

# ANFÄNGERPRAKTIKUM 2015/2016

## Fourier-Analyse und -Synthese

Durchführung: 05.01.16

Clara RITTMANN<sup>1</sup>  
Anja BECK<sup>2</sup>

*Betreuer:*  
Daniel HANISCH

---

<sup>1</sup>clara.rittmann@gmail.com

<sup>2</sup>anja.beck@tu-dortmund.de

## Inhaltsverzeichnis

<b>22 Aufbau und Ablauf des Experiments</b>	<b>4</b>
<b>3 Auswertung</b>	<b>5</b>
3.1 Fouriersynthese . . . . .	5
3.2 Fourieranalyse . . . . .	7
3.2.1 Dreiecksignal - Fourieranalyse . . . . .	8
3.2.2 Rechtecksignal - Fourieranalyse . . . . .	9
3.2.3 Sägezahnsignal - Fourieranalyse . . . . .	10
<b>4 Diskussion</b>	<b>11</b>
<b>Todo list</b>	<b>11</b>

# 1 Theorie <sup>1</sup>

Im nachfolgend beschriebenen Versuch werden periodische Signale untersucht. Eine Funktion wird (zeitlich) periodisch genannt, wenn für alle  $t$  gilt, dass

$$f(t) = f(t + T) ,$$

wobei  $T$  die Periode bezeichnet. Sie können meist durch Kombinationen von  $\sin(\omega t)$  oder  $\cos(\omega t)$  bzw.  $e^{i\omega t}$  ausgedrückt werden. Für die Frequenz gilt hierbei  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ .

Das Fouriersche Theorem besagt, dass eine Reihe der Form

$$C + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t) + B_n \sin(n\omega t) \quad (1)$$

wenn sie gleichmäßig konvergent ist immer eine periodische, abschnittsweise stetige Funktion darstellt. Eine solche Reihe wird auch Fourier-Reihe genannt. Die Koeffizienten  $A_n$ ,  $B_n$  und  $C$  werden berechnet durch

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) dt \quad (2)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega t) dt \quad (3)$$

$$C = A_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt . \quad (4)$$

In Tabelle 1 sind beispielhaft die Fourier-Reihen, der später betrachteten Signale dargestellt. Ist  $f$  an einer Stelle  $t_i$  unstetig, dann weicht die Fourier-Reihe an dieser Stelle von

Form	Funktion	Fourier-Reihe
Rechteck	$f_{\text{Rechteck}}(t) = \begin{cases} u, & 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ -u, & -\frac{T}{2} \leq t < 0 \end{cases}$	$f_R(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4u}{(2n-1)\pi} \sin((2n-1)\omega t)$
Sägezahn	$f_{\text{Sägezahn}}(t) = \frac{2u}{T}t - u \quad 0 \leq t < T$	$f_S(t) = \sum_{n=1}^{\infty} -\frac{Tu}{n\pi} \sin(n\omega t)$
Dreieck	$f_{\text{Dreieck}}(t) = \begin{cases} u - \frac{4u}{T}t, & 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ u + \frac{4u}{T}t, & -\frac{T}{2} \leq t < 0 \end{cases}$	$f_D(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8u}{((2n-1)\pi)^2} \cos((2n-1)\omega t)$

Tabelle 1: Fourier-Reihen verschiedener periodischer, nicht-differenzierbarer Funktionen

der Funktion ab. Diese Abweichung ist endlich und wird mit wachsendem  $n$  nicht kleiner. Dieses „Überschwingen“ wird Gibb'sches Phänomen genannt.

Manchmal ist es hilfreich oder interessant, das Frequenz-Spektrum einer Funktion zu betrachten. Der Übergang

$$f(t) \rightarrow g(\omega)$$

wird von der Fourier-Transformation

$$g(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{i\omega t} dt \quad (5)$$

<sup>1</sup>nach: Anleitung zu V351: Fourier-Analyse und -Synthese, Anfängerpraktikum TU Dortmund WS 2015/16

Hier müsste ich noch die Funktion des Dreiecks wissen, das du verwendet hast. Und es kommen doch nur Cosinus-Terme vor, richtig?

---

geleistet.

Ist  $f$  periodisch besteht  $g$  aus  $\delta$ -Funktionen an den Stellen  $k\omega$ . Die Höhe der Peaks entspricht dann den Koeffizienten des Cosinus- bzw. Sinus-Terms mit der Frequenz  $k\omega$  der Fourierreihe. Nicht-periodische Funktionen zeigen hier ein kontinuierliches Spektrum an Frequenzen.

## 2 Aufbau und Ablauf des Experiments

Der Versuch besteht aus zwei Teilen.

Zunächst wird für drei verschiedene Spannungsverläufe (Rechteck, Sägezahn und Dreieck) eine Fourier-Synthese durchgeführt. Dazu wird ein Schwingungsgenerator benutzt, der die ersten zehn Komponenten einer Fourier-Reihe generieren kann. Es müssen jeweils die passenden Koeffizienten eingestellt und überprüft werden, dass die Schwingungen alle in Phase sind.

Im zweiten Teil wird ein Funktionsgenerator an ein Oszilloskop angeschlossen. Mit Hilfe der MATH-Funktion des Oszilloskops wird dann eine Fourier-Transformation für verschiedene Spannungen (Rechteck, Sägezahn und Dreieck) durchgeführt. Nun können Ort und Amplitude der Peaks abgelesen werden.

Kurz aber super - zumindest fällt mir auch nicht mehr dazu ein. Wegen der Kürze würde ich es besser unter die Theorie setzen. Das ist aber bestimmt geschmacksfrage.

### 3 Auswertung

#### 3.1 Fouriersynthese

Tabelle 2: Fourier-Koeffizienten

	Dreieck	Rechteck	Sägezahn
k=1	628.84	631.02	-627.10
k=2	0	0	-313.60
k= 3	69.87	210.34	-209.03
k= 4	0	0	-156.78
k=5	25.15	126.20	-125.42
k= 6	0	0	-104.52
k = 7	12.83	90.1454	-89.59
k = 8	0	0	-78.39
k = 9	7.76	70.11	-69.68

Die Fourierkoeffizienten  $a_k$  wurden für die Signale ausgerechnet.

$$\text{Dreieck: } a_k = \frac{8u}{(\pi k)^2}, k \in 2n+1, n \in \mathbb{Z} \quad (6)$$

$$\text{Rechteck: } a_k = \frac{4u}{k\pi}, k \in 2n+1, n \in \mathbb{Z} \quad (7)$$

$$\text{Sägezahn: } a_k = -\frac{Tu}{kn\pi} \quad (8)$$

Wobei die Amplitude  $u$  und die Periode  $T$  der Funktionen konstant sind. Die ausgerechneten Koeffizienten stehen in Tabelle 2 und die Abbildungen der daraus generierten Signalverläufe 1, 2, 3 folgen darauf.

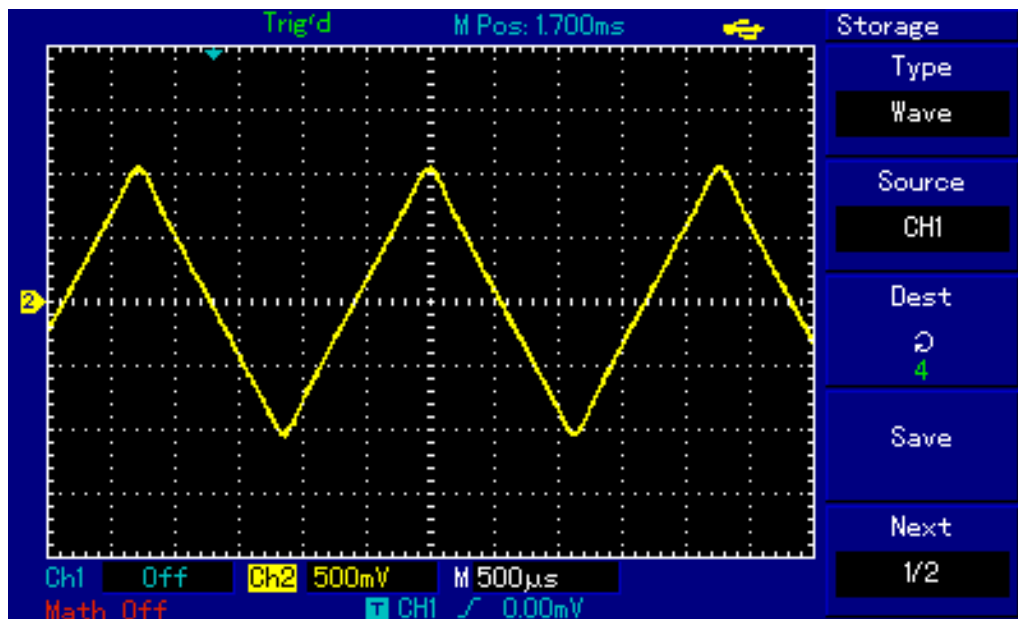


Abbildung 1: Annäherung an ein Dreieckssignal

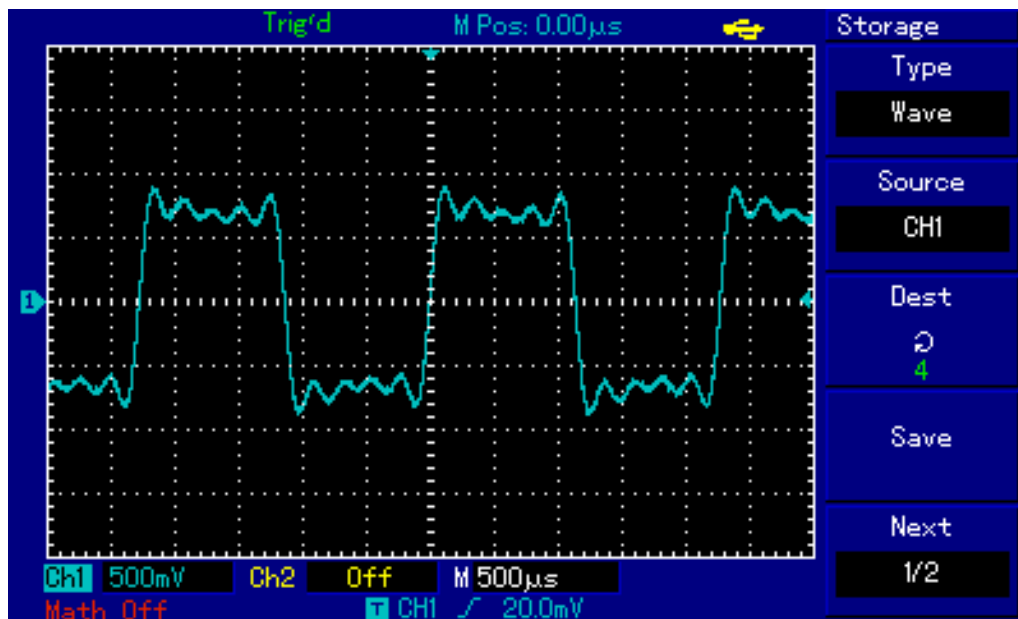


Abbildung 2: Annäherung an ein Rechtecksignal

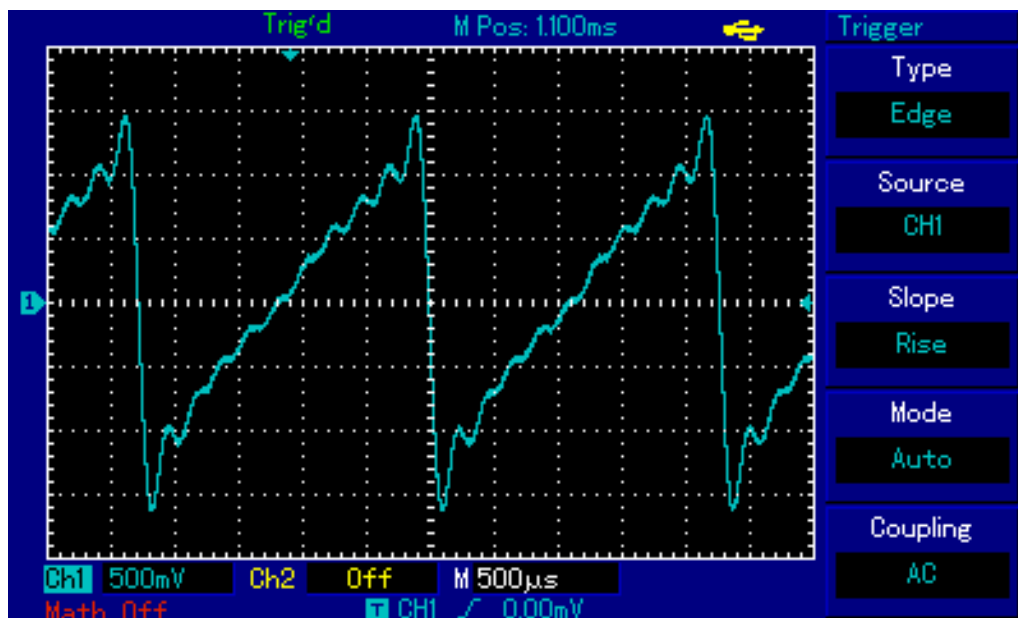


Abbildung 3: Annäherung an ein Sägezahnsignal

### 3.2 Fourieranalyse

Für die Auswertung Dreieck-, Rechteck-, und Sägezahnsignal werden die Fourierkoeffizienten eines eingespeisten Signals analysiert. In Unterkapiteln für jedes einzelne Signal befinden sich die Abbildungen, die am Oszilloskop zu sehen sind (Abbildung 4, 6, 8), Tabellen mit den abgelesenen und ausgerechneten Fourierkoeffizienten (Tabelle: 3, 4, 5) und eine Visualisierung selbiger (Abbildung: 5, 7, 9). Die prozentuale Abweichung  $\delta a$  der einzelnen gemessenen Koeffizienten  $a_{\text{gem.}}$  von den errechneten  $a_{\text{ber.}}$  ergibt sich nach

$$\delta a = \left( 1 - \frac{a_{\text{gem.}}}{a_{\text{ber.}}} \right) \cdot 100\% \quad (9)$$

Die eingezeichneten Fehlerbalken beziehen sich auf die Gesamtabweichung von der erwarteten Funktion. Mehr dazu folgt in der Diskussion (Kapitel 4). Sie wurden hier wie folgt berechnet

$$\Delta a = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=2}^N (a_{\text{gem.}} - a_{\text{ber.}})^2} . \quad (10)$$

Es ist wichtig, bei dem zweiten Wert zu beginnen, da der erste keine Abweichung haben kann. Deswegen wir auch durch  $N-2$  geteilt, statt durch  $N-1$ .

Ich habe da nochmal drüber nachgedacht und das mit dem N-2 ist eigentlich eine sehr pfiffige Idee. Ich weiß auch nicht ob das stimmt, aber ich finde das klingt auf jeden Fall logisch.

Wir werden sehen. Eventuell weiß der Betreuer das aber auch nicht.

Ich habe die Indizes etwas erweitert, nur g und b haben meinen Lesefluss unterbrochen.

Danke!



### 3.2.1 Dreiecksignal - Fourieranalyse

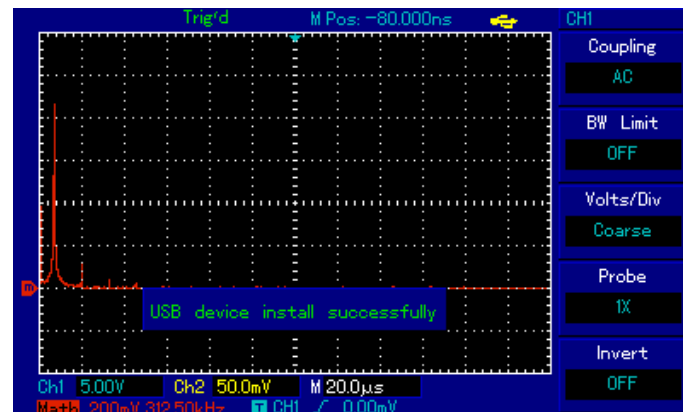


Abbildung 4: Frequenzspektrum Dreiecksignal

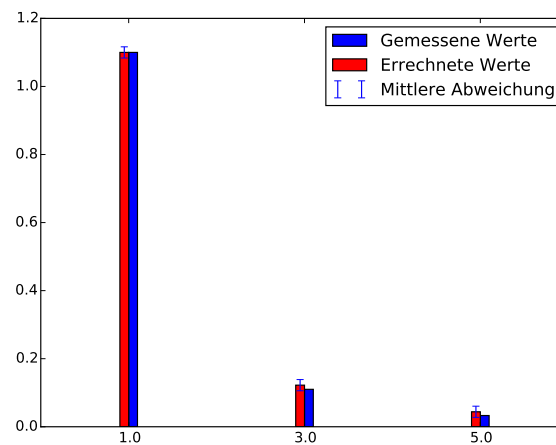


Abbildung 5: Frequenzspektrum Dreiecksignal

Tabelle 3: Fourier-Koeffizienten

	gemessen in V	berechnet in V	Abweichung
$k = 1$	1.100	1.100	0 %
$k = 3$	0.110	0.122	-11 %
$k = 5$	0.033	0.044	-33 %

## 3.2.2 Rechtecksignal - Fourieranalyse

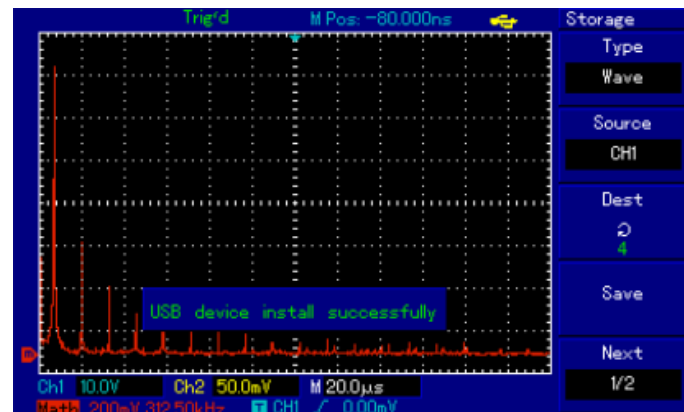


Abbildung 6: Frequenzspektrum Rechtecksignal

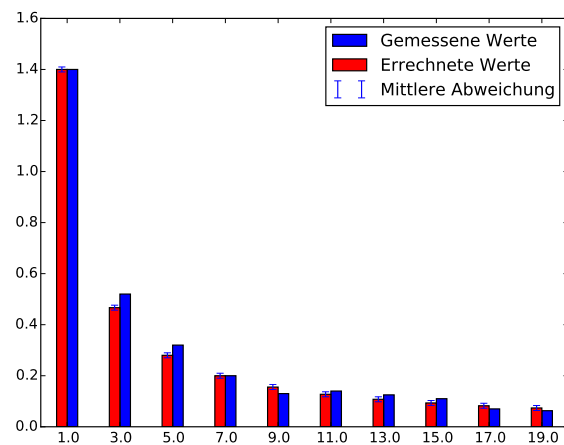


Abbildung 7: Frequenzspektrum Rechtecksignal

Tabelle 4: Fourier-Koeffizienten

	gemessen in V	berechnet in V	Abweichung
k = 1	1.400	1.400	0 %
k = 3	0.520	0.467	10.3 %
k = 5	0.320	0.280	12.5 %
k = 7	0.200	0.200	0 %
k = 9	0.130	0.156	-19.7 %
k = 11	0.140	0.127	9.10 %
k = 13	0.125	0.108	13.8 %
k = 15	0.110	0.093	15.2 %
k = 17	0.070	0.082	-17.6 %
k = 19	0.063	0.074	-17.0 %

## 3.2.3 Sägezahnsignal - Fourieranalyse

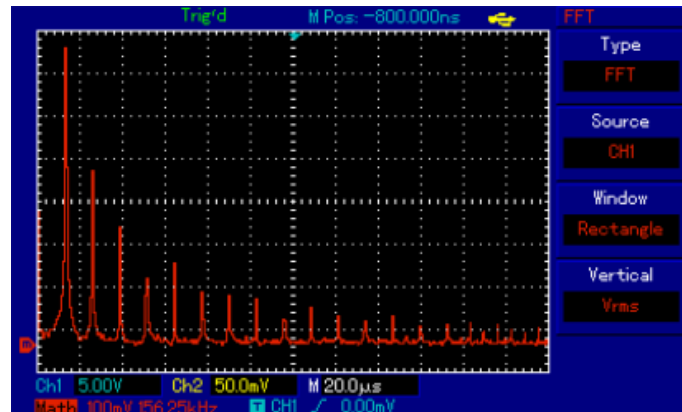


Abbildung 8: Frequenzspektrum Sägezahnsignal

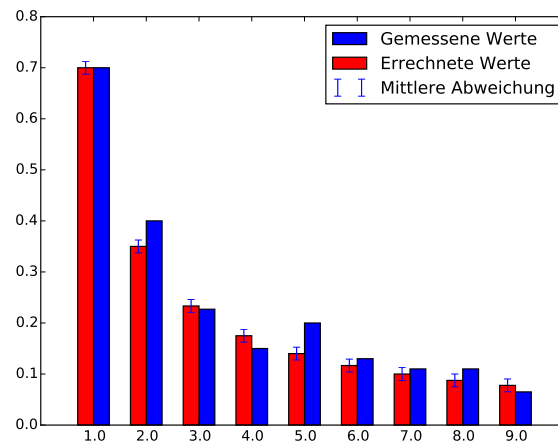


Abbildung 9: Frequenzspektrum Sägezahnsignal

Tabelle 5: Fourier-Koeffizienten

	gemessen in V	berechnet in V	Abweichung
k = 1	0.700	0.700	0 %
k = 2	0.400	0.350	12.5 %
k = 3	0.227	0.233	-02.8 %
k = 4	0.150	0.175	-16.7 %
k = 5	0.200	0.140	30.0 %
k = 6	0.130	0.117	10.3 %
k = 7	0.110	0.100	9.10 %
k = 8	0.110	0.086	20.5 %
k = 9	0.065	0.078	-19.7 %

## 4 Diskussion

Eine Fehleranalyse ist bei diesem Protokoll wenig zielführend. Es wird kein Maß dafür eingeführt, wie weit die durch die **Fouriersynthese** modellierte Funktion von der Zielfunktion abweicht. Allgemein zeigt sich, dass die hier modellierten Signale (Abbildung 1, 2, 3) schon mit wenigen Oberschwingungen nahe am gewünschten Ergebnis liegen. Besonders fällt dies bei der Dreiecksspannung auf, wo die Amplituden der k-ten Oberschwingung mit  $\sim \frac{1}{k^2}$  abfällt, was an der Stetigkeit der Funktion liegt.

Auch das in der Theorie beschriebene Phänomen der Gibb'schen Überschwinger sind in Abbildung 2 und 3 gut erkennbar.

Bei der **Fourieranalyse** kann eine Ungenauigkeit in der Messung der Koeffizienten mit Hilfe von Formel (10) bestimmt werden. Die Steuung ergibt sich aus der Abweichung dividiert durch den Mittelwert der Messung

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_{\text{gem},i} \quad . \quad (11)$$

Bei diesen geringen Fehlern (siehe Tabelle 6) handelt es sich wahrscheinlich um Ableseungenauigkeiten.

Tabelle 6: Abweichung der Fourierkoeffizienten

	Mittlerer Fehler	Streuung
Dreiecksspannung	16.44 mV	0.040
Rechtecksspannung	97.66 mV	0.032
Sägezahnsspannung	12.55 mV	0.054

Ist der Mittelwert von dem du hier sprichst  $\Delta a$ ?

Es war zugegeben missverständlich, das arithmetische Mittel gemeint. Ist es so verständlich?

Sollen wir die Herleitung der Fourierkoeffizienten in einen Anhang kacken? In Annikas Protokoll stehen die in der Diskussion. Ich finde grundsätzlich nicht, dass die in s Protokoll gehören, aber vielleicht will er das ja so?!

Ich wollte die ganze Theorie ursprünglich sehr mathematisch halten, mit Funktionenraum und Skalarprodukt und so was, habe mich aber dann bewusst dagegen entschieden, weil das a) sehr lang geworden wäre, und b) das für den Versuch gar nicht so relevant ist. Es geht ja erstmal nur darum zu sehen, dass Fourier funktioniert, nicht wo er herkommt. Daher würde ich sagen: Nein, lass uns die Arbeit sparen. Wie man sie berechnet steht in der Theorie und alles andere führt für meinen Geschmack zu weit.

## Todo list

- Hier müsste ich noch die Funktion des Dreiecks wissen, das du verwendet hast.  
Und es kommen doch nur Cosinus-Terme vor, richtig? . . . . . 2
- Kurz aber super - zumindest fällt mir auch nicht mehr dazu ein. Wegen der Kürze würde ich es besser unter die Theorie setzen. Das ist aber bestimmt geschmacksfrage. . . . . 4
- Ich habe die Indizes etwas erweitert, nur g und b haben meinen Lesefluss unterbrochen. . . . . 7
- Danke! . . . . . 7
- Ich habe da nochmal drüber nachgedacht und das mit dem N-2 ist eigentlich eine sehr pfiffige Idee. Ich weiß auch nicht ob das stimmt, aber ich finde das klingt auf jeden Fall logisch. . . . . 7
- Wir werden sehen. Eventuell weiß der Betreuer das aber auch nicht. . . . . 7

- Ist der Mittelwert von dem du hier sprichst  $\Delta a$ ? . . . . . 11
- Es war zugegeben missverständlicherweise das arithmetische Mittel gemeint. Ist es so verständlich? . . . . . 11
- Sollen wir die Herleitung der Fourierkoeffizienten in einen Anhang kacken? In Annikas Protokoll stehen die in der Diskussion. Ich finde grundsätzlich nicht, dass die in s Protokoll gehören, aber vielleicht will er das ja so?! . . . . . 11
- Ich wollte die ganze Theorie ursprünglich sehr mathematisch halten, mit Funktionenraum und Skalarprodukt und so was, habe mich aber dann bewusst dagegen entschieden, weil das a) sehr lang geworden wäre, und b) das für den Versuch gar nicht so relevant ist. Es geht ja erstmal nur darum zu sehen, dass Fourier funktioniert, nicht wo er herkommt. Daher würde ich sagen: Nein, lass uns die Arbeit sparen. Wie man sie berechnet steht in der Theorie und alles andere führt für meinen Geschmack zu weit. . . . . 11