

Hardwin Jungclaussen

# Information und Erkenntnis

Vortrag gehalten im Kolloquium der Dresdner IG Akademiker am 14.06.1994  
Mit einer Ergänzung vom 04.08.2003

## Inhalt

- 1 Information und Erkenntnis als Produkt der Evolution
  - 1.1 Evolution und Information
  - 1.2 Sprachliches Modellieren
  - 1.3 Semantik
  - 1.4 Erkennen, Wissen, Glauben
- 2 Information und Erkenntnis als Produkt neuronaler Prozesse
  - 2.1 Das Brückenpostulat
  - 2.2 Neuronale Codierung, Human- und Computerinformation
  - 2.3 Wissen
  - 2.4 Physikalische Erkenntnis
  - 2.5 Kompatibilität starrer Denkstrukturen

# 1. Information und Erkenntnis als Produkt der Evolution

## 1.1 Evolution und Information

Durch das philosophische Denken der Jahrtausende zieht sich die Frage nach der Beziehung zwischen Wirklichkeit und Vorstellung, zwischen Sein und Bewußtsein, zwischen Leib und Seele, zwischen der materiellen und der mentalen Welt wie ein roter Faden hindurch. Neben diese beiden Welten stellte Karl Popper eine dritte Welt. Tabelle 1 zeigt seine Unterteilung der Welt in drei Teilwelten. Neben der körperliche Welt (Welt 1) figuriert, wie üblich, die mentale Welt des Individuums (Welt 2). Sie umfaßt dessen *subjektives* Wissen. Die Kommunikation der Menschen untereinander führt dazu, daß sich in den individuellen *subjektiven* Welten ein *objektiver*, d.h. für die Angehörigen der kommunizierenden Gruppe einheitlicher Teilbereich herausbildet, die Welt 3. Sie beinhaltet das objektive Wissen und umfaßt alles, was als geistiges kulturelles Erbe bezeichnet wird.

Tab. 1. Die drei Welten nach Karl Popper (nach [Eccles])

Welt 1	⇔	Welt 2	⇔	Welt 3
<p><i>Physische Objekte und Zustände</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anorganische Materie und Energie des Kosmos</li> <li>2. Biologie Struktur und Wirkung aller lebenden Wesen — menschliches Gehirn</li> <li>3. Artefakte Materielle Substrate menschlicher Kreativität: Werkzeuge, Maschinen, Bücher, Kunstwerke, Musik.</li> </ol>		<p><i>Bewußtseinszustände</i></p> <p>Subjektive Erkenntnisse</p> <p>Erfahrung von: Wahrnehmung, Denken, Emotionen, zielgerichtete Strebungen, Erinnerungen, Träume, schöpferische Phantasie</p>		<p><i>Wissen im objektiven Sinn</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aufzeichnungen intellektueller Arbeiten: philosophische, theologische, wissenschaftliche, geschichtliche, literarische, künstlerische, technologische</li> <li>2. Theoretische Systeme: Wissenschaftliche Probleme, kritische Argumente</li> </ol>

Die Frage, *ob* die Welt "wirklich" so ist und *warum* sie so ist, wie wir sie "sehen", können wir nicht beantworten. Seit Darwin wird versucht, alles bis auf den Urknall als Produkt der Evolution zu erklären. Diesem Versuch ist mein Vortrag gewidmet und zwar hinsichtlich derjenigen Phänomene, die Information und Erkenntnis genannt werden. Damit befinde ich mich auf der Linie der *evolutionären Erkenntnistheorie*, die auf dem Boden der Arbeiten und Ideen von

Konrad Lorenz entsandt ist. Ich beginne mit einer Klassifizierung der Evolution nach den drei Welten, von denen jede auf ihre charakteristische Weise evolutioniert (Tab.2).

Die Evolution des unbelebten Universums (der anorganischen Welt, der Welt 1.1 in Tab.1) ist vornehmlicher Untersuchungsgegenstand der Physik. Dabei wird i.a. angenommen, daß es sich um eine *codefreie* Evolution handelt. Das heißt, daß es zur Fortsetzung der Evolution nicht erforderlich ist, irgendwelche Zeichen zu entziffern (zu *interpretieren*), die den momentanen Entwicklungsstand beschreiben oder Anweisungen einer übergeordneten Instanz darstellen. Die Evolution ergibt sich aus den Eigenschaften des Materials, aus dem die Welt besteht. Soweit die Eigenschaften durch physikalische Gesetze beschrieben sind, folgt die Evolution den Gesetzen der Physik. Diese führten dazu, daß sich infolge der Abkühlung des Weltalls infolge Expansion immer komplexere Strukturen bildeten, beispielsweise aus atomaren Strukturen molekulare Strukturen. Die Evolution der anorganischen Welt endet logischerweise mit dem Ende der Welt. Was das bedeutet, wissen wir nicht.

*Tab. 2. Evolutionsklassen*

<u>Bezeichnung</u>	<u>Subjekt der Evolution</u>
Codefreie Evolution: - kosmische Evolution	natürliche, anorganische Welt, Welt 1.1
Codebasierte Evolution - genetische Evolution	belebte Welt, Welt 1.2
- personale Evolution	Denkwelt einer Person, subjektives Wissen, Welt 2
- kulturelle Evolution	objektives Wissen, Welt 3 und materialisiertes objektives Wissen, Artefakte, kulturelles Erbe, Welt 1.3

Manche Wissenschaftler setzen Struktur mit Information gleich. Das würde bedeuten, daß durch die kosmologische Evolutionskette Information weitergegeben und vermehrt wird. Das hat durchaus Sinn. Dennoch schließe ich mich diesem Sprachgebrauch nicht an, weil er den Begriff der Information überflüssig macht.

Die Evolution der belebten Welt (Welt 1.2 in Tab.1) heißt *genetische* Evolution. Sie endet mit dem Ende des Lebens. Wie es auf der Erde dazu kommen kann, ahnen wir nur. Die Evolution der Welt 2 nenne ich *personale* Evolution. Sie stellt die Entwicklung der persönlichen Vorstellungs-, Denk- und Begriffswelt eines Menschen sowie seines subjektiven Wissens dar. Sie ist an das Bewußtsein der Person gebunden und endet mit ihrem Tode, vorausgesetzt, das Bewußtsein ist sterblich (*Bewußtsein* darf hier im Sinne des gängigen Sprachgebrauchs mit *Seele* gleichgesetzt werden). Die Entwicklung des objektiven Wissens der Angehörigen eines Kulturkreises (Welt 3) zusammen mit der materiellen Manifestation des objektiven Wissens (Welt 1.3) heißt *kulturelle* Evolution. Sie endet mit dem Ende der Menschheit. Da Welt 3 der gemeinsame Teil der individuellen Welten 2 ist, bedingen sich kulturelle und personale Evolution wechselseitig.

Genetische, personale und kulturelle Evolution sind *codebasiert*, das aktuelle Resultat der Evolution wird codiert weitergegeben, d.h. in Form von Zeichen, die vom *Nachfolger* zu "entziffern" sind. Der Nachfolger ist im Falle der genetischen Evolution der Nachkomme. Im Falle der personalen Evolution spricht man - weniger eindeutig - von Entwicklungsstadium, im Falle der kulturellen Evolution von Kulturepoche.

Die genetische Evolution verwendet einen chemischen Code und zwar Nukleinsäureketten. Personale und kulturelle Evolution verwenden einen vom Menschen entwickelten Code, die Sprache. *Sprache ist Mittel der Kommunikation zum Zwecke der Kooperation*. Um kooperieren zu können, müssen sich die Kooperationspartner über die Umwelt, in der die Kooperation stattfindet (die Partner selber eingeschlossen) austauschen. Insofern sind Aussagen sprachliche Modelle bzw. Modellelemente der Welt. Kommunikation und Sprache sind Voraussetzungen sowohl der personalen als auch der kulturellen Evolution.

Das Entziffern (*Interpretieren*) der vom Vorgänger erhaltenen Zeichen führt zu bestimmten *Wirkungen* im interpretierenden Nachfolger. Für die Wirkung (die *Interpretation*) hat sich das Wort *Bedeutung* herausgebildet. Die Bedeutung des *genetischen* Codes sind Eigenschaften des Nachkommen. Dieser ist gleichzeitig Interpretierer und Interpretation des Codes. Die Bedeutung (Wirkung) *sprachlicher* Äußerungen sind Bewußtseinsinhalte. Sie gehören zu Welt 2, zur Welt der Ideen. Darum nenne ich sie *Ideme*. Die Zeichen (Buchstaben, Wörter, Sätze, allgemein *Kompositzeichen*) gehören zu Welt 1, zur realen Welt, darum nenne ich sie *Realeme*.

Fragt man, was die einzelnen Glieder einer codebasierten Evolutionskette zusammenhält, sodaß ein zusammenhängender Evolutionsprozeß entsteht, lautet die Antwort: Es sind die von Glied zu Glied übergebenen Zeichen zusammen mit deren Wirkungen, also der durch sie codierten Bedeutung. Diese Zusammenfassung, also das Paar (Zeichen, Wirkung) oder (*Zeichen, Bedeutung*) nenne ich *Information*. In diesem Sinn hat Manfred Eigen das Wort Information gebraucht, nachdem er ein quantitatives Modell des Ursache-Wirkungszyklus zwischen Nukleinsäureketten (den codierenden Zeichen) und Aminosäureketten (der Bedeutung oder Interpretation) aufgestellt hatte.

Die Bezeichnungen der Evolutionsklassen können auf die jeweils verwendete Art der Codierungen sowie auf die betreffende Information übertragen werden. So spricht man z.B. von *genetischer Information*. Eine personale Information wäre ein Paar (Zeichenrealem-Idem). Sie ist über das Idem an eine bestimmte Person gebunden und kann nur insoweit *übertragen* werden, wie die Ideme von Sender (Artikulierer) und Empfänger (Interpretierer) übereinstimmen.

Kommunikation (Informationsübertragung) innerhalb einer kooperierenden Gruppe beruht auf *objektiven* Bedeutungen sprachlicher Äußerungen und diese auf gemeinsamem, d.h. objektivem Wissen. Insofern wäre es folgerichtig, von kultureller Information zu sprechen. Wir werden jedoch die Bezeichnung *Humaninformation* vorziehen (zur Unterscheidung von der *Computerinformation*; siehe Kap.2.2).

Die Herausbildung objektiver Bedeutungen nennen wir *semantische Objektivierung*. Dabei handelt es sich i.a. allerdings nicht um eine *exakte* Objektivierung, d.h. um *Identität* der Bedeutungen (jeder interpretiert Goethe auf *seine* Weise). Die Frage nach der *objektiven Bedeutung* eines sprachlichen Ausdrucks, eines Wortes oder Satzes ist wohl die schwierigste Frage der Sprachwissenschaft. Auf Möglichkeiten exakter Bedeutungsobjektivierung kommen wir später zurück.

Nun können Bewußtseinsinhalte nicht nur durch Zeichen ausgelöst werden. Jede *Wahrnehmung* ist nichts anderes als Auslösung eines Bewußtseinszustandes durch das Wahrgenommene. Dieses kann irgendein Objekt der Realität sein. Das legt folgende Verallgemeinerung des Realebegriffs nahe: *Ein Objekt der Realität, das sich im Bewußtsein eines Menschen als Idem widerspiegelt, wird das dem Idem zugeordnete Realem genannt.* Ist das Realem ein Zeichen (elementares Zeichen oder Kompositzeichen), nennen wir es *Zeichenrealem*, andernfalls *Urrealem*.

Wenn man nach dieser Verallgemeinerung bei der Bezeichnung des Realem-Idem-Paares als Information bleibt, gelangt man zu einem allgemeineren Informationsbegriff. Er berücksichtigt den üblichen Sprachgebrauch, wonach man auch dann von Information spricht, wenn diese nicht vom Menschen artikuliert ist, sondern der Umwelt unmittelbar (d.h. *uncodiert*) entnommen wird, z.B. wenn man typische Wolkenformen als *Anzeichen* für bevorstehenden Regen *interpretiert*. In diesem Sinne werden wir zwischen *nichtartikulierter* und *artikulierter Information oder Zeicheninformation* unterscheiden.

Die Wirkungen nichtartikulierter Informationen könnten auf solchen genetischen Informationen beruhen, die das Verhalten von Lebewesen (z.B. von Zugvögeln) von bestimmten Umweltparametern abhängig machen. Die genetische Information liefert den Interpretationsapparat, der die Umweltparameter (Urrealeme) zur *Wirkung* bringt, sie *bedeutungsvoll* macht.

Bei der Einführung des Idem-Reale-Paares wurde nicht vorausgesetzt, daß *alle* Bereiche der Außenwelt Wirkungen im Bewußtsein haben, d.h. daß ihnen Ideme entsprechen müssen. Bereiche, für die wir keine Sinnesorgane haben, können nicht ins Bewußtsein treten, zumindest nicht unmittelbar. Allerdings können wir den "Empfangsbereich" der Sinnesorgane durch künstliche "Prothesen" erweitern, z.B. durch ein Radiogerät, das elektromagnetische Wellen empfängt, die unsere Augen nicht sehen können.

Andrerseits muß nicht jedem Idem ein reales Objekt entsprechen. Wir haben die Freiheit zu denken, was wir wollen. Wir besitzen Phantasie. Der Mensch kann sich beliebige Vorstellungen und Begriffe bilden, auch den Begriff des Unbegreiflichen, des Unerkennbaren und sogar den Begriff des alles Bewirkenden, des Allmächtigen und dennoch Unerkennbaren, den Gottesbegriff. Diese Freiheit ist durch die Unüberwindbarkeit der Kluft zwischen materieller und mentaler Welt garantiert. Mit anderen Worten: *Der Freiraum für Glauben und Religion liegt in der Kluft zwischen Welt 1 und Welt 2.*

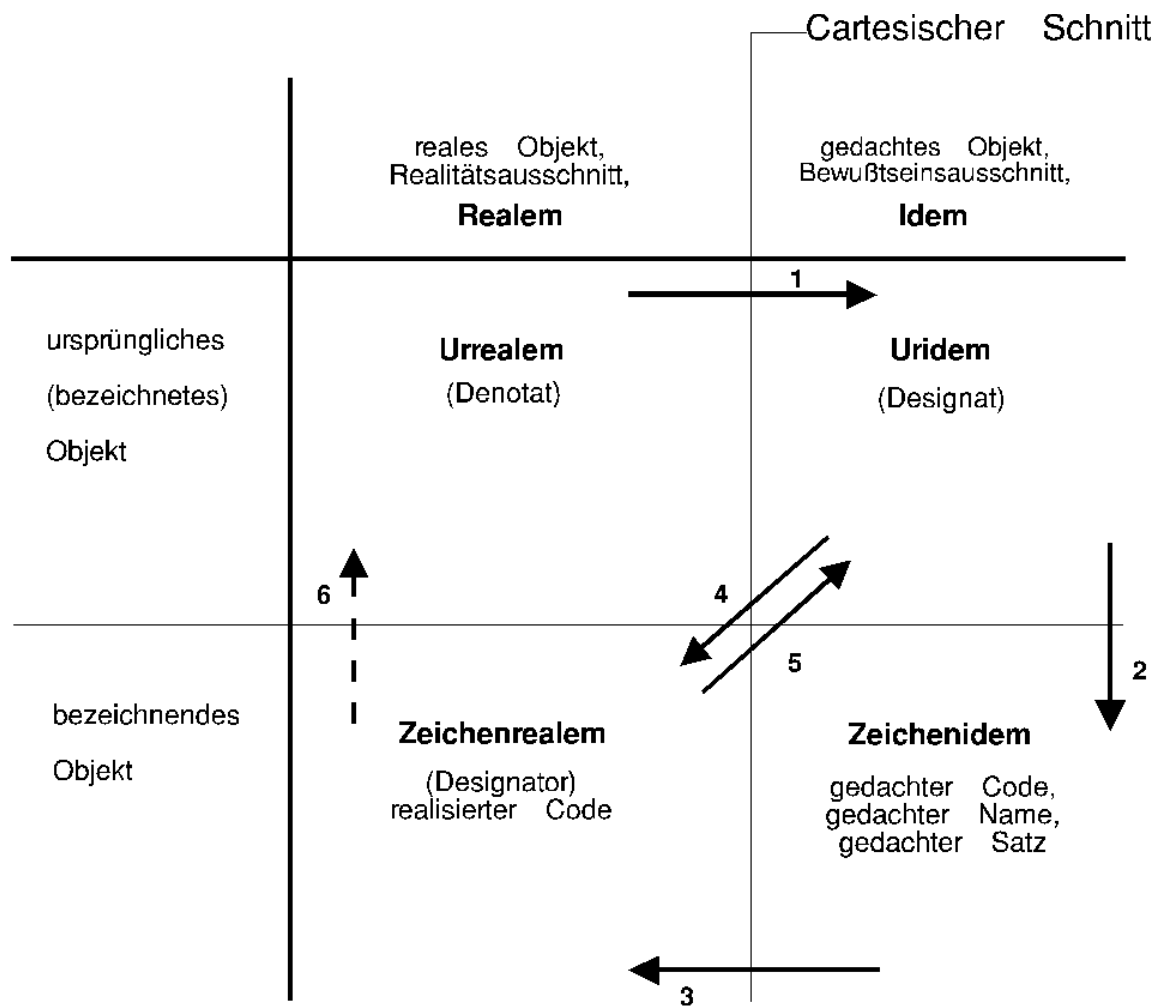
## **1.2 Sprachliches Modellieren**

Die Einführung des Begriffspaares Idem-Realem bringt an sich noch keinen Erkenntnisgewinn, sondern dient der Vereinfachung der Problemstellung und der Fixierung der Idee, die allem weiteren zugrunde liegt. Das Problem wird dadurch handhabbar, daß das Leib-Seele-Problem auf die Feststellung reduziert wird, daß ein Realem, das auf die Sinnesorgane wirkt, einen Bewußtseinsinhalt, ein Idem auslöst, ohne jedoch irgendetwas darüber auszusagen, wie dies im einzelnen vor sich geht. Dementsprechend werden wir die Beziehungen zwischen Realemen und Idemen zunächst ganz formal betrachten und am Beispiel des Sprechens erläutern.

In Abb.1 sind 4 Objektklassen unterschieden, die bei der Übertragung von Information und speziell beim Sprechen eine Rolle spielen. Wir nennen sie *Urrealeme, Zeichenrealeme, Urideme*

und *Zeichenideme*. Die Beziehungen zwischen ihnen sind durch Pfeile dargestellt und benannt. Ein Beispiel soll die Zusammenhänge illustrieren.

Urrealem (primäres Objekt) sei mein alter Bekannter namens Max. Wenn auf der Straße ein Passant in meinem Blickfeld auftaucht und ich in ihm meinen Bekannten Max erkenne, so heißt dies, daß *Max* in mein Bewußtsein getreten ist, m.a.W. daß mein Gehirn das gesehene Objekt als das *Uridem Max* interpretiert hat (Pfeil 1). Da wir uns lange nicht gesehen haben, muß ich mich erst auf seinen Namen besinnen (Pfeil 2). Erst nachdem er mir eingefallen (in mein Bewußtsein "gefallen") ist, kann ich Max mit seinem Namen anreden, d.h. den gedachten Namen aussprechen (Pfeil 3). Es ist also zwischen Objekt und Name, zwischen Uridem und Zeichenidem zu unterscheiden, auch wenn einem der Unterschied in der Regel nicht bewußt wird, denn das



- Pfeilbezeichnungen:
- 1 - Interpretieren
  - 2 - internes Codieren, gedankliches Benennen
  - 3 - externes Codieren
  - 4 - Artikulieren
  - 5 - Interpretieren
  - 6 - Realisieren eines sprachlichen Modells

Abb. 1. Abbildungen des sprachlichen Modellierens

gedankliche Benennen ist normalerweise reflektorisch überbrückt (Pfeil 4). Im Alter funktionieren diese Reflexe oft nicht mehr so recht, und man hat zuweilen Mühe, sich auf einen Namen oder ein Wort zu besinnen.

Ebenso wie das Realem-Idem-Paar stellen auch die Zusammenhänge der Abb.1 nichts prinzipiell Neues dar. All das gibt es schon, und in der Abbildung sind einige linguistische Begriffe angegeben, die ungefähr die 4 Objektklassen benennen, wobei zu bemerken ist, daß die angegebenen Wörter nicht ganz einheitlich verwendet werden. Auch Abbildung 1 dient der Fixierung der Grundidee.

Unser Ziel ist - wie das Ziel jeder Wissenschaft - die Objektivierung subjektiven Wissens. Speziell geht es um die Objektivierung des Begriffs *Bedeutung*. Wir fragen also letzten Endes, was ein Bewußtseinsinhalt *objektiv* ist. Wir werden die Frage nicht beantworten, denn wir müßten das Leib-Seele-Problem lösen. Wir werden aber eine alte Vermutung aufgreifen, diese als Arbeitshypothese postulieren und eine Reihe von Schlußfolgerungen aus ihr ziehen. Auch wenn die Schlußfolgerungen zwingend sind, bleiben sie als Folgerungen einer Hypothese Spekulationen. Sie sind Gegenstand von Kap.2. Zunächst wollen wir uns vergegenwärtigen, auf welche Weise es den Naturwissenschaftlern, insbesondere den Physikern gelingt, *objektives Wissen* zu produzieren.

### 1.3 Semantik

Wenn von der Bedeutung (Semantik) eines sprachlichen Ausdrucks die Rede ist, wird stillschweigend angenommen, daß der Ausdruck eine *objektive*, d.h. für die Benutzer der betreffenden Sprache einheitliche Bedeutung besitzt. Diese Annahme ist in vollem Umfange nur hinsichtlich Ausdrücken einer *formalisierten Sprache* gerechtfertigt, deren Interpretation eindeutig festgelegt ist, sodaß die Semantik eines Ausdrucks nicht vom Interpretierenden abhängt und insofern *objektiv* ist. Das gilt für mathematische und für programmiersprachliche Ausdrücke.

Die Semantik eines mathematischen Ausdrucks ist durch das zugrunde liegende Kalkül, also durch Axiome und Regeln gegeben. Wir sprechen von *formaler* oder *kalkülinterner Semantik*. Die Semantik programmiersprachlicher Ausdrücke ist durch den interpretierenden Computer einschließlich des implementierten Interpreters, also durch interne Eigenschaften des IV-Systems gegeben. In diesem Fall sprechen wir von *trägerinterner Semantik*. Hier tritt der Sinn der oben gegebenen Bestimmung des Bedeutungsbegriffs als Wirkung deutlich zutage: Die Bedeutung (Interpretation) eines programmiersprachlichen Ausdrucks ist dessen *Wirkung* im Computer.

Wenn man dagegen von der Semantik natürlichsprachlicher Ausdrücke spricht, meint man damit keine trägerinternen, d.h. neurophysiologische Wirkungen im Gehirn, sondern Gegebenheiten in der Außenwelt. Darum sprechen wir von *externer Semantik*. Allerdings kann die Bindung an die Außenwelt bei Verwendung abstrakter Begriffe über einen langen Denkweg vermittelt sein, beispielsweise wenn ein Philosoph seine *Welt-Anschauung* darlegt.

Die Mathematik stellt das Endresultat der Bemühungen der Menschen dar, ihre Bewußtseinsinhalte, ihre subjektiven Einsichten, ihr subjektives Wissen zu objektivieren, um es mitteilen zu können. Die Abstraktion von der realen Welt ist im Falle der reinen Mathematik vollständig. Insofern stellt sie das *Endresultat* semantischer Objektivierung dar. Erfahrung wird durch

Axiome ersetzt. Externe Semantik wird vollständig eliminiert. Tabelle 3 faßt die Darlegungen zusammen.

Tab. 3. Semantiken

Bezeichnung	Bezugsobjekt	Interpretierer	Objektivierung
externe Semantik	Umwelt	Mensch	teilweise
interne Semantik			
- trägerinterne Sem.	Computer	Computer	vollständig
- kalkülinterne Sem.	Kalkül	Mensch oder Computer	vollständig

#### 1.4. Erkennen, Wissen, Glauben

Um die Mathematik für die Modellierung der Welt dienstbar zu machen, muß die eliminierte externe Semantik nachträglich wieder hereingeholt werden. Das geschieht durch "*Interpretation*". Das Wort ist diesmal im speziellen Sinne der angewandten Mathematik verwendet und bedeutet die *Zuordnung von Objekten der realen Welt oder deren Merkmalen zu Objekten eines Kalküls*. Dadurch wird ein Ausschnitt der Realität zur Interpretation des Kalküls. In diesem Sinne kann der Pfeil 6 in Abb.2 verstanden und als Interpretieren im Sinne der Mathematik aufgefaßt werden.

Ein interpretiertes Kalkül heißt *Theorie*. Theorien machen es möglich, wahre Aussagen über die Wirklichkeit zu *berechnen*, zu *deduzieren*. Durch die nachträgliche Berechnung von Meßresultaten läßt sich eine Theorie verifizieren. Dabei werden aus beobachteten Ursache-Wirkungszusammenhängen mathematische Zusammenhänge des Kalküls: *Das Kausale wird zum Logischen*.

Messen und Theorien bilden ist der Weg des *physikalischen Erkennens*. (Hier und im weiteren ist mit *Erkennen* nicht *Wiedererkennen* gemeint, etwa das Erkennen eines Bekannten, sondern das Gewinnen neuer Erkenntnis.) Verifizierte (reproduzierte) Meßresultate und verifizierte Theorien bilden das *physikalische Wissen*. Wenn beides zusammenfällt, sprechen wir von *physikalische Erkenntnis*.

Damit ist die Bedeutung der Wörter *Wissen* und *Erkennen* nicht erschöpft. In anderen Bereichen werden sie anders verwendet. Sucht man nach einer allgemeingültigen Definition des Begriffs *Wissen*, bleibt folgende magere Feststellung übrig: *Das Wissen eines Menschen sind Aussagen, an deren Wahrheit er nicht zweifelt*. Danach ist Wissen zunächst etwas Subjektives und beruht auf dem Wahrheitsbegriff. Das Bekenntnis: "Ich *weiß*, daß mein Erlöser lebt" verdeutlicht die Tiefgründigkeit der Fragestellung.

Obige Definition verschiebt das Problem des Wissensbegriffs auf den Wahrheitsbegriff, also auf einen Metabegriff, denn der Satz "Das ist wahr" ist eine Aussage über eine Aussage, z.B. über die Aussage "Gott lebt". Es erscheint sinnvoll, anstelle des Wissensbegriffs den Wahrheitsbegriff zu analysieren, um ihn zu schärfen, denn die Frage, was ich für wahr halte, liegt dem introspektiven Zugriff näher und ist insofern faßlicher als die Frage, was ich weiß.



Für mich selber ist zum einen alles wahr, was ich *wahrnehme*, meine *subjektive Erfahrung*, und zum anderen alles, was für mich *denknotwendig* ist, was aus dem, was ich weiß, mit Notwendigkeit folgt. Beides kann objektiviert werden, Erfahrung dadurch, daß sie von vielen gemacht wird (z.B. als verifizierte Messung) und/oder als wahr *vereinbart* wird, das Denknotwendige durch semantische Objektivierung, z.B. durch Deduktion aus einer Theorie. Damit ergeben sich vier Klassen des Wahren und des Wissens (siehe Tab. 4.)

Tab. 4. Klassen des Wahren und des Wissens

Wahr ist	
die Erfahrung	
- subjektive Erfahrung:	das Wahrgenommene
- objektive Erfahrung:	kollektive Erfahrung, Gemessenes, Vereinbartes (z.B. Lexikoninhalte)
das Denknotwendige	
- das subjekt. Denknotw.:	persönliche Überzeugungen, persönliche Schlußfolgerungen, persönlicher Glauben
- das objektive Denknotw.:	formale Ableitungen (Deduktionen), Glaubensbekenntnisse (Dogmen).

Zwischen Wahrgenommenem und persönlicher Überzeugung besteht eine ähnliche Beziehung wie zwischen Gemessenem und Abgeleitetem (Deduziertem). Das legt folgende Verallgemeinerung des Begriffs der physikalischen Erkenntnis nahe: *Erkenntnis ist Erfahrung, die gleichzeitig denknotwendig ist*. Erfahrung kann dadurch zu Erkenntnis werden, daß sie als denknotwendig *erkannt* wird. Das Wort *erkennen* hat hier die Bedeutung von *wiedererkennen*. Das deutet auf einen tieferliegenden Bedeutungszusammenhang der Wörter *Erkennen* und *Wiedererkennen* hin. Erkenntnis als denknotwendige *Erfahrung* ist Wissen über die Wirklichkeit. Damit kommen wir zu folgender prägnanteren Begriffsbestimmung: *Erkenntnis ist denknotwendiges Wissen über die Welt*.

Die subjektive Erkenntnis eines Menschen und ebenso die objektive Erkenntnis einer Gruppe von Menschen ist die Gesamtheit all derjenigen Wissens-elemente (Einzelaussagen über die Wirklichkeit), die miteinander konsistent sind und die sich gegenseitig stützen, wodurch jedes einzelne Element denknotwendig wird. Danach ist Erkennen (das Gewinnen neuer Erkenntnis) das Einordnen oder Einpassen von Erfahrungen in das vorhandene denknotwendige Wissen. Diesem *Puzzlespiel* sind die Bemühungen jedes Gelehrten gewidmet, sei er Naturwissenschaftler, Philosoph oder Theologe.

Subjektive Wahrheiten, also subjektiv Wahrgenommenes und Denknotwendiges, bilden das subjektive Wissen eines Menschen; sie gehören zu seiner Welt 2. Objektive Wahrheiten, also objektiv Wahrgenommenes und Denknotwendiges bilden das objektive Wissen; sie gehören zur Welt 3.

Subjektives Wissen muß nicht mit dem objektiven und schon gar nicht mit dem physikalischen Wissen übereinstimmen. Wissen, das über das physikalische Wissen hinausgeht, ihm aber nicht widerspricht, nennen wir *transphysisches* Wissen. Wissen, das nicht vereinbar ist mit dem

physikalischen Wissen, nennen wir *paraphysisches* Wissen. (Assoziationen mit den Wörtern paradox, transzendent und metaphysisch sind beabsichtigt.)

Sowohl für transphysisches als auch für paraphysisches Wissen hat sich das Wort *Glauben* herausgebildet, freilich nicht als Ergebnis einer Analyse, wie wir sie soeben durchgeführt haben, sondern als Ergebnis der Objektivierung einer Vorstellung, die im Bewußtsein vieler Menschen in ähnlicher Form vorhanden ist und über die sie sich mitteilen möchten. Wenn wir Glauben als eine spezielle Art von Wissen auffassen, ist das durchaus folgerichtig, denn für den Gläubigen unterliegt sein Glauben keinem Zweifel, ist also gemäß obiger Definition Wissen.

Glauben setzt die Existenz einer *Wirklichkeit* voraus, die sich dem *physikalischen Erkennen* entzieht, deren *Wirkung* jedoch subjektiv wahrgenommen wird. Der paraphysische Glaube schließt die vollständige physikalische Erkennbarkeit der Wirklichkeit aus. Es ist ein Glaube an das Unerkennbare, z.B. an einen persönlichen Gott, der das Schicksal jedes einzelnen bestimmt, der bestraft und erlöst. Religionen beruhen auf ihm. Der transphysische Glaube geht nicht so weit. Er glaubt an unbekannte Wirkungszusammenhänge, z.B. an die Wirkung der Sterne auf die Schicksale der Menschen, läßt aber die Möglichkeit, sie physikalisch zu erkennen, offen. Magie und Esoterik beruhen auf transphysischem Glauben. Jeder Glaube beruht auf kausalem, nichttheoretischem Denken und postuliert *kausale, nichtdeduzierte* (physikalisch nicht erkannte) Zusammenhänge, z.B. den Zusammenhang zwischen Gott und Welt: Gott *bewirkt* die Welt.

Selbstverständlich ist auch jeder Physiker davon überzeugt, daß es eine Wirklichkeit (eine *wirkende* Realität) gibt, die physikalisch noch nicht erkannt ist. Sonst würde er nicht forschen. Dabei erweitert er die erforschbare Welt durch Erweiterung des Empfangsbereiches seiner Sinnesorgane durch Prothesen, wovon bereits die Rede war. Neuerdings erweitert er auch den Bereich des Deduzierbaren, indem er Denkprothesen in Form von Computern benutzt.

Ein Physiker, der ein Experiment macht, um mehr von der Welt zu erfahren, geht davon aus, daß sich seine Resultate früher oder später als Interpretation eines Kalküls auffassen lassen und daß er nie gezwungen sein wird, eine paraphysische *Wirklichkeit*, etwa die Existenz eines wirkenden Gottes postulieren zu müssen, um die Ergebnisse von Messungen erklären zu können.

Die Überzeugung, daß es keiner paraphysischen Welt bedarf, ist ziemlich weit verbreitet. Sie erweitert das Bild, das die Physik von der Welt gibt (das sog. *physikalischen Weltbild*), zu einer *Weltanschauung*. Sie nimmt an, daß die Wirklichkeit im Prinzip *physikalisch erkennbar* ist, daß alles Wahrnehmbare meßbar ist und daß alles Gemessene als Interpretation eines (beliebig erweiterbaren) Kalküls verstanden werden kann. Diese Überzeugung ist ein transphysischer Glaube, denn sie widerspricht dem physikalischen Wissen zwar nicht, folgt aber auch nicht aus ihm. *Der Glaube an die physikalische Erkennbarkeit der Welt negiert paraphysisches Wissen und postuliert die Überführbarkeit transphysischen in physikalisches Wissen.*

## 2. Information und Erkenntnis als Produkt neuronaler Prozesse

### 2.1 Das Brückenpostulat

Wenn man an die physikalische Erkennbarkeit der Welt glaubt, muß man auch an die Erkennbarkeit der Welt 2, d.h. an die Erkennbarkeit jeder individuellen Welt 2 glauben. Dann muß man aber konsequenterweise Monist und davon überzeugt sein, daß es den cartesichen Schnitt zwischen körperlicher und geistiger Welt nicht gibt, daß vielmehr Welt 1 und Welt 2 *physikalisch* miteinander wechselwirken, daß sie eine physische Einheit bilden. Decartes selber hat als Ort der Wechselwirkung die Zirbeldrüse vorgeschlagen.

Jedes Nachdenken über die Beziehung zwischen Welt 1 und Welt 2 ist *Spekulation*, denn über einschlägiges objektives Wissen verfügen wir nicht, jedenfalls nicht über physikalisches Wissen. Spekulationen sind in der Wissenschaft notwendig. Sie sind erlaubt, wenn sie auf Hypothesen beruhen, die experimentell überprüfbar sind, zumindest im Prinzip, wenn auch erst in der Zukunft.

Um dennoch hinsichtlich der Frage "Was ist Bedeutung objektiv?" weiterzukommen, wohl wissend, daß wir nicht ohne Spekulation auskommen, greifen wir, wie angekündigt, eine alte Vermutung auf und formulieren sie folgendermaßen: *Bewußtseinsinhalten entsprechen neuronale Anregungszustände* oder etwas allgemeiner: *mentalen Zuständen entsprechen nervale Zustände*. Diese Aussage nennen wir *Brückenpostulat*, denn sie schlägt eine Brücke von der geistigen zur körperlichen Welt, von Welt 2 zu Welt 1. Das Wort "entsprechen" ist ausreichend

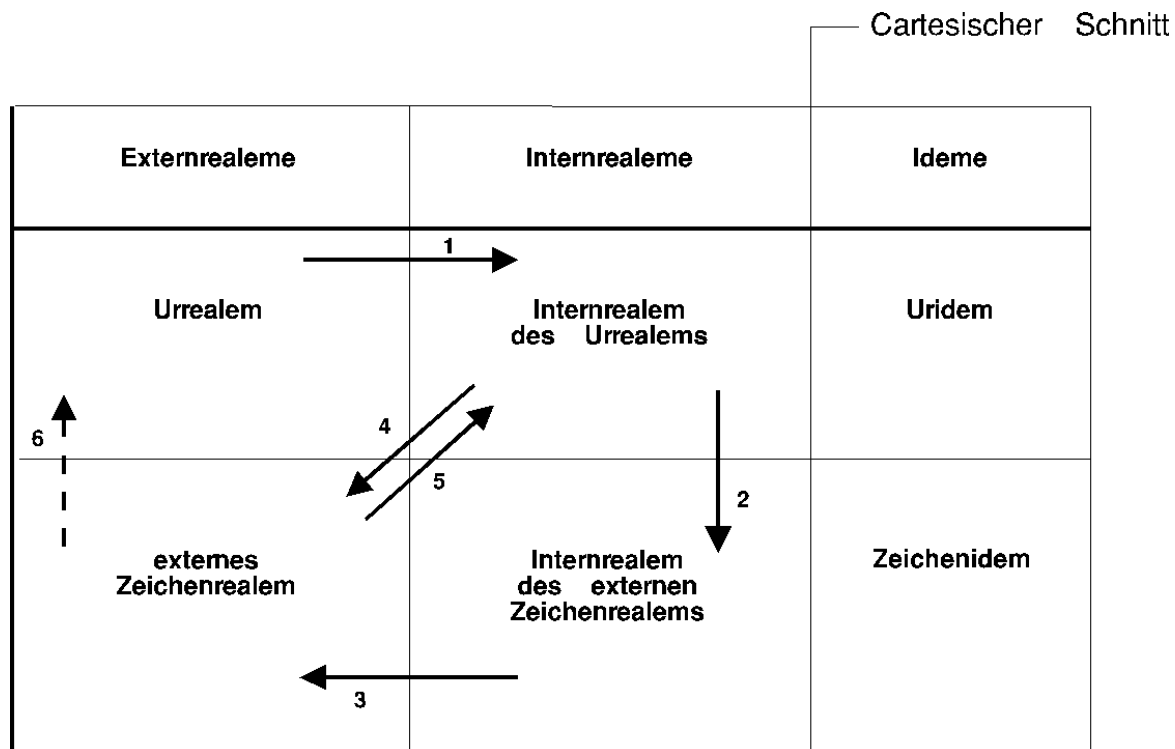


Abb. 2. Erweiterung von Abb. 1. Bezeichnungen siehe dort.



Abb. 3. Kippbild der alten und jungen Dame

mus: Ein Externrealem (ein wahrgenommenes Objekt der Außenwelt) löst im Gehirn ein Internrealem (einen neuronalen Anregungszustand) aus, der als Idem ins Bewußtsein tritt. Danach hat eine Sinneswahrnehmung eine doppelte Wirkung, die Anregung eines nervalen und eines mentalen Zustandes. Der cartesische Schnitt wird dadurch nicht beseitigt, aber er wird verschärft zum Schnitt zwischen Internrealem und Idem; er wird ins Gehirn verlegt.

Für viele heutige Menschen ist das Brückenpostulat beinahe eine Selbstverständlichkeit. Es ist für sie *denknotwendig*, in jedem mentalen Zustand und hinter jedem Bewußtseinsinhalt einen *körperlichen* Zustand zu sehen. Das ist, wie gesagt, eine unbewiesene Annahme, die allerdings durch gewisse introspektive Erfahrung unterstützt wird. Ein Beispiel soll das demonstrieren. Wenn bei der Betrachtung des Kippbildes von Abb.3 die Interpretation (der Bewußtseinsinhalt) "alte Dame" zur Interpretation "junge Dame" überspringt (oder andersherum), kann dadurch die fast physische Empfindung provoziert werden, daß im Gehirn etwas *umkippt*, daß ein neuronaler Anregungszustand in einen anderen überspringt.

## 2.2 Neuronale Codierung, Human- und Computerinformation

Um zu erkennen, zu welchen erkenntnistheoretischen Konsequenzen das Brückenpostulat führt, müssen wir einerseits Bewußtseins- und Denkphänomene und andererseits neurophysiologische Phänomene betrachten und einander gegenüberstellen, sodaß wir bei den weiteren Überlegungen ständig zwischen zwei Betrachtungsebenen, der *mental*en und der *nerval*en hin und herspringen

scharf, um eine Reihe von Schlußfolgerungen zu ziehen, die möglicherweise irgendwann einmal zu physikalischem Wissen führen können. Es ist ausreichend unscharf, um Raum für Glauben zu lassen. Das Postulat schließt weder transphysisches noch paraphysisches Wissen aus.

Das Brückenpostulat führt zu einer Erweiterung von Abb.1, indem es zwischen Realem und Idem einen neuronalen Anregungszustand einfügt (siehe Abb.2). Dieser gehört zu Welt 1, denn er stellt einen Ausschnitt der Realität dar, ist also konsequenterweise als Realem zu bezeichnen. Wir nennen ihn *Internrealem* und im Unterschied dazu das entsprechende (auslösende) Realem in der Außenwelt (das Ur- bzw. Zeichenrealem in Abb.1) *Externrealem*. Ein Internrealem kann als *interne materielle Codierung* des zugehörigen Idems aufgefaßt werden. Darum sprechen wir auch von *codierendem Zustand* des Trägers.

Wenn ein Bewußtseinsinhalt durch Sinneswahrnehmungen ausgelöst wird, postuliert das Brückenpostulat folgenden Mechanismus:

müssen. Dabei können wir zum einen auf das introspektive und psychologische Wissen, zum anderen auf das neurophysiologische Wissen über das Gehirn zurückgreifen.

Darüberhinaus steht uns aber auch das *technische* Wissen über den Computer zur Verfügung, zumindest als heuristisches Hilfsmittel. Um es verwenden zu können, müssen wir die vielbeschworene Analogie zwischen Computer und Gehirn bemühen. Wir werden das in einer weniger üblichen und sehr allgemeinen Form tun, indem wir nicht nach strukturellen Ähnlichkeiten suchen, sondern lediglich den Begriff der trägerinternen Semantik der Computer-IV (Informationsverarbeitung durch den Computer) auf die Human-IV (Informationsverarbeitung durch den Menschen) anwenden. Die Anwendung erfolgt am Beispiel der Wissensverarbeitung durch den Computer. Dabei ergibt sich eine folgerichtige Übertragung des Informationsbegriffs von der Human-IV auf die Computer-IV. Wir werden die von uns verwendete Gehirn-Computer-Analogie am Beispiel der Wissensverarbeitung darlegen.

Wenn man in der Computer-IV von Wissensverarbeitung spricht, meint man die Abspeicherung, Abfrage und Aktualisierung von Aussagen (von Wissen) über einen begrenzten Bereich der Wirklichkeit, den sog. *Diskursbereich*. Das Wissen wird in einer *Datenbank* sortiert aufbewahrt und zur Nutzung bereitgestellt. Eine komfortable Datenbank kann aus abgespeichertem Wissen neues ableiten (z.B. das Alter einer Person aus ihrem Geburtsdatum), wenn sie die notwendigen Ableitungsregeln kennt.

Die in einer Datenbank gespeicherten Aussagen über den Diskursbereich stellen *vereinbartes* Wissen dar, denn die Nutzbarkeit einer Datenbank beruht auf der *Vereinbarung*, daß nur *wahre* Aussagen eingespeichert und abgeleitet werden. Soweit ein Nutzer von der Wahrheit der Antworten, die er auf Anfragen hin erhält, überzeugt ist, erweitern diese sein persönliches *Wissen*.

Die Eingabe von Daten (Zeichenrealemen) in eine Datenbank *bewirken* die *Aktualisierung* der Bank. Diese geht über die bloße Abspeicherung der Daten weit hinaus. Wenn z.B. in die Personaldatei eines Betriebes die Personaldaten eines neuen Mitarbeiters aufgenommen werden, kann das Eintragungen in die verschiedensten Listen bewirken, z.B. die Eintragung des Namens in die Liste der Abteilungsleiter und in die Liste der Vorstandsmitglieder, die Eintragung des Geburtsdatums in die Geburtstagsliste u.ä.m. Aus den verschiedenen Listen lassen sich Beziehungen (*Relationen*) ablesen, die im Diskursbereich bestehen, z.B. die Unterordnungsrelation, die zwischen den Angestellten besteht.

Alle neuen Eintragungen, also die Gesamtheit der neuen codierenden Zustände des Trägers, nennen wir in Analogie zur Human-IV *Internrealem* und den verursachenden Datensatz *Externrealem*. Das Internrealem ist die *Wirkung* des Externrealems im Träger, mit anderen Worten: es stellt dessen *interne Semantik* dar.

Ein Zeichenrealem zusammen mit seiner Wirkung (Bedeutung) hatten wir Information genannt, genauer: Information für den Interpretierer. Dadurch wird nahegelegt, den Informationsbegriff von der Human-IV auf die Computer-IV zu übertragen und zu vereinbaren: *Die Zusammenfassung eines Externrealems und des von ihm im Computer ausgelösten Internrealems heißt Computerinformation*. Im Gegensatz dazu nennen wir die Information der Human-IV *Humaninformation*.

Computerinformation ist *objektive* Information in dem Sinne, daß ihre Interpretation durch den Computer eindeutig festgelegt ist. Das Internreale ist das Endergebnis der Interpretation. Wenn dieses Endergebnis als Externreale ausgegeben und anschließend vom Menschen interpretiert wird, entsteht Humaninformation, wobei die Objektivität der Computerinformation verlorengeht.

Andrerseits ist der Computerinformation eine wichtige Eigenschaft der Humaninformation verlorengegangen, sie entspricht nicht mehr der ursprünglichen Definition der Information als Bindemittel der Evolution. Erst wenn sie zu Humaninformation geworden ist, kann sie der Evolution dienen und zwar der *kulturellen* Evolution. Wenn Computerinformation einer "Computerevolution" dienen sollte, müßten die Computer das Ergebnis *dieser* und nicht der kulturellen Evolution sein. Die Bindung der Humaninformation an die Evolution ist die Ursache für die Schwierigkeiten, die der unkritische Gebrauch des Informationsbegriffs bereitet.

Für die Computerinformation läßt sich unschwer ein Maß angeben, z.B. die Länge des ausgelösten Internreals in Bit. Als *Informationsdichte* des Externreals bietet sich das Verhältnis seiner Länge zur Länge des ausgelösten Internreals an.

Physikalisch gesehen sind Internreale stabile Zustände des Trägermediums. Wir hatten sie *codierende* Zustände genannt. In der Computer-IV ist es üblich, die externe Codierung durch die Zeichen (Buchstaben, Ziffern und andere Zeichen) des Eingabealphabets intern beizubehalten, jedoch zeichenweise binär umzucodieren. Dann besteht die interne Alphabet aus zwei Zeichen, für deren Darstellung zwei codierende Zustände ausreichen, z.B. die beiden stabilen Zustände eines sog. *bistabilen* Trägerelementes. Auf diese Weise lassen sich beliebige externe Daten intern darstellen, z.B. Dezimalzahlen als Dualzahlen, vorausgesetzt, der Computer verfügt über die nötige Anzahl bistabiler Elemente.

Die Computertechnik verwendet als bistabile Bauelemente z.B. Flächenelemente einer ferromagnetischen Schicht, die sich in zwei Richtungen magnetisieren lassen, oder sog. bistabile Trigger (Flipflops), die sich in zwei verschiedenen Leitungszuständen befinden können.

Die Gehirn-Computer-Analogie legt es nahe anzunehmen, daß die anatomischen Bauelemente des Nervensystems, die Neuronen, die Trägerelemente internen binären Codierung sind. Es zeigt sich aber, daß sie hierfür ungeeignet sind. Zwar kann sich ein Neuron in zwei verschiedenen Zuständen befinden, einem Ruhe- und einem Anregungszustand, doch ist letzterer nicht stabil; das Neuron kehrt von sich aus sehr schnell in seinen Ruhezustand zurück, man sagt: es ist *monostabil*.

Nichtsdestoweniger existiert ein in stürmischer Entwicklung befindlicher Zweig der Informatik, der sich mit Netzen aus künstlichen bistabilen Neuronen beschäftigt. Es wird die Netzstruktur des Gehirns nachgeahmt, wobei als Knotenelemente künstliche Neuronen eingesetzt werden, die in Analogie zu natürlichen Neuronen Schwellwertelemente mit mehreren Eingängen darstellen, jedoch in der Regel *zwei* stabile Zustände besitzen, sodaß sie als Trägerelement von binären Internrealelementen geeignet sind.

Dadurch wird eine charakteristische Eigenschaft des Gehirns übernommen, die Verteilung der Speicher- und der Verarbeitungsfunktion über einen mehr oder weniger großen Teil des Netzes, denn jede Synapse (jede Verbindung zwischen zwei Neuronen) nimmt an jeder dieser Funktionen teil. Eine andere, nicht weniger charakteristische Eigenschaft, geht jedoch verloren, die

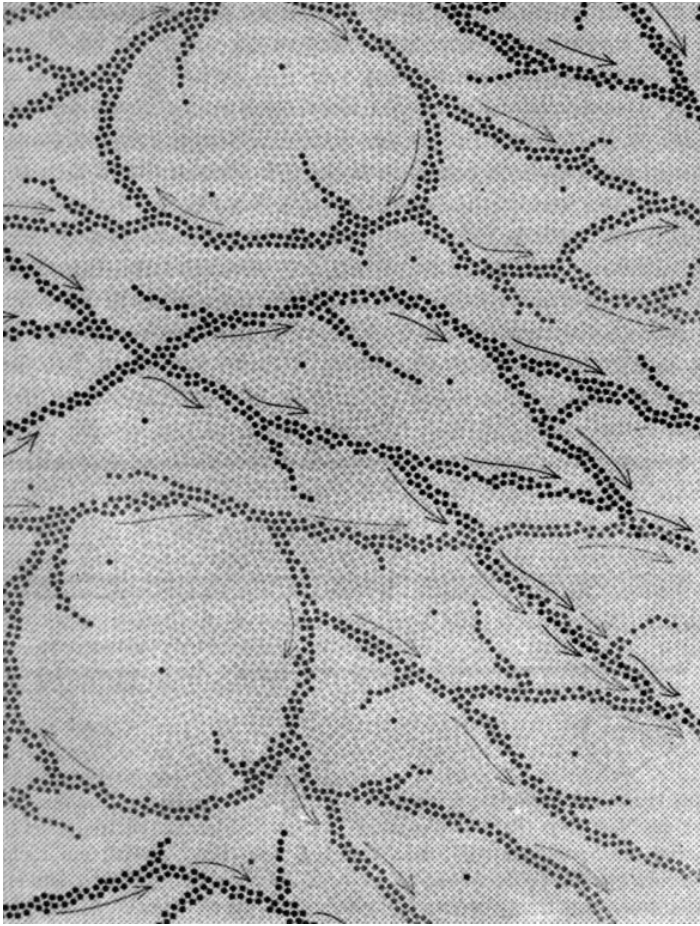


Abb. 4. Mögliche raum-zeitliche Anregungsausbreitung in der Großhirnrinde (aus [Eccles])

Tatsache, daß das Gehirn von sich aus niemals aufhört zu arbeiten, seine unbegrenzte *Lebendigkeit*, womit gemeint ist, daß ein Anregungszustand einen anderen auslöst und daß dies ein unendlicher Prozeß ist. Es gibt keinen *statisch stabilen* Endzustand, es gibt kein *Halt*.

Demgegenüber ist das Anhalten eines Rechenprozesses in einem Computer die *Voraussetzung* seines Funktionierens. Computer führen Algorithmen aus, und die Ausführung eines Algorithmus endet definitionsgemäß nach endlich vielen Berechnungsschritten. Der Endzustand des Computers ist das Internreale des Resultats. Anders ausgedrückt: ein Computer berechnet *Funktionen*, er ordnet Eingabedaten (Argumenten) Ausgabedaten (Funktionswerte) zu. Die Zuordnung ist eindeutig (zumindest, solange kein Zufallszahlengenerator das Resultat beeinflusst). Wenn der Berechnungsprozeß anhält, liegt der Funktionswert vor. Auch das Gehirn kann Funktionen berechnen, sozusagen als Nebenprodukt einer unendlich währenden Betriebsamkeit.

Wenn das Brückenpostulat Sinn haben soll, muß es neuronale Anregungszustände geben, die mindestens so lange existieren wie Ideme, wie Bewußtseinsinhalte, also bedeutend länger als die Anregung eines einzelnen Neurons, die schon nach einer Millisekunde weitgehend abgeklungen ist. Solche Zustände sind denkbar und zwar als Anregungskreise, an denen mehrere Neuronen beteiligt sind, die zu einem Kreis verbunden sind, in dem die Anregung zirkuliert. Wir sprechen von *zirkulären* Zuständen, von *zirkulärer* Stabilität solcher Zustände und von *dynamischer Codierung* durch zirkuläre Zustände, im Unterschied zur *statischen Codierung* durch *statisch stabile* Zustände (z.B. durch bistabile Speicherelement).

Die Vorstellung zirkulärer Anregungszustände im Gehirn ist nicht neu. So nimmt J.Eccles zirkuläre Anregungsströme an, wie sie in Abb.4 dargestellt sind. Die Punkte (Neuronen) bilden zwei verschiedene *Anregungsmuster*, ein schwarzes und ein graues. Die Anregungen pflanzen sich in Pfeilrichtung fort.

Abbildung 4 vermittelt einen Eindruck von der Komplexität neuronaler Anregungsvorgänge. Diese macht eine einigermaßen naturgetreue mathematische Modellierung und analytische Behandlung der Anregungsdynamik in der Hirnrinde außerordentlich schwierig.

Die beiden Muster in Abb.4 durchdringen sich gegenseitig, der Gesamtzustand ist eine *Überlagerung* von zwei Zuständen. "Das würde" - so Eccles - "einer integrativen Verschmelzung verschiedener sensorischer Impulse entsprechen, die zu einer gewissen Wahrnehmungssynthese führt." In allerjüngster Zeit ist es gelungen, zirkuläre Überlagerungszustände in Computerexperimenten mit Netzen aus monostabilen künstlichen Neuronen zu simulieren [Ritz]. Dabei werden die einzelnen Komponenten der Reihe nach periodisch angeregt. Der *Kompositzustand* ist ein *Zustandszirkel*. Damit erhalten die folgenden Spekulationen eine experimentelle Basis.

Bei den weiteren Überlegungen lassen wir uns von der Vorstellung leiten, daß sich nach dem Brückenpostulat die Dynamik neuronaler Anregungen in der Dynamik des Denkens widerspiegelt. Diese Vorstellung sowie die Gehirn-Computer-Analogie dienen uns als heuristische Wegweiser bei der Suche nach den biologischen Grundlagen des Phänomens des Denkens. Dadurch gewinnt unser Spekulieren eine gewisse Methodik, die darin besteht, unsere introspektiven Einsichten sowie die Erkenntnisse der Psychologie den Ergebnissen der Gehirnforschung und der Computertechnik gegenüberzustellen. Dabei interessieren uns insbesondere die Phänomene des Wissens, des Erkennens und des Glaubens.

### 2.3 Wissen

Jedes konkrete elementare Wissen, jedes *Wissenselement* ist eine Aussage. Sie verbindet ein oder mehrere Objekte mit Attributen (Merkmalsausprägungen), z.B. "mein Auto ist rot" oder "mein Auto verbraucht mehr als deins". Die zweite Aussage gibt eine *Beziehung (Relation)* zwischen zwei Objekten wieder. Der Passant aus obigem Beispiel könnte durch folgende Attribute charakterisiert sein: Meier, Max, geboren 1930, trägt Schlapphut, geht am Stock.

Die Objekte und Attribute, die einen Diskursbereich modellieren, können nach verschiedenen Gesichtspunkten kombiniert und geordnet werden. Aus dem Personaldatei-Beispiel wissen wir, daß auf diese Weise ein Modell entsteht, das die Beziehungen, die im Diskursbereich existieren wiedergibt, m.a.W. das die *relationale Struktur* des Originals wiedergibt.

Ein Computer, der über ein solches Modell verfügt, kann *Assoziationen* zwischen verschiedenen Objekten und/oder Attributen herstellen. Beispielsweise kann er mit den Attributen Schlapphut und Stock den Vorname Max *assoziiieren*. Zu diesem Zweck muß der Computer aus den gegebenen Attributen die Adresse bestimmen, unter der das gesuchte Attribut abgespeichert ist.

Die assoziativen Fähigkeiten des menschlichen Gehirns übertreffen die des Computers bei weitem. Den Mechanismus, den das Gehirn anwendet, kennen wir nicht. Nach obiger Vorstellung werden die Attribute intern durch zirkuläre Zustände codiert, die angeregt werden müssen, um abgerufen zu werden (ins Bewußtsein zu treten). Wissen existiert im Gehirn also nicht explizit, sondern implizit in der neuronalen Netzstruktur, es existiert nicht aktuell, sondern potentiell als mögliche Anregungszustände. Abbildung 4 legt den Gedanken nahe, daß dem biologischen Abrufmechanismus die Überlagerung verschiedener Zustände zugrunde liegt, wobei die Anregung eines Zustandes die Anregung eines anderen überlagerten Zustandes verursacht.



Das hieße, daß die relationale Struktur der Welt sich im Gehirn als Überlagerungsstruktur widerspiegelt. Wie sie entstehen könnte, soll am Beispiel der Teil-Ganzes-Relation erläutert werden. Wenn ein Gehirn durch Beobachtung lernen soll, daß ein Tisch aus Beinen und Platte besteht, müssen ihm die Beine und die Platte einzeln genügend oft gezeigt werden, damit sich die codierenden Anregungsmuster, die *Bausteinmuster*, herausbilden können, und außerdem müssen sie genügend oft gemeinsam, also *gleichzeitig*, als Tisch gezeigt werden, damit die Muster der Teile zum *Kompositmuster* des Tisches verschmelzen können. Genau diese Vorstellung ist in dem erwähnten Computerexperimenten simuliert worden [Ritz].

Das Verschmelzen von Mustern spielt offensichtlich bei der Aufnahme bzw. Gewinnung neuen Wissens eine wichtige Rolle. Dabei muß nämlich das gesamte Wissen aktualisiert werden, ebenso wie in einer Datenbank, d.h. das neue Wissen muß so in das vorhandene eingepaßt werden, daß die resultierende Überlagerungsstruktur die relationale Struktur der Realität richtig widerspiegelt. Das Einpassen erfolgt durch wiederholte gleichzeitige Anregung der beteiligten Muster.

Das Zusammenfließen zunächst getrennter Muster zu einem Kompositmuster nennen wir *Musterkonvergenz* und formulieren als Arbeitshypothese das folgende *neuronale Musterkonvergenzprinzip*: *Wiederholte gleichzeitige Anregung getrennter Muster (Internrealeme) führt zu deren Konvergenz.*

Der genannte Mechanismus erinnert an die Ausbildung bedingter Reflexe. Ihr Funktionieren kann verschieden stark an das Bewußtsein gekoppelt sein. Das gleiche gilt für das Assoziieren. Assoziationen können ganz unmotiviert, sozusagen aus der Luft gegriffen sein (Hundekopf mit Wolkenform); sie können kontextbedingt sein (Assoziationen mit "grün" im politischen Kontext); oder sie können gesucht sein (Name des Passanten). Im letzten Fall handelt es sich um eine *gewollte* Assoziation.

Damit tritt das Phänomen des *Willens* in die Betrachtung (ich *will* mich an den Namen erinnern). Die Wirkung des Willens müßte in einer Sensibilisierung von Neuronen liegen, die an dem anzuregenden Zustand beteiligt sind, der dem gesuchten Gedächtnisinhalt entspricht.

Da die Welt eine relationale Einheit bildet, in der jeder Teil zu jedem anderen in irgendeiner Beziehung steht, bewirkt das Konvergenzprinzip, daß das interne Modell der Welt immer mehr zu einer Einheit wird, daß es immer *konsistenter* wird. Es ist in dem Maße konsistent, wie die codierenden Zustände miteinander *kompatibel* sind, d.h. gleichzeitig oder periodisch anregbar sind, ohne sich gegenseitig zu stören. Die analoge Aussage hinsichtlich der Computer-IV lautet: Eine Wissensbank (gefüllte Datenbank) ist insoweit ein konsistentes Modell des Diskursbereiches, wie die Datenbankeinträge sich nicht widersprechen.

Musterkonvergenz ist eine immanente Eigenschaft des Gehirns. Sie ist ein Resultat der Evolution. Das ist plausibel, denn die Lebenschancen des Individuums sind offenbar umso größer, je umfassender und in sich konsistenter sein internes Modell der Außenwelt ist.

## **2.4 Physikalische Erkenntnis**

Bisher war von Wissen durch Wahrnehmung die Rede. Es stellt sich die Frage, wie sich denkotwendiges Wissen (Erkenntnis) auf der Grundlage des Brückenpostulats erklären läßt. Die Begriffe des Denkotwendigen und des Logischen implizieren die Vorstellung eines starren

Denkschemas, das weder von der jeweiligen Situation, noch von Stimmungen und Wünschen, auch nicht vom Willen des Denkenden beeinflusst, sondern nur angestoßen werden kann.

Unser Wissen über die Plastizität des Gehirns legt folgende Hypothese zur Erklärung des Denknötwendigen nahe. Die Struktur verschiedener Bezirke des Gehirns sind nicht alle in gleicher Weise plastisch. Das gilt auch für einzelne Neuronen und Synapsen. Manche verändern ihre Funktionsweise bei Gebrauch erheblich, andere wenig und manche gar nicht. In diesem Sinne sprechen wir von *starr* bzw. von mehr oder weniger *plastischen* Synapsen, Neuronen, Strukturen, Anregungen und Mustern. Dabei gilt ganz grob die durchaus plausible Regel, daß eine Struktur umso starrer ist, je älter (phylogenetisch oder ontogenetisch älter) sie ist.

Das Wort *Starrköpfigkeit* illustriert den Sachverhalt recht anschaulich: Starrheit im Verhalten beruht auf Starrheit der steuernden neuronalen Strukturen. Sehr einprägsam ist in diesem Zusammenhang der Begriff des *kleinen Krokodils*, das sich in unserem Gehirn befindet und uns regiert. Mit dieser Vorstellung hat der Informatiker G.Palm die Tatsache veranschaulicht, daß unser Verhalten teilweise durch phylogenetisch sehr alte Bereiche des Gehirns gesteuert wird, die schon von den Reptilien auf uns überkommen sind. Die nervale Verbindung (die Leitung) von den tiefliegenden (sprich: alten) neuronalen Strukturen bis zur Großhirnrinde kann sehr lang sein, sodaß es ziemlich unwahrscheinlich ist, daß das kleine Krokodil *rationales*, also bewußt gesteuertes Verhalten bewirkt. Insofern braucht man sich über die Primitivität menschlichen Verhaltens nicht zu wundern. Die Auslöser instinktiven und emotionalen Verhaltens bleiben weitgehend im Unbewußten.

Es ist anzunehmen, daß die Tiefenstrukturen der menschlichen Gehirne einander ähnlich sind. Das zeigt sich in Ähnlichkeiten *tiefenpsychologischer* menschlicher Verhaltensmuster, beispielsweise in solchen Phänomenen wie den sogenannten *Archetypen*, die Jung auf das *kollektive Unbewußte* zurückführt. Sie könnten dadurch erklärt werden, daß es im Gehirn Bezirke gibt, deren Struktur für alle Menschen identisch oder doch sehr ähnlich ist und die einerseits genügend tief liegen, um jedem strukturierenden Einfluß entzogen zu sein, die andererseits aber doch hinreichend hoch liegen, um das Bewußtsein beeinflussen zu können. Wenn derartige Strukturen am bewußten Denken teilnehmen können, sprechen wir von *starr* *Denkstrukturen*.

Stellt man sich auf den Standpunkt des Brückenpostulats, gelangt man fast zwangsläufig zu folgender Hypothese: *Das Denknötwendige beruht auf starr* *Denkstrukturen*. Das könnte z.B. auf die an sich recht merkwürdige Tatsache zutreffen, daß es für die Menschen ganz selbstverständlich (denknötwendig) ist anzunehmen, daß alles *Wirkliche* die *Wirkung* einer *Ursache* ist, daß das Teil kleiner ist als das Ganze, daß das Wahre nicht gleichzeitig auch falsch sein kann und daß etwas, das nicht nicht wahr ist, wahr ist.

Seit Aristoteles bemühen sich die Philosophen, Gesetzmäßigkeiten des Denkens aufzudecken. Dabei haben sie gewisse universelle Kategorien des Denkens herauskristallisiert, z.B. die Kategorie des Ursache-Wirkungszusammenhanges. Kategorien werden als notwendige Voraussetzungen des Denkens, als Denknötwendigkeit angenommen. Ihnen müßten nach dem Brückenpostulat universelle Denkstrukturen entsprechen. Auch Kant's *Urteilsformen* und *Kategorien* lassen sich, ebenso wie seine synthetischen Urteile a priori, durch starre Denkstrukturen erklären. Apriori-Urteile sind danach potentiell in der angeborenen neuronalen Struktur des Gehirns angelegt.

Physikalisches Wissen (allgemeiner: deduziertes Wissen) eignet man sich in erster Linie passiv durch Gewöhnung an, z.B. durch Lernen. Dabei werden neue Hardwarestrukturen aufgebaut. Wenn das neue Wissen mit dem bereits vorhandenen vereinbar sein soll, dürfen die neuen Internrealeme (Anregungsmuster, codierenden Zustände) die alten nicht stören. Inkompatibilität erschweren das Lernen, z.B. wenn man erfährt (und lernen soll), daß  $1+1=10$  ist (im Dualsystem), obwohl man doch *weiß*, daß  $1+1=2$  ist. Beim Lernen von deduziertem, speziell mathematischem Wissen muß dieses mit dem bereits gelernten Wissen, z.B. mit den abgespeicherten Rechenregeln und letzten Endes mit den angeborenen und für alle Menschen einheitliche Denkschemata (mit der angeborenen universellen Logik, mit den synthetischen Urteilen apriori) kompatibel sein, m.a.W.: *Deduziertes Wissens beruht auf konsistenter Erweiterung angeborener universeller starrer Denkstrukturen*. Dem deduzierten Wissen, das durch Erkennen und Lernen zunimmt entspricht als sein Träger eine *wachsende strukturelle Hülle* um einen *harten Kern*, die angeborenen starren Strukturen des logischen Denkens. Wir nennen diesen harten Kern den *Logikkern*.

Die Erweiterung hat zur Folge, daß neue Anregungsprozesse ablaufen können, die introspektiv als denknötwendig empfunden und *logisch* genannt werden. Aus der Sicht des Brückenpostulats liegen Denkprozessen neuronale Ursache-Wirkungszusammenhänge zugrunde, d.h. es handelt sich um *kausale* Prozesse. Das hat eine fast paradox wirkende Konsequenz. Wenn ein Deduktionsprozeß von einer Voraussetzung (einem Anfangsmuster) zu einer denknötwendigen Schlußfolgerung (einem Endmuster) führt, so ist letztere introspektiv gesehen die *logische* Folge, aus der Sicht des Brückenpostulats ist sie die *kausale* Folge der Voraussetzung. Damit sind wir zum zweiten mal auf einen Zusammenhang zwischen Logischem und Kausalem gestoßen. Wir kommen darauf noch einmal zurück.

Jede Erkenntnis (jedes denknötwendige Wissen) muß irgendwann einmal *gefunden (erkannt)* worden sein; irgendjemand muß das Puzzle gelöst und die neue Erfahrung in das vorhandene Wissen eingepaßt haben. Dabei muß die vorhandene Struktur nicht nur erweitert, sondern in gewissem Umfang auch verändert werden, das vorhandene Wissen, d.h. die vorhandene Überlagerungsstruktur muß *aktualisiert* werden. Das kann nicht allein auf der Grundlage der alten Struktur erfolgen, also durch *Deduktion* aus den vorhandenen Erkenntnissen, sondern *Intuition* ist erforderlich. Sie steuert das Nachdenken, unter dessen Einfluß sich die Struktur ändert und zwar so lange, bis das Puzzle aufgeht, bis die konvergierenden Muster in ein gemeinsames Muster "einrasten".

Nach dem entworfenen Bild der Gehirntätigkeit beruht eine wissenschaftliche Idee, die einen Widerspruch zwischen zwei Aussagen oder Vorstellungen löst, z.B. einen Widerspruch zwischen Theorie und Experiment oder zwischen zwei Theorien, darauf, daß sich das Gehirn durch bewußte oder unbewußte Beschäftigung mit dem Widerspruch so umstrukturiert, daß die inkompatiblen Internrealeme der beiden Vorstellungen zu einem gemeinsamen Muster konvergieren und ein einziges Kompositinternrealem bilden. Das ist die neuronale Entsprechung der Hegel'schen Synthese von These und Antithese.

Musterkonvergenz ist also ein struktureller Anpassungsprozeß. Zwei Muster lassen sich offenbar umso leichter vereinigen, je ähnlicher sie einander sind. Homomorphie erleichtert Konvergenz. Tatsächlich beruhen viele wissenschaftlichen Entdeckungen und Erfindungen auf einer gewissen Homomorphie unterschiedlicher Objekte. Als besonders sinnfälliges Beispiel sei Shannon's *Idee* genannt, die er in jungen Jahren hatte, als er sich sowohl mit boolescher Algebra als auch

mit Schaltalgebra beschäftigte; gemeint ist seine Idee, daß die Schaltalgebra als Interpretation der booleschen Algebra aufgefaßt werden kann. Der Nachvollzug dieser Einsicht ist fast trivial.

Ein anderes Beispiel ist die Erfindung der Hopfielsnetze. Dem Physiker J.J.Hopfield fiel eine strukturelle Ähnlichkeit zwischen sog. Spingläsern und neuronalen Netzen auf. Bei geeigneter Idealisierung wird die Ähnlichkeit zur Isomorphie, sodaß sich die physikalische Theorie der Spingläser auf neuronale Netze anwenden läßt Die Folge war eine Neubelebung der schon fast eingeschlafenen Arbeiten auf dem Gebiet der künstlichen neuronalen Netze.

Derartige "Erleuchtungen" beruhen also auf neuronaler Musterkonvergenz und diese auf struktureller Anpassung. Erfolgreiche Anpassung verursacht positive Emotionen. Das "Einrasten" in das Kompositmuster löst den AHA-Effekt aus. Ähnliches findet offenbar beim Verstehen von Pointen statt.

In Kap.1.4 hatten wir darauf hingewiesen, daß beim mathematischen Modellieren aus beobachteten Ursache-Wirkungszusammenhängen mathematische Zusammenhänge des Kalküls werden, daß *das Kausale zum Logischen* wird. Aus dem Brückenpostulat haben wir geschlußfolgert, daß *logischen* Denkprozessen *kausale* neuronale Prozesse zugrunde liegen. Wenn nun physikalisches Erkennen darin besteht, daß Naturgesetze als kausale Zusammenhänge der Wirklichkeit durch mathematische Zusammenhänge modelliert werden und diesen interne kausale Zusammenhänge im Gehirn zugrunde liegen, ergibt sich folgender Schluß: *Physikalisches Erkennen ist das Überführen externer kausaler Zusammenhänge in interne.*

Dieser Satz kann auf jedes Erkennen verallgemeinert werden, also auf jedes Einpassen neuer Erfahrungen in das vorhandene denknotwendige Wissen. Gelingt dies, wird die neue Erkenntnis in die Außenwelt *projiziert*, wobei das interne "Modell" der Außenwelt die Rolle des Originals und die Projektion die Rolle des Abbildes spielt. Damit kehrt sich der obige Satz um: *Erkennen ist das Projizieren interner kausaler Zusammenhänge in die Außenwelt*, ganz im Sinne von Kant's Schluß, daß der Mensch der Natur die Gesetze gibt.

In dieser Form scheint der Satz der Forderung diametral entgegengesetzt zu sein, die Heinrich Hertz im Vorwort zu seiner Mechanik an das physikalische Modellieren stellte. Er schrieb:

*Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Welt, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Der Widerspruch löst sich, wenn der Denkprozeß gemäß dem Brückenpostulat als physikalischer Prozeß aufgefaßt wird, denn dann wird das Denknotwendige naturnotwendig.*

Es ergibt sich eine Äquivalenz von Denknotwendigem und Naturnotwendigem. Sie läßt sich als Resultat der Evolution erklären, denn die Überlebenschancen der Menschheit und die Lebenschancen des einzelnen steigen, wenn sich das Naturnotwendige als Denknotwendiges ableiten läßt, bevor es eingetreten ist..

Wenn wir das Denknotwendige nun wieder auf das Logische und das Naturnotwendig auf das Kausale einschränken, können wir die Äquivalenz auch in folgende Worte fassen: *Die Struktur der Wirklichkeit spiegelt sich zweifach im Bewußtsein der Menschen wider, als Logik und als Kausalität. Beide Widerspiegelungen sind einander äquivalent, da sie von ein und derselben starren neuronalen Struktur getragen werden.*

## 2.5. Kompatibilität starrer Denkstrukturen

In Kap.1.2 hatten wir festgestellt, daß die Kluft zwischen materieller und mentaler Welt den Freiraum für den Glauben garantiert. Die Frage, ob das Brückenpostulat, das beide Welten miteinander verbindet, Platz für den Glauben läßt, war bereits positiv beantwortet worden als Konsequenz der Feststellung, daß das Brückenpostulat den cartesischen Schnitt nicht eliminiert, sondern nur verschiebt. Die Art und Weise, *wie* neuronale Anregungsmuster Bewußtseinsinhalte hervorrufen, bleibt allerdings völlig im Dunkeln. Es könnte sogar umgekehrt sein, daß Bewußtseinsinhalte neuronale Anregungszustände hervorrufen, daß der Geist den Körper baut, um mit Schiller zu sprechen. Das Wort "entsprechen" im Brückenpostulat läßt diese Umkehrung zu.

Aus dem Brückenpostulat folgt jedoch etwas anderes, nämlich die Bedingungen dafür, daß ein Mensch zum Glauben überhaupt fähig ist. Wir waren oben zu dem Schluß gekommen, daß Erkennen auf konsistenter Erweiterung starrer neuronaler Strukturen beruht, wodurch diese mit einer wachsenden strukturellen Hülle umgeben wird, dem Träger des denknötwendigen Wissens, der Erkenntnis.

Das gilt für religiöse Erkenntnis ebenso wie für physikalische. Auch die Hüllenbildung um eine starre Anfangsstruktur erfolgt beim Gewinn religiöser Erkenntnis offenbar ähnlich, wie beim Gewinn physikalischer Erkenntnis. Neue religiöse Erkenntnisse werden durch Intuition gefunden und Offenbarung genannt. Die Finder (Erfinder) werden zu Religionsstiftern, wenn viele Menschen sich die Offenbarungen durch Lernen und Meditation aneignen. Glaubenssätze, die ein Christ oder Muslim von Geburt an hört, später nachspricht und schließlich nachliest, werden zu starren und für alle Gläubigen einheitlichen Denkstrukturen und damit zu denknötwendigem, objektivem Wissen, zu Erkenntnis. *Religion ist objektivierter Glauben.*

Religiöse Erkenntnis muß - ähnlich wie physikalische Erkenntnis - einen Kern besitzen, der ausreichend *hart* ist, um die Stabilität und Kraft von Glaubensüberzeugungen sichern zu können. Was ist die Natur dieses Kerns? Die intuitive Vorstellung, daß Glauben etwas mit Gewissen zu tun hat, legt die Annahme nahe, daß der neuronale Träger des Glaubens mit dem des Gewissens verwandt ist. Die folgenden Überlegungen werden zeigen, inwieweit diese Annahme gerechtfertigt ist.

Zunächst ist festzustellen, daß das Gewissen eine unbedingte und durch nichts zu beseitigende Instanz im Bewußtsein jedes Menschen darstellt, daß es also von außerordentlich starren Strukturen getragen sein muß, wenn es auch unterschiedlich stark ausgeprägt ist, bis hin zur fast völliger Abwesenheit. Ein Mensch mit Gewissen *weiß* genau, was das Gewissen ihm sagt. *Das Gewissen ist Wissen.* Wir nennen die starren Strukturen, deren Anregung als Gewissen ins Bewußtsein tritt, *Gewissenskern*. Worin besteht die intuitiv angenommene Beziehung zwischen Gewissen und Glauben?

Das Gewissen steuert das Verhalten der Menschen in der Richtung, daß sie gemeinsam leben und kooperieren können, daß sie eine soziale Gruppe, eine Solidargemeinschaft, eine existenzfähige Gesellschaft bilden können. Das Gewissen ist das Resultat der Evolution und dient der Erhaltung der kooperierenden Gruppe. Die Objektivierung des Gewissens sind die in der betreffenden sozialen Gruppe geltenden *Sittengesetze*.

Da Gewissen und Sittengesetze im allgemeinen zu schwach sind, um die gesamte Gruppe zu sozialem Verhalten zu zwingen, müssen sie unterstützt werden. Dem dienen Glauben und

Religionen, und wenn diese nicht ausreichen, juristische Gesetze. Beim Glauben als Stütze des Wissens handelt es sich um *paraphysischen* Glauben, der als *Verantwortlichkeit vor einer unerkennbaren Instanz* ins Bewußtsein tritt. Er unterstützt das Gewissen und dient damit der Erhaltung der Gruppe. Religiöses Wissen wächst allmählich, wodurch der Glauben gestärkt wird. Sein Träger ist - analog zum physikalischen Wissen - eine konsistente Erweiterung des Wissenskerns. Glauben *muß* sich mit dem Gewissen im Einklang befinden. Es ergibt sich folgender Schluß: *Der Träger paraphysischen Glaubens ist die strukturelle Hülle um den Wissenskern.* Sie bildet sich unter dem Selektionsdruck der Gruppenerhaltung aus.

Um das entwerfende Bild zu vervollständigen, muß eine dritte angeborene starre neuronale Struktur genannt werden, ein dritter harter Kern und zwar der härteste von allen, nämlich derjenige, der das *Ichbewußtsein* trägt. *Ichbewußtsein ist das Bewußtsein, daß ich bin, daß ich einen Willen habe und daß ich wollen kann, was ich will.* Dieser Kern, wir nennen ihn den *Ichkern*, ist die existentielle Voraussetzung des Menschseins. Er dient der Selbsterhaltung. Wenn er zerstört wird, verliert der Mensch sein Ich. Darum hat die Evolution ihn besonders gehärtet. Auch um den Ichkern hat sich eine Hülle gebildet. Es wird sich zeigen, daß sie Träger *transphysischen* Glaubens sein kann.

Eine entscheidende Hilfe für die Selbstbehauptung des Menschen in einer unbekannt und in ihrer Unberechenbarkeit bedrohlichen Welt ist die Hoffnung. Der Mensch hofft auf Kräfte, auf Wirkungszusammenhänge, die ihm helfen können, die er aber nicht kennt. Je stärker seine Hoffnung ist, umso mehr hilft sie ihm, umso stärker wird die Überzeugung, daß ihm geholfen wird, und umso stärker wird der *Glaube* an die helfende Kraft, die ihm zwar unbekannt ist, die deswegen aber nicht prinzipiell unerkennbar sein muß, die vielmehr über kausale Zusammenhänge wirkt, die aufgedeckt und *erkannt* werden können. Es entwickelt sich ein *transphysischer Glaube* unter dem Selektionsdruck der Icherhaltung. Mit ihr *muß* er sich im Einklang befinden. Sein Träger ist eine konsistente Erweiterung des Ichkerns.

Damit ist die Funktion transphysischen Glaubens nicht erschöpft. Der Glaube an das Unbekannte kann nicht nur Hoffnung, er kann auch Furcht bewirken. Diese kann die Einhaltung der Sittengesetze unterstützen und so der Gruppenerhaltung dienen. Hier liegt *ein* Grund für das Verschmelzen von paraphysischem und transphysischem Glauben. Ein anderer liegt in der Konvergenz der Hüllen.

Die Hüllen der drei Kerne, des Ich-, des Wissens- und des Logikkerns, sind die Träger von drei Erkenntnisbereichen, von drei Bereichen denknöwendigen Wissens. Sie können infolge ihres Wachstums, d.h. der Erkenntniszunahme, einander berühren und aufeinander wirken. Das Konvergenzprinzip müßte schließlich zu ihrer Verschmelzung führen. Kann diese tatsächlich stattfinden?

Die Verschmelzung der Hüllen des Ich- und des Wissenskerns können offensichtlich stattfinden. Sonst könnte es keine verantwortungsvollen selbstbewußten Menschen geben. Sie ist damit die Voraussetzung der menschlichen Gesellschaft. Sie tritt z.B. in dem Umstand zutage, daß paraphysischer und transphysischer Glaube im Bewußtsein fast aller Gläubigen eine unauflösbare Einheit bilden. Die Hüllen des Ichkerns und des Wissenskerns sind *kompatibel*.

Dagegen ist die Hülle des Logikkerns weder mit der des Ichkerns noch mit der des Wissenskerns kompatibel. Wenn sie mit ihnen in Berührung kommt und versucht, gemäß dem Konvergenzgebot ihre Struktur zu verändern, kommt es zu ernsthaften Diskrepanzen im Bewußtsein.

Hinsichtlich der Gewissenshülle kann die Folge sein, daß physikalische Erkenntnisse den Glauben zerstören oder daß der Glauben physikalische Erkenntnisse verdrängt. Letzteres ist die Voraussetzung für einen *unerschütterlichen* Glauben. Dieser ist nur dann möglich, wenn seine Trägerstruktur durch ein *Konvergenzverbot* gegen die Trägerstruktur des deduzierten Wissens abgeschirmt ist. Es gibt Menschen, die des Glaubens als Stütze des Gewissens nicht bedürfen. Bei ihnen kommt es zu keiner Kollision. Das trifft auch für diejenigen zu, die keinen Glauben haben, weil sie kein Gewissen haben.

Da der Ichkerns unbedingte Lebensvoraussetzung ist, muß er gegen Angriffe vonseiten der Logikhülle *absolut sicher* abgeschirmt sein. Das ist durch die *absolute Sicherheit* gewährleistet, mit der ich *weiß*, daß ich bin und daß ich einen freien Willen habe. Dieses introspektive Wissen ist gegen jede physikalische Erkenntnis gefeit.

Abschließend sei auf eine Entsprechung zwischen dem Ichkern und dem Freud'schen *Ich* und zwischen dem Gewissenskern und dem Freud'schen *Überich* hingewiesen. Dem *Freud'schen Es* entspricht ein Hartkern, der nicht zur Sprache gekommen ist. Er ist der Träger von Instinkten und Emotionen. Seine Herkunft vom "kleinen Krokodil" ist offensichtlich.

## Literatur

Eccles, John C.: Gehirn und Seele. München: Piper 1988

Ritz, Raphael and J.Leo van Hemmen. Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks, Amsterdam, 13.-16.9.93. Springer 1993, pp 914-917

Ergänzende Bemerkung vom 04.08.2003

Viele Gedanken dieses Vortrages sind vom Autor in dem Buch Jungclaussen, Hardwin: Kausale Informatik. Einführung in die Lehre vom aktiven sprachlichen Modellieren durch Mensch und Computer. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2001 weiterentwickelt und detaillierter dargestellt worden

Unser Wissen und unsere Vorstellungen über die neuronale Mechanismen des Denkens haben sich inzwischen bedeutend vertieft; siehe z.B.

Spitzer, Manfred: Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln. Heidelberg; Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 2001 Calvin, William H.: Die Sprache des Gehirns. Wie in unserem Bewusstsein Gedanken entstehen. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2000

Die neuronalen Mechanismen der Assoziation und der Konvergenz wurde in nichtveröffentlichten Experimenten mit dem System DARWIN (Dynamisches Artifizielles Wiener Impulsneuronen-Netz) simuliert, das mit dynamischer Codierung arbeitet.