

**RELATIVITÄT ELEKTRISCHER  
IMPULSAUSBREITUNG -  
SCHLÜSSEL ZUR INFORMATIK  
BIOLOGISCHER SYSTEME?**

DR. ING.

**GERD KARL HEINZ**

BERLIN, DEN 8. JUNI 1993

Vortrag FHTW Berlin FB1, Prof. Matschke



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

An- Institut an der Technischen Fachhochschule Berlin und der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin  
Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen 'Otto von Guericke' e.V. (AiF)

# I.-Faltungssumme, I.-Faltungsintegral

Interferenzprodukte zweier, gegeneinander laufender Vektoren

$X_0$		$X_1$		$X_2$		$X_3$	*	$Y_3$		$Y_2$		$Y_1$		$Y_0$
	$X_0$		$X_1$		$X_2$		$X_3$			$Y_2$		$Y_1$		$Y_0$
		$X_0$		$X_1$		$X_2$		$X_3$		$Y_1$		$Y_0$		
			$X_0$		$X_1$		$X_2$		$X_3$		$Y_0$			
				$X_0$		$X_1$		$X_2$		$X_3$				
				$Y_3$		$Y_2$		$Y_1$		$Y_0$				
					$X_0$		$X_1$		$X_2$		$X_3$			
		$Y_3$		$Y_2$		$Y_1$		$Y_0$		$X_2$		$X_3$		
	$Y_3$		$Y_2$		$Y_1$		$Y_0$		$X_1$		$X_2$		$X_3$	
			+			$X_2$		$X_3$						
			+		$X_1$	$Y_3$		$X_3$		$X_3$				
			+	$X_0$	$Y_3$	$X_1$		$X_2$		$Y_1$		$X_3$		
			+	$Y_3$	$X_0$	$Y_2$		$Y_1$		$X_2$		$Y_0$		
			+		$X_0$	$Y_1$		$X_1$		$Y_0$				
			+			$Y_0$		$X_0$						
						$Y_0$								
				$p_{-3}$	$p_{-2}$	$p_{-1}$	$p_0$	$p_1$	$p_2$	$p_3$				

Vektoren als Zahlenreihen dargestellt:

$$X^- = (x_0, x_1, \dots, x_n) = (x_0, x_1, x_2, x_3)$$

$$Y^+ = (y_n, \dots, y_1, y_0) = (y_3, y_2, y_1, y_0)$$

Interferenzprodukte der Orte:

$$p_{-j} = \sum_{i=0}^n x_i y_{i+j} \quad p_0 = \sum_{i=0}^n x_i y_i \quad p_{+j} = \sum_{i=0}^n x_{i+j} y_i$$

(Interferenz-Faltungsintegral als n-kanaliges Faltungsintegral)

# Faltungsbeispiel

## 1) Mit dualer Impulshöhenangabe

$$\begin{aligned} X^+ &= (0101), Y^+ = (1000) \\ X^+ \cdot Y^- &= 0101 \cdot 0001 = 0000101 \\ X^- \cdot Y^+ &= 1010 \cdot 1000 = 1010000 = (X^+ \cdot Y^-)^- \end{aligned}$$

## 2) Dezimale Impulshöhenangabe

$$\begin{aligned} X^+ &= (0131), Y^+ = (2000) \\ X^+ \cdot Y^- &= 0131 \cdot 0002 = 0000262 \\ X^- \cdot Y^+ &= 1310 \cdot 2000 = 2620000 = (X^+ \cdot Y^-)^- \end{aligned}$$

## Symmetrieeigenschaft

$$X^- \cdot Y^+ = (X^+ \cdot Y^-)^-$$

Schreibweise:

$$p_{j,k} = \sum_{i=0}^n x_{i-j} \otimes y_{i-k}$$

In 2D- Koor

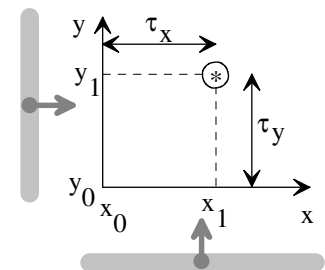
$$x(t) = \delta(t_0) + \dots + \delta(t_n)$$

$$y(t) = \delta(t_0) + \dots + \delta(t_n)$$

$$p_{x,y}(t) = x(t - \tau_x) \otimes y(t - \tau_y)$$

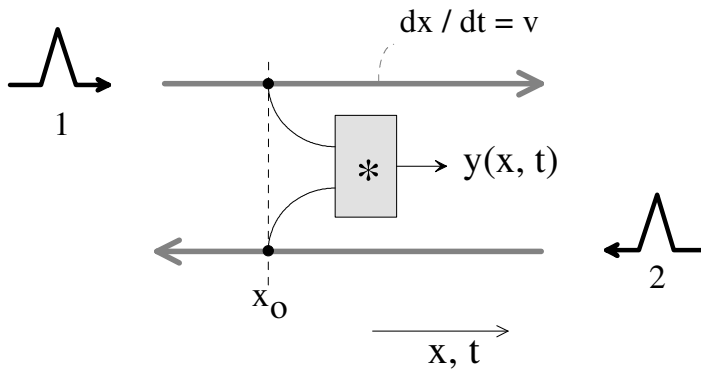
$$\tau_x = \frac{x_1 - x_0}{v_x}, \text{ und } \tau_y = \frac{y_1 - y_0}{v_y}$$

Zur Interferenz zwischen aus verschiedenen Richtungen kommenden Wellenzügen.



# Physikalische Interpretation

$$dx/dt = \pm v$$



Zum Interferenzbegriff  
zwischen Leitbahnen.

$$u_1(x, t) = u_0 f(t + x/v)$$

$$u_2(x, t) = u_0 f(t - x/v)$$

$$y(t) = p_1(\tau) * p_2(t - \tau)$$

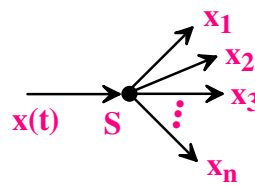


Figure 1a)  
Firing neuron as  
transmitter.

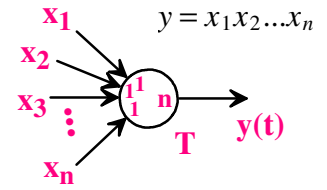
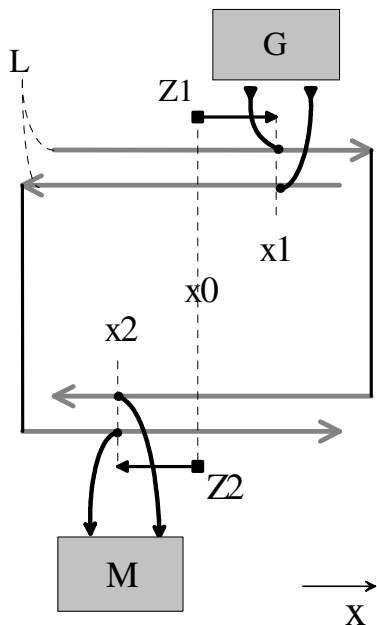


Figure 1b)  
Multiplying neuron  
as AND-receiver.

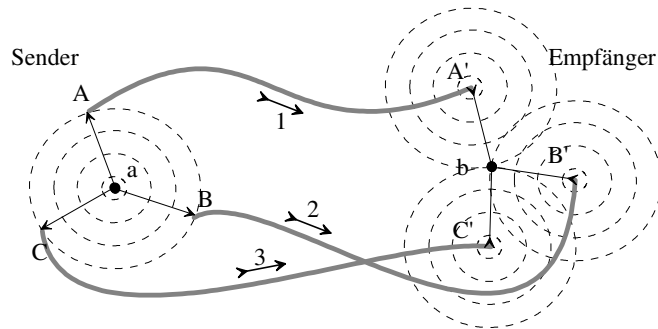


Zum Begriff der  
Abbildung.

Ein Zeiger Z1 wird auf  
einen Zeiger Z2  
abgebildet.

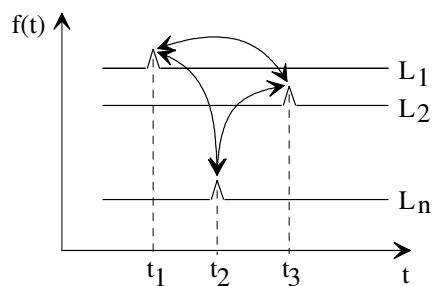
$$\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n ; \quad \frac{s_1}{v_1} = \frac{s_2}{v_2} = \dots = \frac{s_n}{v_n}; \quad \lambda \ll \tau_i$$

# Interferenzort



$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{v_{1i}} \Delta s_{1i} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{v_{2i}} \Delta s_{2i} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{v_{3i}} \Delta s_{3i} = \dots = \sum_{i=1}^n \frac{1}{v_{mi}} \Delta s_{mi}$$

## Interferenzvektor:



$$I = \begin{pmatrix} t_1 - t_0 \\ t_2 - t_0 \\ \vdots \\ t_n - t_0 \end{pmatrix}$$

# Wellenausbreitung

## Wellen in isotropen Medien

Sphärische Öffnung

Isotrope Krümmung mit orthogonaler Frontrichtung

Isotrope Knickung

Parallelführungen

## Wellenausbreitung an Grenzflächen

Senkrechte Brechung

Senkrechte Reflexion

Symmetrische (optische) Reflexion

Orthogonale Reflexion und orthogonale Brechung

Prismatische, orthogonale Brechung

Totalreflexion

Freie Reflexion

Freie Brechung

# Abbildungen

## Ohne Brechzahländerung

- 3.1. Orthogonale Systeme
- 3.2. Ellipsoide Abbildung
  - 3.2.1. Überlagerung konzentrischer Abbildungen
  - 3.2.2. Elliptische Umkehrung
- 3.3. Hyperboloide Abbildung
  - 3.3.1. Hyperbolische Umkehrung
- 3.4. Paraboloid Abbildung
- 3.5. Kombinationskörper
- 3.6. Projektionen im Hohlkörper
- 3.7. Oberflächen- Projektion
- 3.8. Evolute und Evolvente

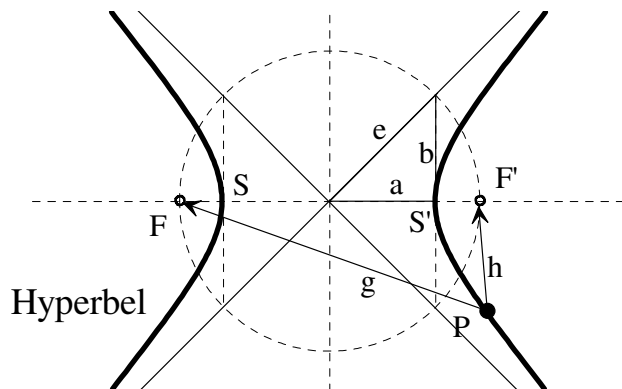
## Mit Brechzahländerung

- 4.1. Moving
- 4.2. Zooming
- 4.3. Verzögerungslinsen
  - 4.3.1. Brennweiten im achsfernen Raum
  - 4.3.2. Schnittweiten im achsfernen Raum
  - 4.3.3. Rechnung im paraxialen Raum
  - 4.3.4. Konvex gekrümmte Linse
- 4.4. Projektion auf Leitbahnen verschiedener Ausbreitungsgeschwindigkeit

# Hyperbolisches Rückenmarkmodell

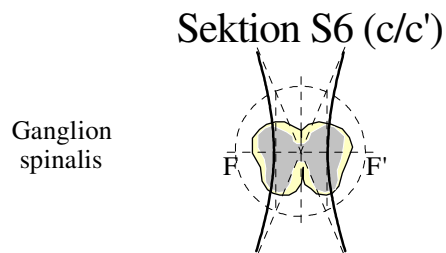
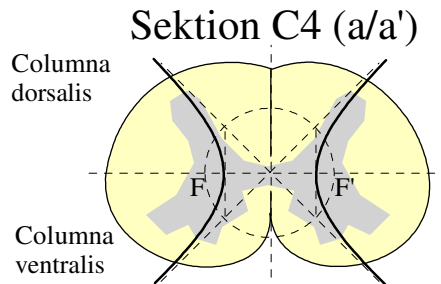
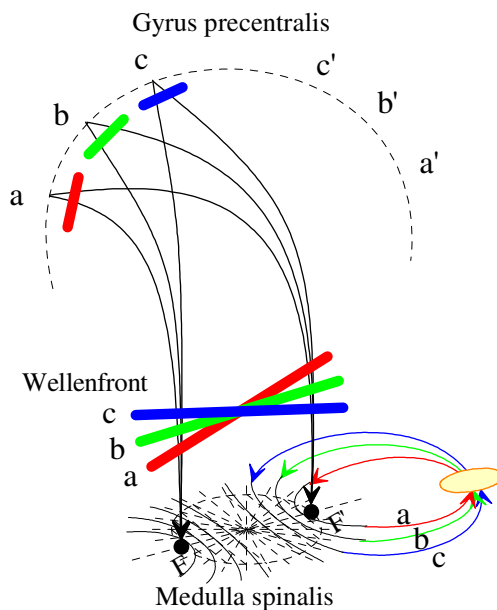
(Penfields 'Homunculus')

Hyperbel: Differenz der Abstände  $g, h$  zu den Brennpunkten  $F, F'$  konstant ( $2a$ )



$$-h = +/- 2a$$

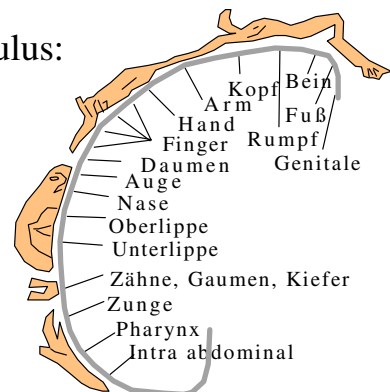
$$e^2 = a^2 + b^2$$



Übereinstimmung besteht in den Verhaltenseigenschaften:

- Höhenzuordnung im Homunculus
- rechts/links- Vertauschung
- Somatotopische Abbildung

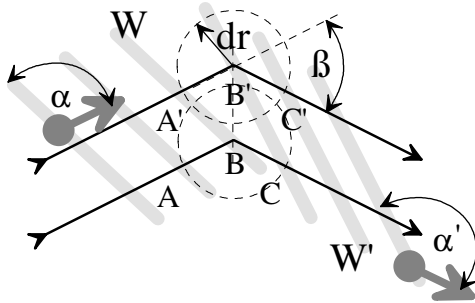
Homunculus:



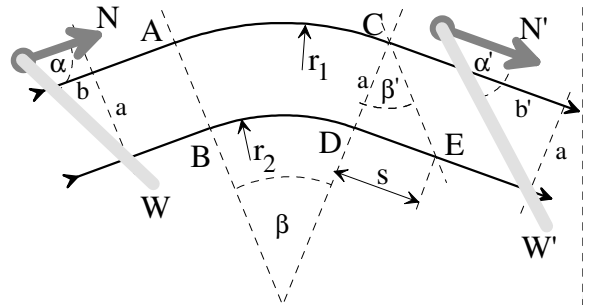


# Kontrolle von Gelenkstellungen

Wellenfrontänderung bei Knickung/ Biegung

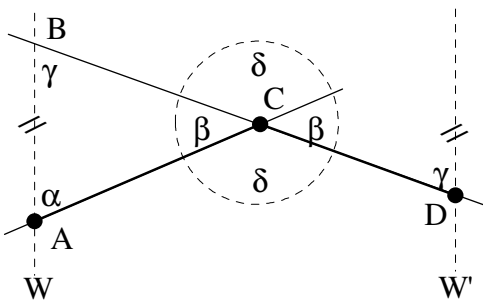


$$\cot \alpha' = \cot \alpha + 2 \tan \frac{\beta}{2}$$



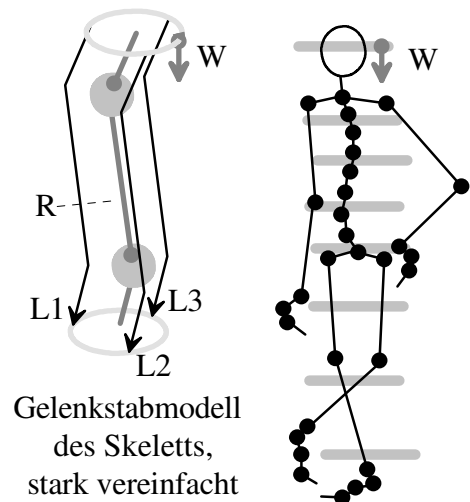
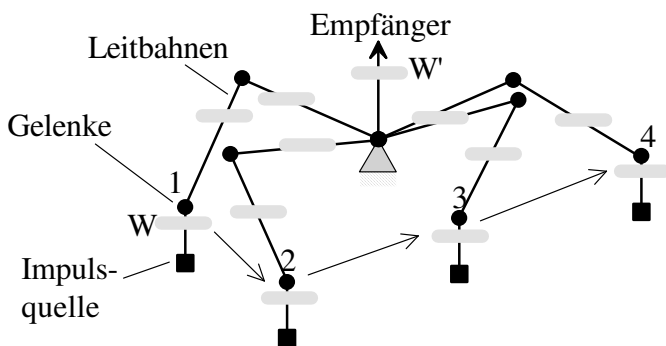
$$\cot \alpha' = \cot \alpha + \frac{\pi}{180^\circ} \beta$$

Wellenfrontkompensation bei mehreren Gelenkgliedern



$$\alpha + \gamma = \delta$$

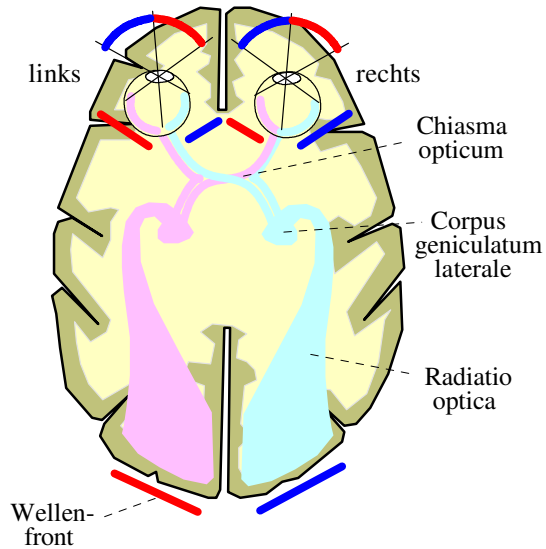
-> Wellenfront schreitet bei kleinen Ausschlägen parallel fort!



Anwendung für Parallelführungen:

-> Reihenentwicklung von Winkelfunktionen entfällt: ultraschnelle Robotik?

# Modell des visuellen Cortex



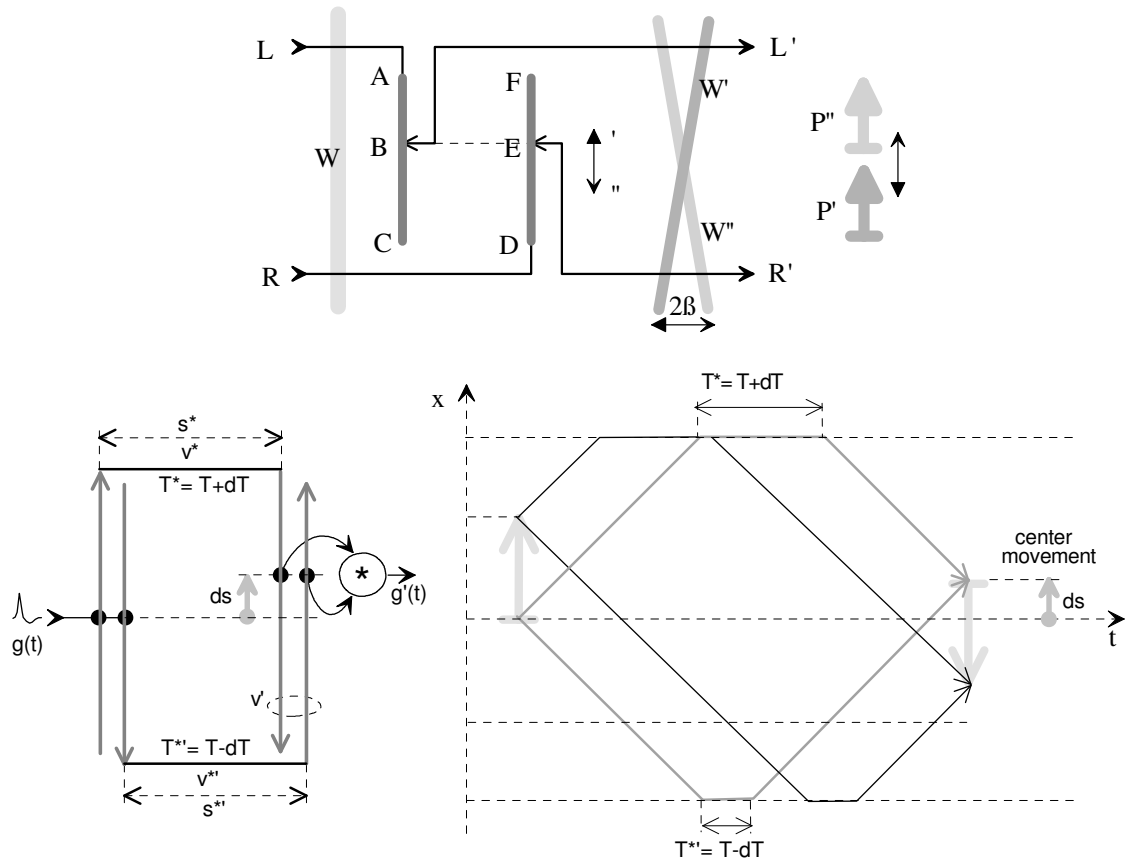
Dilemma derzeitiger Modellvorstellungen: Im Chiasma optikum (Sehnervenkreuzung) sind beide Sehnerven miteinander verkoppelt.

Ausweg: Wellenmodell (Interferenzmodell):

- > Rechts/links Vertauschung wird modelliert
- > Chiasma optikum muß kein 'Relais' sein
- > Bewegung auf der internen Weltkarte bei Augendrehung durch Moving-Effekt

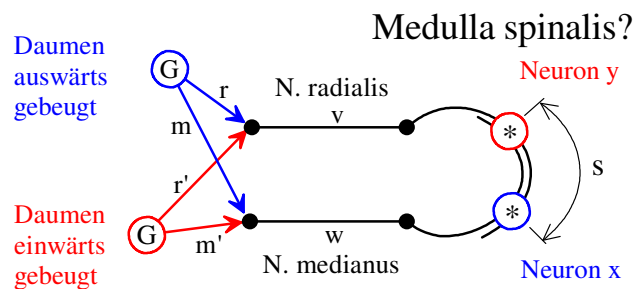
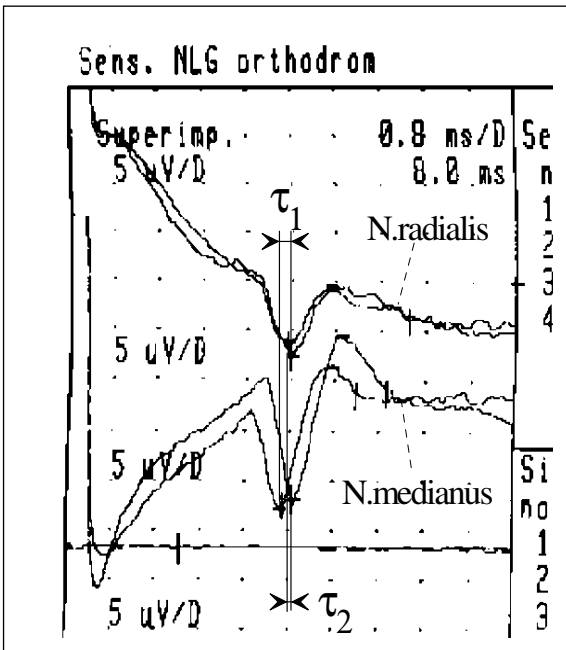
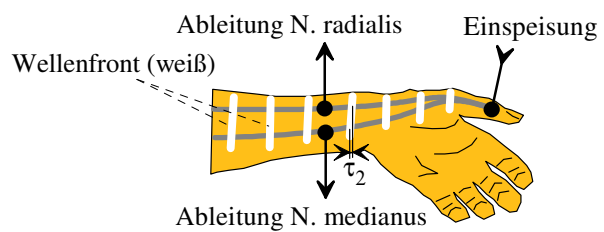
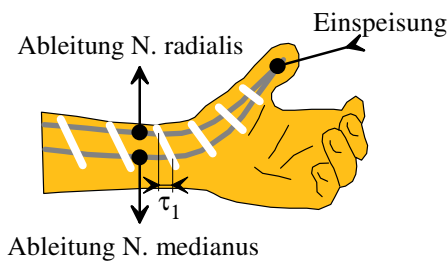
# Moving

Bewegen eines Bildes durch Laufzeitänderung der Übertragungsleitungen



# Daumen- Experiment

Faser-durchmesser in $\mu\text{m}$	gemessene Leitgeschwindigkeit in m/s	Funktion des Nervenstranges	berechnetes Auflösungsvermögen in mm
12-20	60...120	Versorgung quergestreifter Muskulatur	60...120
3-6	15...30	Berührung, Druck der Haut	15...30
2-5	12...30	motorische Versorgung der Muskelspindeln	12...30
0,4...1,2	0,5...2	marklose Fasern, Schmerz der Haut	0,5...2

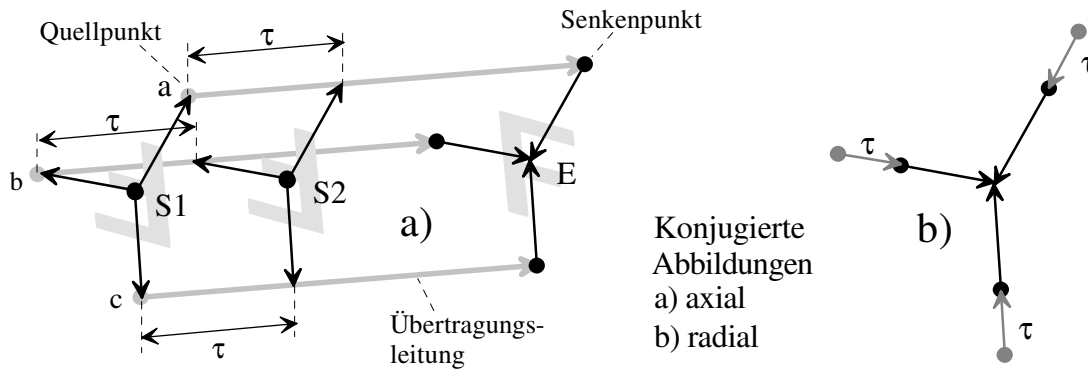


**Modell der Hinterwurzelsteuerung:**

$$\tau_{\text{ges}} = \tau_2 - \tau_1 = 0,2 \text{ ms} - (-0,3 \text{ ms}) = 0,5 \text{ ms}$$

$$s = v \tau_{\text{ges}} = 5 \text{ m/s} \cdot 0,5 \text{ ms} = 2,5 \text{ mm}$$

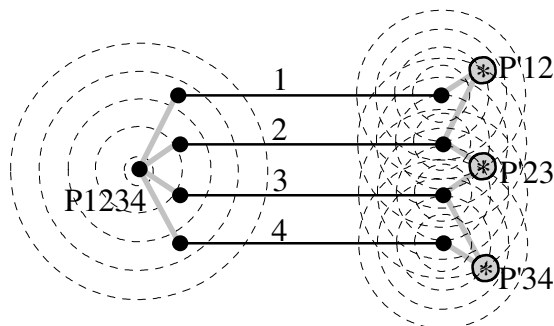
# Überlagerung (Konjugierte Abbildung)



$$T = T(t_0) = T(t_0 + \tau) = T + \Upsilon$$

- > Dezentralisiertes Verhalten
- > Unmöglichkeit der Ortung konjugierter A.: Dermatome innerer Organe
- > 3D- Cyber Spaces: Überblenden möglich

# Komposition (Permutation)



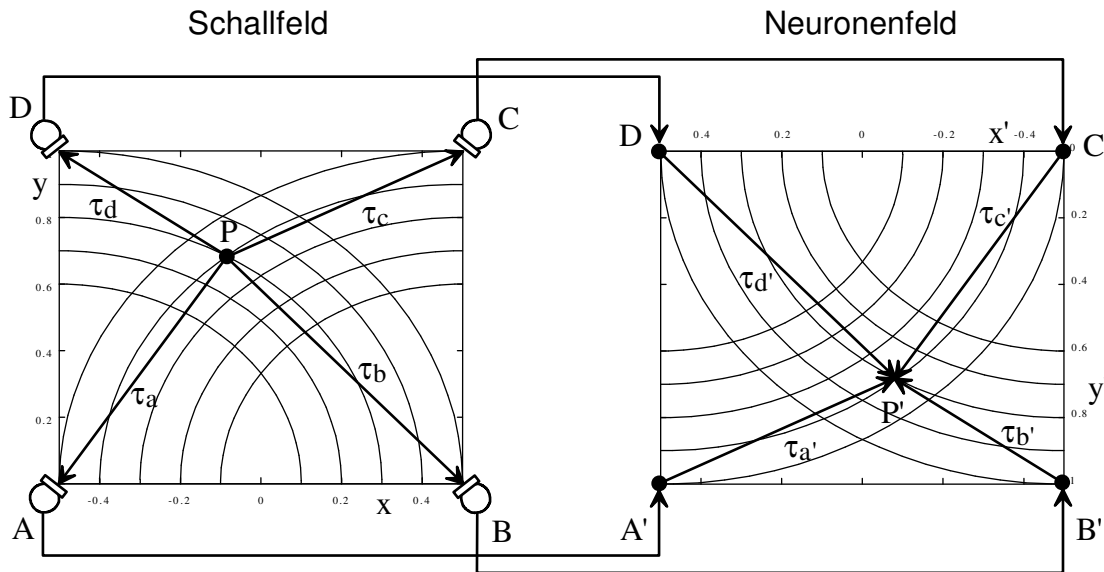
Dimensionsändernde Impulsabbildung durch Permutation

Eine vierkanalige Abbildung P1234 als Konjugierte zu drei zweikanaligen Abbildungen P'12, P'23 und P'34.

$$p = \frac{n!}{(n-i)! i!}$$

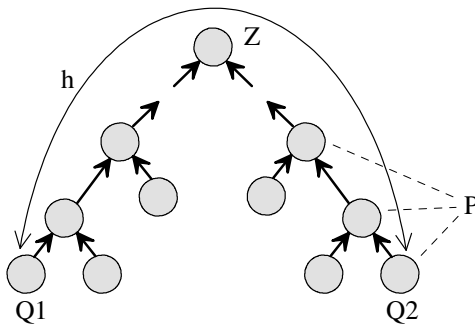
- > Einzelerregungen niederer Kanalzahl können hochkanalige Interferenz auslösen: Ideen, Genius

# Intermediale Abbildungen



--> Abbildung zwischen Interferenzfeldern verschiedener Medien.

## Lernhierarchie



$$P_{ges} = \prod_{i=1}^h P_i = P^h$$

### Schichtenmodell des Lernens

Die Lernmöglichkeit verringert sich, je höher die Zahl der zu überwindenden Ebenen oder Hierarchien ist.

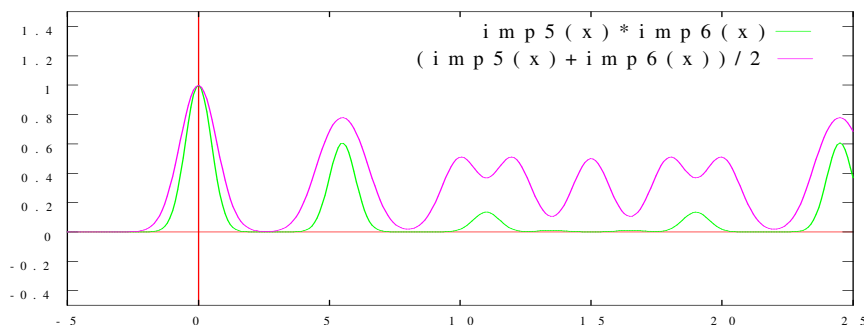
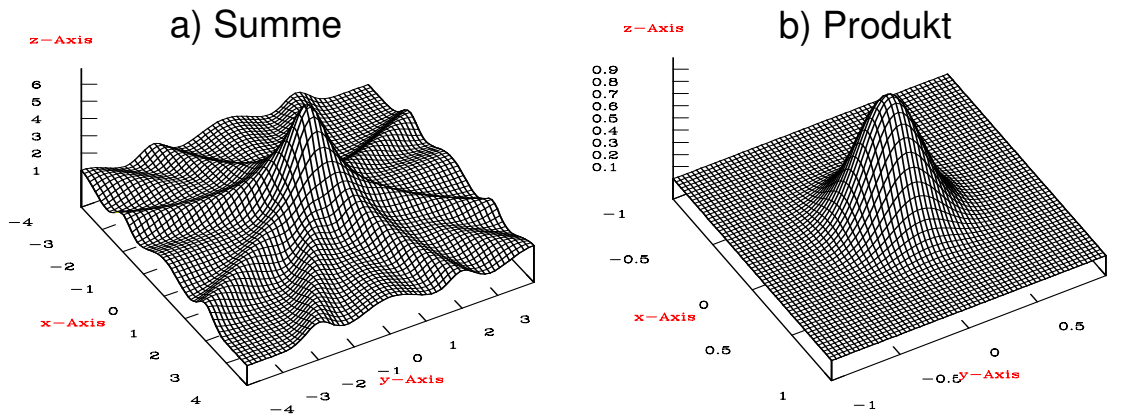
Anzahl der zufällig zu durchdringenden Schichten  $h$ ,  
Wahrscheinlichkeit für Durchdringen einer Schicht  $P$  bzw.  $P_i$   
Gesamtwahrscheinlichkeit  $P_{ges}$

-> Schichtanzahl ist begrenzt

-> Lernfähigkeit steigt mit geringer werdender Hierarchietiefe

# Interferenztyp

Summe, Produkt, arithm. Mittel, geometr. Mittel, Minimum, Maximum liefern verschiedene Interferenzergebnisse



Summe:

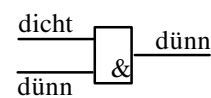
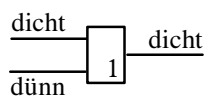
$$f_{out} = f_1 + f_2 + \dots + f_n$$

Produkt:

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{i\tau_a} = \frac{1}{j\tau_b}, \text{ mit } \frac{i}{j} = \frac{\tau_b}{\tau_a}$$

## Impulsfrequenz- Logik

Zustand 0: niedere Frequenz

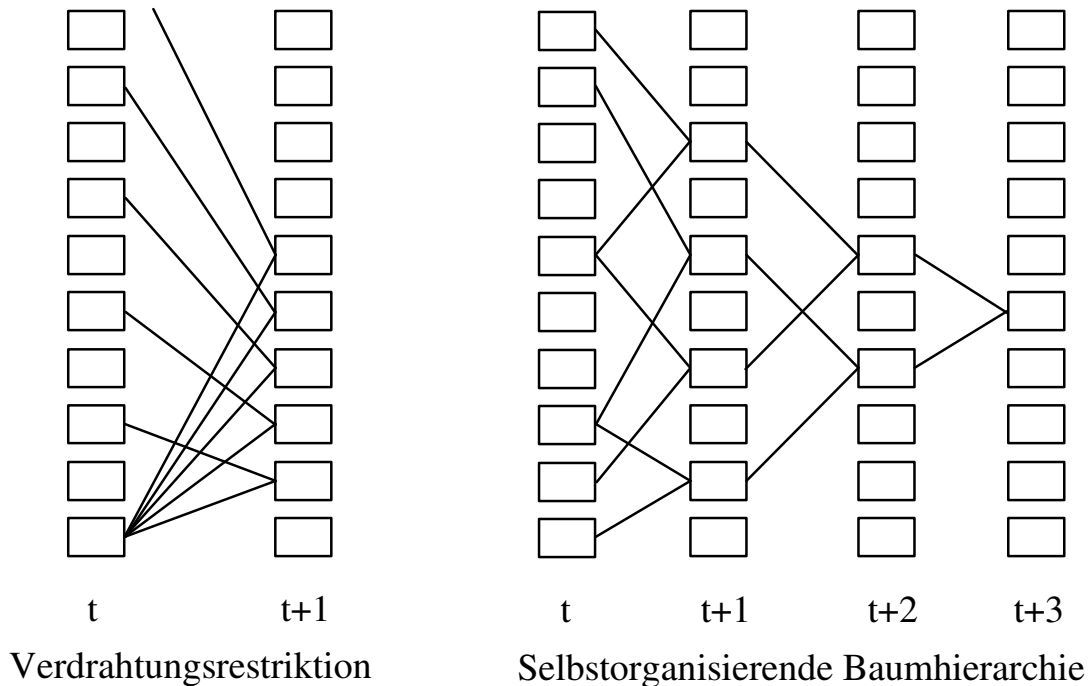


Zustand 1: höhere Frequenz

# Selbstorganisierendes Interferenznetz

Interferenzforderungen:

- 1] Input muß von geometrischen Interferenzorten kommen
- 2] Output geht nur an geometrisch interferierende Orte (gleichen Abstands)



Besonderheiten:

- Mehrfach- Rückkopplung möglich -> Spinglas- Modell
- Bewegung wird vom rückgekoppelten Netz 'verfolgt' und gespeichert
- erstmalig wieder *lokales* Organisationsprinzip (zB. mit Hebb's Rule)

*Hebb's Rule*<sup>2)</sup> (1949) "When an axon of cell A is near enough to excite a cell B and repeatedly or persistently takes part in firing it, some growth process or metabolic change takes place in one or both cells such that A's efficiency, as one of the cells firing B, is increased."

$$y = \theta \left( \sum_{i=1}^n w_i x_i - s \right)$$

$$\Delta w_i = \varepsilon \cdot y(x_i) \cdot x_i$$

$$\theta(z) = 1 \quad \text{für } z \geq 0$$

$$\theta(z) = 0 \quad \text{für } z < 0$$

$$w_i = \{-1 \dots +1\}$$

<sup>2)</sup> Hebb, D.O.: The Organization of Behavior. John Wiley & Sons, New York 1949, S. 62



# Maske und Faltungsintegral

## Impuls in Ort und Zeit

$$\exp(-(x-x_0)^2) = \exp(-v(t-t_0)^2)$$

$$\delta(x, t) = \exp\{-[(x-x_0) - v(t-t_0)]^2\}$$

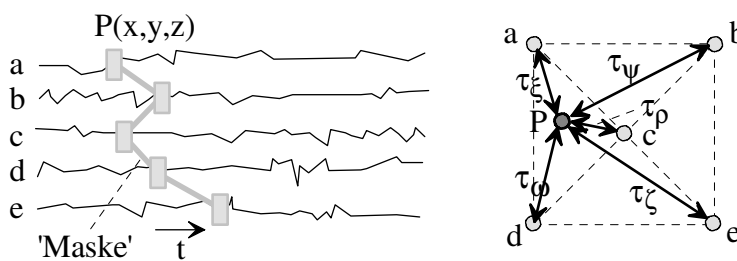
## Faltungsintegral

$$p_{\xi, \psi, \dots, \zeta} = \frac{c}{T} \int_{-\tau}^{2\tau} a_{\xi}(t - \tau_{\xi}) \otimes a_{\psi}(t - \tau_{\psi}) \dots \otimes a_{\zeta}(t - \tau_{\zeta}) dt$$

## Faltungssumme

$$p_{\xi, \psi, \dots, \zeta} = \frac{T}{m} \sum_{n=-m}^{2m} a_{\xi}(nT - \tau_{\xi}) \otimes a_{\psi}(nT - \tau_{\psi}) \dots \otimes a_{\zeta}(nT - \tau_{\zeta})$$

## Maskenbildung



## Besonderheiten interferenzieller Bilddarstellungsverfahren

Interferenz- Verfahren sind *bis auf das einzelne Pixle parallelisierbar*, aus der PC- Lösung kann zukünftig direkt eine echtzeitfähige, integrierte Lösung abgeleitet werden, die *Geschwindigkeit eines solchen Systems richtet sich nur nach dem Preis*. I.- Verfahren eignen sich für beliebig *tiefes Pipelining*.

die *Auflösung* jedes darzustellenden Gegenstands ist verfahrensbedingt *einstellbar*, sodaß sie nicht höher als die Pixle- Auflösung sein muß.

Es läßt sich zeigen, daß der zu betrachtende *Raum in interferenzieller Darstellung bei Codierung mit fester Codewortlänge maximal codiert* ist. Folglich ist der *Speicherplatzbedarf* für Festlängen- Codierung *theoretisch minimal*.

Interferenzielle Codierung zeigt u.U. eine *exponentielle Zunahme darstellbarer Bilder bei einem linearen Anwachsen des benötigten Speicherplatzes*.

Über die inverse Kanallänge wird die *Bildqualität* bestimmt. Das Verfahren kann über die *Wahl der Schrittweite* gleitend zwischen langsam und hochauflösend, oder schnell und grob eingestellt werden.

Pulscodierte Interferenzverfahren sind *unempfindlich gegenüber variabler Bandbreite eines Übertragungskanals*. Je schmaler die Bandbreite, desto langsamer geht der Bildaufbau vor sich. Starke Konturen erscheinen zuerst, schwache später.

*Zoom, Move, Rotate und Overlay sind elementare Operationen*, die sich vorzüglich und einfach *im eindimensionalen Kanalraum* durchführen lassen. Sie entsprechen speziellen Verschiebe- und Verzögerungsoperationen mit Vektoren.

Aufgrund der elementaren, und nur durch den Preis eingeschränkten Pixle-Parallelisierbarkeit ist es der einzig bislang bekannte Verfahrensansatz, der im Bereich Multi- Media künftig *uneingeschränkte Echtzeitgenerierung* (virtual reality) beliebig repräsentierter Bewegtbilder gestatten wird.

## Fremdinterferenz

An *elementary situation* consists of a *series of correlated impulses*,

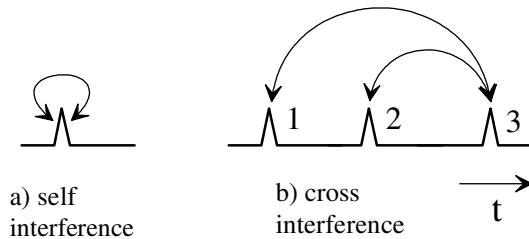


Figure 3  
Interferences between impulses.  
a) self interference  
b) cross interference between different impulses 1,2,3

representing

monopuls- picture parts (self- interference),

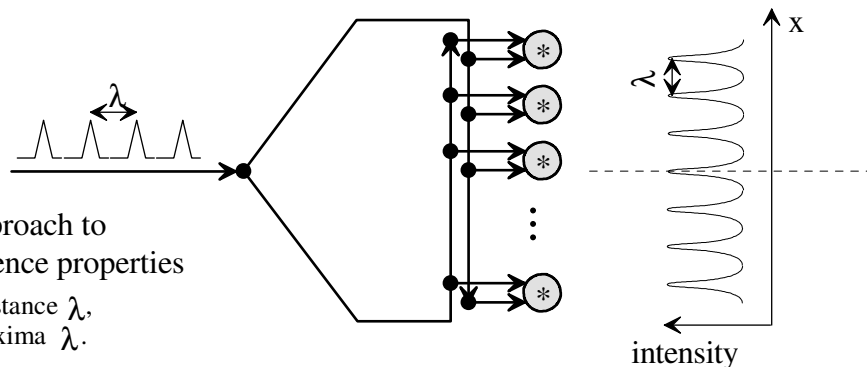
sound modulated delays (cross- interference),

sensor amplitudes as frequency- (better: delay-) modulation between impulses and

motion parts as any autocorrelation between each other following impulses.

A dynamic interference scene includes parts of all these informations together.

Figure 4  
Experimental approach to diffraction/coherence properties  
geometrical puls- distance  $\lambda$ ,  
spacing between maxima  $\lambda$ .



## Simple Interference Circuit

The Algorithm to Construct an electrical interference circuit is easier, then to hard-wire a home-ringing circuit with a compareable count of push buttons and bells:

- 1] Lay out the transmission lines preciously from and to defined coordinates
- 2] Connect all generators (sensors) and all multipliers (actors) in the shortest way to the defined (end-) points of the transmission wires

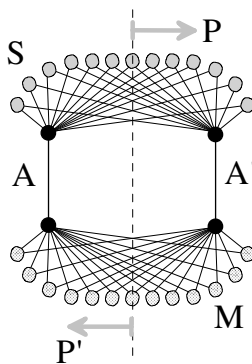
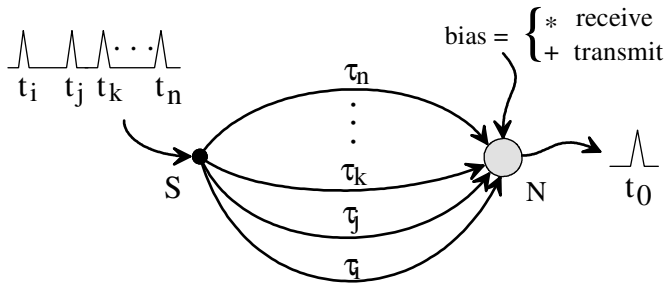


Figure 2  
Biology oriented, 1dimensional  
self interference circuit.

S: asynchronous pulse generators (neurons)  
M: receiving multipliers (neurons)  
A, A': transmission lines (axons)  
P: pointer at the transmitter side  
P': pointer at the receiver side.

# Code References Space, Space References Code



Code detection with a cross-interference structure.

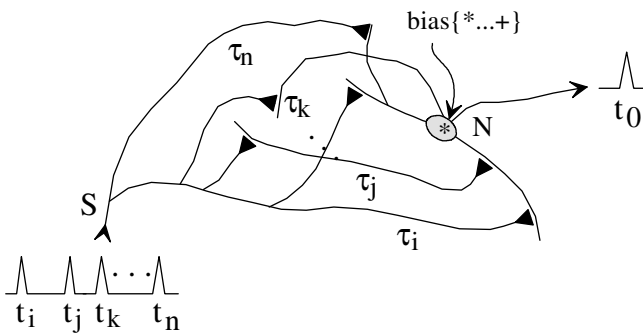
The neuron N is able to recognize a complex situation, if the time-differences between impulses are equal to the delay differences of the circuit. Changing the bias, the neuron reproduces the learned code.

N: neuron (multiply / add)  
S: impulse source

$$\frac{1}{v}(s_b - s_a) = \tau_b - \tau_a = (t_b - t_0) - (t_a - t_0) = t_b - t_a$$

Space to Code and vice versa

$$\frac{1}{v}(S_b - S_a) = \Upsilon_b - \Upsilon_a = T_b - T_a$$

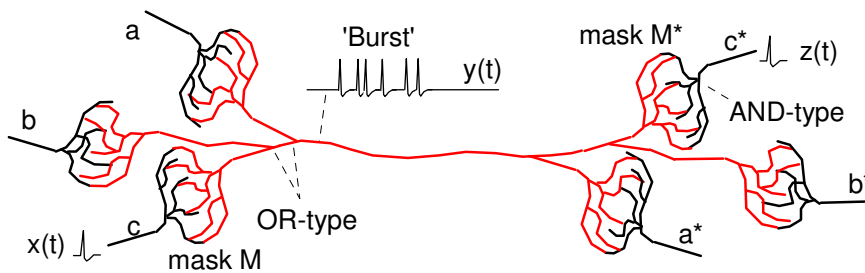


Neuron as a part of an interference circuit.

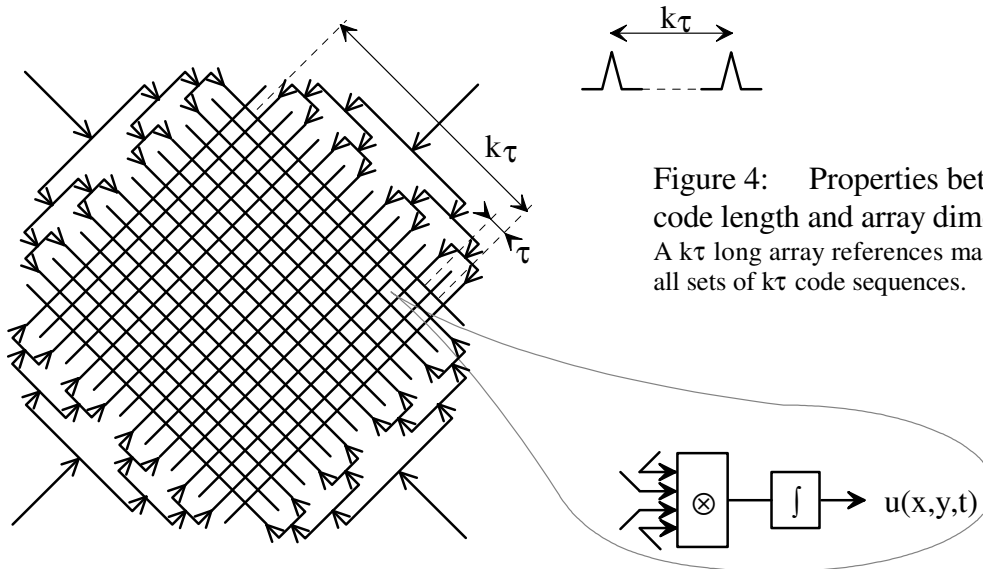
The neuron N is able to recognize a complex situation, if the time-differences between impulses are equal to the delay differences of the circuit.

N: neuron (multiply / add)  
S: impulse source

## Neural Data Addressing

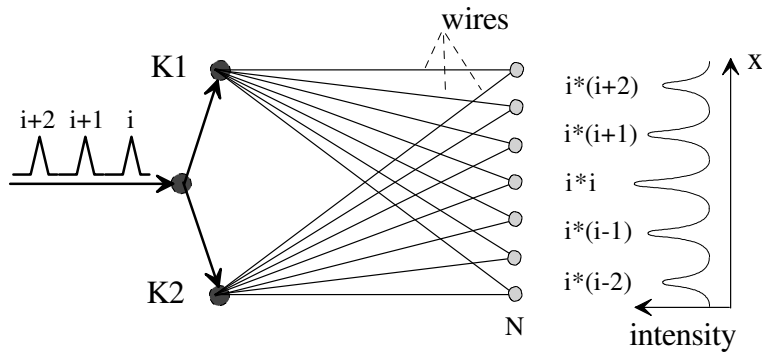


# Sequentielle Tiefe des Interferenzraumes



Thus, in summary, *neural interference networks* can nearly be compared with photographic films. The difference is, that neural interference fields stores more than 2d- pictures: together can be stored the dimensions of time, motion, touch, sound and scent.

# Beugung & Spektrum



Neural diffraction.  
Interference of different impulses (source [1]).

The interference location ( $x$ ) of maximum corresponds to the delay between different impulses  $i^*(i-j)$ .

Mittellinie: Eigeninterferenz  
Seitenspektren: Fremdinterferenz

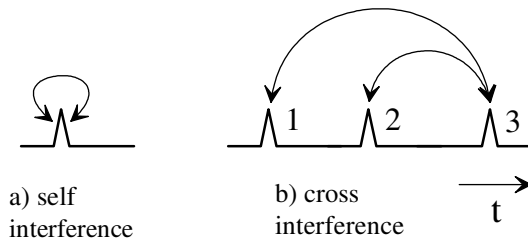


Figure 3  
Interferences between impulses.  
a) self interference  
b) cross interference between different impulses 1,2,3

# Veränderung der Impulsform

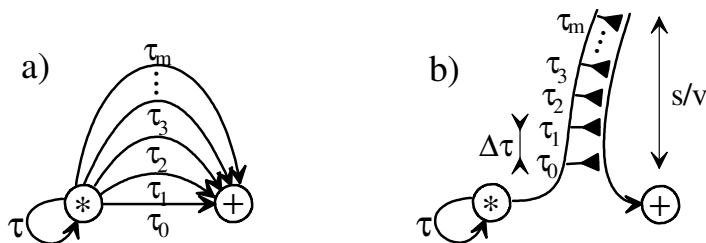
Lösungsansatz:

Aus einem Einzelimpuls entstehende Summenfolge

$$\tau_{k+1} = \tau_k + d\tau, \quad 0 \leq k < m$$

soll gegen konstanten Wert konvergieren.

$$u(t) = \sum_{i=1}^n \delta(t - i\Delta\tau) \rightarrow \text{const} \pm \varepsilon$$

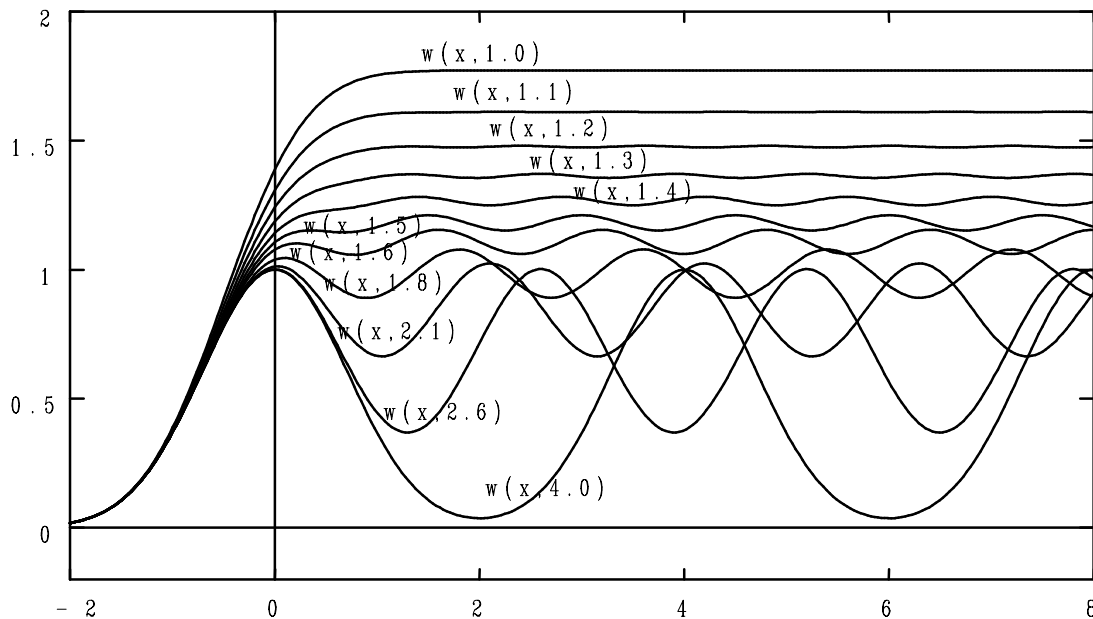


Gleichpegelgewinnung mit  
differentiell anwachsenden  
Verzögerungszeiten.

- a) parallele Verknüpfung
- b) serielle Verknüpfung

Glättungsfunktion  $w(x, \Delta x)$  für Gauß- Folge

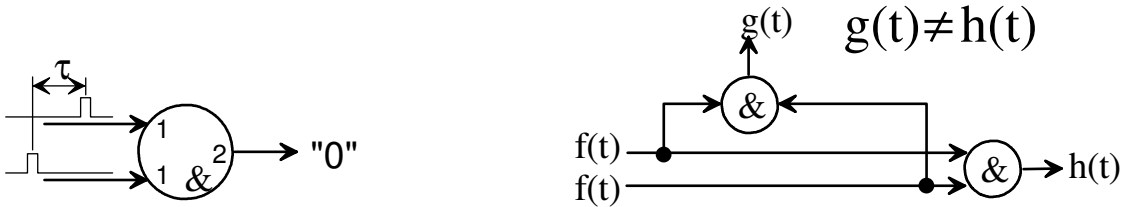
-> Parametersteuerung für Bias, Moving, Zooming etc.



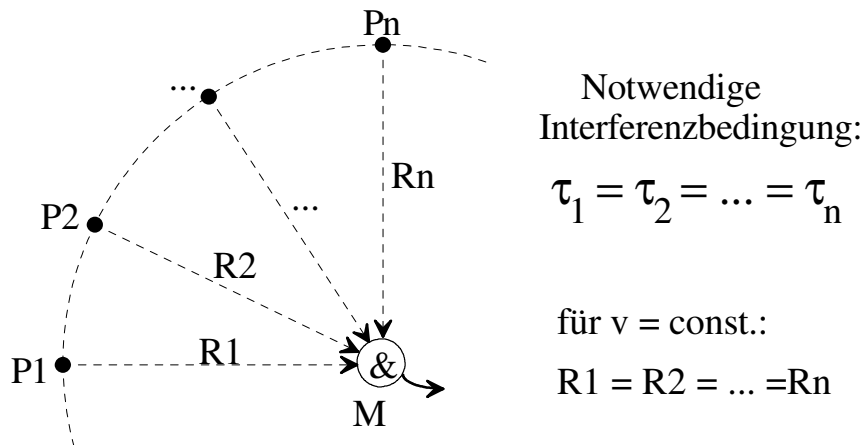


# Einführung

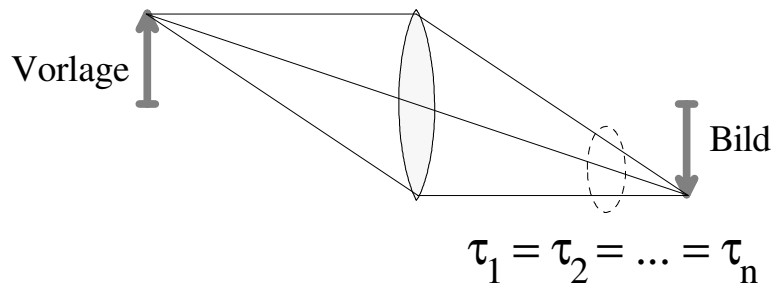
## Laufzeit- Logik



## Logische Verknüpfung pulsformiger Signale in M

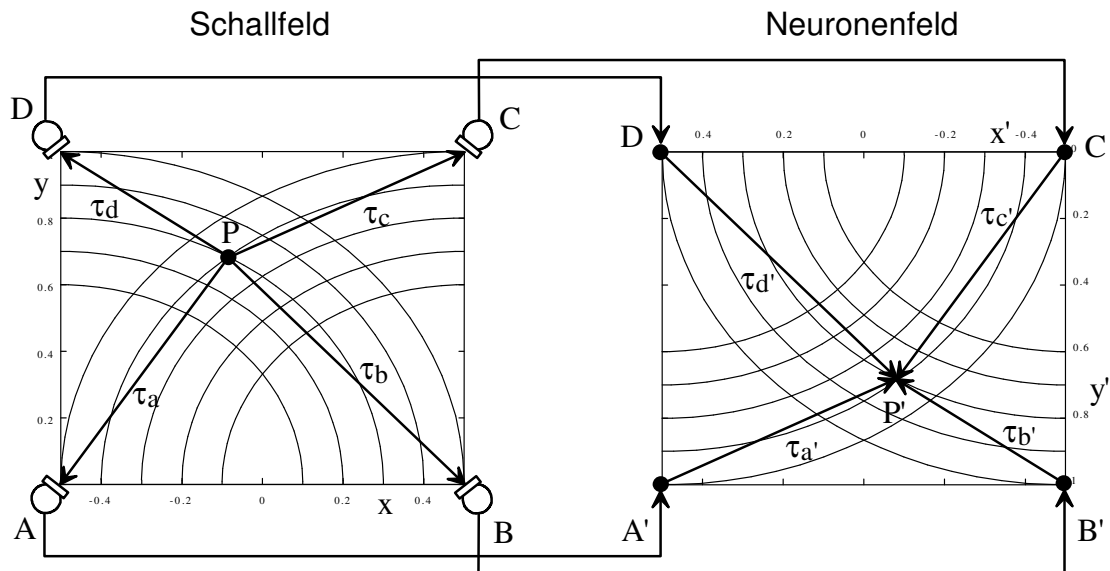


## Delay- Linse (Konvexlinse)



# Intermediale Abbildung

$$\tau_a + \tau_{a'} = \tau_b + \tau_{b'} = \tau_c + \tau_{c'} = \tau_d + \tau_{d'} = \dots,$$

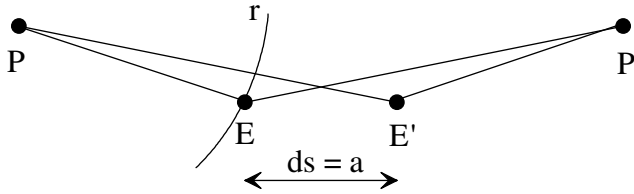


## Beispiele

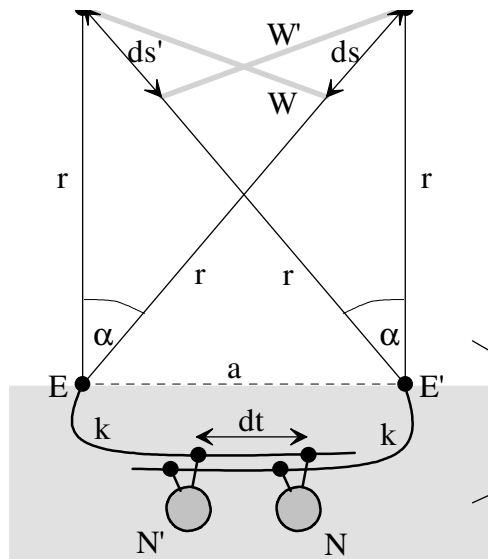
	Elektrisches Feld Vakuum (bildgeb. Radar)	Ultraschallfeld Luft (Fledermaus)	Ultraschallfeld Wasser (Delphin)
Ausbreitungsgeschwindigkeit $v$	300 000 km/s	330 m/s	1500 m/s
Empfängerabst. $a$ (der Ohren)	20 m	5 cm	0,5 m
max. Laufzeitdiff. links/rechts $\pm 90^\circ$	67 ns	152 $\mu$ s	5 $\mu$ s
Laufwegdifferenz $ds$ für $\alpha = 1^\circ$	17 cm	0,436 mm	4,36 mm
Laufzeitdifferenz $dt$ für $1^\circ$	0,58 ns	1,3 $\mu$ s	2,9 $\mu$ s

# Laufzeitdifferenz zu zwei Empfängern

## Laufzeitdifferenz



Laufzeitdifferenz zu Empfängern E, E' bei maximal auseinander liegenden Quellen P, P'.



Zur Ermittlung der Laufzeitdifferenz eines am Horizont verschobenen Punktes P.

Empfänger E, E'  
Reflektionspunkte P, P'  
Wellenfronten W, W'  
Abstandsdifferenz ds, ds'.

freier Laufzeitraum  
neurales Medium

$$dt = \frac{r}{v} \left( \frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) = \frac{a}{v} \frac{1}{\tan \alpha} \left( \frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)$$

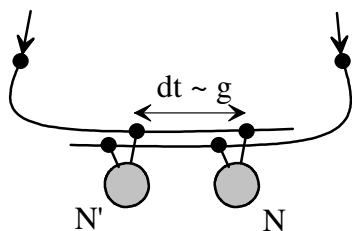
## Ortsauflösung

Für eine angenommene, neuronale Ausbreitungsgeschwindigkeit von  $v = 1 \text{ m/s}$  läßt sich das dazu erforderliche, *synaptische Raster*  $g$  schätzen:

Mit  $g = v dt$  folgt

$$g_{\text{fledermaus}} = 1,3 \mu\text{s} \cdot 10 \text{ m/s} = 13 \mu\text{m}$$

$$g_{\text{delphin}} = 2,9 \mu\text{s} \cdot 10 \text{ m/s} = 29 \mu\text{m}.$$



Die Zeitauflösung  $dt$  korreliert mit einer Ortsauflösung  $g$



# Zooming

Zoomen eines Bildes durch Laufzeitänderung zwischen Vorlage und Bild  
 -> gedankliches Bewegung von Objekten mittels Laufzeitvariation

