

Beuth Hochschule für Technik Berlin ♦ FB VI		Name:	
Klausur MMT-Audio ♦ Informatik und Medien		Matrikel-Nr.:	
SS 2011	♦ 13.7.2010	Punkte:	18,5 20
		Note:	1,3

Das Skript darf – wie vereinbart – nicht benutzt werden. Ergebnisse in die vorgesehenen Freiräume im Aufgabenblatt eintragen und begründen (Herleitung etc.), sonst keine Bewertung! Zum Bestehen sind 40% der erreichbaren Punkte erforderlich.

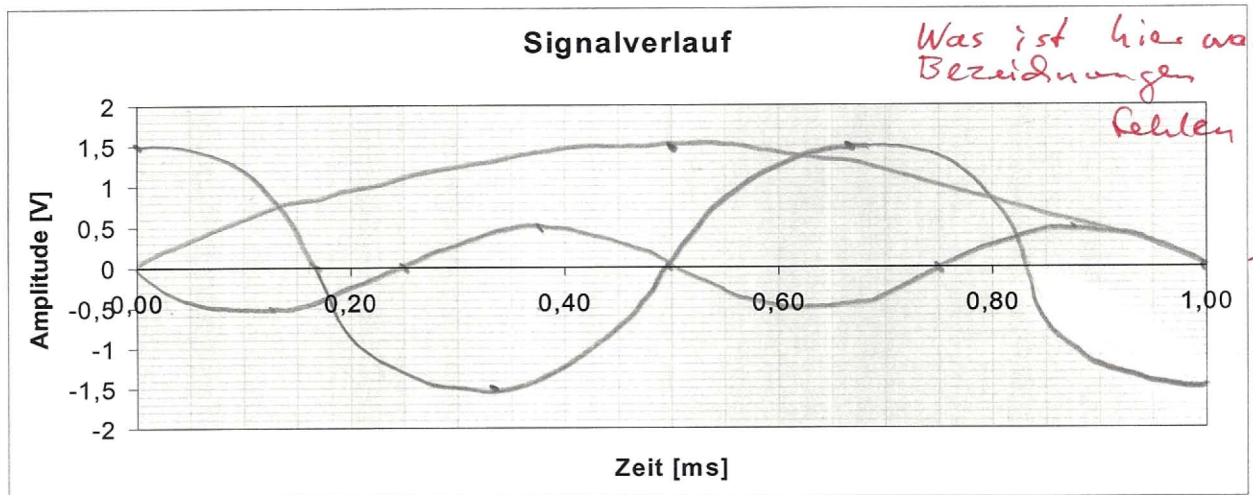
Bitte Handy abschalten!

Aufgabe 1 (5 Punkte) Schwingungslehre

1.1 Im folgenden Diagramm sollen die Teilschwingungen der Zeitfunktion $x(t)$ eingezeichnet werden:

$$x(t) = x_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_0 \cdot t + \varphi_1) + x_2 \cdot \sin(2\pi \cdot 3 \cdot f_0 \cdot t + \varphi_2) + x_3 \cdot \sin(2\pi \cdot 4 \cdot f_0 \cdot t + \varphi_3)$$

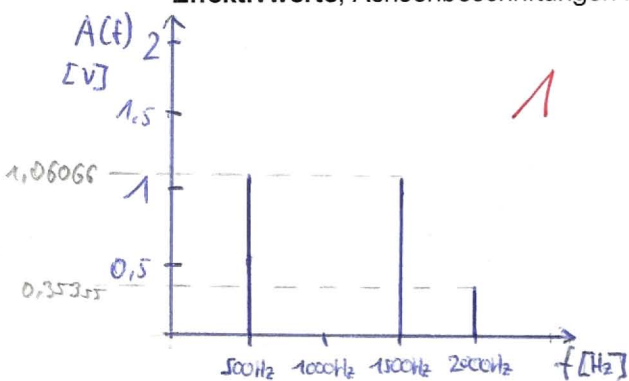
$$x_1 = 1,5 \text{ V}, x_2 = 1,5 \text{ V}, x_3 = 0,5 \text{ V}, f_0 = 500 \text{ Hz}, \varphi_1 = 0, \varphi_2 = \pi/2, \varphi_3 = -\pi$$



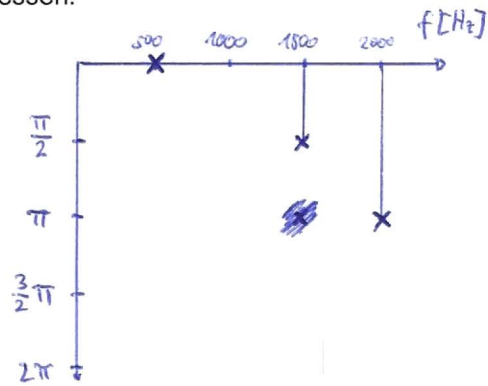
1.2 Berechne die Augenblickswerte der Amplitude von $x(t)$ für den Zeitpunkt $t = 0,25 \text{ ms}$! *siehe Blatt 1*

$t = 0,25 \text{ ms}$	$1,06066 \text{ V}$	$+ (-1,06066 \text{ V})$	$+ 0 \text{ V}$	$= 0 \text{ V}$
-----------------------	---------------------	--------------------------	-----------------	-----------------

1.3 Skizziere das Amplituden- und das Phasenspektrum von $x(t)$. Benutze für das Amplitudenspektrum die Effektivwerte, Achsenbeschriftungen nicht vergessen!



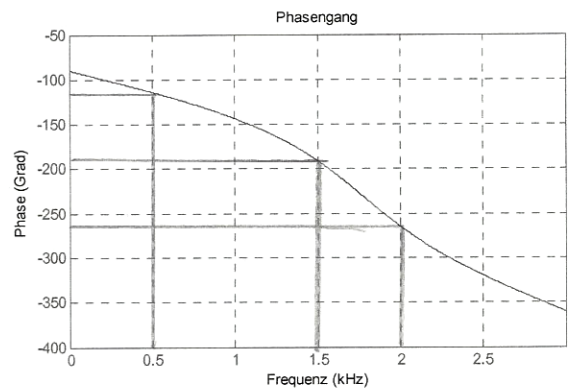
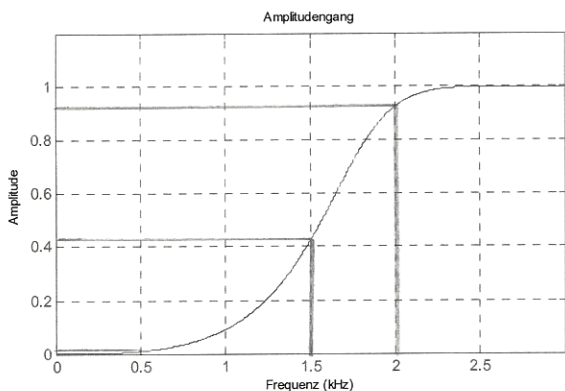
Amplitudenspektrum



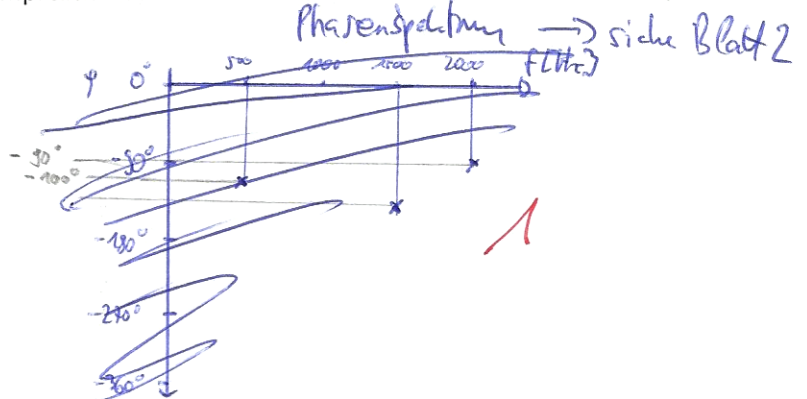
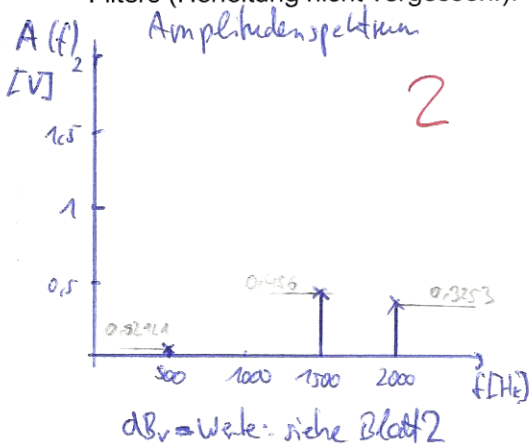
Phasenspektrum

Aufgabe 2 (5 Punkte) Filterung

2.1 Das Signal $x(t)$ aus Aufgabe 1 soll nun durch das folgende Filter (Amplituden- und Phasengang) geschickt werden.



Bestimme und skizziere das Amplituden- und Phasenspektrum des resultierenden Signals am Ausgang des Filters (Herleitung nicht vergessen!). Gib die Amplitudenwerte in V und in dBV an!



2.2 Um was für einen Filtertyp handelt es sich und wie lange braucht eine Frequenz von 2 kHz, um durch das Filter zu laufen (im Phasengang einzeichnen)? Zusatzaufgabe: Brauchen alle Frequenzen gleich viel Zeit, um durch das Filter zu laufen? Antwort begründen!

Um einen Hochpassfilter Laufzeit ungefähr 0,264 ms.

Aufgabe 3 (5 Punkte) Digitalisierung/digitale Audioverarbeitung

3.1 $x(t)$ aus Aufgabe 1 soll a) $f_a = 3$ kHz abgetastet werden. Wie wirkt sich das auf die einzelnen Frequenzen aus? b) Welche Datenrate entsteht, wenn man jeden Abtastwert mit 8 bit speichert (Stereoübertragung)?

f_1 (500 Hz) kann problemlos abgetastet werden
 f_2 (1500 Hz) ist genau die Hälfte der Abtastrate, das Signal kann also nicht mehr richtig abgetastet werden (Nullausgänge werden nicht mehr richtig abgetastet werden!)
 f_3 (2000 Hz) ist größer als $f_a/2$. Dadurch wird die Frequenz falsch interpretiert und sie wird tiefer.

Datenrate = $3000 \text{ Hz} \cdot 8 \text{ Bit} \cdot 2 = 48000 \text{ Bit/s}$

Abtastrate Anzahl Bits pro Sample Anzahl Kanäle

3.2 Was versteht man unter der Dynamik eines Audiosignals? Welche Faktoren beeinflussen die Dynamik bei der Aufzeichnung eines Audiosignals auf dem Rechner und was ist das SNR?

Die Dynamik eines Audiosignals ist ~~das~~ die Bezeichnung für die verschiedenen Amplitudenwerte, die dargestellt werden, zu ungenau!

Auf dem Rechner beeinflusst die Bitzahl des Audiosignals die Dynamik (Faustregel: Jedes Bit erhöht die Dynamik um 6dB). Ein 16Bit Audiosignal hat damit ~~ein~~ eine Dynamik von 96dB. (Bei 65536 möglichen Amplitudenwerten).

Ein Werkzeug um die Dynamik zu begrenzen dient beispielsweise ein Kompressor. Dieser kann laute Amplituden in einem bestimmten Verhältnis leiser machen, wodurch das Gesamtsignal lauter gemacht werden kann, ohne dass Verzerrungen entstehen.

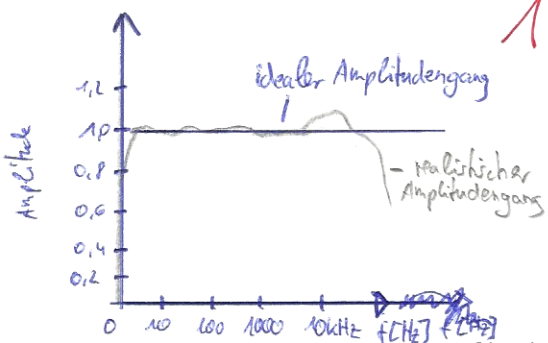
SNR: Signal to Noise Ratio → Das Verhältnis zwischen dem lautest möglichen Nutzsignal und dem Grundrauschen

3.3 Erkläre, warum in der Audiotechnik die Frequenzachse in Abbildungen meist logarithmisch dargestellt wird!

Grundlegend: Für den Menschen sind die oberen 10kHz (10kHz - 20kHz) des menschlichen Hörbereichs weniger wichtig, als die unteren (0 - 10kHz). Das liegt daran, dass eine Verdoppelung der Frequenz einer Oktave entspricht. Damit bilden 10-20kHz lediglich eine Oktave ab. Im Bereich darunter ~~kommen wir~~ sind viel mehr Oktaven untergebracht (Bsp.: 50Hz - 100Hz 100Hz - 200Hz 200Hz - 400Hz / usw.)

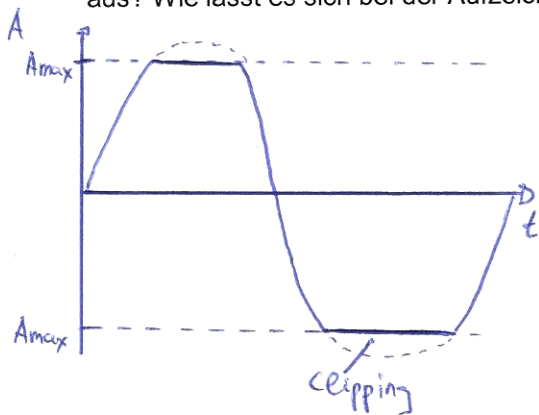
Die logarithmische Darstellung entspricht also dem menschlichen Hören und bildet unwichtigere Frequenzen kleiner ab, als sie tatsächlich in der Physik vorkommen.

3.4 Du kaufst ein Mikrofon und bekommst dazu ein Datenblatt mit dem Amplitudengang (siehe z.B. Aufgabe 2.1). Was kannst du dem Amplitudengang entnehmen und wie müsste er im Idealfall aussehen (Skizze)? Wieso wird auf die Angabe des Phasengangs hingegen fast immer verzichtet?



Dem Amplitudengang ist zu entnehmen, welche Frequenzen vom Mikrofon wie gut übertragen werden. Im Idealfall wäre der Amplitudengang schwingelfrei, denn würde jede Frequenz gleichlaut übertragen werden. In der Realität ist das technisch jedoch nicht möglich. Tatsächliche Mikrofone betonen jedoch gewisse wichtige Frequenzen stärker und können damit für einen gacächteren, brillanten Klang sorgen. Gewisse Erhöhungen, bzw. Abweichungen im Amplitudengang kann jedoch auch audioproduktionstechnischen Wünschen entsprechen (z.B. mehr Brillanz) → siehe Blatt 3

3.5 Was versteht man unter Clipping (Skizze!) und wie wirkt es sich auf die Klangqualität eines Audiosignals aus? Wie lässt es sich bei der Aufzeichnung eines analogen Audiosignals mit dem Rechner vermeiden?

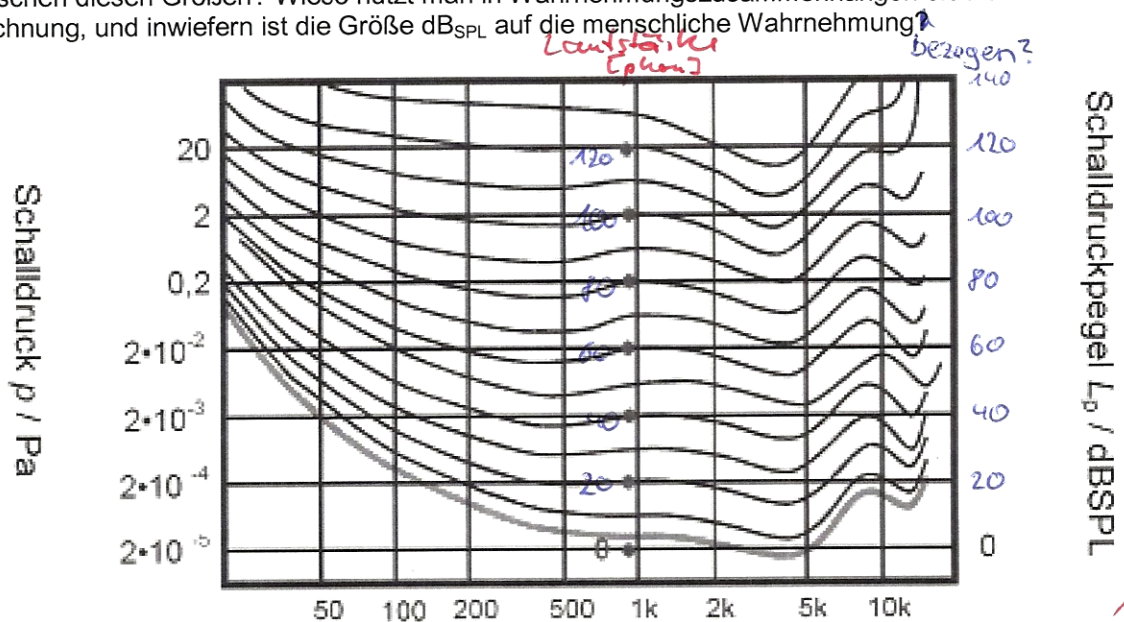


Wenn ein Audiosignal lauter ist, als die mögliche Dynamik des Audiosystems, dann werden alle Eingangssignale, die den Höchstwert (Skizze A_{max}) überschreiten abgeschnitten und auf den Höchstwert gesetzt. Es entstehen Verzerrungen, die sich Obertöne, die sich in Verzerrungen äußern.

Zur Vermeidung bei der Aufnahme kann die Dynamik des Aufnahmesystems erhöht werden (z.B. von 16Bit auf 24Bit) oder Limiter wird vor die Aufzeichnung gesetzt der zu hohe Eingangspegel herunterregelt.

Aufgabe 4 (5 Punkte) **Audiotechnik (Psychoakustik, Klangerzeugung):**

4.1 Vervollständige das Diagramm! Was ist der Zusammenhang zwischen Schalldruck/Schalldruckpegel auf der einen Seite und Lautstärke auf der anderen, und worin besteht der fundamentale Unterschied zwischen diesen Größen? Wieso nutzt man in Wahrnehmungszusammenhängen oft die Dezibel-Rechnung, und inwiefern ist die Größe dB_{SPL} auf die menschliche Wahrnehmung ^{bezo-gen?}



Der Schalldruckpegel drückt die den physikalischen Schalldruck in besser handhabbarer Weise aus. Und zwar in dB_{SPL}, wobei der Referenzwert für dB_{SPL} bei $2 \cdot 10^{-5}$ Pascal liegt. Dieser Wert wurde ausgewählt, da dieser Druck bei der Frequenz 1kHz ungefähr dem menschlichen Hörschwellenwert entspricht. Der Schalldruckpegel wird logarithmisch ausgedrückt, der Schalldruck linear. Das ist auch der Grund, wieso dB_{SPL} häufiger genutzt wird, als der rein Schalldruck. Dieser deckt einen riesigen Wertebereich ab.

4.2 Welche grundlegenden Klangtypen haben wir kennengelernt? Wie unterscheiden sich diese in ihrem zeitlichen und frequenzmäßigen Eigenschaften? Welche von diesen Klangtypen finden sich im Geräusch eines Staubsaugers wieder?

Impuls: Ein ^{sehr} kurzer Klang, in dem kurz alle Frequenzen enthalten sind

Rauschen: Ein stetiger Klang in dem alle Frequenzen enthalten sind.

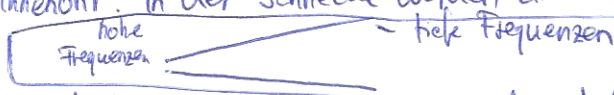
~~harmonischer Klang~~ Impuls Rauschen

4.3 Beschreibe den Aufbau des menschlichen Ohrs und die Funktion der einzelnen Teile! Wie erfolgt im Gehör die Frequenzanalyse? Welche Eigenschaften des Gehörs werden zur Datenkompression genutzt?

Außenohr: Ohrmuschel, die Furchen dienen der vertikalen Richtungsorientierung

Mittelohr: Die Gehörknöchelchen übertragen den vom Trommelfell wahrgenommenen Klang ans Innenohr. Schutzfunktion: Die Knöchelchen können sich versteifen.

Innenohr: In der Schnecke werden die Frequenzen erfasst und ~~aus~~ ausgewertet



Die Frequenzen in der Schnecke werden durch kleine Härchen, die angeregt werden, erkannt

Zur Datenkompression wird der Umstand benutzt, dass nicht jede Frequenz

... siehe Blatt 3!

$$1.1) \text{ NR: } f_1 = \frac{1}{500 \text{ Hz}} = 0,002 \text{ s} \hat{=} 2 \text{ ms}$$

$$f_2 = \frac{1}{1500 \text{ Hz}} \hat{=} 0,6 \text{ ms}$$

$$f_3 = \frac{1}{2000 \text{ Hz}} \hat{=} 0,5 \text{ ms}$$

$$1.2) t = 0,25 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} x(0,25 \text{ ms}) &= 1,5 \text{ V} \cdot \sin(2\pi \cdot 500 \text{ Hz} \cdot 0,25 \text{ ms} + 0) \\ &+ 1,5 \text{ V} \cdot \sin(2\pi \cdot 1500 \text{ Hz} \cdot 0,25 \text{ ms} + \frac{2\pi}{2}) \\ &+ 0,5 \text{ V} \cdot \sin(2\pi \cdot 2000 \text{ Hz} \cdot 0,25 \text{ ms} - \pi) \\ &= 1,5 \text{ V} \cdot 0,7071 + \\ &1,5 \text{ V} \cdot (-0,7071) + \\ &0,5 \text{ V} \cdot 0 = 0 \end{aligned}$$

1.3) Berechnung der Effektivwerte:

$$A_{1\text{eff}} = \frac{\hat{A}_1}{\sqrt{2}} = \frac{1,5 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 1,06066 \text{ V}$$

$$A_{2\text{eff}} = \frac{1,5 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 1,06066 \text{ V}$$

$$A_{3\text{eff}} = \frac{0,5 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 0,35355 \text{ V}$$

2.1) Für die Berechnungen werden die vorher ausgerechnete Effektivwerte verwendet:

$$500 \text{ Hz: } A_{1\text{neu}} = 1,06066 \text{ V} \cdot \cancel{0,5} \cdot 0,02 = 0,02121 \text{ V}$$

$$1500 \text{ Hz: } A_{2\text{neu}} = 1,06066 \text{ V} \cdot 0,43 = 0,456 \text{ V}$$

$$2000 \text{ Hz: } A_{3\text{neu}} = 0,35355 \text{ V} \cdot 0,92 = 0,3253 \text{ V}$$

Siehe nächstes Blatt!

Fortsetzung 2.1) dB_v Werte berechnen:

Referenzwert bei
dB_v = 1V

$$500 \text{ Hz: } \text{dB}_v = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,02121V}{1V} \right)$$

$$= -33,47 \text{ dB}_v$$

$$1500 \text{ Hz: } \text{dB}_v = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,456V}{1V} \right)$$

$$= -6,92 \text{ dB}_v$$

$$2000 \text{ Hz: } \text{dB}_v = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,3253V}{1V} \right)$$

$$= -9,75 \text{ dB}_v$$

Phasenberechnung:

500 Hz:

$$\varphi_{\text{neu}} = 0 + (-120^\circ) = -120^\circ \quad (\hat{=} 240^\circ)$$

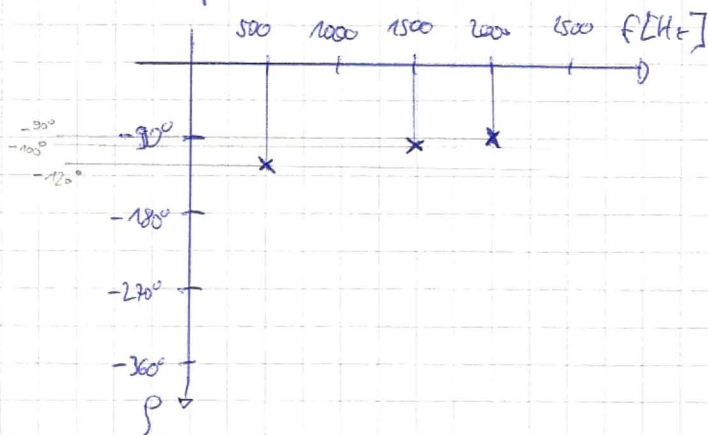
1500 Hz:

$$\varphi_{\text{neu}} = \frac{9\pi}{2} + (-190^\circ) = 90^\circ - 190^\circ = -100^\circ \quad (\hat{=} 260^\circ)$$

2000 Hz

$$\varphi_{\text{neu}} = \pi + (-270^\circ) = 180^\circ - 270^\circ = -90^\circ \quad (\hat{=} 270^\circ)$$

2.2) Phasenspektrum



2.2) 2000 Hz $\hat{=} 2 \text{ kHz}$

$$T_0 = 0,5 \text{ ms}$$

$$\frac{\Delta \varphi}{2\pi} = \frac{\Delta t}{T_0}$$

$$\text{gesucht: } \Delta t = T_0 \cdot \frac{\Delta \varphi}{2\pi}$$

$$= 0,5 \text{ ms} \cdot \frac{-190}{360} = 0,5 \text{ ms} \cdot (-0,527)$$

$$= |-0,2635 \text{ ms}| \hat{=} 0,264 \text{ ms} = \Delta t$$

2.2) Zusatzaufgabe:

Die Frequenzen brauchen alle NICHT gleich viel Zeit, um durch das Filter zu laufen.

Da der Phasengang, wie in der Abbildung zu sehen, eine leichte Kurve hat und nicht linear ist.

Weitergehend sind wir über das Phasenverhalten bei Frequenzen, die höher als 3 kHz sind nicht informiert!

3.4) Der Phasengang ist bei der Benutzung eines Mikrofons eher unrichtig, da die ~~Weg~~ ^{Weg} bei Mikrofonaufnahmen in der Regel eher linear sind.

Wichtig wird der Phasengang bei Langstrecken-Übertragungen.

* ~~Übertragung~~
Übertragungs-

4.2) harmonischer Klang: Ein ~~stetig~~ Klang, der auf einer Grundfrequenz und dessen Obertönen basiert.
(Obertöne: ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz)
(Beispielsweise ein Musikinstrument wie eine Gitarre)

Staubsauger:

• harmonisch: Der Körper des Staubsaugers kann eine Grundfrequenz besitzen, die bei Betrieb mit einigen Obertönen mitschwingt

~~Impuls~~ Impuls: Das Geräusch, wenn zum Beispiel ein Stein aufgesogen wird.
kein, es ist der Motor!

Rauschen: Das Geräusch des ~~saugend~~ Luftansaugens ist ein Rauschen

4.3) ... einzeln ~~da~~ ~~von~~ von der Schnecke interpretiert wird, sondern auch umliegende Frequenzbereiche angeregt werden (Verdeckung).

Außerdem kann nicht zu jedem Zeitpunkt jede Frequenz ~~genauso~~ vom Ohr erkannt werden. Nachdem ein Bereich angeregt wurde, wird eine gewisse Zeit benötigt, um wieder neu angeregt zu werden. (zeitliche Verdeckung).