

# Oberwellen V1.0

© Marcell Kalsen – Friese alias trekman.

Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Oberwellen .....</b>	<b>2</b>
1.1	Grundlagen .....	2
1.1.1	Klirrfaktor .....	4
1.2	Analyse mittels Amplitudenspektrum .....	4
1.3	Messungen von Amplitudenspektren an diversen Geräten .....	5
1.3.1	Glühlampe .....	5
1.3.2	Energiesparlampe 11W .....	7
1.3.3	15 Zoll TFT Computer Bildschirm .....	8
<b>2</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>10</b>

# Oberwellen V1.0

© Marcell Kalsen – Friese alias trekman.

Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

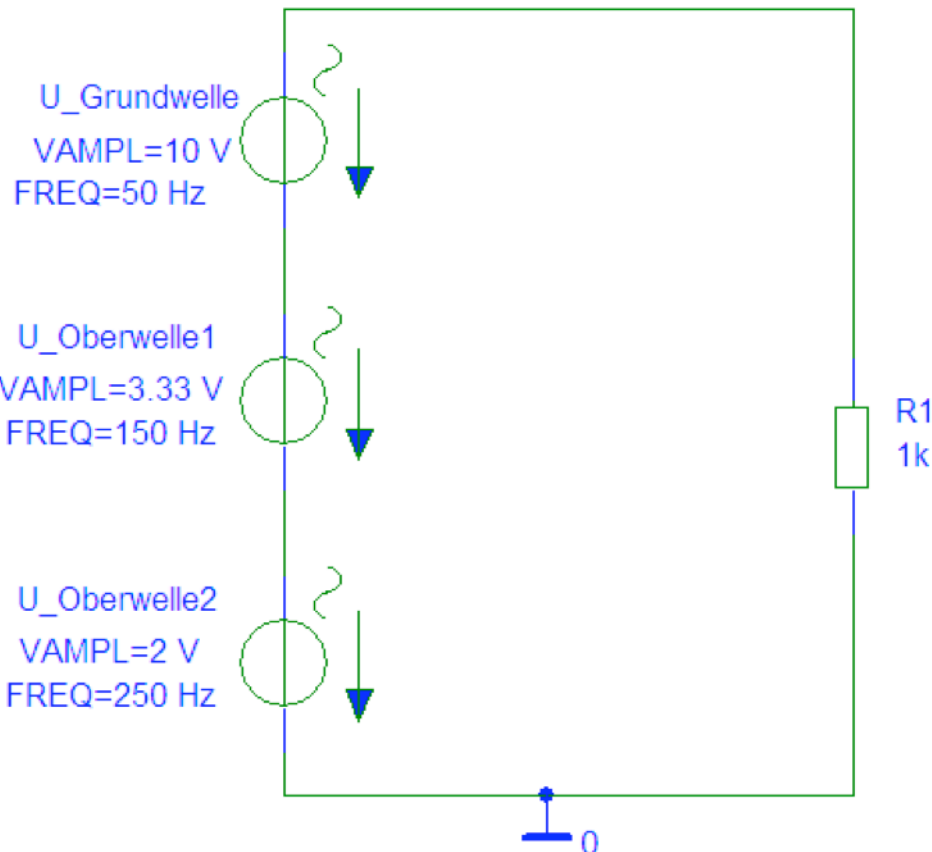
Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr

---

## 1 Oberwellen

### 1.1 Grundlagen

Oberwellen entstehen, sobald die Spannungs- oder Stromfunktion von der Sinusfunktion abweicht. Zur Verdeutlichung dieser einfachen Aussage ist das folgende Beispiel gedacht:



**Bild 1.1:** Schaltung für die Oberwellenanalyse

In der Schaltung, wie sie in Bild (7.1) zu sehen ist, sind drei Sinusquellen aktiv. Diese Quellen haben die folgenden Werte:

$$\hat{U}_{\text{Grundwelle}} = 10 \text{ V}$$

$$f_{\text{Grundwelle}} = 50 \text{ Hz}$$

$$\hat{U}_{\text{Oberwelle1}} = 3,3\bar{3} \text{ V}$$

$$f_{\text{Oberwelle1}} = 150 \text{ Hz}$$

$$\hat{U}_{\text{Oberwelle2}} = 2 \text{ V}$$

$$f_{\text{Oberwelle2}} = 250 \text{ Hz}$$

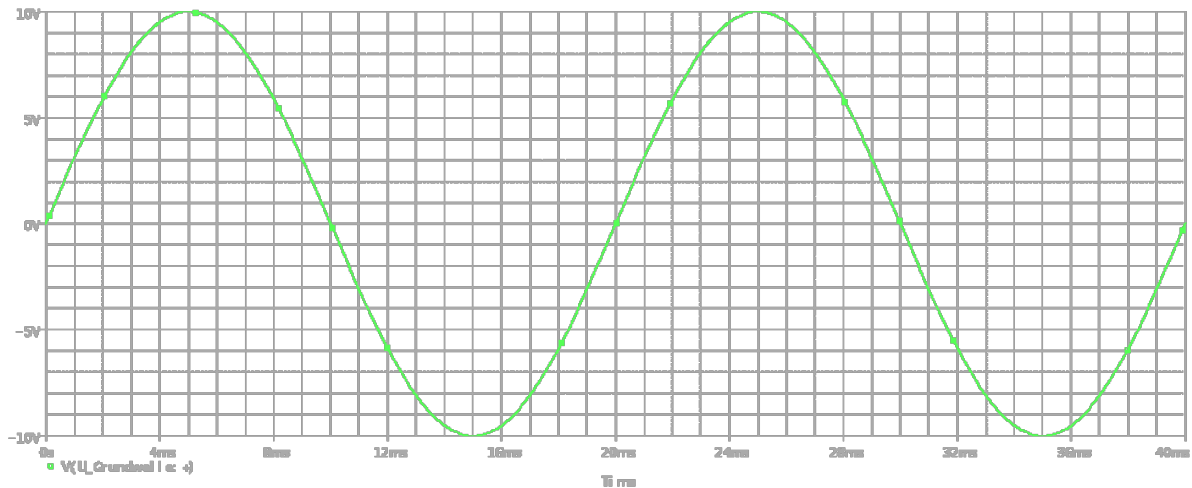
Jede Spannungsquelle für sich generiert eine sinusförmige Wechselspannung. Um dies zu verdeutlichen ist in Bild (7.2) der Spannungszeitverlauf der Spannung  $U_{\text{Grundwelle}}$  dargestellt.

## Oberwellen V1.0

© Marcell Kalsen – Frieze alias trekman.

Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

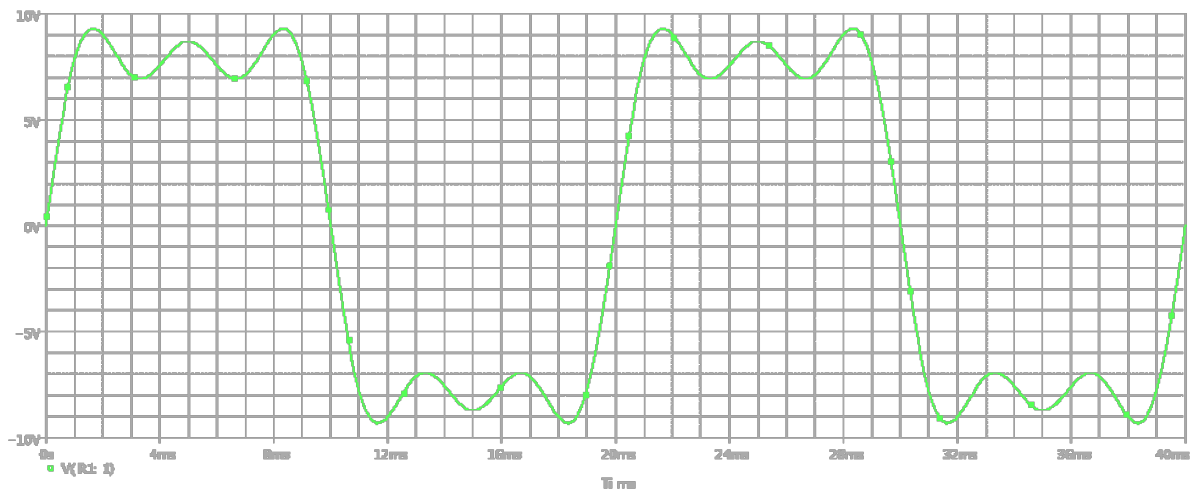
Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr



**Bild 1.2: Spannungszeitverlauf der Grundwelle**

Es ist deutlich die sinusförmige Spannung zu erkennen, sowie die Periodendauer von  $t = 20$  ms, wie sie für  $f = 50$  Hz typisch ist. Ebenfalls zu erkennen ist der Maximalwert von 10 V für diese Spannung.

Im weiteren Verlauf werden alle drei Spannungsquellen aktiviert und überlagert. Dies führt zu einer Multiplikation aller drei Spannungen und zu einer Verzerrung der Ausgangsspannung am Lastwiderstand  $R_1$ . Das Ergebnis ist in Bild (7.3) zu sehen.



**Bild 1.3: Ergebnis der Überlagerung der drei Spannungsquellen**

Es ist deutlich zu sehen, dass diese Spannung keine Sinusform mehr aufweist. Die Funktion nähert sich einem Rechteck an. Würde die Überlagerung um weitere Quellen erweitert werden, so ergäbe sich eine noch deutlichere Rechteckfunktion.

Diese Oberwellen sind auch im öffentlichen Versorgungsnetz vorhanden. Dies kann zu erheblichen Problemen führen, da diese Oberwellen den Netzsinus merklich verzerren. Diese Verzerrungen werden größtenteils durch moderne Schaltnetzteile verursacht, wie sie in PC's oder Handynetzteilen und vielen weiteren Anwendungen verwendet werden.

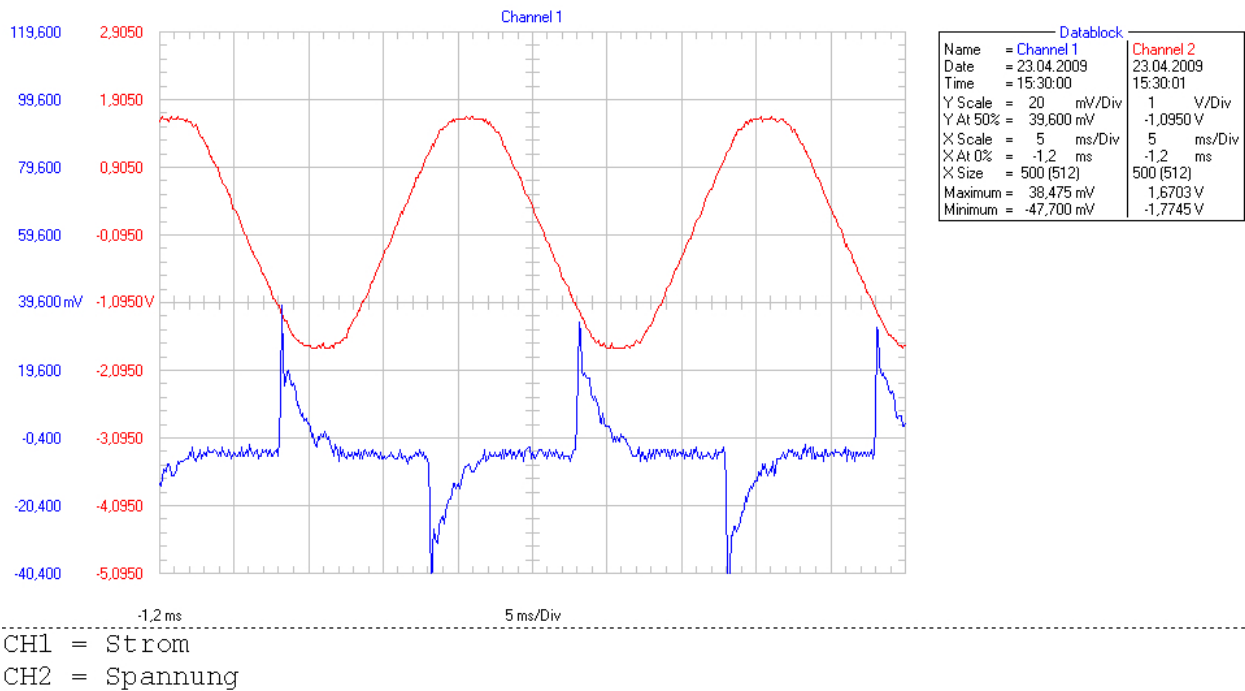
In Bild (7.4) ist der Verlauf der Netzspannung in Rot aufgetragen. Des Weiteren ist der Stromverlauf in Blau aufgetragen. Bei dem Messobjekt handelt es sich um eine Energiesparlampe mit 11W Leistung.

# Oberwellen V1.0

© Marcell Kalsen – Friese alias trekman.

Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr



**Bild 1.4: Strom und Spannungsverlauf einer 11W Energiesparlampe**

In dem Bild (7.4) ist deutlich der Einfluss der Netzoberwellen auf den Sinus zu sehen. Betrachtet man den Originalsinus in Bild (7.2) und den Netzsinus in Bild (7.4), so erkennt man eine deutlich geplättete Spitze. Dies wird durch die Netzoberwellen verursacht, welche den Sinus derartig verzerren.

## 1.1.1 Klirrfaktor

Der Klirrfaktor beschreibt den Anteil der Oberwellen am gesamten Signal. Dieser Zusammenhang ist in Formel (7.1) dargestellt (aus [1] Kapitel 13.4 Formel 13.20).

$$k = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}} \quad (1.1)$$

Der Klirrfaktor wird durch die Kurvenform des Signals beeinflusst. Weicht diese Kurvenform stark von einem sinusförmigen Signal ab, so enthält dieses Signal viele Oberwellen. Dies bedeutet wiederum, dass der Klirrfaktor des Signals größer wird.

## 1.2 Analyse mittels Amplitudenspektrum

Bei dieser Analyseart, werden die im Signal enthaltenen Oberwellen in einem Diagramm aufgetragen. Die Signale können mathematisch, mit Hilfe der Fourierreihe, in ihre Bestandteile zerlegt werden. Diese Berechnungen werden hier allerdings der Einfachheit halber weggelassen und es werden lediglich die Ergebnisse präsentiert.

Betrachten wir das Beispiel in Kapitel 1.1 und die Schaltung in Bild (7.1). Dort sind drei Spannungsquellen mit jeweils drei Frequenzen an der Überlagerung beteiligt. Die Grundfrequenz wurde hier als  $f_g = 50$  Hz angenommen. Dies entspricht der Frequenz der Netzspannung. Jede weitere Frequenz der Oberwellen, ist ein Vielfaches der Grundwelle. Daher gilt **allgemein:**

## Oberwellen V1.0

© Marcell Kalsen – Friese alias trekman.

Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr

---

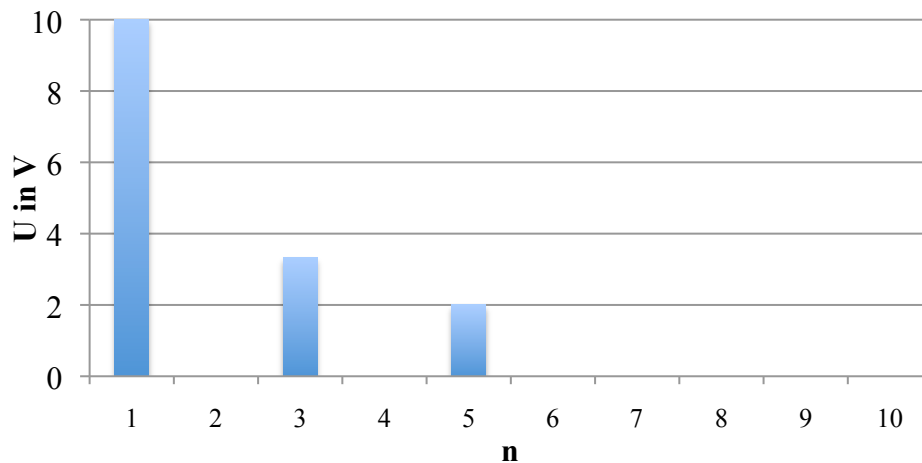
$$f_{\text{Oberwelle}} = n \cdot f_g \quad \text{mit } n = 2,3,4,5,\dots \quad (1.2)$$

Bei einer der im obigen Beispiel simulierten Rechteckspannung kann  $n$  nur ungrade Zahlen annehmen. Es gilt also für das **Beispiel aus Kapitel 1.1**:

$$f_{\text{Oberwelle}} = n \cdot f_g \quad \text{mit } n = 3,5,7,\dots \quad (1.3)$$

Die in dem folgenden Amplitudenspektrum gezeigte Indizierung der X – Achse, zeigt nun diesen Laufindex  $n$ . Wobei der Index 1 für die Frequenz der Grundwelle steht. Für alle im weiteren Verlauf des Dokuments gezeigten Spektren wird die Grundfrequenz fest als  $f_g = 50$  Hz definiert. Somit steht der Index 1 immer für  $f_g = 50$  Hz.

Das Bild (7.5) zeigt nun das Amplitudenspektrum der Rechteckspannung des Bildes (7.3):



**Bild 1.5: Amplitudenspektrum der Rechteckspannung aus Bild (7.3)**

Dieses Amplitudenspektrum zeigt genau unsere Werte der Spannungsquellen auf. Es sind alle drei Frequenzen der Überlagerung sichtbar, sowie deren Spannung. Alle diese drei Frequenzen sind auf den Leitungen vorhanden und belasten diese. Der Verbraucher sieht lediglich die Überlagerung aller Signale, nämlich die Rechteckfunktion des Bildes (7.3).

### 1.3 Messungen von Amplitudenspektren an diversen Geräten

#### 1.3.1 Glühlampe

Als Messobjekt wurde hier eine handelsübliche 60W Glühlampe verwendet. Die Glühlampe wurde an der Netzspannung betrieben. Die Messergebnisse sind in Tabelle (7.1) dokumentiert.

**Tabelle 1.1: Messergebnisse der Glühlampe 60W**

Nr.	U in V	I in A	P in W	f in Hz
1	243,8	0,276	67,04	50
Nr.	Q in var	S in VA	cos φ	Klirrfaktor
1	5,386	67,26	0,997	2,46%

Aus diesen Messergebnissen ist ein kleiner Klirrfaktor ersichtlich. Dieser beschreibt die auf dem Netz vorhandenen Oberwellen, welche ca. 2,5% betragen. Auf Grund dieser Oberwellen

## Oberwellen V1.0

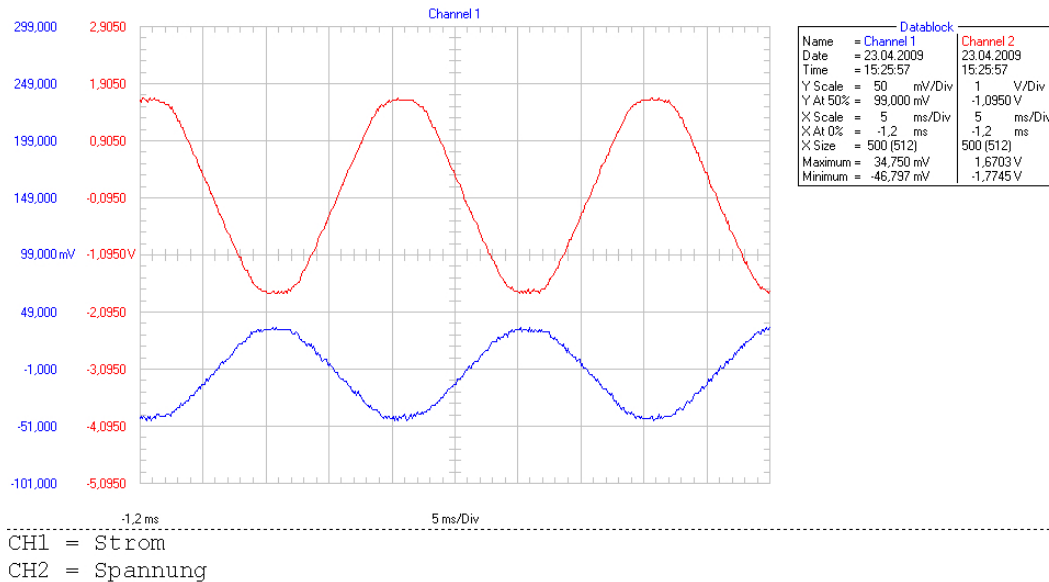
© Marcell Kalsen – Friese alias trekman.

Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr

---

entsteht ein geringer Teil Blindleistung. Diese wird auch Verzerrungsblindleistung genannt. Diese Verzerrungsblindleistung ist alleine die Leistung die durch die Oberwellen umgesetzt wird. Dies lässt sich auch bei Glühlampen nicht vermeiden, da das Netz bereits mit diesen Oberwellen belastet ist. Bild (7.6) zeigt den Verlauf der Spannung (hier in Rot) und den Verlauf des Stromes (hier in Blau) an der Glühlampe.



**Bild 1.6: Spannung und Stromzeitverlauf der Glühlampe**

Beide Verläufe sehen annähernd sinusförmig aus. Lediglich die Spitzen des Sinus sind leicht abgeflacht durch die Netzoberwellen (vgl. Bild (7.4)).

Das Amplitudenspektrum sieht ähnlich unspektakulär aus und bestätigt die bisherigen Erkenntnisse, dass der geringe Teil an Blindleistung nur durch die Netzoberwellen verursacht wird. Bei diesem Spektrum ist zu beachten, dass hier der Strom analysiert wird. Dieser Strom ist hier die entscheidende Größe, da dieser beispielsweise durch Energiesparlampen verzerrt werden würde.

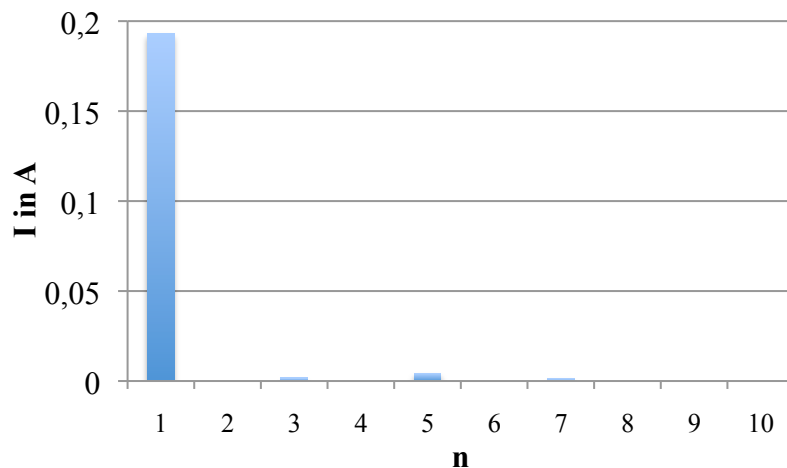
## Oberwellen V1.0

© Marcell Kalsen – Friese alias trekman.

Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr

---



**Bild 1.7: Amplitudenspektrum einer Glühlampe**

### 1.3.2 Energiesparlampe 11W

Als Messobjekt ist hier eine Energiesparlampe mit 11W zum Einsatz gekommen. Die Energiesparlampe wurde an der Netzspannung betrieben. Die Messergebnisse sind in Tabelle (7.2) zu sehen.

**Tabelle 1.2: Messergebnis der Energiesparlampe 11W**

Nr.	$U$ in V	$I$ in A	$P$ in W	$f$ in Hz
1	243,9	0,165	12,73	50
Nr.	$Q$ in var	$S$ in VA	$\cos \varphi$	Klirrfaktor
1	18,34	22,33	0,527	74,75%

Betrachtet man den Klirrfaktor dieses Signals, so ist 74,75% des Stromes reiner Oberwellenstrom! Hier entsteht also eine hohe Verzerrungsblindleistung die das Netz stark belastet. Betrachtet man weiterhin die aufgenommene Scheinleistung und Wirkleistung, so ist die tatsächlich aufgenommene Scheinleistung fast doppelt so groß wie die ungesetzte Wirkleistung. Dieser Umstand geht auf die Verzerrungsblindleistung zurück, die alleine schon der Wert der aufgenommenen Wirkleistung übersteigt. Diese Energiesparlampe belasten das Netz also stark mit Oberwellen!

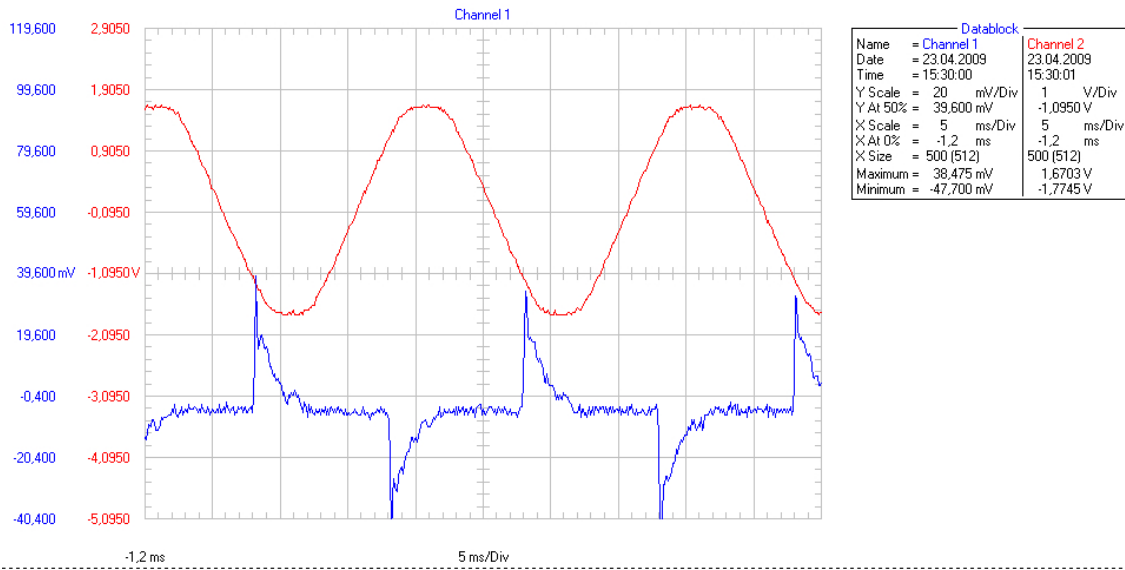
In dem Bild (7.8) ist der tatsächliche Stromverlauf der Energiesparlampe zu erkennen. Hierbei ist der Spannungsverlauf in Rot zu erkennen und der Stromverlauf in Blau. Der Stromverlauf weicht stark von der Sinusform ab und ist somit nicht mehr als Sinus zu erkennen. Vergleicht man der Stromverlauf der Energiesparlampe auf Bild (7.8) mit dem der Glühlampe auf Bild (7.6), so ist ein deutlicher Unterschied der Verläufe zu erkennen. Dieser Unterschied spiegelt sich natürlich auch im Amplitudenspektrum wieder. Es muss hier eine hohe Anzahl an Oberwellen vorhanden sein, um das Signal dermaßen zu verzerren. Bild (7.9) zeigt nun dieses Amplitudenspektrum auf.

# Oberwellen V1.0

© Marcell Kalsen – Friese alias trekman.

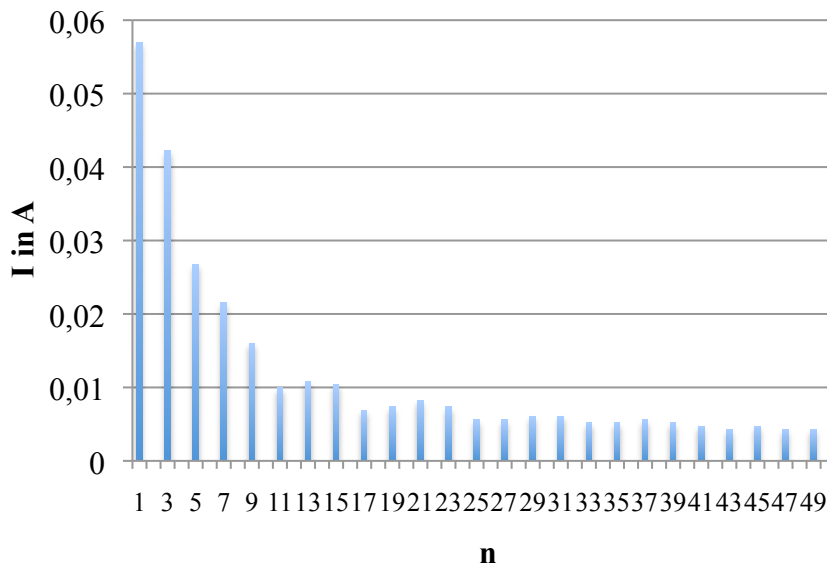
Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr



CH1 = Strom  
CH2 = Spannung

**Bild 1.8: Spannung und Stromverlauf einer Energiesparlampe**



**Bild 1.9: Amplitudenspektrum einer 11W Energiesparlampe**

Dies Amplitudenspektrum zeigt bis zu einer Frequenz von 2,45 kHz immer noch einen Nennwerten Strom. Die Überlagerung aller hier aufgezeigten Sinusförmigen Stromverläufe mit ihren Amplituden und Frequenzen, führt zu dem Blauen Stromverlauf in Bild (7.8).

### 1.3.3 15 Zoll TFT Computer Bildschirm

Als Messobjekt ist hier ein 15 Zoll TFT Computerbildschirm zum Einsatz gekommen. Der Bildschirm wurde an der Netzspannung betrieben. Die Messergebnisse sind in Tabelle (7.3) zu sehen.

## Oberwellen V1.0

© Marcell Kalsen – Frieze alias trekman.

Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr

Tabelle 1.3: Messwerte eine TFT Bildschirms

Nr.	$U$ in V	$I$ in A	$P$ in W	$f$ in Hz
1	230,1	0,23	31,25	50
Nr.	$Q$ in var	$S$ in VA	$\cos \varphi$	Klirrfaktor
1	34,27	52,86	0,591	78,37%

Auch dieser Bildschirm weist einen hohen Oberwellenanteil auf. Dieser ist sogar noch größer als bei der vorherigen Energiesparlampe. Auch hier ergibt sich eine nicht unerhebliche Blindleistung, die durch die Oberwellen verursacht wird.

In Bild (7.10) ist der Spannungsverlauf in Rot aufgetragen und der Stromverlauf in Blau. Dieser Stromverlauf in Blau entspricht dem Stromverlauf eines Schaltnetzteils. In diesem Schaltnetzteil wird die Wechselspannung gleichgerichtet und durch Kondensatoren geglättet. Diese Kondensatoren nehmen aber stark impulsförmige Ströme auf. Diese Ströme weichen stark von der Sinusform ab, was sich in dem hohen Klirrfaktor widerspiegelt.

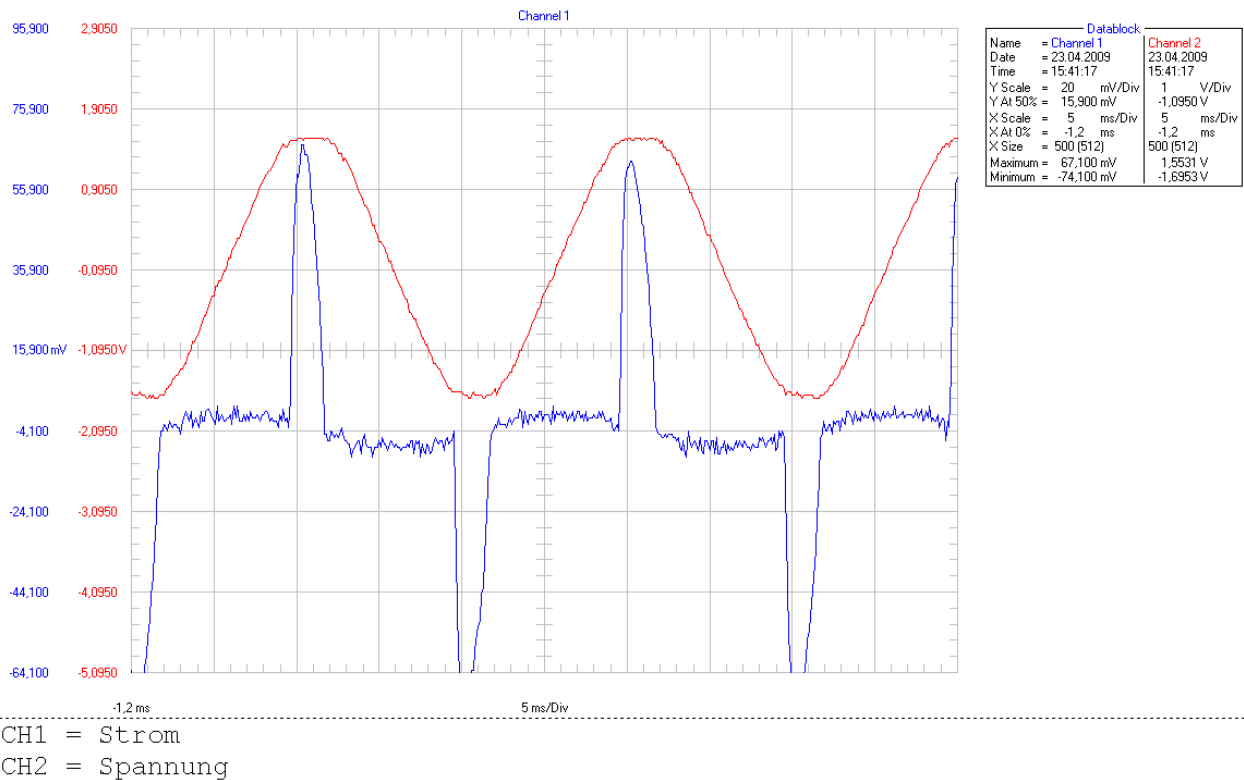


Bild 1.10: Spannungs- und Stromverlauf der Bildschirms

Bild (7.11) zeigt das Amplitudenspektrum des Stromverlaufs auf. Es fließen in den Oberwellen noch merklich hohe Ströme, die das Netz belasten!

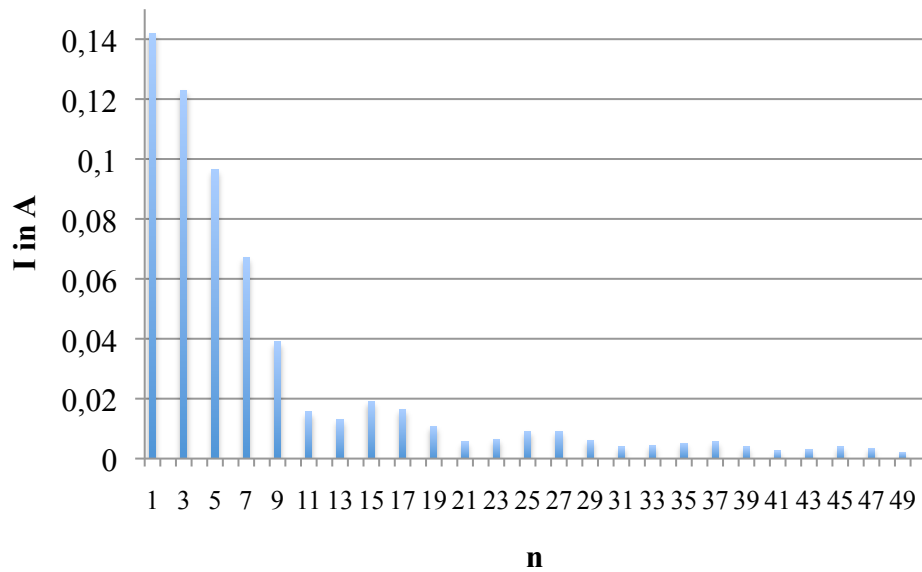
## Oberwellen V1.0

© Marcell Kalsen – Friese alias trekman.

Dieses Dokument darf frei verwendet und verlinkt werden.

Für die Richtigkeit des Dokuments übernehme ich keine Gewähr

---



**Bild 1.11: Amplitudenspektrum der Bildschirms**

## 2 Literaturverzeichnis

- [1] OSE, Rainer: *Elektrotechnik für Ingenieure - Grundlagen*. – Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2008, Aufl. 4, ISBN: 978-3-446-41196-8