

---

# WECHSELRICHTER 1-PH

---

## Laborbericht

Projekt	Wechselrichter einphasig
Dokument	Laborbericht
Schule	Hochschule Luzern Technik & Architektur
Modul	Elektrische Antriebstechnik (TA.BA_EAT.H15)
Team	Lukas Helfenstein, Gabriel Vonwyl, Reto Mahler
Dozenten	Adrian Omlin
Version	1.0

## ***Inhalt***

1	Einleitung.....	4
1.1	Laboreinrichtung .....	4
1.2	Ziele.....	4
2	Messungen .....	5

## ***Abbildungsverzeichnis***

Abbildung 1: Versuchsaufbau .....	4
Abbildung 2: Messfeld .....	5
Abbildung 3: Stromform (CH3) .....	6
Abbildung 4: Leistungen in Abhängigkeit von $\vartheta$ .....	7
Abbildung 5: Leistungen in Abhängigkeit von $U_{dc}$ .....	7
Abbildung 6: Stromform bei geschlossener Rechteck-Taktung .....	9
Abbildung 7: Stromform bei optimiertem Pulsmuster mit eliminiertes 3. und 5. Oberschwingung .....	9
Abbildung 8: Stromform bei optimiertem Pulsmuster mit eliminiertes 3. bis 21. Oberschwingung .....	10
Abbildung 9: Stromform bei Trägerverfahren Sinusbewertet fein .....	10
Abbildung 10: Leistungen in Abhängigkeit von $\vartheta$ bei optimiertem Pulsmuster mit eliminiertes 3. und 5. Oberschwingung .....	11
Abbildung 11: Leistungen in Abhängigkeit von $U_{dc}$ bei optimiertem Pulsmuster mit eliminiertes 3. und 5. Oberschwingung .....	11
Abbildung 12: Leistungen in Abhängigkeit von $\vartheta$ bei optimiertem Pulsmuster mit eliminiertes 3. bis 21. Oberschwingung .....	12
Abbildung 13: Leistungen in Abhängigkeit von $U_{dc}$ bei optimiertem Pulsmuster mit eliminiertes 3. bis 21. Oberschwingung .....	12
Abbildung 14 Leistungen in Abhängigkeit von $\vartheta$ bei Trägerverfahren Sinusbewertet fein .....	13
Abbildung 15: Leistungen in Abhängigkeit von $U_{dc}$ bei Trägerverfahren Sinusbewertet fein .....	13
Abbildung 16: Optimierte auf $\cos\phi = 1$ bei optimiertem Pulsmuster mit eliminiertes 3. und 5. Oberschwingung .....	14
Abbildung 17: Optimierte auf $\cos\phi = 1$ bei optimiertem Pulsmuster mit eliminiertes 3. bis 21. Oberschwingung .....	15
Abbildung 18: Optimierte auf $\cos\phi = 1$ bei Sinusbewertung mit feiner Auflösung 6.3 Spannungsbelastung Halbleiter .....	15
Abbildung 19: CH3 zeigt den Strom bei geringer Belastung. ....	19

## ***Tabellenverzeichnis***

Tabelle 1: Aufgabe 6.1.1 Oberschwingungen .....	6
Tabelle 2: Messwerte Aufgabe 6.2.1 .....	8
Tabelle 3: Messwerte Aufgabe 6.2.2 .....	16

# 1 Einleitung

Wegen deutlichen Vorteilen werden kommen immer häufiger selbstgeführte Schaltungen zum Einsatz. In diesem Versuch soll das Funktionsprinzip und die typischen Strom- und Spannungsverläufe beim einphasigen Wechselrichter praktisch untersucht werden.

Dabei soll untersucht werden wie sich Wirk- und Blindleistung einstellen lassen und wie sich die harmonischen beeinflussen lassen.

## 1.1 Laboreinrichtung

- Mit dem Netz synchronisierbarer einphasiger Wechselrichter
- Einphasentransformator, 400V / 230V, 25A
- Entkopplungsinduktivität 70mH, 30A
- Maschinensatz zur DC-seitigen Speisung des Wechselrichters.
- 

## 1.2 Ziele

- Theoretisch behandeltes Verhalten des selbstgeführten einphasigen Wechselrichters überprüfen
- Einstellen der Wirkleistung
- Einstellen der Blindleistung
- Auswirkungen verschiedener Pulsmuster auf die Oberschwingungen verstehen
- Sicherheit bei der Interpretation von Spannungs- und Stromverläufen bei selbstgeführten Stromrichtern erlangen

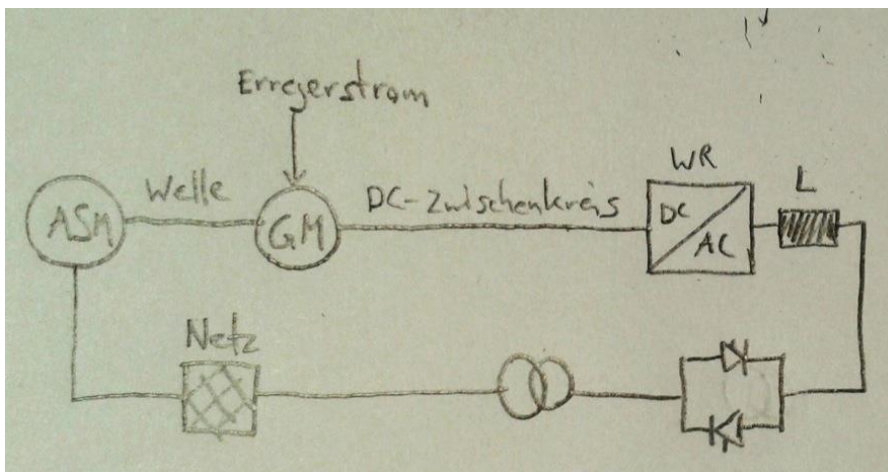


Abbildung 1: Versuchsaufbau

## 2 Messungen

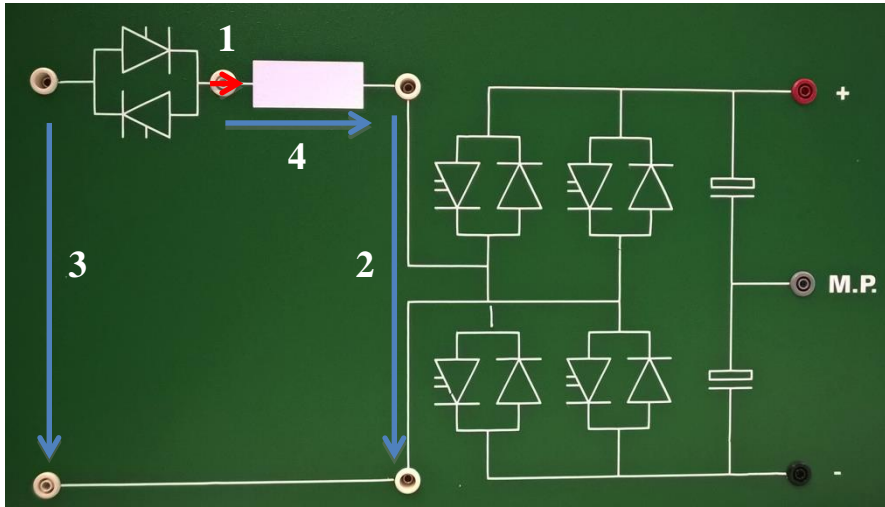


Abbildung 2: Messfeld

### Verwendete Messgeräte

- |                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| 1. Strom Kopplungsinduktivität: PR30 | Inv. No. 542 |
| 2. Spannung WR: DA 1000VN            | Inv. No. 187 |
| 3. Netzspannung: DA 1000VN           | Inv. No. 179 |
| 4. Spannung Induktivität: DA 1000VN  | Inv. No. 171 |
| 5. Oszilloskop Tektronixs TPS 2014   | Inv. No. 523 |
| 6. PM3000A                           | Inv. No.120  |
| 7. Multimeter Metra Hit 18s:         | Inv. No. 167 |

### Kanalbelegung

Wenn nicht anders vermerkt ist die Channelbelegung auf den KO-Printscreens immer wie folgt:

CH1: WR Ausgangsspannung

CH2: Spannung über Kopplungsinduktivität

CH3: Strom am Ausgang der Kopplungsinduktivität

CH4: Netzspannung

### Aufgabe 6.1.1. Stromform

*Nehmen Sie den Laboraufbau in Betrieb und Überprüfen Sie den von Ihnen als Vorbereitung gezeichneten Stromverlauf.*

*Welche Harmonischen erwarten Sie in der Wechselrichter-Ausgangsspannung und im Netzstrom? Wie gross sind sie?*

**Bemerkungen zum Messaufbau:**

- PM3000A Referenzspannung auf WR umgestellt.
- Winkel auf WR auf  $5^\circ$  eingestellt  $\rightarrow$  WR und Netz in Phase (Fehler WR)
- DC-Spannung: 275.5 V

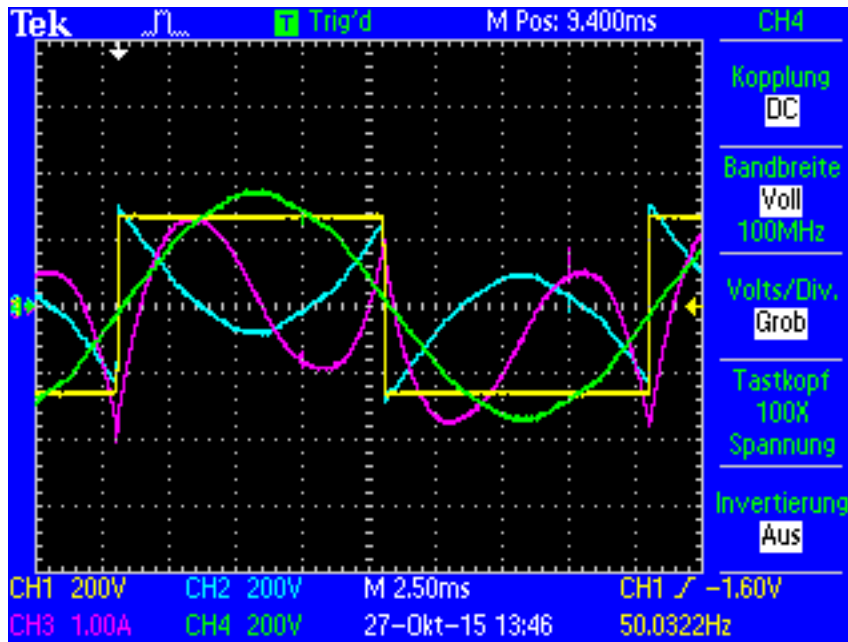


Abbildung 3: Stromform (CH3)

Tabelle 1: Aufgabe 6.1.1 Oberschwingungen

	Wert	Einheit	Wert	Einheit	
$U_{WR\ eff.}$	275	V	$I_{tot}$	1.5	A
$U_{WR\ 01}$	247.8	V	$I_{01}$	0.41	A
$U_{WR\ 03}$	33.3	%	$I_{03}$	280	%
$U_{WR\ 05}$	20	%	$I_{05}$	97	%
$U_{WR\ 07}$	14.3	%	$I_{07}$	57	%
$U_{WR\ 09}$	11.2	%	$I_{09}$	33	%
$U_{WR\ 11}$	9.1	%	$I_{11}$	20	%
$U_{WR\ 13}$	7.7	%	$I_{13}$	14	%
$U_{WR\ 15}$	6.6	%	$I_{15}$	11.5	%
$U_{WR\ 17}$	5.9	%	$I_{17}$	9.5	%
$U_{WR\ 19}$	5.3	%	$I_{19}$	7.5	%
$U_{WR\ 21}$	4.8	%	$I_{21}$	6	%
$U_{WR\ 23}$	4.4	%	$I_{23}$	5	%

**Aufgabe 6.1.2. Einstellen von Wirk- und Blindleistung**

Verändern Sie den Winkel  $\theta$  zwischen Wechselrichter-Ausgangsspannung und Netzspannung und stellen Sie  $P(\theta)$  und  $Q(\theta)$  sowie  $P_1(\theta)$  und  $Q_1(\theta)$  graphisch dar (der Index 1 bezeichnet die Grundschwingung).

Verändern Sie die dc-Spannung  $U_{dc}$  und stellen Sie  $P(U_{dc})$  und  $Q(U_{dc})$  sowie  $P_1(U_{dc})$  und  $Q_1(U_{dc})$  graphisch dar.

Welchen Einfluss haben die Veränderungen des Winkels  $\theta$  und der dc-Spannung auf die Harmonischen?

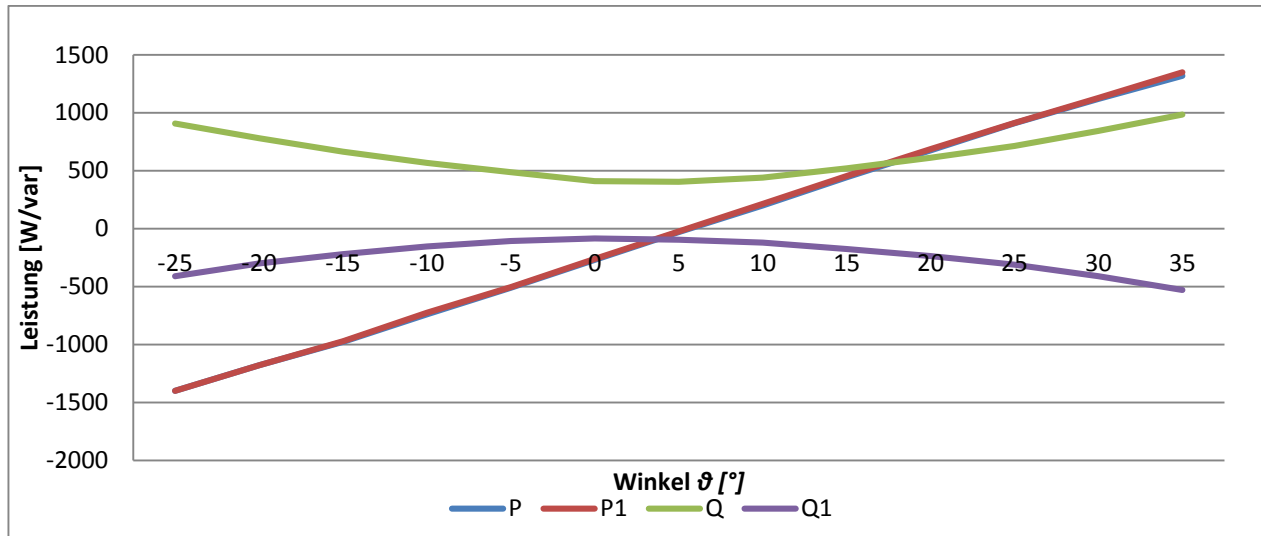


Abbildung 4: Leistungen in Abhängigkeit von  $\theta$

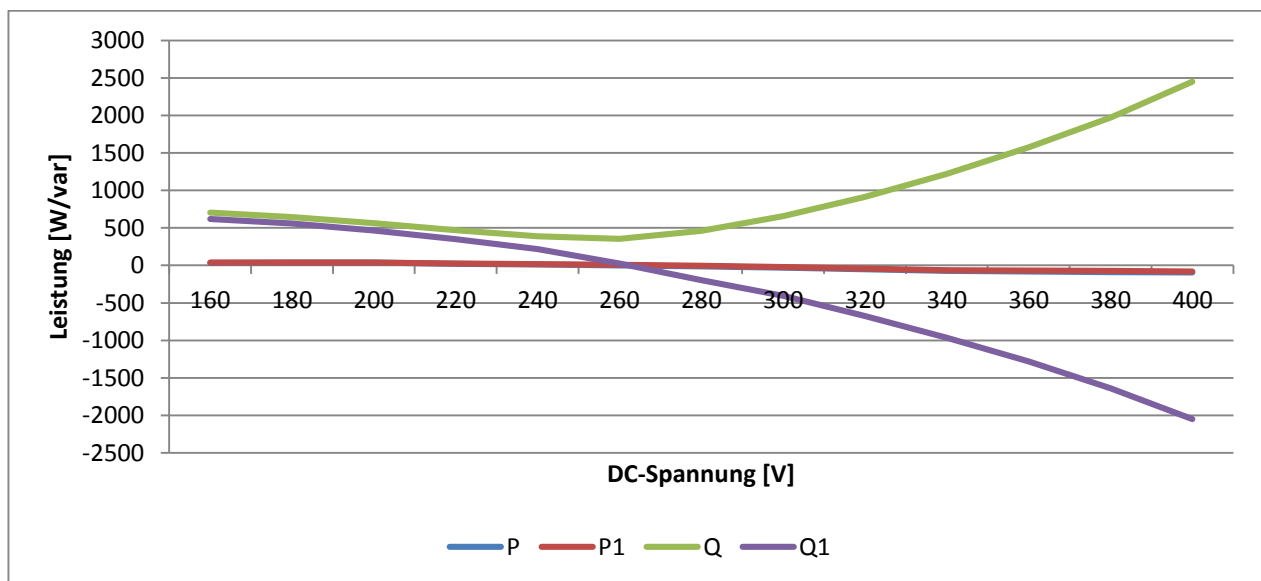


Abbildung 5: Leistungen in Abhängigkeit von  $U_{dc}$

**Feststellung:** Bei einem Betriebsfall ist Grundschiwingung höher als die gesamte Leistung.

Da am Leistungsmessgerät (PM 3000) mit  $U_{WR}$  gemessen wird, ist diese Spannung kein Sinus und hat auch Harmonische enthalten. Somit hat sowohl der Strom als auch die Spannung harmonische enthalten und es gibt irgendwelche harmonischen die zusammen auch Wirkleistung erzeugen.

Q ist jeweils positiv, da es übers Quadrat gerechnet wird im Messgerät.



**Aufgabe 6.2.1. Stromform**

*Wie verändert sich die Stromform bei den verschiedenen Pulsmustern?*

*Welche Oberschwingungen sind vorhanden und wie gross sind sie? Am einfachsten*

*Vergleichen sie die verschiedenen Pulsmuster für einen bestimmten Lastpunkt z.B.*

*$P = 1.5 \text{ kW}$  und  $Q_1 = 0$ .*

Wahl  $P = 1250 \text{ W}$   $Q_1 = 0 \text{ var}$

**Tabelle 2: Messwerte Aufgabe 6.2.1**

	Geschlossene Rechteckschwingung	3-5 eliminiert	3-21 eliminiert	Sinus fein	Einheit
$\vartheta$	48.3	47.6	46.6	48.4	°
U_DC:	182	222	237	235	V
P	1250	1263	1246	1270	W
P1	1250	1266	1250	1270	W
Q	641	1100	1176	1210	var
Q1	1	0	6	-5	var
<b>Oberschwingungen</b>					
Ueff	186	222.8	236	233	V
U 1	168	170	173	170	V
U 3	33	0.8	0.8	0.2	%
U 5	19.9	0.5	0.4	1	%
U 7	14.2	27.9	0.6	1	%
U 9	11	47.5	0.7	2.2	%
U 11	9	36.8	1	2.5	%
U 13	7.6	5.2	0.4	3.8	%
U 15	6.6	18.8	0.2	4.3	%
U 17	5.8	16.8	0.5	5.2	%
U 19	5.2	4.4	0.3	7.6	%
U 21	4.7	22.8	0.6	8.6	%
U 23	4.3	23	24	13.8	%
U 25			50	28.2	%

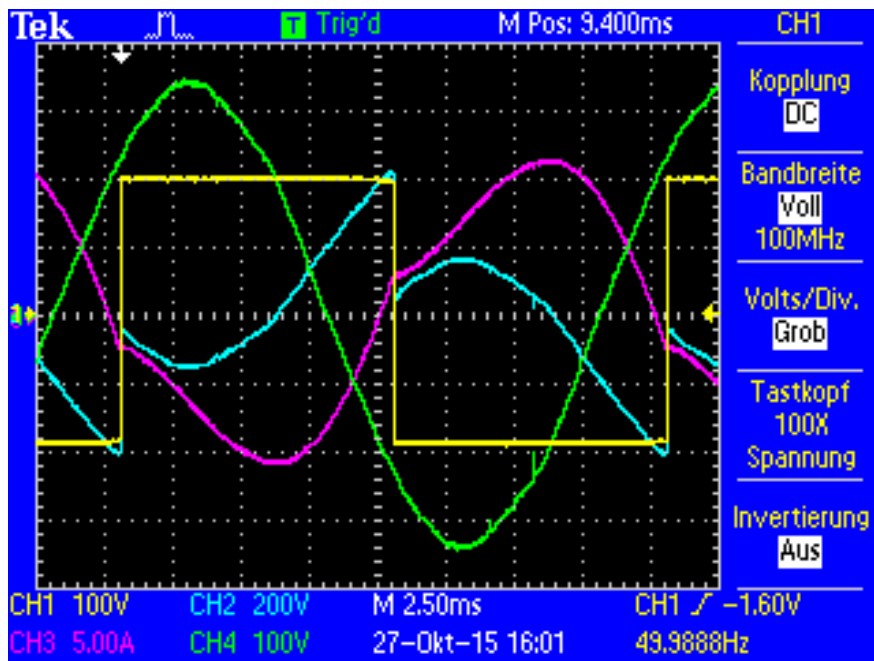


Abbildung 6: Stromform bei geschlossener Rechteck-Taktung

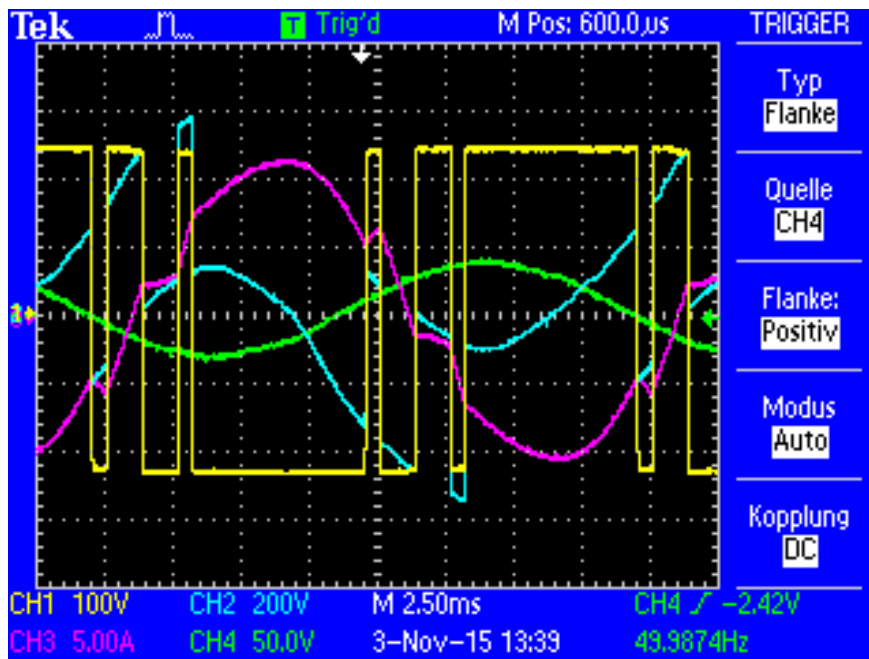


Abbildung 7: Stromform bei optimiertem Pulsmuster mit eliminierter 3. und 5. Oberschwingung

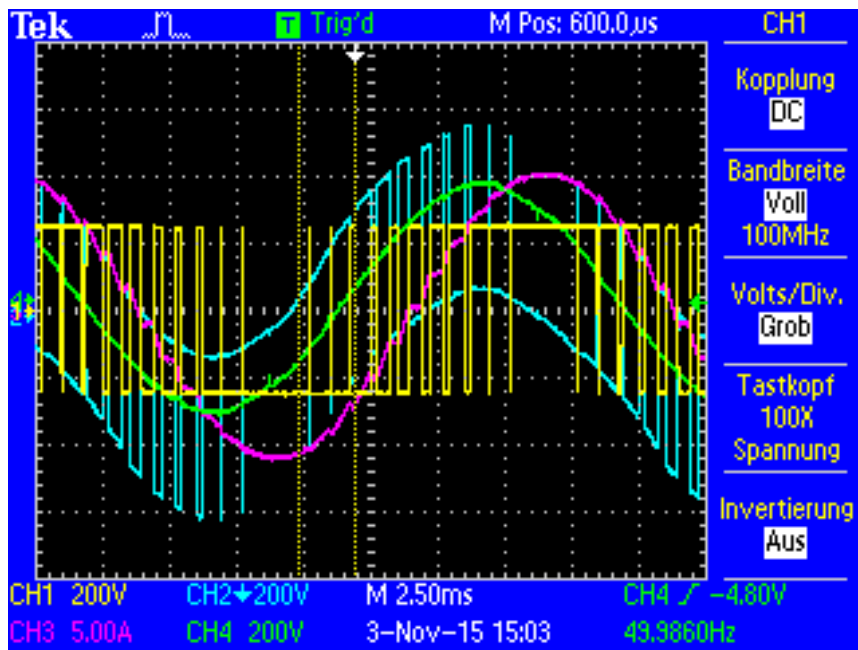


Abbildung 8: Stromform bei optimiertem Pulsmuster mit eliminiertes 3. bis 21. Oberschwingung

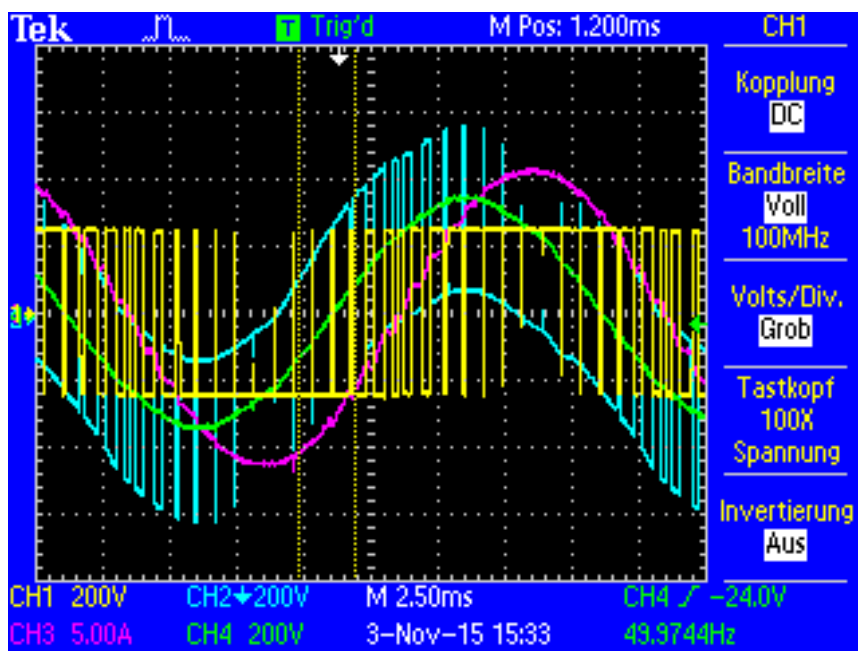


Abbildung 9: Stromform bei Trägerverfahren Sinus bewertet fein

### Aufgabe 6.2.2 Einstellen Wirk und Blindleistung

Funktioniert das Einstellen von Wirk- und Blindleistung immer noch wie bei Grundfrequenztaktung?

Stellen Sie  $P(\theta)$  und  $Q(\theta)$  sowie  $P(U_{dc})$  und  $Q(U_{dc})$  für das Pulsmuster mit den tiefsten Harmonischen graphisch dar.

#### Bemerkungen zum Messaufbau:

- Leistungen in Abhängigkeit von  $\theta$  wurden jeweils bei  $U_{dc}: 184V$  gemessen.
- Leistungen in Abhängigkeit von  $U_{dc}$  wurden jeweils bei  $\theta: 20^\circ$  (entspricht real  $15^\circ$ ) gemessen

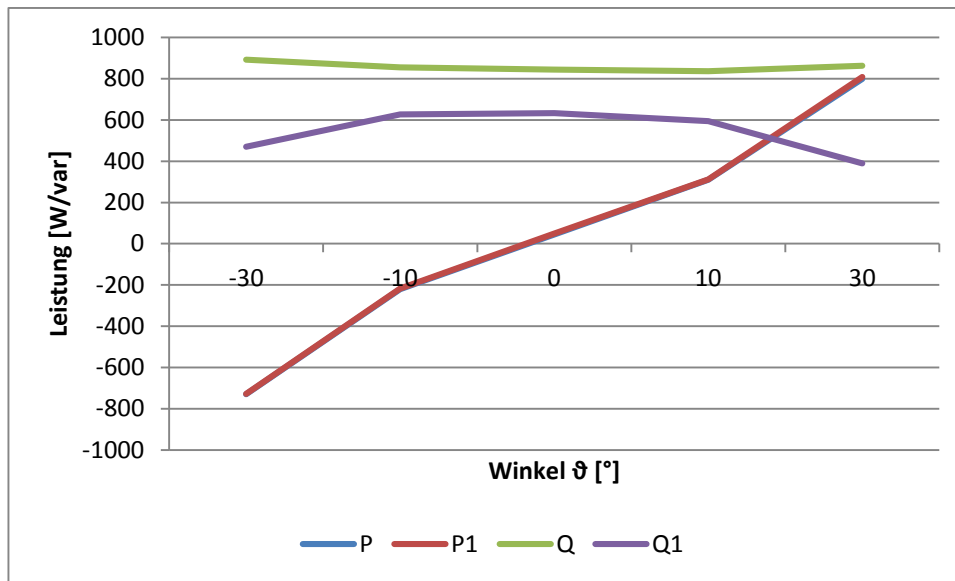


Abbildung 10: Leistungen in Abhängigkeit von  $\theta$  bei optimiertem Pulsmuster mit eliminierten 3. und 5. Oberschwingung

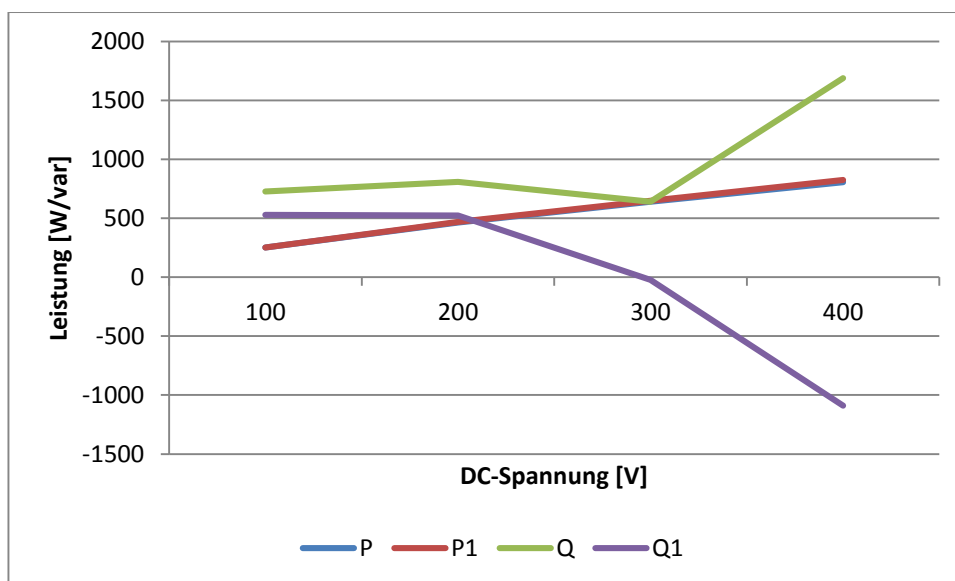


Abbildung 11: Leistungen in Abhängigkeit von  $U_{dc}$  bei optimiertem Pulsmuster mit eliminierten 3. und 5. Oberschwingung

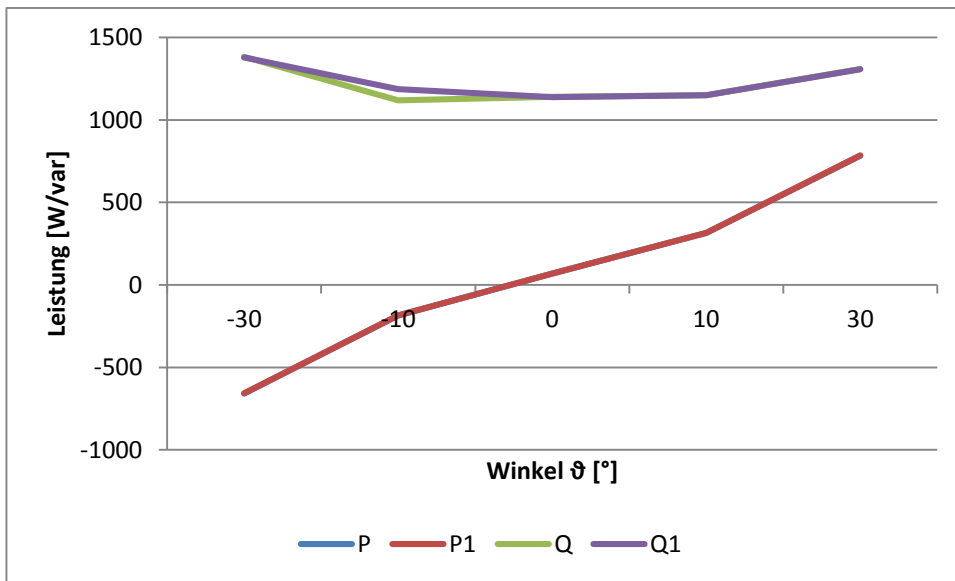


Abbildung 12: Leistungen in Abhängigkeit von  $\theta$  bei optimiertem Pulsmuster mit eliminierten 3. bis 21. Oberschwingung

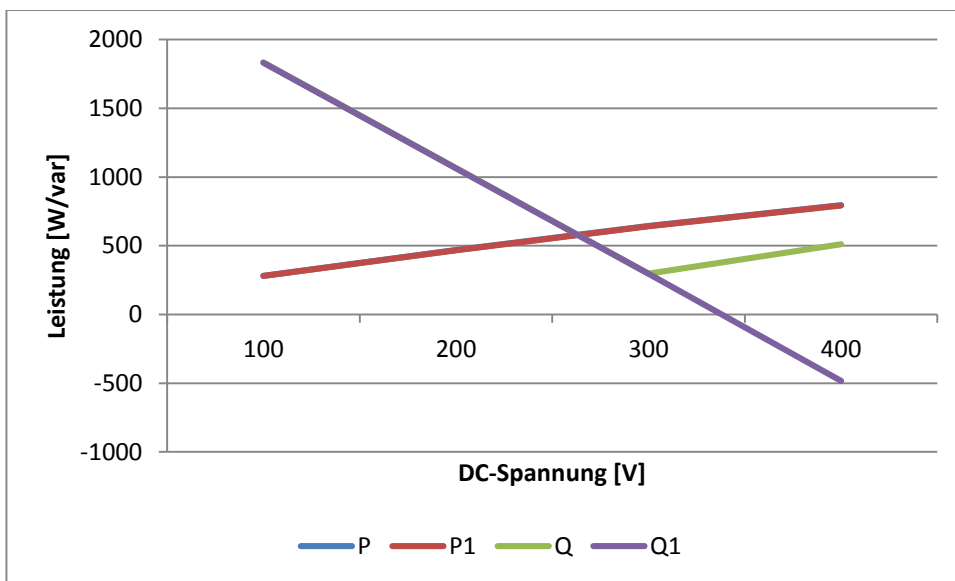
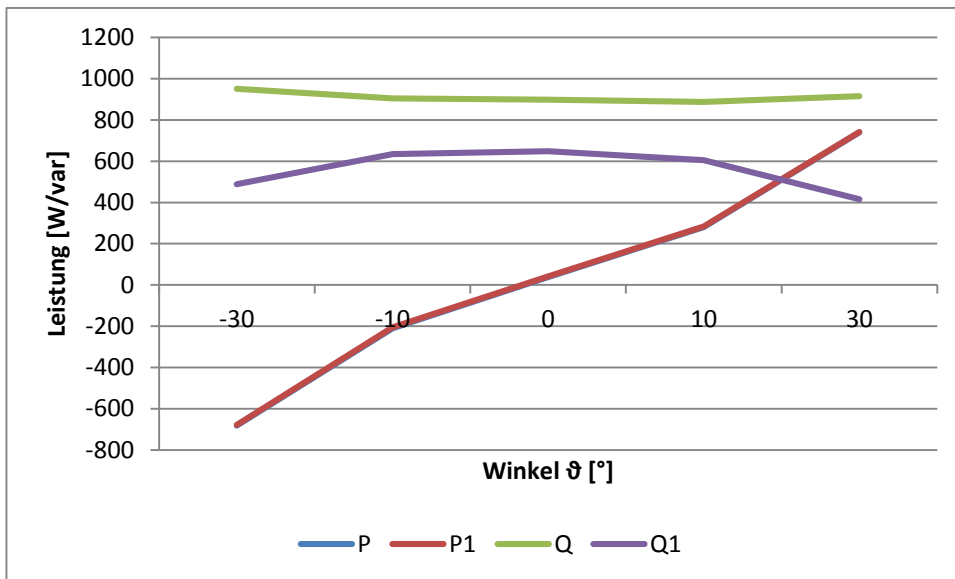
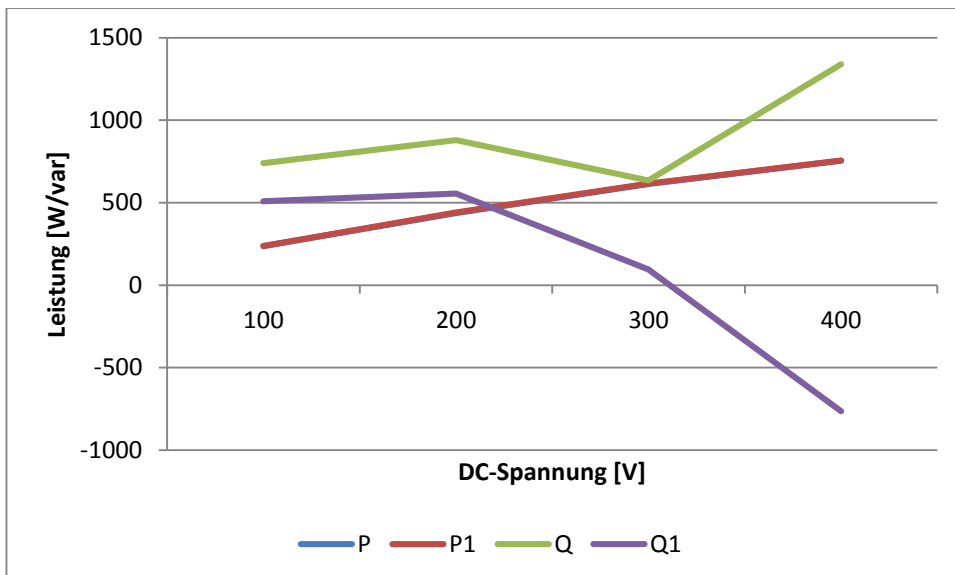


Abbildung 13: Leistungen in Abhängigkeit von  $U_{dc}$  bei optimiertem Pulsmuster mit eliminierten 3. bis 21. Oberschwingung

Abbildung 14 Leistungen in Abhängigkeit von  $\vartheta$  bei Trägerverfahren Sinusbewertet feinAbbildung 15: Leistungen in Abhängigkeit von  $U_{dc}$  bei Trägerverfahren Sinusbewertet fein

Auf welchen Wert lässt sich der  $\cos\varphi$  und der Leistungsfaktor  $\lambda$  bei einer Wirkleistung von  $P = 1.5 \text{ kW}$  optimieren.

### Bei optimiertem Pulsmuster mit eliminierten 3. und 5. Oberschwingung

Cos-phi lässt sich auf 1 optimieren. (Auf 3-5. Oberschwingung eliminiert.)

Theta  $25.9^\circ$  ( $30.9^\circ$  eingestellt) und  $U_{DC}$  337

Lambda 0.977

Lambda lässt sich nicht auf 1 bringen wegen den Oberschwingungen.

Leistung 1.25 kw

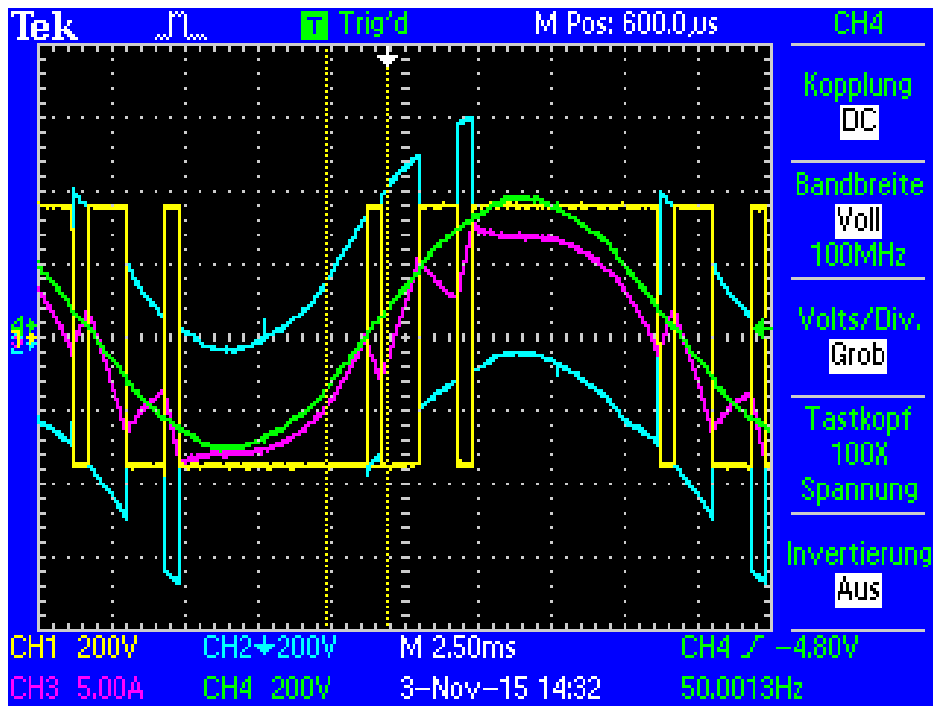


Abbildung 16: Optimierte auf  $\cos\phi$  1 bei optimiertem Pulsmuster mit eliminierten 3. und 5. Oberschwingung

### Bei optimiertem Pulsmuster mit eliminierten 3. bis 21. Oberschwingung

Auch hier lässt sich Cos-phi optimieren auf 1.

Lambda ist dabei auf 0.993 wegen Oberschwingungen.

Theta  $32.1^\circ$  (eingestellt, effektiv  $27.1^\circ$ )  $U_{DC}$  = 359

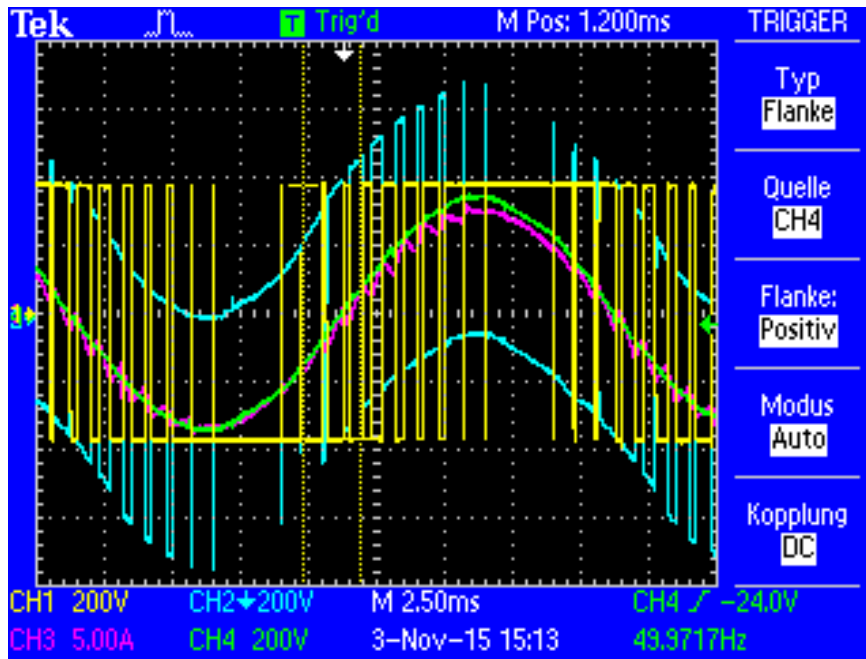


Abbildung 17: Optimiert auf  $\cos\varphi$  1 bei optimiertem Pulsmuster mit eliminierte 3. bis 21. Oberschwingung

### Bei Sinusbewertung mit feiner Auflösung

Cos auf 1 optimiert mit:

Theta 31.2 (eingestellt, effektiv 27.1)

U-DC = 362.6

Lambda= 0.992

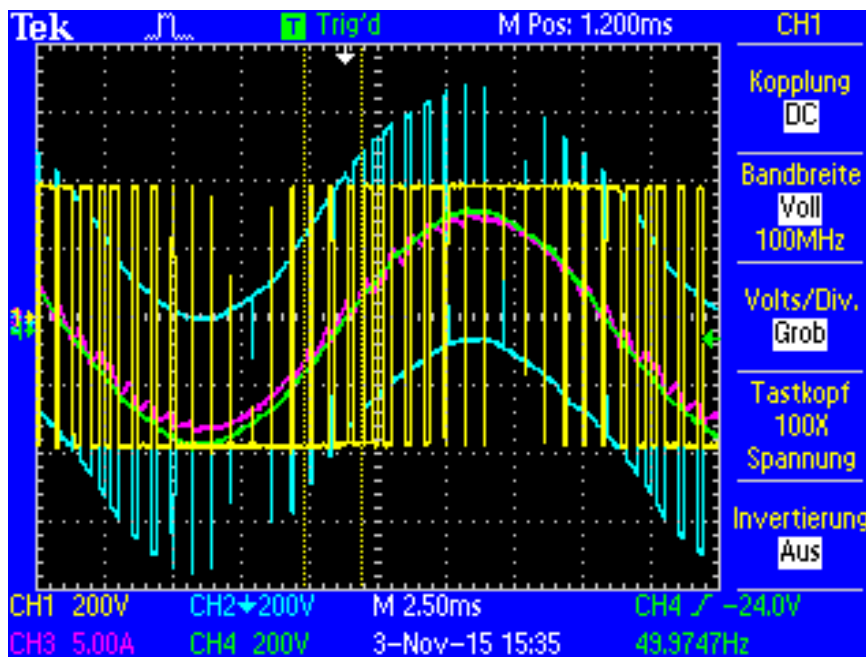


Abbildung 18: Optimiert auf  $\cos\varphi$  1 bei Sinusbewertung mit feiner Auflösung 6.3 Spannungsbelastung Halbleiter



**Aufgabe 6.2.2 Stromeffektivwert**

*Wie gross ist der Effektivwert des Netzstromes bei den verschiedenen Pulsmustern?*

**Tabelle 3: Messwerte Aufgabe 6.2.2**

	Geschlossene Rechteckschwingung	3-5 eliminiert	3-21 eliminiert	Sinus fein	Einheit
Teta:	48.3	47.6	46.6	48.4	°
U_DC:	182	222	237	235	V
P	1250	1263	1246	1270	W
P1	1250	1266	1250	1270	W
Q	641	1100	1176	1210	var
Q1	1	0	6	-5	var
I_Netz_effektiv	N/A	7.5	7.26	7.5	A

### Aufgabe 6.3 Spannungsbelastung der Halbleiter

Wie sieht der zeitliche Verlauf der Spannung über einem Halbleiter aus?

Wie sieht der zeitliche Verlauf des Stromes durch einen Halbleiter aus?

Skizzieren Sie die Kurvenverläufe.

Der Zeitliche Verlauf der Spannung über einem Halbleiter konnte gemessen werden, der Strom nur als Gesamtstrom:

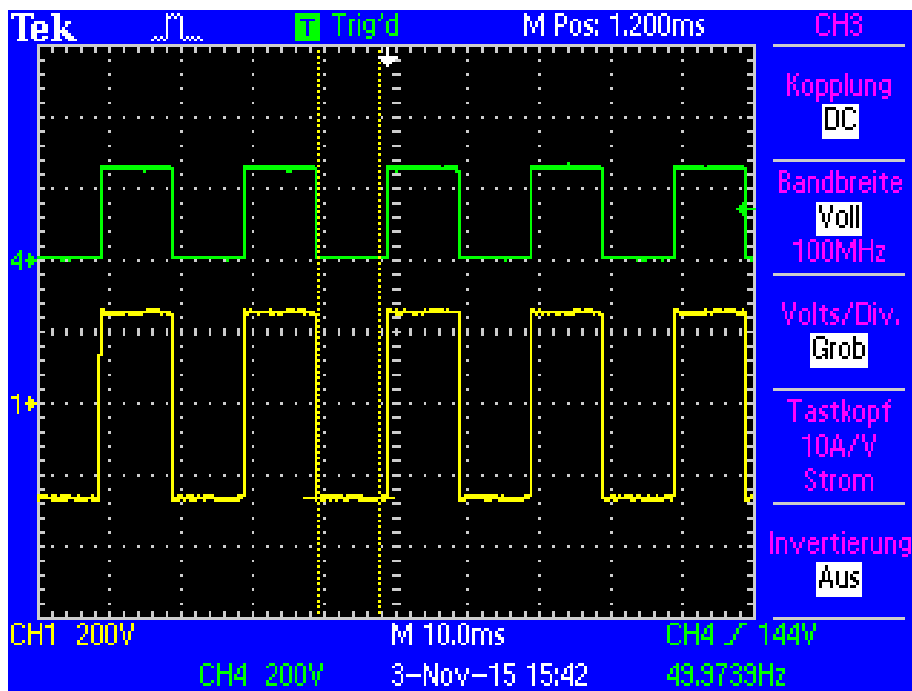
#### Bemerkungen zum Messaufbau:

- Gemessen mit Differential Amplifier Inv.No 170, immer auf Halbleiter oben rechts auf Schema
- Channel 1 Spannung über Wechselrichter
- Channel 4 Spannung über Halbleiter

Rechteck-Bewertet:

#### Bemerkungen zum Messaufbau:

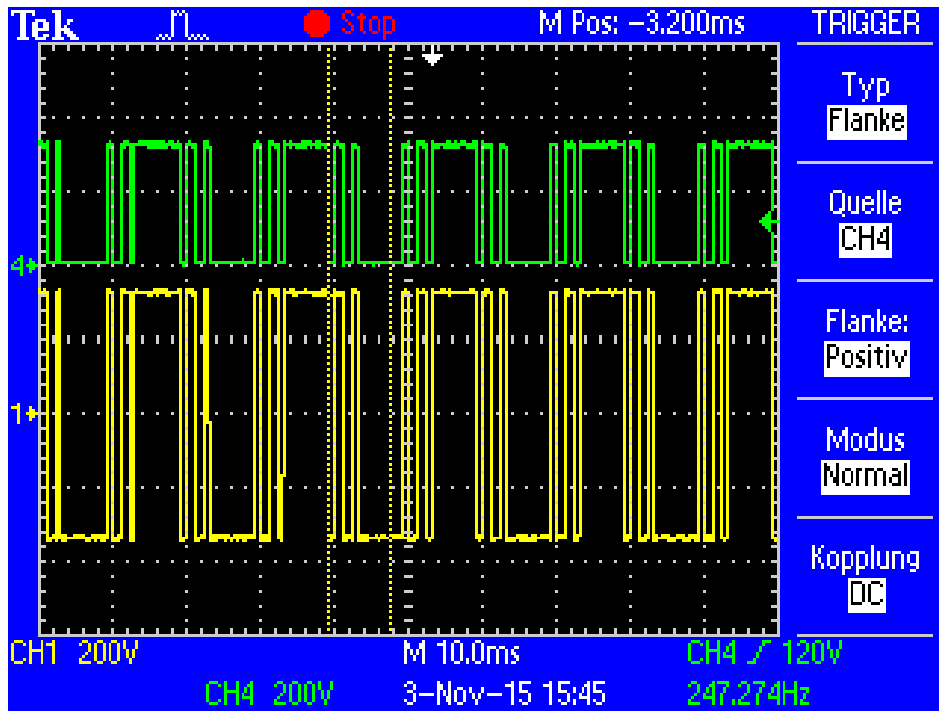
- $\Theta = 0^\circ$  (eingestellt, effektiv  $-5^\circ$ )
- U-DC = 252V (Default)



1-3 Oberschwingung eliminiert:

#### Bemerkungen zum Messaufbau:

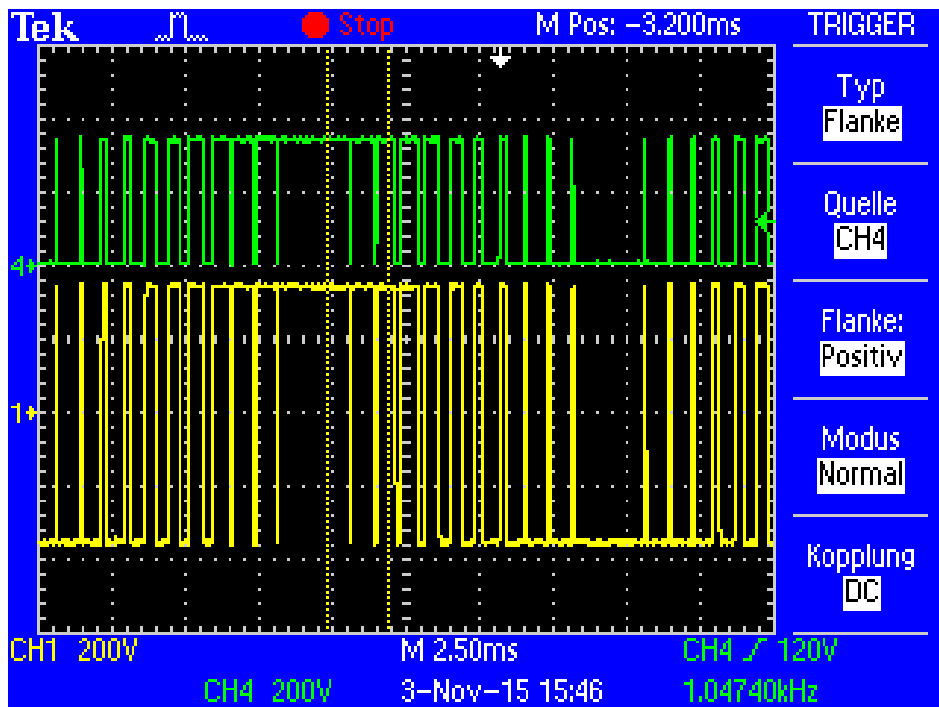
- $\Theta = 0^\circ$  (eingestellt, effektiv  $-5^\circ$ )
- U-DC = 319V (Default)



1-21 Oberschwingung eliminiert:

**Bemerkungen zum Messaufbau:**

- $\Theta = 0^\circ$  (eingestellt, effektiv  $-5^\circ$ )
- $U_{\text{DC}} = 335\text{V}$  (Default)



Sinusbewertet fein:

**Bemerkungen zum Messaufbau:**

- $\Theta = 0^\circ$  (eingestellt, effektiv  $-5^\circ$ )
- $U_{\text{DC}} = 339\text{V}$  (Default)

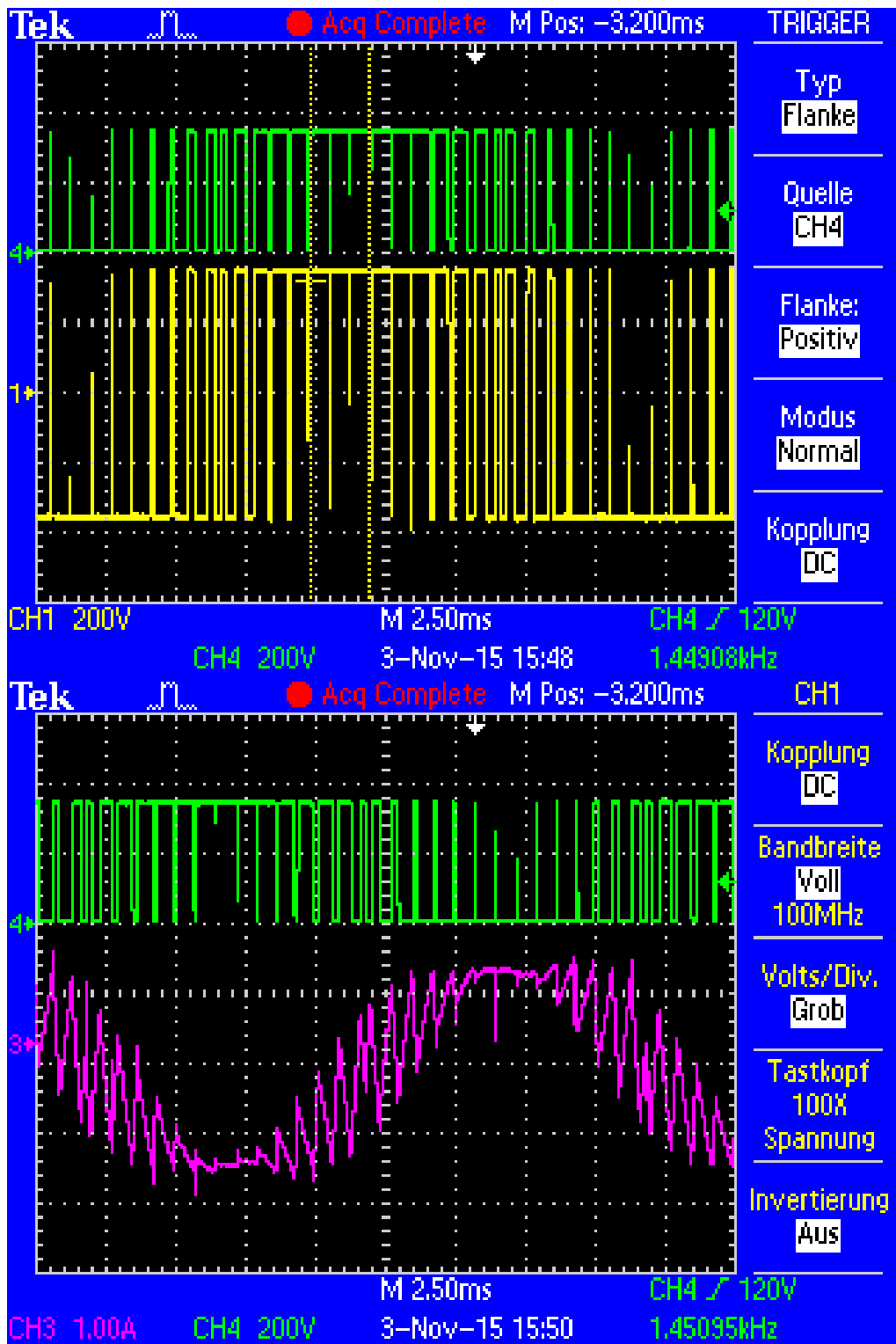


Abbildung 19: CH3 zeigt den Strom bei geringer Belastung.