

E. von Goldammer & R. Kaehr [*]

Das Immunsystem als kognitives System

AUSGANGS-SITUATION

Während bei der Beschreibung der Aktivitäten des Nervensystems die kognitiven Fähigkeiten solcher Systeme von zentralem Interesse sind und zum Begriff der 'Neuronalen Netzwerke' geführt haben (Rummelhart & McClelland, 1987), wird das Immunsystem bis heute mehr in einem intuitiven Sinne als kognitives System betrachtet: es *erkennt* molekulare Formen; es *erinnert sich* an das Zusammentreffen mit individuellen Organismen; es *setzt Grenzen* zwischen dem *molekularen Selbst* und *seiner Umgebung*; es *lernt*; es *kommuniziert*, usw.

Diese kognitiven Fähigkeiten bleiben in der Immunologie jedoch weitgehend undefiniert und haben daher eher metaphorischen Charakter, und dies obwohl schon sehr frühzeitig im Zusammenhang mit dem Begriff der Immuntoleranz von der Eigenschaft des Immunsystems gesprochen wurde, zwischen 'sich selbst' und 'nicht sich selbst' unterscheiden zu können (Burnet, 1959). Kybernetische Beschreibungen des Immunsystems existieren bis heute allenfalls in Ansätzen (Varela, 1979; 1988) und haben in der einschlägigen Fachliteratur ebensowenig Beachtung gefunden, wie die theoretischen Modelle, mit denen der Versuch unternommen wird, das Immunsystem als ein biologisches Netzwerk darzustellen (Perelson, 1988). Ganz generell gesprochen zeichnen sich alle klassisch kybernetischen Modelle zur Beschreibung des Immunsystems durch Feedback-Strukturen aus, die eine hohe Verflechtung linearer, bilinearer und nichtlinearer Subsysteme aufweisen, so daß sich eine mathematische Analyse ihres dynamischen Verhaltens ohne eine erhebliche Systemreduktion als extrem schwierig, wenn nicht sogar als unmöglich herausstellt (Bell, 1978; Mohler, 1989; Hsu, 1988).

Völlig unberücksichtigt bei allen bisher bekannten Modellbeschreibungen bleibt der Aspekt der *parallel simultan* ablaufenden Prozesse in verschiedenen Subsystemen, der eine Systemreduktion ausschließt, wenn nicht ein vollständig anderes Systemverhalten beschrieben werden soll. Ein derartig dynamisches Verhalten immunologischer Prozesse wird nicht nur durch die Netze der Ideotypen (Jerne, 1974) oder Allotypen (Raff, 1977) nahegelegt, sofern es sich um geschlossene Netzwerke handelt, wie dies gefordert wird (Bona & Pernis, 1984; Tada, 1983; 1984), sondern stellt auch eine notwendige Bedingung für alle Beschreibungen von Systemen dar, die sich durch ihre kognitiven Fähigkeiten auszeichnen und infolgedessen als autonome Systeme betrachtet werden müssen.

Damit bekommt das Problem einer adäquaten Darstellung immunologischer Netzwerke einen Aspekt, der weder im Rahmen der Molekularbiologie noch mit Hilfe von Differentialgleichungssystemen befriedigend thematisiert werden kann. Die in der Immunologie sehr verbreitete 'Schlüssel-Schloß-Symbolik', die offensichtlich der Enzymologie abgesehen wurde, reicht weder für die Darstellung von Netzwerken aus, noch bildet sie eine Basis zur (formalen) Darstellung kognitiver Prozesse.

* in: Fortschritte der Simulation in Medizin, Biologie und Ökologie, 5. Ebernburger Gespräch, GI-AK 4.5.2.1 (ASIM) Bad Münster a. St. Ebernburg, 26.-28. März 1992.

GESCHLOSSENE und OFFENE NETZWERKE oder SYSTEME

Von 'Netzwerken' wird in der Immunologie sehr häufig im Rahmen der Idiotypen und Anti-Idiotypen (Jerne, 1974; Raff, 1977) gesprochen. Für diese Netzwerke werden sowohl 'offene' wie auch 'geschlossene' Strukturen (Hood, Weissman, Wood, Wilson, 1984) postuliert: "... The antibodies produced in such a response cascade are related by a network of interactions that could potentially involve the entire immune system. The connections between individual antibodies in the network could be either open ended or closed."

Hier besteht ganz offensichtlich ein Widerspruch in der Modellvorstellung zwischen 'offenen' und 'geschlossenen' Netzwerken, ein Widerspruch, der sich in der Neurophysiologie wiederholt. Während die Algorithmen der Neuroinformatik ausschließlich klassische Input/Output-Systeme – also offene Systeme – beschreiben, stellen die von der 'Second Order Cybernetics' geforderten neuronalen Modelle (von Foerster, 1985; Maturana, 1982; Varela, 1979) geschlossene Netzwerke dar. Entscheidend hierbei ist die Erkenntnis, daß nur ein 'geschlossenes' System eine Umgebung besitzen kann, ein offenes System besitzt dagegen prinzipiell keine Umgebung.

Wird also nach einem Modell zur Beschreibung kognitiver Prozesse gesucht, dann muß dieses den Aspekt der 'Geschlossenheit' beinhalten, denn Kognition ist die Fähigkeit eines Systems (aus eigener Leistung!) zwischen sich und seiner Umgebung eine Unterscheidung treffen zu können und dies setzt notwendigerweise die Existenz einer Umgebung voraus. In dieser Definition von Kognition muß zwischen 'Kognition und 'Bewußtsein' unterschieden werden. Für ein System mit 'Bewußtsein' ist es sicherlich notwendig über kognitive Fähigkeiten zu verfügen, die Umkehrung dieser Aussage ist jedoch nicht allgemeingültig. Sich dieser Unterscheidung bewußt zu werden, ist nicht nur bei der Betrachtung des Immunsystems entscheidend, sondern ganz generell, wenn 'Kognition als eine charakteristische Eigenschaft lebender Systeme angesehen wird, durch die sie sich von den toten Objekten der Physik unterscheiden.

Die eben gegebene Definition von 'Umgebung' und 'Kognition ist, wenn Wissenschaft ernsthaft betrieben werden soll, zwingend notwendig und ihre Bedeutung läßt sich leicht am Beispiel eines Roboters verdeutlichen. Betrachtet sei zunächst der Roboter in einem Automobilwerk, dessen Aufgabe darin bestehen soll, Schrauben an einer Karosserie zu befestigen; selbstverständlich handelt es sich hierbei nicht um ein kognitives System. Ein unvoreingenommener Beobachter dieses Roboters wird ohne weiteres eine Unterscheidung zwischen diesem Roboter und seiner Umgebung (den Schrauben, der Karosserie, etc.) treffen können. Vom Standpunkt der Kybernetik sieht dies jedoch völlig anders aus: dieser Roboter besitzt keine Umgebung. Denn die 'Schrauben, ihr 'Weg von Regal bis zur Karosserie', sind Teil des Roboterprogramms – sie sind ihm als 'Objekte' vom Konstrukteur einprogrammiert und damit Teil des Roboters, zu dem selbstverständlich das Computerprogramm gehört, das ihn steuert. Auf der andern Seite sollte ein zur Kognition befähigter Roboter in der Lage sein, zwischen sich und seiner Umgebung eine Unterscheidung treffen zu können, damit er sich – um im Bilde zu bleiben – nicht selbst auseinanderschraubt. Dieses Beispiel verdeutlicht sofort die Parallelität der Problemstellung in der Immunologie. Das Immunsystem hat die

Aufgabe, den Körper vor Krankheitserregern und anderen körperfremden Substanzen zu schützen. Kommt es zu Störungen in diesem System, so wird auch körpereigenes Gewebe angegriffen und das führt zu Autoimmunkrankheiten.

'System' im Kontext von Physik und Chemie

Die eben gegebene Definition von 'Umgebung' und 'Kognition' erfordert, um dies nochmals zu betonen, die Annahme 'geschlossener' Systeme. Um die Konsequenzen des Postulats der 'Geschlossenheit' lebender Systeme etwas zu verdeutlichen, erscheint es an dieser Stelle angebracht, sich die entsprechende Begriffsbildung in den Naturwissenschaften einmal etwas näher anzusehen: Aus der Physik und Chemie sind wir gewöhnt, uns über den Systembegriff nur wenig oder gar keine Gedanken zu machen. 'Offene' und 'geschlossene' Systeme werden allenfalls in der Thermodynamik abgehandelt und dort im allgemeinen als geometrische Abgrenzungen verstanden, d.h. die Systeme werden durch einen Raumbereich definiert. Die Unterscheidung zwischen 'geschlossen' und 'offen' bezieht sich in der Physik darauf, ob die Materie, die ein solcher Raumbereich enthält, bei Prozessen in dem Raumbereich verbleibt oder nicht. Ein als 'geschlossen' festgelegtes physikalisches System läßt im Gegensatz zu einem 'offenen' keine Materie durch seine Begrenzungen strömen. Ist die Begrenzung eines Systems nicht nur für Materieströme, sondern für alle Energieströme undurchlässig, dann wird ein derartig festgelegtes physikalisches System als 'abgeschlossen' oder 'isoliert' bezeichnet. Man erkennt, daß bei dieser Systemdefinition an eine räumliche Vorstellung appelliert wird. Diese auf den ersten Blick vermeintlich anschauliche Systemdefinition ist jedoch sowohl aus mathematischer wie auch aus physikalischer Sicht nicht nur unzweckmäßig, sondern im höchsten Maße wissenschaftlich inkonsequent. Sie stammt aus einer Zeit, in der die Stoffmenge (gemessen in 'mol') als physikalische Größe allgemein noch nicht akzeptiert war und die 'chemische Energie' als Energieform von den Physikern ignoriert wurde. Nun haben aber physikalische Systeme immer eine gemeinsame Eigenschaft, nämlich Energie in verschiedenen Formen mit anderen (physikalischen) Systemen auszutauschen. Anders ausgedrückt bedeutet dies, daß zur vollständigen Beschreibung des Zustandes eines physikalischen Systems neben einigen anderen Größen immer die Angabe seiner Energie gehört. Damit läßt sich ein physikalisches System durch die Angabe aller der Energieformen festlegen, die an ihm ausgetauscht werden können – eine Festlegung die vom Experimentator (Beobachter) getroffen wird. D.h., ein physikalisches System läßt sich durch die Angabe seiner Energie und durch eine bestimmte Anzahl voneinander unabhängiger Standard-Variablen eindeutig definieren (Falk, 1976), wobei jede dieser Variablen eine Standard-Energieform beschreibt:

$$\text{Energie, } E = E(\mathbf{p}, \mathbf{r}, \mathbf{L}, S, V, A, n_1, n_2, \dots, n_m, \dots) \quad (1)$$

Man bezeichnet diese Funktion auch als Gibbs-Funktion (J.W. Gibbs, 1839-1903). Sind außer den physikalischen Variablen \mathbf{p} (Impuls) und \mathbf{r} (Ort) alle anderen Variablen in (1) konstant, dann reduziert sich diese Funktion zu der aus der Mechanik bekannten Hamilton-Funktion (W.R. Hamilton, 1805-1865):

$$E = E(\mathbf{p}, \mathbf{r}) \quad (2)$$

Um nun auf den Ausgangspunkt der 'geschlossenen' Systeme zurückzukommen, sei Gl.(1) als Summe der sog. Standard-Energieformen dargestellt:[¹]

$$dE = \mathbf{v} \cdot d\mathbf{p} + \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} + \boldsymbol{\omega} \cdot d\mathbf{L} + TdS - pdV + \sum_i \mu dn_i \dots \quad (3)$$

Aus der Gl.(3) wird zunächst deutlich, daß 'Geschlossenheit' im physikalischen Sinne lediglich heißt:

$$dn = 0 \quad (4)$$

oder in Worten: Es findet an dem System kein Austausch von chemischer Energie statt. Damit wäre beispielsweise jedes mechanische System das durch (2) beschrieben wird, ein geschlossenes System – die Mechanik würde dann sozusagen zu einer "Theorie der geschlossenen Systeme". Hier wird deutlich, daß in den Naturwissenschaften, zu denen die Physik zweifellos gehört, Begriffe wie 'System' oder 'Geschlossenheit' eher metaphorischen Charakter besitzen. Noch deutlicher wird dies, wenn von einem 'isolierten physikalischen System' gesprochen wird. Bei diesem sind alle Terme der rechten Seite von Gl.(3) per definitionem gleich Null. An diesem System ändert sich nichts, es befindet sich in einem Zustand, in dem es bis in alle Ewigkeit verharrt – ein solches System ist in jeder Hinsicht "tot", sowohl biologisch aber auch aus physikalischer und mathematischer Sicht. Physik bedeutet in erster Linie 'Messen', und d.h. Ermittlung von Veränderungen physikalischer Größen eines Systems, das von einem Zustand in einen anderen übergeht. Es ist dieser Übergang – der (physikalische) Prozeß der durch die Gl.(3) beschrieben wird, und durch diesen läßt sich wiederum ein physikalisches System definieren. Wenn sich also nichts verändert, das System sozusagen in einem Zustand verharrt, dann läßt sich auch nichts messen. Mit anderen Worten: Ein physikalisches System das 'abgeschlossen' ('isoliert') ist, und in diesem Sinne muß Geschlossenheit verstanden werden, macht aus physikalischer Sicht keinen Sinn.

Im Kontext der Physik gibt es nur 'offene' Systeme, denn Messen bedeutet immer die Bestimmung von Veränderung zwischen einem Anfangs- und einem Endzustand. 'Anfang und Ende' oder 'Input und Output' sind jedoch Begriffe, die nur in 'offenen' Systemen einen Sinn ergeben. Ein geschlossenes System hat weder einen Anfang noch ein Ende, es ist ein System ohne Input und Output das ist die Definition von Geschlossenheit. Sich dies zu vergegenwärtigen ist wichtig, denn über 'Kognition' zu sprechen bedeutet auch, daß dies nicht im Kontext von Physik und Chemie geschehen kann. Wird also 'Geschlossenheit' für lebende Systeme gefordert, dann bezieht sich dies auf einen kognitiven und nicht auf einen physikalischen Kontext. Im Kontext der Physik und Chemie sind lebende Systeme immer offen, d.h. es strömt ständig Energie in den unterschiedlichsten Formen in diese Systeme hinein und aus ihnen wieder heraus.

¹ In der Gl.(3) sind nur einige der Energieformen aufgeführt wie:

Bewegungsenergie (Geschwindigkeit, Impuls)	: $\mathbf{v} \cdot d\mathbf{p}$
Verschiebungsenergie (Kraft, Ort)	: $\mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$
Rotationsenergie (Winkelgeschwindigkeit, Drehimpuls)	: $\boldsymbol{\omega} \cdot d\mathbf{L}$
Wärmeenergie (Temperatur, Entropie)	: TdS
Kompressionsenergie (Druck, Volumen)	: pdV
Chemische Energie (chemisches Potential, Menge)	: μdn

'System' im Kontext von Biologie und Neuroinformatik

Es überrascht kaum zu hören, daß auch in der Biologie und der Neuroinformatik der Systembegriff nicht reflektiert und somit die Frage nach dem Verhältnis von 'offenen' und 'geschlossenen' Systemen in aller Regel gar nicht erst gestellt wird, oder wenn es dennoch geschieht, auf die oben gegebene räumlich-geometrische Vorstellung der Physik und Chemie zurückgegriffen wird, die sich, wie hier nur kurz angedeutet werden konnte, bereits im Kontext der Physik als äußerst obsolet erweist (siehe dazu: Falk, 1976).

Nun wird aber von Seiten der modernen Kybernetik 'Geschlossenheit' eines Systems für die Existenz einer 'Umgebung' und diese wiederum für die Beschreibung 'kognitiver Prozesse' gefordert, gerade weil es die kognitiven Fähigkeiten sind, die lebende Systeme von toter Materie signifikant unterscheiden. Damit stellt sich diese Thematik nicht nur den Ingenieur- und Computerwissenschaften bei ihrem Bemühen um eine Modellierung und Simulation kognitiver Prozesse, sondern sie stellt sich auch und gerade den Biowissenschaften, zu denen die Biologie zweifellos zu zählen ist.

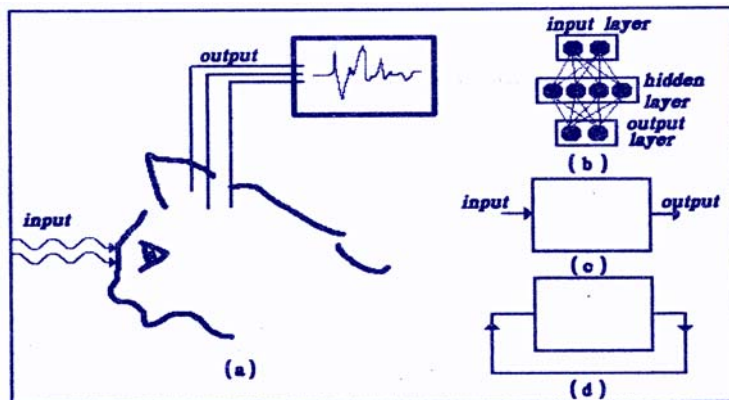


Abb.1: "Lebende Filter

- a) experimentelle Situation (offenes System);
- b) neuronales Netz (offenes System);
- c) offenes System (schematisiert);
- d) geschlossenes System (kein input kein output).

Im folgenden soll die Situation in der Biologie an einem kleinen Gedankenexperiment verdeutlicht werden. Die gemessene Aktivität eines Neurons oder auch mehrerer, wie dies in der Skizze der Abb.1a dargestellt wurde, mag zu dem visuellen Wahrnehmungsprozeß des gesamten Systems 'Katze' beitragen – der Kognitionsprozeß selbst wird dabei jedoch nicht erfaßt und zwar auch dann nicht, wenn die Aktivitäten aller Neuronen des Systems bestimmt werden könnten. Dies ist kein Problem der Quantität, sondern stellt ein Problem der Qualität dar: In jedem Experiment, und das soll die Skizze in der Abb.1a verdeutlichen, wird immer ein offenes System definiert, d.h. eine Input/Output-Situation mit eindeutigem Ursache/Wirkungszusammenhang festgelegt. Diese Festlegung erfolgt durch den Experimentator, den Beobachter – dies ist hier nicht anders als in der Physik oder Chemie. Das auf diese Weise definierte (reduzierte) System 'Katze' stellt aus konzeptioneller Sicht allenfalls ein lebendes, nicht-triviales Signal- oder Datenfilter dar, wie das in der Abb.1b gezeigte Modell eines 'Neuronalen Netzwerks'. Bei einem neuronalen Netz erfahren die am Eingang anliegenden Daten durch das Netz eine eindeutige(!) Zuordnung zur Klasse der Ausgangsdaten – dies entspricht der Funktion eines jeden (Daten-)Filters, und in der Tat stellen alle heute bekannten neuronalen Netzmodelle – konzeptionell gesehen adaptive, nicht-lineare Filtermodelle dar. D.h. nach einer sogenannten Lern- oder Adaptionphase, in der eine

Zuordnung zwischen den Eingangs- und Ausgangsdaten erstellt wird, verhalten sich diese Modelle wie statische Filter und damit sind sie für die Elektrotechnik oder technische Informatik sicherlich von einigem Interesse. Wesentlich im vorliegenden Kontext ist, daß das durch den Experimentator ausgewählte System der Abb.1a ebenso ein 'offenes' System darstellt, wie die Modelle der Neuroinformatik und damit tragen sie zum Verständnis von 'Kognition leider nur wenig bei.

'Offenheit' und 'Geschlossenheit' sind ähnlich wie 'rechts' und 'links' keine Meßergebnisse sondern standpunktabhängige Beschreibungskategorien, die aus der Interpretation von Meßergebnissen an (offenen) Systemen resultieren. Beide Begriffe sind, wie auch das Begriffspaar 'rechts' und 'links', zueinander komplementär, d.h. beide bedingen sich gegenseitig – man kann nur beide gemeinsam verwenden. Wenn von 'offenen' Systemen gesprochen wird, muß es auch 'geschlossene' Systeme geben und umgekehrt. Wird also 'Geschlossenheit' eines Systems für die Existenz einer 'Umgebung' und diese wiederum für die Beschreibung von 'Kognition gefordert, dann führt diese Forderung solange zu Mißverständnissen, wie der oben dargelegte Sachverhalt übersehen wird.

Eine standpunktabhängige Beschreibung bedeutet, daß ein System einmal vom Standpunkt eines Beobachters aus beschrieben werden kann, wie dies in allen experimentellen Situationen der Fall ist, und andererseits vom Ort des Systems aus unter Einbeziehung des Beobachters. Das wiederum heißt, daß eine strikte Trennung von Subjekt und Objekt, wie sie von der klassischen Naturwissenschaft verlangt wird, nicht mehr aufrechtzuerhalten ist. Solange sich wissenschaftliche Beschreibungen ausschließlich auf unbelebte Objekte bezogen haben, war es nicht nötig, sich mit diesem Problem auseinanderzusetzen – man konnte es den Philosophen als den vermeintlichen "Hofnarren der Wissenschaften" überlassen. Nachdem wir uns aber anschicken, lebende Systeme besser zu verstehen, läßt sich das Problem nicht länger ignorieren.

Halten wir an dieser Stelle fest: Der momentane wissenschaftliche Stand ist gekennzeichnet durch zwei diametral entgegengesetzter Modellvorstellungen, nämlich einmal die der 'offenen' und die der 'geschlossenen' Netzwerke, oder was formal und strukturell gesehen auf das gleiche hinausläuft, einer Beschreibung lebender Systeme einerseits vom Ort des Beobachters und andererseits vom Ort des zu beschreibenden autonomen Systems (unter Einbeziehung des Beobachters) aus.

Eine kybernetische Beschreibung lebender Systeme und hier speziell des Immunsystems, die über den momentanen wissenschaftlichen Stand hinausgeht, muß die beiden sich diametral entgegengesetzten Positionen vermittelnd enthalten. Mit anderen Worten, ein kybernetisches Modell des Immunsystems, das eine simultane formale Darstellung offener und geschlossener Netzwerke erlaubt, benötigt wenigstens drei unterschiedliche, jedoch jeweils miteinander vermittelte Beschreibungspositionen, aus denen sich das (Immun-)System

– als offenes Netzwerk (System) – als geschlossenes Netzwerk (System)

und

– als ein Verhältnis von offenen und geschlossenen Netzwerken (Systemen) widerspruchsfrei thematisieren läßt.

Das KYBERNETISCHE MODELL – Ein LOGISCHES PROBLEM

Die oben aufgestellte Forderung führt auf ein fundamentales wissenschaftslogisches Problem, das hier nur kurz angedeutet werden kann. Vor dem Hintergrund, daß jeder wissenschaftliche Diskurs nach den Regeln der Logik geführt wird, sind Widersprüche der Art:

"das System A ist offen und das System A ist nicht-offen" (5)

sinnlos. Wird diese Aussage etwas anders formuliert,

"das System A ist vom Standpunkt X aus offen und
das System A ist vom Standpunkt Y aus nicht-offen" (6)

dann erscheint das Problem durch die Einführung zweier unterschiedlicher Beschreibungspositionen (logische Orte) aus logischer Sicht zunächst "entschärft". Die beiden Beschreibungspositionen führen jedoch nur dann zur Widerspruchsfreiheit, wenn mit ihnen zwei unterschiedliche logische Domänen, in denen jeweils alle Regeln der Logik gelten sollen, angenommen werden. In der Abbildung 2a sind drei logische Domänen graphisch angedeutet.

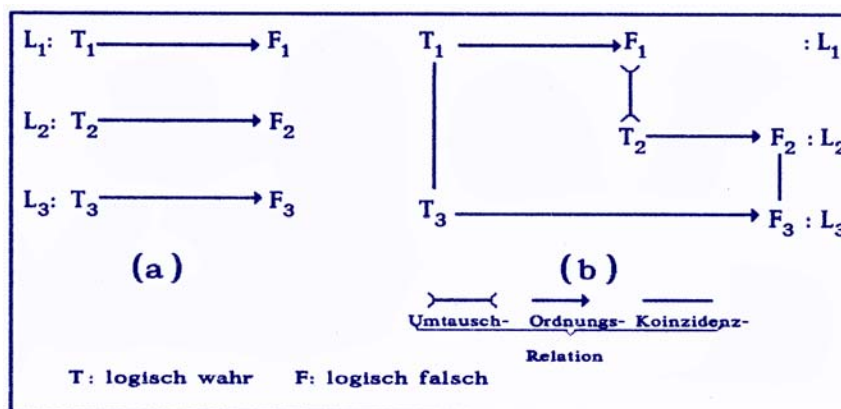


Abb.2: 'Verteilte Logik-Systeme'

a) Drei logische Domänen L_1, L_2, L_3 die unvermittelt, d.h. isoliert voneinander sind Die Indizierung könnte sich beispielsweise auf drei logische Typen im Russellschen Sinne beziehen.

b) Drei miteinander vermittelte logische Domänen (Kontexturen) L_1, L_2, L_3

Wie man der Figur entnehmen kann, wird durch die Umtauschrelation beispielsweise eine Ambiguität (Mehrdeutigkeit) zwischen logisch 'wahr' und 'falsch' erzeugt. Übergänge dieser Art sind in klassischen Logik-Systemen (wie in Bild a) nicht existent.

Aus dem alltäglichen Leben sind solche standpunktabhängigen, konträren Aussagen, die häufig Ursache mühsamer Kommunikationsprozesse sind, hinreichend bekannt. Sie treten, und das ist wichtig, nur dann auf, wenn über lebende Systeme gesprochen wird. Anders gewendet, in der Physik oder Chemie existiert dieses Problem – von Grenzfällen einmal abgesehen – nicht. Folgende Aussage

"das Elektron ist elektrisch geladen und
das Elektron ist elektrisch nicht geladen" (7)

ist für jeden naturwissenschaftlich Vorgebildeten sofort als unsinnig erkennbar und führt kaum zu einem wissenschaftlichen Disput.

Die Einführung zweier logischer Domänen für die Behandlung 'offener' und 'geschlossener' Netzwerke bedeutet für den Fall der Immunologie, daß im Rahmen

des Experimentes (innerhalb der molekularen Domäne) von 'offenen Netzen' oder Systemen und im Kontext der Kognitionstheorie (innerhalb der kognitiven Domäne) von 'geschlossenen Netzen' oder Systemen gesprochen werden kann. Damit wird aber lediglich die bereits bekannte Situation noch einmal aus logischer Sicht skizziert, so wie sie sich heute präsentiert. Eine Situation, die sich durch eine Polarisierung, d.h. durch die Existenz zweier sich diametral entgegengesetzter und sich gegenseitig ausschließender Modellvorstellungen auszeichnet. Die Forderung nach einer Vermittlung, nach einer Relation zwischen beiden Modellen läßt sich auf diesem Wege nicht einlösen und genau hierin liegt das wissenschaftslogische Problem.

Die Problematik wird zusätzlich noch dadurch verschärft, daß die geschlossenen Netzwerke, wie sie im Rahmen einer Kognitionstheorie gefordert werden, sich aufgrund ihrer Geschlossenheit einer mathematischen Behandlung prinzipiell entziehen. Für sich genommen führen diese geschlossenen Modelle innerhalb einer logischen Domäne zu Zirkularitäten und damit zu logischen Widersprüchen, was die dringend erforderliche Annäherung der beiden wissenschaftlichen Standpunkte zusätzlich erschwert. Berücksichtigt man, daß in der Immunologie heute bereits weitere Domänen in die Betrachtung einbezogen werden, wie die der Neurophysiologie, der Psychologie oder Endokrinologie, was zum Begriff der 'Neuroimmunologie' geführt hat, dann wird die Dringlichkeit nach einem operationsfähigen Lösungsansatz deutlich.

Fassen wir an dieser Stelle das Problem unter Einführung eines zusätzlichen Begriffs noch einmal kurz zusammen: Im folgenden wird jede der in der Abb.2a skizzierten logischen Domänen als 'Kontextur' bezeichnet werden. In ihr gelten, wie bereits vereinbart, alle Regeln der formalen Logik und damit läßt sich intra-kontextural (innerhalb einer Kontextur) das gesamte mathematische Instrumentarium verwenden, das uns für den wissenschaftlichen Diskurs als Kunstsprache zur Verfügung steht. Die einzelnen Domänen der Abb.2a stellen für sich genommen jeweils sogenannte mono-kontexturale logische Bereiche dar. Das Problem der Vermittlung von 'offenen' und 'geschlossenen' Netzwerken, d.h. die Suche nach einer Relation zwischen diesen beiden Modellvorstellungen konzentriert sich somit auf die Suche nach einer inter-kontexturalen Verknüpfung, also nach einer Vermittlung zwischen den verschiedenen Kontexturen, wie dies in der Skizze 2b dargestellt wurde. Damit wird eine Logik-Konzeption gefordert, in der es geeignete Operatoren gibt, mit deren Hilfe sich Übergänge zwischen den verschiedenen Kontexturen regeln lassen. Ein solches Logik-System stellt die 'Poly-Kontexturalitäts-Theorie (PKL)' dar, wie sie von Günther eingeführt und von Kaehr weiterentwickelt wurde (Günther, 1980; Kaehr, 1978).

Mit dieser Theorie ist nicht nur eine fundamentale Erweiterung der klassischen, mono-kontexturalen Logik-Konzeptionen, die sich letztlich alle auf Aristoteles (Aristoteles, 384-322 v.Chr.) zurückführen lassen, in die Wissenschaft eingeführt, sondern gleichzeitig auch die Basis für eine formale widerspruchsfreie Darstellung kognitiver Prozesse gelegt worden. Eine Theorie, die sich durch einen Komplexitäts- und Vernetzungsgrad auszeichnet, wie er für eine formale und (logisch) widerspruchsfreie, holistische Systembeschreibung unumgänglich ist. Die Kontexturen sind hier über verschiedene (logische) Orte verteilt und durch Transjunktoren, die in den klassischen Logik-Konzeptionen infolge ihrer Mono-Kon-

texturalität nicht existieren, miteinander vermittelt. Wesentlich dabei ist, daß sich die über verschiedene logische Orte (Beschreibungspositionen) verteilten und miteinander vermittelten Kontexturen gegenseitig durchdringen, so daß sich je nach Komplexitätsgrad einer Beschreibungsposition bzw. je nach Komplexität der kontexturalen Gesamtsituation mehrere Kontexturen je Ort (Beschreibungsposition) versammeln; d.h. für jede Beschreibungsposition gelten immer zugleich mehrere kontexturale Zusammenhänge. Erst dadurch ist der (formale) Sprachrahmen geschaffen, der es gestattet, das Wechselspiel von 'offenen' (sich intra-kontextural darstellenden) und 'geschlossenen' (sich inter-kontextural darstellenden) Systemen simultan zu modellieren, einer Computer-Simulation und Realisation zuzuführen (Kaehr, Goldammer, 1989).

Die Absicht des vorliegenden Beitrags war es, am Beispiel 'offener' und 'geschlossener' Netzwerke (in der Immunologie) auf ein Problem aufmerksam zu machen, das unser wissenschaftliches Fundament, die Logik, betrifft und ganz generell bei allen Versuchen einer nicht-reduktionistischen Beschreibung, Modellierung und Simulation lebender Systeme auftaucht. Oder um es abschließend noch einmal ganz dezidiert auszudrücken: Jede mono-kontexturale Beschreibung von lebenden Systemen stellt immer eine System-Reduktion im Sinne einer reduktionistischen Beschreibung dar; d.h. die uns heute zur Verfügung stehenden mathematischen Werkzeuge sind für eine nicht-reduktionistische Beschreibung lebender Systeme prinzipiell ungeeignet, da sie nur mono-kontextural anwendbar sind.

Der 'Volkswagen-Stiftung' danken wir für die finanzielle Unterstützung des Projekts 'Theorie komplexer biologischer Systeme'.

LITERATUR

- Bell, G.I., A. S. Perelson & G.H. Pimbley (1978): "Theoretical Immunology", Marcel Dekker Publ. N.Y.
- Bona, C.A & B. Pernis (1984) "Idiotypic Networks", in: Fundamental Immunology (W.E. Paul, ed.). Raven Press. N.Y. p. 377.
- Burnet, F.M. (1959) "The Clonal Selection Theory of Acquired Immunity", University Cambridge Press.
- Falk, G. & W. Ruppel (1976) "Energie und Entropie – Eine Einführung in die Thermodynamik" Springer Verlag. Berlin.
- von Foerster, H. (1985) "Sicht und Einsichtversuche einer operativen Erkenntnistheorie", Vieweg Verlag, Braunschweig.
- Günther, G. (1980) "Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik", Vol. I-III, Felix Meiner Verlag, Hamburg.
- Hood, L.E, I.L. Weissman, A.B. Wood & J.H. Wilson (1984) "Immunology", The Benjamin/Cummings Publ. Menlo Park. Ca.
- Hsu, C.S. (1988) "Estimation of Antibody via Reduced-Order Modelling", in: Theoretical Immunology (A.S Perelson. ed.). Addison Wesley Publ. p. 135.
- Jerne, N.K. (1974) "Towards a Network Theory or the Immune System", Ann. Immunol. Pasteur 125c, p. 173.

- Kaehr, R (1978) "Materialien zur Formalisierung der dialektischen Logik und der Morphogrammatik 1973-1975", in: Idee und Grundriß einer nicht- Aristotelischen Logik (G. Günther). Felix Meiner Verlag, Hamburg.
- Kaehr, R & E. von Goldammer (1989) "Poly-contextural modelling of heterarchies in Brain functions", in: Models of Brain Functions (R.M.J. Cotterill, ed.), Cambridge Univ. Press. P. 483-497.
- Maturana, H.R. (1985) "Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit", Vieweg Verlag, Braunschweig.
- Mohler, R.R et al. (1980) "A Systems Approach to Immunology", IEEE Proceedings, Vol. 68, p. 964.
- Rummelhart. D.Y. & J.L. McClelland (1987) "Parallel Distributed Processing – Explorations in the Microstructure of Cognition", The MIT Press, Cambridge.
- Perelson, M. ed. (1988) "Theoretical Immunology", A Proceedings Volume in the Santa Fe Institute Studies in the Science of complexity, Addison Wesley Publ.
- Raff, M. (1977) "Immunological Networks", Nature 265, p. 206.
- Tada, T. (1984) "Help, Suppression, and Specific Factors", in: Fundamental Immunology (W.E. Paul, ed.), Raven Press, N.Y. p. 481.
- Tada, T. et al. (1983) "Restricting Elements in the Immunological Circuitry: the Role of I Region-Controlled Determinants", in: Immune Networks (C.A. Bona, & H. Kohler, eds.), Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 418. p. 189.
- Varela, F.J. (1979) "Principles of Biological Autonomy", in: General Systems Research (G. Klir, ed.), North Holland Publ.
- Varela, F.J. (1988) "Cognitive Networks: Immune, Neural, and Otherwise", in: Theoretical Immunology (A.S. Perelson, ed.), Addison Wesley Publ., p. 358.

The text was originally edited and rendered into PDF file for the e-journal <www.vordenker.de> by E. von Goldammer

Copyright 2007 © vordenker.de

This material may be freely copied and reused, provided the author and sources are cited
a printable version may be obtained from webmaster@vordenker.de

vordenker

ISSN 1619-9324

How to cite:

Goldammer, E. von & R. Kaehr "Das Immunsystem als kognitives System", in: Fortschritte der Simulation in Medizin, Biologie und Ökologie, 5. Ebernburger Gespräch, GI-AK 4.5.2.1 (ASIM) Bad Münster a. St. Ebernburg, 26.-28. März 1992.

URL: <http://www.vordenker.de/vgo/immunsyst-cog-net.pdf>