Rudolf Kaehr
in : Stiftung Warentest, 1980

Neue Tendenzen in der KI-Forschung

Metakritische Untersuchungen über den Stellenwert der Logik in der neueren Künstlichen-Intelligenz-Forschung

1 Dreyfus' Kritik

Zu einem Zeitpunkt, da Minsky und mit ihm die meisten amerikanischen AI-Forscher (AI: Artificial Intelligence) der Meinung waren, daß zwischen dem menschlichen Denken und einer Turing-Maschine im Prinzip kein Unterschied bestehe, also Denken als Rechnen (mit Zahlen und Buchstaben) interpretiert wurde, und daß in der nächsten Generation *"the problem of creating 'A.I.' will be substantially solved"*, stellte der Philosoph Dreyfus die Frage nach den *"a priori arguments about what machines can in principle do"*. Damit stellte er die Frage nach den formallogischen Möglichkeiten der Behauptung Minskys (Dreyfus, 1968).

Eine solche Frage mag zu einer Zeit rapider Entwicklung der AI als verfrüht erscheinen, heute, nachdem selbst aus dem AI-Lager pessimistische Stimmen laut werden (Weizenbaum, Bar-Hillel), scheint es notwendig zu sein, sie neu zu stellen. Ebenso notwendig ist es, den Weg der amerikanischen AI seit dieser Fragestellung (1968) nachzuzeichnen.

Es sei nebenbei bemerkt, daß die AI-Forschung der Bundesrepublik Deutschland, die gerade mit ihren Etablierungsproblemen beschäftigt ist, auf diese metatheoretische Fragestellung, als sie von Cherniawski (TU Berlin) 1976 (wieder) gestellt wurde, höchst irrational reagierte (KI-Rundbrief 9. Mai 1977). Daher möchte ich mit allem Nachdruck betonen, daß selbstverständlich die Aufgaben, die innerhalb des klassischen Paradigmas zu lösen sind, vorrangig behandelt werden müssen, wenn nicht eine metakritische Reflexion deren Unmöglichkeit nachweisen kann.

Eine metakritische Methodenreflexion ist also sowohl als Korrektiv, (gegen falsche Erwartungen) wie als Ort der systemtranszendierenden Innovation (gegen falsche Einschränkungen) für eine kritische Wissenschaftlichkeit der KI-Forschung absolut notwendig.

Dreyfus´ philosophische Kritik an Minskys Statement *"There is no reason to suppose machines have any limitations not shared by men"* besteht darin, daß er auf einen *"infinite regress"* bzw. circulus vitiosus aufmerksam macht.

Wird nämlich vorausgesetzt, daß die Welt aus einer in definiten Mannigfaltigkeit von Informationseinheiten (bits) besteht, dann muß eine Entscheidung, bzw. ein Kontext anerkannt werden, der angibt, welche Informationen für eine Berechnung relevant sind. Wird dies zugegeben, dann besteht die Welt nicht mehr homogen nur aus Informationen, sondern auch aus Kontexten von Informationen, im Widerspruch zur Annahme. Wird jedoch der Kontext zur Information erklärt, so entsteht der Zirkel, daß das, was die Information bestimmen soll, selbst Information ist. Wir stoßen hier auf das Problem des Verhältnisses von Information und Bedeutung. Nach dem klassischen Paradigma wird Bedeutung auf Information reduziert. Das transklassische Paradigma insistiert auf der Irreduzibilität von Information und Bedeutung. Weiteres zum Begriff 'Paradigma' - siehe S. 3, 14 und §7.

Die drei neuen Tendenzen in der Logikforschung der AI, die wir hier untersuchen, lassen sich als Versuche deuten, der von Dreyfus aufgedeckten antinomischen Situation (infinite regress) gerecht zu werden.

a) Die Fuzzy-Logik versucht die Antinomienbildung dadurch zu verhindern, daß sie die eindeutigen Regeln aufweicht, zugunsten einer Logik der Vagheit, in der die strenge Dualität von Logischem und Antinomischem aufgehoben ist.
b) Die Kontext-Logik versucht direkt durch Einführung eines Kontextbegriffes, der den Unterschied zwischen Aussage und Kontext der Aussage ermöglicht, den Regress zu stoppen.
c) Der Extended Calculus of Indication (ECI) akzeptiert die Antinomie als solche und gewährt ihr als Form der Selbstreferentialität einen Platz im Formalismus.

Den drei neuen Methodologien der KI-Forschung ist gemeinsam, daß sie nur konservative Erweiterungen des klassischen Paradigmas leisten. Ihre praktische Bedeutung liegt in einer Optimierung ökonomischer Probleme.

d) Ein qualitativ neuer Schritt wird in der Polykontexturalitätstheorie Gotthard Günthers vollzogen, insofern, als sie Subjektivität in den Kalkül hinein definiert, erfüllt sie als einzige Konzeption die Dreyfus´sche Kritik.

Damit wird der von den um H.v.Foerster versammelten AI-Forschern geforderte Paradigma-Wechsel eingeleitet, er charakterisiert die Paradigmen wie folgt:

> "The logic of our Western industrial corporate society (whith limited liability) is unidirectional, deductive, competitive, and hierarchical, and the keystones of its paradigm are the claim to objectivity and the theory of types, which exclude in principle the autonomy of paradox and of the individual. In the scientific revolution that we now create and experience, however, we perceive a shift from causal unidirectional to mutualistic systemic thinking, from a preoccupation with the properties of the observed to the study of the properties of the observer." (von Foerster / Howe, p.2)

2 Fuzzy-Logik

2.1 Die Konzeption der Fuzzy-Logik

Die Logik mußte sich schon immer der empiristischen Kritik aussetzen, daß ihre strenge Zweiteilung (Dichotomisierung, Dualisierung) der Begriffe und deren Hierarchisierung nicht der alltäglichen Erfahrung entspreche. Zwischen zwei disjunkten Begriffen lassen sich immer Übergänge feststellen. Die Grenzen seien fließend, Begriffsumfänge vage und inexakt definiert...

Dieser Situation auch im Bereich des Formalen gerecht zu werden ist das erklärte Ziel der Fuzzy-Logik. Zadehs Arbeit "fuzzy sets" mit der 1965 die "Fuzzy Decade" eingeleitet wurde, hat zu einer Lawine von Arbeiten zur Fuzzyfikation von formalen Konzepten in fast allen Bereichen geführt. (Zadeh, 1965; Gaines 1977)

Es gehört wohl zum Wesen der Fuzzy-Logik, daß sie als Logik der Vagheit selber nicht eindeutig definiert wird. So existieren in der Literatur eine Fülle von verschiedenen Definitionen der Fuzzy-Logik.

Im Unterschied zur klassischen Mengenlehre, wo die Element-Beziehung streng binär geregelt ist: "x ist ein Element der Menge M oder x ist nicht ein Element der Menge M", in Zeichen: "$x \varepsilon M$ oder $x \notin M$", ist die Elementrelation in der Fuzzy-Sets-Theory quantifiziert, es gibt Grade im Intervall $[0,1]$ der Elementrelation.

Also:

$$A : S \to [0,1], \quad A \subset S$$

$$x \in S, \quad Ax = 1 \quad Ax = i \text{ wenn } x \in_i A \subset S, \quad 0 \le i \le 1$$

$$Ax = 0{,}9$$

$$Ax = 0$$

In Worten:
Für jedes Element x aus der Menge S ist der Grad der Elementbeziehung von x zur Menge A gleich i.
Für $Ax = 1$, also $i = 1$, ist x ein Element von A, für $i = 0$ ist x nicht ein Element von A.

Für Fuzzy Sets gelten die Beziehungen:

Vereinigung: $A \cup Bx = \max(Ax, Bx)$

Durchschnitt: $A \cap Bx = \min(Ax, Bx)$

Komplement: $A' = 1 - Ax$

Teilmenge: $A \subseteq B$ genau dann, wenn $Ax \le Bx$, für alle x aus S.

Auf der Basis der Fuzzy Sets wird die Fuzzy Logic eingeführt.
P und Q seien Variablen mit Werten im Intervall [0,1].
Die Funktoren seien : $\wedge$, $\vee$, $\to$, ~

Die Semantik ist dann:
Negation: $\sim P = 1 - P$
Konjunktion: $P \wedge Q = \min(P, Q)$
Disjunktion: $P \vee Q = \max(P, Q)$
Implikation: $P \rightarrow Q = 1 \quad \text{gdw} \quad P \leq Q$
Die Folgerelation ist definiert durch:

$P \,||\!-Q \quad \text{gdw} \quad P \leq Q$ für alle Bewertungen.

Der Unterschied zwischen klassischer und Fuzzy-Aussagenlogik wird durch folgende Gegenüberstellung (Lakoff: Hedges, J. Philos.Logic, Vol. 2 (1973), p.466):

ungültig in fuzzy logic	gültig in fuzzy logic
$P \vee \sim P$	$P \rightarrow P$
$P \rightarrow (Q \rightarrow P)$	$(P \rightarrow (Q \rightarrow R)) \rightarrow ((P \rightarrow Q) \rightarrow (P \rightarrow R))$
$\sim P \rightarrow (P \rightarrow Q)$	$(\sim P \rightarrow \sim Q) \rightarrow (Q \rightarrow R)$
$((P \wedge Q) \rightarrow R) \leftrightarrow (P \rightarrow (Q \rightarrow R))$	$\sim\sim P \leftrightarrow P$
$P \rightarrow (Q \wedge \sim Q) \rightarrow P$	$(P \wedge \sim P) \rightarrow P$
$(P \wedge \sim P) \rightarrow Q$	$((P \rightarrow Q) \wedge \sim Q) \rightarrow \sim P$
$Q \rightarrow (P \vee \sim P)$	$(P \rightarrow Q) \rightarrow ((Q \rightarrow R) \rightarrow (P \rightarrow R))$
Die Formeln werden gültig für P, Q, R gleich 1 oder 0, also ohne Zwischenwerte	De Morgan Gesetze Assoziativität, Distributivität, Kommutativität

Vom Standpunkt der Logik aus wird die Mengenlehre in der Prädikatenlogik formuliert, und Mengen werden durch Prädikate bestimmt. Die "Fuzzyfikation" heißt nun also, daß die objektsprachlichen Prädikate "fuzzifiziert" werden, d.h. das Prädikat P trifft auf x nicht mehr zweiwertig, sondern mehrwertig zu. Damit ist ein Übergang von der 2- zur Mehrwertigkeit vollzogen, aber noch nicht zur Fuzzy-Logic. Diese wird dadurch erreicht, daß zusätzlich zur objektsprachlichen, eine metasprachliche "Fuzzyfikation" von "wahr" und "falsch" vollzogen wird.

Im ersten Schritt wird eine Interpretation der mehrwertigen Logik geleistet, und diese wird als Basislogik der Fuzzy-Logic verstanden. Die Fuzzy-Logic bezieht nun in einem zweiten Schritt ihre metasprachlichen Wahrheitswerte, die "fuzzy truth values", nicht als einzelne Werte, sondern als "fuzzy subsets" aus dem Wertintervall [1,0] der Basislogik. Da eine "unmanageable complexity" entstehen würde, wenn alle Untermengen aus dem Intervall [0,1] als Wahrheitswerte zugelassen würden, wählt Zadeh eine endliche Untermenge aus, die "linguistic truth-values". "Truth" z.B. ist dann eine linguistische Variable mit der endlichen Anzahl von Werten "true", "very true", "not very true", usw., wie etwa auf der objektsprachlichen Ebene die linguistische Variable "age" mit den Werten "young", "very young", "not very young" usw. Die Fuzzy-Logic hat also eine unendlich-wertige Basislogik und eine endlich-wertige Metalogik.

Beispiel:
Eine Person a hat einen Zugehörigkeitsgrad zur Menge der langen Menschen P von 0,3, d.h. Wert (Pa) = 0,3.

Die Aussage "a ist lang" besitzt in der Basislogik den Wert 0,3. Der Wahrheitswert von "a ist lang mit 0,3" erhält etwa den metasprachlichen Wahrheitswert "not very true", da 0,3 ein nicht allzu großer Wert ist. Damit sei die Konzeption der Fuzzy-Logik kurz skizziert.

Zur Literatur:
Einführung: (Zadeh, 1965, Goguen, 1968)
Überblick: (Gaines, 1976)
Bibliographie: (Gaines, 1977)
Kritik: (Haack, 1978) und Anhang I

2.2 Kritik der Fuzzy-Logik

Die Kritik hat hier nur die Funktion zu untersuchen, was von der Fuzzy-Logik prinzipiell geleistet werden kann und was nicht. Die praktische Bedeutung der Fuzzy-Logik bleibt unangetastet.

Die Kritik vollzieht sich in zwei Schritten: 1. Kritik der Metalogik und 2. Kritik der Mehrwertigkeit der Basislogik (s. §3).
Die Kritik der Metalogik bzw. der "linguistic truth-values" zeigt, daß die linguistischen Wahrheitswerte sich linguistisch nicht begründen lassen. Ihre Einführung verstößt gegen linguistische Regeln, und eine andere als linguistische Einführung der Wahrheitswerte wird von Zadeh nicht geleistet

Haack argumentiert, daß "rather", "fairly", "somewhat" usw. als komparative Adverbien für Prädikate (predicates of degrees) zulässig sind, also etwa in "trather tall", "somewhat tall" jedoch unzulässig für "somewhat true", "fairly true". (Haack, 1979)

Dazu kommt, daß "rather tall" etwa gleichbedeutend ist mit "quite tall", während dies für "quite true" und "rather true" nicht zutrifft; "quite tall" kontrastiert "very tall" während "quite true" gleichgesetzt werden kann mit "very true". Zudem läßt sich "quite" für komparative Prädikate wie in "quite tall" nicht negieren, also "not quite tall" ist nicht zulässig, da jedoch "true" als komparatives Prädikat fungiert, ist auch "not quite true" unzulässig.

Nach Frege, dem Begründer der mathematischen Logik, ist "wahr" kein komparatives Prädikat wie etwa "schön". Würde es der Fuzzy-Logik gelingen, die linguistischen Wahrheitswerte zu begründen, dann müßte sie als nicht-klassische Logik anerkannt werden. Haacks Analyse zeigt jedoch, daß dies nicht geleistet wurde. Die Kritik ließe sich entscheidend radikalisieren, denn die Fuzzy-Logik lebt davon, daß "wahr" als Prädikat von Sätzen klassifiziert wird, dies gilt es jedoch erst zu begründen. Es gibt gute Gründe anzunehmen, daß "wahr" in der Logik gar kein Prädikat ist, sondern eben ein Wahrheitswert. Argumente dazu finden sich bei Strawson (Truth, Analysis 9, 1949). Die Konzeption der "linguistic truth-values" ist von der Fuzzy-Logik nicht begründet worden, diese ist nicht grundlagentheoretisch interessiert, sondern bemüht sich um praktische Applikationen, innovative Verflüssigung von Konzeptionen der Mengenlehre, Systemtheorie, Linguistik usw. Auch von anderer Seite ist eine Begründung nicht erfolgt. Die Konzeption der "linguistic truth-values" läßt sich schon deshalb nicht begründen, weil eine echte Erweiterung der Logik auf der Ebene der Wahrheitswerte nicht möglich ist.

Der offensichtlich ideologische und praktische Erfolg der Fuzzy-Logik basiert wohl wesentlich auf der Mehrwertigkeit nicht ihrer Metasprache, sondern ihrer Objektsprache. Die klassische Theorie der Mehrwertigkeit ist die Basislogik der Fuzzy-Logik. Die klassische mehrwertige Logik als solche braucht hier nicht dargestellt werden; sie ist keine neue Richtung in der Logikforschung. Ich beschränke mich auf eine zusammenfassende Kritik.

Wesentlich an der Fuzzy-Logik ist wohl auch, daß sie sich nicht um Begründungsfragen kümmert, diese setzen eine strenge Rationalität voraus und diese wird von ihr gerade in Frage gestellt. Die Fuzzy-Logik arbeitet lokal und "empirisch".

3 Kritik der mehrwertigen Logik

3.1 Allgemeine Kritik

Die Kritik an der mehrwertigen Logik läßt sich wie folgt zusammenfassen: Die Kriterien a) - e) werden von den klassischen mehrwertigen Logiken nicht erfüllt. Der Übergang von der zwei- zur mehrwertigen Logik-Konzeption muß folgende Kriterien erfüllen:

a) Die Mehrwertigkeit ist nicht auf eine beliebige Wertmenge beschränkt. Jede einzelne Wertanzahl muß zugelassen sein.

b) Jeder einzelne Wert v mit $0 \leq v \leq n$ muß eine eigene semantische Interpretation haben, jeder Wert muß generierbar sein und darf nicht bloß ad hoc eingeführt werden.

c) Jede der mehrwertigen Funktionen muß interpretierbar sein. Es reicht nicht aus, etwa nur die Konjunktions-, Disjunktions- usw. Funktion auszuwählen.

d) Da die zweiwertige Logik ein Subsystem der mehrwertigen Logik ist, müssen die Gesetze der zweiwertigen Logik in der n-wertigen enthalten sein. Kein Gesetz darf amputiert werden. Insbesondere darf also der Satz vom ausgeschlossenen Dritten nicht einfach eliminiert werden.

e) Die n-wertige Logik muß zusätzlich zu d) eigene Gesetze und Prinzipien haben, die in der zweiwertigen Logik nicht formulierbar sind.

Wegen der Nichterfüllung dieser Kriterien wurden die mehrwertigen Logiken von philosophischer Seite zu Recht als "logoide Formalismen" bzw. als abstrakte Kalküle, die jedoch keine eigentlichen Logikkalküle sind, von der klassischen Logik abgegrenzt (etwa: Günther, 1976, Haack, 1974, Scott, 1976). Die einzelnen Kriterien und ihre Begründung finden sich in (Günther 1976-1980).

Ein Kalkül ist nämlich erst dann ein Logik-Kalkül, wenn für ihn entweder eine semantisch-logische oder eine dialogisch-logische Interpretation existiert. Ohne eine solche Interpretation, die selbst auch formal bzw. formalisiert werden kann, bleibt ein Kalkül ein ´leeres´ Zeichenspiel. Von der betreffenden, zum Kalkül passenden Semantik bzw. Dialogkonzeption wird dabei angenommen, daß sie dem Vorverständnis von Logik entspricht. Ein anderes Problem ist es, dieses Vorverständnis selbst zu begründen. Daß dies nicht gelungen ist, zeigt die Vielfalt der Logiksysteme von der klassischen bis zur dialektischen Logik. Die Hauptaufgabe der Logikforschung ist dann, die Äquivalenz von abstraktem Kalkül (Syntax) und inhaltlicher Deutung (Semantik bzw. Pragmatik) zu beweisen.

Im Gegensatz zur philosophischen Reserve wächst das praktische Interesse an der mehrwertigen Logik in der KI-Forschung.

Literatur:
(Computer 1974; Dunn 1977; Proceedlings 1975, Rine 1977).

3.2 Kritik der Mehrwertigkeit als Basislogik der Fuzzy-Logik

Der für uns wichtige Anspruch der Fuzzy-Logik ist der, daß sie eine Analyse und Lösung der Antinomien und Paradoxien leistet. Antinomien waren immer der Prüfstein einer Logik. Für die Fuzzy-Logik ist eine Antinomie ein Prototyp der Vagheit.

Die Analyse der Antinomien durch die Fuzzy-Logik, etwa der Russelschen vom Babier, bzw. "der Menge aller Mengen, die sich nicht selbst enthalten", wiederholt die Einsicht der mathematischen Grundlagenforschung (Skolem, 1957), daß die Antinomie nur in einer unendlichwertigen Logik vermieden werden kann.

Da die Fuzzy-Logik nur in ihrer Basislogik über unendlich viele Werte verfügt, reduziert sie sich auf die unendlichwertige Logik. Eine unendlichwertige Logik läßt sich jedoch wie längst bekannt, für den Aufbau der Mengenlehre nicht gebrauchen, da erst in der zu begründenden Mengenlehre die unendlichen Zahlenmengen eingeführt werden. Die unendlichwertige Logik setzt also die Mengenlehre zu ihrer Begründung voraus. Dies ist jedoch ein *circulus vitiosus*. Der Anspruch der Fuzzy-Logik läßt sich also nicht begründen.

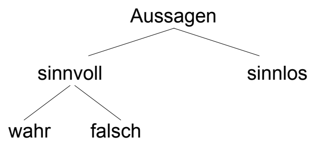
Unter methodologischen Gesichtspunkten scheint sich die Fuzzy-Logik auf die mehrwertige Logik und diese auf die zweiwertige Logik zu reduzieren.

4 Context Logic

4.1 Konzeption der Context Logic

Ein wichtiger Schritt in Richtung einer Formalisierung der Logik der natürlichen Sprache wurde von Goddard und Routley in dem umfassenden Werk "The Logic, of Siginificance and Context" geleistet. Es wird in aller Deutlichkeit gezeigt, daß eine wahr/falsch-Logik dem natürlichen Sprachgebrauch nicht entspricht. Außerhalb von wahren und falschen Aussagen gibt es immer auch nonsignifikante, d.h. sinnlose Aussagen, die für das Funktionieren der Sprache notwendig sind.

Die klassische Logik teilt die Aussagen ein in:



und behandelt nur die wahr/falsch-Aussagen. Der Versuch, die sinnlosen Aussagen einfach unter die falschen zu subsumieren, ist aus einem leicht einzusehenden Grund zum Scheitern verurteilt. Würde man dies tun, dann müßte analog zu den echten falschen Aussagen auch für die sinnlosen gelten, daß ihre Negation eine wahre Aussage darstellt. Dies ist aber nicht der Fall. Wie man sich leicht am folgenden
Beispiel klarmachen kann:

Gegeben sei die Aussage: "Alle rechtwinkligen Dreiecke sind gelb".

Diese Aussage ist sinnlos, da den Dreiecken als abstrakten geometrischen Entitäten prinzipiell keine Farbe zukommen kann. Würden wir diese Aussage negieren, so könnten wir dies einmal so tun, indem wir die ganze Aussage negieren: "Nicht alle rechtwinkligen Dreiecke sind gelb"; oder aber "Alle rechtwinkligen Dreiecke sind nicht gelb".

Beide Sätze sind aber nicht als "wahre Aussagen" aufzufassen.

Die ´logic of significance´ ist dagegen dreiwertig mit den Werten "wahr", "falsch", "sinnlos". Sie bemüht sich das Sinnlose nicht auszuschließen bzw. es kurzschlüssig unter das Falsche zu subsumieren, sondern versucht das Sinnlose in den Kalkül zu integrieren (siehe auch Blau, 1978).

Die ´logic of significance´ wird zusammen mit der ´context logic´ aufgebaut: Natürlich-sprachliche ,Aussagen sind nicht nur "wahr", "falsch" oder "sinnlos", sondern ihr Wahrheitswert hängt auch vom Kontext ab, in dem sie realisiert werden.

In der zweiwertigen wie in der mehrwertigen Logik gelten die Gesetze unabhängig vom Kontext. Die Einführung des Kontextbegriffes in die Logik ist eine echte Bereicherung. Die Frage, die es zu entscheiden gibt, ist die, ob der Kontextbegriff derart in die Logik eingeführt wird, daß die Konzeption der Logik von Grund auf geändert wird, oder ob die Einführung nur eine Logik des Kontextes, also eine Anwendung der einen und einzigen, Logik auf verschiedene Kontexte bedeutet. Im ersten Fall hätten wir eine Kontext-Logik als Einheit von Logik – Theorie und - Applikation. Es gäbe dann nicht eine solitäre und allgemeine Logik und ihre speziellen Anwendungen, sondern eine "Logik der Anwendung der Logik", also eine spezifische Logik des spezifischen

Gegenstandes. Diese Konzeption setzt allerdings einen Bereich der Kontextuierung voraus, der formal umfassender ist als der Bereich der klassisch-logischen Form.

Im zweiten Fall haben wir es mit einer Logik des Kontextes, also mit einer angewandten Logik zu tun, ähnlich wie etwa einer Logik der Zeit, der Frage, der Präferenz.

Es soll nun gezeigt werden, daß die ´context logic´ eine angewandte Logik und nicht eine neue Basislogik ist. Dies läßt sich leicht zeigen, wenn wir uns vergegenwärtigen, wie der Gebrauchskontext eines Satzes, der Kontext, bzw. das Kontextsymbol eingeführt wird.

Gegeben seien die Satzvariablen A, B, ... , die Junktoren $\wedge, \vee, \supset, \sim$ mit dem Metajunktor $o \bullet \{ \wedge, \vee, \supset, \dots \}$.

Die **Formeln** werden nun gebildet durch

R1 : a) Satzvariablen A und Konstanten A_i sind Formeln
b) ist A eine Formel, dann ist auch $(\sim A)$ eine Formel
c) sind A und B Formeln, dann ist auch (AoB) eine Formel.

Mit R 1a) - c) sind die Formeln gleich gebildet wie in der klassischen Aussagenlogik, mit dem einzigen Unterschied, von dem wir jedoch absehen können, daß die Satzvariablen nicht notwendigerweise sinnvolle Aussagen zu sein brauchen. Die Logik von "sinnvoll/sinnlos" wird in der mehrwertigen 'logic of significance' behandelt.

Zur Bildung des Kontextes werden die Kontextvariablen c, d, ... und ihre Kontextkonstanten c_0, d_0, ... eingeführt

R 1: d) ist θ ein Kontextsymbol und A eine Formel, dann ist $A(\theta)$ eine Formel; vorausgesetzt daß in A keine Teilformel ein Kontextsymbol besitzt.

<u>Beispiele</u>: p(c): heißt "der Satz p in Bezug auf Kontext c".

$$p \to p(c); \quad p \wedge q \to p \wedge q(c); \quad p(c), q(d) \to p(c) \wedge q(d)$$

R 1 d) verbietet mehrfach kontextuierte Formeln wie: $p(c)(d)$ und $(p(c) \wedge q(c)(d))$

In einer Formel wie $p(c)oq(d)$ ist der Junktor o nicht kontextuiert. Da aber diese Formel wegen der Provisio von R 1 d) nicht kontextuiert werden darf, also $(p(c) \text{ o } q(c))(d)$ ist nicht erlaubt, bleibt sie als Ganze nicht kontextuiert.

Damit wäre aber die 'context logic' in Frage gestellt. Aus dem Dilemma - entweder Mehrfachkontextuierung oder fragmentarische ´context logic´ (CL) - hilft die Kontextdistributionsregel

R 1: e) $\sim(A)\,(v) = (\sim A)\,(v)$
$A\,(v) \text{ o } B(v) = AoB(v)$

<u>Beispiel</u>: $p(c) \wedge q(c) = p \wedge q(c)$

4.2 Kritik der Context Logic

Was bezeichnen die Kontextvariablen? Die Kontextvariablen haben als Bereich Mengen von signifikanten Sätzen. Kontextuierte Aussagen werden also durch andere Aussagen kontextuiert. *"A context is defined by a set of descriptions which give the time and place of utterance, the topic of conversation, the identifications made, and similar detailed information"*. (Routley/Goddard, p.49). Der Kontext, das Ganze, das den Sinn einer Aussage bestimmen soll, ist selbst eine Aussage. Der Sinn dieser kontextuierenden Aussage muß selbst durch einen neuen Kontext bestimmt werden; dieser ist jedoch selber wieder eine Aussage, die kontextuiert werden muß, usw.

Wir haben also einen unendlichen Regress, einen Zirkel, zwischen Aussage und Kontext:

Aussagen

Kontext

"All relevant features of the context, whether standard or not, may be described by using sentences so that from a logical point of view, a context may be represented by a set of sentences, namely those which specify the context." (Goddard/Routley, p. 41)

Diesem Regress begegnet die ´context logic´ dadurch, daß sie ihm mit der Unterstellung eines Standardkontextes C_s - *"an agreed public language"* (p.61) - zum Stoppen bringt.

Methodologisch handelt es sich bei dieser Strategie, den Regress zu stoppen, um eine dogmatische Entscheidung. Diese wird jedoch von Routley/Goddard nicht bewußt vollzogen, da sie sich der Problematik des Regresses und dessen Vermeidung nicht stellen.

Meine Kritik ist prinzipieller Art und kritisiert nicht die praktische Bedeutung der ´context logic´. Eine Kontextlogik als angewandte klassische Logik ist von großer praktischer Bedeutung für eine Logik der natürlichen Sprache und sollte daher von der KI-Forschung rezipiert werden. Für praktische Zwecke läßt sich sinnvoll ein Standard-Kontext C_s angeben und eine Kontextlogik dieses Bereiches formulieren. Damit werden die internen Schwierigkeiten natürlich nicht gelöst, sondern nur verschoben.

5 Extended Calculus of Indications

5.1 Das Problem der Selbstreferentialität

Jeder Versuch Selbstreferentialität zu formalisieren steht vor dem Dilemma, a) daß Selbstreferentialität im Rahmen der bestehenden Logik und Mathematik nicht formalisiert werden kann; die Reichweite der Mathematik wird gerade durch den Ausschluß der Selbstreferentialität bestimmt, b) daß sich Selbstreferentialität immer deutlicher als eine Grundstruktur der Materie erweist (s. etwa Eigen, Morin, Jantsch) und sich eine Formalisierung und Operationalisierung geradezu aufdrängt. Im Phänomen der Selbstreferentialität versammeln sich die Grundlagenprobleme nahezu aller Wissenschaften. Die philosophische und mathematisch-logische Konzeption der Wahrheit - und diese ist die einzige operative - basiert auf dem Prinzip der Objektivation. D.h., daß zwischen Ich/Nicht-Ich, Subjekt/Objekt, System/Umgebung eine klare und deutliche, eine eindeutige Trennung besteht. System und Umwelt sind unter dem Prinzip der Objektivation dichotom. Der Wahrheitsbegriff ist also hetero-referentiell, Selbstreferentialität zerstört ihn.

In dieser Situation kommt der ´Calculus of Indications´ von George Spencer-Brown wie gerufen. Beansprucht er doch mit seinem Konzept der Indikation noch vor jeder Wahrheit und Falschheit einen Bereich des Formalen eröffnet zu haben und dies mit sehr einfachen symboltechnischen Mitteln.

F.J. Varela hat in einer Reihe von Arbeiten den ´Calculus of Indications´ (CI) zur Formalisierung selbstreferentieller Systeme benutzt und weiterentwickelt. Er schreibt:

> "I also believe that new possibilities opened after the formulation of the calculus of indications by G. Spencer Brown. By succeeding in going d e e p e r t h a n t r u t h, to indication and the laws of its form, he has provided an account of the common ground in which both logic and the structure of any universe are cradled, thus providing a foundation for a genuine theory of general systems. ... he has also indicated a way of constructing a u n i f i e d f o r m a l i s m f o r s e l f - r e f e r e n c e"
>
> (Varela, 1975, p.6) (gesperrt von R.Kaehr).

Selbstreferentialität erzeugt Widersprüche, Widersprüche sind semantisch Wahrheitswertwidersprüche, also muß ein Kalkül dessen Formkonzeption "deeper than truth" liegt, für selbstreferentielle Prozesse fruchtbar gemacht werden können. Es gilt also zu prüfen, wie weit dieser Anspruch realisiert werden kann.

Widersprüche in einem Formalismus sind deswegen katastrophal und zu vermeiden, weil sie ihn dadurch, daß jeder beliebige Satz aus einem Widerspruch ableitbar ist ($A \wedge \sim A \rightarrow B$), trivialisieren. Dies gilt auch für die sog. "dialectical logic" (Routley, Erkenntnis 14, 1979) in der spezielle Widersprüche "$p_i \wedge \sim p_i$" zugelassen sind, die das System nicht trivialisieren, weil in ihm der allgemeine Widerspruch "$A \wedge \sim A$", der hier einzig interessiert, nicht zugelassen ist.

5.2 Der Calculus of Indications

Da es sich beim 'calculus of indications' um einen prinzipiell neuen und daher ungewohnten Kalkül handelt, zitiere ich in Übersetzung den einleitenden Abschnitt aus dem Text *"introductory comments"* von R.H. Howe und H.v. Foerster.

> "G. Spencer-Brown´s *calculus of indications* wird mit größter Kargheit durch einen einzigen Operator (den der Distinktion) der verschiedenes gleichzeitig leistet, realisiert. Da wir keine Indikation machen können, ohne eine Distinktion zu zeichnen, so wird dieses Zeichen, wenn es als Marke benutzt wird, um den Zustand anzuzeigen, der durch den Distinktor unterschieden wird, nämlich zum *Indikator* (denn der derart bezeichnete Zustand ist nun der bezeichnete Zustand); ein *Signal* (Distinktionen signalisierend); und ein *Intentor* (da der Gebrauch jeglichen Signals intendiert ist). Der Zustand, der nicht mit dem Zeichen markiert ist, ist der unbezeichnete (unmarkierte) Zustand."

Die Regeln der Verkettung (Konkatenation) dieses Operators zu einer 'primary arithmetic' werden von zwei Axiomen bestimmt (es werden keine weiteren benötigt):

> **Axiom 1**: The law of calling (Das Gesetz des Bezeichnens)
>
> *Der Wert einer wiederholten Bezeichnung ist der Wert der Bezeichnung*. Das heißt, wenn ein Name genannt wird und dann noch einmal genannt wird, so entspricht der Wert, der durch die beiden Bezeichnungen zusammengenommen angezeigt wird, dem Wert, der durch eine von ihnen angezeigt wird.
>
> Das heißt, für jeden Namen gilt: "Erinnern ist Nennen".
> (In Zeichen: $\overline{|}\,\overline{|} = \overline{|}$: A1 Die Form der Verdichtung)
>
> **Axiom 2** : The law of crossing (Das Gesetz des Überschreitens).
>
> *Der Wert eines wiederholten Überschreitens ist nicht der Wert des Überschreitens*. Das heißt, wenn beabsichtigt ist, eine Grenze zu überschreiten und dann beabsichtigt ist, sie noch einmal zu überschreiten, so entspricht der Wert, der durch die zwei Absichten zusammengenommen angezeigt wird, dem Wert, der durch keine von ihnen angezeigt wird.
> Das heißt, für jede Grenze gilt: wiederholtes Überschreiten ist kein Überschreiten.
> (In Zeichen: $\overline{\overline{|}|} =$: A2 Die Form der Streichung)."

Soweit (Howe, 1975). Unüblicherweise wird das Leerzeichen nicht notiert, daher steht auf der rechten Seite des Gleichheitszeichens von A2 nichts.

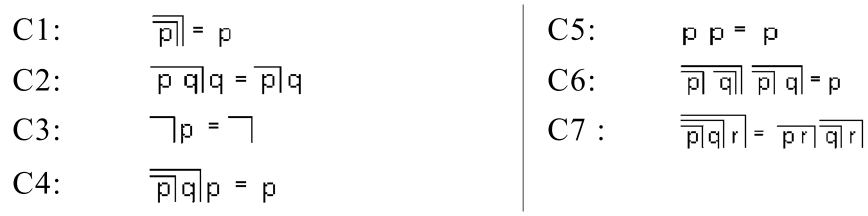
Anmerkung zur Übersetzung:
"calling" muß auch der Vieldeutigkeit des Indikators entsprechend, mit "rufen, rechnen, heißen, erachten und erwählen" in Verbindung gebracht werden, ebenso "crossing" mit "kreuzweise legen, durchstreichen, ausstreichen, widersprechen")

Mit zwei Anfängen wird die ´primary algebra´ etabliert (Spencer-Brown, 1969):

J1: Position $\overline{\overline{p|}\,p|} =$

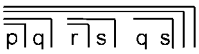
J2: Transposition $\overline{\overline{p\ r|}\ \overline{q\ r|}|} = \overline{\overline{p|}\ \overline{q|}|}\ r$

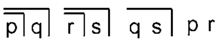
Theoreme:



Der Calculus of Indications ist mit den Anfängen A1 und A2, den Initialen Jl und J2 und den Regeln der Gleichheit vollständig und widerspruchsfrei.

Wie der Autor der Principia Mathematica, Bertrand Russell , G.Spencer-Brown´s Laws of Form kommentiert, ist der CI *"a new calculus of great power and simplicity"*. (Orchard, p. 101, 1975)

Durch seine Einfachheit und Strenge erzeugt der CI eine enorm optimierende Ökonomie im Bereich der Form. Eine Formel wie etwa $((p \supset q) \wedge (r \supset s) \wedge (q \vee s)) \supset (p \vee r)$ reduziert sich in CI schrittweise  von

auf 

auf 

(Anmerkung_vgo: das entspricht in der klassichen AL: ~q∧~s ∨ p∧r)

5.3 Kritik des Calculus of Indications

5.3.1 *Der Widerspruch in der Konzeption des CI*

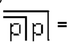
Zwischen der erkenntnistheoretischen Konzeption des CI und der Konzeption der Indikation besteht ein Widerspruch. Die Indikation ist hetero-referentiell, d.h. sie verlangt eine strenge Trennung zwischen Indikator (Observer) und Indikand (Marke). Wer die Aufforderung "Draw a distinction, mark it" befolgt, produziert eine ´distinction´, hinterläßt ein Produkt, eine Marke, die von ihm abgelöst und unterschieden ist. Andererseits bestimmt Brown das Verhältnis zwischen Observer und Marke lakonisch mit dem Satz *"An Observer is also a mark"*.

Ein Observer vollzieht eine Distinktion, ein Observer ist auch eine Distinktion, d.h. also eine Distinktion vollzieht eine Distinktion, eine Marke markiert eine Marke.

Dem entspricht selbstverständlich nicht eine hetero-, sondern eine selbstreferentielle Form.

Zwischen Konzeption und Formalismus der Indikation besteht somit selbst ein Widerspruch.

5.3.2 *Die Indikation ist nicht allgemeiner als der Wahrheitsbegriff*

Varela versucht die Widersprüchlichkeit der Selbstreferentialität als eigene Form in seinen Kalkül zu integrieren. Diese Domestikation zerstört jedoch die Grundstruktur der Indikation, die Heteroreferentialität, denn in ECI gilt das TND nicht mehr, d.h. das Axiom J1  ist ungültig. Die Trennung zwischen Indikator und Indikand, die für den CI konstitutiv ist, gilt nicht mehr. Der ECI liefert also nicht einen um eine neue Form erweiterten Kalkül, sondern schwächt, immunisiert den Calculus of Indications. Weiteres zu ECI, siehe §5.5

Der Grund liegt darin, daß der CI, im Gegensatz zu seinem Anspruch, nicht *"deeper than truth"* geht. Läge er tiefer als das Wahre, dann dürfte bei seiner Interpretation als Logik keine Abhängigkeit zwischen Wahrheitswert und Junktoren bestehen. Von den Interpretationsmöglichkeiten a) - d) sind nur a) und b) zulässig, d.h. nur sie erfüllen die Axiome des CI:

	p q	$\overline{p\,}\vert$	$\overline{}\vert$	Beispiel : $\overline{p\,}\vert\, p = \overline{}\vert$
a)	$\wedge$	~	F	$\sim p \wedge p = F$
b)	$\vee$	~	T	$\sim p \vee p = T$
c)	$\wedge$	~	T	$\sim p \wedge p = T$
d)	$\vee$	~	F	$\sim p \vee p = F$

Des weiteren ist leicht zu zeigen, daß die Axiome des CI sich bei den Interpretationen a) und b) als isomorph zu den Axiomen der Boole´schen Algebra erweisen, und diese ist bekanntlich gerade die Algebra des Wahren (siehe auch: P. CULL, W.FRANK.- Flows of Forms. In: Int. J. General Systems, Vol. 59 No. 41, 1979). Damit ist der Anspruch des *Calculus of Indications*, eine Domäne der Form unterhalb des Wahren eröffnet zu haben, widerlegt.

5.3.3 Kritik des Universalitätsanspruchs

Indikationen vollziehen sich in einem und nur einem Indikationsbereich bzw. eröffnen einen solchen. Mit den Mitteln des Indikationskalküls läßt sich diese Beschränkung auf einen Bereich Kontext, Kontextur nicht legitimieren. Die Mono-Kontexturalität, die das klassische Denken determiniert, ist die stillschweigende Voraussetzung der Indikationskonzeption sowohl von Spencer-Brown wie von Varela.

Die klassische Logik geht von den Aussagen, den Expressionen aus. Der CI dagegen von den Indikationen. Expressionen sind Zeichen für etwas, also Repräsentamen; Indikationen dagegen sind Zeichen von etwas.

Wissenschaft bestimmt sich durch den Gebrauch von Repräsentamen. Indikationen sind kontextspezifisch, determiniert durch den jeweiligen Standpunkt des Designers bzw. Observers und damit subjektiv, vorwissenschaftlich.

So betrachtet sind Indikationen sekundär, ihre Rationalität wird limitiert durch die Rationalität der Expressionen, durch die Rede, den Logos. Von einem transklassischen Standpunkt aus kehrt sich das Rangverhältnis von Expression und Indikation um. Durch die Einbeziehung des Designers in den Formalismus ist Kontext- und Standpunkt-abhängigkeit selbst ein formales Prinzip und muß nicht aus dem Bereich des Formalen eliminiert werden, um diesen zu etablieren. Damit reduziert sich die Absolutheit der klassischen Standpunktunabhängigkeit (Allgemeinheit und Allgemeingültigkeit) zu bloß einer Möglichkeit des transklassischen Formalismus (siehe auch §§ 7.3 – 7.6).

Unter der Voraussetzung der Mono-Kontexturalität besteht allerdings zwischen Indikation und Expression ein Isomorphismus: beide sind unter sich äquivalent, wenn auch semiotisch, entgegengesetzt wie Begriff und Zahl. Das Dogma der Mono-Kontexturalität stützt sich auf die Herrschaft der Expression. Es läßt sich daher sagen, daß der CI durch seine Fixierung an die Mono-Kontexturalität noch isomorph zur klassischen Aussagenlogik ist, daß er jedoch durch seine Verbindung mit dem Feld des Indikativischen Möglichkeiten ausgesetzt ist, die asymmetrisch zur klassischen Logik stehen und die seine eigene Limitierung auf Identität sprengen werden.

5.4 Selbstreferentialität als Re-Entry

Was den CI besonders interessant macht, ist die Möglichkeit ein 're-entry' zu bilden. D.h. eine Form kann in ihren eigenen Bereich eintreten, sich informieren. Diese Selbst-Information bzw. Selbst-Indikation wird als Selbstreferenz (SR) gedeutet. Damit wurde durch Spencer-Brown die Hoffnung geweckt, der CI sei ein Kalkül für Selbstreferenz.

Varela hat in seiner Arbeit "A Calculus for Selfreference" (1975, p.6) gezeigt, daß der CI mit 're-entry' zu einem Widerspruch führt.

Re-entry:

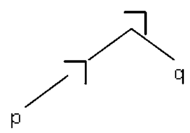
Das 're-entry' wird folgendermaßen erzeugt:

1. Die Form $\overline{\overline{a}\,b}$ läßt sich beliebig geradzahlig erweitern zu

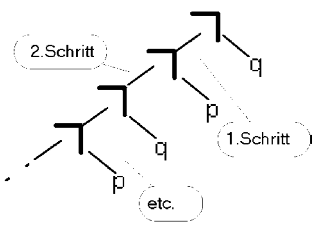
$$\overline{\overline{a}\,b} = \overline{\overline{\overline{\overline{a}\,b}\,a}\,b} = \overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{a}\,b}\,a}\,b}\,a}\,b} = \overline{\overline{\overline{\overline{\cdots\,\overline{a}\,b}\,a}\,b}}$$

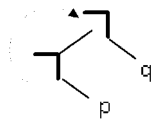
2. Es sei $f = \overline{\overline{\overline{\overline{\cdots\,\overline{a}\,b}\,a}\,b}}$, da f unendlich ist, läßt sich $f = \overline{\overline{\overline{f}\,a}\,b}$ bilden. Damit ist die Form **f** in ihren eigenen Definitionsbereich eingetreten, sie in-formiert sich selbst. Damit ist eine ´re-entry-Form´ erzeugt.

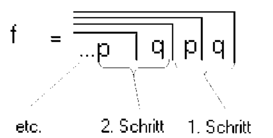
Um den Gedanken zu verdeutlichen, wiederhole ich ihn in der Formulierung von Varela.

Eine Formel sei als Baum notiert, also $f = \overline{\overline{p}\,q}$  sei:

Die ´re-entry´ entsteht nun durch eine Endlosschleife:

ausgeschrieben 

: 

d.h.: 

$$f = \overline{\overline{\overline{f}\,p}\,q} = \overline{\underline{q}\,p}$$

Varela zeigt (1975 p.6) durch einen einfachen Gedankengang, daß der CI mit 're-entry' widerspruchsvoll ist. Die einfachste Form von 're-entry' ist:

1) $f = \overline{f}|$ diese Form sei mit dem 1. algebraischen Anfang J1 von CI in Beziehung gebracht:

J1 $\quad \overline{p}|\,p =$

bzw. $\overline{p}|\,p = \overline{\ \ }|$

Nach G. Spencer-Brown haben wir nun

$$\overline{f}|\,f = \overline{\ \ }| \qquad \text{J1}$$

$f\,f = \overline{\ \ }|$ $\qquad$ (1), d.h. für " $\overline{f}|$" wird " f " substituiert

$f = \overline{\ \ }|$ $\qquad$ C1, C3 dabei istC1 : $\overline{\overline{a}|}| = a$

C3 : $\overline{\ \ }|\,a = \overline{\ \ }|$

Diese Annahme führt jedoch zum Widerspruch. Denn wenn wir das Resultat in (1) einsetzen, erhalten wir $\overline{\ \ }| = \overline{\overline{\ \ }|}|$, im Widerspruch zu J1.

Zu $f = \overline{f}|$ schreibt Kauffmann:

> "Yet $f = \overline{f}|$ describes itself and in so doing leads to a temporal interpretation. If marked, it flips to the unmarked state and vice versa, so on and forever. It is a prototype for condensation of active and passive modes. First it names its interior space by re-entry; then it becomes an operator and cancels itself , but not quite. Ready to indicate , it jumps up from the void state only to fall, again and again." (In: J. General Systems, Vol. 49 No. 39 1978, p.180).

5.5 Der Extended Calculus of Indications mit seinen Axiomen

Statt nun wieder zu einer Wertlogik zurückzukehren, domestiziert Varela diesen Widerspruch, erhebt ihn zu einer eigenen, autonomen Form, zum Paradigma der SR. Symbolisch als *"Schlange, die sich in ihren eigenen Schwanz beißt"* (Uroboros):

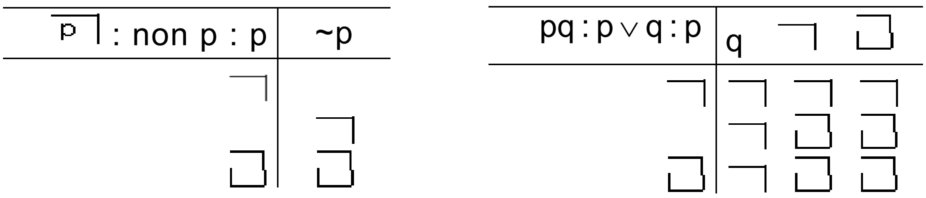
$$\square := f = \overline{f}|$$

Der um diese autonome Form erweiterte CI ist nun der ´Extended Calculus of Indications´ (ECI) mit seinen Axiomen:

J1: $\overline{\ \ }|\,w = \overline{\ \ }|$	A1: $\overline{\overline{p}|\,p}|\;p = p$
J2: $\overline{\overline{\ \ }|}| =$	A2: $\overline{\overline{p\,r}|\;\overline{p\,r}|}| = \overline{\overline{p}|\;\overline{p}|}|\;r$
J3: $\overline{\square}| = \square$	A3: $\overline{p\,\square}|\;p = p\,\square$
J4: $\square\,\square = \square$	

Der ECI wird in Varela (Varela, 1979) auch als Logik vorgestellt. Die Logifikation des ECI hat den Vorteil einer direkten Anknüpfung an die üblichen Methoden der KI und läßt sich als Logik leichter einordnen.

L(ECI) ist - wie nicht anders zu erwarten war - eine dreiwertige Logik mit den Wahrheitstafeln:

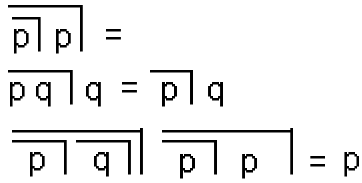


und den Axiomen von ECI nun logisch gedeutet.

5.6 Kritik des ECI

1. Sowohl als dreiwertige Logik wie als 'extended calculus of indications' ist der neue Kalkül schwächer als die ursprünglichen Kalküle CI und L(CI). Die neue Form " " bzw. der neue Wert "3" amputieren etwa die Formeln

   a)
   b) und
   c)

   Die Formel " $\overline{p|\,p}|$ = " ist dabei die Formel des Satzes vom ausgeschlossenen Dritten (TND). Es ist also hier die Kritik an der mehrwertigen Logik zu wiederholen

2. Weitere Kritik können wir uns ersparen, da Varela selber in (Goguen, Varela,1978, p. 299) eingesteht: *"The results are not really satisfactory. It can be done, but only though the introduction of certain ad hoc rules that make the calculus awkward"*. In (Varela, 1975, P.5) *steht "Self-reference is awkward"*. Varelas ECI ist somit ein "awkward calculus of awkwardness".

3. Es muß aber betont werden, daß die Arbeiten Varelas die einzigen sind, die in radikaler Direktheit versuchen, das Problem der Selbstreferenz für die KI-Forschung anzugehen. Nicht umsonst schreibt von Foerster, "notre socrate electronique" (Morin, p.28), *"with his calculus of the paradoxical, the self-referential, the autonomous, Varela has opened for the first time the possibility of a Calculus of Responsibility"* (von Foerster, p.3)

   Wenn nun auf der elementaren Ebene des 'calculus of indication' das Problem nicht lösbar ist, dann muß angenommen werden, daß die 're-entry'-Konzeption von Selbstreferenz *a priori* auch mit keinem anderen Kalkül lösbar ist. Es ist zu vermuten, daß die 're-entry'-Konzeption selber dem alten Paradigma angehört und eine neue Konzeption der Selbstreferenz erst entwickelt werden muß. Einen Schritt in dieser Richtung deutet Varela in op.cit.p.299 selber an: *"What must be re-examinated is the connection between re-entry and infinity or time. And this is much more an examination of the structure of re-entering forms, than the introduction of a value".*

4. In allen Arbeiten Varelas läßt sich ein unkritischer Gebrauch des Unendlichen feststellen. Der Übergang von der 're-entry'-Endschleife zur 're-entry'-Form "⊔" ist mit konstruktiven Mitteln nicht realisierbar, er bleibt daher unbegründet und ad hoc. Weiteres dazu in § 7.2.

6 Frage-Antwort- Systeme

6.1 Minimalbedingungen und Metakritik

Effizienz - und Disponibilitätsforderungen an die Mensch-Maschine-Kommunikation haben zur Entwicklung von Frage-Antwort-Sytemen, zur Formalisierung der Dialogkonzeption und der Konstruktion von Frage-Antwort-Logiken geführt.

Eine Metakritik der Epistemologie der Frage-Antwort-Systeme, bzw. jeglicher Dialogkonzeption muß

1) auf der Ebene der Logik dieser Systeme angesiedelt sein, und muß
2) untersuchen, welches Verhältnis zwischen Frage und Antwortsystem rein logisch besteht. Ist das Verhältnis hierarchisch, dann handelt es sich um eine uneigentliche Frage-Antwort-Logik, ist es heterarchisch, dann handelt es sich um eine eigentliche Frage-Antwort-Logik. Eine eigentliche Frage-Antwort-Logik muß von der Gleichursprünglichkeit (Heterarchie) von Frage- und Antwort-Sprechhandlungen ausgehen. Assertive wie interrogative Sprechhandlungen beanspruchen je einen eigenen Spielraum, d.h. eine eigene Logik.
3) Diese Logiksysteme müssen über ein drittes vermittelt und dürfen nicht unter das dritte System subsumiert werden.

Die Forderungen 1) - 3) stellen Minimalbedingungen für Frage-Antwort-Systeme dar.

Alle bekannten Frage-Antwort-Systeme, also die Interrogativ-Logik (erotetical logic), die dialogische Logik (Lorenzen), die prädikatenlogischen usw. Frage-Antwort-Systeme erfüllen die Minimalbedingungen 1) - 3) nicht. Sie subsumieren allesamt die Form der Frage-Sprechhandlung unter die Form der Antwort, dabei wird die Antwort als Behauptung, Aussage, Urteil gedeutet.

Eine Antwort ist jedoch primär keine Behauptung, sondern das Korrelat einer Frage. Eine Behauptung (Aussage, Urteil) kann unabhängig von einer Frage gemacht werden; epistemologisch entspricht ihr die Ich-Es-Relation. Behauptungen werden von einem (transzendenten) Subjekt über die Beschaffenheit eines Objektes gemacht.

Antworten dagegen stehen epistemologisch in der Ich-Du-Relation. Ein Subjekt fragt oder befragt ein anderes Subjekt und erhält eine Antwort. Beide Subjekte haben den Es-Bereich als gemeinsame Umgebung. Eine Antwort kann daher, wenn sie von der Ich-Du in die Du-Es-Relation verschoben wird, als Behauptung eines Du´s erscheinen. Die Reduktion des Frage-Antwort-Modells auf das Modell der Behauptung (Aussage, Urteil) heißt, daß die epistemologische Differenz zwischen Ich und Du als logisch irrelevant erklärt wird. Die Behauptung des Ich´s und die Behauptung des Du´s werden unter eine transzendente Subjektivität, unter ein Über-Ich subsumiert.

Gegen die Hierarchisierung von Frage- und Antwortsystemen im weitesten Sinne sei folgende Argumentation angeführt. Aristoteles teilt die Sätze in drei Satzformen ein:

a) Begehrungssätze (Bitten und Befehle)
b) Fragen
c) Aussagen (Behauptungen, Urteile)

Die Logik handelt nur von Aussagen. Eine Aussage ist ein Satz, der entweder wahr oder falsch ist. Die Aussagen wiederum werden unterteilt in:

a) allgemeine
b) partikuläre
c) bejahende
d) verneinende

Für die Aristotelische Logik sind die folgenden Kombinationen relevant:

1. allgemein bejahende
2. partikulär bejahende
3. allgemein verneinende
4. partikulär verneinende

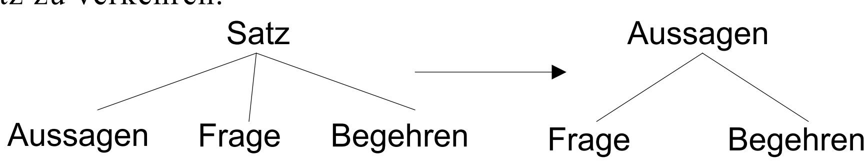
Damit sind alle Subsumtionsverhältnisse, die für die Aristotelische Logik relevant sind, angegeben. Die Logik ist gerade die Lehre dieser Subsumtionsverhältnisse. Der Begriff der Subsumtion ist also nur im Bereich der Aussagen definiert und gültig. Da die Subsumtion nur innerhalb der Aussagensysteme gültig ist, kann das Verhältnis von Fragesatz und Aussage nicht selbst wiederum subsumtiv geregelt sein.

Genau genommen kann es somit gar keine Logik der Frage-Antwort-Systeme geben. Da Aristoteles die Sätze trotzdem in drei verschiedene Bereiche aufgeteilt hat, sind wir gezwungen, zusätzlich zur Subsumtion und deren Hierarchisierung, noch ein zweites Teilungsprinzip anzuerkennen. Da dieses kein Prinzip der Unter- und Über-ordnung (sub-sumtion, sub-ordination) sein kann, muß es, soll es sich dabei um eine nachvollziehbare Ordnung (ordination) handeln, eine Neben-ordnung, eine Ko-ordination sein. In der aristotelischen Einteilung der Sätze sind somit zwei gegensätzliche Prinzipien wirksam:

das Prinzip der Hierarchie und das Prinzip der Heterarchie. Das letztere greift rückwirkend in den Bereich der Prinzipien ein und dynamisiert ihn.

Die aristotelische Tradition und die mit ihr verbundene Konzeption von Wissenschaftlichkeit überhaupt ist bekanntlich dem Prinzip der Hierarchie gefolgt und hat bis heute das Prinzip der Heterarchie und mit ihm alles Mehrdeutige, Überdeterminierte, Paradoxe usw. in den Orkus des Irrationalen abgeschoben.

Fragesätze unter Aussagen subsumieren zu wollen, heißt das allgemeine Verhältnis von Frage und Satz zu verkehren.



Wenn Aussagen den Status von Sätzen einnehmen, können bzw. müssen Fragesatz und Begehrensatz unter sie subsumiert werden. Diese Konstellation ist charakteristisch für autoritäre Systeme, da jede Frage in den Bereich der schon gefällten Aussagen, Urteile, Behauptungen gewiesen wird.

Diese Konzeption läßt sich mit Erfolg für EDV-Systeme anwenden, reduziert jedoch die Mensch-Maschine-Kommunikation auf eine mechanische Ich-Es-Relation.

Unter der Herrschaft der Logik ist allerdings eine andere als subsumtive bzw. hierarchische Ordnung zwischen den Satzformen nicht denkbar.

Spontameität und Kreativität im Frage- und Antwortverhältnis ist nur möglich, wenn die Frage aus der Subsumtion der Aussage entlassen wird und beide Systeme ihre je spezifische Eigengesetzlichkeit zur Geltung bringen können Dialoge mit bewußtseinsanalogen Maschinen müssen also davon ausgehen, daß zwischen Frage-Antwort-Ssystemen nicht eine Hierarchie, sondern eine Heterarchie das Verhältnis regelt.

Zur Literatur:
Einführung: (Belnap, 1976),
Literatur: (Egli, 1976)
Überblick: IKP-Forschungsberichte und Anhang II

6.2 Die Interrogativ-Logik

führt auf der Grundlage der Aussagenlogik, also einer Logik der Urteile, diverse Frage-Funktoren ein und untersucht die Gesetze dieser durch jene Funktoren erweiterten Logik. Wie die Context-Logik ist auch die Interrogativ-Logik eine angewandte und keine reine Logik und daher nur für beschränkte praktische Zwecke geeignet.

Wie sich das hierarchische Verhältnis zwischen Aussagen und Fragen im logischen Formalismus zeigt, sei kurz dargestellt. Die Hierarchisierung zeigt sich nicht immer offen und oft suggeriert die Darstellung das Gegenteil.

So schreibt J.A. Petrov klar, daß Aussagen "wahr" oder "falsch" sind, Fragen jedoch weder wahr noch falsch. Fragen sind "korrekt" oder "inkorrekt" Da Petrovs Erotetical Logic (1969) (Fragelogik) die Gültigkeit der klassischen Aussagenlogik unangetastet läßt, enthält sie zwei verschiedene Formelsorten:

a) reine aussagenlogische Formeln mit den Werten "T" (True) und "F" (False), also $p, q \in \{T, F\}$
b) Formeln mit dem Operator "?" also Fragen mit den Werten "C" (Correct) und "I" (Incorrect), also $A, B \in \{C, I\}$

Es scheint als ob Frage- wie Aussagesystem autonom wären. Beide haben ihre je eigene Semantik. Für Aussagen gilt etwa $(A \wedge B = T) \mathrel{\hat{=}} ((A = T)\ \underline{\text{und}}\ (B = T))$ und für Fragen etwa $(A \vee B = C) \mathrel{\hat{=}} ((A = C)\ \underline{\text{oder}}\ (B = C))$ und für Mischformen $((A \vee p) = T) \mathrel{\hat{=}} (A = C)$ und
$((p \supset A) = C) \equiv ((A = C)\ \underline{\text{und}}\ (p = T))$.

Die Herrschaft der Aussagen(logik) über die Frage(logik) verrät sich jedoch an der Definition der Negation, diese gilt nämlich nur für die Aussagen:

$$((\sim p) = T) \equiv (p = F)$$
$$((\sim p) = F) \equiv (p = T)$$

jedoch $((\sim A) = C) \equiv (A = C)$

D.h. die negierte Frage ist korrekt genau dann, wenn die unnegierte positive Frage korrekt ist. Mit anderen Worten: "This rule is substantiated in that, if there is an answer for a negative question, then there ist an answer for the positive question, and vice versa". (Petrov, 1969, p.19)

Die Korrektheit der Frage wird also auf die Wahrheit der Antwort (Aussage) reduziert. Die Negation kann die Wahrheit und Falschheit der Aussage regeln, jedoch nicht die Korrektheit und Inkorrektheit der Frage. Inkorrekte Fragen werden in Abhängigkeit zu falschen Aussagen definiert:

$$((A \wedge p) = I) \equiv ((A = C) \underline{\text{und}} (p = F))$$
$$((p \supset A) = I) \equiv ((p = F) \underline{\text{und}} (A = C))$$

Damit ist angezeigt, daß die Fragelogik Petrovs die Frageform unter die Logik der Aussagen subsumiert, obwohl er den Fragen eine, eigene Semantik (Correct / Incorrect) zugesteht. Die Semantik der Frage wäre nur dann autonom, wenn sie eine eigene Negation besitzen würde. Eine zweite mit der ersten gleichrangige Negation würde jedoch gegen die logische Forderung der Eindeutigkeit verstoßen und damit den Rahmen des Logischen sprengen.

6.3 Die dialogische Logik

von Lorenzen und Lorenz ist eigentlich keine Frage-Antwort-Logik. Sie benutzt den Dialog zwischen einem Proponenten, der eine Aussage behauptet und einem Opponenten, der diese angreift, als metatheoretische Beweismethode für logische Aussagen, die per se keine Frage-Funktoren enthalten. Diese Methode läßt sich für klassische, intuitionistische usw. aber auch für mehrwertige Fuzzy-Logiken mit Erfolg benutzen. (Giles, 1976)

Der Dialog zwischen Opponent und Proponent gilt ausschließlich der dialogischen, Wahrheit d.h. der Gewinnbarkeit im Dialog und nicht dem Dialogischen. Die Dialog-Partner haben eine ausschließlich dienende Funktion. Es kann nie der Fall eintreten, daß beide zugleich, jeder von seinem Standpunkt aus, zur Wahrheit gelangen und damit eine dialogische, Wahrheit realisieren.

Das TND, das in der dialogischen Logik bezüglich der Wertdefinitheit der Aussagen abgelehnt wird, erzwingt seine Gültigkeit auf der metatheoretischen Ebene zwischen Opponent und Proponent: entweder der Opponent oder der Proponent gewinnt einen Dialog um eine Aussage, ein Drittes ist ausgeschlossen. Diese Beschränkung auf nur zwei Dialog-Partner ist dialogisch nicht begründbar. Warum nicht eine Vielzahl von Kommunikations-Partnern? Doch nur deswegen, weil es der Dialoglogik nicht um einen Dialog, sondern um die (eine und einzige) Wahrheit geht. Die Dialoglogik ist die Logik des sokratischen Dialogs und leugnet die Polylogik.

Im Unterschied zu allen hier untersuchten Logiken, ist die Dialoglogik, obwohl in ihr das TND auch nicht gilt, nicht auf eine mehrwertige Logik zurückzuführen. Lorenzens Kritik führt zu einer Ablehnung jeglicher vorgegebenen Wahrheitswert-Semantik. Die Dialogdefinitheit der Aussagen erweist sich als allgemeiner als die Wertdefinitheit.

Epistemologisch betrachtet, handelt es sich bei der Dialoglogik nicht um die Ich-Du-Relation, sondern um die Ich-Es-Relation. Durch das Paar Opponent-Proponent wird nicht eine Ich-Du-Differenz markiert, sondern nur die Differenz von denkendem und gedachtem Ich. Die Dialogkonzeption der Dialoglogik entspricht somit dem Monolog. Zu Recht schreibt Lorenzen/Lorenz (1978, p.VII): *"Die ´dialogische´ Logik ist keine neue Logik ..."*

7 Linearität / Solipsismus / Polykontexturalität

7.1 Zusammenfassende Kritik

Die drei Tendenzen (Fuzzy-Logic, Context-Logic, Extended Calculus of Indications) lassen sich verstehen als erneute Versuche, das Gödel´sche Theorem, das als metalogisches Theorem die immanenten Grenzen jeglicher KI-Forschung angibt, zu um-, hinter-, übergehen, ohne dabei direkt an Ergebnisse und Strategien zur Vermeidung von Antinomien in der älteren Logikforschung anzuknüpfen.

Alle drei Tendenzen sind aufs engste mit der mehrwertigen Logik verbunden. Die ´context logic´ ist zwar per se nicht mehrwertig, sie gilt für die 2-wertige wie für die m-wertige, sie erhält jedoch ihre volle Bedeutung erst im Zusammenspiel mit der ´logic of significance´ die nicht nur eine drei-wertige Logik ist, sondern diese auch eindrücklich zu rehabilitieren versucht.

Die ´fuzzy logic´ ist entweder direkt eine mehrwertige Logik oder eine m-wertige Logik 2. Stufe (eine endlichwertige-unendlich-wertige Logik).

Der ECI ist zwar als indikativer Kalkül der Form noch kein Logikkalkül, arbeitet jedoch mit drei bzw. unendlich vielen Grundformen. Die Logifizierung von ECI liefert einen m-wertigen Logikkalkül à la Kleene mit dem Unterschied, daß die Werte nicht ad hoc eingeführt werden, sondern in ECI generiert werden.

Bei den genannten Erweiterungsversuchen - wie auch allen anderen mir bekannten "Alternativ-Logiken" handelt es sich im Prinzip darum, <u>innerhalb</u> des formalen Systems Parametrisierungen von Systemvariablen vorzunehmen und Systemkonstanten zu variablisieren.

Im nachhinein läßt sich sagen, daß keine wesentlich neuen Ergebnisse erzielt wurden - ausser eine Fülle von praktischen Methoden und Applikationen. Es ist daher nicht verwunderlich, daß von rein logischer Seite sowohl die ´fuzzy logic´ wie auch die mehrwertige Logik in ihren Ansprüchen neue Logiken zu sein, stark kritisiert wurden (Haack, 1974 und Scott, 1976).

7.2 Kritik der Linearität

Fragt man sich, was der eigentliche Grund für das tendenzielle Scheitern der verschiedenen skizzierten Kalküle ist, so läßt sich folgende Antwort geben:

Allen Kalkülen gemeinsam und von keiner Tendenz hinterfragt sind die allgemeinen semiotischen und im Speziellen arithmetischen Voraussetzungen. Jeder Kalkül ist erst einmal nichts anderes als ein formales System mit einem Zeichenrepertoire und diversen Verknüpfungsregeln und hat zur Grundlage das <u>Induktionsprinzip</u> $P(O) \wedge (P(n) \rightarrow P(n+1)) \rightarrow \forall n\, P(n)\, P$. In Worten: Wenn eine Eigenschaft P dem Ausgangsobjekt O zukommt und wenn aus der Tatsache, daß sie einem beliebigen Gegenstand n zukommt, folgt, daß sie auch dem Gegenstand $n+1$ zukommt, so kommt die Eigenschaft P allen Gegenständen zu.

Das Induktionsprinzip ist kein logisches, sondern ein spezifisch arithmetisches Prinzip. Es setzt die prinzipielle Linearität und Lückenlosigkeit (Konnexität) der Reihe der natürlichen Zahlen voraus. Mit anderen Worten, es hat zur Voraussetzung die Einzigkeit der Reihe der natürlichen Zahlen (Kategorizität des Peano-Axiomen-Systems). Es gibt nur eine Reihe der natürlichen Zahlen und alles Mathematische und auch alle Kalküle versammeln sich letztlich auf dieser Linie. Die Linearität (Sequentialität) ist das Grundprinzip aller Formalismen.

Es ist daher kein Zufall, daß Spencer-Brown von seinen Lesern nicht mehr an Voraussetzung verlangt, als eben gerade dieses unhinterfragte Vertrauen in die Reihe der natürlichen Zahlen. Schon ein Ernstnehmen der Metaphorik "Linie" zeigt, daß der "Kreis" (die Selbstrückbezüglichkeit) innerhalb des Kalküls der Linearität ein Wunschtraum bleiben muß.

Der Wunschtraum heißt: Eine "Linie" wird im "Unendlichen" zum "Kreis".
Wiederholen wir vonFoerster´s Explikation der Brown´schen und Varela´schen ´re-entry´ (Uroboros) – Spekulation:

> $f(X)$ sei die Form einer algebraischen Formel, dann lassen sich Formeln beliebiger Länge erzeugen:
> $y = f^{(n)}(X_n)$
> Für $n \to \infty$ erhalten wir einen rekursiven Ausdruck unendlicher Länge und wegen der Gleichheit von
> $$y = \lim_{n\to\infty} f^{(n-1)}(X_{n-1}) = \lim_{n\to\infty} f^{(n)}(X_n)$$
> erhalten wir $y = f(y)$, also $f = \overline{f}|$ und dieser Ausdruck wird von Varela mit dem Symbol für ´re-entry´, ´selfreference´, ´autonomy´ "⌊⌉" bezeichnet. (vonFoerster, 1975.) Unter der Voraussetzung der Abstraktion der potentiellen und der absoluten Realisierbarkeit (Petrov, 1971) läßt sich diese Konstruktion wohl denken, sie läßt sich jedoch nicht operativ und faktisch realisieren. Die Aufgabe der KI-Forschung ist jedoch die faktische Realisation und nicht die abstrakte Spekulation. Die einzige Tendenz in der mathematischen Grundlagenforschung, die sich wagt, die unbeschränkte Gültigkeit der Abstraktion der potentiellen Realisierbarkeit zu hinterfragen, ist der Ultra-Intuitionismus. Von philosophischer Seite ist es die auch mathematisch radikalere Polykontextualitätstheorie Gotthard Günthers. Beide Theorien sind noch wenig erforscht und haben Anlaß zu absurden Mißverständnissen gegeben.

Die unkritische Übernahme des Prinzips der potentiellen Realisierbarkeit aus der Mathematik in die KI-Forschung bringt diese in Widerspruch zu ihrem Prinzip der Machbarkeit. Machbar ist danach nur das, was finit und eindeutig formulierbar ist (McCulloch und Pitts, 1965).

Der Ultra-Intuitionismus ist nun in der Lage zu zeigen, daß nicht einmal die natürlichen Zahlen finit und eindeutig definierbar sind. Die natürlichen Zahlen und ihre Arithmetik sind jedoch der Prototyp einer konstruktiven, d.h. machbaren Theorie. Die Einführung der natürlichen Zahlen unter dem Postulat der Einzigkeit der Reihe der natürlichen Zahlen führt zu einem Zirkel: die einzuführenden Zahlen werden bei der Einführung als schon existent und disponibel vorausgesetzt. Die klassische Logik verbietet jedoch Zirkelschlüsse.

Eine Zahl Zn wird definiert als die n-fache Anwendung der Nachfolgeoperation X auf die Anfangszahl (Null) Y, also

$$X^n\, Y = X(X(\ldots(XY)\ldots)) \quad \text{für} \quad n > 0$$

Die Zahl 10^{12} wird danach definiert durch die 10^{12}-fache Anwendung der Nachfolgeoperation

$$Z_{10^{12}} = X^{10^{12}}Y = \underbrace{X(X(\ldots(XY)\ldots))}_{10^{12}\,X\text{'s}}$$

Woher weiß man, daß 10^{12} eine Zahl ist? Offensichtlich muß schon vor der Konstruktion der Zahl 10^{12} bekannt sein, daß sie eine in der Reihe der natürlichen Zahlen vorkommende Zahl ist, sonst ließe sie sich ja nicht als Schrittzahl benutzen. Würde sie in der Zahlenreihe nicht vorkommen, würde sie durch die Schrittzahl gerade konstruiert und würde somit im Widerspruch zur Annahme doch vorkommen. Kommt sie jedoch vor, so entsteht ein Zirkel, da sie, will man sie konstruieren, sich selbst als Schrittzahl voraussetzt.

Dieser Zirkularität entgeht man nur dann, wenn die traditionelle Annahme der Eindeutigkeit der Reihe der natürlichen Zahlen aufgegeben wird und eine Vielzahl von Zahlenreihen und eine Vielzahl von korrespondierenden Logiksystemen zugelassen wird. (Yessenin-Volpin,1970; Günther, 1973) Die aufgewiesene prinzipielle Zirkularität mag in der Reichweite der endlichen, konkret erzeugbaren Zahlen nicht ins Gewicht fallen, da die Existenz der jeweiligen Schrittzahl gesichert ist. In der KI-Forschung sind jedoch kleine Zahlen uninteressant, selbst astronomische Zahlen erscheinen bei der Modellierung kognitiver Funktionen als recht klein.

Große Zahlen werden leicht durch die Potenzfunktion erzeugt:

$$e(m,n) = m^n$$

Die Potenzfunktion läßt Zahlkonstruktionen zu, die durch Addition und Multiplikation allein nicht möglich sind, so etwa die Bernayszahl $67^{257^{729}}$.

Jede Komponente dieser Zahl ist faktisch realisierbar. Bei dem Versuch die faktische Realisierbarkeit der Bernayszahl zu beweisen, entsteht der bekannte Zirkel, daß diese als Schrittzahl der Induktion vorausgesetzt werden muß.

Parikh hat nun in einer wichtigen Arbeit (Parikh, p.26) beweisen können, daß die Potenzfunktion $e(n,n) = n^n$ nicht faktisch realisierbar ist. D.h. daß die Zahl n^n faktisch realisierbar sein kann, z.B. 10^{10}, daß jedoch aus zwei Zahlen m, n die faktisch realisierbar sind, die Potenzfunktion $e(m.n)$ nicht faktisch realisiert werden kann: die arithmetische Formel $\forall x \forall y \ni z : x^y = z$ ist nicht faktisch realisierbar. Das KI-Prinzip der faktischen Machbarkeit (McCulloch-Pitts) trifft also nicht einmal für das elementarste Instrumentarium der KI-Forschung selbst zu. Die Bindung der Machbarkeit an die Eindeutigkeit ist also nicht haltbar. Eindeutigkeit heißt logisch (Zweiwertigkeit und)

Hierarchie. Es ist bis heute von der KI-Forschung übersehen worden, daß McCulloch schon 1945 sich gezwungen sah, das Hierarchieprinzip durch ein komplementäres Heterarchieprinzip zu ergänzen. Heterarchien erzeugen zirkuläre Relationen und verstoßen damit gegen ein Hauptgesetz der Logik, nämlich gegen die Transitivität. Statt $a \to b, b \to c \Rightarrow a \to c$ entsteht $a \to b, b \to c \Rightarrow c \to a$. Nach McCulloch entstehen Intransitivitäten aufgrund irreduzibler Komplexität (weitere Argumente dazu, siehe Kaehr, "Das Messproblem...", §21, 1980).

Das Problem des potentiellen und des aktuellen Unendlichen - von einer Kritik des Aktual-Unendlichen - sehen wir ab, da es schon vom Konstruktivismus (etwa Lorenzen) kritisiert wird - taucht in allen von uns skizzierten Kalkülen auf:

d) Für die Konstruktion einer einzelnen Form für Selbstreferentialität in ECI, nämlich "$\lrcorner$" ist das Aufgebot unendlich vieler ´re-entry´-Schritte nötig. Nämlich 1) das Potentiell-Unendliche als Schrittzahl der ´re-entry´ und 2) das Aktual-Unendliche als finite Form in dem die potentielle Unendlichkeit der Schrittzahl aufgehoben ist.

e) Für die Vermeidung einer antinomischen Situation mit Hilfe der mehrwertigen Logik sind unendlich viele Werte erforderlich.

f) Die Context Logic stoppt den unendlichen Regress durch einen Universalkontext, der selber von unbegrenzter Extension ist.
g) Die dialogische Logik vollzieht den Übergang von den materialen zu den formalen Dialogen durch eine "Einsicht", womit sie sich als intuitionistische Logik auszeichnet. (Lorenzen, p. 2, 1978)

7.3 Solipsismus-Kritik

Betrachten wir die oben skizzierten Logik- und Kalkülkonzeptionen, so fällt auf, daß sie alle eine solipsistische Grundlage haben.

Ein Subjekt, ein Observer usw. vollzieht – etwa im CI oder ECI - eine Distinktion in einem Distinktionsbereich, macht eine Aussage im Aussagenkalkül usw. Das Subjekt dieser Tätigkeiten bleibt jedoch ausserhalb des Kalküls, der Kalkül erscheint als subjekt- bzw. standpunktunabhängig. D.h. jedoch, daß alle konkreten Subjekte, die einen konkreten Kalkül benutzen, sich diesem einen und einzigen Subjekt (des Kalküls), dem Subjekt überhaupt, einem Über-Ich, unterordnen müssen. Die klassischen Kalküle haben eine transzendente Subjektivitätskonzeption zu ihrer Voraussetzung. Solange die Logik nur die Aufgabe hat, die allgemeinen Gesetze der objektiven, d.h. von jeder Subjektivität befreiten Welt, zu beschreiben, ist diese Konzeption optimal. Sie entspricht dem klassischen Paradigma: "The properties of the observer shall not enter into the description". ('Howe u. von Foerster, 1975)

Die KI-Forschung hat jedoch die Aufgabe, gerade Subjektivität zu modellieren. Sie soll also Subjektivität in technischen Modellen simulieren, ohne sie dadurch zu verdinglichen. Sie steht also vor dem Paradox, Subjektivität zu objektivieren. Das gelingt ihr aber nur dann, wenn ihre Kalküle Subjektivität nicht ausschließen, sondern einschließen. Eine eingeschlossene, in einem Kalkül, d.h. auch in die Welt eingeschlossene Subjektivität, ist im Gegensatz zur transzendenten eine immanente Subjektivität (Günther, p. 3329, 1976).

7.4 Polykontexturalitätstheorie

Gotthard Günther hat diese Konzeption einer immanenten Subjektivität und ihre Folgen für die Kalkültheorie ausführlich entwickelt.

"Ist aber die Autonomie der Ich-Subjektivität gegenüber der Du-Subjektivität nicht in einem absoluten Subjekt aufhebbar (...), dann wird der Gegensatz von Ich und Du für die formale Logik relevant."
"Jedes Einzelsubjekt begreift die Welt mit derselben Logik, aber es begreift sie von einer anderen Stelle im Sein." (Günther, Bd. 111, 87)

Die Stellenwerttheorie gibt nun an, wie die eine Logik von verschiedenen Einzelsubjekten angewandt wird und wie das Zusammenspiel von Gleichheit (der Logik) und Verschiedenheit (des Standpunktes) formal vor sich geht.

Die klassische Form-Inhalt-Konzeption, die eine entsprechende Trennung zwischen Logik-Theorie und Anwendung der Logik erzwingt, ist in der Güntherschen Stellenwerttheorie aufgehoben. Sie ist eine Theorie der Applikation (Praxis) der (logischen) Theorie.

Die Günthersche Stellenwertlogik ist ursprünglich aus einer Kritik an der mehrwertigen Logik entstanden. Statt, wie in der klassischen mehrwertigen Logik die neuen Werte als Zwischenwerte, Werte etwa zwischen "0" und "1", also zwischen "wahr" und "falsch", zu deuten, hat Günther sie als Stellen-Werte, die den Ort eines Wertpaares, d.h. einer Logik angeben, interpretiert. Diese Günther-Logik wurde in (Kaehr, 1978) mit Hilfe der Tableau-Methode ausführlich dargestellt.

Hier geht es mir darum, mit den einfachsten technischen Mitteln einen Einblick in die Möglichkeiten der Konstruktion neuer Strukturzusammenhänge zu geben. Das scheint am einfachsten an Hand des Calculus of Indications möglich zu sein, da er im Vergleich etwa zur Aussagenlogik ein Minimalkalkül des Formalen darstellt.

Die Taktik ist folgende:

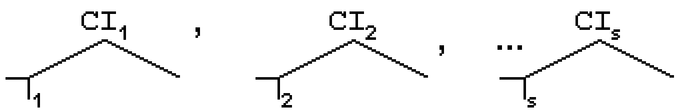
a) Alle bisherigen Erweiterungsversuche haben irgendwelche Änderungen innerhalb des jeweils vorgegebenen Kalküls unternommen (Parametrisierung der Wahr-Falsch-Dualität für die mehrwertige Logik, der Elementbeziehung für die Fuzzy-Logik, der Satzvariablen für Kontextlogik usw.). Diese Parametrisierungen werden konservative Erweiterungen genannt, weil sie die ursprüngliche Konzeption der Form bewahren. Sie erzeugen (notwendige) Liberalisierungen der Kalküle, die oft mit einer besseren Anpassung an ökonomische Erfordernisse einhergehen. Einer immanenten Erweiterung wird hier nicht weiter nachgegangen.

b) Eine Erweiterung von Aussen scheint unsinnig zu sein, da das Aussen entweder selber wieder ein Kalkül wäre, oder aber von ganz anderer Art und daher nicht nachvollziehbar. Es bleibt also nur noch die Möglichkeit die eine Logik bzw. den einen Kalkül sowohl als Aussen wie auch als Innen, als transzendent wie auch als immanent, zu interpretieren und zu gebrauchen. Kurz gesagt: Wir vermehren, distribuieren den einen Kalkül und verketten, vermitteln die einzelnen Kalküle miteinander. Ohne daß intern am Kalkül etwas verändert wird, wird seine Hegemonie gebrochen, er wird vermaßt. Die Einheit wird zur Vielheit. Diese Vielheit, die erst rein numerischer Art ist, wird durch die Vermittlung der Kalküle strukturiert. Die Vielheit zerfällt nicht isolierten Elemente, sondern wird ein strukturiertes Ganzes, eine System-Ganzheit. Dieser Distributions- und Vermittlungsprozess wird hier kurz skizziert, eine genauere Darstellung erfährt er bzgl. der Logik in (Kaehr, 1978).

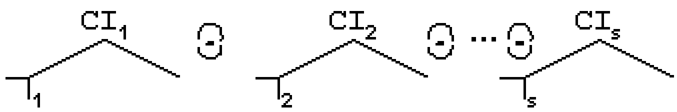
7.5 Der 3-Kontexturale Indikationskalkül

Das Vermittlungsschema

1) Distribution:



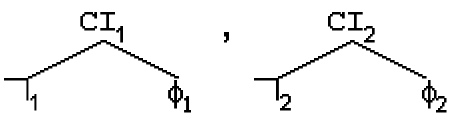
2) Vermittlung:



Wir untersuchen die Vermittlung von CI_1 und CI_2, es gelte also m=3. Beide seien isomorph $CI_1 \cong CI_2$. Beide stellen den vollen CI dar und unterscheiden sich nur durch den Index. Der Index gibt die zwei Stellen der Realisation des (einen) CI an. Zur Verdeutlichung:

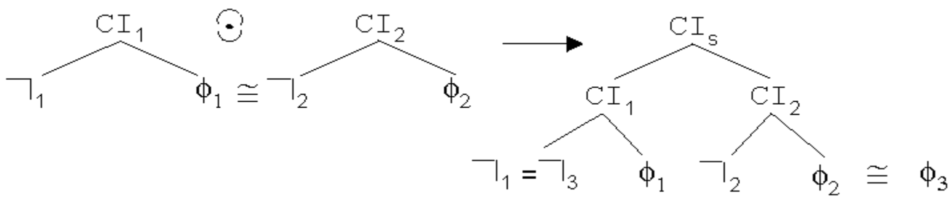
CI_1 wird von Subjekt S_1 = "ich"
CI_2 wird von Subjekt S_2 = "du"
CI_3 wird von S_1 und S_2 = "wir" realisiert.

Distribution:



ϕ_i ist dabei das notierte Leerzeichen

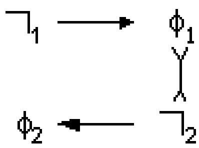
Vermittlung:



Distinktionsvermittlung (DV)

Die Distinktionskette $\urcorner_1 \longrightarrow \phi_1 \cong \urcorner_2 \longrightarrow \phi_2$ hat

1) eine chiastische Struktur :



$$\begin{tikzcd} \urcorner_3 \arrow[r, phantom, "\cong"] \arrow[d] & \urcorner_1 \arrow[r] & \phi_1 \arrow[d, leftrightarrow] \\ \phi_3 \arrow[r, phantom, "\cong"] & \phi_2 & \urcorner_2 \arrow[l] \end{tikzcd}$$

und generiert: $\urcorner_3 — \phi_3$, ist also insgesamt:

und besitzt 2) die <u>Ordnung</u> : $\urcorner_1 < \urcorner_2 < \phi_3$

Aus 1) und 2) folgt :

- Das System $[\urcorner_1, \phi_1, \urcorner_2, \phi_2]$ ist durch [Ordnung, Umtausch, Ordnung] charakterisiert.
- Zwischen ϕ_1 und $\urcorner_2$ besteht eine Umtauschrelation: Unmarkiert$_1$ wird zu markiert$_2$ und umgekehrt.
- Zwischen $\urcorner_i$ und ϕ_i , i=1,2 besteht eine Ordnungsrelation.

Vermittlung der Primärarithmetik :

A 1.1 : $\urcorner_1\;\urcorner_1 = \urcorner_1$

A 1.2 : $\urcorner_2\;\urcorner_2 = \urcorner_2$

A 1.2 : $\urcorner_1\;\urcorner_2 = \urcorner_2\;\urcorner_1$

A 2.1 : $\overline{\urcorner_1}\rceil_1 = \phi_1$

A 2.2 : $\overline{\urcorner_2}\rceil_2 = \phi_2$

A 2.3 : $\overline{\urcorner_1}\rceil_2 = \overline{\urcorner_2}\rceil_1$

A 2.4 : $\overline{\phi_1}\rceil_2 = \overline{\phi_2}\rceil_1$

Vermittlung der Primäralgebra :

<u>Position</u> J1.1 : $\overline{\overline{p}\rceil_1\, q}\rceil_1$

$$\begin{array}{c|c|c} \phi_1 & p^2 & p^2 \end{array}$$

J1.2 : $\overline{\overline{p}\rceil_2\, q}\rceil_2$

$$\begin{array}{c|c|c} p^3 & \phi_2 & p^3 \end{array}$$

<u>Transposition</u> J2.1 : $\overline{\overline{p\,r}\rceil_1\,\overline{q\,r}\rceil_1}\rceil_1$

$$\begin{array}{c|c|c} \overline{\overline{p}\rceil_1\,\overline{q}\rceil_1}\rceil_1\; r & pqr & pqr \end{array}$$

J2.2 : $\overline{\overline{p\,r}\rceil_2\,\overline{p\,r}\rceil_2}\rceil_2$

$$\begin{array}{c|c|c} pqr & \overline{\overline{p}\rceil_2\, q} & pqr \end{array}$$

<u>Dislokation für Distinktion</u>

J3.1 : $\overline{p^2}\rceil_1 = \overline{p^1}\rceil_2$

J3.2 : $\overline{p^3}\rceil_1 = p^2$

J3.3 : $\overline{p^1}\rceil_3 = \overline{p^2}\rceil_2$

J3.4 : $\overline{p^2}\rceil_3 = \overline{p^1}\rceil_1$

J3.5 : $\overline{p^3}\rceil_2 = p^1$

Dislokation für Konkatenation

J4.1 : $p^1p^2 = p^1p^3 = p^1$

J4.2 : $p^2p^3 = p^3$

Der durch die Axiome A und die Initialen J definierte Kalkül 3-CI regelt das relativ autonome Funktionieren der einzelnen Kalküle CI im Gesamtkalkül 3-CI. Die Dislokationsgesetze regeln den Übergang zwischen den Teilkalkülen. Soll nun das

Funktionieren des Gesamtkalküls 3-CI als solches thematisiert werden, müssen zusätzliche Axiome eingeführt werden. Wir beschränken uns auf Beispiele:

a) Die einzelnen Formen des Tertium non datur $\overline{\overline{p}\rceil_i\ p\rceil_i} = \phi_i$ gelten für die Teilkalküle CI_i , i=1,2,3.
Der Gesamtkalkül 3-CI besitzt drei Grundformen $\rceil_1, \rceil_2, \phi_3$ und benötigt daher nicht einen Satz vom ausgeschlossenen Dritten, sondern einen <u>Satz vom ausgeschlossenen Vierten</u> :

$$\overline{\overline{p}\rceil_1\ \overline{p}\rceil_3\ p\rceil_3} = (\phi_3.\phi_3.\phi_3)$$

Im Gegensatz zu allen anderen in diesem Text analysierten Logiken wird hier das TND nicht verworfen oder negiert, sondern distribuiert und vermittelt. Eine bloße Verwerfung des TND bleibt dem klassisch-logischen Paradigma verhaftet, da die Verwerfungsoperation selbst nichts anderes sein kann als eine Negation in der Metasprache. Eine nicht negationale Verwerfung, etwa eine Transjunktion, hat Distribution und Vermittlung zur Voraussetzung.

b) Des weiteren wären Mischformen, zu untersuchen, wie etwa für Jl: $\overline{\overline{p}\rceil_i\ q}\rceil_j$ Formen mit $i \neq j$:

$$\overline{\overline{p}\rceil_1\ p}\rceil_2 = \overline{p}\rceil_1\ \overline{p}\rceil_2$$

$$\overline{\overline{p}\rceil_2\ p}\rceil_1 = \overline{p}\rceil_1\ \overline{p}\rceil_3$$

7.6 Selbstreferentialität und re-entry_in 3-CI:

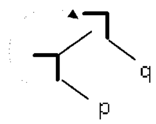
Die Konzeption der Selbstreferentialität als ´re-entry´ erfüllt die Ansprüche eines Paradigmawechsels nicht. Dieser sollte gemäß Varela und von Foerster einem Wechsel von der transzendenten zur immanenten Subjektivitätskonzeption entsprechen: *"A shift from the classical paradigm of ´the properties of the observer shall not enter into the description', to a paradigm. where ´the description shall reveal the properties of the observer´. This paradigm shift makes the world a different world".* (Varela, 1978, p.300)

Die Einführung einer dritten Form $\sqcup\!\rfloor$ zwischen $\rceil$ und ϕ , wie dies im ECI geschieht, verändert die Welt (der Form) nicht, sondern domestiziert und vereinnahmt das Andere, das Fremde und immunisiert es dadurch in seiner subversiven Kraft. Die von uns eingeführte Kalkülkonzeption generiert durch die Mechanismen der Distribution und Vermittlung neue, außerhalb der ursprünglichen Form liegende Formkonzeptionen.

Es soll nun angedeutet werden, wie innerhalb dieser neuen Konzeption Selbstreferentialität (SR) modelliert werden kann.

Gegeben sei die ´re-entry´-Formel: $f = \overline{\overline{\overline{f}\rceil\ p}\rceil\ q}\rceil$

Sie hat, wie gezeigt, eine unendliche Form:

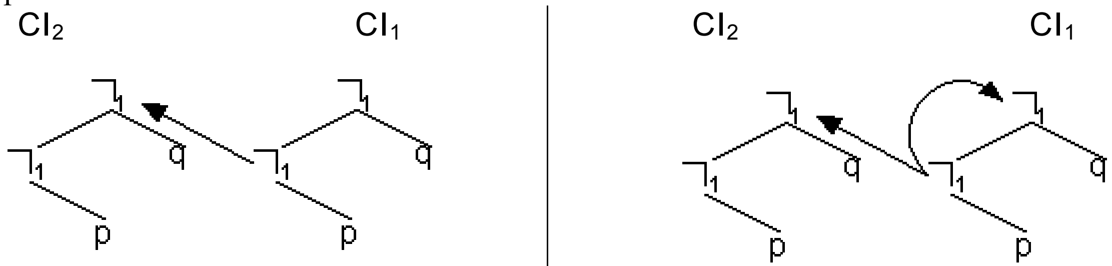


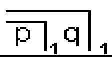
Jeder Durchgang durch die Schleife gehört zur Form, es gibt konkret keine Möglichkeit die Schleife zu verlassen. Im Unendlichen gilt (angeblich) $\infty = \infty+1$, also f = f⏋, das Unendliche ist

a) konstruktiv, also Schritt für Schritt unerreichbar, und
b) das Andere des Endlichen. Zwischen beiden herrscht eine unüberschreitbare <u>Schranke</u>, denn $\sim\exists n : m = m+1$, SR als ´re-entry´ in ECI heißt, daß im selben Kalkül zugleich das Eine (das Endliche) und sein Anderes (das Unendliche) als indikative Formen enthalten sind. An diesem Widersinn ist der ECI gescheitert.

Der 3-CI bietet nun, abstrakt gesprochen, Platz für beide Bereiche und zwar durch CI_1 und CI_2. Operationen innerhalb von CI_1 führen nie zu CI_2, zwischen beiden besteht eine totale Schranke. Diese Schranke trennt das Eine (CI_1) von seinem Anderen (CI_2) unabhängig von der Länge der jeweiligen indikativischen Formeln. Selbst die kleinste Form in CI_1 ist von der kleinsten Form in CI_2 durch einen unendlichen Abgrund getrennt. SR läßt sich nun verstehen als der Übergang von CI_1 zu CI_2. Diese neue Operation, die eine finite Form aus CI_1 in CI_2 wiederholt, ist kurz gesagt die Vermittlungsoperation von CI_1 und CI_2, die vom Standort des Kalküls CI_3 aus vollzogen wird. Dieser Kalkül CI_3 fungiert dabei als <u>Kontext</u> einer hier nicht untersuchten Kontextlogik. Re-entry erscheint bei dieser Deutung als eine spezielle Eigenschaft vermittelter Systeme. Mit anderen Worten: Vermittelte Systeme besitzen per se selbstreferentielle Eigenschaften.

Am Beispiel:



Als Formel von 3-CI :  mit re-enttry

Das Resultat zeigt: Der 3-CI besitzt keine spezielle Form für Selbstreferentialität, wie etwa Varela´s ECI die ´re-entry´-Form er ist gar kein Kalkül <u>für</u> SR (calculus for SR), sondern ein Kalkül <u>der</u> SR.

Das Studium der SR ist also nicht das Studium des Verhaltens einer oder mehrerer Formen innerhalb eines Kalküls, sondern das Studium der Gesetze des Gesamtkalküls. Die verschiedenen Formen der SR, ihre Komplexität, werden durch die verschiedenen Kalküle m-CI_i, $m \geq 3$ untersucht. Sekundär läßt sich die zirkuläre ´re-entry´-Konzeption der SR beliebig in die Teilkalküle CI_i einführen. Dazu auch (Kaehr, p.57, 1978)

7.7 Frage-Antwort-Konzeption in der Polylogik

7.7.1 Die Logifizierung von 3-CI wird durch folgende Modellierungen geleistet:

a) Logifizierung der Formen

$\mathcal{L}(\rceil_1) = T_1$ $\quad\mathcal{L}(\phi_1) = F_1$ $\quad\mathcal{L}(\rceil_3) = T_3$

$\mathcal{L}(\rceil_2) = F_2$ $\quad\mathcal{L}(\phi_2) = F_2$ $\quad\mathcal{L}(\phi_3) = F_3$

b) Logifizierung der Operation

$\mathcal{L}(pq) = p\vee\vee\vee q$ $\quad\mathcal{L}(\overline{p}\rceil_1) = N_1p$ $\quad\mathcal{L}(\overline{p}\rceil_2) = N_2p$

c) Logifizierung der Axiome.
Aus a)-c) erhalten wir die Polylogik G^3 mit den Regeln:

$$R_1 \quad \frac{TA\vee\vee\vee B}{T_{1,3}A \;\big|\; T_{1,3}B} \qquad \frac{FA\vee\vee\vee B}{\begin{array}{c}F_1A\\F_1B\end{array} \;\Big|\; F_2A \;\Big|\; F_2B} \qquad \frac{\mathbf{F}A\vee\vee\vee B}{\begin{array}{c}\mathbf{F}_{2,3}A\\\mathbf{F}_{2,3}B\end{array}}$$

$$R_2 \quad \frac{T_{1,3}\,N_1A}{F_{1,2}A} \qquad \frac{F_{1,2}\,N_1A}{T_{1,3}A} \qquad \frac{\mathbf{F}_{2,3}\,N_1A}{\mathbf{F}_{3,2}A}$$

$$R_3 \quad \frac{T_{1,3}\,N_2A}{T_{3,1}A} \qquad \frac{F_{1,2}\,N_2A}{\mathbf{F}_{3,2}A} \qquad \frac{\mathbf{F}_{2,3}\,N_2A}{F_{2,1}A}$$

Diese Polylogik ist ausführlich in (Kaehr, 1978) beschrieben, ebenso finden sich dort auch alle ihre wichtigsten <u>Gesetze</u>.

7.7.2 Die Polylogik eignet sich für Frage-Antwort-Systeme,

weil sie verschiedene, inkommensurable Systeme heterarchisch zu verknüpfen in der Lage ist. D.h. die Systeme können koordiniert und müssen nicht subordiniert bzw. subsumiert werden, ebenso werden zirkuläre Formen vermieden.

So läßt sich der Wiedersprüche erzeugende Frage-Antwort-Zyklus:

heterarchisieren zu:

$$
\begin{array}{ccc}
\text{Frage}_1 & \longrightarrow & \text{Antwort}_1 \\
 & & \updownarrow \\
\text{Antwort}_2 & \longleftarrow & \text{Frage}_2 \\
\updownarrow & & \\
\text{Frage}_3 & \longrightarrow & \text{Antwort}_3 \quad \text{usw.}
\end{array}
$$

Dabei entspricht jeder Frage-Antwort-Stufe ein formales, komplexes System; der Widerspruch ist vermieden und die Systeme sind autonom.

<u>Beispiel</u>:
Ein Subjekt S_1 sei ein Antwortsystem. Antworten sind binär strukturiert, sie treffen zu: "w_1" oder treffen nicht zu: "f_1" (bei Petrov: T, F).
Ein Subjekt S_2 sei ein Frage-System. Fragen sind binär strukturiert, sie sind berechtigt: "w_2 " oder unberechtigt: "f_2" (bei Petrov: C,I).

Die Vermittlung von S_1 und S_2 sei

$$
\begin{array}{ccccc}
\multicolumn{2}{c}{\text{Antworten}} & & \multicolumn{2}{c}{\text{Fragen}} \\
w_1 & f_1 & \cong & w_2 & f_2
\end{array}
$$

Eine f_1-falsche Antwort "schlägt um" in eine w_2-berechtigte Frage.

Die Heterarchie auf der Wertebene ist also:

$$
\left.
\begin{array}{cccccl}
w_3 & \cong & w_1 & \text{———} & f_1 & : \text{Logik}_1 \\
| & & & & \updownarrow & \\
f_3 & \cong & f_2 & \text{———} & w_2 & : \text{Logik}_2
\end{array}
\right\} : \text{Logik}_3
$$

Je für sich ist sowohl die Frage- wie die Antwortlogik autonomes Teil-System des Ganzen. Als Ganzes regelt das Frage-Antwort-System die Koordination der beiden Teil-Systeme und besitzt entsprechende holistische Eigenschaften.

Entsprechend läßt sich die ´erotetical logic´ von Petrov heterarchisieren:

Semantik:

$$
\begin{array}{cccccl}
T_3 & \cong & T_1 & ---- & F_1 & : \text{Antworten-Logik} \\
| & & & & \updownarrow & \\
I_3 & \cong & I_2 & ---- & C_2 & : \text{Frage-Logik}
\end{array}
$$

Regel: Die Regeln der Polylogik müssen umgeschrieben werden mit Hilfe der Substitutionen:

$$
\begin{array}{ccc}
T_{1,3} & \equiv & T_{1,3} \\
F_1 & \equiv & F_1 \\
F_2 & \equiv & C_2 \\
\mathbf{F}_{2,3} & \equiv & T_{2,3}
\end{array}
$$

BIBLIOGRAPHIE

BELNAP, N.D. und STEEL, Th. B.: The Logic of Questions and Answers, New Haven and London 1, 1976

BLAU, U.: Die dreiwertige Logik der Sprache, ihre Syntax, Semantik und Anwendungen in der Sprachanalyse. DeGruyter, 1978

MC CULLOCH, W.S.: Embodiments of Mind.- Cambridge, 1965

DREYFUS, H.L.: Cybernetics as the last State of Metaphysics. Akten des XVI. Int. Kongr.f.Philos. Wien, 1968 Band II, p. 493-499

DUNN, M., EPSTEIN, G (Hrsg.): Modern Uses of Multiple-Valued Logic, Dortrecht, 1977 darin: R.G. WOLF, A Survey of Many-Valued Logic, 1966-1974

DUNN, RINE, WOLF: Proceedings of the 1975 International Symposion on Multiple-Valued Logic, Indiana-University, Bloomington 1975

EGLI, U. und SCHLEICHERT, H.: Bibliography of the Theory of Questions and Answers. In: (Belnap 1976, p. 155-200

EIGEN, M. und WINKLER, R.: Das Spiel, Piper 1975

GAINES, B.R.: Foundations of Fuzzy Reasoning. In: Int. J. Man-Machine Studies 1976, Vol. 89 p. 623-668

GAINES, B.R. und KOHOUT, L.J.: The Fuzzy Decade: A Bibliography of Fuzzy Systems and Closely Related Topics, In: Int. J. of Man-Machine Studies, Vol. 10,9 1977

GILES, R.: Lukasiewicz Logic and Fuzzy Set Theory. In: Int. J. Man-Machine Studies, Vol. 8, P. 313-327

GODDARD, L. und ROUTLEY, R.: The Logic of Significance and Context, Vol. I, London 1973

GOGUEN, I.A.: The Logic of Inexact Concepts. In: Synthese Vol. 1, 1968-1969

GÜNTHER, G.: Beiträge zu einer operationsfähigen Dialektik, Bd. I, II, III, Hamburg 1976, 1979, 1980.

HAACK, S.: Deviant Logic, Cambridge 1974

HAACK, S.: Do we need "fuzzy logic?" In: Int. J. Man-Machine Studies, 1979, Vol. 11, p. 437

HOWE, R.H. und FOERSTER, H. v. Introductory Coments to Francisco Varelas Calculus for Self-Reference. In: Int. J. General Systems 1975, Vol. 2, p. 1-3

JANTSCH, E.: Die Selbstorganisation des Universums, München 1979

KAEHR, R.: Materialien zur Formalisierung der dialektischen Logik und der Morphogrammatik 1973-1975. In: G. Günther, Idee und Grundriss einer nicht-Aristotelischen Logik, Hamburg 1978

KAEHR, R. und Einübung in eine andere Lektüre. Diagramm einer

DITTRICH, J.:	Rekonstruktion der Güntherschen Theorie der Negativsprachen. In: Phil. Jahrbuch, 86 Jg. 2, Freiburg 1979
LORENZEN, P. und LORENZ, K.:	Dialogische Logik, Darmstadt 1978
MORIN, Edgar:	La Methode. 1. La Nature de la Nature. Paris 1977
OCHARD, R.A.:	On the Laws of Form, In: Int. J. Generals Systems 1975, Vol. 2, p. 99-106
PARIKH, Rohit, J.:	Existence and Feasibility in Arithmetic. Research Reort, Boston University (ohne Datum)
PETROV, J.A.:	Logische Probleme der Realisierbarkeits- und Unendlichkeitsbegriffe. Berlin 1971
PETROVI, J.A.:	Version of Erotetical Logic. In: Logik, Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie, Sprachphilosophie, Ontologie und Metaphysik Bd. III, Wien 1969
RINE, D.:	Computer Science and Multiple-Valued Logic. Amsterdam 1977
SCOTT, D.:	Does Many-Valued Logic have any Use? In: KÖRNER, S. (Hrsg.) Philosophy of Logic Oxford 1976
SKOLEM, Th.:	Bemerkungen zum Komprehensionsaxiom. Zeitschrift für Math. Logik und Grundlagenforschung. 1957, 3 p. 1-7.
SPRENCER-BROWN, G.:	Laws of Form. London 1969
VARELA, F.J.:	A Calculus for Self-Reference. p. 5-24
VARELA, F:J: und GOGUEN, J:A:	The Arithmetic of Closure. In: J. of Cybernetics, Vol. 8, p. 291-324, 1978.
VARELA, F. J.:	Systems and Distinctions; Duality and Complementarity. In: Int. J. General Systems 1979, Vol. 5-, p. 31-43,
VARELA, F. J.:	The Exentended Calculus of Indications Interpreted as a Three-Valued Logic. In: Notre-Dame Journal of Formal Logic, Vol. XX, No. 1 1, Jan. 1979, p. 141-146
YESSENIN-VOLPIN, A.:	The Ultra-intuitionistic criticism and the antitraditional program for foundations of mathematics. (S.L.F.M.), Amsterdam 1970
ZADEH, L.A.:	Fuzzy Sets. In: Information and Control, Vol. 8

COMPUTER, Sept. 1974, vol. 7, No. 9 (Spezial issue on Multiple-Valued Logic)

IKP-Forschungsberichte, Reihe I, Kommunikationsforschung Bd. 66-68:

BÖTTNER, W.: Semantische Eigenschaften und Relationen bei Frage und Antwort. Hamburg 1977

HEIDRICH, C.H. (Hrsg.): Konstituentien

dialogischer Kommunikation. Hamburg 1977

GUNTHER, A.: Dialogstruktionen auf der Basis logischer Ableitungen.
Hamburg 1977