

# Biosignalverarbeitung (Prof. Schuster)

Inoffizieller Fragenkatalog, ausgearbeitet von Murrel ([Murrel.vienna@gmx.at](mailto:Murrel.vienna@gmx.at)), Stand: SS 2005

## 1. Was ist ein Signal, wie ist es definiert, und was ist ein Biosignal? (S. 4)

Ein Signal ist nach DIN 44300 die Darstellung einer Nachricht durch eine physikalische Größe. Laut Definition ist jede (physikalische) Variable, die (in einem Kommunikationssystem) eine Nachricht (Information) darstellt, ein Signal. Unter Biosignalen werden Nachrichten verstanden, die von physikalischen (ggf. auch chemischen) Aktionen im menschlichen Körper ausgehen. Der Signalbegriff ist nach dieser Definition also wesentlich weiter gefasst, als das, was wir umgangssprachlich als Signal bezeichnen.

Etwas genauer ausgedrückt trägt die physikalische Größe ihre Information in Signalkenngrößen, die häufig "Signalparameter" genannt werden. Ein lebender Organismus, in unserem Falle der Mensch, erzeugt autonom Biosignale, die mit geeigneten Einrichtungen registriert werden können.

## 2. Was wird dem Mediziner generell angezeigt? (S. 4)

Dem Mediziner werden Signalparameter angezeigt. Das sind Signalkenngrößen, die vom lebenden Organismus erzeugt werden und mit geeigneten Einrichtungen registriert werden können.

## 3. Wie bieten sie ein Biosignal dann dem Arzt an und warum gerade so? (S. 24)

Man bietet das Signal graphisch, akustisch oder numerisch an.

Wenn sich das Signal zeitlich nur gering ändert, nimmt man eine numerische Darstellung (wie beim Blutdruck). Wenn es sich stark ändert, wählt man eine grafische Darstellung für den Verlauf (z.B. EKG). Bei akustischen Signalen ist zwar weniger Konzentration nötig (der Beobachter muss nicht ständig auf einen Bildschirm starren), es kann aber bei vermehrtem Einsatz auch störend wirken (z.B. wenn bei mehreren Patienten ständig akustische Signale ertönen oder durch Fehlalarme – s. nächste Frage).

## 4. Was passiert mit Ausreißern bei der Anzeige? Setzt das Monitoring-System gleich beim ersten Ausreißer einen Alarm? (S. 24)

Damit Fehlalarme nicht zur Regel werden, sollte beim Patientenmonitoring für einen Alarm bezüglich Ausreißern erst alarmiert werden, wenn mehrere Fakten auf einen richtigen Alarm hindeuten. Man muss also die Robustheit des Alarms sichern, indem man mehrere Ereignisse verknüpft. Andernfalls wird der genervte Benutzer die Alarme nicht mehr Ernst nehmen. Natürlich ist die Alarmschwelle je nach Kontext anders zu setzen (in der HNO-Abteilung wird man z.B. toleranter sein als in der Intensivstation)

## 5. Welche Skalierungsformen gibt es bei der grafischen Darstellung? Was ist der Nachteil der automatischen Skalierung? (S. 28)

Man unterscheidet die automatische Skalierung und die feste Skalierung. Der Vorteil bei der automatischen Skalierung ist, dass auch grenzwertige Daten (Peaks) dargestellt werden können, dennoch sorgt ein wechselndes Ordinaten-Abszissen-Verhältnis dafür, dass bedeutende Muster durch Ausreißer zusammengepresst werden, was das Wiedererkennen von Mustern durch den Menschen schwer bis unmöglich macht.

## 6. Was benötigt man, wenn das Signal nicht elektrischer Natur ist? (S. 35)

Hat man ein nicht elektrisches Signal, benötigt man einen geeigneten Wandler, welcher dieses Signal in ein elektrisches umwandelt. Diese Messgrößeumformer, mit deren Hilfe nichtelektrische Größen so transformiert werden, dass sie von elektrischen Messgeräten erfasst werden können, nennt man Messgeber. Somit können z.B. mechanische, thermische, optische oder chemische Signale weiterverarbeitet werden. Man nennt diese Vorgänge aktive Umformungen.

## 7. Warum muss man vor der Digitalisierung des Signals dieses filtern? (S. 45)

Das weiterzuverarbeitende Biosignal wird meist von Störsignalen begleitet. Da diese jedoch meist ganz andere Frequenzbereiche als das Nutzsignal haben, kann man sie mittels Filtern entfernen. Ein Hochpassfilter schneidet zu tiefe Frequenzen und ein Tiefpassfilter zu hohe Frequenzen ab, ein Bandpassfilter lässt Frequenzen außerhalb eines bestimmten Bereichs nicht passieren, eine Bandsperre vermeidet Frequenzen innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs. Damit kann Rauschen wie z.B. das Netzbrummen, welches meist bei Frequenzen von ca. 50 Hz auftaucht, vermieden werden.

## 8. Wie sieht die Messkette bei der Abnahme von Biosignalen aus? (\*2) (S. 49)

Bei der Abnahme von Biosignalen sind im Allgemeinen die folgenden Komponenten in dieser Reihenfolge hintereinander geschaltet:

Sensor: Erfasst das zu messende Signal und wandelt es, falls es sich um kein elektrisches Signal handelt, in eine elektrisch auswertbare Größe. (z.B. ein Widerstand, der seinen Widerstandswert mit der Temperatur ändert)

Messumformer: Wandelt die Änderung der physikalischen Größe in eine Spannung.

Messverstärker: Meist Operationsverstärker (OPV), die meist sehr kleinen Signale werden verstärkt, um besser ausgewertet werden zu können. Wichtig sind hier ein hoher Eingangs- und kleiner Ausgangswiderstand, eine lineare Verstärkungscharakteristik und Temperaturunabhängigkeit.

Filter: Entfernt unerwünschte Frequenzen, welche nicht dem Nutzsignal entsprechen (Bsp Netzbrummen von ca 50 Hz). Man unterscheidet Tiefpass, Hochpass, Bandpass und Bandsperre (s. vorige Frage).

Vorverarbeitungsglieder:

- der galvanische Trennverstärker sorgt dafür, dass die beiden Stromkreise getrennt sind und schützt so den Patienten vor lebensgefährlichen Stromspannungen, die z.B. durch einen Kabelbruch entstehen könnten.
- ein Gleich- / Wechsellspannungsverstärker, welcher das Signal so ändert, dass es möglichst genau weiterverarbeitet werden kann. Er tut dies, indem zum einen ein Hochpassfilter vorgeschaltet ist, welcher das Messsignal von seiner Gleichspannungskomponente befreit. Diese würde nämlich den Verstärker übersteuern (er schneidet also quasi zu hohe Spannungen ab). Zum anderen verstärkt er Signale aber auch oder schwächt sie ab. Durch die Offset-Aufschaltung kann er ebenfalls additiv Gleichspannungen überlagern (z.B. aus einem Signal zwischen -5 und 5 V wird ein Signal zwischen 0 V und 10 V)
- ein Anti-Aliasing Filter, welcher durch einen Tiefpassfilter Alias-Frequenzen vermeidet. Man stellt hierbei seine Grenzfrequenz so ein, dass die Abtastfrequenz niemals kleiner als das doppelte der abgetasteten Maximalfrequenz werden kann (siehe Shannonsches-Abtasttheorem, geschieht dies entstehen diese Alias-Frequenzen)
- ein Abtast- und Halteglied, welches das Analogsignal so lange konstant hält, bis der A/D-Wandler es in eine Binärzahl umgewandelt hat
- ein Analog/Digitalwandler (A/D Wandler), welcher das analoge Signal in einen digitalen, also in einen binär kodierten Zahlenwert umsetzt.

## **9. Wozu verwendet man Signalverstärker? (Die vom Körper gelieferten Signale wären eigentlich stark genug) (S. 49)**

Die Verstärker haben folgende Zwecke (s. auch vorige Frage):

- Als galvanischer Trennverstärker den Menschen vor elektrischen Entladungen zu schützen
- Mittels eingebautem Hochpass zu hohe Frequenzen abschneiden
- Das Signal genau so verstärken oder abschwächen, dass es vom A/D-Wandler korrekt umgesetzt werden kann
- Mittels Offset-Aufschaltung Signale in einen anderen Wertebereich verlagern.

## **10. Welche Möglichkeiten gibt es um eine zu langsame digitale Verarbeitung zu kompensieren? (S. 53)**

Das Abtast- und Halteglied in der Messverstärkerkette kompensiert diese zu langsame digitale Verarbeitung, indem es den Amplitudenwert des Analogsignals abtastet (mittels einem elektronischen Schalter, der den Spannungswert in einen Kondensator lädt). Dieser Spannungswert wird an den A/D-Wandler übergeben und so lange gehalten, bis dieser das Signal in eine Binärzahl umgewandelt hat. Dadurch wird vermieden, dass sich das Eingangssignal während der Umwandlung ändert und so einen falschen Binärwert erzeugt.

Ist die digitale Verarbeitung dadurch viel zu langsam, kann man auch die Hardware aufrüsten, schnellere (z.B. rekursive) Algorithmen verwenden oder notfalls online messen und offline verarbeiten.

## **11. Wie macht man Echtzeitverarbeitung am besten? (S. 57)**

Echtzeitverarbeitung wird am Besten digital über ein Betriebssystem, welches diese unterstützt, realisiert. In diesem Fall kann das System den verschiedenen Tasks Prioritäten zuweisen, was die Möglichkeit, diese Tasks innerhalb einer bestimmten Zeit abzuarbeiten, verbessert. Hat man kein Realzeit-Betriebssystem, kann man das Ganze auch auf Rechnern mit Einzelauftragsbearbeitung simulieren, indem man Folgen von Interrupts einsetzt, die sich regelmäßig (mit einer bestimmten Abtastzeit  $\Delta t$ ) wiederholen.

## **12. Wenn bei einer Signalfolge im Zeitverlauf nur jeder x-te Wert dargestellt wird, wie nennt sich das? (S. 61-67)**

Dies wird Diskretisierung genannt: Dabei wird ein kontinuierliches Analogsignal  $x(t)$  durch Abtastung an diskreten äquidistanten Stützpunkten zu einem Abtastsignal konvertiert. Ein analoges Signal wird also hiermit zu einem digitalen. Wählbar sind hierbei die Anzahl  $N$  der Abtastwerte (zeitliche Auflösung) und die Anzahl  $G$  der möglichen diskreten Messwertstufen für jeden Funktionswert (numerische Auflösung). In der Praxis sind  $N$  und  $G$  meist Zweierpotenzen.

## **13. Wie nennt es sich, wenn man Mittelwerte über Intervalle bildet? (S. 29 ODER S. 77?)**

Man nennt dies gleitenden Mittelwert: Diese Methode wird verwendet, um Ausreißer zu unterdrücken.

Man nennt dies Quantisierung: Hierbei wird der Wertebereich des Signals in  $k$  Intervalle geteilt und alle Werte innerhalb eines Intervalls durch einen einzigen Wert  $q$  dargestellt. Üblich ist hierbei die Quantisierung in  $2^g$  gleich große Amplitudenschritte. Am Einfachsten ist es, so zu quantisieren, dass die  $k$  Intervalle gleichgroß sind, dies ist in der Biosignalverarbeitung jedoch nicht besonders effektiv, will man doch bestimmte Bereiche, in denen sich das Signal bewegt, genauer betrachten. Deshalb sucht man sich die Quantisierungsgrenzen dort, wo die meisten Signalwerte liegen, sehr eng aus und in den übrigen Bereichen weit auseinander. Diese Methode wird getaperte Quantisierung genannt. Natürlich führt die Quantisierung durch diese Komprimierung auch zu einem gewissen Quantisierungsrauschen.

#### 14. Wozu speichert man das aufgenommene Signal? (S. 92)

Man speichert das aufgenommene Signal:

- weil man die Werte des Patienten in seiner gewohnten Umgebung (nicht im Labor) und unter gewohnten Bedingungen (z.B. Arbeit, Wettkampf, Theater...) messen will
- für eine verbesserte Mobilität (Tele-monitoring)
- um eine längere Aufnahmedauer zu ermöglichen (Langzeit-EKG)
- um eine detailliertere Analyse zu ermöglichen (gleichzeitiges Messen und verarbeiten kostet Ressourcen)
- um eine nicht rein sequenzielle Verarbeitung zu ermöglichen (zukünftige Werte können verwendet werden)

#### 15. Was muss man bei der Datenverarbeitung generell alles beachten? (Diskussion) (S.92-94)

Was man beachten muss, sind:

- Grundsätzliche Signaleigenschaften: Signal-Niveau (in welchem Bereich, angegeben in beliebigen Einheiten, kommt das Signal vor?), Spektrum des Nutzsignals, Genauigkeit, Signal-Störverhältnis
- Datenspezifikation: Art des Signals und Abnahmetechnik
- Datenaufzeichnung: Gründe siehe vorige Frage
- Analoge Vorverarbeitung: Will man Mittelwerte fixieren, (linear oder logarithmisch) verstärken, das Signal-Rausch-Verhältnis verbessern, Filter einsetzen?
- Aufnahmedauer: Beginn, Adaptationszeit, Länge der Aufnahme
- Qualifikation der Daten: deterministisch oder stochastisch? Grad der Zufälligkeit?
- Verarbeitung: Mittelwertbildung, Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, Autokorrelationsfunktion, spektrale Leistungsdichte, Eigenschaften verbundener Daten
- Analoge oder digitale Verarbeitung: siehe nächste Frage
- digitale Filter: will man sie einsetzen? Rekursive (schneller und weniger Koeffizienten) oder nicht-rekursive Filter (lineare Phasencharakteristik)?

#### 16. Was sind die Vor- / Nachteile von Analog- bzw. Digitalverarbeitung? (\*2) (S. 94)

Analoge Verarbeitung hat den Vorteil, dass sie rasch und einfach (z.B. mit Spektrum-Analysatoren) vonstatten geht. Ihr großer Nachteil ist dafür, dass die Signale hiermit deterministisch sind. Außerdem ist sie wenig flexibel. Die Digitalverarbeitung bietet im Vergleich zur Analogverarbeitung eine Trendbereinigung mittels Regression und digitale Filter.

- Analoge Verarbeitung

Vorteil	Nachteil
rasch	deterministische Signale (!!!)
einfach (z.B. Spektrum-Analysatoren)	wenig flexibel

- Digitale Analyseprozeduren
  - Trendbereinigung  $\Rightarrow$  Regression ( $\Rightarrow$  Abb. 2, Abb. 3)
  - digitale Filter

#### 17. Welche Arten von deterministischen Daten gibt es? Wie sind sie definiert, wie lassen sie sich beschreiben, was für Unterschiede gibt es zwischen ihnen? (S. 109)

Man unterscheidet die folgenden Arten von Daten (es können auch Kombinationen vorkommen!):

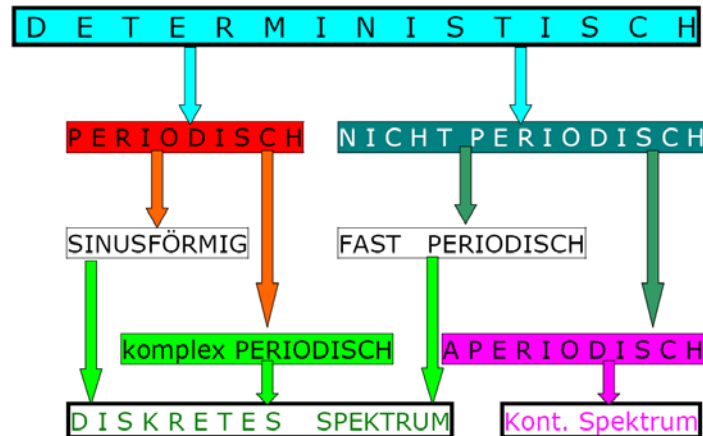
Periodisch:

- harmonische (sinusförmige) Signale haben die Form einer Sinuskurve
- komplex periodische Signale sind Signale die sich ebenso periodisch wie die Sinuskurve wiederholen, aber keine Sinusschwingung haben. Zu nennen wären z.B. das Rechtecksignal oder das Sägezahlsignal.

Nicht periodisch:

- fast periodische (quasiperiodische) Signale sind periodische Signale, deren Frequenzkomponente nicht über rationale Zahlen zusammenhängen.
- aperiodische (transiente) Signale können nicht durch ein diskretes Spektrum dargestellt werden.

Man beschreibt harmonische, komplex periodische und fast periodische Signale mittels eines diskreten Spektrums und aperiodische Signale mittels eines kontinuierlichen Spektrums.



### 18. Unter welcher Bedingung konvergiert das Fourierintegral? (\*2) (S. 134)

Das Fourierintegral konvergiert, wenn der Betrag der Fläche unter der zu transformierenden Signalkurve endlich ist. Immer dann ist eine Fouriertransformation möglich. Formal geschrieben bedeutet das:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt < \infty$$

### 19. Was legt das $\Delta t$ fest? (S. 135)

$t$  stellt die Zeit dar, genauer das konstante Zeitintervall, in dem das Signal regelmäßig abgetastet wird.

### 20. Was legt das $N$ fest? (S. 135)

$N$  ist die Zahl der Stützstellen, das heißt die Anzahl der Werte, die sich durch die Abtastung des Signals ergibt.

### 21. Wie erhält man ein robusteres/verlässliches (reliables) Spektrum? (S. 135)

Bei der Berechnung des Amplitudenspektrums wird die Approximation umso genauer, je kleiner die Abtastzeit  $\Delta t$  gewählt wird.

### 22. Was ist der Unterschied zwischen der Fouriertransformation und der FFT? (S. 143)

Die Fast-Fourier-Transformation arbeitet wesentlich schneller als die Fouriertransformation, indem sie die mehrfache Berechnung gleicher Terme, die sich aufheben, vermeidet. Bei Anwendung der FFT muss die Anzahl  $N$  der Folgewerte eine Zweierpotenz sein. Ist es nicht möglich, dem Algorithmus eine Zweierpotenz von Werten zur Verfügung zu stellen, kann man das sogenannte „zero-padding-Verfahren“ anwenden, in welchem einem Datensatz so viele Nullwerte angefügt werden, bis  $N$  eine Zweierpotenz ist und der FFT-Algorithmus benutzt werden kann. (Man erhöht die Anzahl Werte durch leere Werte also solange, bis sie eine Zweierpotenz ist) Die Berechnungsergebnisse einer DFT sind mit denen einer FFT identisch, nur die Durchsatz-Geschwindigkeit der FFT ist höher.

### 23. Mittels welcher statistischen Kenngrößen werden stochastische Signale beschrieben? (S. 156)

Stochastische Signale können mittels der folgenden statistischen Kenngrößen beschrieben werden.

#### Lokalisationsmaße:

- das arithmetische Mittel (Durchschnittsamplitude)
- der Median liegt genau in der Mitte der gemessenen Amplituden und ist unempfindlich gegenüber Ausreißern
- der Modalwert ist jener Wert, welcher am Häufigsten auftritt

#### Streuemaße:

- die Variationsbreite gibt die Differenz zwischen größtem und kleinstem gemessenen Wert an (= Spannbreite)
- die Varianz beschreibt die quadratische Abweichung der Messwerte vom arithmetischen Mittel. Sie wird über die Summe der quadrierten Abweichungen dividiert durch die Anzahl Messwerte berechnet.
- die Standardabweichung ist die Wurzel der Varianz, sie beschreibt die Abweichung der Messwerte vom arithmetischen Mittel

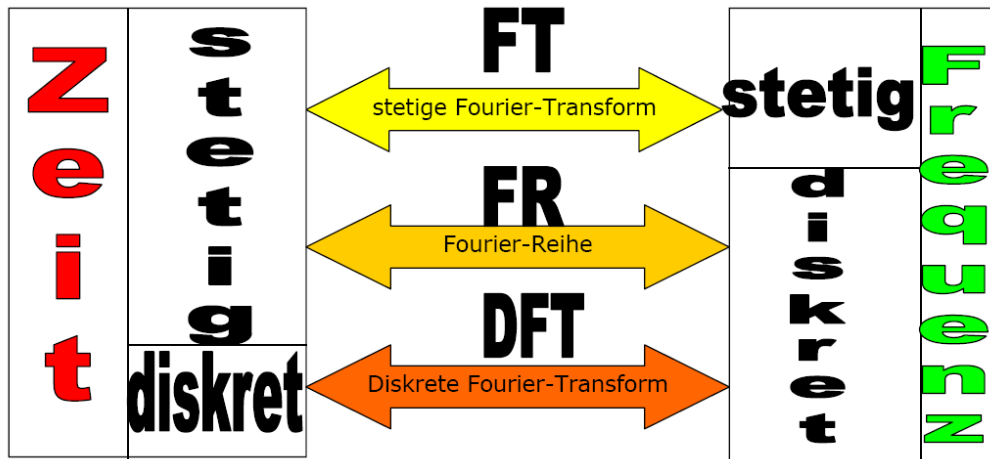
#### Formmaße:

- die Schiefe ist ein Maß für die Assymetrie der Amplitudenverteilungsdichtefunktion, sie ist gleich Null bei einer symmetrischen Verteilung, positiv bei einer linksseitigen Assymetrie und negativ bei einer rechtsseitigen Assymetrie

- die Wölbung ist ein Maß für die Flachheit bzw. Hochgipfligkeit der Amplitudenverteilungsdichtefunktion.  $w > 0$  bedeutet eine Hochgipfligkeit gegenüber der Normalverteilung (bei welcher  $w = 0$ ) und  $w < 0$  eine Flachheit gegenüber der Normalverteilung.

**24. Fourierreihe, Fouriertransformation, DFT, wann wird welches dieser Verfahren eingesetzt? (\*2) (S. 163)**

Die (stetige) Fouriertransformation wird eingesetzt, wenn man von einem stetigen Zeitbereich in einen stetigen Frequenzbereich transformieren will, die Fourier-Reihe, wenn man von einem stetigen Zeitbereich in einen diskreten Frequenzbereich transformiert und die diskrete Fouriertransformation, wenn man aus einem diskreten Zeitbereich in einen diskreten Frequenzbereich transformiert.



**25. Wo liegt der Unterschied zwischen Fourier- und Laplace- Transformation? (S. 164)**

Die Fouriertransformation stellt einen Spezialfall der Laplacetransformation dar (mit  $\alpha = 0$ ). Letztere ist großteils nur mathematisch interessant, in der Praxis ist die Fouriertransformation wichtiger.

Die Laplace-Transformation wird bei der Übertragungsfunktion verwendet, die Fourier-Transformation hingegen bei der Frequenz-Antwort-Funktion. Die Frequenz-Antwort-Funktion kann bei realisierbaren, stabilen Systemen die Übertragungsfunktion ersetzen, ohne dass brauchbare Information verloren gehen

**26. Was versteht man unter Faltung? (S. 168)**

Unter Faltung versteht man es, wenn ein Signal mit einem anderen moduliert wird. Im Allgemeinen ist hierbei das erste Signal das empfangene Biosignal und das zweite eine Faltungsmaske. Die Faltung kommt daher meist bei großen Filtermasken oder beim Entwurf von Filtern mit bestimmten Eigenschaften zum Einsatz.

**27. Welchen Effekt hat die Endlichkeit des Signals im Zeitbereich auf den Frequenzbereich? / Was besagt der Faltungssatz? (S. 168)**

Dadurch dass das Signal im Zeitbereich endlich ist, entspricht die Faltung zweier Signale im Zeitbereich der Multiplikation ihrer Fouriertransformierten im Frequenzbereich. Eine Faltung im Zeitbereich kann daher über den Umweg dreier Fouriertransformationen und einer komponentenweisen komplexen Multiplikation zweier Fourier-transformierten berechnet werden.

**28. Was wird vorausgesetzt, um die Fourierreihe verwenden zu können? (S. 179)**

Man setzt bei der Anwendung der Fourierreihe voraus, dass  $x(t)$  periodisch mit Periode  $T$  ist. Somit lässt sich das Verhalten des Signals im Frequenzbereich durch eine diskrete statt einer stetigen Reihe ausdrücken.

**29. Welche Fehler können bei der (diskreten) Fouriertransformation entstehen? (\*2) (S. 183)**

Die folgenden Fehler können entstehen:

- Aliasing: Ein Frequenzanteil wird fälschlicherweise einem anderen Frequenzanteil zugerechnet. Dies kann vermieden werden, indem die Nyquist-Bedingung (Shannonsches Theorem) beachtet wird – man muss mindestens doppelt so schnell wie die höchste im Signal vorkommende Frequenz abtasten.
- Leakage (Durchsickern): Durch die zeitliche Begrenzung kann das Signal abgeschnitten werden. Ist es periodisch fortsetzbar (also ist die Abtastzeit ein vielfaches Ganzes der Fundamentalperiode), so ist dies kein Problem, ist dies aber nicht der Fall, so enthält es Frequenzen, die nicht zu den von der DFT berechneten

diskreten Frequenzen gehören. Die DFT nähert diese Frequenzen an die Nachbarfrequenzen an. Vermeiden kann man dies, indem man den Beobachtungszeitraum T relativ zur Fundamentalperiode T<sub>0</sub> des Signals groß wählt.

- Picket-fence Wirkung: Da die DFT als eine Folge von schmalen Bandpassfiltern mit Mittenfrequenz  $m \times 1/T$  betrachtet werden kann, sieht ihre Wirkung ähnlich einem Lattenzaun aus. Die Frequenzanteile des Signals, welche ganzzahlige Vielfache dieser Mittenfrequenz  $m \times 1/T$ , werden unverzerrt, die anderen jedoch verzerrt (d.h. verkleinert) dargestellt. Abhilfe schafft die Mittelung über mehrere Aufnahmen desselben Signals.

### 30. Wie ist die Autokorrelationsfunktion (AKF) definiert und wofür findet sie Verwendung? (\*2) (S. 189)

Die Autokorrelationsfunktion  $R_{xx}(\tau)$  ist ein Ähnlichkeitsmaß, welches die durchschnittliche Ähnlichkeit zwischen  $x(t)$  und seiner verschobenen Version  $x(t + \tau)$  misst. Sie ist definiert durch:

$$R_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \times x(t + \tau) dt$$

Sie kann dazu verwendet werden, (Quasi)periodizitäten in verrauschten Bildsignalen zu finden oder den Grad der Zufälligkeit der Daten zu testen. Man unterscheidet also:

- $R_{xx}(\tau) \gg 0 \Rightarrow x(t)$  ähnelt sehr stark  $x(t + \tau)$   
d.h. Änderungen in  $x(t)$  spiegeln sich proportional in  $x(t + \tau)$  wider
- $R_{xx}(\tau) \ll 0 \Rightarrow$  Änderungen in  $x(t)$  sind mit umgekehrten Vorzeichen proportional in  $x(t + \tau)$  zu finden
- $R_{xx}(\tau) \cong 0 \Rightarrow x(t)$  und  $x(t + \tau)$  haben im Durchschnitt kaum etwas gemeinsam

### 31. Was ist der Korrelationskoeffizient und was ist seine Formel? (S. 193)

Der Korrelationskoeffizient  $r_{xx}(\tau)$  ist das auf 1 normierte Korrelationsmaß. Damit lässt sich die Größe des Werts der Autokorrelationsfunktion  $R_{xx}(\tau)$  besser beurteilen, gilt hierbei doch:

- |                     |  |
|---------------------|--|
| $r_{xx}(\tau) = -1$ | maximale durchschnittliche inverse Ähnlichkeit |
| $r_{xx}(\tau) = 0$  | im Mittel keine Ähnlichkeit                    |
| $r_{xx}(\tau) = 1$  | maximale durchschnittliche Ähnlichkeit         |

$$r_{xx}(\tau) = \frac{R_{xx}(\tau)}{R_{xx}(0)}$$

Der Korrelationskoeffizient ist also definiert als:

### 32. Wie ist die Kreuzkorrelationsfunktion (KKF) definiert und wofür findet sie Verwendung? (S. 194)

Die Kreuzkorrelationsfunktion ist definiert durch:

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \times y(t + \tau) dt$$

Sie misst die durchschnittliche Ähnlichkeit von den zwei Signalen  $x(t)$  und  $y(t)$ . In den meisten Anwendungen ist  $x(t)$  hierbei ein längeres aufgenommenes Biosignal und  $y(t)$  ein kurzes (maximal eine Periode) Mustersignal, das außerhalb dieses Abschnittes als konstant Null angenommen wird. Es existiert auch hier wieder der Kreuzkorrelationskoeffizient, welcher als Wert zwischen -1 und 1 einen besseren Vergleichswert darstellt:

$$r_{xy}(\tau) = \frac{R_{xy}(\tau)}{\sqrt{R_{xx}(0) \times R_{yy}(0)}}$$

### 33. Wie hängen AKF und KKF im Zeit- bzw. im Frequenzbereich zusammen? (S. 196?)

???

### 34. Wofür verwendet man die quadratische Kohärenzfunktion? (S. 199)

Um die Übertragungsfunktion (s. letzte Frage) einsetzen zu können, muss:

- das System linear sein
- kein Rauschen vorhanden sein
- nur ein Eingangssignal vorhanden sein



Die Kohärenzfunktion zeigt eine Existenz einer Verletzung der Voraussetzungen an und ist damit ein Maß für die lineare Kausalität. Sie testet aber nur gegenüber Abweichungen von allen drei Voraussetzungen simultan, d.h. sie sagt nur ob die 3 Voraussetzungen gemeinsam erfüllt sind, nicht, welche genau nicht erfüllt ist.

### 35. Wann ist ein System zeitinvariant, wann ist es stabil, wann linear? (S. 38 u. 200)

Ein System ist zeitinvariant, wenn es konstante Parameter hat.

Ein stabiles System driftet nicht und verstärkt konstant. Ein System ist stabil, wenn jedes beschränkte Eingangssignal ein beschränktes Ausgangssignal erzeugt. Die hinreichende Bedingung hierfür ist, dass die Gewichtsfunktion  $h(\tau)$  absolut integrierbar ist, d.h. wenn gilt:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h(\tau)| d\tau < \infty$$

Ein lineares System folgt proportional dem Biosignal. Ein System ist linear, wenn es additiv und homogen ist:

- additiv: das Ausgangssignal einer Summe von Eingangssignalen ist gleich der Summe der einzelnen

Ausgangssignale

- homogen: ein Vielfaches des Eingangssignals entspricht einem vielfachen des Ausgangssignals

### 36. Welche 3 Funktionen gibt es, mit denen man ein lineares System beschreiben kann und wann werden diese eingesetzt? (\*3) (S. 202)

Man kann ein lineares System mit den folgenden Funktionen beschreiben:

- die Gewichtsfunktion  $h(\tau)$  ist definiert durch den Ausgangswert des Systems auf einen Einheitsimpuls, der vor  $\tau$  Zeiteinheiten auf das System gewirkt hat. Dies ergibt sich durch den Satz, welcher besagt, dass für jedes Eingangssignal  $x(t)$  das Ausgangssignal  $y(t)$  eine gewichtete, lineare (unendliche) Summe der gesamten Vergangenheit des Eingangssignals  $x(t)$  ist. Die Gewichtsfunktion wird eingesetzt, um das dynamische Verhalten eines linearen Systems mit konstanten Parametern zu beschreiben.

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \times x(t - \tau) d\tau$$

- die Übertragungsfunktion  $H(\rho)$ , welche über die Laplacetransformierte der Gewichtsfunktion  $h(\tau)$  berechnet wird.

$$H(\rho) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \times e^{-\rho \times \tau} d\tau$$

$$\text{mit } \rho = \alpha + j \times \beta \in \mathbb{C}$$

- die Frequenz-Antwort-Funktion  $H(f)$ , welche über die Fouriertransformierte der Gewichtsfunktion  $h(\tau)$  berechnet wird. Sie stellt einen Sonderfall der Übertragungsfunktion  $H(\rho)$  mit  $\alpha = 0$  und  $\beta = 2 \times \pi \times f$  dar. Ein stabiles, lineares System kann durch sie beschrieben werden. Ist das System linear mit konstanten Parametern, so ist  $H(f)$  eine Funktion der Frequenz und hängt nicht von der Zeit oder vom Eingangssignal ab. Ist es nicht linear ist  $H(f)$  auch eine Funktion des Eingangssignals  $x(t)$ , sind die Parameter des Systems nicht konstant so ist  $H(f)$  auch eine Funktion der Zeit.

### 37. Was wird nach der Erfassung eines EEGs getan? (S. 27 Teil 3)

Nach einem EEG führt man eine Spektralanalyse durch. Durch Transformation der Daten vom Zeitbereich in den Frequenzbereich kann man die folgenden Berechnungen durchführen:

- Simultane Berechnung (in Echtzeit) von n Autospektra und Leistungsspektra
- Berechnung von m beliebigen Kreuzspektra mit den zugehörigen (quadratischen)

Kohärenzfunktionen

- Berechnung von Spektralparametern für die 4 standardisierten physiologischen Frequenzbänder ( $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ) und k weitere frei wählbare Frequenzbänder Typische spektrale Parameter sind:

- dominante Frequenz (= Frequenz, bei der die maximale Amplitude auftritt)
- absolute Ausprägung (= Fläche unter der Spektralkurve innerhalb des jeweiligen Frequenzbandes)
- relative Ausprägung (= Ausprägung eines Bandes im Verhältnis zur Gesamtausprägung)
- 10% - 90% Grenzen (= Frequenzbereich, in dem 80% der angefallenen Werte liegen)
- äquivalente Bandbreite (= Bandbreite eines der Leistung des Bandes äquivalenten Rechtecks mit der Intensität der dominanten Frequenz des Frequenzbandes)

- Langzeit-EEG-Monitoring durch Kurzzeitspektra

- reizsynchrone Aufnahme von evozierten Potentialen in s Ableitungen