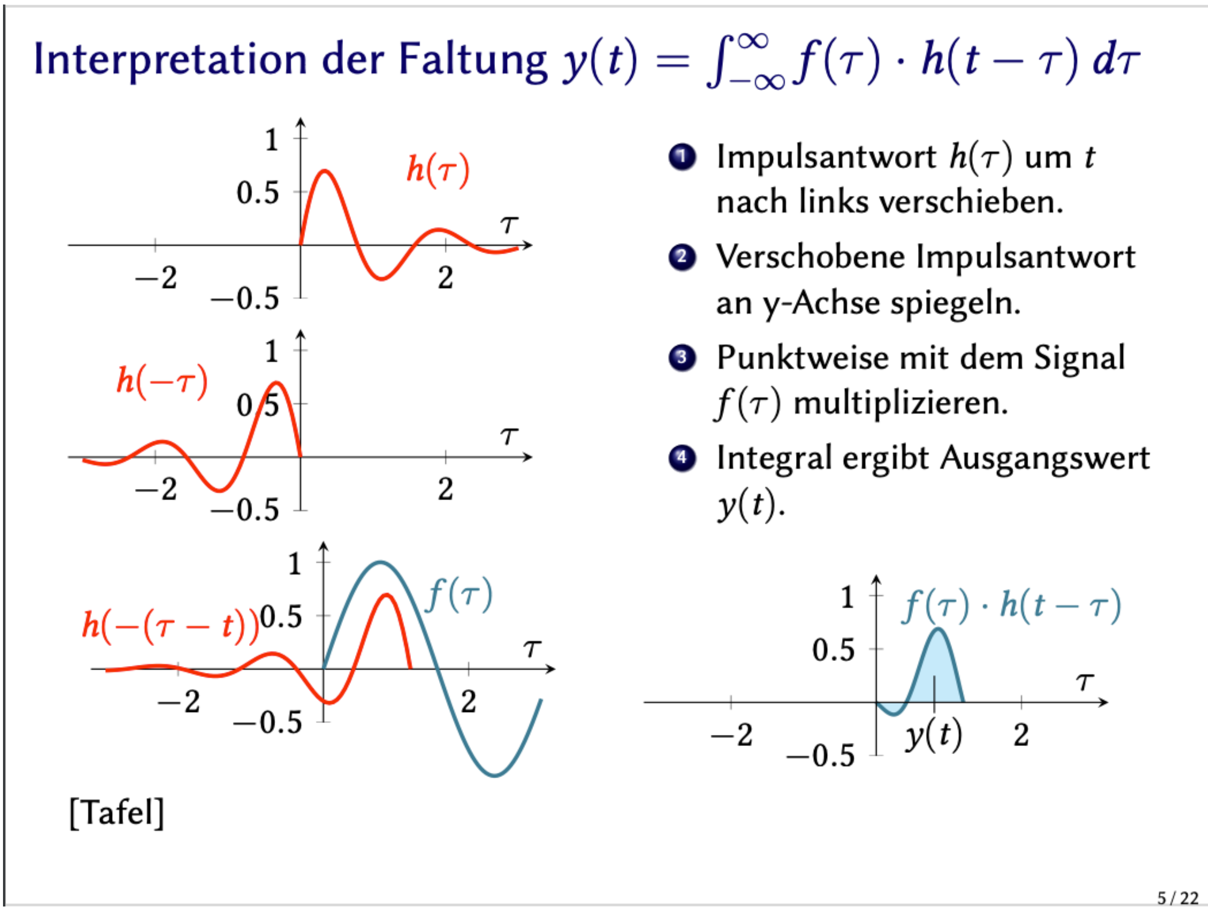
#uni/semester3/SSS/fragenkatalog4

1. Wie wirkt die Differentiation auf das Spektrum eines Signals?
   → Die Differenziation eines Wobbelsignals zeigt sehr deutlich die lineare Zunahme der Amplituden mit der Frequenz. Die Differenziation besitzt also Hochpass-Eigenschaften, d. h. je höher die Frequenz, desto besser die „Durchlässigkeit".
   → Eine Differenziation im Zeitbereich entspricht also einer Multiplikation mit ω = 2πf im Frequenzbereich.
   → Das Spektrum bleibt gleich; es gibt nur einen zusätzlichen Vorfaktor der zu einer Phasenverschiebung führt

2. Wie funktioniert die Faltung, um das Ausgangssignal eines Systems zur Zeit t zu berechnen?



   → Impulsantwort h(T) um t nach links verschieben- Verschobene Implusantwort an y-Achse spiegeln- Punktweise mit dem Signal f(T) multiplizieren - Integral ergibt Ausgangswert y(T)
   y(t) = integral [-inf bis +inf] f(t) * h(t-T) dT
   → h(t) * f(t)

3. Wie sieht der Amplitudengang eines Differenzierers aus?

→ Eine Gerade mit der Steigung 1

→ Gerade mit Steigung 1, jedes Signal wird proportional zu seiner Freq. verstärkt.

4. Wie wirkt ein lineares System auf das Spektrum eines Signals?

   → Die enthaltenen Frequenzen werden nicht verändert, es kommen keine neuen hinzu.

   → Definition: Wird auf den Eingang (oder die Eingänge) eines Systems ein sinusförmiges Singal beliebiger Freq. gegeben und erscheint am Ausgang lediglich ein sinusförmiges Signal genau dieser Freq. so ist der Prozess linear, andernfalls nichtlinear.

5. Was ist ein Bode-Diagramm?

   Bode-Diagramm: Darstellung des Frequenzgangs anhand der Größen $\angle H(\omega)$ und $20 \log_{10} |H(\omega)|$ in Abhängigkeit von der logarithmierten Frequenz.

   → Zwei Diagramme: Amplitudengang, PhasengangDarstellung des Frequenzganges anhand der Größen < H(w) und 20log_10 |H(w)|in abhängigkeit von der logarithmierten Frequenz

   → Unter Bode-Diagramm versteht man eine Darstellung von zwei Funktionsgraphen: Ein Graph zeigt den Betrag (Amplitudenverstärkung), der andere das Argument (die Phasenverschiebung) einer komplexwertigen Funktion in Abhängigkeit von der Frequenz.

6. Wie verändert der Phasengang eines linearen Systems die Phase des Eingangssignals?

   → Der Phasengang ist meist negativ. Der Ausgang folgt verzögert dem Eingang

   → Die Sinusschwingung des Ausgangssignals darf sich jedoch in Amplitude und Phase ändern. Die Amplitude kann also größer werden (Verstärkung) oder kleiner (Dämpfung)

7. Wievielen Dezibel entspricht ein Verstärkungsfaktor von 100?

   → 40 dB

40 dB.

Formel: G [dB] = 20 log (Verstärkungsfaktor)

generell aber: G [dB] = 20 log (x_{max}/x_{min})

8. Was ist Filterung?
   ➜ Das Filterverhalten dagegen beschreibt einen Prozess im Frequenzbereich. So lässt ein „Tiefpass" die tiefen Frequenzen passieren, die hohen werden weitgehend gesperrt usw. Der Typ des Filters gibt durchweg an, welcher Bereich „ausgefiltert" wird.
   ➜ Filterung ist ein linearer Prozess
   ➜ Die Veränderung oder Ausschaltung einzelner Frequenzkomponenten eines Signals
   ➜ Bei vielen Anwendungen möchte man die relativen Amplituden der Frequenzkomponenten in einem Signal verändern oder einige ganz ausschalten.

9. Welche Eigenschaften haben ideale frequenzselektive Filter im Zeitbereich?
   ➜ Dieser Typ ist quasi ideal, da sein Phasengang linear, seine Flankensteilheit lediglich durch das Unschärfe-Prinzip begrenzt und der Amplituden- verlauf im Durchlassbereich konstant ist.
   ➜ Nichtkausal, Unendlich große Impulsantwort, Überschwingen, Oszillierendes Einschwingen
   ➜ Die Systemantwort übersteigt kurzzeitig die Sprungfunktion und schwingt sich danach oszillierend ein.
   ➜ Ideale frequenzselektive Filter sind im Zeitbereich nichtkausal und haben eine unendlich große Impulsantwort (SincFunktion)

10. Wie muss man den Frequenzgang eines Filters im Spektralraum verändern, damit sich die Impulsantwort in der Zeitdomäne verschiebt?
    ➜ Durch Multiplikation mit einer komplexen Zahl mit Betrag 1 ->linearer Phasengang, Translationseigenschaft
    ➜ d.h. durch eine Multiplikation des Frequenzgangs mit einem Phasenfaktor e −iωa erreicht man eine Verschiebung der Impulsantwort. Verschiebt man die Impulsantwort so weit in in die Zukunft, dass der Teil links vom Ursprung vernachlässigbar wird, erhält man näherungsweise einen kausalen Filter mit (fast) idealen frequenzselektiven Eigenschaen.

11. Was ist das Faltungsintegral?
    ➜ Es gilt: Kennt man die Antwort des Systems auf jeden zeitverschobenen Dirac-Impuls, so

weiß man die Systemantwort auf jedes beliebige Signaly(t) = Integral[-unendlich bis unendlich] f(Tau) * h(t - Tau) d TauEingangssignal * gespiegelte Impulsantwort

➜ Das Faltungsintegral gibt an, wie für ein beliebiges Eingangssignal das zugehörige Ausgangssignal eines linearen Systems mithilfe der Impulsantwort berechnet werden kann.

➜ Die Systemantwort auf ein beliebiges Eingangssignal x(t).

Die Zerlegung in Dirac-Impulse als Elementarsignale ist also eine Alternative zur Zerlegung in SinusSchwingungen in der Fouriertransformation.

Es gilt genauso: kennt man die Antwort des Systems auf jeden zeitverschobenen Dirac-Impuls, so weiß man die Systemantwort auf jedes beliebige Signal.

12. Wie kann man einen Vokal in einem Sprachsignal erkennen?

➜ Ein Vokal entpuppt sich als ein fastperiodischer Abschnitt eines „Wortsignals". Er besitzt also ebenfalls ein „linienähnliches" Spektrum.

➜ Sieht aus wie ein fast periodisches Signal.

➜ Um eine Folge von Vokalen erkennen zu können, benötigt man eine lokale Form der Fourieranalyse innerhalb eines gleitenden Zeitfensters

13. Was ist ein Phonem?

- **Phon** (auch: Laut, Sprachlaut): die kleinste unterscheidbare „Lauteinheit im Lautkontinuum" - ein minimales Schallsegment, das noch als selbständig wahrgenommen wird.
- **Phoneme**: die Menge aller Phone, die in einer gesprochenen Sprache die gleiche bedeutungsunterscheidende Funktion haben (z.B. gerolltes "r" und Rachen-"r").

➜ Die Menge aller Lauteinheiten, die in einer Sprache die gleiche bedeutungsunterscheidende Funktion haben.

14. Wie funktioniert die Kurzzeit-Fouriertransformation?

➜ Das Signal wird in einer Folge überlappender Fenster zerlegt, die mit einer geeigneten Fensterfunktion multipliziert werden. In jedem Fenster wird eine lokale Fouriertransformation durchgeführt

➜ Signal wird in eine Folge überlappender Fenster zerlegt. Natürlich müssen die Fenster dicht genug aneinander liegen, um alle zeitlichen Veränderungen des Spektrums mitzubekommen. Fourieranalyse innerhalb des Fensters.

15. Was muss man bei der Wahl des Fensters bei der Kurzzeit-Fouriertransformation beachten?

➡ Wird ein kurzes Zeitfenster gewählt, lässt sich relativ genau zeitlich lokalisieren, wann ein relativ breites Band benachbarter Frequenzen wahrnehmbar ist.Wird ein längeres Zeitfenster gewählt, lässt sich relativ ungenau zeitlich lokalisieren, wann ein relativ schmales Band benachbarter Frequenzen wahrnehmbar war.

16. Wie funktioniert ein Nächste-Nachbar-Klassifikator?
   ➡ Das zu klassifizierende Signal wird mit den jeweiligen Prototypen der Klasse verglichen. Der Klassifikator entscheidet sich für die Klasse, zu deren Prototyp das Signal am ähnlichsten ist.
   ➡ Für jedes zu erkennende Wort wird ein Referenzspektrum (Prototyp) gespeichert. Der momentane Sprachinput wird mit den Referenzspektren verglichen. Das ähnlichste Referenzspektrum wird als die wahrscheinlichste Wortbedeutung interpretiert.

17. Wie unterscheiden sich Korrelation und Kovarianz als Ähnlichkeitsmaß?
   ➡ Korrelation: Es stellt mithilfe des Korrelationsfaktors die gemeinsame Beziehung (Korrelation) bzw. die Ähnlichkeit zwischen – hier – zwei Spektren fest. Die Zahlenangabe von z. B. 0,74 bedeutet quasi eine Ähnlichkeit von 74 %, worauf immer sich diese auch beziehen mag.
   ➡ Allgemein gilt: die Korrelation ist umso höher, je größer die Mittelwerte der Signale sind, unabhängig davon, ob sie zusätzlich kovariieren oder nicht, d.h. Signale mit hohem Mittelwert sind immer "ähnlicher" bzw. stärker korreliert. Dieser Nachteil wird vermieden, wenn bei beiden Signalen vorher der Mittelwert abgezogen wird(Kovarianz).
   ➡ Die Ähnlichkeit hängt bei der Korrelation im Gegensatz zur Kovarianz vom Mittelwert der Signale ab. Je höher der Mittelwert, desto höher die Ähnlichkeit

   17b. Welche Unterschiede bestehen zwischen dem Korrelationskoeffizient und der Kovarianz als Ähnlichkeitsmaß?
   ➡ Beim Korrelationskoeffizienten wird zusätzlich durch die Standardabweichung beider Signale geteilt, um ein Ähnlichkeitsmaß zu erhalten.

18. Warum verwendet man meist nichtideale Filter mit welligen Durchlass- und Sperrbereichen und einem Übergangsbereich statt idealen frequenzselektiven Filtern?
   ➡ Um Überschwinger und Oszillation zu vermeiden und um eine endliche kausale Impulsantwort zu erhalten
   ➡ Ideale Filter sind extrem scharf im Frequenzbereich lokalisiert. Nach der Unschärferelation führt dies zu einer weiträiumigen "Verschmierung" im Zeitbereich.

19. Was sind Formanten?

➡ Die „Betonung“ bzw. die resonanzartige Verstärkung verschiedener Frequenzbereiche erzeugt Formanten.

➡ Der Hohlraumresonator des Mund- und Rachenraumes verstärkt Frequenzen, bei denen sich in seinem Inneren stehende Wellen bilden können. Die Frequenzbereiche, bei denen die relative Verstärkung am höchsten ist bezeichnet man als Formanten

➡ Diejenigen Frequenzbereiche, bei denen die relative Verstärkung am höchsten ist, bezeichnet man als Formanten. Die ersten beiden Formanten f1 und f2 charakterisieren die Vokale, der dritte und vierte Formant f3 und f4 sind für das Sprachverständnis nicht mehr wesentlich.

20. Wie wird die momentane Frequenz eines akustischen Eingangssignals in der Basilarmembran des Innenohrs codiert?

➡ Aufgrund ihrer variierenden Breite und Dicke hat die Basilarmembran ein Erregungsmaximum, dessen Ort von der Frequenz abhängt.-> Frequenz wird also durch den Ort codiert.

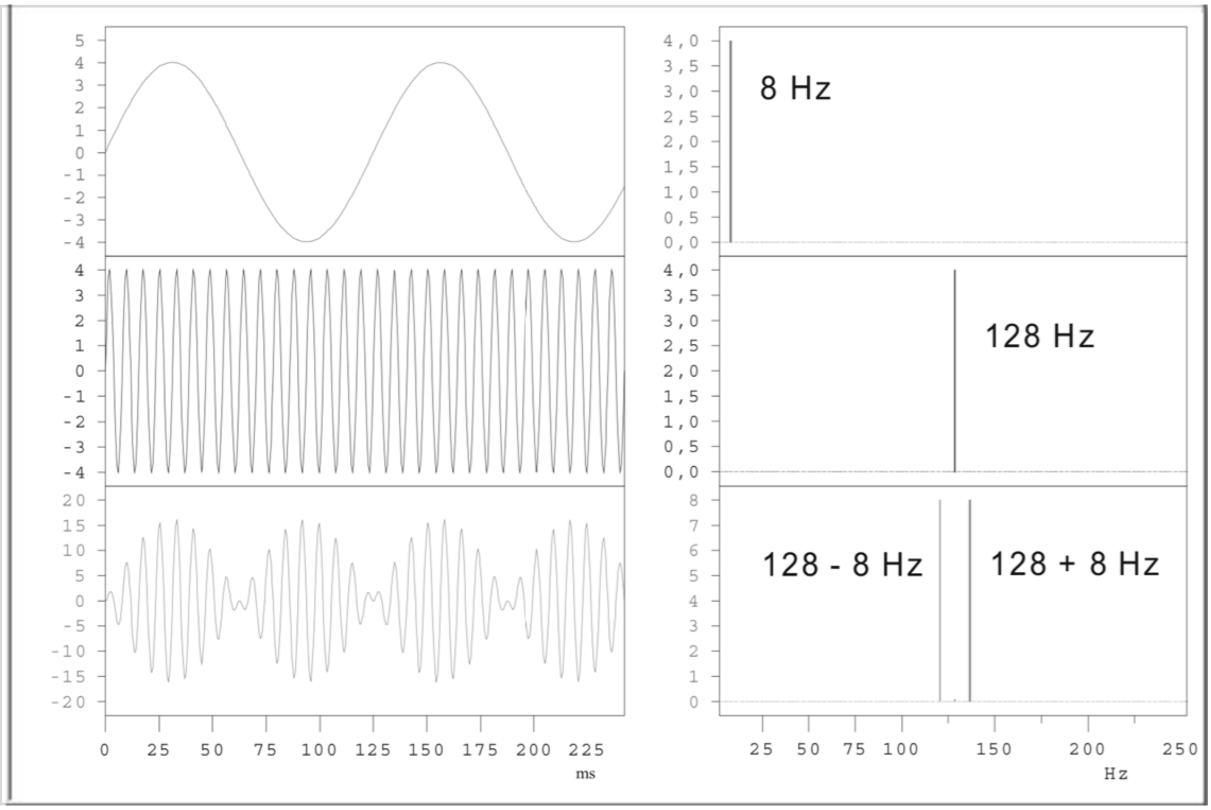
➡ Die Basilarmembran schwingt nicht gleichmäßig über ihre gesamte Länge, sondern zeigt ein ausgeprägtes, frequenzabhängiges Maximum. Der Ort dieses Maximums wird durch die variierende Dicke und Breite der Membran festgelegt, so dass an jeder Stelle eine unterschiedliche Frequenz bevorzugt wird.

21. Was ist eine Schwebung?

➡ Eine Schwebung lässt sich also auch durch Multiplikation einer Sinus-Schwingung niedriger Frequenz mit einer Sinus-Schwingung höherer Frequenz erzeugen. Die Schwebungsfrequenzen liegen spiegelsymmetrisch zur höheren Frequenz.

➡ Beachten sie auch, dass die „Einhüllende“ der Schwebung dem sinusförmigen Verlauf der halben Differenzfrequenz entspricht.

➡ Eine periodische Verstärkung und Abschwächung einer Sinusschwingung



➡ Eine Schwebung entsteht durch Überlagerung zweier Sinusschwingungen annähernd gleicher Frequenz. Sie äußert sich in einer periodischen Verstärkung und Abschwächung mit der Schwebungsfrequenz $\omega S = 1/2|\omega 1 - \omega 2|$.

> Eine *Schwebung* entsteht durch Überlagerung (Addition) zweier Sinus–Schwingung annähernd gleicher Frequenz (siehe Abb. 123). Sie äußert sich in einer periodischen Verstärkung und Abschwächung mit der *Schwebungsfrequenz* $f_S = |f_1 - f_2|/2$. Bei der Schwebung handelt es sich um eine typische *Interferenzerscheinung*, bei der die maximale Verstärkung bzw. Abschwächung durch gleiche bzw. um π verschobene Phasenlage der beiden Sinus–Schwingungen entsteht.

➡ Eine Schwebung entsteht durch die Überlagerung zweier Sinus-Schwingungen fast gleicher Frequenz. **Die geringe Frequenzdifferenz wirkt sich zeitweise wie eine Phasenverschiebung aus.**

22. Ein System liefert für eine Sinusschwingung als Eingangssignal eine doppelt so große Sinusschwingung gleicher Frequenz als Ausgangssignal, das um 10 ms verzögert ist. Um welche Art von System handelt es sich?
   ➡ Lineares System.
   ➡ Um ein lineares und kausales System mit Speicher.

23. Was für einen Charakter besitzen Konsonanten?

➜ Während also Vokale fastperiodischen Charakter besitzen, gilt dies nicht für Konsonanten. Sie ähneln Geräuschen, benutzen z. T. das Rauschen des Luftstromes – sprechen Sie einmal lange „ch“ – oder stellen explosionsartige Laute dar wie „b“, „p“, „k“, „d“, „t“. Demnach besitzen sie ein kontinuierliches Spektrum ohne fastperiodische Anteile.

24. Wie lassen sich Vokale und Konsonanten unterscheiden?
➜ Im Zeitbereich sieht man das ziemlich gut (Abbildung 71) aber im Frequenzbereich liefert kaum verwertbare Information. Aus diesem Grund muss eine Wasserfall-Darstellung bzw. Eine Frequenz-Zeit-Landschaft angefertigt werden (Abbildung 72).

25. Was sind Resonanzfrequenzen?
➜ Die Frequenzen, bei denen sie dann eine extreme Auslenkung – in Form stehender sinusförmiger Wellen – aufweist, werden Resonanzfrequenzen genannt.

26. Was ist Frequenz-Dispersion?
➜ Die Druckschwankungen rufen nun in dieser Flüssigkeit eine Wanderwelle hervor, die zum Ende der Schnecke hin „zerfließt“. Dies geschieht auf besondere Weise und wird Frequenz–Dispersion genannt: Hohe Frequenzanteile der Druckschwankung ordnen sich in der Welle an anderer Stelle an als niedrige Frequenzanteile. So sind also in der Schnecke ganz bestimmte Orte mit ihren Sinneshärchen für tiefe, mittlere und hohe Frequenzen zuständig.

27. Unterschied Amplituden- und Leistungsspektrum?
➜ In Abb. 82 ist deutlich der Unterschied zwischen dem Amplituden- und dem Leistungsspektrum erkennbar. Durch die Quadrierung der Amplituden beim Leistungsspektrum werden die charakteristischen Frequenzen – von den Vokalen stammend – mit ihren großen Amplituden überproportional verstärkt, die nicht so relevanten spektralen Anteile der Konsonanten überproportional unterdrückt. Eine (geringfügige) Verbesserung der Spracherkennung durch die Korrelation von Leistungsspektren wäre deshalb zu überprüfen.

28. Wie wirkt ein nicht-lineares System auf das Spektrum eines Signals?
➜ Demnach erzeugen nichtlineare Kennlinien Verformungen, die im Frequenzbereich auch zusätzliche Frequenzen, also nichtlineare Verzerrungen hervorrufen.

29. Wie werden Sinus-Schwingungen richtig addiert?
➜ Sinus–Schwingungen werden demnach nur richtig addiert, falls man die jeweiligen Momentanwerte addiert! Anders ausgedrückt: Bei der Addition von Sinus- Schwingungen wird auch die Phasenlage der einzelnen Sinus–Schwingungen zueinander automatisch

berücksichtigt. Richtig addieren lassen sich Sinus-Schwingungen also nur, falls – aus der Sicht des Frequenzbereichs – Amplituden- und Phasenspektrum bekannt sind.

30. Was ist ein Kammfilter?
   ➡ Ein Filter, welches – wie ein Kamm – im gleichen Abstand Lücken aufweist, wird Kammfilter genannt. Bei diesem Digitalen Kammfilter hätten die Lücken den Abstand 64 Hz.

31. Welche Eigenschaften hat die Sprungantwort eines idealen Filters?
   ➡ Die Sprungantwort hat die Form einer Sinc-Function, d.h. ein Sinus, dessen Amplitude nach beiden Seiten hin abfällt.

32. Ein System liefert für eine Sinusschwingung als Eingangssignal zwei Sinusschwingungen. Davon eine mit der gleichen Frequenz, die zweite mit einer höheren Frequenz und einer Verzögerung von 0.5s.Um welche art von System handelt es sich?
   ➡ Um ein kausales nichtlineares System mit Speicher

33. Was ist Faltung?
   ➡ Die Faltung im Frequenzbereich als Ergebnis einer Multiplikation im Zeitbereich
   ➡ Die symmetrische Spiegelung des NF-Spektrums an jeder Frequenz des δ–Impulses wird Faltung genannt.
   ➡ Eine Multiplikation im Zeitbereich ergibt eine Faltung im Frequenzbereich. Aus Symmetriegründen muss gelten: Eine Faltung im Zeitbereich ergibt eine Multiplikation im Frequenzbereich.
   ➡ Die Wirkung des Systems auf ein Eingangssignal wird durch die sogenannte **Faltung** des Eingangssignals mit der Impulsantwort beschrieben:

34. Welche Eigenschaft hat ein proportionalsystem NICHT?
   ➡ Bei einem Proportionalsystem wird eine Sinusschwingung als Eingangssignal proportional zur Amplitude phasenverschoben.

35. Was ist die Sprunganwort?
   ➡ Die Antwort eines Systems g(t) auf die Sprungfunktion σ(t) als Eingangsgröße heißt Sprungantwort oder Übergangsfunktion des Systems.

36. Was bedeutet ein Korrelationskoeffizient zweier Signale nahe am Wert 1?
   ➡ Beide Signale sind zueinander sehr ähnlich

37. Warum muss man zur Messung der Systemantwort warten, bis das System einen

stationären Zustand erreicht hat?

➡ Weil die durch den Einschaltvorgang angeregten Eigenschwingungen des Systems erst abklingen müssen

38. Wie misst man die Ähnlichkeit zweier Signale NICHT?

➡ Durch lineare Regression

39. Was ist ein kausales System?

➡ Ein System, bei dem der Output nur von momentanen und vergangenen Inputs abhängt

40. Wie kann man die Systemantwort auf ein Eingangssignal NICHT berechnen?

➡ Durch Faltung des Spektrums mit dem Frequenzgang

41. Welche Aussage über das Wobbelsignal ist falsch?

➡ Theoretisch sollte die Hüllkurve des Ausgangssignals bei einem Wobbelsignal als Input genau den Phasengang des Systems wiedergeben richtig wäre Amplitudengang

42. Ein zeitdiskreter Filter besteht aus der Differenz des momentanen Inputwertes und des Inputwertes des vergangenen Zeitschritts. Um was für eine Art von Filter handelt es sich?

➡ Um einen Hochpass

43. Wie vermeidet man die Welligkeit im Durchlassbereich eines genährten digitalen Tiefpasses?

➡ Durch Multiplikation der Impulsantwort mit einer Fensterfunktion

Kapitel 4:

Ein Vokal entpuppt sich als ein ***fastperiodischer*** *Abschnitt eines „Wortsignals". Er besitzt also ebenfalls ein „linienähnliches" Spektrum.*

*Je länger der Vokal gesprochen wird, desto klarer kann er wahrgenommen werden. Desto kürzer er ausfällt, desto unverständlicher muss er ausfallen (****UP****!). Ein extrem kurzer „Vokal" wäre nichts anderes als ein Geräusch.*

Die besondere Betonung bestimmter Worte durch erfahrene Vortragende dient also mit dazu bei, die Verständlichkeit zu erhöhen. Betont werden die Vokale.

Aufgrund dieser Tatsache ist beispielsweise die menschliche Sprechgeschwindigkeit – und damit die Informationsgeschwindigkeit – begrenzt. Die Sprache ist eine schnelle Folge aus Vokalen und Konsonanten. Je kürzer aber die Vokale dauern, desto unverständlicher werden sie und damit die gesamte Sprache.

Jeder Ton, Klang bzw. jeder Vokal besitzt einige ***charakteristische*** *Frequenzen, die – ähnlich wie Fingerabdrücke – nahezu unverwechselbar sind.*

Akustische Mustererkennung geschieht in der Natur wie in der Technik überwiegend im Frequenzbereich.

Die Frequenzmuster von fastperiodischen und quasiperiodischen Signalen – z. B. Vokalen – sind besonders einfach, da sie lediglich aus mehreren „verschmierten" Linien ("peaks") verschiedener Höhe bestehen.

Frequenz–Zeit–Landschaften von Tönen, Klängen und Vokalen ähneln in ihrem Aussehen in etwa Nagelbrettern, in die Nägel verschieden hoch hineingetrieben worden sind.

Definition:
Ein (mechanischer) *Oszillator* ist ein schwingungsfähiges Gebilde, welches – kurz angestoßen – mit der ihm eigenen Frequenz (Eigenfrequenz) schwingt. Die Schwingung kann aufrecht gehalten werden, falls ihm ständig in geeigneter Form Energie zugeführt wird. Dies ist insbesondere dann der Fall, falls im Spektrum des Energie zuführenden Signals die Eigenfrequenz enthalten ist. Ein Beispiel für einen mechanischen Oszillator ist z. B. die Stimmgabel. Ein anderes Beispiel ist das Blatt auf einem Klarinettenmundstück, bei dem die Schwingung durch einen geeigneten Luftstrom aufrecht gehalten wird.

Definition:
Die Wellenlänge λ einer sinusförmigen Welle ist die Strecke, welche die Welle in der Periodendauer T zurück legt. Für die Wellengeschwindigkeit c gilt also

$$c = \text{Weg} / \text{Zeit} = \lambda / T \quad \text{und wegen } f = 1 / T \text{ folgt schließlich}$$

$$c = \lambda \cdot f$$

Beispiel:
Die Wellenlänge λ einer Schallwelle ($c = 336$ m/s) von 440 Hz beträgt 0,74 m.

*Membranen erzeugen typischerweise **quasiperiodische** Signale. Ein Beispiel hierfür ist eine Pauke. Ein Paukenschlag klingt aus diesem Grunde nicht „harmonisch" (fastperiodisch), sondern anders (quasiperiodisch), obwohl das Spektrum aus lauter „Linien" besteht. Betrachten Sie hierzu auch den Klangverlauf des angestoßenen und schwingenden Weinglases in Abb. 58.*

Unser Ohr kann lediglich Sinus–Schwingungen wahrnehmen, d. h. unser Ohr ist ein FOURIER–Analysator!

Unser Gehör–Organ transformiert alle akustischen Signale in den Frequenzbereich.

Die Transformation der akustischen Signale in den Frequenzbereich durch unser Gehör–Organ bedeutet gleichzeitig eine sehr effektive Mustervereinfachung bzw. Datenkomprimierung.

Kapitel 7:

Alle theoretisch möglichen, d. h. auch die praktisch nutzbaren signaltechnischen Prozesse lassen sich durch ihre *linearen* bzw. *nichtlinearen* Eigenschaften unterscheiden.

Wird auf den Eingang (oder die Eingänge) eines Bausteins oder Systems ein sinusförmiges Signal beliebiger Frequenz gegeben und erscheint am Ausgang lediglich ein sinusförmiges Signal genau dieser Frequenz, so ist der Prozess linear, anderenfalls nichtlinear!

Ob eine oder mehrere neue Frequenzen hinzugekommen sind, erkennen Sie exakt nur im Frequenzbereich.

Hinweis: Die Sinus–Schwingung des Ausgangssignals darf sich jedoch in Amplitude und Phase ändern. Die Amplitude kann also größer werden (Verstärkung!) oder z. B. auch viel kleiner (extreme Dämpfung!). Die Phasenverschiebung ist ja nichts anderes als die *zeitliche Verschiebung* der Ausgangs–Sinus–Schwingung gegenüber der Eingangs–Sinus–Schwingung. Jeder Prozess benötigt schließlich eine gewisse Zeit zur Durchführung!

Soll bzw. darf der Frequenzbereich eines Signals in einen anderen Bereich verschoben oder ausgedehnt werden, so gelingt dies nur durch ***nichtlineare*** *Prozesse.*

Sollen die in einem Signal enthaltenen Frequenzen auf keinen Fall verändert oder keinesfalls neue hinzugefügt werden, so gelingt dies nur durch ***lineare*** *Prozesse.*

Im Gegensatz zur Mathematik bezieht sich die Linearität bzw. Nichtlinearität in der Nachrichtentechnik nur auf Sinus–Schwingungen! Dies ist verständlich, weil sich ja nach dem grundlegenden FOURIER–Prinzip alle Signale so auffassen lassen, als seinen sie aus lauter Sinus–Schwingungen zusammengesetzt.

Eine zeitliche Verzögerung bedeutet eine Veränderung des Phasenspektrums im Frequenzbereich.

Zusammen mit der ***Addition*** *sowie der* ***Multiplikation mit einer Konstanten*** *bildet die* ***Verzögerung*** *eine Dreiergruppe* ***elementarer*** *Signalprozesse. Viele sehr komplexe (lineare) Prozesse bestehen bei genauem Hinsehen lediglich aus einer Kombination dieser drei Grundprozesse.*

Das differenzierte Signal u_{out} gibt an, wie schnell sich das Eingangssignal u_{in} ändert!

Der signaltechnische Prozess ***Differenziation*** *kann also als „Meldeeinrichtung" benutzt werden, ob sich etwas zu schnell oder zu langsam ändert bzw. als Messeinrichtung, wie schnell sich etwas ändert!*

- Ein Sinus ergibt differenziert einen Kosinus, d. h. verschiebt die Phase um π/2 rad. Das kann ja gar nicht anders sein, weil die Steigung beim Nulldurchgang am größten ist; folglich ist dort das differenzierte Signal ebenfalls am größten. Dass es sich nun wirklich ausgerechnet um einen Kosinus handelt, beweist uns der Frequenzbereich (Abb. 129): Nach wie vor ist dort eine Linie der gleichen Frequenz vorhanden.
- Je höher die Frequenz, desto schneller ändert sich die Sinus–Schwingung (auch beim Nulldurchgang). Die Amplitude der differenzierten Spannung ist also streng proportional der Frequenz!

$$\boxed{\hat{U}_{out} = 2\pi f\ \hat{U}_{in} = \omega\ \hat{U}_{in}}$$

Eine Differenziation im Zeitbereich entspricht also einer Multiplikation mit $\omega = 2\pi f$ im Frequenzbereich.

Die Differenziation kann als Umkehrung (im Sinne von rückgängig machen) der Integration, die Integration als Umkehrung der Differenziation betrachtet werden.

Das integrierte Signal besitzt deutlich geringere Flankensteilheiten als das Eingangssignal! Das wiederum würde für den Frequenzbereich die Unterdrückung höherer Frequenzen bedeuten, also Tiefpass–Charakteristik.

Die Integration zeigt Tiefpass–Verhalten. Genau genommen wird der Frequenzbereich des Eingangssignals bei der Integration durch $2\pi f = \omega$ dividiert. Die Amplituden der höheren Frequenzen werden also überproportional verkleinert.

Liegt der Signalverlauf überwiegend im positiven (bzw. im negativen) Bereich, so steigt das integrierte Signal immer mehr an (bzw. fällt immer mehr ab).

Bei Signalen dieser Art wird bei der reinen Integration der Mittelwert korrekt nur genau nach 1 s angezeigt!

Fläche: Das "Integral von 0 bis T" = $U_m * T$

Mittelwert: U_m = (1/T) $*$ "Integral von 0 bis T"

Eine Funktion ist ***stetig****, falls sich die Funktion mathematisch korrekt zeichnen lässt, ohne den „Bleistift" abzusetzen, d. h. ohne Sprungstellen.*

Eine differenzierbare Funktion ist immer stetig, die Umkehrung gilt jedoch nicht generell.

Je mehr sich die Übertragungsfunktion eines Filters dem rechteckigen Ideal nähert, desto größer ist bei analogen Filtern der Schaltungsaufwand, bei digitalen Filtern der Rechenaufwand.

Aus physikalischer Sicht gilt: Da ein δ–Impuls am Filterausgang zeitlich „verschmiert" erscheint, muss das Filter eine Kette gekoppelter Energiezwischenspeicher enthalten. Je besser, d. h. „rechteckiger" das Filter, desto aufwendiger ist dieses „Verzögerungssystem".

Die Multiplikation einer Sinus–Schwingung mit sich selbst kann technisch zur Frequenzverdopplung genutzt werden.

Die Multiplikation zweier Sinus–Schwingungen ist offensichtlich ein nichtlinearer Prozess, da das Ausgangssignal andere Frequenzen als das Eingangssignal enthält.

Bei der Betragsbildung wird bei allen negativen Werten das Minuszeichen gestrichen und durch ein Pluszeichen ersetzt, die ursprünglich positiven Werte bleiben unverändert.

Bestimmte signaltechnische Prozesse können offensichtlich in Abhängigkeit von der Signalform nichtlineares Verhalten, bei anderen jedoch lineares Verhalten zeigen. Jeder (praktisch) lineare Verstärker zeigt z. B. nichtlineares Verhalten, falls er übersteuert wird.

***Abtastung und Quantisierung** sind stets die beiden ersten Schritte bei der Umwandlung analoger Signale in digitale Signale. Beide Vorgänge sind grundsätzlich nichtlinear.*

*Bei der **Abtastung** entstehen durch Faltung periodische Spektren. Die Information ist in ihnen (theoretisch) unendlich oft enthalten, die Bandbreite des Abtastspektrums also unendlich groß.*

*Folge der **Quantisierung** ist ein Quantisierungsrauschen, welches in der HiFi-Technik unter den hörbaren Pegel gebracht werden muss. Dies geschieht durch eine entsprechende Erhöhung der Quantisierungsstufen.*

Ein digitalisiertes Signal unterscheidet sich also zwangsläufig von dem ursprünglichen Analogsignal. Daraus ergibt sich die Forderung, diese Differenz so klein zu machen, dass sie nicht oder kaum wahrnehmbar ist.

Bei der Umwandlung analoger Signale in digitale Signale wird stets abgetastet, quantisiert und oft auch Zeitfenster eingesetzt. All diese Prozesse sind nichtlinear und verfälschen deshalb das Quellsignal. Es gilt diese Fehler so zu minimieren, dass sie unterhalb der Wahrnehmung liegen.

Das digitalisierte Signal unterscheidet sich grundsätzlich vom analogen Quellsignal, vor allem im Frequenzbereich. Digitale Signale besitzen durch die Abtastung ***immer*** *ein periodisches Spektrum.*

Kapitel 6:

Ist bekannt, wie ein beliebiges (lineares) System auf Sinus–Schwingungen verschiedener Frequenz reagiert, so ist damit auch klar, wie es auf alle anderen Signale reagiert, ...weil ja alle anderen Signale aus lauter Sinus–Schwingungen zusammengesetzt sind.

- Mit den herkömmlichen Messinstrumenten – analoger *Funktionsgenerator* und analoges *Oszilloskop* – lassen sich die frequenzmäßigen Eigenschaften von Schaltungen nicht sehr genau und nur äußerst zeitaufwendig ermitteln.
- Es fehlt vor allem an der Möglichkeit zur **FT** und **IFT** (Inverse FT). Dies ist jedoch ohne Weiteres in der digitalen Signalverarbeitung (**DSP**) mit Computerhilfe möglich.
- Es gibt nur *einen* korrekten Weg vom Zeitbereich in den Frequenzbereich und umgekehrt: **FT** und **IFT**!

Weitere wichtige Testsignale sind vor allem:

- δ–Impuls
- Sprungfunktion
- Burst–Impuls
- Rauschen
- GAUSS–Impuls
- GAUSS–Schwingungsimpuls
- Si–Funktion
- Si–Schwingungsimpuls

Die Bedeutung des δ–Impulses als Testsignal beruht auf der Tatsache, dass die FOURIER–Transformierte ***FT*** *der Impulsantwort h(t) bereits die Übertragungsfunktion/ Frequenzgang* ***H****(f) des getesteten Systems darstellt.*

Liegt der als Testsignal verwendete δ–Impuls nicht bei t = 0 s, so lässt sich der Phasenverlauf des Prozesses bzw. Systems nicht ohne weiteres exakt bestimmen. Damit muss auch die ***Impulsantwort*** *immer bei t = 0 s beginnen!*

Der ***Sperrbereich*** *liegt um den Mittelpunkt (0,0) der GAUSSschen Zahlenebene herum, weil dort die Amplituden gegen null gehen.*

Der ***Durchlassbereich*** *des Filters liegt auf einer annähernd kreisförmigen Zone der Ortskurve. Besitzt diese Zone eine gewisse Schwankungsbreite, handelt es sich um einen welligen Durchlassbereich. Bei steilflankigen Filtern drehen sich die Frequenzvektoren mehrfach um den Vollwinkel 2π rad.*

Der Übergang zwischen Durchlass- und Sperrbereich – die Filterflanken – bilden bei einem steilflankigen Filter eine kurze, bei einem schlechten Filter eine längere Verbindungslinie zwischen Mittelpunktsbereich und Außenring.

Die Ortskurven besitzen eine „Lupen"–Funktion, weil der eigentlich interessierende Bereich – Durchlassbereich und Filterflanken – vergrößert dargestellt werden. Das ist an dem Abstand der Messpunkte erkennbar, d. h. bei großem Abstand sind Amplituden- und Phasenänderung von Frequenz zu Frequenz am größten.

Hinweis:
Nur periodische Signale sind – obwohl von zeitlicher Unbegrenztheit – exakt analysierbar, weil sie sich auf gleiche Art und Weise immer wiederholen. Die Analysierdauer muss dann *ganz genau ein ganzzahliges Vielfaches der Periodendauer T* sein.
Andernfalls sind Signale generell nur mit einer frequenzmäßigen Auflösung Δf analysierbar, die wegen des **USP** dem Kehrwert der Zeitdauer Δt des Messvorgangs entspricht.

Ein Medium ist dispersiv, falls die Ausbreitungsgeschwindigkeit c in ihm nicht konstant, sondern von der jeweiligen Frequenz abhängt.

GAUSS–Impuls und GAUSS–Schwingungsimpuls besitzen weniger Bedeutung als Testsignale zur Messung des Frequenzgangs von Schaltungen bzw. Systemen. Sie können vielmehr bei Pulsmessungen zur einfachen Bestimmung von Laufzeit, Gruppen- und Phasengeschwindigkeit eingesetzt werden.

Die Si–Funktion (und auch der Si–Schwingungsimpuls) ist nichts anderes als ein ***frequenzmäßiger Ausschnitt*** *des δ–Impulses.*

Signale – Muster – können sich im Zeit- oder/und Frequenzbereich ähneln, die Verwandtschaft/Ähnlichkeit kann sich aber auch auf statistische Angaben beziehen.

Alle Informationen, welche die Rauschantwort u_{out} enthält, entstammen also originär dem System, alle Informationen sind also Aussagen über das System. Leider sind diese System-Information weder im Zeit- noch Frequenzbereich ***direkt*** *erkennbar, weil die Rauschantwort noch immer eine zufällige Komponente besitzt.*

Der Einschwingvorgang gibt die Reaktion des Systems auf eine plötzliche Änderung des ursprünglichen Zustandes wieder. Er dauert so lange, bis sich das System auf die Änderung eingestellt bzw. seinen sogenannten ***stationären*** *Zustand erreicht hat.*

Der Einschwingvorgang eines Systems verrät dessen schwingungsphysikalische Eigenschaften im Zeit- und damit auch im Frequenzbereich. Aus diesem Grunde kann dieser zur Systemanalyse herangezogen werden.

Während des Einschwingvorgangs liefert das System Information über sich selbst und verdeckt dann weitgehend die über den Eingang zum Ausgang zu transportierende Information des eigentlichen Signals. Der eigentliche Signaltransport beschränkt sich also im Wesentlichen auf den Bereich des stationären (eingeschwungenen) Zustandes!

*Um einen großen Informationsfluss über das System zu ermöglichen, muss deshalb die Einschwingzeit Δt möglichst klein gehalten werden. Nach dem **UP** muss dann die Bandbreite Δf des Systems möglichst groß sein.*

Definitionen:

Unter der *Eigenfrequenz f_E* wird diejenige Frequenz verstanden, mit der ein Schwingkreis schwingt, nachdem er einmal – z. B. durch einen δ–*Impuls* – angestoßen und dann sich selbst überlassen wurde.

Die *Resonanzfrequenz f_R* gibt denjenigen Frequenzwert an, bei der ein durch einen Sinus angeregter, *erzwungen* schwingende Schwingkreis seine *maximale* Reaktion zeigt.

Eigenfrequenz und Resonanzfrequenz stimmen wertemäßig bei Schwingkreisen hoher Güte überein. Bei hoher Schwingkreis-dämpfung ist die Resonanzfrequenz etwas größer als die Eigenfrequenz. Es gilt also $f_R > f_E$.

Eine *Schwebung* entsteht durch Überlagerung (Addition) zweier Sinus–Schwingung annähernd gleicher Frequenz (siehe Abb. 123). Sie äußert sich in einer periodischen Verstärkung und Abschwächung mit der *Schwebungsfrequenz* $f_S = |f_1 - f_2|/2$. Bei der Schwebung handelt es sich um eine typische *Interferenzerscheinung*, bei der die maximale Verstärkung bzw. Abschwächung durch gleiche bzw. um π verschobene Phasenlage der beiden Sinus–Schwingungen entsteht.