

# **Modellierung des Assoziativen Gedächtnisses auf der Basis von beobachteten Traummechanismen**

Fritz Wysotzki, TU Berlin  
Greifswald 2010

## Übersicht

- Ausgangsmodell: **Klassisches Assoziatives Gedächtnis** (AG), Def. mit Hilfe von Kovarianzmatrizen.
- Neu: Erweiterung auf **symbolische Repräsentationen**, mit Bezug zu Semantischen Netzen (KI). Verwendung von Ähnlichkeitsmaßen zur Identifizierung von gespeicherten Strukturen. Schwerpunkt: **Modellierung des Episodischen Gedächtnisses.**
- **Neurobiologische Interpretation**
- Ausgangsbasis waren Freuds theoretische Interpretationen von Traummechanismen (d.h. von im Unbewussten ablaufenden Prozessen)

# 1. Klassisches Assoziatives Gedächtnis ("verteiltes Gedächtnis").

Input  $x = (x_1, \dots, x_n) \rightarrow \mathbf{AG} \equiv \mathbf{W} \rightarrow$  Output  $y = (y_1, \dots, y_m)$

Die Matrix  $W = (w_{ji})$  ist durch "Lernen" so zu bestimmen, daß für  $r$  gegebene Paare  $(x^{(p)}; y^{(p)})$  diese Eingabe-/Ausgabebeziehung gilt:

$$y_j = \sum_{i=1}^n w_{ji} x_i \quad \text{oder} \quad y = Wx$$

$$w_{ji} = \sum_{p=1}^r y_j^{(p)} x_i^{(p)} \quad (\text{Kovarianz-} \rightarrow \text{Assoziationsmatrix})$$

Eingabe von  $\mathbf{x}^{(q)}$

$$\sum_{i=1}^n w_{ji} x_i^{(q)} = \sum_{p=1}^r y_j^{(p)} \sum_{i=1}^n x_i^{(p)} x_i^{(q)} = \sum_{p=1}^r y_j^{(p)} (\mathbf{x}^{(p)}, \mathbf{x}^{(q)})$$

$(\mathbf{x}^{(p)}, \mathbf{x}^{(q)})$  ist das **Skalarprodukt von  $\mathbf{x}^{(p)}$  und  $\mathbf{x}^{(q)}$** . Haben die Vektoren  $\mathbf{x}^{(p)}$  und  $\mathbf{x}^{(q)}$  alle die Länge 1 (Normierung) und sind orthogonal, dann ist

$$(\mathbf{x}^{(p)}, \mathbf{x}^{(q)}) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } p = q \\ 0, & \text{wenn } p \neq q \end{cases} \quad \text{also} = \sum_{p=1}^r y_j^{(p)} (\mathbf{x}^{(p)}, \mathbf{x}^{(q)}) = y_j^{(q)}$$

Damit würde die gewünschte Ausgabe exakt reproduziert. Das wird im Folgenden nicht vorausgesetzt, Folge: **"Rauschen" , Maximumbestimmung beim Abruf notwendig.**

Die "**Lernregel**" lautet also

$$\Delta w_{ji} = y_j^{(p)} x_i^{(p)} \quad (\text{Hebb-Regel})$$

Im Fall  $y^{(p)} = x^{(p)}$  ist  $W$  die **Autoassoziationsmatrix**.  $x^{(q)}$  wird durch Multiplikation mit  $W$  reproduziert ("aus dem Gedächtnis abgerufen"). Sind die Vektoren  $x^{(p)}$  nicht orthogonal, dann dominiert in der Summe

$$\sum_{p=1}^r x^{(p)} (x^{(p)}, x^{(q)})$$

i.a. immer noch das größte Skalarprodukt  $\max (x^{(p)}, x^{(q)})$ , d.h. es wird der zu  $x^{(q)}$  ähnlichste Vektor (i.a. verrauscht!) ausgegeben.

→Beispiele zum klassischen AG

6.2.2 Bemerkungen

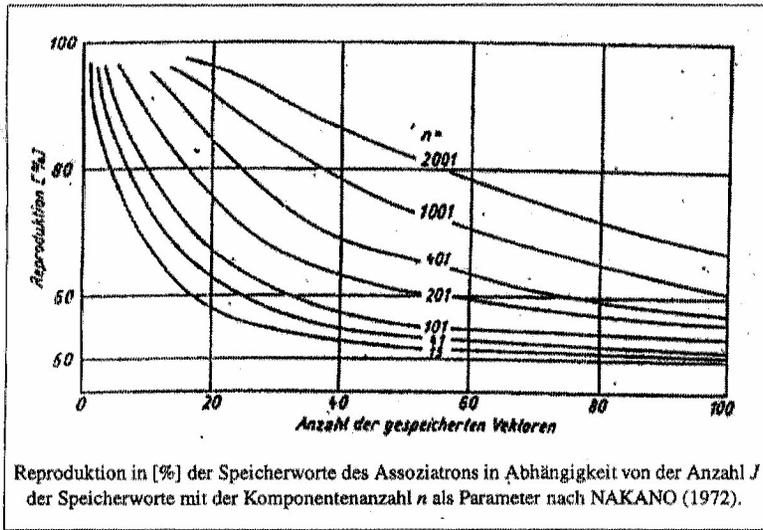
Die Vektoren  $x^{(p)}$ ,  $p = 1, \dots, r$  können orthogonalisiert, d.h. in ein orthogonales System transformiert werden, wenn sie linear unabhängig sind. Sie sind linear unabhängig, wenn

$$\alpha_1 x^{(1)} + \alpha_2 x^{(2)} + \dots + \alpha_r x^{(r)} = 0$$

dann und nur dann gilt, wenn  $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_r = 0$ . Das Gedächtnis ist in der Korrelationsmatrix

$$(w_{ij}) = \left( \sum_{p=1}^r x_j^{(p)} x_i^{(p)} \right)$$

„verteilt“. Dadurch kann durch gestörte Vektoren  $x^{(p)'}$  die korrekte Vorlage  $x^{(p)}$  abgerufen (rekonstruiert) werden. Z.B. können Fehlstellen ergänzt werden (s. Abb. 6.2 und 6.3). Die Reproduktionsfähigkeit ist um so besser, je länger die Vektoren sind.



Reproduktion in [%] der Speicherworte des Assoziatrons in Abhängigkeit von der Anzahl  $J$  der Speicherworte mit der Komponentenanzahl  $n$  als Parameter nach NAKANO (1972).

Abbildung 6.2: Zur Funktionsweise des assoziativen Gedächtnisses aus "Kybernetikforschung" (Klix, Sydow, Wysotzki 1974)

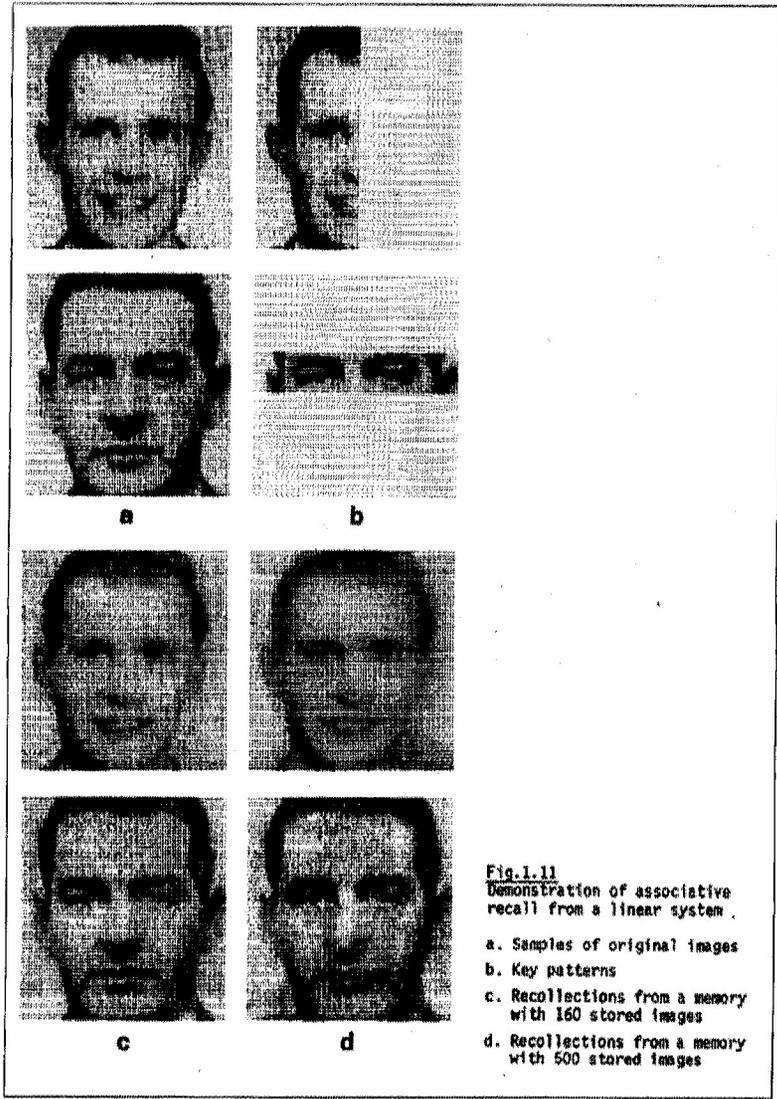


Fig.1.11 Demonstration of associative recall from a linear system.

- a. Samples of original images
- b. Key patterns
- c. Recollections from a memory with 160 stored images
- d. Recollections from a memory with 500 stored images

Abbildung 6.3: Zur Funktionsweise des assoziativen Gedächtnisses aus "Associative Memory" (KOHONEN 1977)

## 2. Anwendung auf das Episodische Gedächtnis

Kovarianz  $\rightarrow$  Assoziation;  $xy \equiv$  gleichzeitiges Auftreten von  $x$  und  $y$

Ereignisse symbolisch gespeichert in Form von **Fillmore – Casusstrukturen** (als "**semantische Tiefenstrukturen**"; im menschlichen Episodischen Gedächtnis wird i.A. die grammatische Form nicht gemerkt).

Beispiel

	V	AGT	OBJ	REC	$\leftarrow$ Casus (= Attribute)
$x^{(1)}$	= (sehen,	Peter,	Maria,	o	) "Peter sieht Maria"
$x^{(2)}$	= (geben,	Peter,	Buch,	Maria)	"(dann) gibt er ihr das Buch"

Speicherung von  $x^{(p)}$  als **Autoassoziation**  $x^{(p)}x^{(p)}$  (Ausgabe = Eingabe,  $y^{(p)} = x^{(p)}$ ).

Bedeutung: **simultanes Auftreten der Paare  $x_i x_j \rightarrow$  Bindungstheorie**

Die zeitliche Folge wird mit registriert.

Die Worte (= "Werte" der Casus) bezeichnen im **Semantischen Gedächtnis** gespeicherte Begriffe und Personen.

Gelernte **Kontextabhängige Begriffe** bzw. **Codes für bildliche Vorstellungen** erlebter oder erzeugter Situationen möglich ("dispositionelle Repräsentationen" i.S. von Damasio, s. "Descartes Irrtum").

Assoziationsmatrix bei Speicherung von  $x^{(1)}$ :

	$w_{11}$	$w_{12}$	$w_{13}$	$w_{14}$
	[sehen,sehen],	[sehen, Peter],	[sehen, Maria],	[sehen, o]
	$w_{21}$ .....			
$w =$	[Peter,sehen],	[Peter,Peter],	[Peter, Maria],	[Peter, o]
	[Maria,sehen],	[Maria, Peter],	[Maria, Maria],	[Maria, o]
	[o, sehen],	.....	.....	.....

Eingabe von  $x^{(q)} = x^{(1)} = (\text{sehen, Peter, Maria, } 0)$  ergibt nach "Multiplikation" der Matrix  $W$  mit dem Eingabevektor (immer nur die 2. Elemente von [...] in  $W$  verwenden !):

$$\sum_{i=1}^4 w_{1i} x_i^{(q)} = \text{sehen } ((\text{sehen,sehen}) + (\text{Peter,Peter}) + (\text{Maria,Maria}) + (0,0))$$

↓

Ähnlichkeit (=Skalarprodukt) der Eingabe mit dem gespeicherten Objekt = 1

= **sehen** (= Ergebnis der 1. Zeile = 1. Komponente des Ausgabevektors)

In (...) wird die **Ähnlichkeit** der beiden Vektoren berechnet und zwar durch das (normierte) Skalarprodukt = normierte Summe der elementaren Ähnlichkeiten 0 („nicht ähnlich“) oder 1 („ähnlich“, hier = „identisch“)

Entsprechend erhält man für die anderen Zeilen als Ausgabe: „Peter, Maria, 0“ in dieser Reihenfolge. Also wird ein zur Eingabe identischer Vektor reproduziert ("aufgerufen").

Die Zeilen können im Prinzip **parallel verarbeitet** werden !

Den Ausdruck für die Ähnlichkeit kann man als simultane (**synchrone**) **Aktivierung der Neuronen(gruppen)** für „sehen, Peter, Maria“ interpretieren, die hier vollständig erfolgt.

(Durch Mittelwertbildung können wieder einzelne "Neuronen" eingeführt werden)

**Eingabe des unvollständigen Vektors** (sehen, Peter, ?, 0), „Wen sieht Peter?“ liefert den vollständigen Vektor (sehen, Peter, Maria, 0 ) als Antwort ! Die **Ähnlichkeit** des unvollständigen Vektors zum gespeicherten vollständigen ist  $< 1$ , wegen [Maria,?].

Hier werden also die „Neuronen“ für "sehen", "Peter", "Maria" zwar auch aktiviert, aber (jedes!) **nicht vollständig**, sondern nur zu  $\frac{3}{4}$ . Würde man nur „Peter“ eingeben, dann nur zu  $\frac{1}{4}$ .

Speichert man noch den 2. Satz

$$\mathbf{x}^{(2)} = \begin{matrix} & \text{V} & \text{AGT} & \text{OBJ} & \text{REC} \\ \text{geben, Peter, Buch, Maria} \end{matrix}$$

in der Assoziationsmatrix (mit **++ als Verkettung in zeitlicher Sequenz**), dann erhält man die erweiterte Matrix  $W'$ :

$W'_1 = (w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14})$  (=erste Zeile von  $W'$ )

$([\text{sehen,sehen}]_{++}[\text{geben,geben}], [\text{sehen,Peter}]_{++} [\text{geben,Peter}],$   
 $[\text{sehen,Maria}]_{++}[\text{geben,Buch}], [\text{sehen,o}]_{++} [\text{geben,Maria}])$

W'<sub>2</sub> (zweite Zeile von W')

([Peter,sehen]++ [Peter,geben], [Peter,Peter]++ [Peter,Peter],  
[Peter, Maria]++[Peter,Buch], [Peter,o]++ [Peter,Maria])

.....

[Peter,Peter] kommt also in W' zweifach vor, ist gleichzeitig Bestandteil von zwei Kontexten, also „**überdeterminiert**“ (Knotenpunkt) i.S. von Freud.

Bei Eingabe von (o, Peter, o, o) werden beide Sätze (Kontexte) aktiviert (Mehrfachdeterminierung von „Peter“ durch 2 Kontexte), möglicherweise durch **Parallelverarbeitung**.

Umgekehrt wird bei Eingabe (=Aktivierung) des einen Kontextes der andere über das gemeinsame Element „Peter“ mitaktiviert (d.h. assoziiert).

Beispiel

Eingabe von  $x^{(1)} = (\text{sehen, Peter, Maria, o})$

Zum **Abruf von  $x^{(1)}$**  muss die Assoziationsmatrix (=Speicherinhalt)  $W'$  mit  $x^{(1)}$  multipliziert werden. Für die erste Zeile  $W'_1$  ergibt das

$W'_1 x^{(1)} =$

sehen  $((\text{sehen,sehen}) + (\text{Peter,Peter}) + (\text{Maria,Maria}) + (\text{o,o})) ++$

geben  $((\text{geben,sehen}) + (\text{Peter,Peter}) + (\text{Buch,Maria}) + (\text{Maria, o}))$

Im ersten Fall ergibt sich erwartungsgemäss die Ähnlichkeit = 1, im zweiten  $(0 + 1 + 0 + 0)/4 = 1/4$ .

Wir nehmen an, dass die Ähnlichkeit den Grad der Erregung/Intensität der entsprechenden „Neuronengruppen“ anzeigt, also hier die mit "Peter" assoziierten für  $x^{(1)}$  bzw. für  $x^{(2)}$ . Es sei hier erst einmal auf eine reale neurobiologische Interpretation verzichtet.

Man erhält also für die 1. Zeile

$$W'_1 x^{(1)} = 1 * \text{sehen} ++ 1/4 * \text{geben} \quad (1.\text{Faktor} = \text{Ähnlichkeit/Intensität})$$

Für die 2. Zeile ergibt sich

$$W'_2 x^{(1)} = 1 * \text{Peter} ++ 1/4 * \text{Peter}$$

$$= 1 \frac{1}{4} * \text{Peter} \quad (\text{bei Summierung der-normierten-Intensitäten}),$$

falls „Peter“ nur einmal gespeichert ist, d.h. einen „Knotenpunkt“ bildet, bei dem sich die beiden gespeicherten Ereignisse (Vektoren)  $x^{(1)}$  und  $x^{(2)}$  kreuzen (Netzbildung).

Entsprechend ergibt sich für die übrigen Zeilen der Assoziationsmatrix in der durch ++ angezeigten Eingabereihenfolge (1.Summand zeitlich vor dem 2.)

$$W'_3 x^{(1)} = 1 * \text{Maria} ++ \frac{1}{4} * \text{Buch}$$

$$W'_4 x^{(1)} = 1 * \text{o} ++ \frac{1}{4} * \text{Maria}$$

Zusammengefaßt:

$$W'_x x^{(1)} = 1 * x^{(1)} ++ \frac{1}{4} * x^{(2)}$$

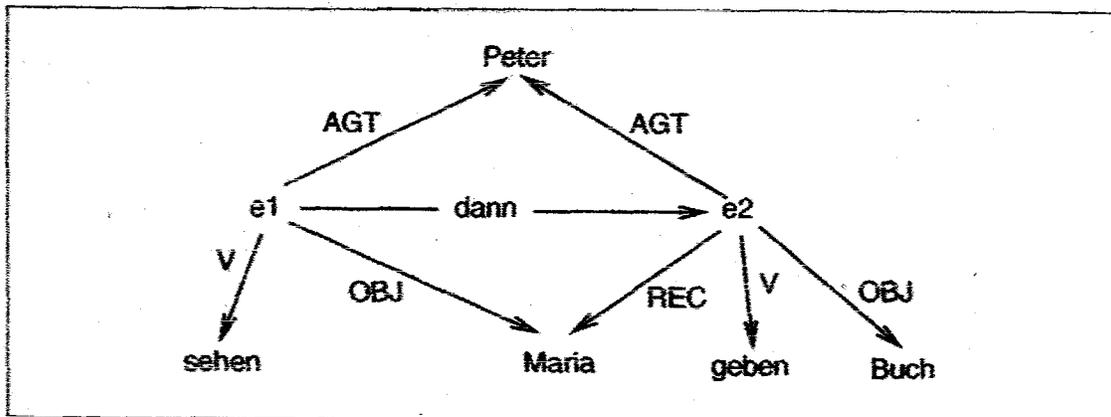
Es wird also der (gespeicherte) Eingabevektor  $x^{(1)}$  mit voller Intensität ausgegeben aber auch der in zeitlicher Folge danach eingegebene Vektor  $x^{(2)}$  („das, was Peter macht, nachdem er Maria gesehen hat“), dieser aber mit geringerer Intensität.

Entsprechendes gilt für **vorherige Aktionen von Peter**, die alle mit geringerer Intensität (im Prinzip parallel) angezeigt werden könnten. Bei Benutzung eines "Arbeitsgedächtnisses"  
- zeitliche Beschränkungen (Zeitfenster) !

Es besteht hier also eine enge **Beziehung zum menschlichen Episodischen Gedächtnis**. Die gesuchte (hier vollständig eingegebene) Situation kann durch **Maximumbildung** bestimmt werden.

Dadurch ergeben sich Beziehungen zum Bewusstsein (Aufmerksamkeitskonzentration) und zum Arbeitsgedächtnis.

- Casusstrukturen, die elementare Ereignisse beschreiben, werden zur Repräsentation komplexer Vorgänge und Episoden zu Semantischen Netzen verknüpft. Dadurch werden Hierarchieebenen eingeführt.
- Die Verknüpfung von Ereignissen erfolgt durch Präpositionen wie **danach**, **dann**, **während** (Zeit), **weil** (Kausalität), **um zu** (Finalität)
- Beispiel für ein einfaches semantisches Netz



- Im allgemeinen sind semantische Netze keine klar definierten Konzepte in der KI, sondern heuristische Speicherprinzipien, die auf die Zeigerstruktur von LISP zurückgehen (Objekte werden nur einmal gespeichert) und eine effektivere Verarbeitung ermöglichen.



→1) Einf. Semant. Netz (KI) als Beispiel  
+ 2 ) Erweiterung durch Begriffe,  
( Max.Best. + Bewertung s. Ende, p.29)

## Allgemeine rek. Def. des AG mittels symbolischer „Addition“ von Kovarianzmatrizen („Hebbsches Lernen“)

1.) Zeitliche Ereignisfolge (Episod.Gedächtnis  $W_e$ ):

$$W_e^{(i+1)} =_{\text{Def.}} W_e^{(i)} ++ \mathbf{x}^{(i+1)} \mathbf{x}^{(i+1)} \quad i = 0, 1, \dots$$

$\mathbf{x}^{(i+1)} \mathbf{x}^{(i+1)}$  ist die einfache Assoziationsmatrix für  $x^{(i+1)}$ . Elementweise (nichtkommutative!) symbolische „Addition“ zu  $W_e^{(i)}$  durch ++.

Entstehung eines „Narrativs“ („Erzählung“).

Speicherung mehrerer Narrative durch Addition ihrer  $W_e$ 's möglich.

2.) AG für konkrete Fakten ( $W_f$ ) möglich: ++ ersetzen durch + (kommutativ). Kombination beider Gedächtnisarten möglich.

## Bemerkungen:

- 1.) Die Reihenfolge innerhalb von [...], z.B. in [sehen,....]++ [geben,....] legt hier gleichzeitig den globalen Kontext der einzelnen Sätze (Narrativ) über die zeitliche Folge fest, das kann aber auch durch Indizierung der einzelnen Sätze (=Vektoren, im Folgenden „Kontexte“) mit den (geordneten) Zeiten  $t_i$  erreicht werden.
- 2.) Wird nur „Peter“ eingegeben, sind 2 Kontexte möglich und werden (schwach) aktiviert, wird ein zusätzliches Wort eingegeben (z.B. „Buch“), dann ist der (lokale) Kontext  $x^{(2)}$  festgelegt ( $\rightarrow$ C.G. Jungs Methode der Traumdeutung im Gegensatz (??) zu Freuds Methode der „freien Assoziationen“).
- 3) Der ähnlichste Kontext wird durch Bestimmung des Maximums der Ähnlichkeit über alle aktivierten Kontexte („Spektrum“) erhalten.

## D

Durch in der Regel verschiedene Kontexte, verteilt im selben Gedächtnis: „**Multistabiles System**“ i.S. von Ashby. ("Windrichtung" in seinem Schornsteinbeispiel: Eingabe, die den Kontext festlegt/aktiviert).

#### 4.) Hebbsches Lernen + Neuronale Interpretation:

Änderung der Assoziationsmatrix durch wiederholte Einspeicherung derselben Grösse (elementare Kovarianz):

$$\Delta w_{ji} = y_j^{(p)} x_i^{(p)}$$

(klass. Hebb-Regel, Hebb 1949, Assoziation nimmt mit wachsender Wahrscheinlichkeit -hier lokal- zu, Sicherheit mit wachsender Statistik)

In unserem Fall (ganze Ereignisse, Autoassoziatives Gedächtnis,  $n_p$  Lernschritte, Art der Einspeicherungen s.u.):

$$\Delta W_N = \eta_p (x^{(p)} x^{(p)}) \quad \eta_p \rightarrow \text{Gradient der Erregungs-} \\ \text{zunahme}$$

$$\text{und} \quad W_N = \sum_{p=1}^r \eta_p (x^{(p)} x^{(p)}), \quad W_N x^{(q)} = \sum_{p=1}^r x^{(p)} [\eta_p (x^{(p)}, x^{(q)})] \\ \theta_1 \\ \theta_0$$

$\theta_1, \theta_0$  obere bzw. untere Schwelle der Erregung. Senkung von  $\theta_0$  durch **NMDA-Rezeptoren** möglich (Plastizität)

Experimentell nachgewiesen:  $\eta_p$  wird z.B. vergrößert, wenn die Einspeicherung von  $x^{(p)}$  in emotionaler Erregung, d.h. durch eine emotionale Situation erfolgt.

(→ stärkere Fixierung im Gedächtnis, schnellere Konsolidierung + besserer Abruf möglich)

## 5.) „Emotionales Gedächtnis“

Problem:

Werden Emotionen auch direkt mit den gekoppelten emotionalen Ereignissen im (deklarativen!) Episodischen Gedächtnis gespeichert? (→ Aufnahme in den Casus- (=Ereignis-)Vektor mit eigener Metrik möglich, da reellwertig).

Experimentell nur nachgewiesen für "Stimmungen"(mood): leichter Abruf, wenn gleiche Stimmung beim Abruf wie bei der Speicherung.

Erlebbare Emotionen (z.B. Furcht/Angst) sind direkt in einem in der **Amygdala** lokalisierten impliziten Gedächtnis (vgl. motorisches Ged.) gespeichert.

Aufruf durch eine **subjektiv erlebte emotionale Reizsituation** → **Amygdala** mit ev. Eingabe von zusätzlichem Kontext durch Hippocampus und Regulation (Grad der Reaktion) durch Medialen Temporalen Cortex (s. Joseph E. Le Doux, 2007), Emotional Memory.Scholarpedia, 2(7):1806).

Hippocampus

↓ **Kontext**

Emotionaler Reiz → **Amygdala** → Emotionale Ausgabe

↑ **Regulation**

Medialer Präfrontalcortex

Bei **in emotionaler Erregung im deklarativen Gedächtnis gespeicherten Ereignissen** kommt es lediglich zu einer stärkeren gedächtnismäßigen Fixierung als bei emotional neutralen (nicht mehr Details aber bessere Grundlage für Konsolidierung/LTP). Die Repräsentation bleibt also „**kognitiv**“.

### 3. AG mit Bewertungen

Ergänzung des Skalarproduktes  $\eta_p (x^{(p)}, x^{(q)})$  ("Intensität der Erregung") durch bei der Eingabe aktuelle **Bewertung**  $c_q$  mit

= 0 Indifferenz (keine Bewertung)

$c_q$ : < 0 subjektiv negative Bedeutung (zur **Verdrängung** führend, wenn eine bestimmte Schwelle nach unten überschritten wird)

> 0 positive Bedeutung

Also zusätzliche **Modulation des Skalarproduktes durch Bewertungen:**

$$\begin{array}{c} \theta_1 \\ [\eta_p (x^{(p)}, x^{(q)}) + c_q ] \\ \theta_0 \end{array}$$

D.h. das Skalarprodukt (Ähnlichkeitsmaß/Intensität) wird **verkleinert**, wenn  $c_q < 0$  und **vergrössert**, wenn  $c_q > 0$ .

→ Interpretation als neue, durch Erregbarkeit und "Kosten" modifizierte „Ähnlichkeiten“ mit Einschränkung auf das Intervall  $[\theta_0, \theta_1]$

(Limiterfunktion):

$$\begin{array}{c} \theta_1 \\ (x^{(p)}, x^{(q)}) \rightarrow [\eta_p (x^{(p)}, x^{(q)}) + c_q ] \\ \theta_0 \end{array}$$

Der jetzt **“ähnlichste” Zustand** wird wieder durch **Auffinden des Maximums** über alle p bestimmt.



Ein Löschen im AG ist nicht möglich!

**Verdrängung** ist auch ein (notwendiger !) **Vorgang im Wachzustand**,  
Extremfall: traumatische Erlebnisse

Wenn  $c_q$  **positiv** ist, kommt es zu einer auch subjektiv empfundenen  
**vergrößerten Erregung, d.h. subjektiven Bedeutung** von  $x^{(q)}$ .  
( s. Piagets "Assimilation").

Neurobiologische Interpretation:  $c_q$  wird wahrscheinlich als **Bewertungsfunktion** vom **Präfrontalen Cortex** übertragen, der daran beteiligt ist, verschiedene Arten von expliziten Wissen bewußt zu machen ("Vorbewußtes" + Teil vom "Überich"/moralische Bewertungen i.S. von Freud).

Er hat **2 Hauptfunktionen** : Integration von sensorischen Informationen und ihre Verknüpfung mit geplanten Bewegungen → "Problemlösen")

s. E. Kandel: Biologie und die Zukunft der Psychoanalyse, 1999.

Beziehungen zum Bewusstsein, Max.-Bestimmung bei Graphmatching durch neuronales Modell

(s. Jain, Wys., "Self-Organizing Recognition and Classification of Relational Structures", Proc. of the 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society, Fairfax, Virginia, 2002.)

classifier layer is a competitive WTA network for the maximum selection consisting of  $N$  inhibitory connected units where unit  $c_k$  represents category  $C_k$ . Each subnet  $S_k$  of the feature extractor is connected to unit  $c_k$  of the WTA classifier via an inter-unit  $i_k$ .

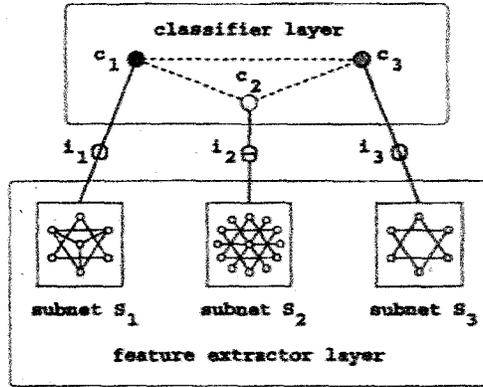


Figure 1: Architecture of a SOSR network.

During classification the subnets  $S_k$  evolve synchronously and continuously pass their current internal states to the inter-units  $i_k$ . The inter-units compute interim values  $g_k(t)$  of the discriminants  $g_k$  and transfer them to the WTA classifier. The WTA classifier evaluates the evidence presented for a decision at an early stage. If the activation  $z_k(t)$  of unit  $c_k$  in the classifier layer falls below zero, the WTA network disconnects unit  $c_k$  from inter-unit  $i_k$ , such that subnet  $S_k$  is excluded from the competition.

Figure 1 depicts a functional diagram of the SOSR model for the  $N = 3$  category problem. The shading of units  $c_k$  in the classifier layer indicates their output level where darker shading means a higher output. Thus unit  $c_1$  is dominating while unit  $c_2$  has the lowest activation. Inter-units  $i_k$  are depicted as switches. A subnet  $S_k$  participates in the competition if the connection between  $S_k$  and  $c_k$  is switched on. Otherwise,  $S_k$  is considered to be irrelevant for the decision making process and inter-unit  $i_k$  switches off the connection to exclude  $S_k$  from the competition. In figure 1 inter-unit  $i_2$  disconnects subnet  $S_2$  from the classifier layer.

In mathematical terms the following equations describe the behavior of the SOSR model:

$$\dot{x}_i^k(t) = -dx_i^k(t) + \sum_j w_{ij} f(x_j^k(t)) \quad (1)$$

$$y_k(t) = \left[ \left[ g(x_k(t)) \right]_0^1 + \varepsilon - s_c(-z_k(t)) \right]_0^1 \quad (2)$$

$$\dot{z}_k(t) = -d'z_k(t) - w \sum_{j \neq k} [z_j(t)]_0^1 + y_k(t) \quad (3)$$

where  $[x]_0^1 := \max\{\theta, \min\{x, \theta\}\}$  is the limiter function with lower and upper bound  $\theta < \theta$ ,  $[x]_0^1 :=$

$\max\{\theta, x\}$  is the linear threshold function with lower bound  $\theta$ , and  $s_c$  is a trigger function of the form

$$s_c(x) = \begin{cases} 1 + \varepsilon & : x \geq 0 \\ 0 & : x < 0 \end{cases}$$

Equation (1) describes the dynamics of an additive recurrent subnet  $S_k$  in the feature extractor, equation (2) describes the behavior of inter-unit  $i_k$  connecting subnet  $S_k$  with unit  $c_k$  of the WTA net, and equation (3) specifies the WTA dynamics. The system terminates if only a single unit  $c_k$  in the WTA classifier is left with an activation  $z_k(t) > 0$  while all other units  $c_k$  are inhibited, i.e.  $z_k(t) \leq 0$ . Under the assumption of converging subnets termination follows from (Jain & Wysotzki, 2001a; Wersing & Beyn & Ritter, 2001).

### Equation (1): A Maximal Clique Solver

Let index  $k$  refer to subnet  $S_k$  solving the maximum clique problem for graph  $A_k$ .

Many different neural network approaches and techniques have been proposed to solve the maximum clique problem (Bonze et al., 1999). As a representative model we consider a general additive recurrent network (1) where  $x_i^k(t)$  denotes the activity of unit  $i$  of subnet  $k$  at time  $t$  and the constant  $d \in [0, 1]$  describes the self-inhibition. The strength of the connection between unit  $i$  and unit  $j$  is determined by the synaptic weight  $w_{ij} = w_{ji}$ . The output of each unit is computed by a non-decreasing bounded function  $f$ .

In order to solve the maximum clique problem of the  $k$ -th association graph  $A_k = (V_k, E_k)$  the network consists of  $|V_k| = n_k$  units which are connected with weight  $w_{ij}^k = w_{ji}^k > 0$  if  $(i, j) \in E_k$  is an edge in  $A_k$  and with weight  $w_{ij}^k = -w_{ji}^k < 0$  if  $(i, j) \notin E_k$ . Self weights  $w_{ii}^k$  are set to zero.

Given appropriate parameter settings the maximal clique solver operates as follows (Schädler & Wysotzki, 1998; Schädler & Wysotzki, 1999): An initial activation is imposed on the network. Finding a maximum clique then proceeds in accordance with equation (1) until the system reaches a stable state. The stable states correspond to the maximal cliques of  $A_k$ . In the ideal case a maximum clique is found. The clique size can be read out by counting the number of units with activation  $x_i^k(t) \geq 1$ .

For our experiments we used the time-discrete approximation of (1) given by

$$x_i(t+1) = (1-d)x_i(t) + \sum_{j \neq i} w_{ij} f_T(x_j(t)) + \eta(t) \quad (4)$$

where  $\eta(t)$  is a small random noise to dissolve ambiguities and  $f_T$  is a controllable limiter function of the form

$$f_T(x) = \begin{cases} 1 & : x \geq T \\ 0 & : x \leq 0 \\ x/T & : \text{otherwise} \end{cases}$$

## 4. Langzeitpotenzierung (LTP)

Nach E. Kandel (In: Die Molekularbiologie der Gedächtnisspeicherung, 2006):

- "Die frühe Phase der LTP, die durch eine einzelne Reizfolge hervorgerufen wird, dauert nur ein bis drei Stunden und erfordert keine Synthese von neuem Protein. Sie umfaßt kovalente Modifikationen schon bestehender Proteine, die zur Verstärkung schon bestehender Verbindungen führen...."

- "Dagegen erzeugen wiederholte Folgen elektrischer Reize (≡ wiederholte Einspeicherung, d.Vf.) eine späte Phase der LTP...."

"Die späte Phase der LTP hält mindestens einen Tag lang an und erfordert sowohl Translation als auch Transkription.....

und führt offenbar zum Wachstum neuer synaptischer Verbindungen."

- "Beispielsweise beanspruchen verschiedene Formen des Lernens verschiedene **modulierende Transmitter**, die dann auf eine von drei Weisen wirken:

1. Sie aktivieren second-Messenger-Kinasen, die zum **Zellkern** transportiert werden, wo sie Prozesse einleiten, die für das Wachstum von Neuronen und das Langzeitgedächtnis erforderlich sind;
2. sie **markieren die spezifischen Synapsen** für die Aufnahme des Langzeitprozesses und regulieren die **lokale Proteinsynthese zur Stabilisierung** und vermitteln
- 3.....Aufmerksamkeits-prozesse , die zur Gedächtnisbildung und für das Erinnern notwendig sind".

Die endgültige Konsolidierung expliziter Gedächtnisinhalte erfolgt durch Speicherung im **Neokortex** über den **Hippocampus** (nur in der ersten Phase!) und noch andere Regionen des **medialen Temporallappens** (in dem auch eine primäre Reizverarbeitung erfolgt).

↓↓D

## **Weitere Ergänzungen in Bez. auf Freuds „Traumdeutung“**

### **1.Mischbildung/Verdichtung**

Kreative Prinzipien der Traumgenerierung: Ökonomieprinzip(?), geringere neuronale Aktivierungsenergie im Schlaf; zu dessen Erhaltung.

**Aus den zu Grunde liegenden Ereignissen Bildung einer Ganzheit im Grossen (Narrativ) .**

Freud S.157: „Auf Grund vieler ähnlicher Erfahrungen muss ich den Satz aufstellen, dass für die Traumarbeit eine Art von Nötigung besteht, alle vorhandenen Traumreizquellen zu einer Einheit im Traume zusammenzusetzen.“

## Mischbildung/Sammelpersonen

Entspricht meist einer Klassenbildung mit Repräsentation der Klasse durch einen „Prototypen“ (hier in dem Sinne, dass er aus Merkmalen der Klassenobjekte gebildet wird), der die Klasse (den neuen Begriff) vertritt und Visualisierung durch *ein* Objekt erlaubt:

### Beispiele

a) Onkeltraum

**Klasse aufgezählt** : ( Freund R., Freund N.)

**Repräsentant (visuell)**: Onkel

**Merkmale**: Schwachkopf, Verbrecher (zur Rekombination)

**Klasse (Bedeutung)**: R., N. können nicht zum Prof. ernannt werden

b) Traum von den Kaviarperlen, S. 271

„Ein Mädchen träumt, nachdem der ältere Bruder versprochen hat, sie mit Kaviar zu regalieren, von diesem Bruder, dass dessen Beine von den *schwarzen Kaviarperlen übersät* sind. Die Elemente „*Ansteckung*“ im moralischen Sinn und die Erinnerung an einen *Ausschlag* in der Kindheit, der die Beine mit *roten* statt mit schwarzen Pünktchen übersät erscheinen liess, haben sich hier zu einem neuen Begriff (Klasse) vereinigt, dessen „*was sie von ihrem Bruder bekommen hat*““.

(Kaviar,Ausschlag)

Ähnlichkeit mit dem genetischen Rekombinationsprinzip ! Es handelt sich also hier um einen (subjektiv bedeutungsgesteuerten) kreativen Prozess, der unter Benutzung von (im Verhältnis zu den Möglichkeiten des Bewusstseins) relativ primitiven Operationen des Ubw abläuft.

## 2. Verschiebung

S. 255 ff.

„Was in den Traumgedanken offenbar der wesentliche Inhalt ist, braucht im Traum gar nicht vertreten zu sein. Der Traum ist gleichsam *anders zentriert*, sein Inhalt um andere Elemente als Mittelpunkt geordnet als die Traumgedanken. So z.B. ist im Traum von der botanischen Monographie Mittelpunkt offenbar das Element „botanisch“; in den Traumgedanken handelt es sich um die Komplikationen und Konflikte, die sich aus verpflichtenden Leistungen zwischen Kollegen ergeben,.....und das Element „botanisch“ findet in diesem Kern der Traumgedanken überhaupt keine Stelle,.....“

„Wir werden so zu dem Schlusse geleitet, dass die mehrfache Determinierung, die für die Traumauswahl entscheidet, wohl nicht immer ein primäres Moment der Traumbildung, sondern oft ein sekundäres Ergebnis einer uns noch unbekanntem psychischen Macht ist.“

„Es liegt nun der Einfall nahe, dass bei der Traumarbeit eine psychische Macht sich äussert, die einerseits die psychisch hochwertigen Elemente ihrer Intensität entkleidet, und andererseits *auf dem Wege der Überdeterminierung* aus minderwertigen neue Wertigkeiten schafft, die dann in den Trauminhalt gelangen.“

....so hat bei der Traumbildung eine Übertragung und Verschiebung der psychischen Intensitäten der einzelnen Elemente stattgefunden, als deren Folge die Textverschiedenheit von Trauminhalt und Traumgedanken erscheint.“

„...dass der Traum nur eine Entstellung des Traumwunsches im Unbewussten wiedergibt. Die Traumentstellung aber ist uns bereits bekannt; wir haben sie auf die Zensur zurückgeführt, welche die eine psychische Instanz im Gedankenleben gegen eine andere ausübt. Die Traumverschiebung ist eines der Hauptmittel zur Erzielung dieser Entstellung.“

## Interpretation der Freudschen „Verschiebung“

Bei negativen Kosten  $c_p < 0$  (= Tendenz zur „**Verdrängung**“) dominieren andere  $x^{(r)}$  mit hohen  $\eta_r$  (bzw. hohen  $c_r > 0$ , z.B. wichtig für die Wunscherfüllung), aber i.a. mit geringerer Ähnlichkeit zum „Traumgedanken“ (bzw. Teil des Traumgedankens)  $x^{(q)}$ .

Verdrängung ist auch ein (notwendiger !) Vorgang im Wachzustand, Extremfall: traumatische Erlebnisse

Ausserdem haben „Knotenpunkte“ i.S. von Freud (gleiche Bestandteile verschiedener Kontexte  $x^{(r)}$ ) die grösste Erregung auf der Wortebene, die durch positive Bewertungen noch erhöht wird.

# **Zur Modellierung von Traummechanismen**

F. Wysotzki, TU Berlin

## **Allgemeines:**

Träume als (versuchte) Regulationsmechanismen:

Beseitigung von Ist-Soll-Differenzen in elementaren physiologischen Regelkreisen bzw. soziales Problemlösen mit (i.a. fiktiver !) Wunscherfüllung als Kompensation von subjektiven Defiziten (z.B. Traum als „Hüter des Schlafs“, Freud).

Aber auch „Zeigen von Wegen“ (→Intuition)

Problem: Posttraumatische Träume (Angsträume)

Freuds „Traumgedanken“ als Traumgrundlage, die am Tage (möglicherweise am Rande) ablaufen.

## Übersicht

1. Zur visuellen Natur der Träume und Mechanismen der Bilderzeugung aus Texten
2. Von Freud postulierte grundlegende Mechanismen bei der Entstehung von Träumen und Ansätze zu ihrer Modellierung
  - 2.1 Assoziative Vorgänge
  - 2.2 Traumentstellung
  - 2.3 Erweiterung des Modells des **Assoziativen Gedächtnisses** durch Einführung von Bewertungen und Interpretation als Multistabiles System (Ashby)
  - 2.4 Mischbildung, Verdichtung
  - 2.5 Verschiebung
3. Die Auseinandersetzung von Jung mit dem Ansatz von Freud
4. Posttraumatische Träume (Barwinski)

## 1. Zur visuellen Natur der Träume

Träume sind vorwiegend bildhaft (nach Freud ca. 80%).

Schon daraus erklärt sich die schon von Freud beschriebene extrem eingeschränkte Darstellbarkeit der elementaren logischen Funktionen:

- Die Negation  $\sim x$  wird durch das Auftreten des Objektes  $x$  selbst dargestellt. Entsprechendes gilt für den Gegensatz.
- Das logische „Oder“ wird als Konjunktion dargestellt.
- Letztlich ist nur die Konjunktion darstellbar, ev. die Implikation durch zeitliche Folge von Prämisse und Conclusio.
- Kausalbeziehungen (weil....., deshalb) werden (nach Freud) ebenfalls als zeitliche Folge von Ursache und Wirkung dargestellt.

Abstrakte Inhalte werden oft **metaphorisch- bildlich** dargestellt. Freud zitiert ein Beispiel von Silberer:  
Er dringt bei abstrakten philosophischen Überlegungen in immer tiefere Schichten ein und wird dabei schläfrig. → → Traum:  
Er löst mit einem Tortenheber die verschiedenen Schichten einer Dobos-Torte.

Barwinsky (Patiententraum): Posttraumatische Angstzustände werden als überflutende Meereswellen dargestellt und dadurch kognitiv zu objektivieren versucht (um besser damit umgehen zu können, z.B. sprachlich zu kommunizieren ?).

## **2. Von Freud postulierte/beobachtete Traummechanismen** (Lit. S.Freud, Die Traumdeutung, 6.Aufl.1929, Fischer 1964)

### **2.1 Assoziative Vorgänge**

S. 238 ff. (Traum von der botanischen Monographie).

„Aber nicht nur die zusammengesetzte Vorstellung „botanische Monographie“, sondern auch jedes ihrer Elemente „botanisch“ und „Monographie“ gesondert geht durch mehrfache Verbindungen tiefer und tiefer in das Gewirre der Traumgedanken ein“ .....

„...holt man sich den Eindruck, dass die Elemente „botanisch“ und „Monographie“ darum in den Trauminhalt Aufnahme gefunden haben, weil sie mit den meisten Traumgedanken, die ausgiebigsten Berührungen aufweisen können, also **Knotenpunkte** darstellen, in denen sehr viele der Traumgedanken zusammentreffen...“

„Jedes der Elemente des Trauminhalts erweist sich als **überdeterminiert**.“

## 2.2 Traumentstellung

### 1) Darstellung durch das Gegenteil

Traum (S.123):

- I. Freund R. ist mein Onkel. Ich empfinde grosse Zärtlichkeit für ihn.
- II. Ich sehe sein Gesicht etwas verändert vor mir. Es ist wie in die Länge gezogen, ein gelber Bart, der es umrahmt, ist besonders hervorgehoben.

Deutung von Freud

Zu I. **Identifizierung.** Der Onkel war nach Aussage von Freuds Vater ein „Schwachkopf“ und „Verbrecher“; der Wunsch „Freund R. sei wie der Onkel“ in den Traumgedanken wird verdrängt und zur Tarnung ersetzt durch das Gegenteil.

(Freund N. hat den Angriffspunkt für „Verbrecher“ gegeben, R. für Schwachkopf. N. ist damit ebenfalls Bestandteil der Identifizierung anhand gemeinsamer Merkmale mit gleichzeitiger **Verdichtung** zu einer **Sammelperson**)

Zu II. **Mischbildung/Sammelperson** (auch als Klassenbildung) → s. unten

## Der Onkeltraum als (**fiktive**) **Wunscherfüllung** (Freud will zum Prof. ernannt werden)

„ Mein Onkel Joseph stellt mir da beide nicht zu Professoren ernannte Kollegen dar, den einen als Schwachkopf, den anderen als Verbrecher.....

Wenn für den Aufschub der Ernennung meiner Freunde R. und N. „konfessionelle“ Rücksichten massgebend sind, so ist auch meine Ernennung in Frage gestellt; wenn ich aber die Zurückweisung auf andere Gründe schieben kann, die mich nicht treffen, so bleibt mir die Hoffnung unzerstört.“

## **Bemerkungen von Freud zur Traumentstellung**

S.128

„Wir dürfen also als die Urheber der Traumgestaltung zwei psychische Mächte (Strömungen, Systeme) im Einzelmenschen annehmen, von denen die eine den durch den Traum zum Ausdruck gebrachten Wunsch bildet, während die andere eine Zensur an diesem Traumwunsch übt und durch diese Zensur eine Entstellung seiner Äusserung erzwingt.“ (+ gesellschaftliche/politische Analogien → Spieltheorie)

.... „Sie sind insofern Wunschträume, als ja jeder Traum von der ersten Instanz ausgeht, die zweite sich nur abwehrend, nicht schöpferisch gegen den Traum verhält.“

„.....das Vorrecht der zweiten Instanz (der Zensur, d.Vf.) sei eben die Zulassung zum Bewusstsein..... und die zweite Instanz lasse nichts passieren, ohne ihre Rechte auszuüben und die ihr genehmen Rechte am Bewusstseinswerber durchzusetzen....,.... das Bewusstsein ist für uns ein besonderer psychischer Akt, verschieden und unabhängig von dem Vorgang des Gesetz- oder Vorge stelltwerdens, und das Bewusstsein erscheint uns als ein Sinnesorgan, welches einen anderwärts gegebenen Inhalt wahrnimmt“. ( Kritik: Bewusstsein nur Wahrnehmungsorgan?? d.Vf.)

S.141

„ Andererseits finden wir uns berechtigt, den Unlustcharakter all dieser Träume mit der Tatsache der Traumentstellung in Zusammenhang zu bringen und zu schliessen, diese Träume seien gerade darum so entstellt und die Wunscherfüllung in ihnen verkleidet, weil ein Widerwillen, eine Verdrängungsabsicht gegen das Thema des Traumes oder gegen den aus ihm geschöpften Wunsch besteht.“

„ Der Traum ist die (verkleidete) Erfüllung eines unterdrückten, verdrängten) Wunsches“

Das entspricht der Erklärung von Jung: Kompensationsprinzip als Traumgenerator !

## **Umwertung**

S.275

„.....es findet zwischen Traumaterial (Traumgedanken, d.Verf.) und Traum tatsächlich eine völlige „*Umwertung aller psychischen Werte*“ statt. Gerade in einem flüchtig hingehauchten, durch kräftigere Bilder verdeckten Element kann man oft einzig und allein einen direkten Abkömmling dessen entdecken, was in den Traumgedanken übermässig dominierte.“

## **Intensität der Traumelemente**

a) Besonders intensiv sind die Elemente, durch die die Wunscherfüllung sich ausdrückt.

b)“ Dann aber lehrt die Analyse, dass von den lebhaftesten Elementen des Traumes auch die meisten Gedankengänge ausgehen, dass die lebhaftesten auch die bestdeterminierten sind.“

„Die grösste Intensität zeigen jene Elemente des Traums, für deren Bildung die ausgiebigste Verdichtungsarbeit in Anspruch genommen wurde.“ (D.h.die am meisten Beziehungen zu anderen Elementen haben)