# Signalrekonstruktion in leitungsgebundenen Interferenzsystemen

Virtuelle Experimente (2)

*Gerd Karl Heinz*

*Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFaI) Berlin*

*Wir kennen Neuronen mit mehreren tausend Synapsen [3]. Im Aufsatz soll deutlich gemacht werden, daß es keine Alternative zu interferentiellen Wirkprinzipien in kurzgeschlossenen Netzwerken (Nervennetz) gibt. Im Gegensatz zu elektrischen (Computer-) Netzwerken kontaktierten Nerven einander überall. Wie ist es möglich, daß das Gehirn den Quellort eines Signals rekonstruieren kann, welches vom Daumen kommt, und welches auf tausend Wegen kommt und durch tausende andere Signale gestört wird? Wie ist es möglich, daß sich solche Netzwerke nicht selbsterregen? Um die Spezifik des Nervensystems zu treffen, beziehe ich mich im Aufsatz auf pulsförmige Signale und normierte, mono- oder bipolare Zeitfunktionen. Geringfügige Ergänzungen erlauben oft auch eine Verallgemeinerung auf beliebige Zeitfunktionen.*

## Verzögerung einer Zeitfunktion

Signalausbreitung auf einer verzögernden Leitbahn kann man u.U. wie folgt idealisieren.

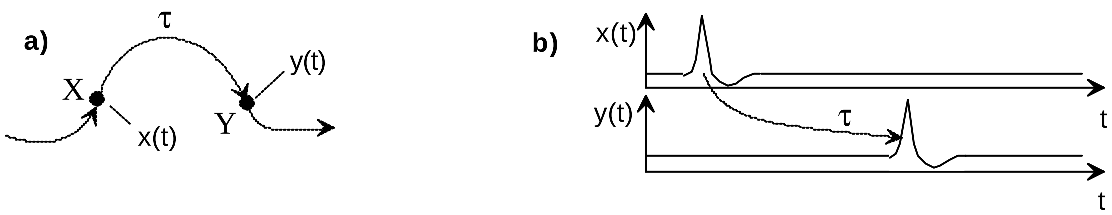


**Fig. 1 Eine Nervenfaser überträgt ein pulsartiges Signal**
**a) Schema, b) Timing Diagramm**

An irgendeiner Stelle $X$ möge sich gerade eine Zeitfunktion $x(t)$ befinden, siehe Fig.1. Die Faser zwischen $X$ und $Y$ verzögert das Signal (die Zeitfunktion) um $\tau$, sodaß die Zeitfunktion $y(t)$ an der Stelle $Y$ als verzögerte Ausgangsfunktion $x(t-\tau)$ gedeutet werden kann.

*(1)* $$y(t) = x(t-\tau)$$

Alle Signale im Aufsatz werden als normiert im Intervall (-1...0...1: bipolar) bzw. (0...1: monopolar) angenommen.

## Mittelwertbildung

Wie ist es möglich, eine definierte Zeitfunktion aus einem verzweigten Netzwerk zurückzuerhalten? Ist es möglich, eine mathematisch einfache und leistungsfähige Abstraktion für Interferenznetzwerke zu finden?
Für den (nicht existenten) Sonderfall von *Gleichzeitigkeit* aller Inputs gelten folgende Mittelwerte.

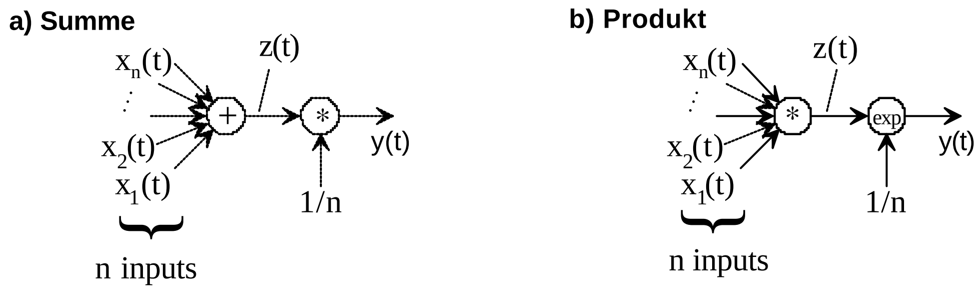


**Fig. 2 Vereinfachte, additive a) und multiplikative b) Verknüpfung mit Mittelwertbildung**

### a) Summe

Die Summe von *n* (identischen) Zeitfunktionen hat die *n*-fache Höhe der ursprünglichen Zeitfunktion *f(t)* (Fig.2a). Wenn wir *n* Zeitfunktionen verknüpfen, scheint es notwendig, die resultierende Zeitfunktion durch die Anzahl *n* zu teilen um ein Signal zu erhalten, welches die richtige Amplitude besitzt. Wir nehmen an, an allen Eingängen $x_i(t)$ liegt dasselbe Signal *f(t)*. Die Anzahl von Kanälen ist *n*, Input ist *x(t)*, Output ist *y(t)*, Zwischenvariable ist *z(t)*.

*(2)* $\bigwedge_{i=1}^{n} x_i(t) = f(t)$

*(3)* $z(t) = n\, f(t)$

*(4)* $y(t) = \frac{1}{n}\, z(t) = f(t)$

### b) Produkt

Eine andere, viel stärkere Rolle spielt eine multiplikative Verknüpfung. Wir setzen voraus, daß wir es mit *monopolaren, nichtnegativen* Signalen zu tun haben. Dabei wäre die Durchschnittsbildung die *n*-te Wurzel des Produkts. (Wir errinnern uns, daß auf *bipolaren* Signalen (Wechselstrom) nur die multiplikative Verknüpfung zweier Signale als Korrelation definiert ist. Jedes weitere Signal kippt das Vorzeichen.)

*(5)* $\bigwedge_{i=1}^{n} x_i(t) = f(t)$

*(6)* $z(t) = \{f(t)\}^{n}$

*(7)* $y(t) = \{z(t)\}^{\frac{1}{n}} = f(t)$

Um Amplitudenreproduktion zu gewährleisten, setzen wir bei allen Betrachtungen voraus, daß eine aus mehreren Zeitfunktionen verknüpfte Zeitfunktion stets auf die Anzahl der Quellen normiert wird.

## Signalreproduktion

Um die Rolle von Interferenz für die Datenkommunikation in mehrfach vernetzten Netzwerken zu verstehen, erinnern wir uns an den einfachen Kreis in Selbstinterferenz. Das Abbildungsgesetz [5] besagt, daß Verzögerungen auf allen Pfaden zwischen Quelle und Senke identisch groß sein müssen ($\tau$), um den Sendeort P an den Empfangsort E "zu binden". Die Zeitfunktion *x(t)* verzweigt am Punkt *P* ohne Amplitudenbeeinflussung. Dort, wo sich die einzelnen Pfade wieder treffen, fordert die

Wiederherstellung des Originalsignals eine Reduzierung der überlagerten Zeitfunktion *z(t)* durch *1/n*. Variablen: Anzahl der Kanäle *n*, Input *x(t)*, Output *y(t)*.

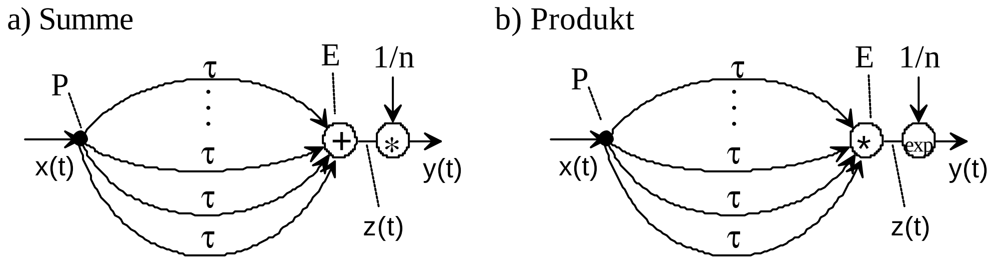


**Fig. 3 Signalreproduktion in Selbstinterferenzschaltungen verschiedener Typen: a) additiver, b) multiplikativer Typ**

### a) Summe

(8) $z(t) = n\,x(t)$

(9) $y(t) = z(t)/n = x(t)$

### b) Produkt

(10) $z(t) = \{x(t)\}^n$

(11) $y(t) = \{z(t)\}^{1/n} = x(t)$

## Additive Störunterdrückung

Ein durchschnittliches, cortikales Neuron besitzt über 7000 Synapsen. Dendritische oder axonale Bäume besitzen hunderte von Einströmungen aus anderen Nervennetzen ("Kurzschlüsse"). Wie ist es möglich, daß in einem so stark gestörten Netz eine gerichtete Datenkommunikation zwischen den verschiedenen Punkten (zum Beispiel zwischen dem rechten Daumen und einer zugeordneten Stelle im Gehirn) entsteht? Wie gelang es dem Schöpfer, einen Mechanismus der Datenkommunikation zu entwickeln? Um einen Vergleich zu bemühen, sei an unser sichtbares Umfeld erinnert. Von überall reflektieren Gegenstände Sonnenlicht in unser Auge. Und all dieses Leuchten trifft jeden einzelnen Photorezeptor. Dennoch können wir sehen.

Unser Interferenzkreis wird zunächst um Störquellen erweitert, von denen wir annehmen, daß sie Störungen $s_j(t)$ als unkorrelierte Rauschsignale induzieren. Ebenfalls verzweigen vielleicht andere Signale wieder zu anderen Nervennetzen. Der Einfachkeit halber möge je eine (superponierte) Störquelle in jeden Zweig einstreuen. Die Rauschquellen können an den Addierer herangeschoben werden, b).

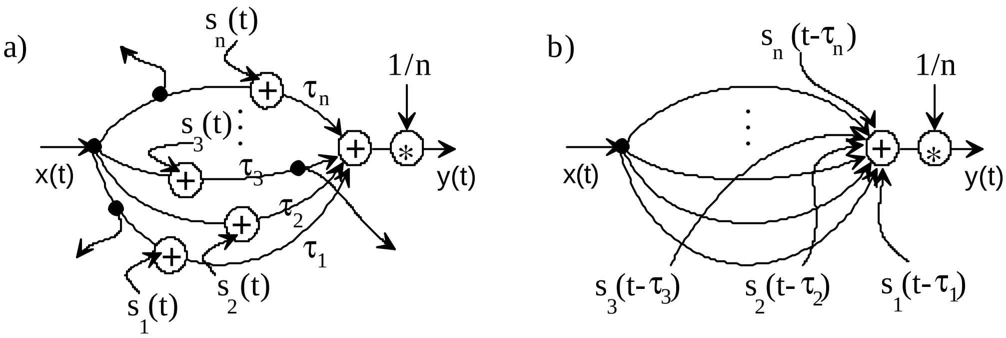


**Fig. 4 Interferenzkreis mit Rauschquellen $s_j$**
**a) Nervennetz mit unkorrellierten Störquellen, b) Ersatzschaltung**

Am Eingang möge eine Zeitfunktion *x(t)* anliegen, die zu rekonstruieren sei. Am Ausgang erscheint die Summe der verzögerten Inputs zusammen mit den Rauschfunktionen

$$(12) \quad y(t) = \tfrac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n} x_i(t-\tau) + s_i(t-\tau_i)\right]$$

Angenommen, die Rauschfunktionen korrelieren nicht, wird der zweite Teil der Gleichung schwächer als der erste, je höher die Kanalzahl $n$ ist. Für genauere Analysen wäre die jeweilige Wahrscheinlichkeitsverteilung $W$ der Störfunktion zu ermitteln. Ist diese unbekannt, so erscheint es hinreichend anzunehmen, daß diese bei pulsförmigen Signalen gegen Null gehen wird. Als Grenzwert für sehr große $n$ erscheint für $W\{s(t - \tau_i)\} << 1$ unabhängig vom Signaltyp

$$(13) \quad \boxed{\lim_{n\to\infty} y(t) = x(t)} \qquad (s_j \text{ unkorreliert}).$$

In Worten: Abhängig vom Zeitfunktionstyp der Störungen kann der Grenzwert der Störungen nur einen Bruchteil des Grenzwertes der Eigeninterferenz ergeben (für $m = n$). Man beachte aber, daß diese Aussage nur für lineare Superposition gilt, das Nervennetz überlagert aber nichtlinear mit refraktärer Auslöschung! Wir resümieren dennoch, daß eine Datenkommunikation in Interferenznetzen umso ungestörter stattfinden kann, umso höher die Anzahl $n$ der beteiligten Partialkanäle ist.

## Multiplikative Störunterdrückung

Für multiplikative Interferenzsystem ersetzen wir die Summen durch Produkte. Allerdings gelten Einschränkungen für bipolare Signale: im Bereich der Selbstinterferenz negativer Phase(n) erzwingt eine gerade Anzahl von Kanälen ein positives Produkt, eine ungerade Anzahl von Kanälen ein negatives. Zweckmäßigerweise sind multiplikative Verknüpfungen deshalb auf *monopolare Signale* beschränkt.

$$(14) \quad y(t) = \left[\prod_{i=1}^{n} (x_i(t-\tau) + s_i(t-\tau_i))\right]^{1/n}$$

$$(15) \quad \boxed{\lim_{n\to\infty} y(t) = x(t)}$$

Vorteil der multiplikativen Verknüpfung ist die enorme Schärfe, mit der das ursprüngliche Signal aus dem Rauschen geholt wird. Allerdings existiert auch ein Nachteil, dessenthalben die Schöpfung diese Art der Verknüpfung nicht verwenden wird. Sobald auch nur ein einziger (Partial-) Kanal ausfällt, ist das Gesamtprodukt identisch Null, d.h. die Verbindung zwischen Quelle und Senke ist unterbrochen.

## Andere Nichtlinearitäten

Additive Interferenzsysteme zeigen Erregungen entsprechend der momentanen raumzeitlichen Superposition: Nehmen wir eine Teichoberfläche als summatives Interferenzsystem verschiedener Wellen, können wir zwar bestimmte Punkte durch gleichzeitiges Eintreffen verschiedener Wellen adressieren, jedoch wackelt jeder Punkt der restlichen Teichoberfläche proportional mehr oder weniger ungewollt mit (Aliasing). Um dies zu verhindern, können multiplikative Verknüpfungen, Schwellwerte oder Nichtlinearitäten eingesetzt werden.

Setzen wir z.B. ein Schwellwertgatter mit einem Offsetlevel von *n-1* ein, so bewirkt erst ein Signal von mehr als dem *n-1* fachen (*n* Kanalzahl des Interferenzsystems) eine Erregung (Selbstinterferenz sollte ein *n*-faches Signal liefern). Wir erhalten eine stille Teichoberfläche, in der nur Orte maximaler Interferenz (*n*) erregt werden.

Zur Vertiefung siehe [2].

## References/ Related Works

[1] Florey, E., Breidbach, O.: Das Gehirn - Organ der Seele? Akademie-Verlag Berlin, 1993

[2] Heinz, G.: Neuronale Interferenzen oder Impulsinterferenzen in elektrischen Netzwerken. GFaI-Report 15. Juni 1993, 157 pages, later 300 pages. For personal communication only.

[3] Schubert, E.: Physiologie des Menschen. Fischer-Verlag Jena, 1977

Correspondence please to G. Heinz, GFaI e.V., Rudower Chaussee 5, Haus 13.7, D-12484 Berlin, Germany,
Tel. +49 (30) 6392-1600, Fax -1602, e-mail heinz@gfai.de

***PS***

*Während Rudolf Virchow bis zum Lebensende den Terminus 'Ganglion' benutzte, führte Waldeyer den Terminus 'Neuron' als einer Verschmelzung von **neur**onalem Filz und Gangli**on** ein [1].*

*'Wenn Ihr das, wovon ihr sprecht, messen und durch eine Zahl ausdrücken könnt, so wißt ihr etwas von Eurem Gegenstand. Könnt Ihr es aber nicht messen, könnt Ihr es nicht in Zahlen ausdrücken, so sind Eure Kenntnisse armselig und sehr ungenügend.'*

*Lord Kelvin*