

Ein jeder wird bereitwillig zugeben, daß der von einem Nadelstich bewirkte Schmerz sich nicht in der Nadel befindet, sondern in ihm selbst...
 John Hughlings-Jackson, 1880

Spezielle Abbildungen

Wandernder Interferenzort

Unter bestimmten Voraussetzungen erfüllt nicht nur ein Raumpunkt P eine Interferenzbedingung, sondern es existieren mehrere Raumpunkte $P_1(t_1), P_2(t_2), \dots, P_n(t_n)$, die zeitlich nacheinander eine Interferenzbedingung erfüllen.

Insbesondere erfüllen im zweidimensionalen Raum mit zwei Quellpunkten F, F' alle Hyperbeln, deren Brennpunkte identisch den Quellpunkten sind, diese Bedingung. Die Punkte P_1, P_2, \dots, P_n einer jeden Hyperbel besitzen dieselbe Laufzeitdifferenz zu F, F' . Jede Hyperbel erfüllt für einen speziellen Phasenunterschied zwischen F und F' die Interferenzbedingung.

Allgemein erfüllen alle Raumkurven R die Bedingung wandernder Interferenz, deren vollständiger Satz zeitlicher Differenzen dt_1, dt_2, \dots, dt_n für verschiedene Zeitpunkte der Absolutzeit t_1, t_2, \dots, t_n identisch ist. Unter vollständigem Satz ist die vollständige Permutation, die Menge aller Zeitdifferenzen zu allen Quellknoten zu verstehen.

Sie können aus den Abständen r_i des jeweiligen Punktes von den Quellknoten bestimmt werden.

Als vollständiger Satz von Zeitdifferenzen im dreidimensionalen Raum gilt zB.

$$r_1/v_1 - r_2/v_2 = const. = dt_1$$

$$r_1/v_1 - r_3/v_3 = const. = dt_2$$

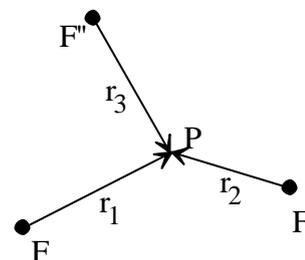
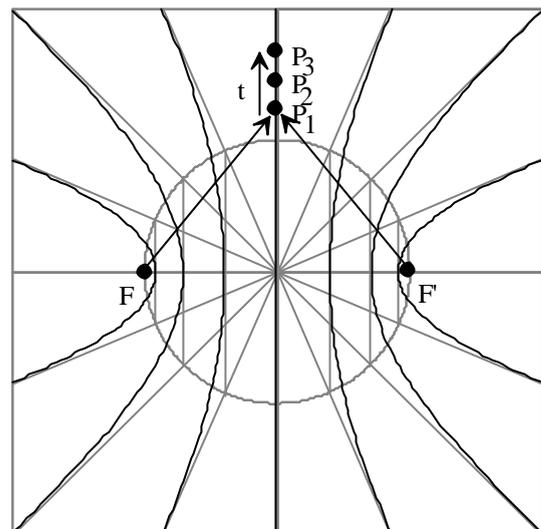
$$r_2/v_2 - r_3/v_3 = const. = dt_3$$

Eine **wandernde Interferenz** entsteht für alle Punkte

$$P_1(t_1) \{dt_1, dt_2, \dots, dt_n\} = P_2(t_2) \{dt_1, dt_2, \dots, dt_n\} = P_n(t_n) \{dt_1, dt_2, \dots, dt_n\}$$

deren vollständiger Satz von Zeitdifferenzen identisch ist.

Im Dreidimensionalen sind wandernde Interferenzorte als Schnittlinien entsprechender Hyperbelflächen zwischen allen drei Brennpunkten auszumachen. Im Vierdimensionalen entstehen



zumindest punktuell noch Lösungen für wandernde Interferenzen.

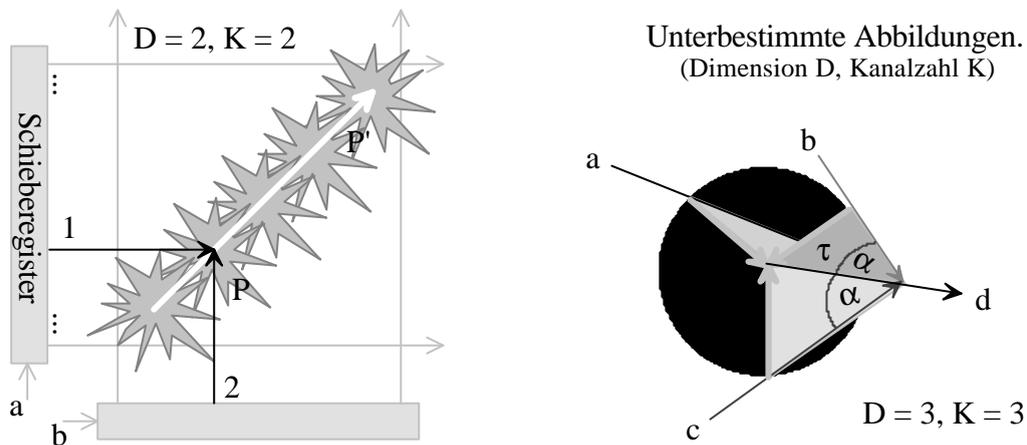
Eine wandernde Interferenz kann ia. dadurch ausgelöscht werden, daß ein zusätzlicher Übertragungskanal hinzugenommen wird, siehe *Dimension und Kanalzahl*.

Burst- Erzeugung; Unterbestimmte Abbildung

Sind weniger als $D+1$ Übertragungskanäle (Dimension D) vorhanden, werden im Gebiet einer empfangenden, orthogonalen Matrix diagonal fliehende Erregungen ausgelöst. Entlang der gemeinsamen Winkelhalbierenden d der erregenden Impulsfronten $a, b, c...$ entstehen von null verschiedene Ausgangssignale an Multiplizierern, wenn das Matrixraster r eng genug ist im Vergleich zur Impulslänge vt_i .

$$v t_i \geq r$$

Der beobachtbare Ausgangsimpuls springt entlang dieser Winkelhalbierenden von Multiplizierer zu Multiplizierer. Aus einem eingangs in die Matrix gehenden Abbild wird eine Bewegung in der Matrix. Eine Gruppe von Einzelimpulsen verursacht eine entlang der gemeinsamen Winkelhalbierenden durch die Matrix laufende Erregungswelle.

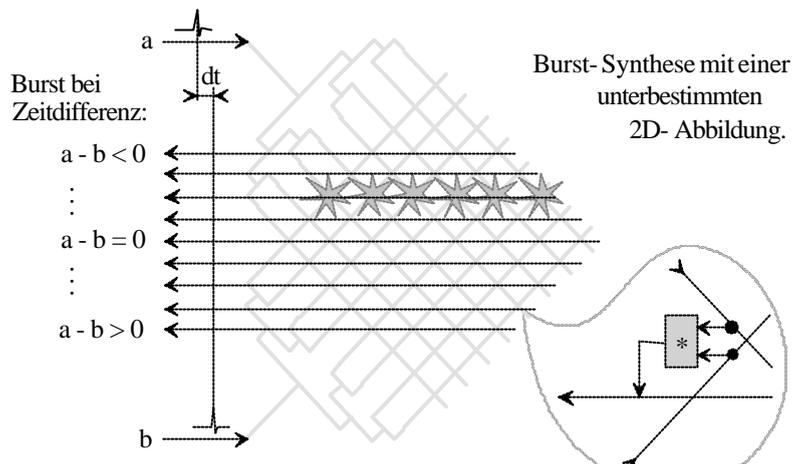


Versorgen beispielsweise zwei senkrecht zueinanderstehende Laufzeitleitbahnen ein matrixförmiges Gebiet von multiplikativen Empfängern, dann erzeugt jedes Impulspaar eine diagonal durch die Matrix laufende, linienhaft fortschreitende Wellenfront.

Verschiebt sich die Lage der Impulse des Impulspaares zueinander um einen Differenzbetrag, dann verschiebt sich die erzeugte Wellenfront in der Horizontalen *parallel* zur ursprünglichen. Je nachdem, ob der Differenzbetrag positiv oder negativ ist, wandert die linienhafte Wellenfront zur einen oder anderen Seite aus (im Bild nach oben oder unten). Werden entlang dieser parallelen, fiktiven Linien zur Ausbreitungsrichtung der Wellenfront entgegengesetzt impulsammelnde verdrahtete OR- Gatter angeordnet (als 'wired' dargestellt), werden auf diesen schnelle Serien von Impulsen (Bursts) erzeugt, wenn eine 'Linie' detektiert wird. Die Zahl der Impulse pro Burst ist gleich der Anzahl der Multiplizierer (Neuronen) dieser Linie. Es ist zu beachten, daß die Anordnung nicht störungsgesichert ist. Störimpulse erzeugen Phantom- Bursts. Die Schaltung gestattet es, beim Eingehen eines Impulspaares einer bestimmten Phasenlage, dh. beim Erkennen eines bestimmten Auslöseortes, einen Burst zu reflektieren (der vielleicht einen Muskel ansteuert).

Phasendetektion durch Bursts

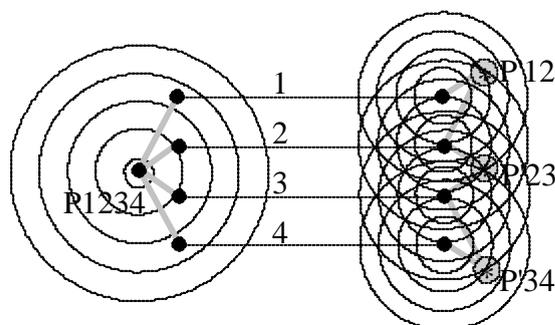
Ebensogut kann der Tonus zweier gegenläufig wirkender Muskeln in Abhängigkeit von der Phasenlage der empfangenen Impulse gesteuert werden. Bei geeigneter Auslegung kann der am biologischen Objekt beobachtbare Kniescheiben- Reflex mit dieser Anordnung recht gut modelliert werden. In den Ganglien eines Wurms angeordnet, kann eine Kopfwendung eine Kontraktion der Muskeln der entsprechenden Seite auslösen. Im Rückenmark langsam schwanzwärts laufende Impulse lassen eine Schlängelbewegung entstehen.



Kompositorische Abbildungen

Dimensionswandlung, Permutation, Partialabbildung

Nicht zu unterscheidende Punkte P, P' zweier *konjugierter Abbildungen* sind dadurch bestimmt, daß alle Laufzeiten τ_i vom Punkt $P...$ bzw. $P..'$ zu den einzelnen Quell- oder Senkenpunkten der Übertragungsleitungen identisch sind. Sie erzeugen identische Interferenzvektoren $T_{source} = T_{drain}$ für alle Interferenzpunkte.



Dimensionsändernde Impulsabbildung durch Permutation

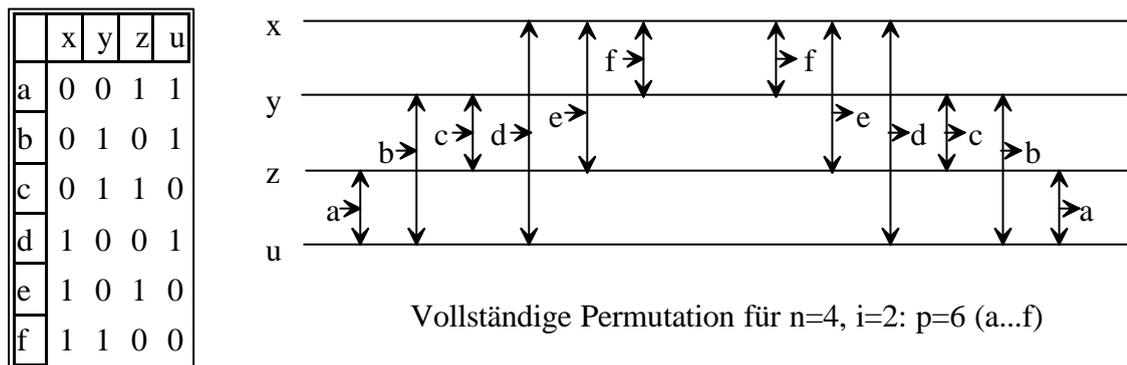
Eine vierkanalige Abbildung P1234 als Konjugierte zu drei zweikanaligen Abbildungen P'12, P'23 und P'34.

Die eigentlich 'abbildende' Eigenschaft eines Punktes ist es, definierte Laufzeiten zu den Quell- oder Senkenorten der zugehörigen Übertragungsleitungen zu besitzen. Würde sich eine dieser Laufzeiten ändern, würde der Punkt seine Identität verlieren, erzeugte Bildvektoren würden sich ändern.

Es ist nun denkbar, Bildvektoren, die einem Punkt P zugeordnet sind, ausgehend von verschiedenen, voneinander unabhängigen, aber miteinander synchronisierten Erregungen nachzubilden. Wenn keine Leitbahnen vernachlässigbar geringer Laufzeit zur Verfügung stehen, kann eine notwendige Synchronisation (analog der Notwendigkeit zur Verwendung einer Referenzwelle zum Auslesen eines Hologramms) über einen orthogonal angeordneten, sphärischen Baum erfolgen. Werden niederkanalige Abbildungen auf der Schirmseite benutzt, dann existiert bei geeigneter Krümmung der Bildebene die Möglichkeit, daß die den Abbildungsorten (P' ...) zugeordneten Multiplikatoren auch auf andere, unvollständige Wellenzüge reagieren, die nichts mit der eigentlichen Vorlage gemein haben. Insbesondere dann, wenn nicht nur ein einzelner Bildpunkt ($P1234$) feuert, sondern komplexe Bilder modelliert werden.

Permutatorische Abbildung

Der Anschluß eines komplexen Bildfeldes mit einigen tausend Multiplizierern an identische Quell- und Senkenpunkte einer Übertragungsstrecke ist biologisch, wie technisch mit einem Minimalzeitproblem der Ausfächerung⁴⁶¹ verbunden, dh. geballte, hohe Ausfächerungen kosten wesentlich mehr parasitäre Verzögerungszeit, als eine ausgewogene Lastoptimierung. In vielen Fällen kann eine ausgewogene Lastoptimierung durch *partielle Netzeinbindung* (Kap.1) mit Permutation der Anschlußleitungen erreicht werden. Unsere Biologie zeigt Entsprechungen.



Dazu wird die Zahl der Übertragungsleitungen n gegenüber der Eingangszahl der Multiplizierer erhöht. Die Multiplizierer können entsprechend stochastisch (Biologie) oder codiert (Technik) vertauscht werden. Die Anzahl p möglicher, voneinander verschiedener Permutationen ergibt sich dann aus der Fakultät der Anzahl von Übertragungsleitungen ($x...u$) $n!$ dividiert durch die Anzahl als gleich zu betrachtender Kombinationen, die aus der Zahl von Belegungen (Synapsen) $i!$ pro Variable und deren Inverser $(n-i)!$ gebildet wird.

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

Insbesondere für biologierelevante Untersuchungen kann dieses Ergebnis zur Abschätzung des Maßes interferentieller Wirkungen benutzt werden, sofern aus anatomischen Untersuchungen die Zahl von Nervenbahnen als n sowie die Zahl von Synapsen i angeschlossener Neuronen bekannt sind. Im Beispiel (Tabelle und Bild) ist eine vollständige Permutation für vier Übertragungsleitungen (x, y, z, u) und Multiplizierer mit zwei Eingängen ($i=2$) dargestellt. Es sind insgesamt $4!/(2!*2!) = 6$ Datenströme (a bis f) unabhängig voneinander übertragbar.

⁴⁶¹ Mead, C., Conway, L.: Introduction to VLSI- Systems. Addison-Wesley, Reading MA, USA, 1980.

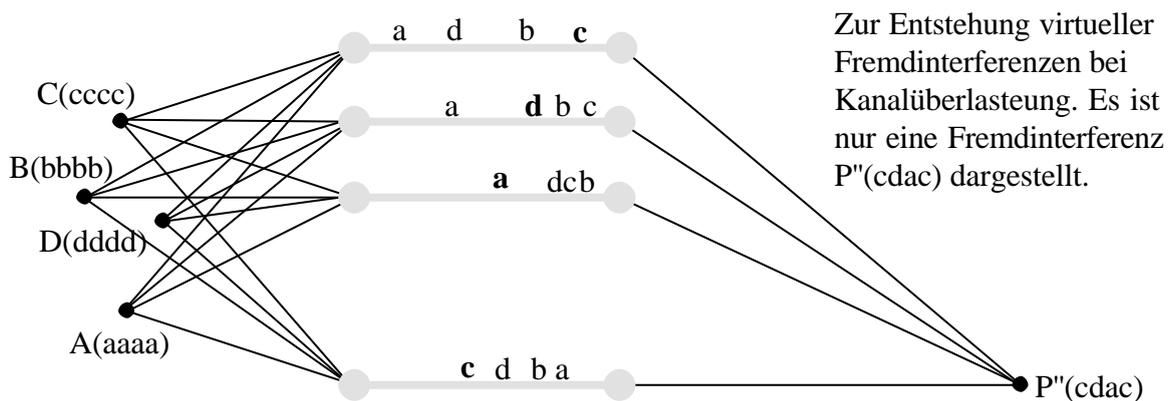
Genius

Eine zufällige Übereinstimmung von Einzelaktionen niedriger Kanalzahl kann vollständige, höherkanalige Interferenzen hervorrufen, obwohl die Wahrscheinlichkeit dafür gering ist. Somit lassen sich *Ideen*, geniale Kombinationen von vorher nicht in Zusammenhang stehenden Bezügen nahe ihrer physikalischen Realität modellieren.

Verschachtelung von Pulsfolgen, Kanalüberlastung infolge Fremdinterferenz

Bezeichnen wir die aus dem Feuerimpuls eines **Vorlagenpunktes A** abgeleiteten Partialimpulse auf n Kanälen unterschiedlicher Indizierung als Tupel der Länge n mit $(a, a, a, \dots a)$. Desgleichen gelte für weitere Vorlagenpunkte B, C usw.. Sie erzeugen ebenfalls pro Feuer je n Partialimpulse $(b, \dots b)$, $(c, \dots c)$. Der Einfachheit halber soll nur einmaliges Feuer aller Bildpunkte untersucht werden.

Dann entsteht auf der Bildseite ein **Bildpunkt A'** genau dann aus den Interferenzen der Partialimpulse $(a, a, a, \dots a)$, wenn die Vorlagenebene (allgemeiner die Krümmung des Bildraumes) eine zur Vorlage geeignet paarige Krümmung aufweist. Ebenso entstehen andere Bildpunkte $B', C' \dots$ aus den ihnen mit Einhaltung der Interferenzbedingung zuordenbaren Impulsen.



Ein *störungsfreies Bild* entsteht, wenn eingangs- wie ausgangsseitig dieselben Interferenzen

$$A(a, a, \dots a) = A'(a, a, \dots a)$$

$$B(b, b, \dots b) = B'(b, b, \dots b)$$

$$C(c, c, \dots c) = C'(c, c, \dots c)$$

usw. zur Wirkung kommen.

Bis hierher setzten wir voraus, daß die Impulse der Vorlagenseite in hinreichend weitem Abstand aufeinander folgen. Was geschieht nun, wenn die Vorlagenpunkte $A, B, C \dots$ immer dichter aufeinander pulsen, sodaß die Partialimpulse verschiedener Vorlagepunkte a, b, c, \dots miteinander zu interferieren beginnen? Dieser Fall entsteht in natürlichen Systemen zB. dadurch, daß die sensorischen Amplituden auf ein ungewöhnlich hohes Maß steigen, oder dadurch, daß der Schwarzwert (das durchschnittliche Feuer beieinanderliegender Neuronen) der Vorlage ein bestimmtes Maß überschreitet.

Gehen wir zur Konstruktion des extremen Falls davon aus, daß die einzelnen Vorlagenpunkte mit so

hoher Wahrscheinlichkeit zu feuern beginnen, daß die Partialimpulse aller Vorlagenpunkte in einem für die Interferenz des Empfangsraumes nutzbaren, einheitlichen Zeitrahmen liegen.

Dann entstehen zusätzlich **virtuelle Bildorte** A'' aus der Interferenz fremder Impulse miteinander

$$A''(a, a, \dots a, a, a, b)$$

$$B''(a, a, \dots a, a, b, c)$$

$$C''(a, a, \dots a, b, c, d)$$

usw.

Jeder Impuls des Vorlagenraumes wird an irgendeinem, virtuellen Ort zum Partner jedes anderen Impulses.

Die Unterscheidung eines virtuellen Ortes von einem tatsächlichen ist deshalb nötig, weil die Krümmung des Bildraumes von allen virtuell vorhandenen Bildpunkten nur diejenigen darzustellen gestattet, deren Interferenz in der Projektionsfläche zu liegen kommt.

Es ist leicht zu zeigen, daß bei n Bildpunkten (Alphabet) und k Kanälen (Anzahl der Zeichen) n^k Kombinationen von Interferenzen auftreten, dh. es entstehen maximal insgesamt n^k virtuelle Bildpunkte V auf der Bildseite. Von diesen sind die n reellen, die Abbildung realisierende Bildpunkte abzuziehen.

$$V = n^k - n$$

Von diesen $(n^k - n)$ Interferenzen eines dreidimensionalen Raumes teilt die dritte Wurzel das Matrixraster einer Achse ein. Zur überschlägigen Ermittlung der Interferenzen, die auf einer (beliebig gekrümmten) Raumebene liegen, ist dieses Raster der Achsenteilung wieder zu quadrieren. Folglich bleiben von n^k virtuellen Interferenzpunkten in der zweidimensionalen, gekrümmten Ebene (dem Pallium) noch P'' Punkte fremder, fehlerhafter und störender Interferenz übrig. Wird die Dimension d des virtuellen Bildraumes in die Gleichung eingeführt, folgt eine allgemeinere Gleichung, die Bezug auf eine f -dimensionale Bildfläche (Standard: $f = 2$) nimmt.

$$P'' \approx V^{\frac{2}{3}} = (n^k - n)^{\frac{2}{3}} = (n^k - n)^{\frac{f}{d}}$$

Eine Kanalüberlastung erzeugt bei n Bildpunkten (Alphabet) und k Kanälen (Anzahl der Zeichen) etwa P'' neue Kombinationen von Interferenzen, dh. es entstehen maximal etwa P'' zusätzliche, reelle Bildpunkte V auf der Bildseite.

Bei der Beurteilung der räumlichen Zuordenbarkeit virtueller Bildorte erinnern wir uns an den Zusammenhang zwischen Dimension und Kanalzahl: Nur für die um eins gegenüber der räumlichen Dimension vergrößerte Kanalzahl $k = d + 1$ ist das aus den Interferenzvektoren bildbare Gleichungssystem weder unter- noch überbestimmt. Folglich hat es wenig Wert, mit wesentlich höheren, oder von $d + 1$ verschiedenen Kanalzahlen zu rechnen. Es entstehen nur tatsächlich virtuelle Bildpunkte bei jeder Darstellbarkeit im d -dimensionalen Raum. Folglich kann obige Gleichung realistischer mit der Dimension d anstelle der um eins reduzierten Kanalzahl k geschrieben werden, $d = k - 1$

$$P'' \approx (n^{d+1} - n)^{\frac{f}{d}}$$

Dann ist zumindest gewährleistet, daß alle virtuellen Punkte bereits Punkte des d -dimensionalen Raumes sind.

Beispiel

Gegeben seien $n = 8$ Sensoren (Bildpunkte), die allesamt so dicht feuern, daß alle Impulse im Laufzeitraum des Bildfeldes miteinander in (Fremd-) Interferenz treten können. Die entsprechenden

Impulse mögen über $k = 4$ Kanäle transportiert werden. Das Alphabet der den Bildpunkten zuordenbaren Impulse bestehe z.B. aus den Ziffern $0\dots7$.

Die Anzahl aller komponierbaren Zahlen, d.h. aller virtuell erzeugten Bildpunkte beträgt $V = n^k = 8^4 = 4096$.

Von diesen sind lediglich acht Ziffernkombinationen

(000000), (111111), (222222), (333333), (444444), (555555), (666666), (777777)

fest den reellen Vorlage- bzw. Bildpunkten zugeordnet. Ausschließlich diese realisieren die gewünschte Abbildung.

Von den 4096 virtuellen Bildpunkten liegen etwa

$$P'' = (n^k - n)^{2/3} \approx n^{2k/3} = 8^{8/3} = 256$$

reelle Anregungen auf einer zweidimensionalen Bildfläche. Immerhin sind dies 32 mal mehr Bildpunkte, als Sensoren auf der Vorlage vorhanden sind. Da eine Kanalzahl von vier gewählt wurde, sind all diese Punkte in einem dreidimensionalen Raum darstellbar. Ob die resultierende Bildfläche allerdings eben oder wenigstens zusammenhängend ist, mag bezweifelt sein.

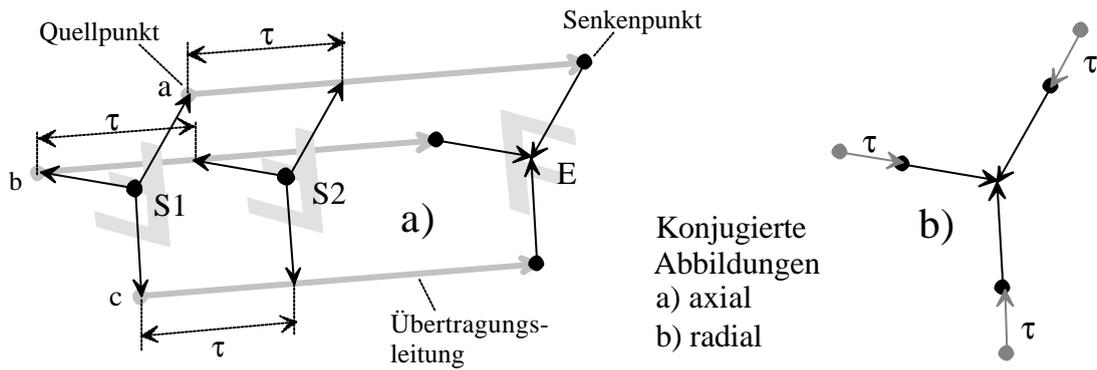
Schmerz, Anregung

Je nach Stärke kann eine solche Überlastung des Übertragungsvolumens der Kanäle bei dezenter Fremdinterferenz als Anregung, bei starker Fremdinterferenz als Schmerz interpretiert werden. Bei dieser Modellbildung wird davon ausgegangen, daß dem Schmerz die Eigenschaft der Nichterlernbarkeit zukommt. Schmerz kann nur durch die Reduktion der Kanalüberlastung mittels Narkotikum beseitigt werden. Wird der Kanaldurchsatz durch ein Narkotikum verringert, verringert sich die durchschnittliche Feuerrate pro Übertragungsleitung. Demgemäß wird die Zahl bildbarer, fehlerhafter Fremdinterferenzen vermindert.

Überlagerungsabbildung (konjugierte A.)

Besitzen verschiedene, laufzeitbehaftete, differentiell wirkende Sender bzw. Empfänger die gleiche Verdrahtungsstruktur und gleiche geometrische Proportionen, dann senden oder empfangen sie gleiche Bilder, unabhängig davon, an welcher Stelle sie in den Übertragungskanal eingeschaltet werden, wenn vorausgesetzt wird, das alle zueinander konjugierten Bildebenen sich in jeweils dergleichen Laufzeitdifferenz auf allen Kanälen unterscheiden. Die Problematik wurde bei der Einführung des Bildvektors weiter vorn behandelt. Dort wurden Bedingungen für die Identität von Bildvektoren hergeleitet.

Genau genommen handelt es sich beim konjugierten (verbundenen, wurzelverwandten) Bild ebenfalls um eine fehlerhafte Abbildung. Nur werden keine Geisterbilder erzeugt.



Vorausgesetzt, Mehrfach- Quellen bzw. -Senken haben gleichen Aufbau und gleiche Proportionen, können sie auf den Übertragungsleitungen um t verschoben werden, ohne daß sich die Abbildung zwischen Sender und Empfänger verändert. Für die Verschiebung der Bezugszeit τ von Bildvektoren T galt nach Kap. 2

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

mit

$$Y = \begin{pmatrix} \tau \\ \tau \\ \vdots \\ \tau \end{pmatrix}; \quad T = \begin{pmatrix} t_1 - t_0 \\ t_2 - t_0 \\ \vdots \\ t_n - t_0 \end{pmatrix}$$

dort wurde gezeigt, daß Bildvektoren (Bildmasken) invariant gegenüber Bezugszeitänderungen sind. $t_1 \dots t_n$ sind die Zeitpunkte der Impulse, t_0 möge die variable Bezugszeit eines Bildvektors darstellen. Eine konjugierte Abbildung läßt sich auf diesen Fall reduzieren, weil der interferenziellen Wirkungsweise Zeitdifferenzen zugrunde liegen. Der Absolutbetrag einer Verzögerung t zwischen Sender und Empfänger ist bei der konjugierten Abbildung für den Empfänger nicht erkennbar.

Axiale Konjugierte

Folglich können verschiedene, geometrisch gleich gestaltete Sender, die an verschiedener Stelle in den Übertragungsweg geschaltet sind, ein differentiell gleiches Bild auf die Leitung schicken, ohne daß der Empfänger E die Möglichkeit hat, auf irgendeinem Wege zu erfahren, von welchem der Sender $S1$ oder $S2$ das gerade empfangene Bild stammt.

Umgekehrt ebenso. Solange die Signaldifferenzen an den Eingängen eines Interferenz- Empfängers unverändert bleiben, bleibt der Bildinhalt derselbe, unabhängig davon, wie groß die absolute Laufzeit der vom Sender kommenden Signale ist. Zum besseren Verständnis ist es vorteilhaft, den Unterschied zwischen axialer und radialer Abbildung zu bemerken. Während die axiale Abbildung ein Verständnis für die Kommunikation weit voneinander entfernter Objekte erschließt, kann die axiale zum Verständnis konzentrierter Signalverarbeitung nützlich sein.

Dermatome

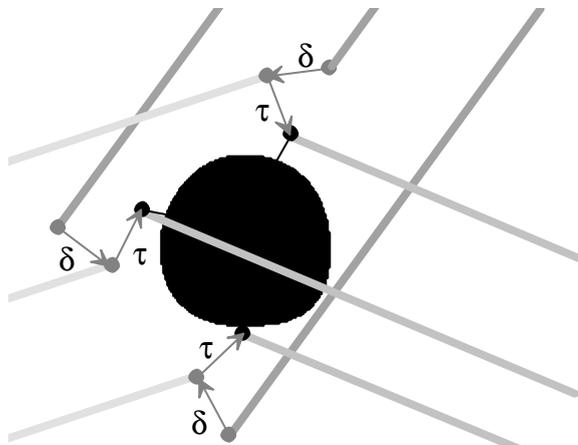
Bestimmte innere Erkrankungen (Niere, Herz, Galle, Blinddarm) erzeugen Schmerzbilder, die anderen Regionen, oft Dermatomen (Hautbereiche der Rückenmarksnerven) zugeordnet werden könnten. Herzbeschwerden werden häufig im linken Arm lokalisiert. Mit konjugierten Abbildungen kann dieser Effekt einfach modelliert werden.

Dezentralisierung des Verhaltens

Konjugierte Abbildungen stellen den Schlüssel zur Dezentralisierung von Verhaltensmustern dar. Existiert eine konjugierte Abbildungsmöglichkeit zu einem höheren, zB. gerade entstandenen Verhaltensmuster, so muß das Muster zwangsläufig parallel von allen potentiell möglichen Konjugierten erlernt werden, wenn jedem beliebigen Neuron dieselbe Lernfähigkeit zugebilligt wird, unabhängig davon, wie diese im Detail gestaltet ist. Das Davonlaufen eines kopflosen Hahns zeigt, daß dezentralisiertes Verhalten am biologischen Objekt offenbar nachweisbar ist.

Radiale Konjugierte

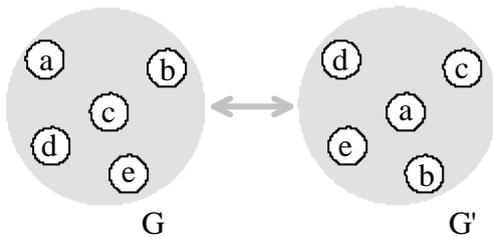
Es ist möglich, Bildvektoren und Bilder anzugeben, die in Bezug auf mehrere Leitbahnsysteme konjugieren. Dazu sind Leitbahnkonstellationen darstellbar, die sich in Hinblick auf eine eingeschränkte Anzahl von Bildvektoren (ein Bild) zueinander konjugiert verhalten.



Jeweils gleich gefärbte, nicht notwendig parallele Leitbahnscharen können innerhalb eines geschlossenen, begrenzten Gebietes G zueinander konjugierte Abbildungen hervorrufen, bzw. diese von diesem empfangen, wenn definierte Bezugsknoten (Quell- und Senkenpunkte, hervorgehoben) als Zeitbezugspunkte benutzt werden, die zueinander einen definierten Verzögerungszeit- Abstand t bzw. d besitzen.

Permutation & Konjugation

Dentriten und Axonen verzweigen und verdrillen sich vielfältig. Eine realitätsnahe Form der konjugierten Abbildung ist die permutierte, aber dennoch konjugierte Abbildung. Abbildungen verhalten sich auch dann konjugiert zueinander, wenn axiale und radiale Form miteinander verbunden werden. Werden Leitbahnen im Bündel zusätzlich wahllos zueinander vertauscht, entstehen Abbildungen, deren Merkmalskarten verschieden voneinander sind. Gemeine, konjugierte und beliebig permutiert konjugierte Abbildung können so miteinander verbunden werden.



Permutierte & konjugierte
Interferenzabbildung.

Eine Vorlage G erzeugt ein Bild G',
dessen Morphologie durch Permutation
von Leitbahnen verändert ist.

Bildung komplexer Begriffe

Um einen komplexen Gegenstand ('Ball') der Umwelt wahrzunehmen, sind Sehen, Hören und Fühlen miteinander in Verbindung zu bringen. Es genügt uns, das Objekt zu Sehen, zu Hören *oder* zu Fühlen, um zB. im Sprachzentrum das Wort 'Ball' zu synthetisieren.

Stellt das Gebiet G die Lautrepräsentanz des Begriffes Ball dar, lassen sich Interferenzen zu den beteiligten, sensorischen Karten (Hören, Sehen, Fühlen) über ein 'Einbrennen' korrelierender Interferenzmuster herstellen, vorausgesetzt, die Einzelkarten sind interferenziell auf das Gebiet G abbildbar, und es existieren genügend viele Variationen (Leitbahn- Laufzeiten) für die Abbildung der morphologiefremden Karten aufeinander.

Abbildung morphologiefremder Karten

Interferenziell gebildete Merkmalskarten unterscheiden sich von selbstorganisierenden Karten zB. der Art nach Kohonen dadurch, daß die Kartenmorphologie zwangsläufig über Interferenzorte gesteuert wird (im Prinzip existieren bei Kohonen- Karten vergleichbare Sachzwänge, diese sind explizit jedoch von der Ausführungsart abhängig.)

Es mögen sensorische Merkmalskarten zB. 'Sehen Ball', 'Fühlen Ball', 'Hören Ball' mit einer motorischen Merkmalskarte 'Sprechen Ball' in interferenzielle Verbindung zu bringen sein, wobei alle Karten, sensorische, wie motorische, voneinander verschiedene Morphologie besitzen mögen. Durch welche Mechanismen ist es möglich, interferenzielle Abbildungen zwischen wesensfremden Karten hervorzurufen, und diese Abbildungen lernend zu gestalten? Eine Antwort wäre die Verfügbarkeit maximal vieler, besser: unendlich vieler Variationen, auf verschiedenen Wegen oder Umwegen von Karte A nach Karte B zu gelangen. Dann ist es in jedem Fall möglich, Abbildungen wesensverschiedener Karten aufeinander zu konstruieren, da für jede erforderliche Interferenz ein Weg der gewünschten Laufzeit existiert. Gleichzeitig aber ist dieses Verfahren unpraktikabel, da eine Erhöhung der Variationen mit einer proportional vergrößerten Impulsausbreitung verbunden ist, das Rauschen stiege - vergleichbar zur ermatteten optischen Linse - bis zur Nichterkennbarkeit der Interferenzen an.

Die Abbildung zweier morphologiefremder Karten aufeinander erfordert verbindende Leitbahnen, die Bestandteil beider Karten sind. Beide Karten mögen durch einen gleich langen, aber verschiedenen Satz von Interferenzvektoren

$$I_a = \{B_{a1}, B_{a2}, \dots, B_{ak}\}; \quad I_b = \{B_{b1}, B_{b2}, \dots, B_{bk}\}$$

kennzeichenbar sein. Dann werden die Karten aufeinander abgebildet, genau dann, wenn ein Verbindungsvektor R existiert, der die zugeordneten Interferenzvektoren beider Seiten befriedigt. Dazu werden zunächst Zeitdifferenzvektoren V_j benötigt.

$$I_a \Leftrightarrow I_b : \quad V_1 = B_{a1} - B_{b1}, V_2 = B_{a2} - B_{b2}, \dots, V_k = B_{ak} - B_{bk}$$

Diese sind den Leitbahn- Differenzlängenvektoren R_i zuordenbar.

$$R_i = vV_i,$$

$$R = v\{V_1, V_2, \dots, V_k\}$$

Eine gemeinsame Lösung für alle B_{ai}, B_{bj} existiert, wenn durch die Leitbahnverlegung erreicht werden kann

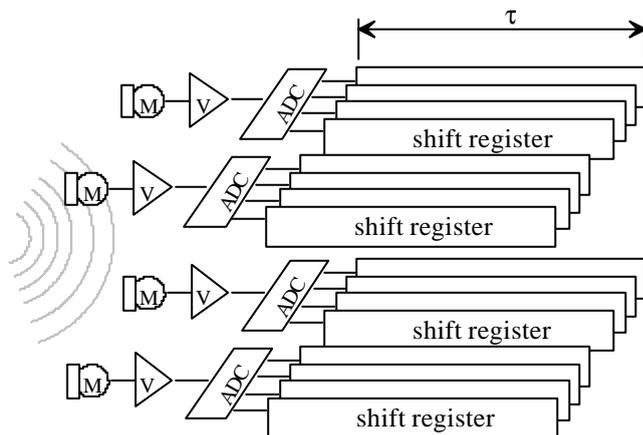
$$V_1 = V_2 = \dots = V_k; \quad R = vV$$

dh. nur unter dieser Bedingung existiert zwischen den Karten ein einzelnes Leitbahnbündel zur Übertragung einer Abbildung. In allen anderen Fällen müssen zwangsläufig mehrere, voneinander verschiedene Leitbahnsysteme benutzt werden, um die morphologiefremden Karten zu verbinden. Das ist wenig verwunderlich, da im informationstechnischen Sinne ein Code oder eine Funktion erforderlich ist, um beide Karten ineinander zu überführen. Folglich ist eine direkte Abbildung morphologiefremder Karten aufeinander im allgemeinen Fall ausgeschlossen.

Die Möglichkeit der Abbildung wesensfremder Karten besteht damit ausschließlich in der Anwendung aktiver Matrizen, zB. in der Form 'beleuchteter Hologramme' (siehe weiter unten).

Speicherung der Kanalinformation

Eine Abbildung möge auf Übertragungsleitungen transportiert werden. Im Sinne interferenzieller Wirkungen ist eine linearisierte Abbildung dadurch gekennzeichnet, daß die eine Seite der Übertragungsstrecke ein anderes Abbildungsverfahren, eine Abbildung anderer Art oder Dimension benutzen kann, als die andere. Wenn es, wie im Abschnitt *Dimension und Kanalzahl* hergeleitet, möglich ist, eine Abbildung eines n - dimensionalen Raumes interferenziell mit $n+2$ Leitbahnen zu übertragen, dann ist es auch möglich, den Zustand auf den Leitbahnen einzufrieren, und eine n - dimensionale Abbildung auf $n+2$ Speicherspuren zu konservieren.



Interferenzielle Bildspeicherung
In den Schieberegistern 1...4 werden die charakteristischen Vektoren gespeichert.

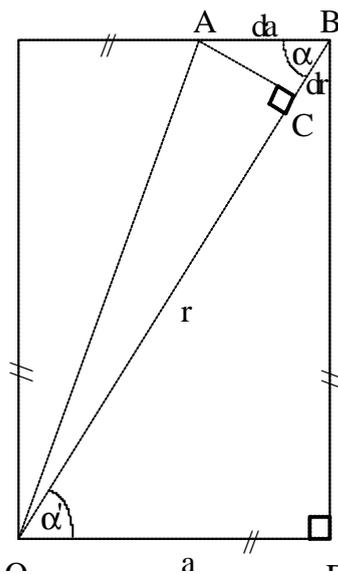
In den Schieberegistern ist die Impulsfolge einer der geometrischen Länge s des Objekts entsprechenden Zeitdauer $t = s/v$ zu fixieren. Im Sinne der Berechenbarkeit wird die Ordnung O der Abbildung linearisiert, der Speicherplatzbedarf sinkt exponentiell.

$$O^n \Leftrightarrow O(n+2)$$

Zur Speicherung von 1000 dreidimensionalen Räumen von $1000 \times 1000 \times 1000$ Pixeln a 1bit (10^{12} bit) sind beispielsweise noch ganze 6 Spuren der Länge der maximalen Laufzeit $\tau = 1000$ durch den Objektraum zu speichern. Das sind nicht nur 6kbit. Wenn ein Bit anerkannterweise die unteilbare

Einheit der Information darstellt, lassen sich 10^{12} bit unmöglich in 6 Spuren a 1kbit unterbringen. Die Impulsdichte auf den Speicherspuren steigt stattdessen. Über die Körnung der Speicherspuren wird das tatsächliche Speichervolumen bestimmt. Andererseits bestimmt das tatsächliche Speichervolumen die Bildqualität bei der Rückfaltung.

Über die Auflösung und damit die Größe des Speichervolumens wird letztlich die Abbildungsqualität entschieden. Die Abbildungen werden unvollständig gespeichert. Wesentliche Konturen bleiben erhalten, unwesentliche gehen unter. Räume hoher Dimension können nahezu ebenso platzsparend gespeichert werden, wie Räume geringer Dimension, der Unterschied ist ein Linearfaktor, kein Exponent. Lediglich das 'Erinnerungsvermögen' des Speicherraums wird unschärfer, je höher die Dimension der Abbildung ist, die Potenz der Einsparung von Speicherplatz äußert sich mit höherer Dimension als steigende Unschärfe. Wesen dieser Speicherart ist es, daß die Information auf jeder der Speicherspuren der Ergänzung durch die anderen Spuren bedarf, um auswertbar zu werden. Andererseits kann selektiv auf den Informationsgehalt einzelner Spuren verzichtet werden, wenn eine genügend hohe Kanalredundanz ($K \gg D$) gewählt wird, und wenn als Auswertungsverfahren keine reine Multiplikation, sondern *mittelwertbildende Verfahren* genutzt werden (siehe dort). Es entsteht ein sich K -fach selbst referenzierendes Hologramm des Objekts. Zur Rekonstruktion eines Bildes kann der Speicherinhalt mit einer (Soft- oder Hardware) realisierten *Orthogonalen Matrix* (siehe dort) rekonstruiert werden.



Das zeitliche Infinitesimal des Speicherraums τ_0 entspricht dem Einschreibtakt der Schieberegister $t_0 = 1/f_{clock}$. Entsprechend kann für eine gewählte Applikation das räumliche Auflösungsvermögen bestimmt werden. Aus der Kongruenz der Dreiecke

$$\Delta ABC \sim \Delta QBD$$

folgt mit $\mathbf{a}' = \mathbf{a}$ und mit

$$\cos \alpha = \frac{dr}{da}, \quad \cos \alpha' = \frac{a}{r}$$

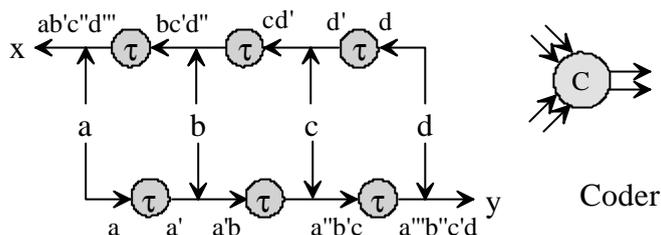
ein Zusammenhang zwischen der am Horizont noch wahrnehmbaren Auflösung da und dem der Taktrate entsprechenden Radiusinfinitesimal $dr = v/f_{clock}$ als Cosinus des größten Winkels \mathbf{a}' :

$$a da = r dr$$

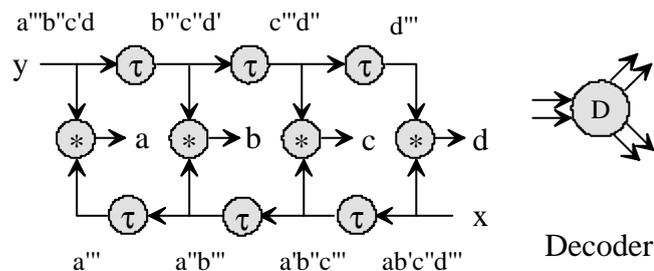
Hierarchiebildung

Interferenz- Abbildungen können mit elementaren Mitteln gegen Störungen gesichert werden. Es ist möglich, auf vielen, verschiedenen Leitungen ankommende Impulsfolgen in hierarchischer Form in Form einer Faltung⁴⁷¹ auf wenige Leitungen zu verschachteln. Um dem Begriff der 'codefreien', interferenziellen Abbildung gerecht zu werden, ist die Minimalzahl von zwei Leitungen nicht zu unterbieten, da sonst die Zuordnung von Impuls und Referenzimpuls verloren ginge. Auf technische Systeme bezogen genügte eine Codevorschrift, um auch den Referenzkanal einzusparen.

Eine den zeitdiskreten FIR- Digitalfiltern⁴⁸¹ (FIR: *Finite Impulse Response*) ähnliche Struktur entsteht, wenn Impulse gegenseitig in Laufzeitleitungen eingespeist werden.



Die Ausgänge x und y der Schaltung erhalten ihre Information gegenseitig, dh. kommt ein Impuls a bei x zuerst an, erreicht er y zuletzt. Eine a, b, c, d innewohnende Abbildungsproportion geht verloren. Werden a, b, c, d von stochastischen Impulsgeneratoren erzeugt (was, sofern nicht anders gesagt, stets angenommen werden soll), ist die Rückgewinnung der ungestörten Abbildung aus x und y auf bisher besprochenem Wege nicht möglich. Dazu bedarf es eines invers gestalteten Decoders. Im Bild sind die Verzögerungen der einzelnen Impulse nach Ursprung a bis d jeweils mit Apostroph gekennzeichnet. Je ein Apostroph entspricht einer Verzögerung von τ .

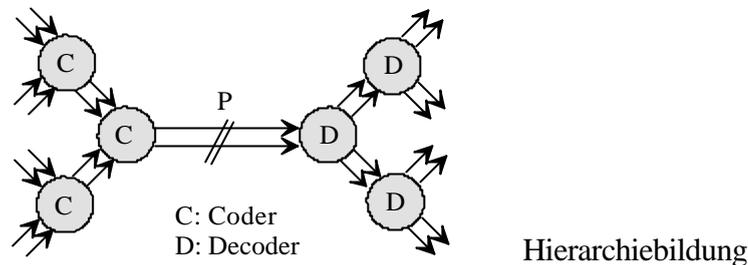


Im Decoder wurde auf die Notation von belanglosen, höheren Verzögerungen größer drei verzichtet. Zusammenführungen im Coder sind als wired OR- Gatter zu verstehen, sie sammeln alle Impulse der ankommenden Leitbahnen. Die Selektion der interferierenden Impulse erfolgt im Decoder auf bekannte Weise durch Multiplizierer (als AND- Gatter dargestellt), die nur zeitlich übereinstimmende Impulse passieren lassen. Der Decoder reproduziert ein identisches Abbild der Eingaben am Coder, wenn vorausgesetzt werden kann, daß die Übertragungskanäle 'hinreichend spärlich' belegt sind. Eine zu hohe Befuerung eines beliebigen Übertragungskanals führt in Interferenzsystemen prinzipiell zu einem Ansteigen zufälliger Interferenzen zwischen falschen, voneinander unabhängigen Impulsen. Damit steigt das Rauschmaß der Übertragungsstrecke. (Genies

⁴⁷¹ Mikusinski, J.: Operatorenrechnung. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1957

⁴⁸¹ Tietze, U., Schenk, Ch.: Halbleiter- Schaltungstechnik. Springer- Verlag Berlin, 9.Aufl., 1991

machen oft einen leicht gestörten Eindruck.) Die Schaltung kann in verschiedenen Kombinationen von Ein- und Ausgangsleitungen gestaltet werden. Die hier dargestellte 4 zu 2- Codierung bzw. 2 zu 4- Decodierung ist insofern interessant, als daß sie hierarchisch kaskadierbar ist.

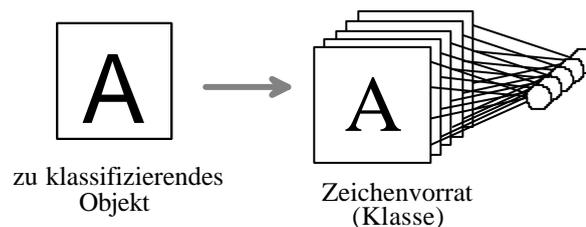


Zur **Kaskadierung** können jeweils Paare von Codern bzw. Decodern zusammengefaßt werden. Es ist darauf zu achten, daß die Referenz nicht mit dem Normal zusammengefaßt werden darf.

Die entstehende Übertragungsstrecke weist einige Besonderheiten auf. Vorausgesetzt, die ankommenden Bilddaten überlasten die Strecke an ihrer schmalsten Stelle nicht, kann die Übertragungsstrecke an der Stelle P beliebig bandbegrenzt werden. Die Abbildung baut sich auf Empfängerseite entsprechend langsamer auf. Sie verschwindet bei überlasteter Übertragungsstrecke nicht vollständig, und hat die angenehme Eigenart, zunächst die wichtigen Konturen zu dekorieren, um erst nach und nach die Fülle der Details wiederzugeben. Sie ist dort geeignet, wo Übertragungskanäle schwankender Restbandbreite zur Verfügung stehen, so beim Telefon, wengleich die für den Teilnehmer nicht wahrnehmbare, digitale Codierung des Telefonkanals auf PCM- Übertragungsstrecken die für Interferenzen zur Verfügung stehende Bandbreite auf 3,6 kHz begrenzt. Es ist zu erkennen, daß eine Abbildung beliebiger Dimension auf dargestellte Weise über zwei Verbindungskanäle übertragen werden kann. Inwiefern sich die Natur derartiger Codemöglichkeiten bedient, ist derzeit nicht erfassbar, dazu wären tragende Nachweise erforderlich. Die Schaltung entstand lediglich aus dem Bemühen, einfachste Möglichkeiten zur Reduktion der Kanalzahl zu suchen, die natur- relevant sein könnten.

Merkmalsextraktion

Unsere Fähigkeit zu Lesen setzt voraus, daß aus einer Klasse von Gebilden (Buchstaben, Ziffern, Zeichen) Merkmale extrahiert werden, die letztendlich einzelne Neuronen bzw. eng lokalisierte Gebiete von Neuronen ansteuern können, die den Elementen der Klasse von Zeichen zugeordnet sind. Diese Aufgabe kommt einer interferenziellen Decodierung gleich.



Kantendetektion

Setzen wir voraus, daß die Zuordnung von Grauwerten, Farben und Flächen mit den zu betrachtenden Detektionsverfahren nicht möglich ist, und daß die zu bestimmenden Zeichen wesentlich durch Kanten charakterisiert werden.

Bogeninterferenz

Ein Bogenelement, bestehend aus *gleichzeitig* pulsenden Neuronen, die im Radius dr angeordnet sind, besitzt als Interferenzort einen Punkt, von dem alle Bogenpunkte gleichweit entfernt sind. Dieser soll als Bogenmittelpunkt M bezeichnet werden. Zwischen Zeitfunktion $f(t)$ der feuernenden Neuronen und Zeitfunktion im Bogenmittelpunkt $m(t)$ finden wir bei Empfängern mit beliebiger \otimes -Charakteristik den Zusammenhang

$$m(t) = f(t - \tau) \otimes f(t - \tau) \otimes \dots \otimes f(t - \tau) = f\left(t - \frac{dr}{v}\right) \otimes f\left(t - \frac{dr}{v}\right) \otimes \dots \otimes f\left(t - \frac{dr}{v}\right)$$

für multiplikative Interferenz entsprechend

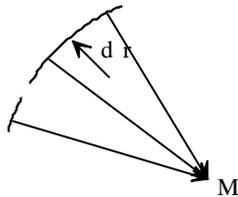
$$m(t) = f(t - \tau)^n = f\left(t - \frac{dr}{v}\right)^n$$

oder für summative Interferenz

$$m(t) = nf(t - \tau) = nf\left(t - \frac{dr}{v}\right),$$

wenn n die Anzahl gleichzeitig feuernender Neuronen des Bogenelements darstellt, und v die Ausbreitungsgeschwindigkeit charakterisiert. Es kommt zu einer Verschärfung der Abbildung im Mittelpunkt. Verrauschte Bogenelemente werden rekonstruiert, da sich einzelne Lücken im Bogenelement kaum verschlechternd auf das Ergebnis, eine Interferenz im Bogenmittelpunkt auswirken.

Eine Interferenz eines Bogenelements auf den Bogenmittelpunkt erfolgt im biologischen System wahrscheinlich unsynchronisiert. Synchronisationsmechanismen würden in Konflikt zu einer ausgeglichenen Pulsbelastung des Netzes führen, die für interferenzielle Vorgänge im Netz eine Voraussetzung darstellt.



Interferenzort M eines Bogenelements

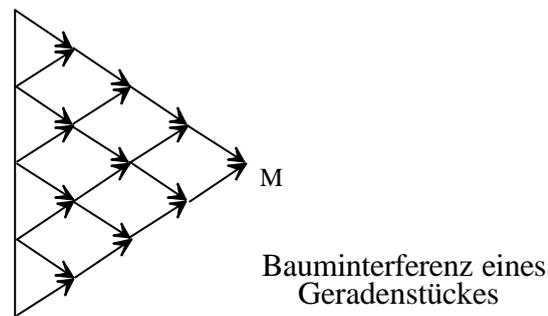
Lücken im Bogengebiet wirken sich kaum auf die Interferenzqualität aus.

In der technischen Nachbildung kann eine Synchronisation der Sendezeitpunkte der das Bogenelement repräsentierenden Neuronen sehrwohl aber zu einer Vereinfachung der Netzgestaltung genutzt werden, da sich die Ermittlung des Interferenzortes dann determiniert darstellt.

Für ein Bogenelement, dessen repräsentierende Neuronen unkorreliert senden, ergibt sich im biologischen System statistisch derselbe Interferenzort M , wenn angenommen wird, daß das Bogenelement von sehr vielen feuernenden Neuronen gebildet wird. Der Bogenmittelpunkt hebt sich aufgrund zufälliger Interferenz der feuernenden Neuronen energetisch von anderen Punkten der Umgebung ab, sodaß die Wahrscheinlichkeit der Erregung des Gebietes um den Bogenmittelpunkt herum gegenüber allen anderen Punkten erhöht wird. Auch kann angenommen werden, daß bevorzugt Neuronen mit Axonenbüscheln, bzw. mit axonalen Sprossungen bei dieser Art der Detektion zu finden sind. In Sicht auf ein gewichtetes Lernmodell, dessen Erfolgsregel die Korrelation zwische Ein- und Ausgabegröße beinhaltet, würden sich bevorzugt axonale Sprossungen in Richtung des zu detektierenden Bogenelementes bewähren.

Bauminterferenz

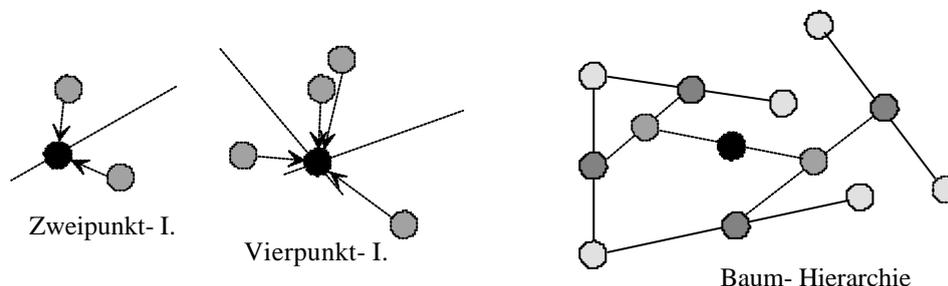
Eine Gerade als Sonderfall eines Bogens mit unendlichem Radius kann, wie bereits besprochen, durch einen Interferenzbaum approximiert werden. Im Gegensatz zum Bogenelement übernimmt eine Baumhierarchie von Neuronen die Detektion. Für erfolgsorientiert lernende Netze (biologisches System) ist eine mehrschichtige Ausbildung einer Interferenz unmöglich. Allerdings treten im biologischen System auch keine Geraden auf. Und jedes Bogenelement besitzt wiederum seinen Interferenzort. Die Behandlung von Geraden erscheint deshalb wenig produktiv.



Andererseits ist es eine Wesensart neuronaler Netze, 'krumm' zu sein. Da stets Leitbahnen zu benutzen sind, deren Verdrahtungsrichtung festliegt, verlaufen gelernte Interferenzen stets auf Umwegen. Somit ist die Interferenz eines Geradenstückes an einem geringfügig von unendlich abweichendem Radius unter Zuhilfenahme von Umwegleitbahnen praktisch analog zur Bogeninterferenz konstruierbar.

Baumartige Hierarchie

Jedes Bogenelement interferiert auf einen lokalen Mittelpunkt. Zu klassifizierende Objekte bestehen zumeist aus mehreren Bogenelementen, deren Interferenzorte verschieden voneinander sind. Zwischen je zwei Bogenelementen zeitgleicher Interferenz lässt sich im 3d- Raum stets eine Interferenz als Punkt der Halbierenden zwischen beiden Punkten finden. Lassen sich n Bogenelemente hierarchisch organisieren, ist stets ein binärer Baum zu finden, der eine Lösung des punktuellen Interferenzproblems darstellt.



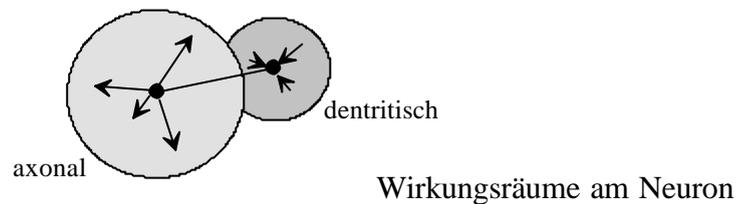
Die Baumlösung führt aber sofort in eine Sackgasse, wenn lokal wirkende Lernalgorithmen zu verfolgen sind.

Dann wird - unabhängig vom konkreten Algorithmus- der Erfolg des Lernens abhängig von der Anzahl beteiligter Schichten, dh. beteiligter Hierarchieebenen des Baumes. Je weniger tief der Interferenzbaum, desto besser die Chance, zu lernen. Erfolgsorientiertes Lernen ist an (irgend)eine (lokale) Korrelation zwischen Ein- und Ausgabe eines Neurons gebunden. Deshalb stellen Bäume

mit einer Vielzahl von Schichten kein geeignetes Medium für lernende Netze dar. Halbierungskonstruktionen gestatten maximal, vier Punkte innerhalb einer Schicht auf einen Empfänger abzubilden (Vierpunkt- I.). Werden mehr als vier Punkte einbezogen, schneiden die Halbierenden ia. nicht mehr, folglich ist nur noch partikuläre Interferenz zu erwarten.

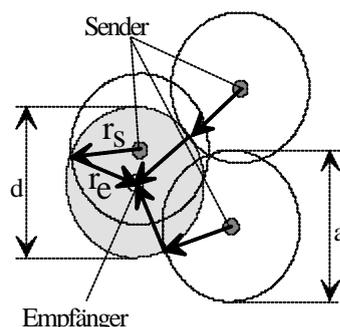
Wirkungsräume am Neuron

Um einer Lösung des biologischen Problems der Erlernbarkeit von Geometrien in einem einschichtigen Interferenzmodell näherzukommen, erinnern wir uns des Feinbaus eines Neurons. Stark vereinfacht dargestellt, kann ein Neuron mit hunderten oder tausenden Verästelungen in zwei Wirkungsräume eingeteilt werden: den Raum der axonalen und den Raum der dentritischen Äste. Im Neocortex sind typische Abmaße der dentritischen Einflußsphäre ca. 0,5 mm. Die axonale Reichweite dehnt sich typisch mehrere Millimeter bis Zentimeter weit aus. Je nach Neuron sind unterschiedliche Größen, Überlappungen und Belegungsdichten dieser Räume anzutreffen. Als Modell möge ein Kugelmodell beider Räume dienen, wobei sich beide Kugeln beliebig durchdringen können.



Eine lernbefähigende Interferenz ist dadurch charakterisiert, daß sie mit einer geringen Anzahl von Schichten auskommen muß.

Je geringer aber die Anzahl der Schichten ist, je geringer ist die Chance, auf dem Wege der Gleichteilung der Abstände zwischen den beteiligten Impulssendern eine Interferenz zu finden. Eine einschichtige Interferenz mehrerer, beliebig im 2d- oder 3d- Raum liegender Punkte ist an als Umwegleitungen wirkende Verschaltungen des neuronalen Netzes gebunden.



Beträgt der durchschnittliche Durchmesser im Empfangsraum $d/2$, so ist die zeitliche Variationsmöglichkeit für Interferenzen gegeben durch

$$d\tau_e = \left\{ 0 \dots \frac{d/2}{v} \right\}.$$

Analog im Sendegebiet des Neurons. Hier ist die Breite des Zeitintervalls

$$d\tau_s = \left\{ 0 \dots \frac{a/2}{v} \right\}.$$

Notwendige Bedingung für die Interferenz aller Sender auf einen Empfänger ist die Existenz von Paaren von Radiusvektoren r_{sj} , r_{ej} , über die die Laufzeit $t_s = s/v$ zwischen den Sendern und dem Empfänger zur Selektion einer Figur gleich groß ist.

$$s = |r_{s1}| + |r_{e1}| = |r_{s2}| + |r_{e2}| = \dots = |r_{si}| + |r_{ei}|$$

Diese Bedingung existiert zB., wenn der Senderraum (axonales Geflecht) genauso groß ist, wie der Empfangsraum (Dentriten-Geflecht). Zusätzlich ist es erforderlich, daß sich der Empfangsraum gerade noch mit den Senderäumen aller sendenden Impulsquellen berührt. Interferenz wird vollständig zwischen einer beliebigen Zahl von Sendern und einem Empfänger erreicht, wenn alle Vektoren mindestens $a/2$ lang sind, und alle Sender innerhalb des doppelten Umkreises des Empfängers lokalisiert sind.

$$|r_{si}| = |r_{ei}| = a/2; \quad d = a$$

Die Umlenkorte werden dann durch die Schnittpunkte der Umkreise gebildet, siehe Bild.

Für den Fall, daß die Überlappung zwischen den Senderäumen und dem Empfangsraum hinreichend groß ist, existiert eine Manigfaltigkeit der Lösungen. Die Interferenz kann dann von jedem Neuron, bzw. von jeder Neuronengruppe innerhalb eines Lösungsgebietes L wahrgenommen werden, welches aus der Durchschnittsbildung der Umkreise R_{si} , R_{ei} der Radiusvektoren zu bilden ist, $L = M\{R_{si} \cap R_{ei}\}$.

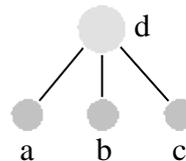
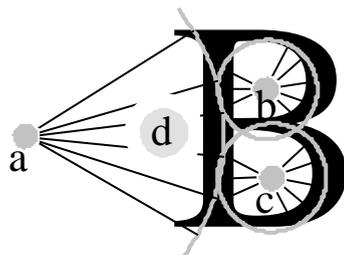
Detektion von Geometrien

Angenommen, ein zu klassifizierendes Zeichen läßt sich aus einer endlichen Zahl von Bogenelementen (Geraden stehen aus bezeichneten Gründen nicht zur Disposition) komponieren. Dann bestünde ein zweischichtiges, neuronales Interferenznetz zur Klassifikation aus den neuronalen Schichten der

Detektoren für Bogeninterferenzen und den darüberliegenden

Detektoren für punktuelle Interferenzen der Bogenmittelpunkte,

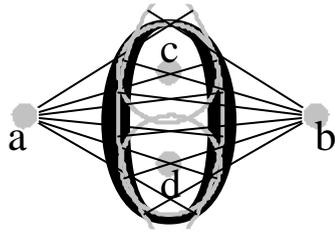
wobei die Unterscheidung zwischen beiden nicht von substantieller Art ist, vielmehr soll nur die wesentliche Aufgabe unterschieden werden.



Interferenzorte am Buchstaben 'B'.
Detektoren der Bogenelemente sind a, b, c;
Hauptdetektor für die Punkte (a, b, c) ist d.

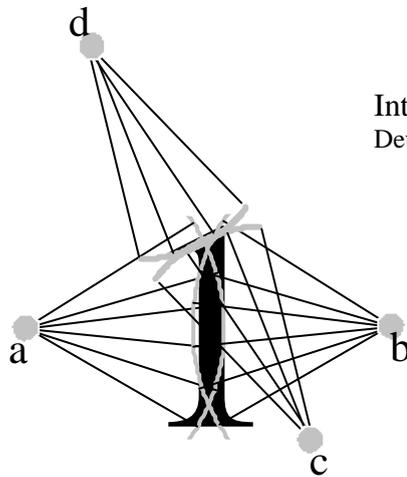
Würden in den Orten a , b , c dicht mit Synapsen besetzte Dentriten des Neurons d sitzen, so könnten die Axonen der Bogenelemente über die Umwege a , b , c direkt auf d feuern. Wir hätten es mit einem **einschichtigen Interferenzmodell** zu tun, daß mit relativ einfachen Mitteln der Anwendung von Software und mit elementaren Lernalgorithmen, die eine plastische Rückwirkung der Erregung am Ausgang auf den iniziiierenden Eingang modellieren, auskommt (Hebb 1949; Rosenblatt 1958⁴⁹¹).

⁴⁹¹ Überblicks- Darstellungen dazu zB. in: Ritter, H., Martinez, T., Schulten, K.: Neuronale Netze. 2. Aufl., Addison-Wesley Publ. Company, 1991



Interferenzorte der Ziffer '0'.
Detektoren der Bogenelemente sind a, b, c, d

Wenn also im ersten Schritt einer neuronalen Modellapplikation zunächst nach möglichen Interferenzorten gesucht wird, läßt sich die Komplexität beliebiger neuronaler Modelle erheblich (ia. zur Potenz der Rechenzeit) reduzieren, da a priori nicht alle möglichen, sondern nur alle interferenziell sinnvollen Punkte zur Ermittlung synaptischer Stärken zu betrachten sind. Einige ausgewählte Zeichen mit wesentlichen Interferenzpunkten sind in den Bildern dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Interferenzorte wesentlich voneinander abweichen.



Interferenzorte der Ziffer '1'.
Detektoren der Bogenelemente sind a, b, c, d

Auf die Darstellung resultierender Hauptinterferenzen wurde verzichtet. Vielmehr scheint es, daß ein Zeichen durch die Bogeninterferenzen hinreichend charakterisiert werden kann. Aus den verschiedenen Kanten variabler Stärke ist ein Muster punktueller Interferenzen entstanden.

Fremdinterferenz- Abbildungen

Ortsfremd verschiedene Impulse, die sich auf Leitbahnen mit unterschiedlicher Laufzeit ausbreiten, können dort in Interferenz zueinander treten, wo sie zufällig zur gleichen Zeit ankommen, vorausgesetzt, sie sind in irgendeiner Weise miteinander synchronisiert.

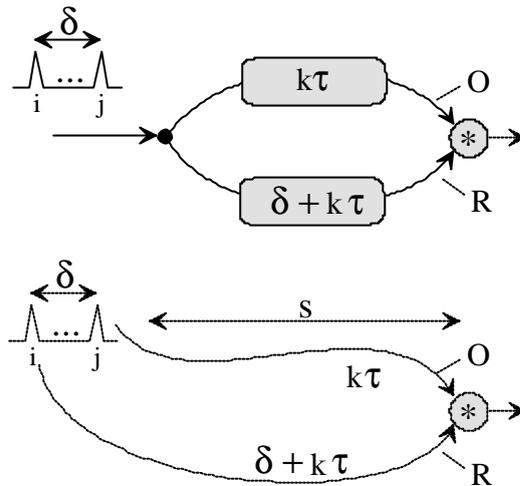
Da der Begriff der Holografie für inhaltlich ähnliche Verfahren, aber dennoch weit verschiedene Anwendungen schon vergeben ist (insbesondere stecken darin Bezüge zur Optik und zu einer äußeren, periodischen Referenzwelle) wäre der Übergang zum Latein wohl angebracht. Wir wollen die Abbildung als *tutografisch* bezeichnen (lateinisch: *tutos*: sicher, geführt). Im folgenden wird gleichberechtigt, aber sicherlich mit anderer Betonung auch von dynamischer Abbildung oder von Fremdinterferenz gesprochen. In gewisser Weise wird es sich dabei nicht vermeiden lassen, den Begriff der *Tutografie* häufig an impulsförmige Zeitfunktionen als Medium zu koppeln. Die vergleichbare Holografie zeigt uns manigfach, daß nicht notwendig mit Impulsen gearbeitet werden muß. Periodische Wellenzüge sind zumindest in frequenzmodulierten Systemen tutografisch

behandelbar.

Eine begriffliche Unterscheidung zur Holografie erscheint deshalb ratsam, weil im Wesen Fremdinterferenz von Impulsen zu anderen Impulsen behandelt werden soll. Diese Fremdinterferenz aber ist in neuronalen Systemen Ausdruck von Bewegung (Korrelation von Impulsfolgen) oder von sensorischen Amplituden. In optischen (holographischen) Systemen hingegen interessiert mehr die Phasenbeziehung zwischen verschiedenen Wellen.

Einordnung tutografischer Abbildungen

Unter bestimmten Bedingungen tritt ein Impuls i mit einem Folgeimpuls k der gleichen oder einer fremden Quelle in Interferenz, wenn beide gleichzeitig beim Empfänger ankommen.



Tutografische Abbildung.

Impuls und Folgeimpuls treten bei geeigneter Anordnung in Interferenz.

a) Schaltungsanordnung

b) Zur Veranschaulichung der zeitlich/ räumlichen Masche.

Am Multiplizierer tritt Interferenz ein, wenn der Folgeimpuls um seinen Abstand auf den Vorgänger weniger verzögert wird. Hinreichend schmale Impulse werden vorausgesetzt. Für die **tutografische** oder **Fremdinterferenz- Abbildung** (vgl. zeitlich/räumliche Masche) gilt unter den Nebenbedingungen

$$\delta = (t_j - t_i), \quad \frac{s}{v} = k\tau \text{ der Maschensatz}$$

$$\delta + k\tau = (t_j - t_i) + \frac{s}{v}$$

Diese allgemeine Interferenzbedingung lässt sich in verschiedener Art interpretieren, und zur Klärung unterschiedlicher Fragestellungen benutzen:

- Für $\delta = 0$ entstehen aus der Optik bekannte *Monopuls-Abbildungen* (Selbstinterferenz), die Zeitdifferenz zwischen Impuls i und Impuls j ist null, der Impuls i tritt mit sich selbst in Interferenz.
- Werden die Verzögerungseinheiten als *passive Elemente* betrachtet (zB. als Reflektoren), kann die Anordnung für $\delta = 0$ als *holografische Abbildungsstrecke* betrachtet werden. Der Weg über O wäre dann zB. als Objektwelle, der Weg über R als Referenzwelle zu betrachten.
- Werden die Verzögerungseinheiten als *aktive Elemente* betrachtet (zB. als aktive Reflektoren), kann die Anordnung für $\delta \neq 0$ als (überprüfende) *Regelstrecke* betrachtet werden. Die Wege über O und R wären dann zB. als Abfragen von aktiven Reflexionsflächen zu betrachten (Aufmerksamkeit), die im Interferenzfall beantwortet

werden.

- Wird die *Interferenz zum n-ten Folgeimpuls* betrachtet, ist es möglich, eine durch $\tau = 1/f$ definierte Feuerfrequenz zu detektieren. In diesem Fall wird eine definierte Feuerfrequenz als *Codierung einer* in einer Abbildung transportierten *Amplitude* verstanden.
- Entsteht der *n-te Folgeimpuls* aus einer *zeitlichen Korrelation* zwischen verschiedenen Ereignissen *i* und *j*, ist δ als Maß einer erfolgten *Bewegung* anzusehen.

Die *tutografische, dynamische oder Fremdinterferenz- Abbildung* tritt damit als Oberbegriff, oder als *allgemeine, elektrische Interferenzabbildung* in Erscheinung. Die in den Anfangskapiteln diskutierten, statischen Abbildungen ordnen sich ebenso wie die optischen Abbildungen der dynamischen Abbildung als Spezialfall für $\delta = 0$ unter. Im elektrischen Interferenzraum sind folglich die *Zeit* (als Dimension) ebenso wie *sensorische Amplituden* verschiedener Herkunft (Geruch, Geschmack, Schall, Druck) in Form der Feuerfrequenz des Sensors als Dimension gleichwertig und zusätzlich zu den räumlichen Dimensionen speicherbar. Das macht den Unterschied neuronaler zu rein optischen Darstellungsverfahren bewußt. Unser Erkennungsvermögen komplexer Situationen aus bestimmten Proportionen von zB. Geruch (Feuerfrequenzen definierter Geruchssensoren), Bewegung (definierte Änderungsgrößen) und gleichzeitiger Bewußtheit des umgebenden Raumes (statische Abbildung) mag hierfür als Indiz gelten. Das Sehen als 'pseudo- dreidimensionale, optische Informationsaufnahme' ist folglich nur eine Teilkomponente bei der Speicherung eines mehrdimensionalen, komplexen Interferenzbildes, welches eine erlebbare 'Situation' charakterisiert. 'Gefühl' ist dann zu interpretieren als eine nicht explizit faßbare, unterbewußte, eine erlebbare Situation ausmachende Verknüpfung verschiedener, sensorischer Eindrücke, die als komplexes, nicht deduzierbares dynamisches Interferenzbild vorliegt. Gelingt es, einen Automaten mit einem elektrischen Interferenzspeicher auszurüsten, der eine Form der Speicherung *tutografischer Interferenzabbildungen* nutzt, und der über eine entsprechende Quantität und Qualität von Sensoren der verschiedensten Art verfügt, würde dieser Automat wohl notwendig 'Gefühl' besitzen müssen.

Mehrfach- Fremdinterferenz

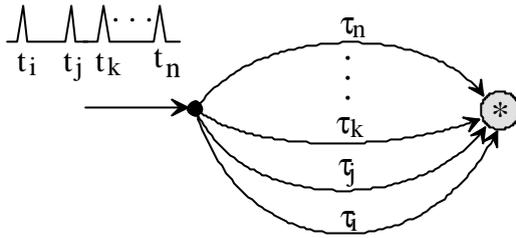
Zwischen *allen* Paaren von Impulsen *n, i* gilt gemäß vorher gesagtem:

$$\tau_n - \tau_i = (t_n - t_0) - (t_i - t_0) = (t_n - t_i)$$

Die Folge der Impulse korrespondiert mit einem gleichartigen Coderaum (Hardware), wobei t_0 eine beliebige, nicht näher interessierende Bezugszeit sein mag. Das Neuron *N* ist in der Lage, mindestens eine Codefolge, gekennzeichnet durch

- *statische Abbildungsteile,*
- *fremdmodulierte, audio- sensorische Feuerfrequenzen,*
- *amplitudenproportionale Feuerfrequenzen, und*
- *zeitlich korrelierte Ereignisse*

zu detektieren. Eine jede, derartige, neuronale Verschaltung ist folglich wenigstens einer 'Elementarsituation' zuordenbar. Ein Neuron kann bei mehreren hundert Synapsen mehrere tausend derartiger Verzögerungverschaltungen darstellen, folglich sind ebensoviele Elementarsituationen detektierbar.



Mehrfach- Fremdinterferenz.

Sind Impulsabstände den Laufzeitdifferenzen von Leitbahnen zugeordnet, spricht ein Neuron auf eine komplexe Codefolge (Situation) an.

Im Beispiel sind die verschiedenen Wege verschiedenen Laufzeiten zum Axonhügel (durch N gekennzeichnet) zuordenbar. Es wird die Codefolge erkannt, deren Impulsabstände den verschiedenen Laufzeitdifferenzen adäquat ist.

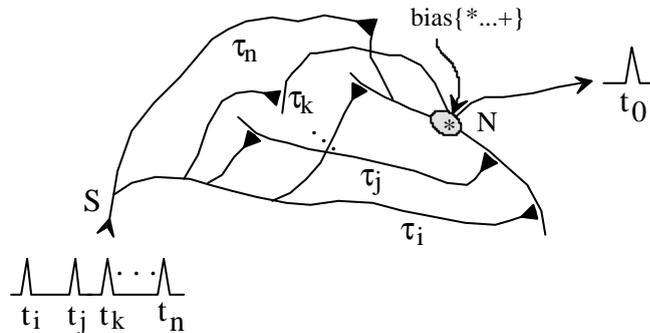
Der *Bildvektor* T der Codefolge ist identisch dem *Verzögerungsvektor* Λ der geometrischen Anordnung.

$$T = \Lambda$$

mit

$$T = \begin{pmatrix} t_n - t_{n-1} \\ t_{n-1} - t_{n-2} \\ \vdots \\ t_2 - t_1 \end{pmatrix}; \quad \Lambda = \begin{pmatrix} \tau_n - \tau_{n-1} \\ \tau_{n-1} - \tau_{n-2} \\ \vdots \\ \tau_2 - \tau_1 \end{pmatrix}$$

Am Beispiel (Bild) wird deutlich, daß die differenzierte, scheinbar planlose Wucherung von Neuronen unter Kenntnis fremdinterferenzierlicher Wirkungen einen Sinn ergibt. Mehrfache Konnektivität kann neben anderen Interpretationen als auf einen Code abgestimmte Interferenz gedeutet werden, solange die Impulslänge ξ vergleichsweise kurz zur Länge der Anordnung s bleibt $\xi \ll s$ mit $s = v\tau$.



Fremdinterferenz zwischen verschiedenen Impulsen.

Das Neuron N ist fähig, komplexe Situationen zu erkennen, wenn die Zeitdifferenzen zwischen Impulsen gleich groß den Delaydifferenzen der Anordnung sind.

- N: Neuron (Multiply / Add)
- S: Impulsquellort

Code-referenzierter Ort und visa versa

Die Code-Referenz eines neuronalen Geflechts läßt sich auf zweierlei Art deuten. Der Übersichtlichkeit halber wird eine binäre Entscheidungsfunktion $\sigma(x)$ gewählt. n stellt die Anzahl der beteiligten Eingänge eines Neurons N dar.

a) Multiplikative Interferenz (AND)

Beim Typ multiplikativer Interferenz müssen alle zu einer Interferenzgruppe gehörenden Impulse gleichzeitig beim Empfänger ankommen, um dessen Aktivierung auszulösen.

$$y = \sigma\left(\prod_{i=1}^n x_i\right), \quad \sigma = \begin{cases} 1 & \text{für } \sigma(x) \neq 0 \\ 0 & \text{für } \sigma(x) = 0 \end{cases}$$

Der Typ entspricht der AND-Logik digitaler Schaltungen, vgl. Abb. a).

a) Summative Interferenz (OR)

Im Gegensatz zum AND-Typ löst das OR-gewichtete Neuron bei jedem einzelnen, auf einer Leitbahn kommenden Impuls aus, vgl. Abb. b). Der Ausgang y wird bereits aktiviert, wenn einer der Eingänge x_i aktiv (ungleich null) wird.

$$y = \sigma\left(\sum_{i=1}^n x_i\right), \quad \sigma = \begin{cases} 1 & \text{für } \sigma(x) \neq 0 \\ 0 & \text{für } \sigma(x) = 0 \end{cases}$$

Wird vorausgesetzt, daß der Typ des Schwellwertes (AND oder OR) des betrachteten Neurons über eine *Bias-Steuerung* (durch summatives, unkorreliertes Feuer anderer Synapsen) veränderlich ist, zeigt die dargestellte Schaltung eine interessante Codespeichereigenschaft:

Für den Fall eines *gehobenen Schwellwertes* (dieser entspricht multiplikativer Interferenz oder dem AND-Logiktyp) wird der Ausgang in bereits beschriebener Weise nur aktiviert, wenn das eingangsseitige Impulsmuster mit dem *inherenten Code* übereinstimmt.

Für den Fall eines *abgesenkten Schwellwertes* (dieser entspricht summativer Interferenz oder dem OR-Logiktyp) sendet der Ausgang hingegen den *inherenten Code* aus, wenn eingangsseitig ein Einzelimpuls angelegt wird.

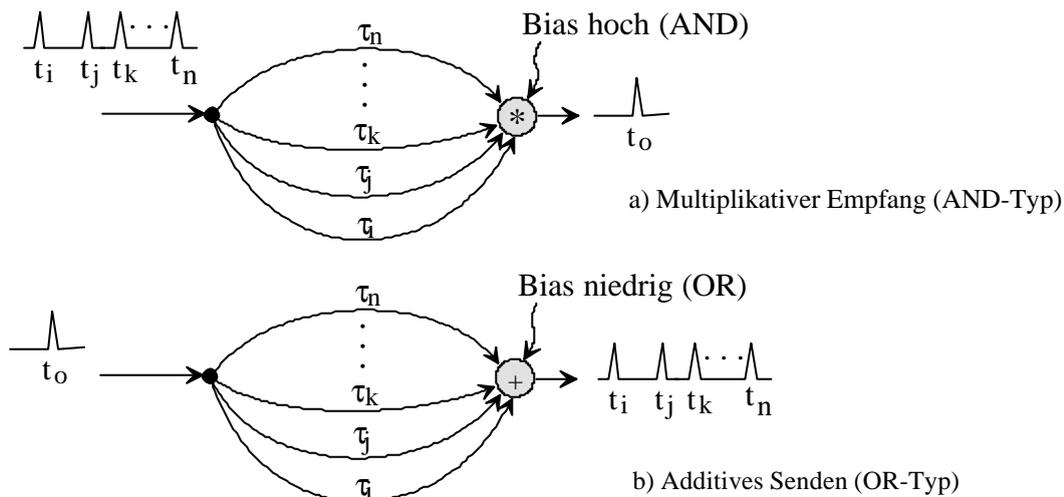


Abb.: Code/Struktur-Referenz

Unter *inherentem Code* sollte aber nun keinesfalls ein gelernter Code verstanden werden. Vielmehr ist darunter die Eigenschaft des einen, in einem infinitesimal dicht mit Neuronen belegten Raumes liegenden Neurons gemeint, das (zufällig) die 'Koordinaten' des zu referenzierenden Codes besitzt.

Radiale (hyperbolische) Ortscodereferenz

Sind Empfänger (Neuronen) eines Bildfeldes hinreichend direkt an alle Quellorte angeschlossen, entsteht eine radiale oder hyperbolische Referenz zwischen Code und örtlicher Lokalisation der Interferenz. Ein definierter Laufzeitunterschied korrespondiert zu einer definierten Hyperbel. Folglich existieren in überbestimmten Interferenzebenen nur diskrete Punkte, die potentiell für Interferenz zwischen allen, interessierenden Kanälen in Betracht kommen.

Durch Überlagerung verschiedener Hyperbelfelder zwischen den einzelnen Kanälen einer zu bestimmenden Abbildung kann die triviale Interferenzmöglichkeit abgeschätzt werden, auch wenn

das Verfahren nur einen Hinweis auf einen weiter zu prüfenden Interferenzort ergibt.

Im Bild sind vier Quellorte (x^+ , x^- , y^+ , y^-) dargestellt, die zu den mit einem viereckigen Kasten markierten Relativzeiten jeweils einen Impuls senden mögen.

Es wird deutlich, daß der von y^+ kommende Impuls als erster einläuft. Er besitzt gegenüber y^- einen Vorsprung von zwei Zeiteinheiten ($k\tau = 2$). y^+ und y^- treten entlang der Hyperbel b in Interferenz. Adäquat verhalten sich x^+ und x^- . Sie besitzen eine Zeitdifferenz von einer Zeiteinheit ($k\tau = 1$). Entsprechend läuft deren Interferenz entlang der Hyperbel a ins Unendliche. Zwischen allen vier Impulsen tritt folglich nur im Ort der Kreuzung von a und b Interferenz ein. Das muß nicht notwendig der Fall sein. Im Beispiel wird mit einer um eins überbestimmten Kanalzahl gearbeitet. So würde eine 3,3-Differenz keinen Interferenzort finden. Die an den Kreisen angebrachte Notation kennzeichnet die Zeitdifferenz des Punktes in Δx - und Δy -Einheiten.

$$\Delta x = x^+ - x^-$$

$$\Delta y = y^+ - y^-$$

Im Ergebnis wird der Schnittpunkt der Hyperbeln a und b (mit 1,2 markiert) referenziert.

Derartige Modelle können benutzt werden, um das senkrechte Hineinstoßen dreier oder im Beispiel vierer Projektionsbahnen z.B. in die Ebene des Pallium zu verstehen. Zwischen extrem dicht benachbarten Bahnen ist die mögliche Zeitdifferenz innerhalb des Gebietes sehr klein. Interferenzuelle Ortszuordnung kommt wahrscheinlich aufgrund der geometrisch endlichen Impulslänge aber nur über größere Distanzen (ca. 1mm) in Betracht. Dieser Sachverhalt ist erst dann restlos aufklärbar, wenn genaue Messungen der Ausbreitungsgeschwindigkeit der feinsten Nerven (des 'Filzes') im Pallium vorliegen.

Ortsreferenz der Codefolge
($x^+ = -2, x^- = -1, y^+ = 0, y^- = +2$)

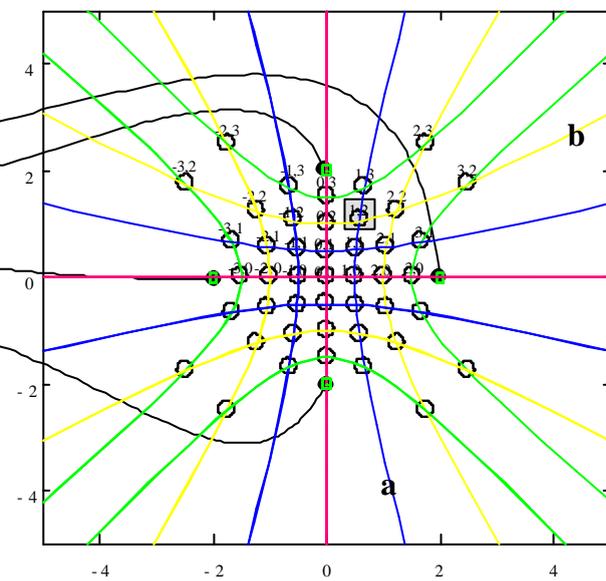
$x^- = -3$ -2 -1 0 +1 +2 +3

$y^- = -3$ -2 -1 0 +1 +2 +3

$x^+ = -3$ -2 -1 0 +1 +2 +3

$y^+ = -3$ -2 -1 0 +1 +2 +3

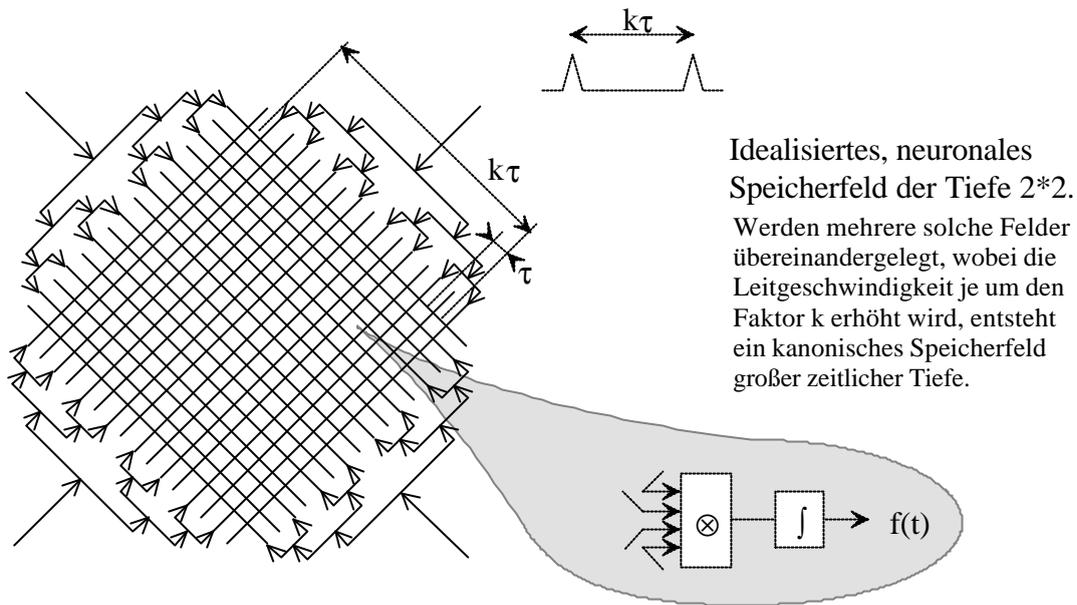
```
#e=2, parametric
plot 3/(2*cos(t)), 1.323*tan(t), 2/(2*cos(t)), 1.732*tan(t),
1/(2*cos(t)), 1.9365*tan(t), 0/(2*cos(t)), 2*tan(t), 2,0 w p 1 3,-2,0 w p 1 3,
1.323*tan(t), 3/(2*cos(t)), 1.732*tan(t), 2/(2*cos(t)),
1.9365*tan(t), 1/(2*cos(t)), 2*tan(t), 0/(2*cos(t)), 0,2 w p 1 3,0,-2 w p 1 3
```



Kanonische Zeitzuordnung

Angenommen, ein neuronales Feld besitzt eine Gitterdistanz von τ , und eine Ausdehnung in jeder Richtung von $k\tau$. Die Übertragungsleitungen mögen wie dargestellt an alle Neuronen angeschlossen sein. Die Neuronen befinden sich dabei im Abstand τ voneinander in jeder Richtung. Dann ist dieses Feld in der Lage, *jeden* Code der Länge kleiner gleich $k\tau$ zu selektieren. Um einen Code zu lernen, sind die synaptischen Gewichte entsprechend einzustellen. Die Struktur dieses Netzwerkes möge für

verschiedene Situationen unverändert bleiben.



Wenn angenommen wird, daß (in Bezug auf gefärbte, Mono- oder Multifasersysteme) übereinanderliegende Lagen mit verschiedener Ausbreitungsgeschwindigkeit existieren, deren Geschwindigkeitsanpassung so gewählt wird, daß jeweils die Verzögerungszeit der Feldlänge der einen Schicht der Verzögerungszeit eines Gitterrasters der folgenden Schicht entspricht,

$$k\tau_i = \tau_{i+1}$$

so hat das entstehende Mehrlagensystem die Eigenschaft, Codes in kanonischer Form speichern zu können. Dazu stellen wir die zu speichernden Zeitpunkte in der Form

$$M = (m_n, m_{n-1}, \dots, m_0)$$

dar. m_j entspricht der Anzahl von Rasterschritten in der jeweiligen Richtung j ,

$$0 \leq m \leq k; \quad 0 \leq j \leq n.$$

Voraussetzung ist, daß die m_j unabhängig voneinander wählbar sind. (Im Bild dargestellt sind vier Richtungen oder Lagen, $n = 4-1 = 3$, davon zwei mal zwei linear voneinander unabhängige).

Offenbar ist diese Einschränkung im orthogonalen dreidimensionalen Raum nur für (m_2, m_1, m_0) also für $n=2$ erfüllbar. Im chaotisch vernetzten Raum allerdings kann n auf höhere Werte gesteigert werden. Unschwer ist zu erkennen, daß k die Aufgabe einer Zahlenbasis erfüllt. Offenbar gilt im chaotischen, n -dimensionalen Raum für die Zeitzuordnung eines Ortes

$$t = k^n m_n + k^{n-1} m_{n-1} + \dots + k^0 m_0$$

Werden im dreidimensionalen Orthonormalsystem die (m_2, m_1, m_0) durch (x, y, z) ersetzt, ergibt sich die Raumzuordnung eines Zeitpunktes direkt in Koordinatenform.

Somit wird erkennbar, daß über (vorrangig chaotische) Geometrien komplizierte Zeitabläufe speicherbar, oder reproduzierbar sind. Zusammen mit der Ortsinformation können zeitliche Zuordnungen gespeichert werden.

Das Interferenzfeld kann allerdings nicht zwischen einer Amplitude (ausgedrückt als Pulsdichte, also in zeitlicher Dimension), einer statischen Ortszuordnung oder Eigeninterferenzabbildung und einer Bewegung als Fremdinterferenz unterscheiden. Unser ganzheitlicher Eindruck von umgebendem Raum und ablaufender Zeit mögen hier ihre Verursachung finden. Die 'Gedächtnisspur' der alten Römer als gedankliche Verbindung von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft wird in Ansätzen

erkennbar.

Codeabhängiger Schwellwert

Fremdinterferenz wurde im Sinne der Erweiterung des Begriffes der eigeninterferenziellen (oder optischen) Abbildung eingeführt.

Man stelle sich vor, Neuronenanordnungen vom Feld A , die auf einen Code a reagieren, liegen zusammen mit solchen vom Feld B , die auf einen Code b reagieren und so fort. Sie mögen die Vorlage (Objektseite) einer (im Bild eindimensionalen) Übertragungsanordnung bilden.

Dann erzeugt eine homogene 'Beleuchtung' mit einem Code a das in den Neuronen vom Feld A gespeicherte Bild. Eine homogene 'Beleuchtung' mit einem Code b erzeugt das in den Neuronen vom Feld B gespeicherte Bild usw. usf.. Sind die Codes a, b, \dots Farben zugeordnet, können die verschachtelten Neuronenfelder die Farbauszüge eines Bildes speichern und wiedergeben. Ebenso sind aber auch völlig verschiedene Bilder in den Feldern $A, B \dots$ speicherbar. Selbst bei gleichem Code würden in Abhängigkeit vom Einfallswinkel jeweils verschiedene Neuronen angesprochen werden, da sich mit einer Veränderung des Einfallswinkels i.a. entsprechend dem Cosinus verschiedene zeitliche Abstände der Impulse ergeben. Da wir es mit Neuronen zu tun haben, verändert sich der Angrad (Bias) der Neuronen in Abhängigkeit von Code a, b, \dots in den Feldern $A, B \dots$ usw. Die Bereitschaft, Dinge zu entscheiden, nimmt mit der 'Art der Beleuchtung' oder dem 'Geruch des Gegenüber' etc. zu oder ab.

Spiegelung bei variabler Verzögerung

Vergleichbar zur elementaren Interferenzabbildung ist es möglich, eine Abbildung nicht über Kanäle von Übertragungsleitungen zu transportieren, sondern sie quasi von Anschlußknoten nicht vorhandener Übertragungsleitungen zu reflektieren.

Beim Moving und Zooming neuroaler Abbildungen stießen wir darauf, daß die Verzögerungszeit von Neuronen über den Grad der Anregung zwingend steuerbar sein muß, um Bildtransformationen über die Beeinflussung der Verzögerungszeit im Kanalraum zu steuern.

Für diesen Abschnitt setzen wir ebenfalls voraus, daß die Laufzeit τ_η eines Neurons über seine kummulative Erregung φ steuerbar ist

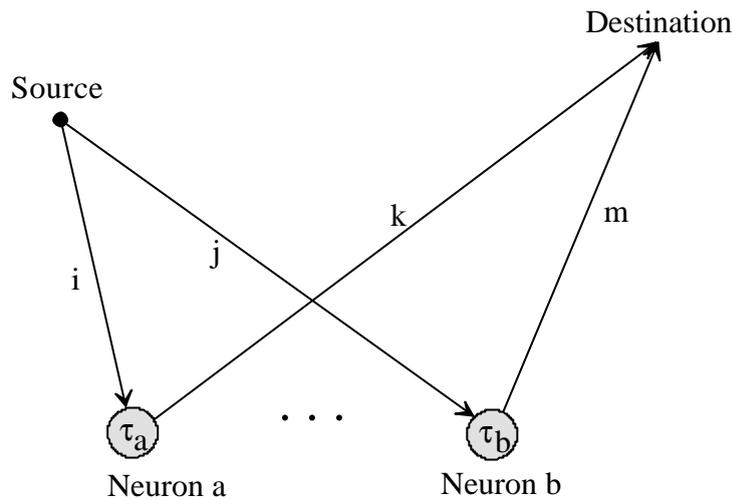
$$\tau_\eta = f(\varphi).$$

Eine Quelle (*Source*) möge einen seriellen Code in ein Interferenzfeld senden. In Abhängigkeit von der Codecharakteristik mögen eine Senke (später auch mehrere Senken) (*Source*) ein- oder ausgeschaltet, bzw. mit dem einen oder dem anderen Code versorgt werden.

Welche Bedingung läßt sich angeben, um die diesbezügliche Interferenzsituation zu kennzeichnen?

Für die im Bild dargestellte Masche gilt:

$$\tau_i + \tau_{na} + \tau_k = \tau_j + \tau_{nb} + \tau_m, \text{ mit } \tau_{na} = f(\varphi_a) \text{ und } \tau_{nb} = f(\varphi_b).$$



Source sendet einen Code aus, der von den Neuronen a und b verzögert beantwortet wird. Neuronen stehen in logischer Verbindung, wenn die Laufzeiten über alle Wege gleichlang sind.

Interferenz am Empfangsneuron (*Destination*) tritt allgemein ein unter der Bedingung

$$\forall_{i=1}^n (\tau_{ni} + \tau_{xi} + \tau_{yi}) = \text{const.}, \text{ mit } \tau_{ni} = f(\varphi_i)$$

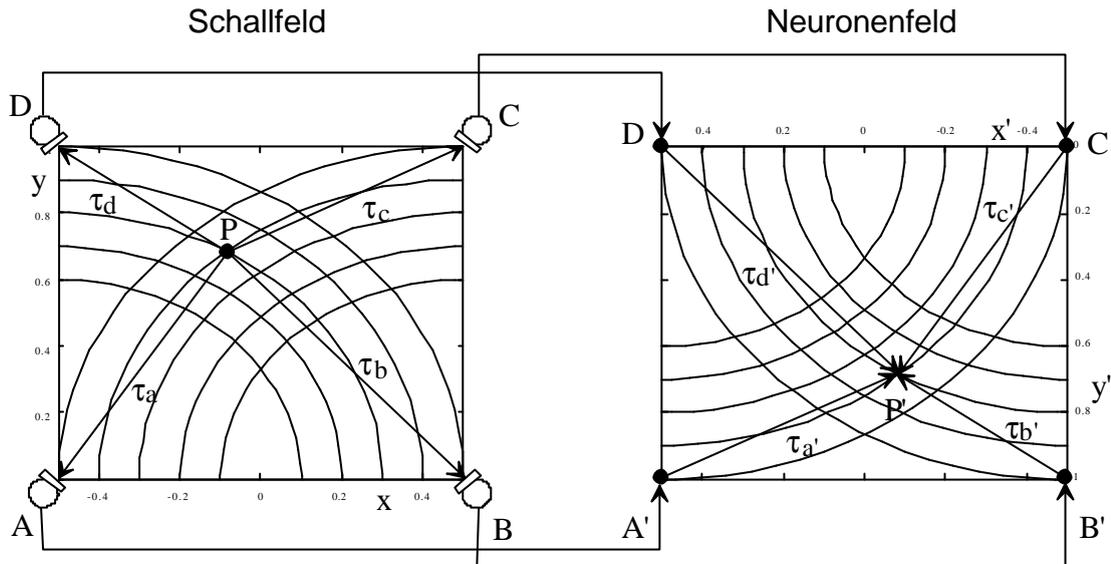
Für den Fall veränderlicher, neuronaler Laufzeit muß im Interferenzfall zwischen einem Sende- und einem Empfangspunkt auf *allen* Pfaden $\forall (1..n)$ die gleiche Verzögerungszeit *const.* gelten. Die Verzögerungszeit jedes Pfades setzt sich aus der Verzögerungszeit des Neurons τ_{ni} , aus der Laufzeit vom *Source* zum Neuron τ_{xi} und aus der Laufzeit vom Neuron τ_{xi} zur *Destination* τ_{yi} zusammen.

Intermediale Abbildungen

Der Ort der Ausbildung einer Interferenz wird bestimmt durch übereinstimmende Laufzeit der beteiligten Signale. Folglich ist die Nachbarschaftsbeziehung zwischen den Neuronen einer Interferenz- Karte unabänderlich mit der Aufgabenstellung vorgegeben, und muß bzw. kann nicht erlernt werden, wenn interferenzielle Wirkmechanismen (bestimmtes Verhältnis zwischen Impulsbreite und Ausbreitungsgeschwindigkeit) vorgegeben sind.

Analoges trifft auf *Schallfelder* und *elektrische oder optische Feldräume* (RADAR, LASER) zu. Überall, wo Ausbreitungsgeschwindigkeiten die Ausprägung eines Interferenzraumes gestalten, sind qualitativ gleichwertige Interferenzräume zu erwarten, deren Besonderheit es ist, vergleichbarer Metrik und vergleichbaren Bildungsgesetzen wie der elektrische, neuronale Interferenzraum unterworfen zu sein. Aufeinander abbildbar sind verschiedeneartige Interferenzräume dann, wenn die geometrischen Proportionen zwischen Bildöffnung und Bildweite sowie Impuls- oder Wellenlänge und Bildweite etwa gleich sind. Gleichheit dieser Proportionen trifft etwa auf *Ultraschallraum der Meterdimension* und neuronalen Raum zu (Fledermaus). Ebenso trifft sie für einen *elektrischen Interferenzraum der Kilometerdimension* und einen neuronalen Interferenzraum der Millimeterdimension zu. Dabei besitzt die zur Abtastung benutzte Zeitfunktion, wie die vielfältigen Betrachtungen zu holografischen Interferenzräumen⁵⁰¹ (mit Periodik) zeigen, eine nahezu untergeordnete Bedeutung.

⁵⁰¹ Lenk, H.: Holografie. Reihe Fortschritte der experimentellen und theoretischen Biophysik, G. Thieme Verlag Leipzig, 1971.



Viele der Betrachtungen zu Impulsinterferenzen sind, wenngleich unanschaulicher, auf periodische Signale übertragbar. Selbstorganisierende Karten der Art nach Kohonen^{51]} erlernen Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Neuronen auf abstrakte Weise. Im Ergebnis interferentieller Betrachtung hingegen entstehen Karten, die ohne den mathematischen Umweg über abstrakte Lernmodelle vergleichbare Ergebnisse liefern. Nachbarschaftsbeziehungen werden hingegen nicht durch Interferenzen bestimmt, wenn die Impulsbreite ein mehrfaches des neuronalen Matrixrasters wird, ein Impuls also unscharf auf mehrere Neuronen in Raster gleichzeitig wirkt. Das ist der entscheidende Schnitt zwischen geläufigen AI- Merkmalskarten und Interferenzkarten. In geometrisch großen Dimensionen im Vergleich zur Wellenlänge wirken Interferenzen. Erst in Dimensionen kleiner der Wellenlänge können Merkmalskarten gebildet werden.

Das Bild ist im Vergleich zur Entwicklung einer selbstorganisierenden Karte^{52]} als Interferenzbild erstellt. Die Laufzeiten zwischen Sende- und Empfangsort P, P' sind wiederum gleich, es gilt:

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

wenn die Laufzeiten auf den Übertragungsleitungen AA', BB', CC', DD' gleich lang gewählt werden. Es wird ohne Erläuterung ersichtlich, daß Interferenzen die kartografische 'Belehrung' der Neuronen makroskopisch definieren, wenn beide Karten ihre Metrik über Interferenzen erhalten. Im Kohonen- Modell wird eine solche Karte erlernt, indem Lagerrelationen von Neuronen in Abhängigkeit von der Signalähnlichkeit in Nachbarschaft verändert werden. Diese abstrakte Herangehensweise ist folglich bezogen auf biologische Modellierungen wenig zutreffend. Sie ist sogar falsch, wo ein in einen Interferenzraum 'eingespanntes' Neuron keinen Freiheitsgrad des Lernens willkürlich adressierter Daten, gewichtet nach Lernwert, besitzt. Das Neuron ist an die am Ort tatsächlich auftretende Interferenz gebunden, dh. es ist mit den zum Ort korrelierenden, endlich diskreten Adressen neuronaler Information verkoppelt. Aber auch nur mit denen, die zum Ort hin interferieren.

Wesentliche Adaptionsschritte der biologisch orientierten Neuroinformatik, so scheint es, lassen sich mit diesen Erkenntnissen auf Degenerations- und Regenerationsvorgänge, wie sie von Nervdurchtrennungen bekannt sind, reduzieren: Ein Axon, gleich welchen Typs, daß nicht feuern kann, bildet sich zurück. Mit ihm stirbt i.a. die Nervenzelle selbst. Ein Axon wird zB. dann nicht

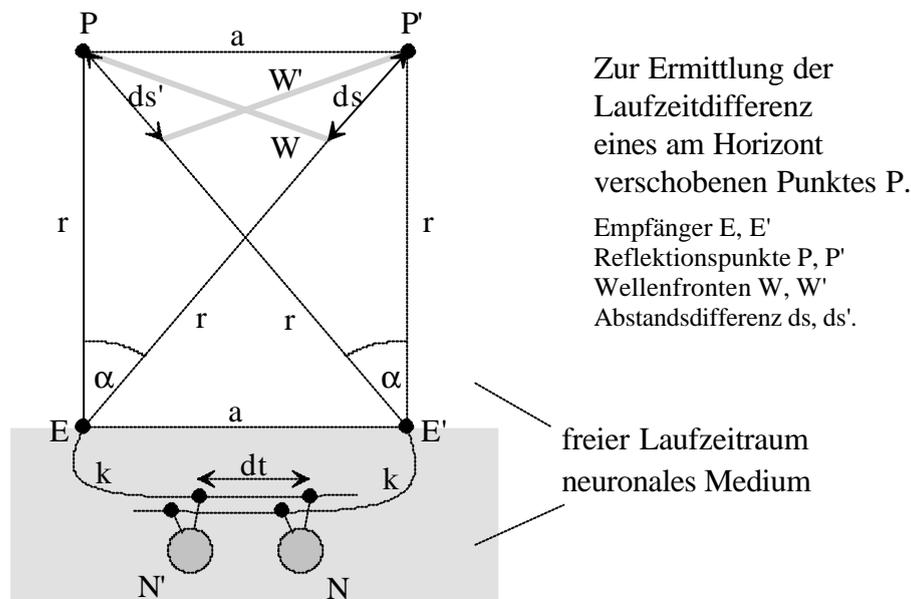
^{51]} Kohonen, T.: Self-organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. Biol. Cybern., 43/1982

^{52]} Ritter, H., Martinetz, T., Schulten, K.: Neuronale Netze. Addison Wesley Dtl., 1991, 1992, Seite 78

hinreichend befeuert, wenn die zugehörige Nervenzelle ihr Aktionspotential nicht erreicht, zB. dadurch, daß sie nicht im Knoten einer Interferenz liegen kann, oder wenn sie Informationen nicht weitergeben kann (Durchtrennung des Axons). Andererseits werden Nervenzellen dort neugebildet, wo alte Zellen absterben (Schwansche Zellen, Hanken- Büngnersche Bänder⁵³¹).

Laufzeitdifferenz zu zwei Empfängern

Für ein Laufzeitsystem ist die minimale Zeitauflösung im Verhältnis zur Winkelauflösung interessant.



Zur Ermittlung der Laufzeitdifferenz eines am Horizont verschobenen Punktes P.
 Empfänger E, E'
 Reflektionspunkte P, P'
 Wellenfronten W, W'
 Abstandsdifferenz ds, ds'.

freier Laufzeitraum
 neuronales Medium

Zur Lösung des Problems gehen wir davon aus, daß sich die zu detektierenden Punkte P, P' parallel zum Horizont befinden. Dann besitzen sie einen verschiedenen Abstand vom Empfangsort. Die von P, P' reflektierte Wellenfront W kommt zu verschiedenen Zeiten in Richtung eines Empfängers E an. Die Laufzeitdifferenz dt ergibt sich aus der Wegdifferenz ds und der Geschwindigkeit v zu $dt = ds/v$. Im Bild wird abgelesen

$$\cos \alpha = \frac{A}{H} = \frac{r}{r+ds}$$

Eingesetzt ineinander und umgestellt folgt für die Laufwegdifferenz ds zweier Strahlen in Abhängigkeit vom Winkel α zu

$$ds = r \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right).$$

Für den Sonderfall, daß r und $\cos \alpha$ über den Punktabstand a verknüpft sind, gilt eine zusätzliche Bedingung

$$\tan \alpha = \frac{G}{H} = \frac{a}{r}.$$

Diese Bedingung ist für den Fall nutzbar, daß zwei Empfänger E, E' ebenfalls im Abstand a angeordnet werden. Dann ist die Laufzeitdifferenz eines Signales, bezogen auf die um den Winkel α verschobenen Orte P, P' jeweils ds .

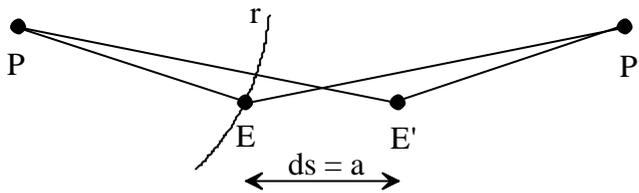
$$ds = a \frac{1}{\tan \alpha} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right).$$

Für die *Laufzeitdifferenz* dt eines Signales folgt in Abhängigkeit von Winkel α und Empfängerabstand a zueinander

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

⁵³¹ Rauber/Kopsch: Anatomie des Menschen. Herausgegeben von Leonhardt, H., Töndury, G., Zilles, K., Band III: Nervensystem, Sinnesorgane. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1987, S. 80

Es ist zu beachten, daß sich die Laufzeitdifferenz bezogen auf ein (feststehendes) Empfangsneuron N verdoppelt, daß sich diese Verdopplung durch die Differenzanordnung der Neuronen aber wieder kompensiert.

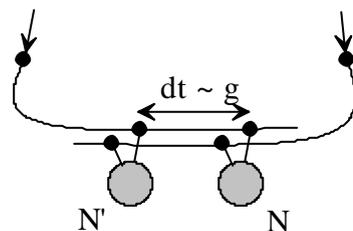


Laufzeitdifferenz zu Empfängern E, E' bei maximal auseinander liegenden Quellen P, P' .

Die Tabelle gibt Zeitaufösungen verschiedener intermedialer Abbildungen an.

	Elektrisches Feld Vakuum (bildgebendes Radar)	Ultraschallfeld Luft (Fledermaus)	Ultraschallfeld Wasser (Delphin)
mediale Ausbreitungsgeschwindigkeit v	300 000 km/s	330 m/s	1000 m/s
Empfängerabstand a (der Ohren)	20 m	5 cm	0,5 m
max. Laufzeitdifferenz links/rechts (+/- 90°)	67 ns	152 µs	5 µs
Laufwegdifferenz ds für $\alpha = 1^\circ$	17 cm	0,436 mm	4,36 mm
Laufzeitdifferenz dt für 1°	0,58 ns	1,3 µs	4,36 µs

Eine Zeitauflösung von dt korreliert mit einem spezifischen Abstand g der empfangenden Synapsen, wenn vorausgesetzt wird, daß die willkürlich gewählte 1° -Auflösung etwa auch die vom natürlichen System benötigte Gitter-Auflösung des Bildraumes darstellt.



Die Zeitauflösung dt korreliert mit einer Ortsauflösung g

Für eine Ausbreitungsgeschwindigkeit v von (willkürlich) $v = 5 \text{ m/s}$ läßt sich das dazu erforderliche, neuronale Raster g bestimmen

$$g = v/dt.$$

Bei der Fledermaus ($dt = 1,3 \text{ µs}$) ergibt es sich zu

$$g_{\text{fledermaus}} = 1,3 \text{ µs} \cdot 5 \text{ m/s} = 6,5 \text{ µm}$$

und beim Delphin ($dt = 4,36 \text{ µs}$) zu

$$g_{\text{delphin}} = 4,36 \text{ µs} \cdot 5 \text{ m/s} = 21,8 \text{ µm}.$$

Es wäre zu überprüfen, ob dieses Raster den Abstand der Synapsen beteiligter Synapsen der Neuronen widerspiegelt, der im Pallium dieser Tiere anzutreffen sein wird.