

Dietrich Lehmann

(The KEY Institute for Brain-Mind Research, Psychiatrische Universitätsklinik Zürich)

## Die hirnelektrischen Bausteine des Denkens

Denken ist eine Tätigkeit des Gehirns: Wird der Zustand des Gehirns strukturell, chemisch oder elektrisch geändert, ändert sich das Denken. Denken ist also zustandsabhängig: Im Schlaf anders als im Wachen, hungrig anders als satt - aber rekursiv ändert Denken wiederum den Zustand: Die gedankliche Lösung eines Problems beruhigt einen vorher irritierten Menschen. Wenn Denken eine Tätigkeit des Gehirns ist, ist Denken messbar - auf viele Arten. Aber: Denken ist schnell: Bewusste Denkentscheidungen fallen im Sub-Sekunden-Zeitraum, z.B. beim Autofahren, bei Unterhaltungen. Messungen des Denkens müssen also die nötige zeitliche Auflösung bieten.

-----

Denken als Hirnprozess ist das Resultat der Zusammenarbeit einer riesigen Zahl von Hirn-Nervenzellen, den 'Neuronen'. Sehr viele parallele (und unbewusste, automatische) Unterprozesse müssen korrekt verlaufen, um normales Denken zu produzieren. Das emergente Ergebnis auf höchster Ebene ist das serielle bewusste Denken, das im Vergleich mit den einzelnen Parallel-Prozessen zugleich flexibler ist, aber ein relativ kleines Fassungsvermögen hat ("die magische Zahl sieben" - man kann sich nur sieben Dinge gleichzeitig merken).

Kann man Denken durch Untersuchung der Unterprozesse beschreiben? Dies geht nur soweit, als Eigenschaften des Denkens noch in den Unterprozessen identifizierbar sind. Obzwar alle Unterprozesse bis zu Nervenzell-Entladungen und Transmittoren-Verschiebungen nötige Teile sind, wäre eine komplette Beschreibung ihrer zeit-räumlichen Strukturen nötig; die ist aber viel zu aufwendig, als dass sie machbar wäre. Das gilt allgemein: Die Herstellung von Béchamel-Sauce zum Beispiel müsste zwar auch durch Nuklearphysik beschreibbar sein, aber das ist in der Praxis unmöglich. Die einfache Summenmessung ihrer chemischen Bestandteile kann ja auch nicht zu den kulinarischen Charakteristika führen, weil zeit-räumliche Strukturierung fehlt. Für alle Untersuchungen ist also eine dem Objekt angemessene Beschreibungsebene nötig, die nicht zu weit vom Objekt entfernt sein darf, damit sie die Eigenschaften des Objekts noch repräsentiert - und damit sie noch machbar ist.

Wir sehen im elektrisch-magnetischen Feld des Hirns eine geeignete Untersuchungsebene für Denken. Ja, wir schlagen als Arbeitshypothese vor, dass das Hirnfeld nicht Folge oder Ursache des Denken ist, sondern identisch mit Denken ist.

## Denken und elektrisch-magnetisches Hirnfeld

Wie das Bewusstsein ist das vom Gehirn ununterbrochen produzierte elektrisch-magnetische Feld eine unteilbare Einheit und in jedem Augenblick nur einmal vorhanden. Das Hirnfeld ist die Summe aller Felder der etwa 10<sup>15</sup> Hirnzellen. Die Feld-Daten bieten die nötige zeitliche Auflösung bis zu Millisekunden (ms; 1 ms = 1/1000 Sekunde). Die räumliche Konfiguration des Feldes kann sich sehr rasch ändern, im Millisekunden- bis Sub-Sekunden-Bereich. Die Feldstärke liegt in einer Grossenordnung, durch die Hirnzellenaktivität moduliert werden kann. Ähnlich dem Elektrokardiogramm kann das Hirnfeld gefahrlos und nichtinvasiv laufend von der Kopfhaut gemessen werden. Viele Studien zeigten, dass Hirnfeldmessungen sehr empfindlich Wahrnehmungen, Denken und Emotionen reflektieren. Man benutzt dazu EEG [Elektroenzephalogramm], ERP [ereignis-bezogene Potentiale] und MEG [Magnetoenzephalogramm].

Das Gehirn ist in jedem Moment der Zeit in einem bestimmten globalen funktionellen Zustand, der aus sehr vielen lokalen Unterzuständen besteht. Das elektrisch-magnetische Hirnfeld manifestiert den globalen Zustand. Wenn die Landschaft des Feldes sich ändert, müssen andere Hirnzellpopulationen aktiv geworden sein als vorher, das heisst, dass das Gehirn offensichtlich etwas anderes tut als zuvor. Das Gehirn ist also dann in einem neuen funktionellen Zustand.

## Mikrozustände des Gehirns

Man sagt gern, dass der <<Strom des Bewusstseins>> kontinuierlich ist. Sind Veränderungen des Hirnzustands auch kontinuierlich? Abbildung 1 zeigt eine Folge momentaner Hirnfeld-Landkarten 68 bis 100 Millisekunden nach Darbieten eines Bildes im linken Gesichtsfeld: Für einige Zeit sind die

Karten-Landschaften sehr ähnlich; zwischen 80 und 84 ms ändert sich die Landschaft plötzlich und bleibt danach wieder für mehrere Karten recht konstant. Dies ist eine typische Beobachtung: Die Änderungen der Hirnfeld-Karten sind also nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft. Mehrere quasistabile Abschnitte können in einer Sekunde beobachtet werden. Wir nennen sie Mikrozustände. Offenbar können nach Angebot von Information im Zeitablauf der Hirnfelder verschiedene Mikrozustände, elektrische Bausteine, unterschieden werden. Sind das funktionelle <<Atome>> der Hirnaktivität? Wenn ja, was bedeuten die verschiedenen Zustände? Nur experimentelle Heuristik kann antworten und ein mögliches <<Wörterbuch>> erstellen.

Ein Beispiel: Visuelle Vorstellungen und abstrakte Gedanken scheinen subjektiv leicht unterscheidbar: Das Wort <<Katze>> ruft gedanklich ein - vielleicht unscharfes - Bild des Tieres hervor, während der abstrakte Begriff <<Theorie>> zu keiner solchen Visualisierung führt. Es wurde aber gefragt, ob nicht die anscheinend verschiedenen Denkkarten nicht einfach gesellschaftliche Übereinkünfte sind, die klassifizierendes Wissen über die bezeichneten Objekte widerspiegeln. Thomas Koenig fand in unserem Labor, dass das nicht so ist: Er untersuchte Hirnfeld-Mikrozustände beim Lesen von Substantiva mit hoher und niedriger Visualisierungstendenz (Abb. 2): Der Mikrozustand von 298 bis 398 Millisekunden nach Erscheinen der Worte war signifikant unterschiedlich für die zwei Wortarten. In dieser Zeit nach Eintreffen der Information werden also die beiden Wortklassen von verschiedenen Hirnzell-Gruppen bearbeitet - es gibt also die Denkbausteine <<abstrakt>> und <<visuell>> als verschiedene Hirnprozesse.

### Atome des Denkens

Man mag einwenden, dass dieser Unterschied nur durch die Darbietung zustande kommt. Wie steht es aber mit spontanen, <<von selbst>> entstandenen Gedanken? Versuchspersonen, die in einer sicht- und schallisolierten Kabine ohne besondere Aufgabe ihren spontanen Gedanken überlassen sind, zeigen in den Hirnfeldern ebenfalls kurze Abschnitte relativ stabiler Landschaften (mit periodischer Potentialumkehr, worauf wir hier nicht eingehen). Im Grunde entsteht mit n Elektroden ein n-dimensionaler Zustandsraum in dem die Trajektorie der momentanen Karten verläuft; Karten auf dem gleichen Datenvektor gehören zum gleichen Zustand; Clustering trennt die Mikrozustände.

Ein vereinfachendes Beispiel zeigt Abbildung 3: Nur Karten mit maximalem Signal-zu-Rausch-Verhältnis wurden benutzt. Die Karten-Landschaften wurden auf Landschaftsdeskriptoren reduziert, das heisst auf die Schwerpunkte der positiven und negativen Feldanteile. Diese Reduktion auf ein gleichsam planares Dipol-Modell verdeutlicht die Veränderungen im Zeitablauf: Die Konfiguration der Karten, die Landschaft, ist für einige Zeit quasi konstant und geht dann zu einer neuen, wieder kurz stabilen Konfiguration über. Mit einem optimierenden Kriterium für die Entscheidung <<gleich / ungleich>> dauerten die spontanen Mikrozustände im Mittel um 100 Millisekunden (längster 1,6 Sekunden). Ebenso wie bei Reizwahrnehmung ist also auch beim Spontanerleben die Entwicklung der Zustände des Hirnfeldes sprunghaft, nicht kontinuierlich: Auch hier besteht die Hirnaktivität aus Verkettung von Mikrozuständen, möglichen <<Atomen des Denkens>>.

Mit Barbara Henggeler und Werner Strik haben wir Klassen spontaner Gedanken mit Mikrozuständen identifiziert. Personen in der Isolierkabine erzählten nach einem Tonsignal <<was ihnen gerade vorher durch den Kopf ging>>. Etwa 70 Prozent der 337 Berichte wurden von neutralen Beurteilern als visuelle Vorstellungen oder abstrakte Gedanken klassifiziert. Der letzte Mikrozustand vor dem Tonsignal war signifikant verschieden für die beiden Berichtsklassen (Abb. 4 links): Die elektrische Achse des Hirnfeldes war vor visuellen Berichten gegenüber abstrakten im Gegenurzeigersinn rotiert; der Schwerpunkt des Feldes über dem Hinterkopf war weiter rechts. Dieser Unterschied war nicht mehr vorhanden, wenn statt des letzten Mikrozustands der Mikrozustand genau 2 Sekunden vorher analysiert wurde. Offenbar ist die Art der Berichte besser im letzten Mikrozustand repräsentiert - das ist im Einklang mit der Hypothese der <<Atome des Denkens>>.

Die Feldorientierung der Mikrozustände bei visuellen und abstrakten spontanen Gedanken unterschied sich durch die gleiche Drehung wie bei den durch Lesen visueller und abstrakter Worte ausgelösten Feldern (Abb. 4 rechts): Das deutet auf Informations-Verarbeitungs-modi des Hirns, die vom Input unabhängig sind.

## Störungen der Hirnfunktionen

Untersuchungen der Mikrozustände bei Patienten geben Einblick in die Hirnmechanismen der Störungen: Chronisch Schizophrene haben häufig Schwierigkeiten, abstrakte Gedanken zu fassen; es besteht eine sogenannte <<Konkretisierungstendenz>>.

In unabhängigen Untersuchungen beobachteten Werner Strik und Kieko Kochi bei spontanen und Ereignis-ausgelösten Mikrozuständen solcher chronischer Patienten interessanterweise eine Rotation der Hirnfeldorientierung im Gegenurzeigersinn verglichen mit Gesunden, man ist versucht zu sagen eine Rotation in der Richtung zu <<Visualisierung>>. Die Spekulation sei erlaubt, dass hier die elektrische Signatur der bei diesen Patienten beobachteten Konkretisierung des Denkens manifest wird.

Daniel Brandeis von der Psychiatrischen Universitätsklinik für Kinder und Jugendliche in Zürich fand, dass Kinder mit Leseschwache um 100 ms nach Angebot eines unerwarteten, falschen Satzendes gleiche Mikrozustände wie unauffällige Kinder haben, dass aber der Mikrozustand nach 300 bis 400 ms die guten von den schlechten Lesern massiv unterscheidet (Abb. 5): Es sind also späte Denkschritte, die bei Leseschwache abweichend sind.

## Sprünge des Bewusstseins?

Die Mikrozustände zeigen also sprunghafte Änderungen. Denken, der subjektive <<Strom des Bewusstseins>>, erscheint uns aber normalerweise kontinuierlich. Ein integrierender Homunculus ist als Erklärung für die scheinbare Diskrepanz nicht hilfreich: Entweder haben wir die relevanten Parameter gemessen oder nicht. Unsere Hypothese ist, dass man sehr früh lernt, die nicht-stetige Folge der inneren Ereignisse als Kontinuum zu akzeptieren - wie wir es ja zum Beispiel im Kino tun, nicht weil wir die 24 Bilder pro Sekunde ohne Sprünge sehen können, sondern weil wir plötzliche Szenenwechsel nicht als Unterbrechung sondern <<ganz normal>> finden, z.B. in zwei Kinostunden ein ganzes Leben: Wie so vieles, was wir gut gelernt haben und dann für selbstverständlich nehmen.

## Abbildungen:



Abb. 1 : Karten elektrischer Hirnpotentialfelder, durch visuellen Reiz im linken Gesichtsfeld ausgelöst. Gemittelte Felder 68-100 ms nach Stimulus. Kopf von oben, Nase oben, linkes Ohr links. Hellblau=stark negativ, blau=negativ, rot=positiv, hellrot=stark positiv. Beachte plötzlichen Landschaftswechsel bei 80 ms. Die letzte Karte illustriert die Reduktion auf ein planares Dipolmodell.

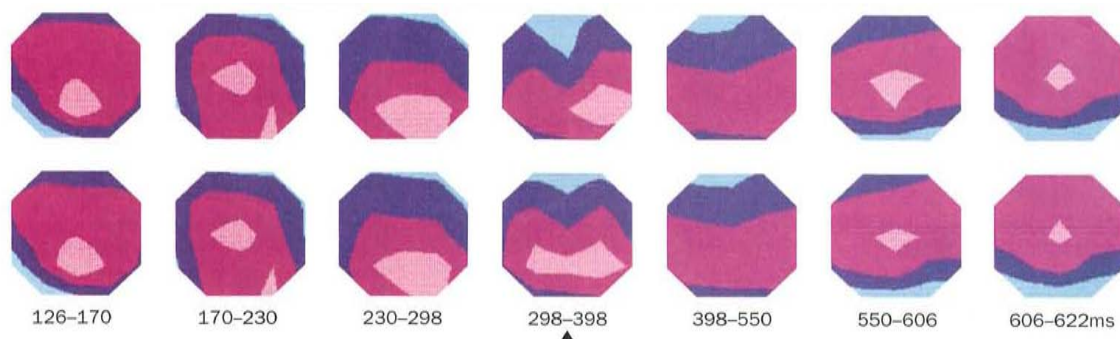


Abb. 2: Potentialfeld-Karten der ausgelösten Hirn-Mikrozustände beim Lesen von visualisierbaren (oben) und abstrakten (unten) Wörtern. Nur der Mikrozustand 298-398 ms (Pfeil) unterschied die Wortarten. Mittelung über 13 Personen. Hellblau=stark negativ, blau=negativ, rot=positiv, hellrot=stark positiv. Kopf von oben, Nase oben, linkes Ohr links.

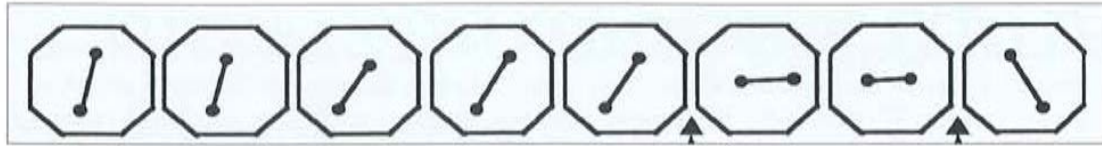


Abb. 3: Planare Dipol-Modelle momentaner Hirnfeld-Karten in Intervallen von ca. 40 ms bei spontanem Denken. Punkte zeigen die Schwerpunkte der positiven und negativen Areale der elektrischen Hirnfelder, verbunden durch einen Strich. Beachte die plötzlichen Änderungen (Pfeile). Kopf von oben, linkes Ohr links.

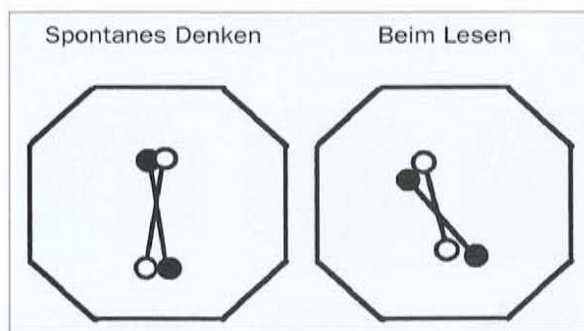


Abb. 4: Planare Dipol-Modelle der Hirnfeld-Mikrozustände bei Visualisierung (Punkte) und Abstrahierung (Kreise), links bei spontanem Denken, rechts beim Lesen von Wörtern (das ist der Mikrozustand 298-398 ms der Abb. 2). Kopf von oben, linkes Ohr links.

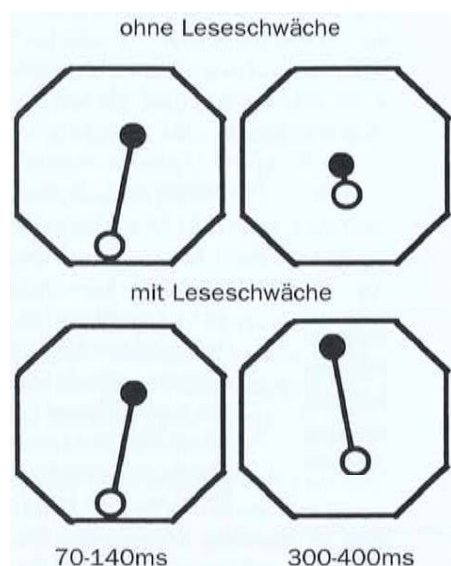


Abb. 5: Planare Dipol-Modelle der Mikrozustände beim Satzlesen. Bei Leseschwäche unterscheidet sich der Mikrozustand 300-400 ms nach Darbietung, nicht aber der bei 70-100 ms. Punkte: negative, Kreise: positive Schwerpunkte der gemittelten Felder; Kopf von oben gesehen, linkes Ohr links (von D. Brandeis, D. Vitacco und H.C. Steinhausen).