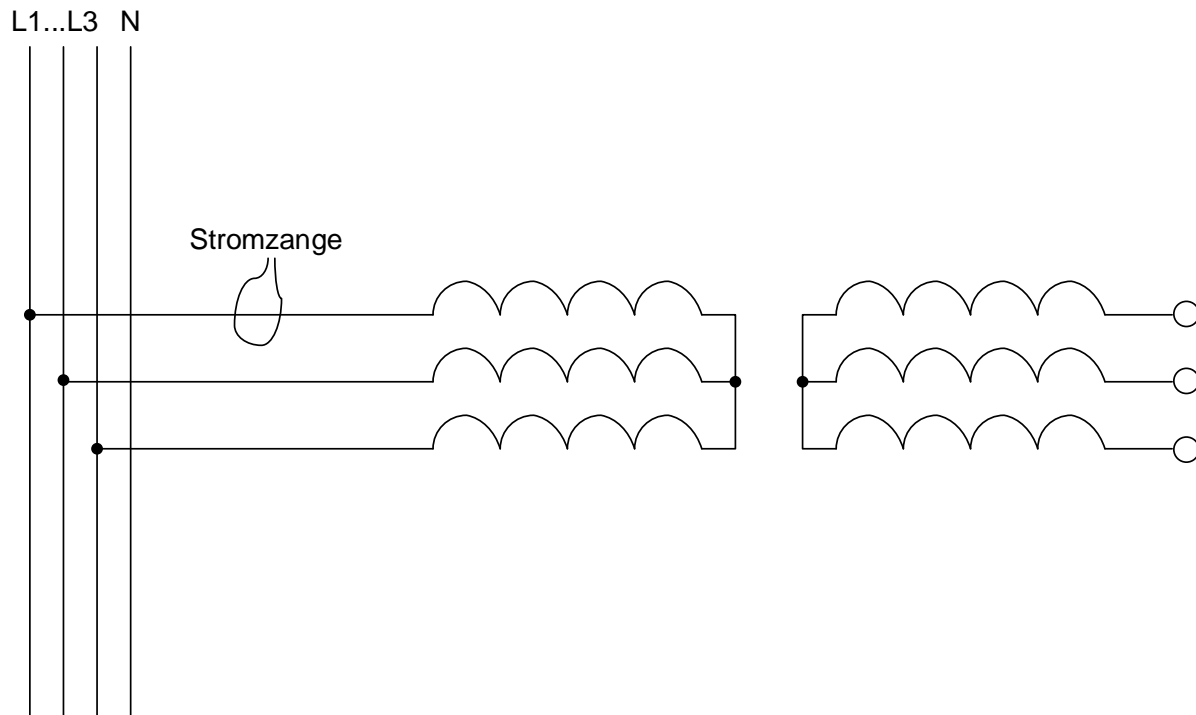
- ✓ **Steckfeld für die Induktivitäten und Lastwiderstände am Versuchsplatz (seitlich links)**
- Anwendungsbeispiel: die zentralen Lastwiderstände und Induktivitäten sind in Reihe geschaltet und werden mit der Versuchsschaltung verbunden



## 4. Versuchsaufgaben

### 4.1 Oberschwingungen

#### 4.1.1 Oberschwingungserzeuger, leerlaufender Transformator

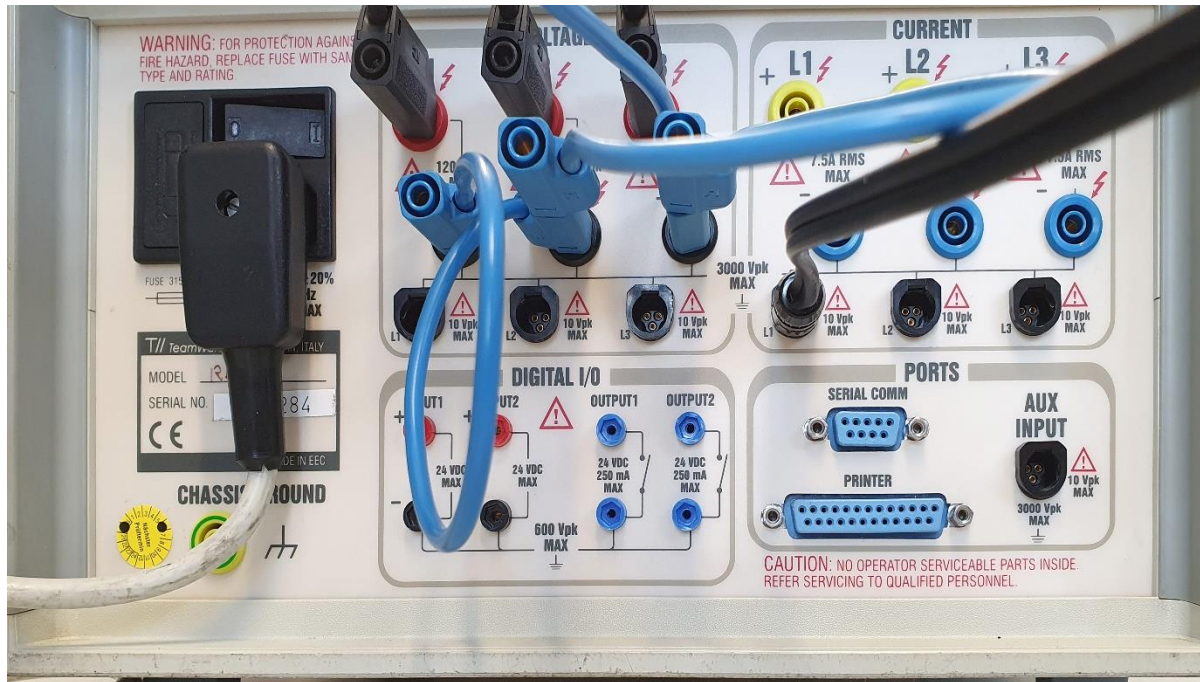


**Versuchsschaltung**

## 4. Versuchsaufgaben

### 4.1 Oberschwingungen

#### 4.1.1 Oberschwingungserzeuger, leerlaufender Transformator

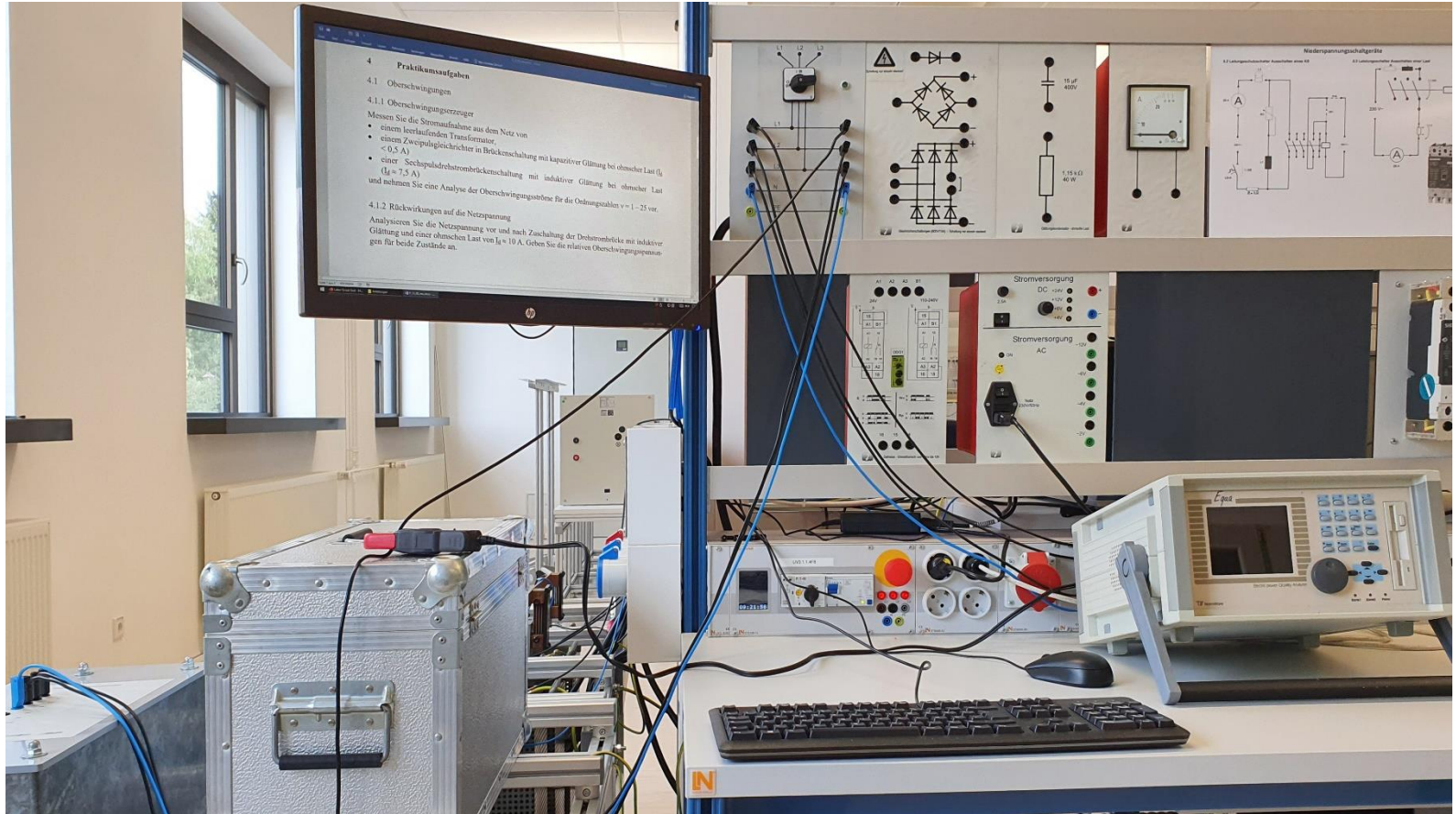


**Belegung der rückseitigen Anschlussfelder (Netzanalysator Equi):**

**VOLTAGE:** Leiter L1, L2, L3, N und PE,

**CURRENT:** Strommesszange L1 (muss nur einmalig vor Beginn der Messungen verdratet werden)

## ✓ Der komplett ausgestattete Versuchsplatz



Versuchsplatz zur Oberschwingungsbelastung des Stromes im Leiter L1 gemäß Aufgabe 4.1 – leerlaufender Transformator



## ✓ Bedienung Netzanalysator Equa

Die Menüauswahl erfolgt mit dem Stellrad, die Auswahl wird mit Enter bestätigt und mit Esc rückgängig gemacht

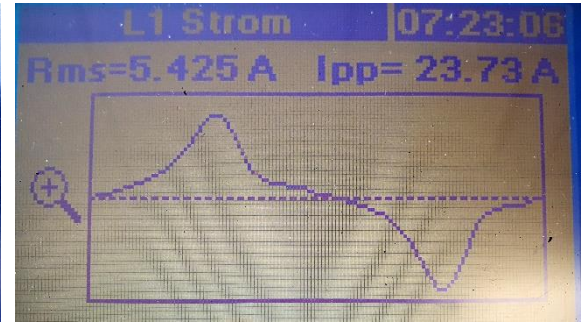
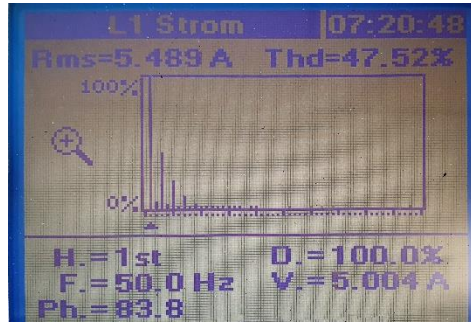


## ✓ Bedienschritte

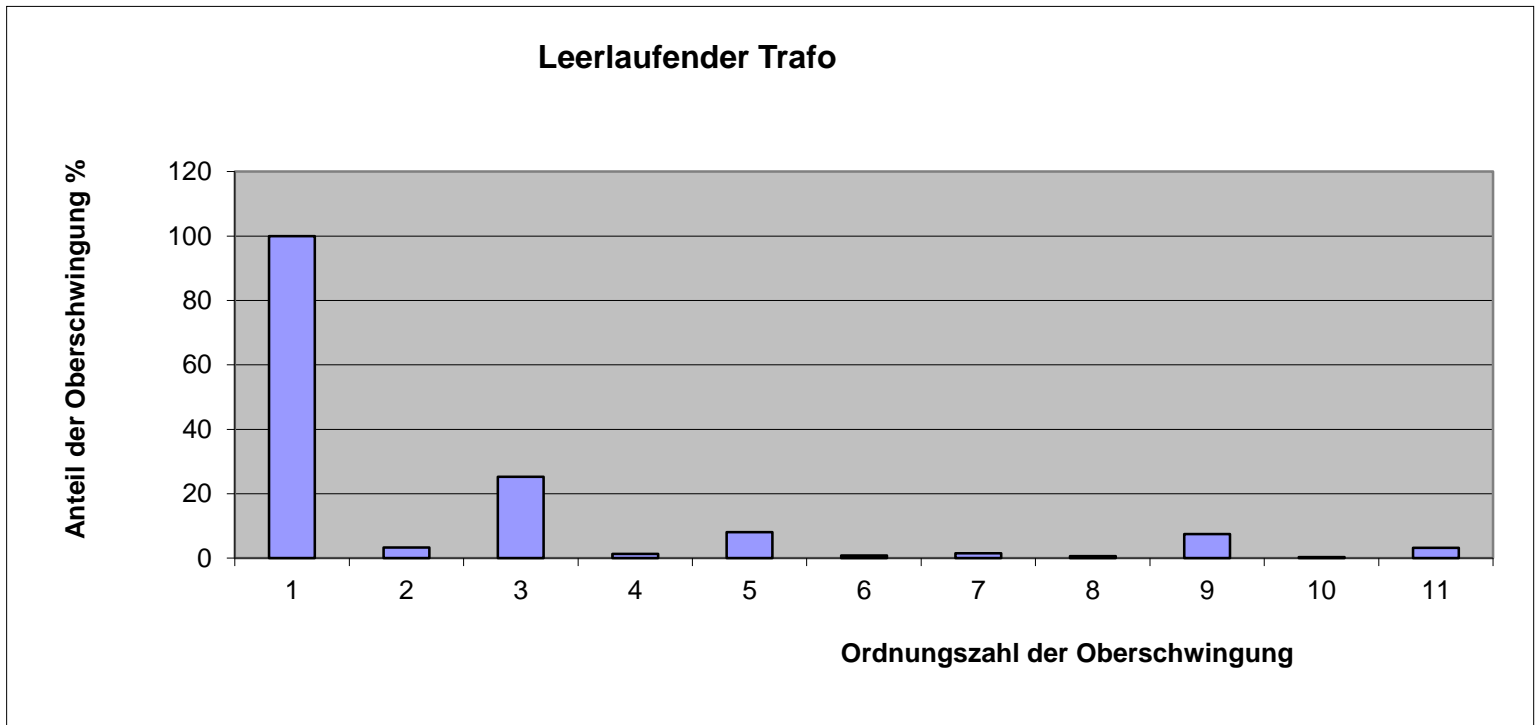
- **Einstellung Stromwandlerverhältnis der Stromzange MN 39:** Hauptmenü → System Setup → Stromwandlerverhältnis „Verhältnis = 10,01 → Enter (muss nur einmalig am Anfang der Messungen überprüft bzw. eingestellt werden)
- **Messung Stromüberschwingungen:** Hauptmenü → Power-Meter → Oberwellen → L1 Strom → Messung → Enter
- **Kurvenform anzeigen:** Esc → Kurvenform → Enter
- **Rückkehr zur Messung der Stromüberschwingungen:** Esc → Spektrum → L1-Strom → Messung → Enter



## ✓ Messergebnisse



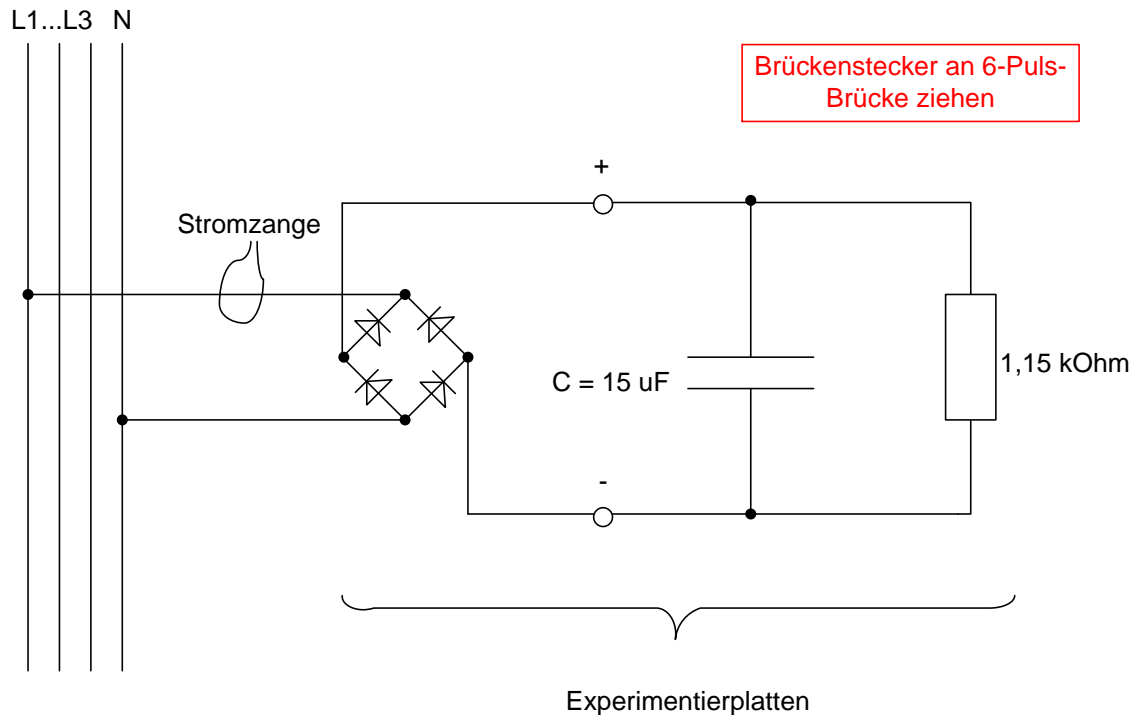
Die höheren Harmonischen werden bis zur 25. Oberschwingung händisch erfasst. Von der Kurvenform des Stromverlaufes wird ein Screenshot gefertigt.



## 4. Versuchsaufgaben

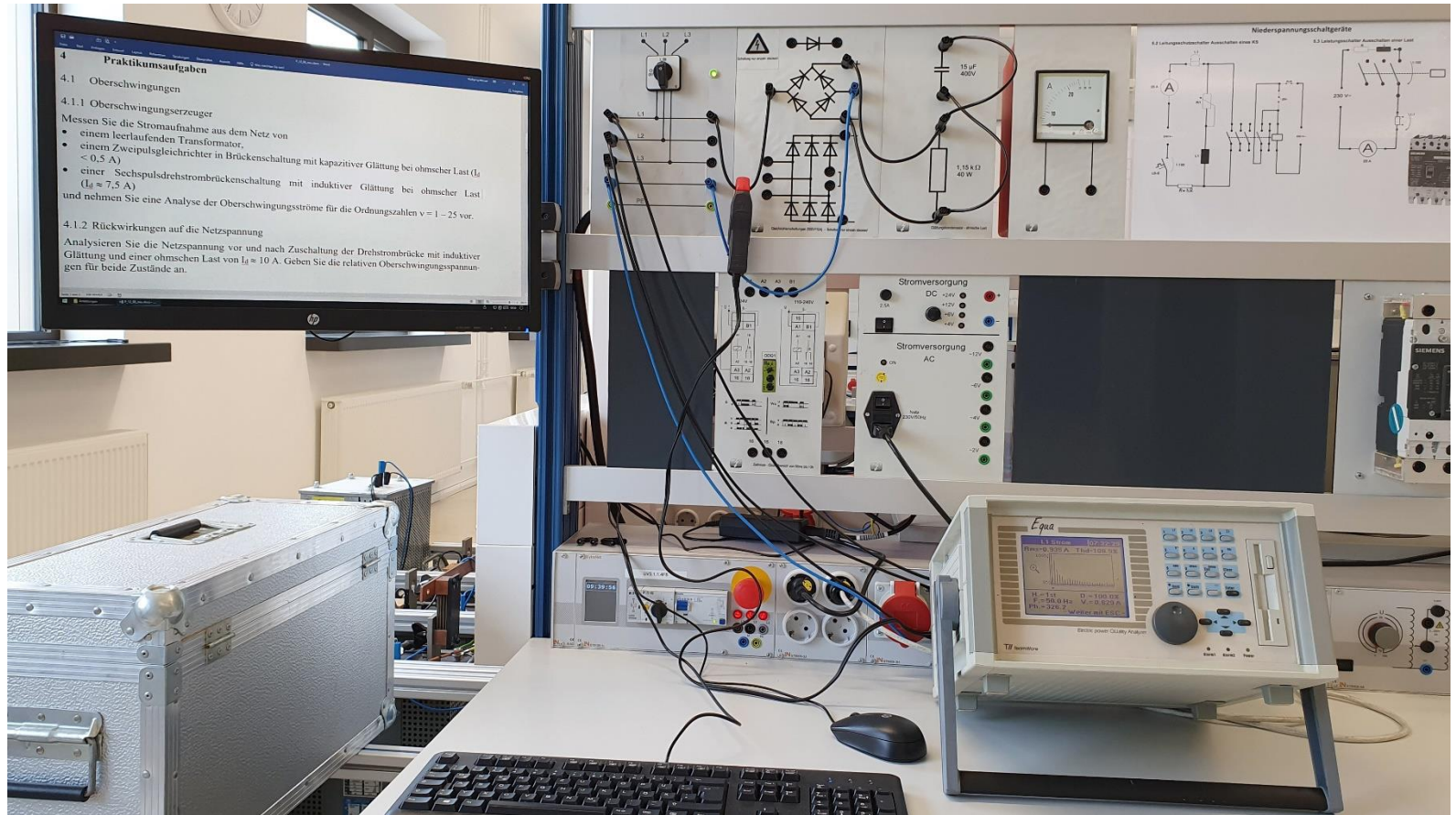
### 4.1 Oberschwingungen

#### 4.1.1 Oberschwingungserzeuger, Zweipulsgleichrichter in Brückenschaltung mit kapazitiver Glättung bei ohmscher Last



## Versuchsschaltung

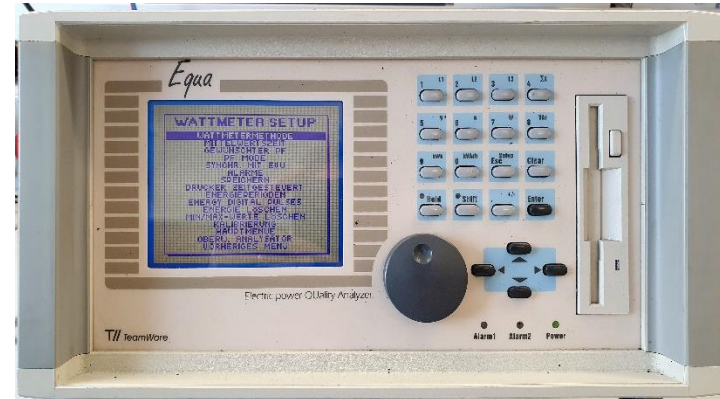
## ✓ Der komplett ausgestattete Versuchsplatz



Versuchsplatz zur Oberschwingungsbelastung des Stromes im Leiter L1 gemäß Aufgabe 4.1 – Zweipulsleichrichter in Brückenschaltung mit kapazitiver Glättung bei ohmscher Last

## ✓ Bedienung Netzanalysator Equa

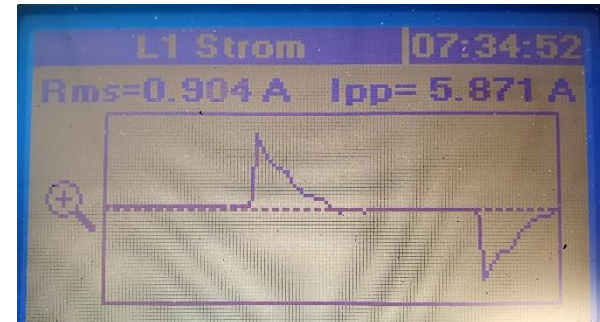
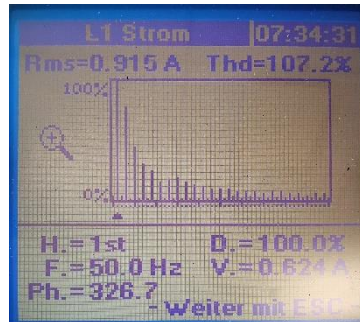
Die Menüauswahl erfolgt mit dem Stellrad, die Auswahl wird mit Enter bestätigt und mit Esc rückgängig gemacht



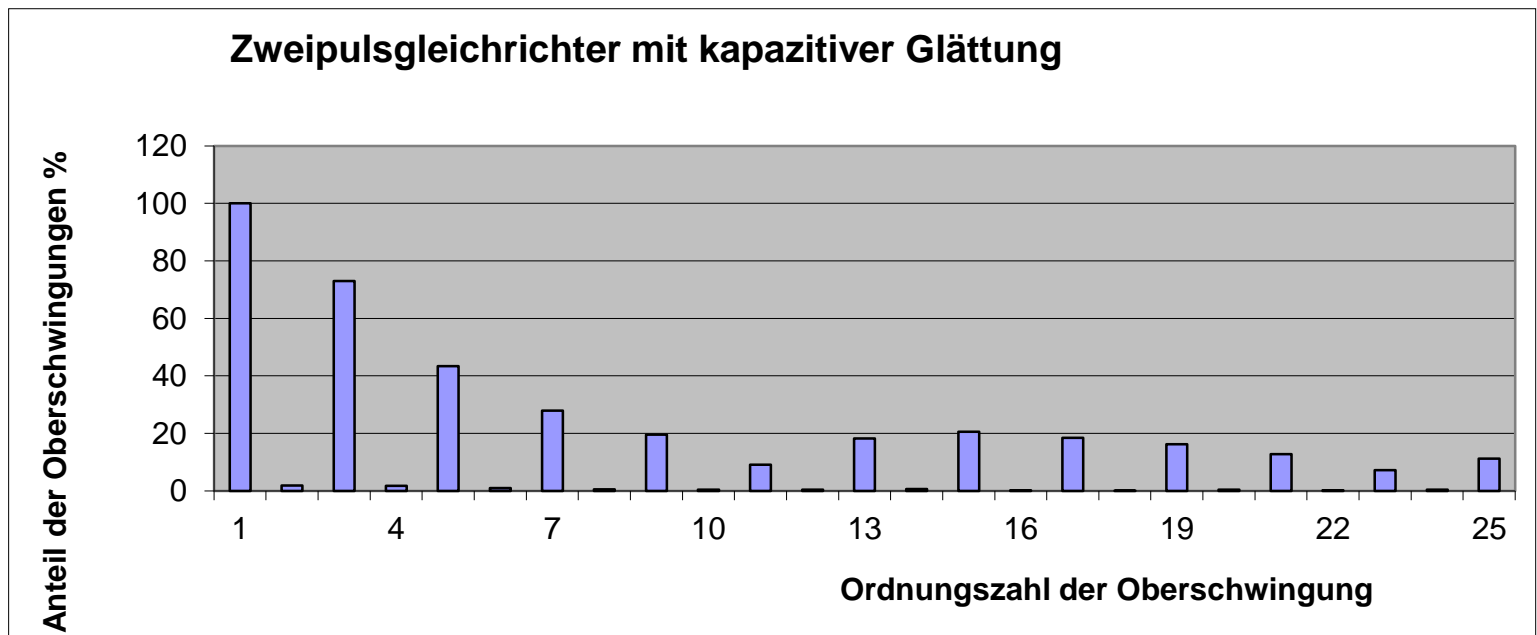
## ✓ Bedienschritte

- **Messung Stromüberschwingungen:** Hauptmenü→Power-Meter→Oberwellen→L1 Strom→Messung→Enter
- **Kurvenform anzeigen:** Esc→Kurvenform→Enter
- **Rückkehr zur Messung der Stromüberschwingungen:** Esc→Spektrum→L1-Strom→Messung→Enter

## ✓ Messergebnisse



Die höheren Harmonischen werden bis zur 25. Oberschwingung händisch erfasst. Von der Kurvenform des Stromverlaufes wird ein Screenshot gefertigt.

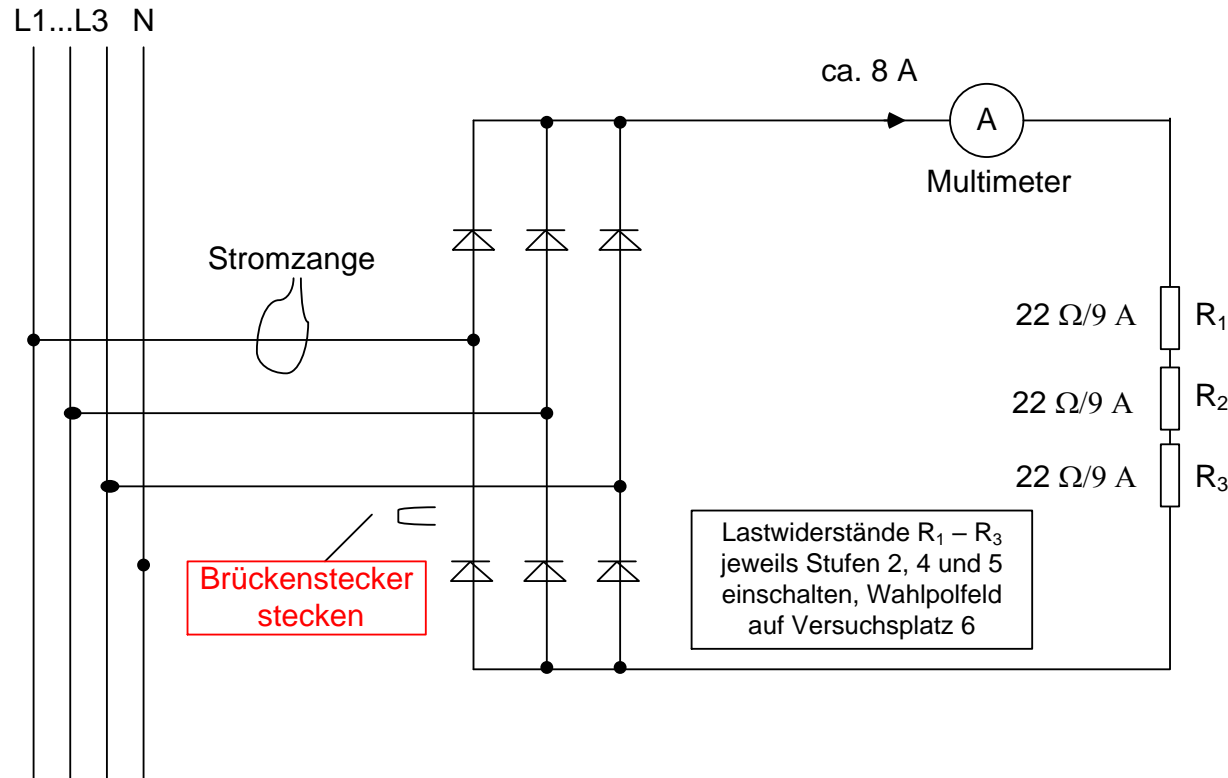




## 4. Versuchsaufgaben

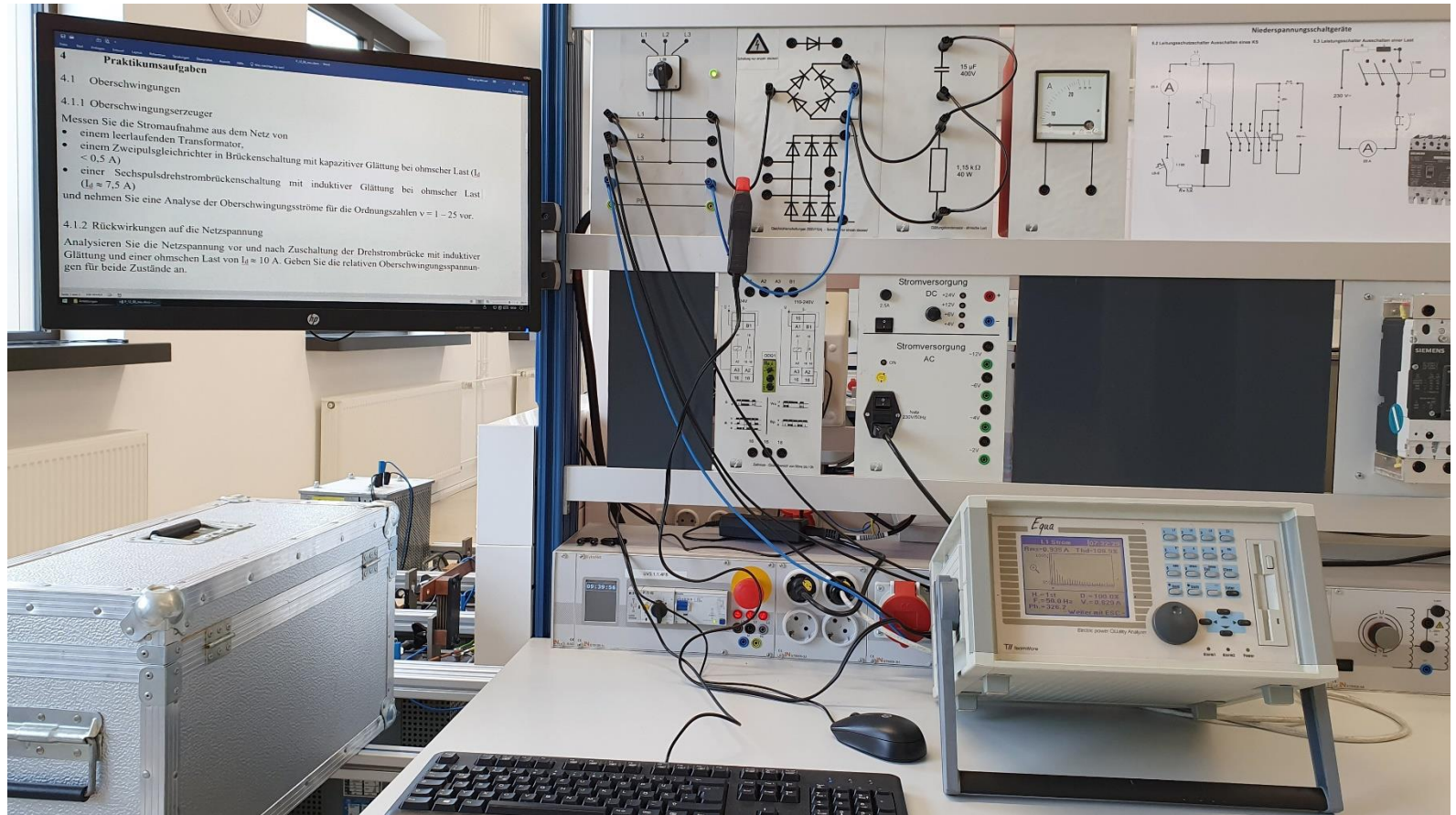
### 4.1 Oberschwingungen

#### 4.1.1 Oberschwingungserzeuger, Sechspulsdrehstrombrückenschaltung mit induktiver Glättung bei ohmscher Last



**Versuchsschaltung**

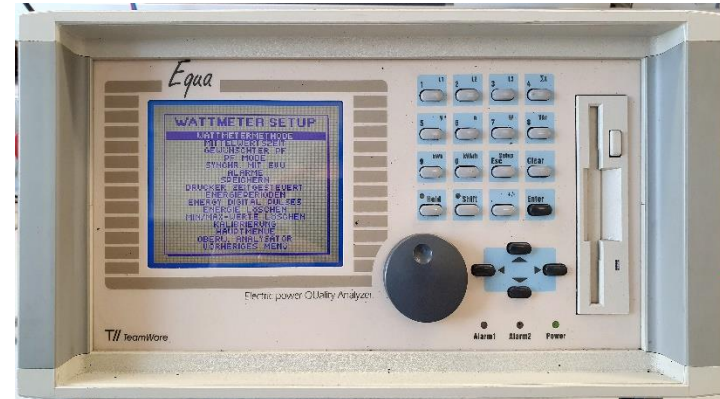
## ✓ Der komplett ausgestattete Versuchsplatz



Versuchsplatz zur Oberschwingungsbelastung des Stromes im Leiter L1 gemäß Aufgabe 4.1 – Zweipulsleichrichter in Brückenschaltung mit kapazitiver Glättung bei ohmscher Last

## ✓ Bedienung Netzanalysator Equa

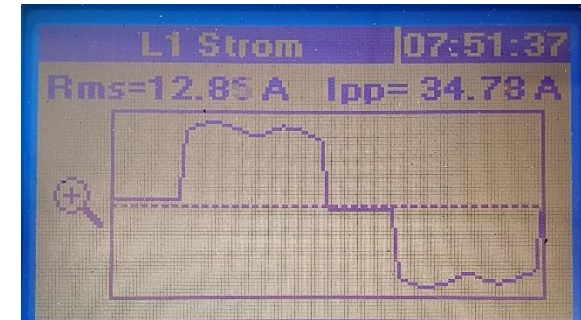
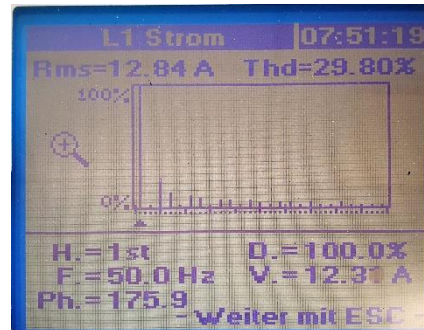
Die Menüauswahl erfolgt mit dem Stellrad, die Auswahl wird mit Enter bestätigt und mit Esc rückgängig gemacht



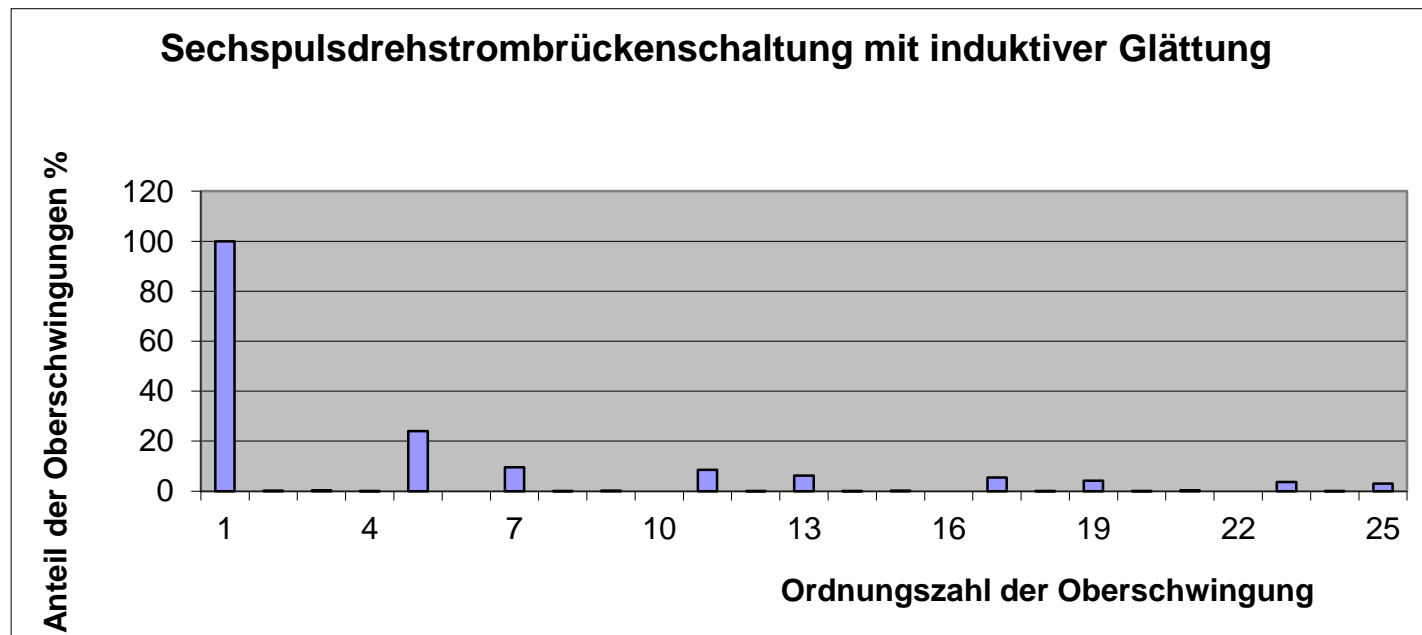
### ✓ Bedienschritte

- **Messung Stromüberschwingungen:** Hauptmenü→Power-Meter→Oberwellen→L1 Strom→Messung→Enter
- **Kurvenform anzeigen:** Esc→Kurvenform→Enter
- **Rückkehr zur Messung der Stromüberschwingungen:** Esc→Spektrum→L1-Strom→Messung→Enter

## ✓ Messergebnisse



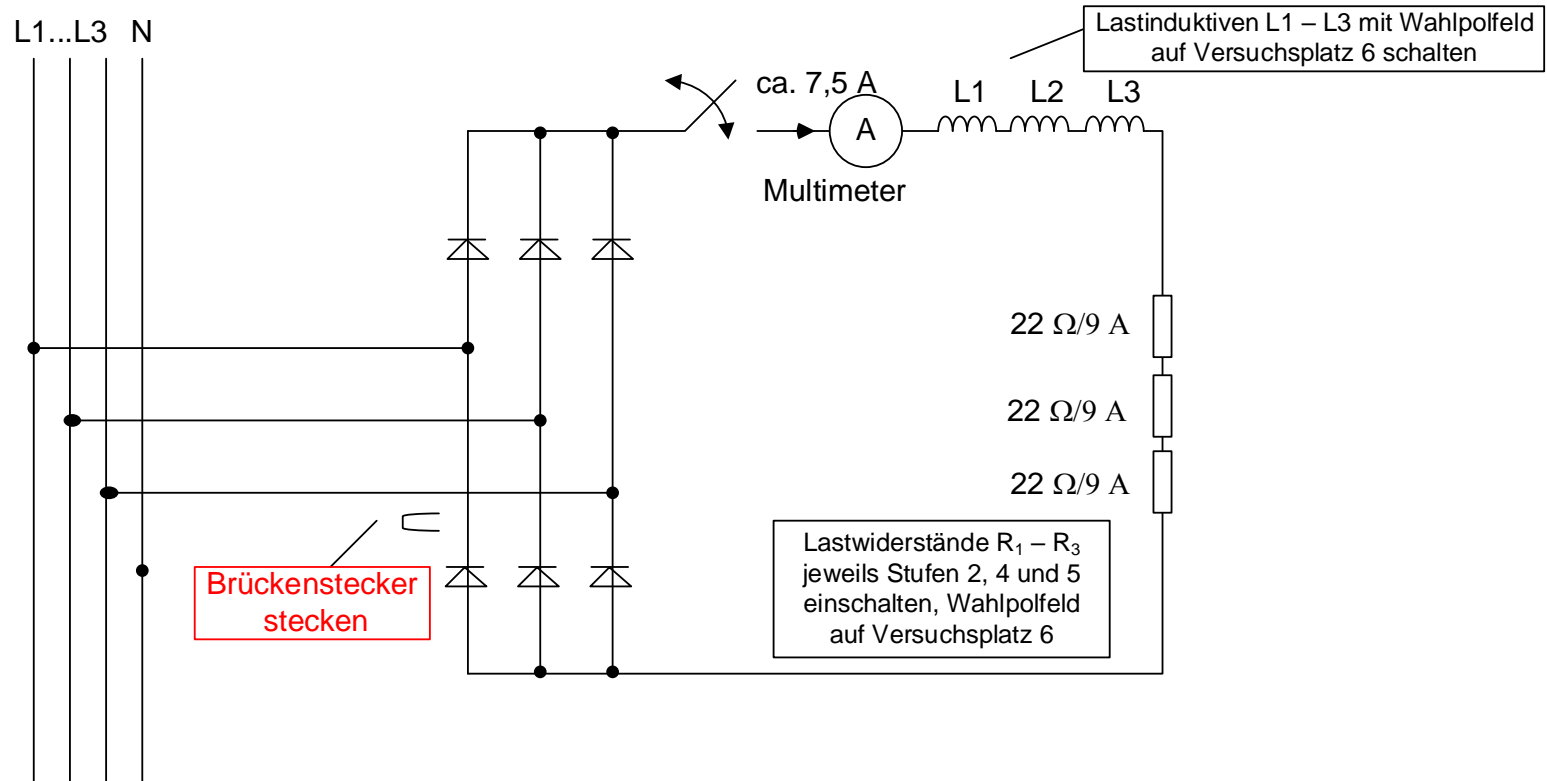
Die höheren Harmonischen werden bis zur 25. Oberschwingung händisch erfasst. Von der Kurvenform des Stromverlaufes wird ein Screenshot gefertigt.



## 4. Versuchsaufgaben

### 4.1 Oberschwingungen

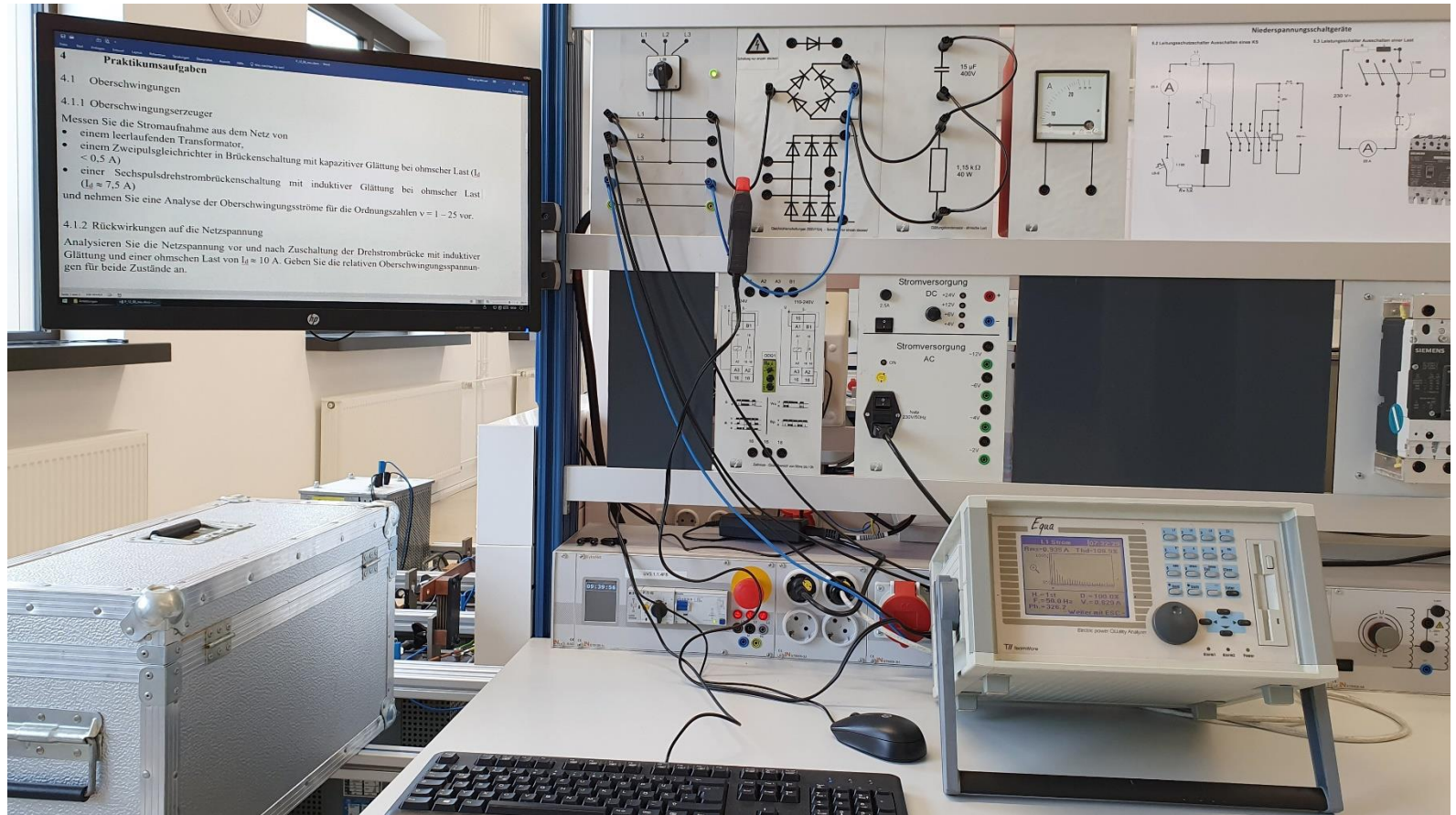
#### 4.1.2 Rückwirkungen auf die Netzspannung



**Versuchsschaltung**



## ✓ Der komplett ausgestattete Versuchsplatz



Versuchsplatz zur Oberschwingungsbelastung des Stromes im Leiter L1 gemäß Aufgabe 4.1.2 – Rückwirkungen auf die Netzspannung

## ✓ Bedienung Netzanalysator Equa

Die Menüauswahl erfolgt mit dem Stellrad, die Auswahl wird mit Enter bestätigt und mit Esc rückgängig gemacht



## ✓ Bedienschritte

- **Messung Oberschwingungen Spannung  $U_{L1N}$ :**  
Hauptmenü→Power-Meter-Menü→Oberwellen→L1-Neutral-Spannung  
→Messung→Enter

## ✓ Messergebnisse

Die höheren Harmonischen (5., 7. und 11. sowie 13. werden händisch – jeweils für die beiden Schaltzustände „mit Last“ und „ohne Last“ erfasst. Aus dem Vergleich ist die Beantwortung der Frage möglich, ob durch die ins vorgelagerte Netz eingetragene Oberschwingungsbelastung relevant ist.

Ordnungszahl der höheren Harmonischen	Anteil der Oberschwingungen in % – vor Zuschalten der Last	Anteil der Oberschwingungen in % - nach Zuschalten der Last
5.	0,8 ... 1,8	0,6 ... 1,7
7.	0,5 ... 2,4	0,7 .... 2,7
11.	0,2 ... 0,3	0,3 ... 0,4
13.	0,4 ... 0,5	0,3 ... 0,5

Die angegebenen Werte geben die zu unterschiedlichen Zeiten gemessenen minimalen bzw. maximalen Werte an. Die Rückwirkungen auf die Netzspannung durch die überschwingungsbehaftete Last sind nicht relevant, da offenbar andere Lasten ebenfalls Rückwirkungen in vergleichbarer Größenordnung verursachen.

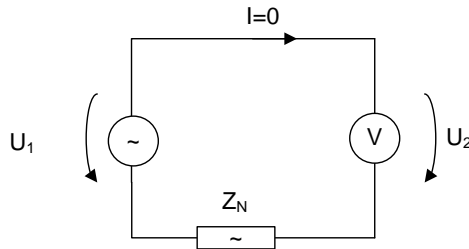
## 4. Versuchsaufgaben

### 4.2 Spannungsschwankungen (Flicker)

#### 4.2.1 Netzimpedanz

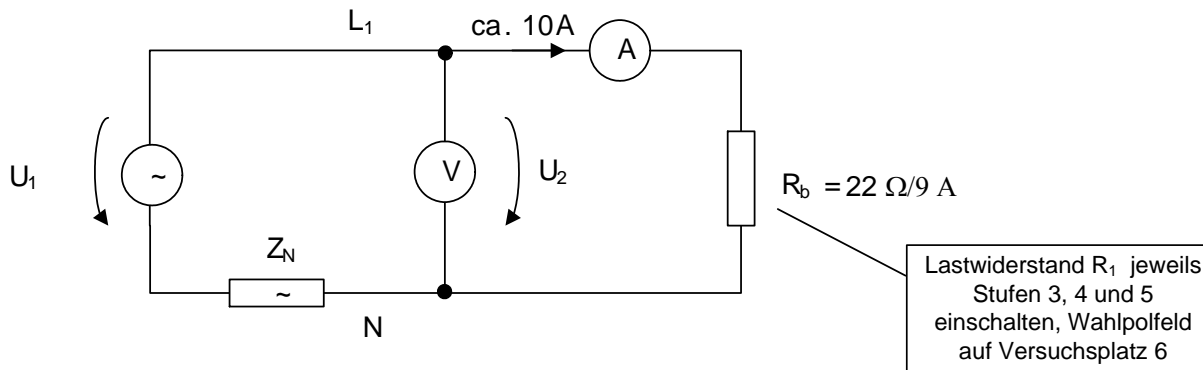
Abschätzung durch Messung der Netzimpedanz (Leerlauf- und Belastungsversuch)

a) Leerlaufversuch



Wegen  $I=0 \rightarrow U_1 = U_q$

b) Belastungsversuch



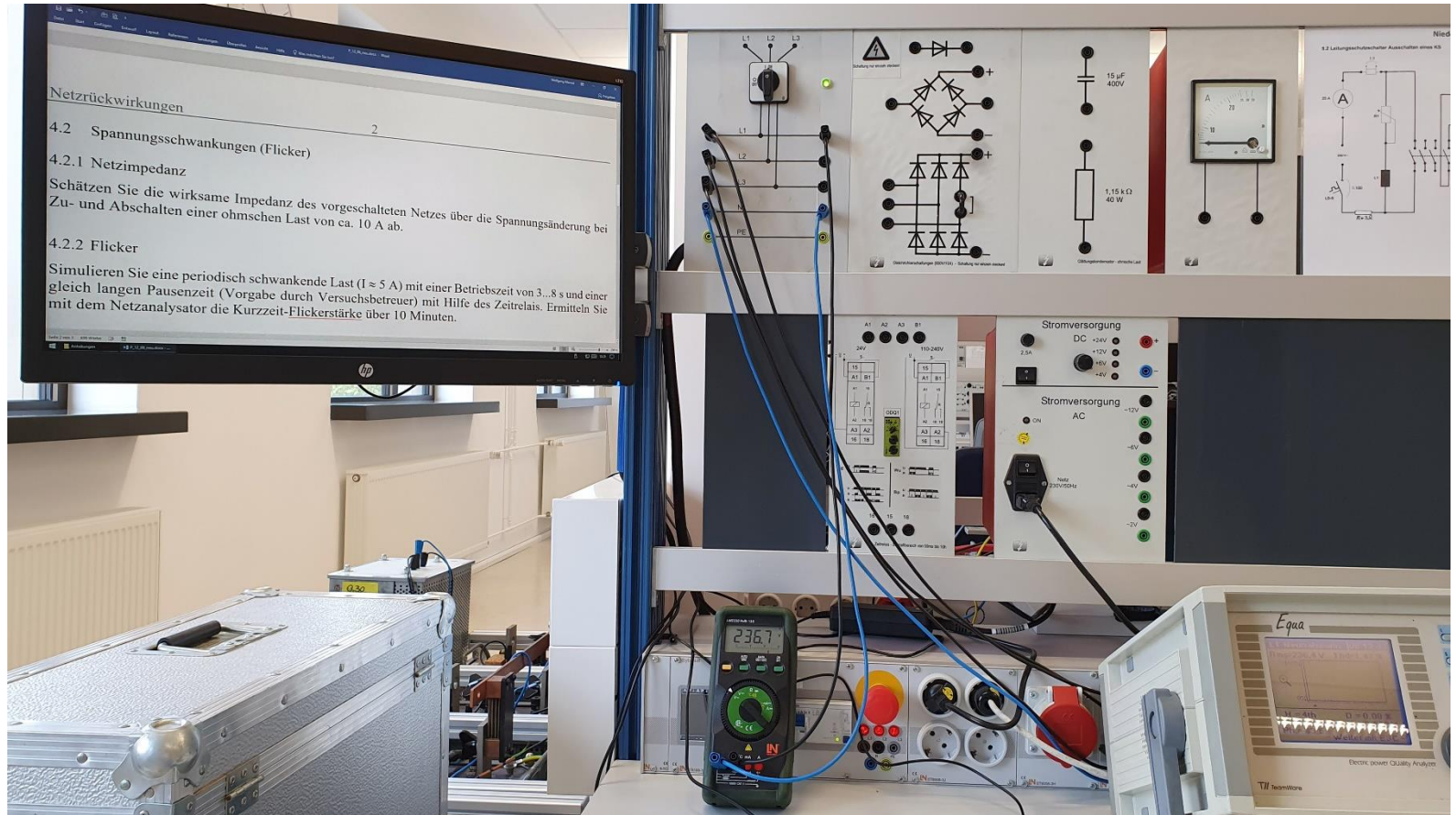
Näherung für  $Z_N$ :

$$Z_N \approx \frac{U_1 - U_2}{I}$$

Niederspannungsnetz: R/X-Verhältnis etwa 10:1, Näherung also zulässig).

**Versuchsschaltung**

## ✓ Der komplett ausgestattete Versuchsplatz



Versuchsplatz zur Abschätzung der Netzimpedanz durch Messung



## ✓ Messergebnisse

Dieses in Niederspannungsnetzen breit angewendete Verfahren ist in der Normenreihe DIN-VDE 0100 enthalten.

Die zu Grunde liegenden Annahmen bei den Versuchen stimmen nicht, da in der elektrischen Anlage üblicherweise mehrere Stromkreise parallel in Betrieb sind, was Rückwirkungen auf das Messergebnis hat. Der Messfehler bei  $\pm 30\%$  - was der Anwendung keinen Abbruch tut, da die Alternativen (z.B. Netzberechnung auf Grund der fehlenden Datenlage aufwändiger aber letztlich auch nicht genauer sind)

Zu unterschiedlichen Zeitpunkten werden deshalb unterschiedliche Messergebnisse ermittelt:

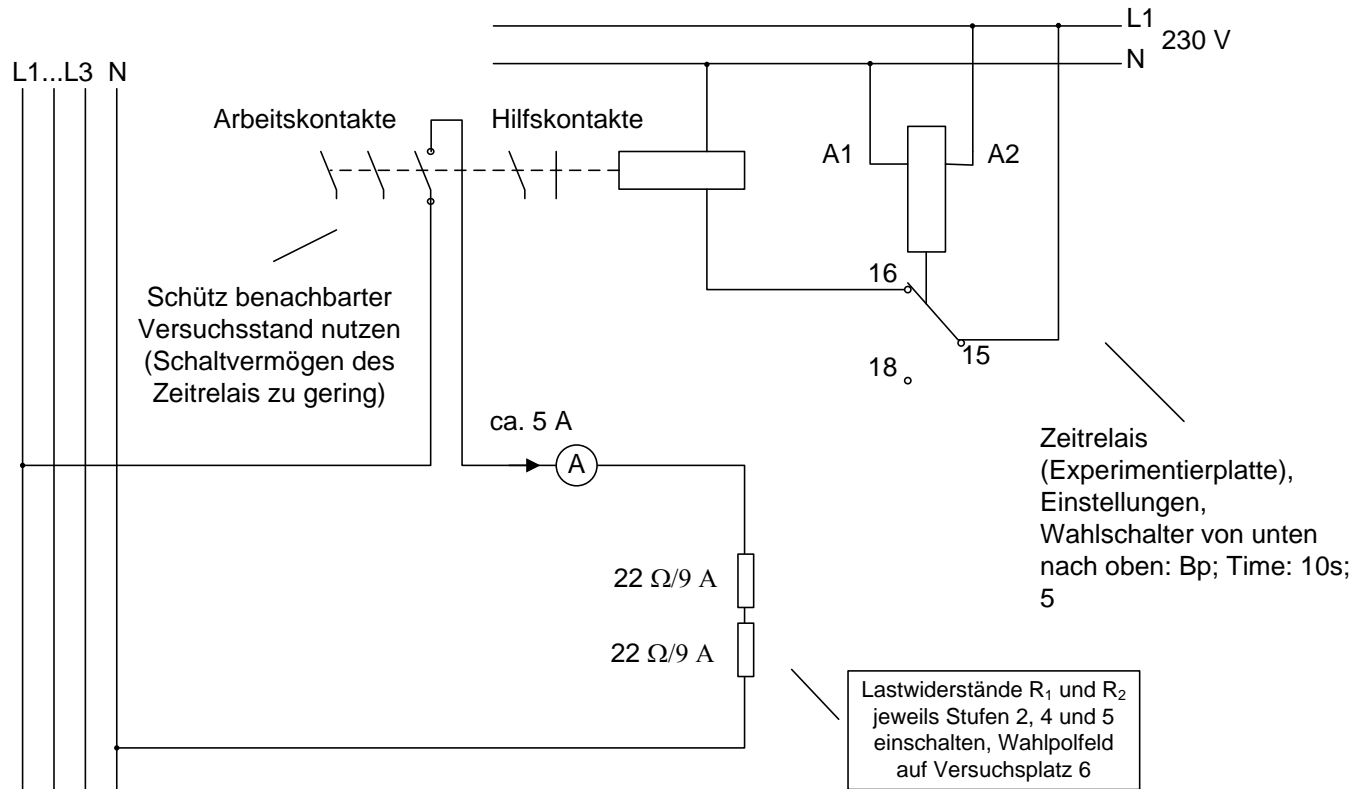
Schwankungsbreite für den Laborsaal 0.30:  $(0,32 \dots 0,60) \Omega$

Schlussfolgerung: Messfehler von 30 % bei der Geräteauswahl berücksichtigen (z.B. Überstromschutzeinrichtung)

# 4. Versuchsaufgaben

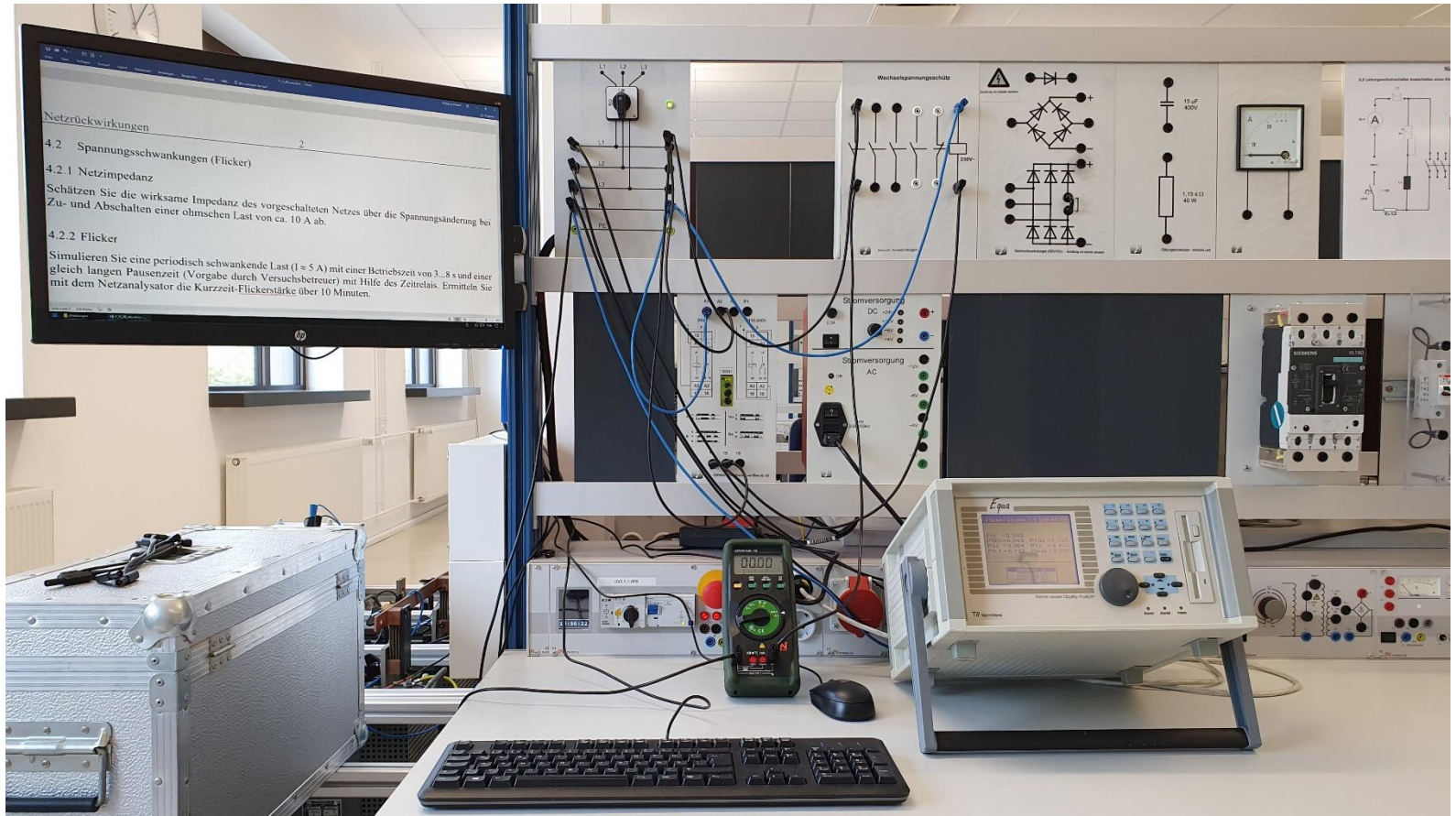
## 4.2 Spannungsschwankungen

### 4.2.2 Flicker



**Versuchsschaltung**

✓ Der komplett ausgestattete Versuchsplatz



Versuchsplatz zur Flicker-Messung gemäß Aufgabe 4.2.2

## ✓ Bedienung Netzanalysator Equa

Die Menüauswahl erfolgt mit dem Stellrad, die Auswahl wird mit Enter bestätigt und mit Esc rückgängig gemacht

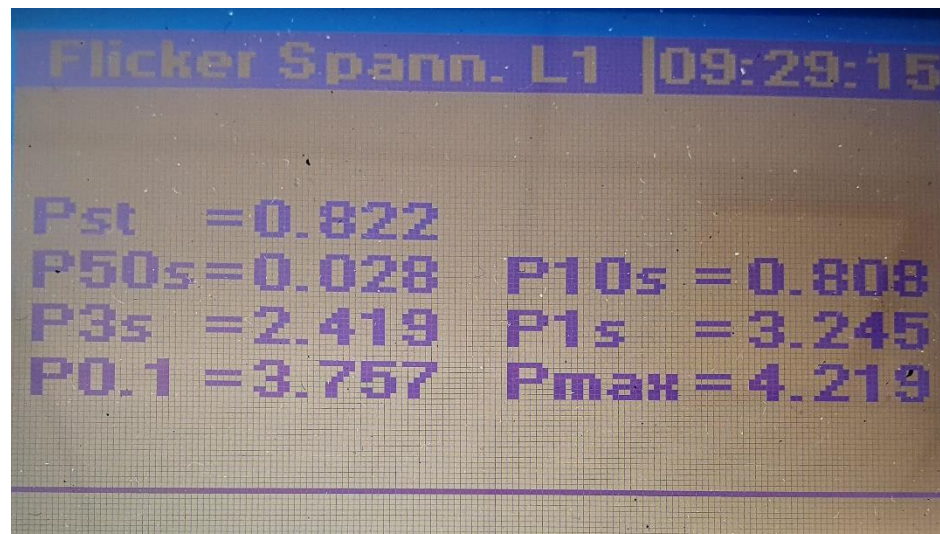


## ✓ Bedienschritte

- **Messung Kurzzeitflicker  $P_{st}$ :** Hauptmenü→Voltage Quality Meter→Enter→Flicker →Enter→Kurzzeitflicker→Enter

## ✓ Messergebnisse

Der Messzeitraum ist ausreichend groß zu wählen (z.B. 10 Minuten). Wenn sich der Anzeigewert für  $P_{st}$  innerhalb von einer Minute nicht mehr ändert, kann der letzte Messwert verwendet werden.





## 4. Versuchsaufgaben

### 4.3 Analyse der Netzspannung über 24 Stunden

Aus praktischen Gründen wird am Ende des Versuches ein bereits gemessener Datensatz zur Auswertung zur Verfügung gestellt.