

Elisabeth Feldbusch und Ernst Storzer

***Informationsverarbeitung und
Informationsaustausch***
**auf der Basis aktueller interdisziplinärer
Forschungsdiskussionen mit dem
Zielgesichtspunkt der Spezifik menschlicher
Kommunikation und Sprache**

Teil I
Problemaufriss:
**Die Verwendung der Begriffe *Information,*
Kommunikation und *Sprache* im
Spannungsfeld zwischen Geistes- und
Naturwissenschaften**

Paderborn 2010

„Es ist nicht Liebhaberei verträumter Biologen, zu erfahren, wie die Tiere sich ‚verständigen‘. Wir können und müssen von ihnen noch sehr viel lernen, damit wir uns selbst verstehen, denn auch in unseren Nerven-netzen und Sinnesorganen wirken dieselben Gesetze, die den lebendigen Kosmos auf diesem kleinen Planeten geschaffen haben, für den auch die Astronautik noch kein Gegenstück finden konnte.“
(Günter TEMBROCK)*

Vorbemerkung

Beziehungen werden neuerdings in vielen Untersuchungen unterschiedlichster Wissenschafts-disziplinen als Plot thematisiert und als *Wechselwirken* bis hin zu *Kommunikation* und *Sprache* beschrieben. Was steckt dahinter?

Die vorliegende Abhandlung versteht sich als Beitrag zur Forschungsdiskussion (Teil 1) und zur Grundlagenforschung (Teil 2). In Teil 1 breiten wir das interdisziplinäre Spannungsfeld aus, in dem die Begriffe *Information*, *Kommunikation* und *Sprache* Verwendung finden, und entwickeln Anforderungen an eine Neuklassifizierung der vielfältigen Beziehungen. In Teil 2 (in Arbeit) leisten wir unseren Beitrag zur Klassifizierung und entwickeln und überprüfen unter Heranziehung aktueller Forschungsergebnisse Kriterien für die Spezifik menschlicher Kommunikation und Sprache.

Unser Beitrag ist Jürgen ZIEGLER († 2001) gewidmet, einem besonderen Wissenschaftler und gemeinsamen Freund, mit dem ich (E.F.) unter anderem 1972 eine Einführungsveranstaltung in die Sprachwissenschaft konzipiert habe, an der ich - während Jürgen ZIEGLER in der damaligen Zeit akuter Stellennot für den wissenschaftlichen Nachwuchs beruflich andere Wege ging - über Jahre hinweg im Rahmen meiner universitären Lehre weiter gearbeitet habe und aus der Grundgedanken hier einfließen.

* TEMBROCK, G. (1971). S. 5.

Inhalt

Teil 1

Vorbemerkung.....	2
Inhalt.....	3
1. Einleitung.....	4
2. Die Affen lernen es nie.....	4
3. Alles kommuniziert miteinander.....	5
3.1. Die inflationäre Verwendung der Begriffe <i>Kommunikation</i> und <i>Sprache</i> in der neueren Forschung.....	5
3.2. Tierkommunikation.....	6
3.3. Pflanzenkommunikation.....	9
3.4. Bakterienkommunikation.....	11
3.5. Zellkommunikation.....	12
3.6. Zellinterne Kommunikation.....	15
3.7. Kommunikation der leblosen Materie.....	17
3.8. <i>Information</i> als existentielle Grundkategorie.....	21
3.9. Zusammenfassung.....	24
4. Ansätze zur Überwindung der dogmatischen Starre.....	26
5. Die Ergebnisse der neueren Naturwissenschaften als Zündstoff für eine interdisziplinäre Diskussion über <i>Information</i> , <i>Kommunikation</i> und <i>Sprache</i>	28
6. Literatur	30
7. Homepages.....	39

1. Einleitung

Kommunikation und *Sprache* galten und gelten in jeder Betrachtung der Zusammenhänge der Welt, der Natur und des Menschen sowohl in den Geisteswissenschaften als auch in den Naturwissenschaften als entscheidende Parameter. Die Definitionen dieser zentralen Begriffe sind indes nicht einheitlich. Jede Wissenschaft untersucht die Zusammenhänge aus ihrem Blickwinkel; innerhalb einer Wissenschaft leiten verschiedene Forschungsinteressen und ideologische Standpunkte nehmen ebenfalls Einfluss. Das Spannungsfeld der angebotenen Definitionen bis hin zu gegensätzlichen Polen prägt unterschiedliche Antworten auf die Fragen nach dem Unterschied zwischen Mensch und Tier, nach der Evolution und im besonderen nach der Entwicklung des Menschen. Die hohe Aufmerksamkeit, die dem Thema *Evolution* im Darwinjahr 2009 zuteil wurde und bis heute weiterhin zuteil wird, und die daraus resultierende Literaturflut erstreckt sich zu einem großen Teil gerade auch auf die Erforschung der Informationsbeziehungen in der Natur.

2. Die Affen lernen es nie

Wo in der Biologie, in der Gesellschaftswissenschaft, in der Sprachwissenschaft oder in der Philosophie der Mensch im Zentrum der Forschung steht und eine grundlegende Diskontinuität im Verhältnis des Menschen zum Rest des Tierreiches behauptet wird, werden die Begriffe *Kommunikation* und im besonderen *Sprache* benutzt, um mit ihnen spezifische, nur dem Menschen eigene Merkmale zu konstituieren. Sie werden als die entscheidenden Charakteristika des Menschen genannt, die ihn vom Tier unterscheiden. „And the major remaining bastion for defenders of this discontinuity is the view of language as something categorially distinct from any lesser system of communication.“¹ Wenn etwa John C. MARSHALL die „intention to inform“² oder Konrad LORENZ die „bewußte *Absicht*“³ als eine notwendige Voraussetzung für Kommunikation und Sprache bestimmen, schließen sie damit alle Organismen, denen ein absichtliches Verhalten und Handeln abgesprochen wird, von der Möglichkeit der Kommunikation und der Sprache aus. *Kommunikation* und *Sprache* bleiben so per Definition allein dem Menschen vorbehalten. Karl MARX und Friedrich ENGELS definieren den Menschen philosophisch durch die Arbeit, verstanden als das grundsätzliche politisch-historische Verhältnis des Menschen zur Natur und darin eingebettet das Verhältnis des Menschen zu seinen Mitmenschen. Kommunikation und Sprache werden aus dem Arbeitsverhältnis dialektisch begründet und per Definition allein an den Menschen gebunden.⁴ Noam CHOMSKY, der die Sprachfähigkeit als eine „species-specific, genetically determined property“⁵ ausschließlich dem Menschen zuschreibt und im Umkehrschluss den Tieren eine solche abspricht, äußert sich über Versuche, den Affen das Sprechen beizubringen: „Anyone concerned with the study of human nature and human capacities must somehow come to grips with the fact that all normal humans acquire language, whereas acquisition of even its barest rudiments is quite beyond the capacities of an otherwise intelligent ape“⁶. Die Affen haben nach CHOMSKY ebenso wenig eine Sprachfähigkeit – auch keine latente – wie die Menschen eine Fähigkeit zum Fliegen haben.⁷ Das Augenmerk

¹ DUPRÉ, J. (1991). S. 113.

² MARSHALL, J. C. (1970). S. 235.

³ LORENZ, K. (1964). S. 72.

⁴ MARX, K. ([1867] 1972). S. 192ff. und ENGELS, F. ([geschrieben 1873-1886] [1925] 1975). S. 444-455.

⁵ CHOMSKY, N. (1976). S. 79.

⁶ DERS. ([1960] 2006). S. 58.

⁷ S. dazu CHOMSKY, N. (1980).

seiner Sprachwissenschaft richtet sich im wesentlichen auf die Strukturen der Sprache, hebt deren Komplexität hervor und verwendet diese als entscheidendes Argument gegen alle Versuche, Ansätze von Sprache bei Tieren zu finden: Was auch immer Primaten leisten mögen, als *Sprache* kann man es nicht bezeichnen, denn Nichtmenschen ist die Sprachfähigkeit per Definition nicht gegeben. Die Botschaft derart humanzentrierter Ansätze über die Sprache und das Sprechen mündet mediengerecht aufgearbeitet in der apodiktischen Behauptung: „Die Affen lernen es nie.“⁸ In der Folge solcher Argumentationen fällt die Kritik an Forschungen zu den Verständigungsmöglichkeiten anderer Lebewesen am Ende meist vernichtend aus und nimmt mitunter überhebliche, unwissenschaftliche und polemische Formen an.⁹

3. Alles kommuniziert miteinander

3.1. Die inflationäre Verwendung der Begriffe *Kommunikation* und *Sprache* in der neueren Forschung

In den Darstellungen der meisten neueren Forschungsergebnisse in den Naturwissenschaften wird der Aspekt der Kommunikation bzw. des Informationsaustausches von Systemen / Organismen in den Fokus gerückt. Entgegengesetzt zur rigiden Position etwa CHOMSKYs hat sich dabei eine Richtung – man kann es schon eine Mode nennen – herausgebildet, die eine Ausweitung des Begriffs *Kommunikation* auf alle Arten von Beziehungen in der belebten wie in der unbelebten Natur – ob Ursache-Wirkung, oder Informationsaustausch – betreibt und diese dann oft auch mit *Sprache* gleichsetzt. Der Kommunikationsbegriff wird auf alle Tier- und Pflanzenarten, schließlich auf jegliche Materie ausgedehnt und *Information* letztlich als dritte physikalische Grundgröße angenommen. Berichte in den Medien spitzen durch einen inflationären Gebrauch der Begriffe *Kommunikation* und *Sprache* deren Relevanz weiter zu: „Grunzen, Grummeln, Grollen. Tiere tauschen erstaunlich differenzierte Botschaften aus. Allmählich lernt der Mensch, sie zu verstehen“¹⁰, „Walsprache hat eine Grammatik“¹¹, „Also sprach der Zebrafink“¹², „Der stille Schrei“¹³ oder „Hilfeschreie und Lockangebote aus dem Grünen. Forscher entschlüsseln das ausgeklügelte Notrufsystem von Pflanzen“¹⁴, „Die Pflanzenflüsterer. Bohnen führen Selbstgespräche, Tabakpflänzchen rufen um Hilfe, Tomaten schreien vor Schmerzen: Botaniker entschlüsseln die geheime Sprache der Pflanzen.“¹⁵, „Zellgeflüster“¹⁶, „Die geheime Sprache der Natur. Wie Tiere und Pflanzen sich verständigen“¹⁷. Es entsteht der Eindruck, dass nach neuesten Forschungen alles miteinander kommunizieren oder gar sprechen-hören, schreiben-lesen kann und muss. Zudem tummeln sich auf diesem Gebiet zahlreiche Parapsychologen, Esoteriker und Sektengurus mit abenteuerlichen Kommunikationstheorien¹⁸, denen hier kein Raum geboten wird.

⁸ Der Spiegel. Heft 43. 1972. S.164-169.

⁹ Es wird kategorisch zurückgewiesen, dass solche Forschungen in irgendeinem Zusammenhang mit der Wissenschaft vom Menschen stehen könnten. Vielmehr wird unterstellt, die Biologie wolle mit derartigen Ansinnen die Geisteswissenschaften unterwandern, hier seien Scharlatane am Werk.

¹⁰ VIERING, K. (2009).

¹¹ BODDERAS, E. (2007).

¹² HAESLER, S. (2006). S. 52.

¹³ ECKERT, N. (2007).

¹⁴ LEHNEN-BEYEL, I. (2007).

¹⁵ BETHGE, Philip. (2006). S. 114.

¹⁶ KOECHLIN, F. (2007).

¹⁷ FORD, B. J. (1998).

¹⁸ Sh. dazu z.B. VON RANDOW, T. (1990).

3.2. Tierkommunikation

Die evolutionsgeschichtlich nächsten Verwandten des Menschen kommunizieren unbestritten auf vielfältige Art miteinander. Seit langem beschäftigt Primatenforscher, Sprach- und Evolutionswissenschaftler die Frage, ob die nichtmenschlichen Primaten im besonderen Sprache besitzen oder sich aneignen könnten. Schon am Ende des 19. Jahrhunderts nutzte Richard Lynch GARNER einen der ersten Phonographen, um Lautaufnahmen von Affen im New Yorker Zoo und in ihrem natürlichen Lebensraum in Gabun zu machen, und spielte ihnen diese vor, um ihre Reaktion zu beobachten. Seine noch wenig wissenschaftlichen Ergebnisse veröffentlichte er 1892 unter dem Titel „The Speech of the Monkeys“.¹⁹ Während des 20. Jahrhunderts gab es einige vielbeachtete Versuche, vor allem Schimpansen die Menschen-sprache beizubringen.²⁰ Nachdem man dabei über begrenzte Einzelerfolge kaum hinausgekommen war, nicht zuletzt, weil den Affen die für die Menschensprache notwendigen Sprechorgane fehlen, und nach der rigorosen Kritik CHOMSKYs verlor die Öffentlichkeit zunächst das Interesse an derartigen Versuchen.

Die Primatenforschung konzentriert sich heute darauf, das kommunikative Verhalten der nichtmenschlichen Primaten vor allem in ihrem natürlichen Lebensraum zu erforschen. Im Amboseli-Nationalpark in Kenia nahm Thomas T. STRUHSAKER bereits in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts mit modernen Aufnahmegeräten und Klangspektrographen, die auch für den Menschen nicht hörbare Töne registrieren, bei den Grünen Meerkatzen Lautfolgen auf, untersuchte sie auf ihren möglichen Informationsgehalt und erstellte einen „catalogue of the audible behavior of the vervet monkey (*Cercopithecus aethiops johnstoni*). This catalogue is a list of those sounds of vervets that I was able to distinguish either by ear or from tape recordings and spectrographic analysis, and is not a pretense at a definitive list.“²¹ Er stellte „thirty-six physically and/or audibly distinct sounds“²² zusammen und beschrieb sie differenziert im Zusammenhang mit dem Kontext, in dem sie auftraten, und ihren kommunikativen Funktionen. „This approach places equal emphasis on the description of the call, behavioral context in which the call is given, and the apparent response which the call evokes in other individuals. Such an approach would permit not only a consideration of structural variation (syntactical) but also of functional variation (pragmatic) and would thus allow distinction between a variable discrete system and a continuous system of communication.“²³ Aufsehen erregten besonders drei Lautfolgen, mit denen die Grünen Meerkatzen vor jeweils bestimmten Angreifern warnen: Weibliche Tiere und Jungtiere warnen mit „Chirp calls“²⁴ vor großen Säugetieren, etwa Löwen, Leoparden oder Servalen. Die Meerkatzen ziehen sich daraufhin in die Zweige der Bäume zurück. Ein „*Rraup* call“²⁵ wird dagegen beim Erscheinen großer Raubvögel ausgestoßen und führt zum Rückzug ins Dickicht. Schließlich lenkt das „Snake Chutter“²⁶ die Aufmerksamkeit der Vervets auf besonders giftige Schlangen wie Ägyptische Kobras oder Puffottern. Die von anderen Forschern bestätigte Entdeckung²⁷, dass die Meerkatzen beim Erscheinen jeweils bestimmter Raubtiere je spezielle Lautfolgen von sich geben – also vom Hören der Lautfolgen auf die Raubtierart zurückgeschlossen werden kann –,

¹⁹ GARNER, R. L. ([1892] 2007).

²⁰ Etwa GARDNER, R. A. und GARDNER, B. T. (1980) oder HERRACE, H. S. (1986).

²¹ STRUHSAKER, T. T. (1967). S. 281.

²² A.a.O. S. 313.

²³ A.a.O. S. 323.

²⁴ A.a.O. S. 311.

²⁵ Ebd.

²⁶ A.a.O. S. 305.

²⁷ Sh. SEYFARTH, R. M. / CHENEY, D. L. / MARLER, P. (1980).

fürte um 1980 zu der umstrittenen These, dass die Grünen Meerkatzen Lautfolgen mit Bedeutung belegen und somit „semantische Kommunikation“²⁸ haben.

Mehr und mehr richtete sich die Aufmerksamkeit der Primatenforschung auf das unbestritten hoch entwickelte Gebärdenrepertoire von Affen. In Versuchen brachten Wendy GORDON und Francine PATTERSON nach eigenen Angaben zwei Gorillas bis zu 1000 Zeichen der wohl am weitesten verbreiteten menschlichen Gebärdensprache American Sign Language (ASL) bei.²⁹ Amy S. POLLICK und Frans B. M. DE WAAL beobachteten Schimpansen- und Bonobogruppen und kamen zu dem Schluss: „The natural communication of apes may hold clues about language origins, especially because apes frequently gesture with limbs and hands, a mode of communication thought to have been the starting point of human language evolution. (...) Far more than facial expressions and vocalizations, gestures seem subject to modification, conventionalization, and social transmission.“³⁰ Nicht nur Biologen gelangen inzwischen zu der These, dass sich Gebärden möglicherweise als das verbindende Glied zwischen der Sprache der Menschen und den Kommunikationsmöglichkeiten der Menschenaffen herausstellen.

Schließlich konzentriert sich die Erforschung der Primatenkommunikation mit der technischen Verfügbarkeit zunehmend komplexer computergestützter Aufnahme- und Analysemöglichkeiten über Einzeläußerungen hinaus immer mehr auf das Zusammenspiel von Lauten, Mimik und Gesten: „Das Ziel unserer Forschung in den kommenden Jahren ist, dass wir genau die drei Stränge zusammenführen wollen, die bisher mehr oder weniger einzeln verliefen, also Gestik, Mimik und Vokalisation.“³¹ Zunehmend genauer wird hinsichtlich der kommunikativen Fähigkeiten der Affen auch zwischen dem Erzeugen und dem Verstehen von Informationen unterschieden: „(...) die Komplexität dieses Kommunikationssystems, die wir bei den Reaktionen auf Raubfeinde beobachten können, beruht im Wesentlichen auf der Leistung der Empfänger.“³²

Auch bei vielen anderen Tierpopulationen versuchen Forscher Kommunikationsstrukturen zu entdecken und zu beschreiben. So werden die Gesänge von Walen und die Laute und Geräusche von Delphinen mit modernsten Aufnahmegeräten und Analyseverfahren untersucht. Die Biologin Heike VESTER interpretiert die Laute und Geräusche der Grind- und Schwertwale, die sie vor den Lofoten (Norwegen) aufnimmt und analysiert, dahingehend, dass sie neben grammatischen Grundstrukturen auch „Signatur-Pfeiftöne“, also individuelle Namen, beinhalten. Außerdem seien die Signalsysteme einzelner Familienverbände unterschiedlich, es handele sich um verschiedene „gelernte Dialekte“.³³ Jack KASSEWITZ, der in Florida das Lautrepertoire von Delphinen untersucht, nutzt zur Entzifferung ein CymaScope, „a new instrument that reveals detailed structures within sounds, allowing their architecture to be studied pictorially.“ Er erhofft von seinen Aufnahmen: „By recording dolphins as they echolocate on various objects, and also as they communicate with other dolphins about those objects, we will build a library of dolphin sounds, verifying that the same sound is always repeated for the same object. The CymaScope will be used to image the sounds so that each CymaGlyph will represent a dolphin ‘picture word’. Our ultimate aim is to speak to dolphins with a basic vocabulary of dolphin sounds and to understand their

²⁸ FISCHER, J. (2008). S. 21.

²⁹ PATTERSON, F. / GORDON, W. (1994).

³⁰ POLLICK, A. S. / DE WAAL, F. B. M. (2007). S. 8184-8188.

³¹ LIEBAL, K. (2009). Primatenforscherin u.a. am Max Planck Institut Leipzig. Interview.

³² FISCHER, J. (2008). S. 32. Weitere Ergebnisse der Primatenforschung sh. im Kapitel 4 der vorliegenden Arbeit.

³³ VESTER, H. (2009). S. 1.

responses.”³⁴ Die Walforscher Ryuji SUZUKI, John R. BUCK und Peter L. TYACK vom *Howard Hughes Medical Institute* (HHMI) haben die Gesänge der Buckelwale bei Hawaii mit den Mitteln der Informationstheorie auf ihren Informationsgehalt untersucht.³⁵ „Information theory was the right choice because it allows one to study the structure of humpback songs without knowing what they mean“³⁶. Zusammenfassend stellt SUZUKI fest: „Humpback songs are not like human language, but elements of language are seen in their songs“³⁷. Er hofft, „that knowing the hierarchical structure in humpback songs will inform research in other fields, such as evolutionary biology“³⁸.

Auch Elefanten haben nach Einschätzung von Elefantenforschern „a well-developed system of communication“³⁹, um ihren lebensnotwendigen sozialen Zusammenhalt zu sichern. Joyce POOLE und Katy PAYNE haben während jahrzehntelanger Beobachtungen im Rahmen des Amboseli Elephant Research Project in Kenia ein großes Repertoire von über 70 verschiedenen Arten von Lauten und etwa 160 visuelle und taktile Signale und Gesten akustisch und optisch erfasst und ausgewertet. Mit modernen Schallmessgeräten konnten sie auch die besonders tiefen Infraschalltöne unter der menschlichen Hörgrenze registrieren, die sich über den Boden meilenweit ausbreiten. „At one end of the spectrum elephants communicate by rubbing their bodies against one another, at the other end they may respond by moving toward the sounds of other elephants calling, perhaps 10 kilometers away. They convey information about their physiological (e.g. sexual/hormonal, body condition, identity) and emotional state (e.g. whether they are fearful, playful, joyful, angry, excited) as well as communicating specific ‘statements’ about their intentions or desires.“⁴⁰ Ein interdisziplinäres Forschungsteam um die Biologin Caitlin E. O’CONNELL-RODWELL von der Stanford University hat bei Erkundungen in Namibia entdeckt, dass Elefanten Signale weit entfernter Artgenossen als seismische Vibrationen über ihre Füße wahrnehmen. „Elephant low-frequency vocalizations propagate in the ground and seismic playbacks of these vocalizations are detectable by wild African elephants“⁴¹.

Der Computerlinguist J. J. PAIJMANS hatte sich zur Aufgabe gestellt, einen „linguistic corpus“ für die Tänze der Bienen zu erstellen, kam jedoch aufgrund der zu geringen Datenmenge (noch) zu keinen Aussagen: „Before data can be analysed it must be collected and stored in a suitable format. After the explanation of the principles of the honey dance, and the mathematical principles underlying the Zipfian laws and entropy, we will proceed to the problems of collecting the data and the analysis or translation to a format that is suitable for comparing the patterns with those of other (human) languages.“⁴²

Es steht zu erwarten, dass spezielle Forschungen weitere Hinweise auf je besondere Kommunikationsformen bei allen Tierarten ergeben, denn sobald Lebewesen in mehr oder weniger großen Sozialverbänden leben, benötigen sie Informationen auch voneinander, um ihren Verband zu erhalten. Der Austausch von Informationen bei Einzellern wird bereits untersucht.⁴³

³⁴ KASSEWITZ, J. (2008a).

³⁵ SUZUKI, R. / BUCK, J. R. / TYACK, P. L. (2006).

³⁶ SUZUKI, R. (2006).

³⁷ Ebd.

³⁸ Ebd.

³⁹ POOLE, J. (2009).

⁴⁰ Ebd.

⁴¹ O’CONNELL-RODWELL, C. E. et al. (2004). p. 2554.

⁴² S. dazu PAIJMANS, J.J. (2008). S. 2.

⁴³ Wir danken Herrn Prof. Wolfgang NELLEN (Universität Kassel, Abt. Genetik) für den Hinweis an dieser Stelle. Zur Kommunikation der Einzeller sh. im Kapitel 3.4. der vorliegenden Arbeit.

Eine Form der tierischen Kommunikation ist schließlich die Kommunikation zwischen Mensch und Tier. Jeder Haustierbesitzer weiß davon zu erzählen. Um sie zu optimieren, wurde die Sparte „Tierkommunikation“ kreiert. Sie hat sich offensichtlich zu einem lukrativen Geschäft entwickelt. Angeblich spezialisierte „Tierkommunikatoren“ bieten ihre Dienste allgemein oder für einzelne Tierarten an.⁴⁴

Mit der Erforschung der Kommunikation verschiedenster Tierarten geht oft ein Einsatz der Forscher einher, der den Schutz und die Achtung der jeweiligen Tierart zum Ziel hat. Walforscher kritisieren z.B. die Lärmverunreinigung unter Wasser, die zur Desorientierung der Wale führe. Die Elefantenforscherin J. POOLE versteht ihre Initiative ElephantVoices als eine Stimme für Elefanten. Das Great Ape Project, das von vielen Wissenschaftlern aus verschiedenen Fachrichtungen unterstützt wird, erhebt die Forderung: „Menschenrechte für die Großen Menschenaffen!“⁴⁵

3.3. Pflanzenkommunikation

Zunehmend wird die Ausweitung des Kommunikationsbegriffs auch auf den Bereich der Pflanzen gefordert. „Die neuzeitlichen Industrienationen haben einen sehr engen soziologisierenden, sprach- und bewußtseinsfixierten Kommunikationsbegriff ausgeprägt. Als Paradigma stand und steht weitgehend noch das zwischenmenschliche Gespräch mithilfe der Lautsprache vor Augen. Diese Orientierung hat lange Zeit eine ernsthafte wissenschaftliche Untersuchung der Pflanze-Tier und vor allem der Pflanze-Mensch Kommunikation behindert. Es liegt auf der Hand, daß in diesen Bereichen andere Medien genutzt werden als jene, die spezifisch für die zwischenmenschliche Kommunikation sind. Ebenso sicher wird man andere Formen von Sensoren und Effektoren in dieser Kommunikation zwischen den grundverschiedenen Lebewesen erwarten müssen, als sie in den Gesprächen zwischen den Menschen üblich sind.“⁴⁶

Auch für die Pflanzen werden Achtung und Schutz eingefordert. In der Schweizer Bundesverfassung ist die Achtung der „Würde der Kreatur“, also auch die Würde der Pflanzen verfassungsrechtlich festgeschrieben: „Der Bund erlässt Vorschriften über den Umgang mit Keim- und Erbgut von Tieren, Pflanzen und anderen Organismen. Er trägt dabei der Würde der Kreatur sowie der Sicherheit von Mensch, Tier und Umwelt Rechnung und schützt die genetische Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten.“⁴⁷ Mit der Begründung und der inhaltlichen Füllung des Begriffs *Würde der Kreatur* ist die *Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich* (EKAH) beauftragt, die dazu zunächst die Frage stellte, was die moderne Biologie über das Wesen der Pflanze weiß. Als ein Hauptkriterium für die Würde der Pflanzen nennt Florianne KOEHLIN, ein Mitglied der Kommission, die Fähigkeit der Pflanzen und ihrer Zellen, sowohl miteinander als auch mit Tieren zu kommunizieren. Sie berichtet beispielsweise von Tomaten, die SOS-Duftstoffe aussenden und damit Nachbarpflanzen zur Produktion von Abwehrstoffen anregen, von Konversation unter Ahorn-

⁴⁴ In den Medien, im besonderen im Internet, findet man unter dem Stichwort „Tierkommunikation“ für fast jede Tierart eine Menge Angebote von „Tierflüsterern“, die behaupten, das Verständnis zwischen Tierbesitzer und Tier – natürlich gegen gutes Geld – optimieren zu können. Auch eine Ausbildung zum „Tierkommunikator“ wird von einer angeblichen „Tierkommunikationswissenschaft“ angeboten.

⁴⁵ Die Forderung ist der Titel der deutschen Übersetzung der Originalausgabe *The Great Ape Project. Equality beyond Humanity*. Original: CAVALIERI, P. / SINGER, P. (eds.). (1994). Dt. Übs.: CAVALIERI, P. / SINGER, P. (Hrsg.). (1996).

⁴⁶ GIESECKE, M. (2002).

⁴⁷ Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (Stand am 7. März 2010). Art. 120, Abs. 2.

bäumen, Weiden, Pappeln und Birken und von Maispflanzen, die, wenn sie von einer bestimmten Raupenart, der *Spodoptera exigua*, befallen werden, diese an ihrem Speichel erkennen und Duftstoffe, ein Gemisch von Indol und Terpenoiden, aussenden, die wiederum eine Schlupfwespe der Gattung *Cotesia marginiventris* anlockt, sodass letztere ihre Eier in die Raupe ablegt und diese mit der Zeit tötet: „Ein hoch differenziertes und flexibles Dreieck.“⁴⁸ Anderenorts führt sie an, dass von der Limabohne „etwa 100 Duftstoffvokabeln bekannt“⁴⁹ seien oder dass Waldbäume mit ihren Wurzeln und Wurzelpilzen „ein riesiges unterirdisches Kommunikationsnetz bilden, eine Art WWW – Wood Wide Web. Dieses WWW ist mindestens ebenso gross wie das Volumen des Waldes über der Erde.“⁵⁰ In den „Rheinauer Thesen zu Rechten von Pflanzen“ fordert sie zusammen mit anderen Pflanzenforschern sechs „Anspruchsrechte“⁵¹ der Pflanzen anzuerkennen.

Das Jenaer *Max-Planck-Institut für chemische Ökologie* (ICÖ) ist eine der Forschungseinrichtungen, die untersuchen, wie Pflanzen über die Abgabe von Duftstoffen Einfluss auf ihre Umwelt, Nachbarpflanzen und Tiere nehmen.⁵² Mit Hilfe einer vom Institut entwickelten künstlichen Raupe, dem computergesteuerten „MecWorm“, überprüfen die Forscher, wann und mit welchen Düften Pflanzen auf einen Fressfeind reagieren und welche Auswirkungen ihre Duftreaktionen auf andere Pflanzen und Tiere haben. Mit ihrer „Duftsprache“ senden die Pflanzen nach Wilhelm BOLAND, dem derzeitigen Direktor des Instituts, zum einen Warnungen an andere Pflanzen und Pflanzenteile, die daraufhin ihr „Genexpressionsprofil“ ändern, zum anderen locken sie Insekten herbei, die ihrerseits den Fressfeind Raupe attackieren. BOLAND stellt die Frage: „Können Pflanzen vielleicht auch untereinander ‚kommunizieren‘?“ Er kommt zu dem Schluss: „Die Antwort ist eindeutig positiv. Setzt man nämlich unverletzte Pflanzen dem Duft befallener Nachbarpflanzen aus, so kann man nach kurzer Zeit feststellen, dass sich in den ‚Empfängerpflanzen‘ das Genexpressionsprofil ändert (...). Besonders betroffen sind Gene, die PR-Proteine (pathogenesisrelated proteins), eine Lipoxygenase und Terpensynthasen codieren. Damit wird deutlich, dass Pflanzen nicht nur Duft aussenden können, sondern ihn auch wahrnehmen und darauf reagieren. Es zeichnet sich ab, dass die Duftkommunikation auch innerhalb ein und derselben Pflanze (Limabohne) eine Rolle spielt und gewissermaßen einen ‚Expressweg‘ darstellt.“⁵³ Das ICÖ ist in einem interdisziplinären Netzwerk mit der 2006 gegründeten *Jena School for Microbial Communication* (JSMC) verbunden, die sich die Erforschung der Kommunikation zwischen Mikroorganismen und ihrer Umwelt zum Ziel gesetzt hat. „Neu ist die Erkenntnis, dass Mikroorganismen kommunizieren. Sie erkennen an chemischen Botschaften ihrer Verwandten, dass es sich lohnt, sich in einem Lebensraum zu vermehren. Sie leben in enger Gemeinschaft mit Pflanzen, Tieren oder dem Menschen und tauschen mit deren Zellen Signale aus. Auf diese Weise werden sie nicht als Feind, sondern als Freund erkannt. Schädliche Mikroben wiederum fälschen Botenstoffe, um sich Zugang zu einem Organismus zu verschaffen. Und sie erkennen dessen Zellen anhand von chemischen Signalen, bevor sie sie befallen. ‚Mikrobielle Kommunikation‘ hat viele Facetten und ist in der Natur deshalb häufig sehr komplex. Diese Sprache dennoch zu verstehen und zu nutzen haben sich Jenaer Wissenschaftler zum Ziel gemacht.“⁵⁴

⁴⁸ KOECHLIN, F. (2004). Sh. auch Dies. (2007). S. 79-95.

⁴⁹ KOECHLIN, F. (2008b).

⁵⁰ KOECHLIN, F. (2008a). S. 42.

⁵¹ KOECHLIN, F. / AMMANN, D. / GELINSKY, E. et al. (2008).

⁵² So beschreibt z.B. Jörg DEGENHARDT die Funktion der Duftstoffe von Maispflanzen zur Gefahrenabwehr. Sh. DEGENHARDT, J. (2007). Sh. dazu u.a. auch SCHULZE, B. / KOST, C. / ARIMURA, G. BOLAND, W. (2006). Im weiteren sh. HALITSCHKE, R. / STENBERG, J. A. / KESSLER, D. / KESSLER, A. / BALDWIN, I. T. (2008).

⁵³ BOLAND, W. (2007). S. 39.

⁵⁴ Aus der Broschüre der Jena School for Microbial Communication (JSMC). (o.J., seit 2006). S. 3.

3.4. Bakterienkommunikation

Aktuelle molekularbiologische Forschungen entdeckten komplexe Informationsprozesse bereits auf der Ebene der kleinsten Lebewesen, der Einzeller. Ausgehend von dem Phänomen, dass Bakterien auf ihre Umwelt und speziell auf andere Bakterien in ihrem Umfeld reagieren, wurden innerhalb der letzten 20 Jahre viele mikrobiologische Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, die Informationsbeziehungen zwischen Bakterien zu entschlüsseln. Einerseits sind diese Untersuchungen akribisch bemüht, die Signalstoffe zu identifizieren und die Signalwege zu beschreiben. Andererseits besteht auch hier die Tendenz, auf die beobachteten Vorgänge ohne weitere Ableitung die Begriffe *Kommunikation* und *Sprache* anzuwenden. „The discovery of species-specific as well as universal intercellular signaling molecules reveals that bacteria interact with one another using surprisingly sophisticated mechanisms of communication.“⁵⁵

Bakterien zeigen ab einer bestimmten Populationsdichte (Quorum) gemeinsame Reaktionen. Das Bakterium *Vibrio Fischeri*, eines der ersten, bei dem dieser Sachverhalt erforscht wurde, beginnt zum Beispiel bei einer bestimmten Populationsdichte zu leuchten.⁵⁶ Offensichtlich sind Bakterien in der Lage, chemische Stoffe, sogenannte *autoinducers*, als Signale auszusenden, Signale anderer Populationsangehöriger zu empfangen und einen Biofilm als Verbindungsmedium herzustellen. Sie können dadurch das Eintreten eines Quorums durch Messen erfahren (sensing) und über ein Genaktivierungsprogramm die Reaktion gleichzeitig starten. Dieses *Quorum-sensing* (QS) wird als „Regulationssystem mit großem Wirkungsbereich“⁵⁷ beschrieben. In der Interpretation der Ergebnisse heißt es inzwischen in vielen derartigen Forschungsarbeiten, dass Bakterien in „multizellulären Gemeinschaften“ leben und „ein aufeinander abgestimmtes Verhalten“ zeigen.⁵⁸ Die dazu erforderlichen Informationsflüsse zwischen Bakterien werden als „cell-cell communication“⁵⁹ oder „Zell-Zell-Kommunikationssysteme“⁶⁰ beschrieben. Das „Phänomen einer interzellulären Kommunikation bei Bakterien“⁶¹ sei sowohl bei Bakterien gleicher Spezies als auch als „cross talk“⁶² zwischen verschiedenen Arten und zwischen Bakterien und Eukaryonten nachzuweisen. Aus den chemischen Formeln der *autoinducers* wird gefolgert, dass Bakterien sowohl eine „own language“⁶³ für die Kommunikation innerhalb der eigenen Spezies als auch eine „universal LuxS language“⁶⁴, gleichsam ein „(b)acterial Esperanto“⁶⁵, für die Kommunikation zwischen verschiedenen Spezies beherrschen. Um diese „complex and fascinating bacterial languages“ zu verstehen, sei es erforderlich, die Auswirkungen ihrer Signalmoleküle, der „words“, zu entziffern.⁶⁶ Als praktische Konsequenzen dieser Sichtweise könnte das Verhalten von Bakterien durch die Beeinflussung ihrer Kommunikation verändert werden. Bei der Bekämpfung von bakteriellen Infektionen soll z.B. an die Stelle des bisherigen Einsatzes von Antibiotika,

⁵⁵ FEDERLE, M. J. / BASSLER, B. L. (2003). S. 1298.

⁵⁶ Sh. dazu RUBY, E. G. / NEALSON, K. H. (1976); im weiteren NEALSON, K. H. / HASTINGS, J. W. (1979).

⁵⁷ HECKMANN, S. (2005). S. 14.

⁵⁸ HECKMANN, S. (2005). S. 1.

⁵⁹ YOU, L. / COX III, R. S. / WEISS, R. / ARNOLD, F. H. (2004). S. 1. Sh. auch BASSLER, B. L. (2002). S. 421.

⁶⁰ HECKMANN, S. (2005). S. 1. Ähnlich sh. auch RIEDEL, K. / SCHÖNMANN, S. / EBERL, L. (2005). S. 388.

⁶¹ ORSZAG, P. 2008. S. 1.

⁶² FEDERLE, M. J. / BASSLER, B. L. (2003). S. 1291. Sh. z.B. auch PAI, A. / YOU, L. (2009). S. 8. Ebenso RIEDEL, K. / SCHÖNMANN, S. / EBERL, L. (2005). S. 386.

⁶³ BASSLER, B. L. (1999). S. 582.

⁶⁴ SCHAUDER, S. / BASSLER, B. L. (2001). p. 1472.

⁶⁵ BASSLER, B. L. (1999). S. 584.

⁶⁶ A.a.O. S. 586.

gegen die Bakterien zunehmend resistent werden, eine Inaktivierung der Signalmoleküle treten.

3.5. Zellkommunikation

Nicht nur zwischen den Lebewesen aller Arten wird heute allenthalben *Kommunikation* und *Sprache* konstatiert, sondern ebenso innerhalb der jeweiligen Organismen. Als Signalträger zwischen Pflanzenzellen werden seit etwa 1920 chemische Stoffe ausgemacht. Im Projekt „Role of Reactive Oxygen in Disease“ unter Leitung des Molekularbiologen Heribert HIRT an der Universität Wien wird z.B. die Rolle der reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) als gasförmige Informationsübermittler untersucht.⁶⁷ Große Aufmerksamkeit in den Medien finden die Forschungen von František BALUŠKA, Stefano MANCUSO, Dieter VOLKMANN u.a. des *Instituts für Zelluläre und Molekulare Botanik* an der Universität Bonn zu den Themen „Signaling and Communication in Plants“⁶⁸. Sie fanden in Versuchen heraus, dass die Pflanzenzellen neben den hormonell gesteuerten chemischen Signalwegen auch ein Netzwerk aus Zellen und pflanzlichen Synapsen nutzen, um mittels elektromagnetischer Wellen untereinander zu kommunizieren, und dass beide Kommunikationswege miteinander vernetzt sind. Bei Untersuchungen mit Maispflanzen wiesen sie elektrische Signale nach, die von den Wurzeln über „plant synapses“ schnell von Zelle zu Zelle weitergeleitet werden. Die Wurzelspitzen sollen dabei wie „Command Centres“ agieren.⁶⁹ So übermittelt etwa der Schwerkraftsensor in den Wurzeln Informationen aus dem Boden an die Wachstumszone, woraufhin diese in kurzer Zeit die Wachsrichtung ändern kann. Am *Botanischen Institut* der Gießener *Justus-Liebig-Universität* und wiederum am Jenaer *Max-Planck-Institut für Chemische Ökologie* sind mit Feinglas-Mikroelektroden gerade neue Formen der elektrischen Reizleitung in verschiedenen Pflanzenarten u.a. im Mais, im Tabak und in der Gerste entdeckt worden. Hubert H. FELLE, Axel MITHÖFER u.a. untersuchen, wie Pflanzen bei einer Verwundung in kurzer Zeit elektrische Signale von Blatt zu Blatt weitergeben. Sie nennen diese Form der Reizleitung „systemic signaling“ bzw. „system potentials“.⁷⁰

Informationsbeziehungen zwischen den morphologisch und funktionell spezialisierten Zellen eines Körpers sind nicht nur für die Pflanzenzucht, sondern für die Erforschung aller Organismen von größtem Interesse. Speziell für den Menschen erhofft man mit der Aufdeckung der *Zellkommunikation* zwischen den rund zehn Billionen Zellen eines Körpers unterschiedlichste Krankheiten in den Griff zu bekommen. Wiederum sind es neue Forschungsgeräte und Methoden, die tiefere Einsichten in die Beziehungen der Zellen zueinander erst möglich machen. So können bisherige Messungen außerhalb des lebenden Organismus in vitro, die die Komplexität der Realität kaum wiedergeben konnten und inkonsistente Ergebnisse lieferten, mit dem 2009 von Wissenschaftlern am *Forschungszentrum für Regenerative*

⁶⁷ Sh. PITZSCHKE, A. / FORZANI, C. / HIRT, H. (2006). S. 1757f.: „Rapid progress has been made in recent years in defining ROS as a major signal in diverse biological processes in plants. ROS can react with a large variety of biomolecules that can cause irreversible damage and lead to necrosis and death (...). On the other hand, ROS can influence the expression of a number of genes and signal transduction pathways, suggesting that cells have evolved strategies to utilize ROS as signals that control various biological programs (...). ROS are ideally suited to act as such signaling molecules since they are small and can diffuse over short distances (...).“

⁶⁸ In der von František BALUŠKA und Jorge M. VIVANCO herausgegebenen Buchreihe „Signaling and Communication in Plants“ sind z.B. die Titel BALUŠKA, F. / MANCUSO, S. (eds.). (2009). „Signaling in Plants“ und BALUŠKA, F. (ed.). (2009). „Plant-Environment Interactions. From Sensory Plant Biology to Active Plant Behavior“ erschienen. Vgl. auch BALUŠKA, F. / MANCUSO, S. / VOLKMANN, D. (eds.). (2006). „Communication in Plants. Neuronal Aspects of Plant Life“.

⁶⁹ BALUŠKA, F. / VOLKMANN, D. / HLAVACKA, A. / MANCUSO, S. / BARLOW, P. W. (2006). p. 27.

⁷⁰ ZIMMERMANN, M. R. / MAISCHAK, H. / MITHÖFER, A. / BOLAND, W. / FELLE, H. H. (2009).

Therapien Dresden (CRTD) der DFG und dem *Biotechnologischen Zentrum* der TU Dresden (BIOTEC) entwickelten *Modular scanning FCS* (FCS = Fluorescence Correlation Spectroscopy) nunmehr durch Messungen *in vivo* ersetzt werden.⁷¹

In ihrem Artikel „Körperzellen: Dynamische Netzwerke mit Eigensinn – Zellgeflüster“⁷² beschreibt Florianne KOEHLIN die Informationsstrukturen der Zellen als weitverzweigtes vielfältiges Kommunikationsnetz: „Eine menschliche Muskelzelle betreibt rege Konversation mit ihren unmittelbaren wie mit ihren weiter entfernten Nachbarinnen. Sie wird konstant ‚angesprochen‘, antwortet auf die Botschaften und verändert sich dabei manchmal auch selber. Jede Zelle gebraucht dabei ihr eigenes Set an Kommunikationsmöglichkeiten. Eine Muskelzelle kommuniziert anders als eine Fettzelle, und eine Herzmuskelzelle des Embryos anders als eine Herzmuskelzelle des Erwachsenen.“⁷³ Eine Vielzahl von Sprachen und Signalen komme dabei zum Einsatz. Als Botenstoffe zwischen den Zellen wurden Proteine, Fette, Zuckermoleküle, Ionen, gelöste Gase und Biophotone entdeckt. Die Proteine etwa „bewegen sich durchs Netz wie Emails. Struktur-Proteine bilden das Meldesystem, vergleichbar mit Kabeln, Discs oder Modems. Es ist ein Netz winziger Kanäle für die Nachrichtenübermittlung, sowohl innerhalb der Zellen als auch zwischen den Zellen. Bei den Proteinen spielt neben der chemischen Zusammensetzung auch die räumliche Struktur eine wichtige Rolle für die Kommunikation.“⁷⁴ KOEHLIN vergleicht die Zellmembran der Empfängerzelle mit einem Computer, der die eintreffenden Signale sortiert und so miteinander verrechnet, dass Entscheidungen für angemessene Reaktionen getroffen werden können.

Wenn Zellen durch zelluläre und molekulare Kommunikation zur Funktion angeregt oder bei kommunikativen Störungen von ihr abgehalten werden und ihre kommunikativen Strukturen von der Grundlagenforschung entschlüsselt werden, können im nächsten Schritt adäquate Medikamente und Methoden entwickelt werden, mit denen die Medizin in den Kommunikationsprozess eingreifen und die kommunikativen Vorgänge so verändern und steuern kann, dass Funktionen von Zellen eingeschaltet, abgeschaltet oder umgeformt werden. Im Forschungsbereich *Molekulare und zelluläre Kommunikation: Biotechnologie, Bioinformatik und Biomedizin in Therapie und Diagnostik* der Universität Leipzig werden Möglichkeiten der Zellsteuerung z.B. zur Neuroregeneration entwickelt: „Hierbei soll das Wachstum von Nervenzellen gesteuert und durch Moleküle oder Lichtimpulse (...) in eine bestimmte Richtung gelenkt werden.“⁷⁵ Auch für die Leberregeneration und die Stimulierung des Knochenwachstums wird der Einsatz von Molekülen getestet.

Zur Zeit werden an vielen Universitäten und Forschungseinrichtungen⁷⁶ Wege gesucht, um Fehler in den Signalwegen, die zu Krebs führen können, aufzuspüren. „In den entarteten Zellen eines Tumors kommt es meist zu Veränderungen, die die beschriebene interzelluläre Kommunikation stören. Das führt einerseits dazu, dass die Tumorzellen sich unabhängig vom tatsächlichen Vorhandensein anregender Faktoren vermehren oder wandern. Die Anwesenheit von aktivierenden Signalstoffen wird dabei fälschlich ins Zellinnere gemeldet und/oder

⁷¹ Sh. Technische Universität Dresden. (2009). Vgl. RIES, J. / YU, S. R. / BURKHARDT, M. / BRAND, M. / SCHWILLE, P. (2009).

⁷² KOEHLIN, F. (2003).

⁷³ Ebd.

⁷⁴ Ebd.

⁷⁵ BECK-SICKINGER, A. (o.J.). S. 37.

⁷⁶ Im deutschsprachigen Raum z.B. in Berlin, Dresden, Erlangen-Nürnberg, Essen, Frankfurt, Freiburg, Göttingen, Graz, Hamburg, Heidelberg, Innsbruck, Jena, Kiel, Köln, Leipzig, Magdeburg, Marburg, München, Münster, Regensburg, Ulm, Wien, Würzburg, Zürich in vielfältiger Zusammenarbeit auch mit dem *Deutschen Krebsforschungszentrum Heidelberg* und in Zukunft mit dem 2009 von der Bundesregierung gegründeten und finanzierten *Nationalen Konsortium für Translationale Krebsforschung*.

hemmende Signale werden nicht erkannt.⁷⁷ Erforscht werden vor allem Signalproteine und ihre Signalwege. „Immer wieder entdecken die Forscher neue Signalwege, die für das Tumorstadium eine Rolle spielen und Ziele zukünftiger Behandlungsstrategien sein könnten.“⁷⁸ Am Institut für Krebsforschung der Medizinischen Universität Wien werden z.B. „(d)ie Rolle der ‚Sprouty‘ Moleküle in der Zell-Zell-Kommunikation“⁷⁹, das „Major Vault Protein‘ (MVP)⁸⁰ und „Aktivine und Follistatine in der Krebsentstehung“⁸¹ untersucht. An der Universitätsmedizin Göttingen ist die DFG-Forschergruppe FOR 942 unter Leitung von Lorenz TRÜMPER mit dem Signalprotein *Wnt* und dem „Wnt-Signalweg in Entwicklung und Tumorstadium“⁸² befasst. Es wird die Funktion dieses Signalweges bei gesunden Personen und bei Patienten mit verschiedenen Krebserkrankungen verglichen. Während bei gesunden Personen die WNT-Signale genau dosiert abgegeben werden, sind sie bei Tumoren unkontrolliert aktiv. Die Ergebnisse sollen zu neuen molekularen Behandlungsmethoden führen.⁸³ Die Projekte aus Wien und Göttingen stehen beispielhaft für die heute nahezu unüberschaubaren Forschungsbemühungen, die unter dem Paradigma der *molekularen und zellulären Kommunikation* neue Methoden und Medikamente entwickeln, um einen permanenten Wachstumsauftrag der Wachstumsrezeptoren an die Krebszellen zu stoppen oder zu hemmen, ohne dabei die belastenden Nebenwirkungen der Chemotherapie oder der Strahlentherapie hervorzurufen.⁸⁴ Solange allerdings die ungeheure Vielfalt der Kommunikation der Körperzellen noch nicht überschaut wird, können auch bei der molekularen Krebstherapie Nebenwirkungen durch ungewollte und schädliche Schaltungen nicht ausgeschlossen werden.

Gerade auch im Bereich der Krebsforschung sind Forschungsergebnisse nicht unumstritten. So geht etwa der Biophysiker Fritz-Albert POPP davon aus, dass die Steuerung des Zellwachstums „nicht im molekularen Bereich beantwortet werden (kann – E.F. / E.S. -), nicht dadurch, daß man die Moleküle unters Mikroskop legt und irgendwelche Defekte in den Molekülen erkennt. (...) (S)olange eine Verständigung im Organismus möglich ist, wird es auch keinen Krebs geben, d.h., Krebs ist immer eine Störung dieser Verständigung zwischen den Zellen, in denen eben das Wachstum genau bestimmt wird. Und die elementare Verständigungsbasis von Lichtwellen ist von der Physik her betrachtet die Kohärenz, also die Fähigkeit, Informationen mit elektromagnetischen Wellen zu übertragen. Krebs ist also eine Kohärenzstörung, die in der Kommunikation über Licht stattfindet.“⁸⁵ POPP ist davon überzeugt, die Wirkung von elektromagnetischen Strahlungen, im besonderen von Lichtwellen, die er *Biophotone* nannte, nachgewiesen zu haben.⁸⁶ Parallelen in der Erforschung elektromagne-

⁷⁷ SUTTERLÜTY-FALL, H. (o.J.a).

⁷⁸ Deutsches Krebsforschungszentrum (dkfz). Krebsinformationsdienst (KID). (2009). S. 1.

⁷⁹ SUTTERLÜTY-FALL, H. (o.J.b).

⁸⁰ HOLZMANN, K. (o.J.).

⁸¹ GRUSCH, M. (o.J.).

⁸² FOR 942. (o.J.)

⁸³ Sh. ebd.: „Das Ziel der Forschergruppe ist es, durch Untersuchung der Wnt-Signalwege mit besonderem Augenmerk auf den Parallelen zwischen entwicklungsbiologischen und malignen Prozessen zu einem besseren Verständnis der Mechanismen der Tumorstadium zu gelangen. Die Entwicklung klinisch-onkologischer Strategien bei vielen Tumor-Entitäten zeigt in den letzten Jahren, dass die Beeinflussung des Fortschreitens eines Tumors eine wesentliche Verbesserung der Prognose auch bei inkurabler Situation ermöglichen kann. Dies ist speziell im Hinblick auf die Entwicklung gezielter molekularer Therapiestrategien von Interesse, wofür auch beim Wnt-Signalweg bereits vielversprechende Ansätze existieren.“

⁸⁴ Sh. dazu Deutsches Krebsforschungszentrum (dkfz). Krebsinformationsdienst (KID). (2009). S. 1f.

⁸⁵ POPP, F.-A. ([1999] 2007). S. XXIV.

⁸⁶ Sh. ebd.: „Und diese Kohärenzstörung kann auch meßtechnisch nachgewiesen werden. Wir haben das getan in den letzten Jahren. Es hat sich immer wieder gezeigt im Experiment, daß Tumorzellen eben so reagieren, daß die Kohärenz, die wir messen können, über eine bestimmte Schwelle hinweg gestört wird. Die Kohärenz geht verloren, die Zelle kann nicht mehr mit der anderen kommunizieren, und sobald dieser Kontakt abgeschnitten ist, sobald durch die Hinzunahme einer weiteren Zelle die Kommunikation nicht verbessert, sondern verschlechtert wird, entsteht ein Tumor.“ POPP wurde für seine Thesen als Spinner angefeindet und verlor 1980 seinen

tischer Strahlungen als Kommunikationsinstrument im Körper ergeben sich neuerlich etwa zu den o.a. Forschungen am Jenaer *Max-Planck-Institut für chemische Ökologie* und am Bonner *Institut für Zelluläre und Molekulare Botanik*. Die Auseinandersetzung um die Priorität der chemischen oder der elektromagnetischen Zellkommunikation kann und soll hier nicht entschieden werden. Festzustellen ist, dass beide Richtungen davon ausgehen, dass die Zellen eines Organismus in jeder Sekunde in vieltausendfacher Weise Informationen austauschen, und daraufhin das Paradigma der *Zellkommunikation* konstituieren.

3.6. Zellinterne Kommunikation

Je weiter es der Forschung gelingt, zu den Ursprüngen des Lebens in den Zellen vorzudringen, desto mehr gewinnt das Phänomen der Information innerhalb der Zelle an Bedeutung. Auch im zellinternen Bereich verwenden angesehene Forscher und Institutionen für die Beschreibung der molekularen Informationsvorgänge die Begriffe *Kommunikation* und *Sprache*. So beschreibt das Schwedische Nobelpreis-Komitee zur Vergabe des Preises für Chemie 2009 die Informationen im Zellgeschehen als *Sprachen*, die gelesen und übersetzt werden: „The ribosome reads the information in messenger RNA, and based upon that information, it produces protein. Scientists refer to this as translation. It is during this translation process, when DNA / RNA language becomes protein language, that life reaches its full complexity.“⁸⁷ Neben den hier vorzuweisenden Belegen, dass die Begriffe *Kommunikation* und *Sprache* bis in die zellinternen Beziehungen hinein Verwendung finden, rückt nunmehr zudem die Frage nach dem Ursprung der Information in den Vordergrund.

Als Grundbaustein des Lebens enthält jede Zelle in ihrer DNS die für ihren Bau und ihre Aktivitäten notwendigen Informationen. Wesentlicher Bestandteil der DNS sind die für die Erbinformationen zuständigen Gene. Die vollständige Entschlüsselung des menschlichen Genoms⁸⁸ und der darin befindlichen etwa 20.000 –25.000 Gene durch das *Human Genome Project*⁸⁹ im Jahre 2003 erfüllte indes nicht die Hoffnungen einiger Forscher und einer breiten Öffentlichkeit, nunmehr die Grundfragen des Lebens beantworten zu können. Auch die großen Krankheiten der Menschheit in unserer Zeit lassen sich nicht einfach durch Ein- oder Ausschalten von Genen beherrschen. Es wird immer deutlicher, dass die Gene der DNS nicht nur einseitig über die „messenger-RNA“ Informationen an die Proteinwerkstätten, die Ribosome, liefern, sondern in vielfacher Art in das komplexe Geschehen in einer Zelle eingebunden sind. Zwar sind die Baupläne gegenüber den Umwelteinflüssen weitgehend abgeschirmt und geschützt, sodass das Erscheinungsbild einer Art langfristig stabil bleibt, doch werden die Informationen der Gene keineswegs starr übernommen. Die Ein- und Ausschaltung von Genen, ihre Verortung, Verschiebung und Versetzung sowie die Erstellung von ganzen oder teilweisen Kopien und deren Kombination unterliegen der Steuerung und Kontrolle durch

Lehrstuhl an der Universität Marburg. Seitdem installierte er 1994 mit Lev V. BELOUSSOV in Moskau den Forschungsbereich *Biophotonik*, gründete das International Institute of Biophysics (IIB) mit Sitz in Neuß, heute „Fritz-Albert Popp Institut“, und setzt sich weltweit für die Anerkennung der Biophotonik ein. Sh. dazu die Ausführungen auf der Homepage des Fritz-Albert Popp Instituts.

⁸⁷ Kungl. Vetenskaps-Akademien. The Royal Swedish Academy Of Sciences. (2009). S. 1. Ada E. YONATH, Thomas A. STEITZ und Venkatraman RAMAKRISHNAN erhielten 2009 den Nobelpreis für Chemie dafür, dass sie den Aufbau der Ribosome kristallisiert und dadurch sichtbar gemacht, dann gelesen, und ihre Atome in 3D-Modellen kartographiert haben.

⁸⁸ „A **genome** is all the DNA in an organism, including its genes. Genes carry information for making all the proteins required by all organisms. These proteins determine, among other things, how the organism looks, how well its body metabolizes food or fights infection, and sometimes even how it behaves.“ Sh. Human Genome Project. (2008).

⁸⁹ Von 1990 bis 2003 haben Institute in zuletzt 18 Staaten unter Führung der USA das menschliche Genom vollständig entschlüsselt. Sh. ebd.

Bestandteile der DNS, die lange Zeit als *Gen-Müll* oder *Junk-DNA* betrachtet wurden. „Transposable elements“⁹⁰ und „RNA-interference“⁹¹ nehmen Einfluss auf die Gene. Die junge Wissenschaft der Epigenetik hat bei Untersuchungen zur Veränderung des Erbgutes entdeckt, dass durchaus auch Umwelteinflüsse eine Veränderung des Phänotyps herbeiführen und diese Änderungen an folgende Generationen weitergegeben werden können. „In some cases at least, it seems that the effects on gene expression may persist even after the removal of the inducing agent, and can be passed on, through mitosis, to subsequent cell generations, constituting a heritable, epigenetic change. If such changes occur in germ cells or their precursors, then they may be passed on to subsequent generations. Mechanisms are now known to exist through which an epigenetic change might give rise to a localized change in DNA sequence exerting the same functional effect, thereby converting an epigenetic to a genetic change. If the induced genetic change has phenotypic effects on which selection can act, then this hypothetical chain of events constitutes a potential route through which the environment might directly influence evolution.“⁹² Weltweit sind Biologen und Mediziner mit den einzelnen Abläufen in den Zellen bei gesunden und kranken Menschen befasst.

In seinem Buch „Das kooperative Gen“⁹³ interpretiert der Mediziner und Genforscher Joachim BAUER die vielfältigen Beziehungen in einer Zelle als im wesentlichen kommunikative Beziehungen. Er kommt zu dem Schluss: „Erst durch die vollständige Aufklärung der Genome des Menschen und weiterer Spezies war es möglich, die genomische Architektur und die Gesetzmäßigkeiten ihrer Entwicklung entlang der Evolution zu entdecken. Genome sind dank zahlloser Informationen, die ihnen vom Gesamtorganismus bzw. von der Zelle zufließen, in der Lage, auf Inputs der verschiedensten Art, insbesondere auf bestimmte Stressoren, zu reagieren, und sie tun dies nicht nach dem Zufallsprinzip, sondern nach Regeln, die in ihnen selbst verankert sind. Die Prinzipien, die bei einem Blick auf die Evolution des Genoms deutlich werden, sind: Kommunikation, Kooperation und Kreativität.“⁹⁴ Außerhalb der Biosphäre lassen sich die drei Grundprinzipien nach BAUER nicht finden.⁹⁵ Er postuliert, „Gene als ‚communication molecules‘ (...), das heißt als kommunikative Moleküle, und das Genom als ein ‚highly sensitive organ‘ (...), als ein zur Wahrnehmung von äußeren Signalen befähigtes System, zu betrachten.“⁹⁶

So zeigen auch BAUERs Ausführungen zum einen, wie der Begriff der *Kommunikation* heute von einigen Forschern auf alle Informationsbeziehungen bei Organismen ausgedehnt wird. Er legt mit seinen Ausführungen zur Entstehung der Gene zum anderen zugleich eine Möglichkeit nahe, zu verstehen, wie *Information* im Organismus und für den Organismus zustande gekommen sein könnte: „*Das Leben begann in einer sogenannten RNS-Welt (...): Erste lebende Systeme bestanden aus kooperierenden und kommunizierenden Ensembles von RNS- und Proteinmolekülen, die zudem in der Lage waren, sich selbst zu erneuern und zu reproduzieren.* (...) Gene entstanden, weil Zellen im Frühstadium der Evolution (in einem vor mehr als drei Milliarden Jahren gelegenen Zeitraum (...)) begannen, ‚Sicherungskopien‘ ihrer RNS-Moleküle herzustellen, die in einer Art ‚Bibliothek der Zelle‘ aufbewahrt wurden. Das

⁹⁰ SHAPIRO, J. A. (1999). S. 171. Sh. auch BAUER, J. (2008). S. 25ff. und S. 84f.

⁹¹ Für die Entdeckung der „RNA interference“ erhielten Andrew Z. FIRE und Craig C. MELLO 2006 den Nobelpreis für Medizin. Sh. NYSTRAND, A. (2006).

⁹² TURNER, B. M. (2009). p. 3403.

⁹³ BAUER, J. (2008).

⁹⁴ A.a.O. S. 142.

⁹⁵ Sh. a.a.O. S. 17.

⁹⁶ A.a.O. S. 143. Sh. auch S. 89. Der Ausdruck „communication molecules“ stammt von James A. SHAPIRO, allerdings nicht aus dem von BAUER angegebenen Artikel SHAPIRO, J. A. (2006), sondern belegt in SHAPIRO, J.A. (1998). p. 85. Den Ausdruck „highly sensitive organ“ hat BAUER von Barbara McCLINTOCK übernommen. Sh. McCLINTOCK, B. (1983). p. 198.

Material dieser Sicherungskopien war der Stoff, aus dem die Gene sind: Desoxyribonukleinsäure (DNS).⁹⁷ In der Evolution, so könnte man folgern, begann demnach mit dem Zusammenwirken der RNS-Moleküle und Proteine das Leben der Zelle und zugleich die Verselbstständigung der *Information*: Indem Kopien des Ganzen oder seiner Teile produziert wurden und mit diesen der *Text* dieser Kooperation gespeichert blieb, konnte die Kopie vom realen Geschehen gelöst werden und blieb unabhängig vom Geschehen selbst als *Information* über das Geschehen erhalten und verwendbar.

BAUERs Thesen sind im Glaubenskrieg zwischen Kreationismus und Darwinismus nicht unumstritten.⁹⁸ Sein Buchtitel „Das kooperative Gen“ ist offensichtlich konträr zu Richard DAWKINS Buch „The Selfish Gene“⁹⁹ gewählt. Es verwundert deshalb nicht, dass BAUER aus dem darwinistischen Lager heftige Anfeindungen auf sich zieht und der Nähe zum Kreationismus verdächtigt wird,¹⁰⁰ obwohl er explizit feststellt, dass Glaubensfragen in der Wissenschaft und der Lehre der Biologie keinen Platz haben.¹⁰¹ Wir stimmen mit den Evolutionsforschern überein, dass es in der Wissenschaft keinen Platz für Kreationismus und Intelligent-Design gibt. Den Streit darum, ob Gene egoistisch und verhaltensbestimmend oder kooperativ dem Zellgeschehen eingeordnet sind, können und wollen wir an dieser Stelle nicht entscheiden. Die Ausführungen Joachim BAUERs wurden hier dargelegt, um zu dokumentieren, mit welcher zentralen Bedeutung die Begriffe *Information* und *Kommunikation* in der Biologie für die Beschreibung der Beziehungen auch der kleinsten und ursächlichen Bestandteile des Lebens belegt werden.

3.7. Kommunikation der leblosen Materie

Der neutrale Begriff für Relationen von Materieteilchen zueinander ist zunächst das *Wechselwirken* bzw. die *Wechselwirkung*. Am *Deutschen Elektronen Synchrotron (DESY)* in Hamburg vergleicht man das Wechselwirken der Elementarteilchen, als der derzeit kleinsten bekannten Bausteine der Materie, mit einem Fußballspiel: Wie die Spieler eines Fußballspieles mit Hilfe des Balles, den sie sich zuspieren, Kontakt miteinander halten, wechselwirken die Elementarteilchen, indem sie nach Spielregeln ein Objekt austauschen. Rolf-Dieter HEUER, zunächst Forschungsdirektor am *DESY*, seit 2009 Generaldirektor des *CERN*,

⁹⁷ BAUER, J. (2008). S. 35ff.

⁹⁸ Im Untertitel seines Buches verkündet er den „Abschied vom Darwinismus“. Zwar nimmt man ihm nach der Lektüre des Buches eine völlige Abkehr von DARWIN nicht ab, doch richtet er seine Argumentation strikt gegen das „Zufallsprinzip“ in der Evolutionstheorie, sowie vor allem gegen die modernen Varianten der „darwinistischen Denkschule“ (A.a.O. S. 15. Anm. 14.). „*Der Kern der Evolutionstheorie Darwins basierte nicht auf biologischen Erkenntnissen, sondern hatte ein ökonomisches Kalkül (Thomas MALTHUS – E.F./E.S. –) zur Grundlage. Biologische Systeme sind im darwinistischen Modell keine Akteure der Evolution, sie leisten keinen eigenen, genuin biologischen Beitrag zur Entwicklungsgeschichte, sondern sind nach dem Zufallsprinzip entstandene Produkte bzw. Waren. Und genau hier liegt, wie die Erkenntnisse der letzten Jahre nunmehr unabweisbar zeigen, der zentrale Fehler des darwinistischen Dogmas.*“ (A.a.O. S. 158f.) Als Vertreter der *Soziobiologie* bzw. der *New Synthesis-Theorie* gelten z.B. WILSON, E. O. (1975), KUTSCHERA, U. / NIKLAS, K. J. (2004) und VOLAND, E. ([1993] 2000).

⁹⁹ DAWKINS, R. ([1976] 2006).

¹⁰⁰ So mutmaßt etwa Thomas JUNKER: „Ist dies des Pudels Kern? Ist dies die Lösung für das Rätsel der ‚verschwundenen‘ Kreationisten? Und in der Tat: Im Windschatten von Bauers pseudo-sachlicher Darwinismus-Kritik und mit seiner tatkräftigen Unterstützung ist ein Sammelbecken für all die feigen Kreationisten entstanden, die nicht den Mut haben, sich offen zu ihrer Meinung bekennen. Auch Bauer selbst lehnt es nach außen hin ab, sich als Kreationist (= Schöpfungsgläubiger) zu outen.“ JUNKER, T. (2009).

¹⁰¹ Sh. BAUER, J. (2008). S. 190ff: „Der Kreationismus ist ein aus wissenschaftlicher Sicht völlig unbrauchbares Konzept. Seine Positionen haben in *biologischen* Lehrbüchern nichts zu suchen. (...) Wissenschaftliche Beweisführungen liegen ausschließlich in der Zuständigkeit der Wissenschaft selbst – insoweit haben auch Konzepte wie jenes des ‚Intelligent Design‘ *innerhalb der Biologie* keinen Platz.“

beschreibt vier unterschiedliche Spiele, die sich nach der Schwere der Bälle unterscheiden: Drei der Regeln werden durch die Quantentheorie beschrieben, eine durch EINSTEINs Relativitätstheorie. Die Spielregeln sind der Bauplan für das Universum. Sie wurden im Urknall definiert und weisen eine „fantastische Feinabstimmung“ auf, ohne die (menschliches) Leben nicht zustande gekommen wäre. Die Physiker u.a. am *DESY* versuchen diese Spielregeln zu enträtseln.¹⁰²

Wie am *DESY* versucht man auch am europäischen Teilchenphysikzentrum *CERN* in der Nähe von Genf mit Hilfe des *LHC (Large Hadron Collider)* durch die künstliche Herbeiführung einer Kollision von Elementarteilchen (Protonen) bei nahezu Lichtgeschwindigkeit dem Urknall möglichst nahe zu kommen. Eine Hoffnung besteht darin, das Teilchen des Higgs-Feldes, das *Higgs*, zu entdecken, das nach der Theorie von Peter HIGGS das Spiel der Elementarteilchen in Gang setzt. Das Higgs-Feld wäre nach Rolf LANDUA, dem Mitinitiator der *Antimaterie-Fabrik* am *CERN*, in der Lage, als kosmische Erbinformation allen anderen Elementarteilchen mitzuteilen, welche Masse sie haben: „Dieses Higgs-Feld, nach dem wir suchen, (...) wäre im Grunde genommen so eine Art kosmische DNS, das sagt, (...) dieses Elektron muss diese Masse haben. Das (Higgs-Feld – E.F./E.S.) enthält (...) diese Information für alle Elementarteilchen, die existieren. Das heißt also, es gibt in unserem Universum eine gewisse Struktur, und da steckt also im leeren Raum, in der Form dieses Feldes, (...) Information.“¹⁰³

Auch für derartiges *Wechselwirken* der unorganischen Materie findet sich in physikalischen Arbeiten der Begriff *Kommunikation*. Der Physiker Martin ERDMANN, der an der *RWTH Aachen* u.a. an der Auswertung der am amerikanischen Proton-Antiproton-Beschleuniger *Tevatron Collider* in der Nähe von Chicago gewonnenen Daten beteiligt ist, beschreibt in einer Darstellung des Standard-Modells der Teilchenphysik derartige Kommunikation: „Wie kommunizieren zwei Materie-Teilchen miteinander? Stellen Sie sich zwei Elektronen vor, die aufeinander zu fliegen (...) . Beide haben dieselbe elektrische Ladung und werden sich deswegen gegenseitig abstoßen. Es muss also einen Mechanismus in der Natur geben, der die Information ‚gleich geladen, fliege fort‘ zwischen den beiden Elektronen austauscht. Diese Information wird durch den Austausch eines Lichtteilchens übertragen, das so genannte ‚Photon‘. (...) Außer dieser elektromagnetischen Wechselwirkung zwischen geladenen Teilchen gibt es weitere Kommunikationsarten zwischen den Materie-Teilchen (...). Die schwache Wechselwirkung ist z.B. verantwortlich für bestimmte radioaktive Zerfälle. Eines ihrer Kommunikationsteilchen ist das bereits erwähnte Z-Teilchen.“¹⁰⁴

Das Prinzip der *Kommunizierenden Röhren* wird bereits Kindern im Sachunterricht der Grundschule beim Thema *Wasserversorgung* mit den entsprechenden Vorführgeräten deutlich gemacht¹⁰⁵: Der Flüssigkeitsstand in einem Gefäß ist exakt so hoch wie der in einem weiteren mit ihm verbundenen Gefäß, unabhängig davon, wie weit die beiden voneinander entfernt sind (Prinzip des Hochbehälters). Niemand wird behaupten, die Gefäße sprächen miteinander, dennoch gelangt die Information über den Flüssigkeitsstand von einem Gefäß zum anderen. Der Grundgedanke dieses zunächst einfach anmutenden Beispiels für den Gebrauch des Begriffes *Kommunikation* in physikalischen Zusammenhängen findet sich im Begriff der *Teil-*

¹⁰² Sh. dazu Interview mit Rolf-Dieter HEUER in: FRIEDL, C. (2002).

¹⁰³ Rolf LANDUA im Gespräch mit Gert SCOBEL in: SCOBEL, G. (2008). Sh. dazu auch LANDUA, R. (2008).

¹⁰⁴ ERDMANN, M. (2001). S. 127f.

¹⁰⁵ Sh. etwa DUDEN. Stoffverteilungsplan. Sachunterricht. Klasse 4. (2010). S. 4: „Versuche zum Transport von Wasser durchführen und Gesetzmäßigkeiten entdecken; das Prinzip der kommunizierende(n) Röhren erarbeiten und verstehen“.

chenkommunikation wieder: Wie die Kommunizierenden Röhren weisen verschränkte Quanten gleiche Merkmale und Veränderungen auf, die eine Art von Informationsaustausch vermuten lassen.

In der Quantentheorie wird der Begriff der *Teilchenkommunikation* von einigen Forschern dazu benutzt, die Tatsache zu erklären, dass Elementarteilchen wie Bosone, Leptone, Quarks und Photone, wenn sie miteinander verschränkt sind, anscheinend untereinander, auf irgendeine noch geheimnisvolle Art und Weise, korrespondieren. Albert EINSTEIN klassifizierte das Phänomen als „spukhafte Fernwirkungen“¹⁰⁶. Eine Forschungsgruppe unter Leitung des Wiener Quantenphysikers Anton ZEILINGER ist darum bemüht, die Verschränkung von Photonen über immer größere Entfernungen zu überprüfen. Sie schickten 2004 einzelne Photone eines Lasers etwa über 144 km von La Palma nach Teneriffa oder 2008 von einem süditalienischen Observatorium über 1500 km zum japanischen Satelliten „Ajisai“ in den Orbit und ließen sie wieder zur Erde zurückreflektieren. Unabhängig von der dabei hergestellten Entfernung der verschickten und der nicht verschickten Teilchen voneinander wiesen miteinander verschränkte Photone gleiche Eigenschaften (Polarisation, Spin, Drehimpuls) auf. „Zwar zeigen die Messungen an beiden Photonen perfekte Korrelationen – bei gleich orientierten Polarisatoren wird auf beiden Seiten die gleiche Polarisation gemessen –, aber dennoch ist die Annahme falsch, dass die Photonen bereits vor ihrer Messung eine Polarisation tragen. Durch Messung am ersten Photon nimmt dieses spontan eine Polarisation an – und das zweite Photon besitzt, ganz egal, wie weit es entfernt ist, von diesem Moment an ebenfalls eine wohl definierte Polarisation.“¹⁰⁷ Wie die Information über derartige Entfernungen von einem Teilchen zum anderen gelangt, ist physikalisch noch völlig ungeklärt. Jede Signalübertragung der „spooky actions at a distance“ müsste nach Untersuchungsergebnissen einer Gruppe Genfer Physiker um Nicolas GISIN mit mehr als 10.000-facher Lichtgeschwindigkeit erfolgen¹⁰⁸ und widerspräche somit der Relativitätstheorie. Unabhängig von der Klärung dieses Phänomens wird etwa bei Versuchen zur praktischen Anwendung der Quantenphysik wie dem Bau von Quantencomputern die „unbestreitbare Tatsache (vorausgesetzt – E.F./E.S.), dass miteinander verknüpfte Quantensysteme unabhängig von ihrem Standort immer einen gemeinsamen Zustand bilden und folglich miteinander kommunizieren können.“¹⁰⁹ Praktisches Ziel vieler Forschergruppen, so auch der Genfer GISIN-Gruppe, ist es, die Informationssprünge bei den verschränkten Teilchen für die Entwicklung und Einrichtung neuer, abhörsicherer („Quantenkryptografie“) Kommunikationswege nutzbar zu machen. Der Begriff *Quantenkommunikation* wird sowohl für die Informationsabhängigkeit der verschränkten Quanten untereinander als auch für die Möglichkeiten der Erschließung neuer Kommunikationswege aufgrund dieses Phänomens verwendet. Aus der Quantentheorie leiten manche Forscher die These ab, dass Information und Kommunikation unabhängig von Lebewesen diesen vorausgehen und ihren Ursprung in der Entstehung des Weltalls vermuten lassen (sh. folgendes Kapitel).

Seit dem Beginn der Entwicklung sogenannter *intelligenter Maschinen* hat der Begriff *Kommunikation* auch in der Technik einen zentralen Platz. Das *Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)* zählt in seinem Forschungsprogramm zu den Informations- und Kommunikationstechnologien *IKT 2020* unter dem Stichpunkt *Next Generation Media* als zu fördernde multimediale Technologien auf: „Mit der Förderung von Entwicklung, Erprobung und Demonstration von Multimedia-Anwendungen für vernetzte intelligente Systeme (...) sollen Referenzmodelle und Vorzeige-Beispiele entstehen, die Machbarkeit und wirtschaft-

¹⁰⁶ EINSTEIN, A. ([1969] 1982). S. 215.

¹⁰⁷ ZEILINGER, A. (2008). S. 61f.

¹⁰⁸ SALART, D. / BAAS, A. / BRANCIARD, C. / GISIN, N. / ZBINDEN, H. (2008). S. 861-864.

¹⁰⁹ HUBER, B. (2000). S. 8.

lichen Nutzen aufzeigen und zur Nachahmung anregen. Die angestrebten Entwicklungen greifen Begriffe wie Ambient Intelligence, Ubiquitous Computing oder ‚Things that Think‘ auf, die den Beginn eines neuen Zeitalters, das ‚Internet der Dinge‘, markieren. Die ausgewählten Projekte zielen auf technologische Leitinnovationen in den Feldern ‚Konsumelektronik in vernetzten Systemen‘, ‚Intelligente Logistiknetze‘, ‚Intelligente Vernetzung von Produktionsanlagen‘ und ‚Intelligente Systeme in der Gesundheitsversorgung‘.¹¹⁰ Die intelligenten Systeme, Rechner und Roboter erfüllen die an sie gestellten Anforderungen nur dann, wenn sie in der Lage sind, ihre intelligenten Produkte miteinander und mit den Menschen auszutauschen. Vom IKT 2020 geförderte IKT-Systeme sollen zum Beispiel mit Hilfe zu entwickelnder „(a)utonomie(r) vernetzte(r) Sensorsysteme“ „ihre Umgebung erfassen und ‚verstehen‘ (‚Real World Awareness‘) und ihre Informationen kommunizieren.“¹¹¹

Im Bereich der *Mensch-Maschine-Kommunikation* (MMK) bemühen sich Forschungsinstitute darum, Maschinen zu entwickeln, die mittels einer (z.T. sprachlichen) Bedienung durch den Menschen zielgerichtet oder multifunktional einsetzbar sind. Die Forschung am Lehrstuhl *Mensch-Maschine-Kommunikation* der *Technischen Universität München* beschäftigt sich z.B. „mit den Grundlagen einer weitgehend intuitiven, natürlichen, und deswegen multimodalen Interaktion zwischen dem Menschen und informationsverarbeitenden Systemen. Alle Formen der Interaktion (d.h. alle Modalitäten), die dem Menschen zur Verfügung stehen, werden dazu untersucht. Sowohl die Informationsdarstellung seitens der Maschine, als auch die Interaktionstechnik muß dabei in Betracht gezogen werden; z.B. Text und Sprache, Schall und Musik, Haptik, Grafik und Gesichtssinn, Gestik und Mimik, und Emotionen.“¹¹² Das *Institut für Mensch-Maschine-Interaktion* an der RWTH Aachen arbeitet in zahlreichen Projekten daran, dass mit seinem „neuen Ansatz der ‚Projektiven Virtuellen Realität‘ (...) komplexe, automatisierte Systeme vom Weltraumroboter bis zur Internationalen Raumstation, vom Radlader bis zum Holzvollernter, von der Fräsmaschine bis zur Digitalen Fabrik und vom Industrieroboter bis zum anthropomorphen (mensenähnlichen) Roboter intuitiv programmier-, bedien- und überwachbar (werden – E.F./E.S.). Die angewandten Grundlagen für die Realisierung derartiger Konzepte und Systeme liegen in den Bereichen Weltraumrobotik, Industrierobotik, Mobile Robotik, Maschinelles Sehen, autonome Fahrzeugführung und Navigation sowie Computergrafik, virtuelle Welten und der Regelungs- und Simulationstechnik.“¹¹³ Im Bereich der *Maschine-zu-Maschine-Kommunikation* (M2M) werden Systeme entwickelt, in denen „Anlagen und Maschinen ohne menschlichen Auslöser Daten austauschen.“¹¹⁴ Dabei werden vor allem die Möglichkeiten einer Fernübertragung von Daten durch Mobilfunk eingesetzt. In derart praktischer Forschungsarbeit werden die Begriffe *Kommunikation* und *Interaktion* für den Datenaustausch mit bzw. zwischen den Maschinen verwendet.

Zwar sind die kommunizierenden Maschinen als Kreationen des Menschen zunächst von diesen abhängig. Doch gibt es in der Forschung durchaus die Meinung, dass sie sich bei Weiterentwicklung verselbstständigen und als Akteure bzw. „Agenten“ selbstständig kommunizieren könnten. So wurde an der *Technischen Fakultät* der Universität Bielefeld der künstliche Agent „**Max** - the Multimodal Assembly eXpert“¹¹⁵ entwickelt. Ipke WACHSMUTH, der verschiedenste Versuche mit Max durchführte, resümiert: „Damit zeichnet sich das folgende

¹¹⁰ Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.). (2007). S. 60.

¹¹¹ A.a.O. S. 56.

¹¹² Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation (MMK) der Technischen Universität München (TUM). (o.J.).

¹¹³ Institut für Mensch-Maschine-Interaktion an der RWTH Aachen. (o.J.).

¹¹⁴ SCHNABEL, P. (o.J.).

¹¹⁵ KOPP, S. (2008). Sh. dort weiter: “Max is situated in a virtual environment for cooperative construction tasks, where he multimodally demonstrates to the user the construction of complex aggregates and guides the user through interactive assembly procedures.”

Bild eines künstlichen Bewusstseins ab: Kriterien dafür sind Selbstidentifikation, Selbstwahrnehmung als handelndes Wesen, Metarepräsentationen und Erinnerungen in Verbindung mit emotionaler Bewertung. Hiermit ist es denkbar, dass Max sich Formen eines ‚menschlichen‘ (dem Menschen vergleichbaren) Bewusstseins annähert. Je vollständiger dies gelingt, mit desto mehr Recht könnte Max von sich als ‚Ich, Max‘ sprechen, und desto mehr würde Max als ‚menschliche Maschine‘ für Menschen als soziales Gegenüber akzeptabel.¹¹⁶ Wenn einerseits an der Entwicklung des *Robot sapiens* gearbeitet wird und andererseits Chips ins menschliche Gehirn eingepflanzt werden, scheint der Zeitpunkt der Verschmelzung menschlicher und maschineller Intelligenz nicht mehr fern.¹¹⁷ Die Idee der *Künstlichen Intelligenz* (KI), oder weiter gefasst des künstlichen Lebens, die an hochentwickelte kommunikative Fähigkeiten gebunden wäre, ist eine potentielle Zielvorstellung vieler Experimente und Anwendungen mit intelligenten Systemen, Robotern und neuronalen Implantaten.

Auf dem Hintergrund der Quantentheorie und der Mutmaßungen über die Möglichkeit einer eigenständigen Künstlichen Intelligenz versuchen weltweit Forscher, völlig neue technische Dimensionen des geistigen Operierens, der Informationsverarbeitung, des Informationsaustausches und damit der Kommunikation zu eröffnen. Wie aus der Quantentheorie leiten auch aus der Diskussion um die Künstliche Intelligenz manche Forscher die These ab, dass Information und Kommunikation unabhängig von Lebewesen existieren und ihrerseits die Lebewesen benutzen.

3.8. Information als existentielle Grundkategorie

Der Ausdehnung des Begriffes *Kommunikation* auf alle möglichen Beziehungen in der belebten und in der unbelebten Natur liegen mitunter – teilweise unausgesprochen – Theorien zugrunde, die den Inhalt aller Kommunikation, die *Information*, neben Materie und Energie als eigenständige dritte, in anderen Bewertungen sogar als erste physikalische Grundgröße aller Existenz behaupten. Sofern dieser Hintergrund thematisiert wird, geht dies oft mit einem Hinweis auf Ergebnisse der Quantentheorie und/oder der Forschungen zur Künstlichen Intelligenz einher.

Nachdem in der Evolutionsbiologie die Gene als maßgebliche Informationsgeber für die biologische Entwicklung der Formen des Lebens identifiziert sind, bleibt die Frage nach der Erklärung der „cultural evolution“¹¹⁸. Richard DAWKINS postuliert für die Entwicklung aller kulturellen Errungenschaften analog zu den Genen eine eigene „new kind of replicator“ und prägt für diesen Replikator in Anlehnung an den Begriff *Gen* den Begriff „*meme*“.¹¹⁹ Wie Gene das Erbgut kopieren und weitergeben, replizieren nach DAWKINS Meme die unterschiedlichsten kulturellen Muster und sorgen für ihre Vererbung und ihre Verbreitung. Als Beispiele für Meme führt er „tunes, ideas, catch-phrases, clothes fashions, ways of making pots or of building arches“¹²⁰ an. Als erstes Beispiel nennt er „Language“¹²¹; besonders umfangreich umreißt er Aspekte eines gemutmaßten „large complex of mutually-assisting religious memes.“¹²² Meme setzen sich nach DAWKINS wie Parasiten in den Gehirnen fest, vermehren sich wie Viren und verbreiten sich durch kommunikative Weitergabe der Gedan-

¹¹⁶ WACHSMUTH, I. (2005). S. 353.

¹¹⁷ Breit publiziert werden derartige Zukunftsbilder etwa vom amerikanischen Futuristen Raymond KURZWEIL. Sh. z.B. KURZWEIL, R. (2005).

¹¹⁸ DAWKINS, R. ([1976] 2006). S. 190.

¹¹⁹ A.a.O. S. 192.

¹²⁰ Ebd.

¹²¹ A.a.O. S. 189.

¹²² A.a.O. S. 199.

ken von Gehirn zu Gehirn. Als Maßeinheit lassen sich DAWKINS Meme nur ungenau umreißen. Wie er „the ‚gene complex‘ into large and small genetic units, and units within units“ einteilt, versucht er auch Mem-Einheiten durch Zerlegung von Mem-Komplexen zu finden.¹²³

DAWKINS siedelt die Entstehung und Entwicklung der Meme „in historical time“¹²⁴ an und hofft zumindest noch, dass der Mensch sich „against the tyranny of the selfish replicators“¹²⁵ auflehnen kann. Inzwischen hat sich aus der Befassung mit dem *Mem*-Begriff eine Lehre von der *Memetik* entwickelt, in der den Memen mitunter eine absolute Eigenständigkeit zugesprochen wird. Eine ihrer heftigsten Verfechter, Susan BLACKMORE, geht so weit, dass sie den Spieß umdreht und mutmaßt, der Mensch sei ohnehin ein nur zeitweise nötiges Werkzeug der Meme zur Materialisierung von Intelligenz, ihre Kopiermaschine. Mit der Technologie der Künstlichen Intelligenz werde er zumindest für den Erhalt und die Verbreitung der Meme überflüssig werden. Durch die modernen Kommunikationstechnologien entstehe bereits ein drittes Level der Replikatoren, die technologischen Meme, die „Temes“. „At the moment memes still need us, but if teme machines became self-replicating then we humans would be redundant and they could carry on without us. The two talks before mine, by Craig Venter and Paul Rothmund, suggested that this step is closer than I had thought. This is important because memes currently use us to propagate themselves. In the process they are sucking up the planet's resources and threatening to make it uninhabitable. If anything of our civilisation is to survive then either we have to ensure that climate change and environmental degradation do not kill us off, or self-replicating teme machines must appear before this happens.“¹²⁶

Rupert SHELDRAKE hält die Bezeichnung *Mem* für ein ungeeignetes, weil „atomistisches Wort: Es vermittelt den Eindruck, ein Mem sei eine eigenständige Einheit und befände sich auf derselben Stufe wie jedes andere.“ Er postuliert seinerseits den Ursprung der Information in „morphischen Feldern“, in denen die Information unabhängig von Sendern und Empfängern existiert und die „in verschachtelten Hierarchien (...) organisiert“ sind.¹²⁷ „Der Begriff ‚morphisches Feld‘ ist ein Gattungsbegriff, und er beinhaltet alle Arten von Feldern, denen ein Gedächtnis innewohnt, das von morphischer Resonanz herrührt. Und Letztere geht ihrer(...)seits auf vergangene Systeme ähnlicher Beschaffenheit zurück. Morphogenetische Felder, motorische Felder, Verhaltensfelder und soziale Felder – sie alle sind morphische Felder, und sie alle haben sich im Wesentlichen durch Gewohnheit ausgeprägt.“¹²⁸ Immer wieder in expliziter Anlehnung an die Materiefelder der Quantentheorie sieht SHELDRAKE morphische Felder als einen ursprünglichen, in seiner jeweiligen Ausprägung entwicklungs-geschichtlich gewachsenen, weltumspannenden Informationspool, der jeder Materie durch einen Prozess der „*formbildenden Verursachung*“¹²⁹ ihre besondere Form zuschreibt und über den Rückkopplungseffekt der „*morphische(n) Resonanz*“¹³⁰ Raum und Zeit ohne notwendige gleichzeitige Energieübertragung überwindet. "Was die Kommunikation der Pflanzen anbelangt, so meine ich, daß die heute lebenden Pflanzen durch die morphische Resonanz nicht

¹²³ A.a.O. S. 195f. Er erläutert dies am Beispiel des Mems der Darwinschen Theorie: „The meme of Darwin's theory is therefore that essential basis of the idea which is held in common by all brains that understand the theory. The *differences* in the ways that people represent the theory are then, by definition, not part of the meme. If Darwin's theory can be subdivided into components, such that some people believe component A but not component B, while others believe B but not A, then A and B should be regarded as separate memes. If almost everybody who believes in A also believes in B – if the memes are closely 'linked' to use the genetic term – then it is convenient to lump them together as one meme.“

¹²⁴ A.a.O. S. 190.

¹²⁵ A.a.O. S. 201.

¹²⁶ BLACKMORE, S. (2008).

¹²⁷ SHELDRAKE, R. (2008). S. 265.

¹²⁸ A.a.O. S. 232.

¹²⁹ A.a.O. S. 113-117.

¹³⁰ A.a.O. S. 141f.

nur rund um die Erde mit anderen Pflanzen kommunizieren können, sondern ihnen steht auch die gesamte Erfahrung ihrer Art zur Verfügung, seit es sie auf der Erde gibt. In diesem Sinn ist die morphische Resonanz sowohl eine Datenbank der Natur, als auch ein umfassendes Kommunikationssystem."¹³¹

Bestrebungen, den Begriff der *Information* unabhängig von den Grundkategorien Materie und Energie als eigenständige physikalische Grundgröße zu definieren, finden sich gerade auch in der Wissenschaft von der Information, der Informatik, Informationstheorie oder Kybernetik. Von Norbert WIENER, einem ihrer ersten Protagonisten, stammt der Leitsatz: „Information is information, not matter or energy. No materialism which does not admit this can survive at the present day.“¹³² Der Biologe und Computerfachmann Tom STONIER hat diese These in seinem Buch „Information and the Internal Structure of the Universe. An Exploration into Information Physics“¹³³ mit Inhalt gefüllt und zu einer „*infor theory*“¹³⁴ entwickelt. „*Information exists. It does not need to be perceived to exist. It does not need to be understood to exist. It requires no intelligence to interpret it. It does not have to have meaning to exist. It exists. Without this insight it becomes impossible either to understand the physical universe, or to try to develop a general theory of information. And without a general theory, it not only becomes impossible to convert knowledge engineering and software production into a science, it becomes impossible to truly understand the behaviour of advanced systems – biological, social and economic.*“¹³⁵ Als Maß für die Information eines Systems bestimmt er den Grad seiner Organisation. Organisation und Ordnung sind Ausdruck der Information. Wenn die Information eine zu Materie und Energie gleichrangige eigene Strukturgröße, eine bisher „hidden dimension“¹³⁶, des Universums ist, so folgert STONIER, dann müssen die Erkenntnisse der Physik umgeschrieben und physikalische Ereignisse aus der Sicht einer noch zu entwickelnden Wissenschaftsdisziplin, der Informationsphysik, analysiert werden. Zum Aufbau einer solchen „Information - Physics“¹³⁷, gehöre es zunächst anzuerkennen, dass neben den Grundeinheiten der Materie und der Energie auch materielle Grundeinheiten der Information existieren. Derartige Informationsteilchen, er nennt sie „*infons*“, vermutet STONIER als masselose Bestandteile des Atoms, die sich mit mehr als Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen können: „(T)he implications of a theory of information for particle physics, suggest that the basic structure of the universe consists not only of fermions and bosons, but of *infons* as well. That is, there exists a class of particles which possesses neither mass nor momentum, but whose movement is intimately concerned with reorganising the internal structure of matter. *Infons* would include particles such as phonons, excitons, and the holes left in atomic shells by ejected electrons. Therefore not only may matter and energy exist in particulate form – so may information.“¹³⁸

Die wissenschaftlich bisher nicht nachgewiesenen Informationseinheiten, ob Meme, morphische Felder oder Infons, sollen die Information als eine physikalische Grundgröße ausweisen, die die in Form gebrachte Welt in allen Daseinsformen durchdringt und bestimmt. In je spezifischen Graden haben nach diesen Theorien alle Existenzen Anteil an ihnen und werden in die Lage versetzt, Information zu verarbeiten und auszutauschen, i. e. zu kommunizieren.

¹³¹ Interview mit Rupert SHELDRAKE in KERNER, D. / KERNER, I. ([1992] 1994). S. 111f.

¹³² WIENER, N. (1948). S. 155.

¹³³ STONIER, T. (1990).

¹³⁴ A.a.O. S. 115.

¹³⁵ A.a.O. S. 21.

¹³⁶ A.a.O. S. 147.

¹³⁷ A.a.O. S. 21 – 31.

¹³⁸ A.a.O. S. 116.

3.9. Zusammenfassung

Elefanten, Wale, Affen und Bienen verständigen sich durch komplexe Signalsysteme untereinander, Tomaten, Bohnen und Tabak senden in Reaktion auf Fressfeinde Warnsignale aus, die Bäume und Pilze des Waldes sind durch ein „WWW – Wood Wide Web“ miteinander verbunden, Zellen stehen in molekularen und elektromagnetischen Verbindungen zueinander und Quanten wirken auch bei großen Entfernungen aufeinander ein: Die aktuellen Forschungsergebnisse aus den unterschiedlichsten Disziplinen der Naturwissenschaften bestätigen in faszinierender Weise die Erkenntnis, dass es in der Natur und im Kosmos kein bloßes Nebeneinander der Dinge gibt, sondern dass alle Teilchen, Zellen, Pflanzen und Tiere ebenso wie die Menschen in einer Vielfalt komplexer Wechselbeziehungen zueinander stehen. Die Parallelen erscheinen frappant und es überrascht nicht, dass zur Erfassung, Beschreibung und Analyse der Strukturen derartiger Wechselwirkungen dieselben Begriffe herangezogen werden, die in den am Menschen ausgerichteten Gesellschaftswissenschaften den sozialen Austausch der Menschen beschreiben: *Information*, *Kommunikation* und *Sprache*. Über die Humanwissenschaften hinaus erhalten diese Begriffe nunmehr auch in den Naturwissenschaften einen zentralen Stellenwert. Überall im Mikro- und im Makrokosmos, in den Zell-, Pflanzen- und Tierwelten ebenso wie in der Technik werden Informationsbeziehungen aufgefunden und analysiert und deren Regeln analog zur humanen Kommunikation beschrieben.

Möglich wird die neue Sichtweise in den Naturwissenschaften erst durch die rasante Entwicklung technischer Möglichkeiten und Mittel in den letzten Jahrzehnten. Heute nehmen hochwertige Geräte differenziert bewegte Bilder, Töne, Duftstoffe und Vibrationen über und unter Wasser auf, speichern sie und geben sie in verschiedenen Formen wieder. Mit modernen Schallmessgeräten werden z.B. die Infraschalltöne von Elefanten unter der menschlichen Hörgrenze erst wahrnehmbar. Über das *CymaScope* werden Laute der Wale für eine Analyse ihres Informationsgehaltes sichtbar und dadurch handhabbar gemacht. Duftstoffgemische von Pflanzen werden in Laboren absorbiert und mit Gaschromatographen in ihre Bestandteile zerlegt.¹³⁹ Komplexe Laboranlagen und Systeme zeichnen molekulare und elektromagnetische Bewegungen in Organismen auf. Mittels Feinglas-Mikroelektroden werden elektrische Reizleitungen in Pflanzen entdeckt. Mit modernen, hochauflösenden optischen Geräten werden atomare Mikro- und kosmische Makrostrukturen und ihre Veränderungen registriert und analysiert. Photone werden per Laser über Tausende von Kilometern verschickt. In den Großanlagen für Teilchenbeschleuniger des *Tevatron Collider* bei Chicago, des DESY in Hamburg und des CERN in Genf werden Teilchenkollisionen herbeigeführt, um etwa durch eine Simulation des Urknalls neue Einsichten in die Struktur der Materie zu erhalten. Mit exponentiell wachsenden Rechnerkapazitäten werden riesige Datenmengen innerhalb kürzester Zeit verarbeitet. Für besondere Versuchsanordnungen werden etwa Olfaktometer (=Duftstoffanbieter), spezielle Fressmaschinen wie die künstliche, computergesteuerte Raupe „MecWorm“ oder Roboter wie Max entwickelt und eingesetzt. Neuartige Methoden etwa mit dem *Modular scanning FCS* (FCS = Fluorescence Correlation Spectroscopy) erlauben Messungen nicht nur in vitro sondern auch in vivo. Nicht zuletzt das World-Wide-Web, das seinen Ursprung am CERN nahm, forciert die naturwissenschaftlichen Forschungen, indem es Datenaustausch und Diskussion zwischen den beteiligten Wissenschaftlern in kurzer Zeit gewährleistet. Mit dem WWW wird der neuen Situation, dass nicht mehr einzelne Wissen-

¹³⁹ Sh. DEGENHARDT, J. (2007). S. 437f.: „Die Abgabe von flüchtigen Pflanzenstoffen konnte erst in den letzten zwei Jahrzehnten untersucht werden, nachdem empfindliche Methoden zur Sammlung und Analyse dieser Duftstoffe entwickelt wurden.(...) Mithilfe absorbierender Materialien können (...) Duftstoffe aus dem die Pflanze umgebenden Luftraum (headspace) gesammelt werden. Das Duftstoffgemisch wird anschließend mit einem Gaschromatographen aufgetrennt und die Komponenten werden nachfolgend mittels Massenspektrometrie analysiert“.

schaftler „im stillen Kämmerlein über Jahre hinweg eine Theorie ausarbeite(...)n“, sondern ein „Netzwerk von miteinander kommunizierenden Wissenschaftlern in der ganzen Welt“¹⁴⁰ erforderlich ist, Rechnung getragen. Mit derartig ausgefeilten technischen Einrichtungen und den damit einhergehenden enormen Erkenntnisfortschritten der Naturwissenschaften, etwa der Entschlüsselung von Genomen, eröffnen sich immer neue Forschungsgebiete, z.B. die Epigenetik, Verfahren und Möglichkeiten, in Bereiche des Kosmos und der Natur vorzudringen, die bisher nicht verstanden werden konnten, weil sie nicht zugänglich waren.

Sowohl physikalische und chemische Wechselwirkungen als auch die Verhältnisse der Tiere und der Pflanzen zueinander und zu ihrer Umwelt können zunehmend genauer beobachtet, erfasst und ausgewertet werden. Die Ergebnisse sind faszinierend. Wer die Weite der Felder zu ermessen versucht, die es hier noch zu bearbeiten gibt, kann leicht zu dem Eindruck gelangen, man befinde sich am Anfang einer Sicht von der Welt, in der durch ein vielfältiges Zusammenspiel von Tönen, Duftstoffen, Vibrationen, Gebärden und Strahlen über elektromagnetische und molekulare Informationsmedien und -wege mittels verschiedenster Botenstoffe wie Proteine, Fette, Zuckermoleküle, Ionen, Gase, Biophotone oder Quanten alles in einer Vielzahl von Sprachen und Signalsystemen miteinander kommuniziert. Die ganze Welt erscheint mit Kommunikationsnetzen durchzogen. *Information* wird zu einem Grundbegriff allen Daseins.

Über die Einsichten hinaus faszinieren die Aussichten und Hoffnungen auf ihre Nutzbarmachung: Je weiter es gelingt, die Strukturen derartiger Netze im Organismus zu analysieren, desto genauere Eingriffsmöglichkeiten eröffnen sich. Wenn Krankheiten wie Krebs durch Kommunikationsprobleme hervorgerufen werden, könnten sie dadurch besiegt werden, dass einerseits Störungen auf den Informationswegen behoben werden, andererseits die Signale der Tumorzellen abgeschaltet bzw. zerstört werden. Der Streit zwischen den jeweiligen Befürwortern der chemischen und der elektromagnetischen Zellkommunikation mag den Fortschritt beschleunigen.

Maßgeblicher Hintergrund der Kommunikationsthese ist der Evolutionsgedanke. Demnach haben sich der Kosmos und die Natur vor dem Menschen aus sich heraus entwickelt. Auch ihre Informationsbeziehungen müssen entsprechend zunächst unabhängig vom Menschenbild und seinen Kommunikationsformen erforscht werden. Der Mensch erscheint als ein Ergebnis unter vielen einer mehr oder minder spezialisierten, kontinuierlichen Entwicklung aller Organismen. Er ist demnach eine Ausprägung der Natur wie andere Spezies auch. Seine Kommunikationsmöglichkeiten mögen spezifisch sein, das sind aber die anderer Populationen auch, der Mensch kann sie nur nicht mehr oder noch nicht ausreichend verstehen.

In dem Maße, in dem Lebewesen Kommunikationsmöglichkeiten zugesprochen werden, steigt schließlich offenbar auch der Respekt ihnen gegenüber: Tier- und Pflanzenforscher, die sich das Verstehen ihrer Untersuchungsobjekte zum Ziel gesetzt haben, treten diesen mit Achtung entgegen und setzen sich für deren Überleben ein. Wer wie Jack KASSEWITZ das komplexe Verständigungssystem der Wale erforscht, kämpft auch dafür, dass ihr Lebensraum nicht durch vom Menschen verursachten Unterwasserlärm und Plastikmüll zerstört wird: „At SpeakDolphin.com, we often wonder what the dolphins will have to say to humanity, when we are finally able to fully speak with them. Very possibly, the first words out of their mouths will have something to do with cleaning up our mess in the waters of the world!“¹⁴¹ Die Organisation „ElephantVoices“ wurde von der Elefantenforscherin Joyce POOLE ins Leben gerufen, „(t)o inspire wonder in the intelligence, complexity and voices of elephants, and to

¹⁴⁰ LANDUA, R. (2008). S. 13.

¹⁴¹ KASSEWITZ, J. (2008b).

secure a kinder future for them through research and the sharing of knowledge.”¹⁴² . Es werden Forderungen nach einem besonderen, gesetzlich geregelten Schutz erhoben. Primatenforscher haben die Bewegung „Menschenrechte für Menschenaffen“¹⁴³ gegründet; Pflanzenforscher haben die „Rheinauer Thesen zu Rechten von Pflanzen“¹⁴⁴ aufgestellt.

4. Ansätze zur Überwindung der dogmatischen Starre

Neben den polarisierten Thesen *Sprache ist ausschließlich dem Menschen eigen* oder *Alles ist Kommunikation* gibt es Untersuchungen mit dem Anspruch, Informationsbeziehungen nicht pauschal mit Etiketten wie *Kommunikation* und *Sprache* zu versehen, sondern unter Heranziehung wissenschaftlicher Kriterien zu überprüfen.

Die Geschichte der Anerkennung der menschlichen Gebärdensprache als Sprache liefert ein Beispiel für die gegen eine seinerzeit weit verbreitete Überzeugung durchgesetzte Anwendung der Ergebnisse der Sprachwissenschaft auf eine scheinbar minderwertige Kommunikationsmöglichkeit mit weitreichenden auch praktischen Konsequenzen. Noch bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts wurden Gebärdensprachen gehörloser Menschen als „Affensprache“¹⁴⁵ abgewertet. Erst im Verlaufe der letzten 60 Jahre wurden sie nach und nach als eigenständige Sprachen anerkannt. Maßgeblichen Anteil daran hatten die Arbeiten William C. STOKOEs, der sich auch hinsichtlich der Standardisierung und der Ausarbeitung eines Notationssystems für die American Sign Language (ASL) verdient gemacht hat („Stokoe-notation“). Gegen die Abwertung „Affensprache“ stellt STOKOE die These auf, dass die entwickelte Gebärdensprache eine „full and functioning language“¹⁴⁶ sei, und belegt seine These mit sprachwissenschaftlichen Argumenten. Er greift zunächst auf das von MARTINET aufgestellte Sprachkriterium der „doppelten Gliederung“¹⁴⁷ von Zeichen zurück und zeigt auf, dass auch die bedeutungstragenden Elemente, die Zeichen, der Gebärdensprache aus bedeutungskonstituierenden Einheiten, die er als Pendant zu den gesprochenen *Phonemen* „Chereme“ (gr. χείρ = Hand) nennt,¹⁴⁸ zusammengesetzt werden und beschreibt diese im einzelnen. Er folgert daraus, dass die Gebärdensprache derselben doppelten Gliederung unterworfen ist, die als Kriterium für Sprache bis dahin allein der gesprochenen Sprache zugesprochen wurde. Als zweites Sprachkriterium zieht STOKOE die u.a. von CHOMSKY postulierte Notwendigkeit der Satzeinheit aus Nominal- und Verbalteil heran und belegt, dass auch Äußerungen in der Gebärdensprache jeweils Nominal- und Verbalteile aufweisen und demnach Sätze sind: „Once a language had taken hold – a lucky chance for us if there ever was one – handshapes represented people and animals and things (the contents of the visible world) and movements represented actions and changes (observed and reflected on). Together, they did not represent sentences – *they were sentences*. The key to this development

¹⁴² POOLE, J. (2009). Seite: ElephantVoices mission.

¹⁴³ CAVALIERI, P. / SINGER, P. (Hrsg.). (1996).

¹⁴⁴ KOEHLIN, F. / AMMANN, D. / GELINSKY, E. et al. (2008).

¹⁴⁵ Sh. dazu FISCHER, R. (2009). S. 58.

¹⁴⁶ STOKOE, W. C. ([1960] 1993). S. II.

¹⁴⁷ Zur doppelten Gliederung sh. MARTINET, A. (1967). S. 13-21, im Besonderen S. 13-15: “La double articulation du langage”.

¹⁴⁸ „Chereme, i.e /ker`iym/, and allocher are proposed as names for the concepts corresponding with *phoneme* and *allophone* (The combining form, cher-, ‘handy’, as old as Homeric Greek has been preferred to the learned chir- or cheir-).” STOKOE, W. C. ([1960] 1993). S. 33.

is that only gesture use could have initiated syntax, a necessary feature of language.”¹⁴⁹ Indem STOKOE nachweist, dass die Gebärdensprache entscheidende Sprachparameter erfüllt, erreicht er schließlich ihre Anerkennung als Sprache. Inzwischen ist die Gebärdensprache als „eigenständige Sprache“ in vielen Staaten (in der Bundesrepublik Deutschland seit 2002¹⁵⁰) auch regierungsamtlich anerkannt worden.

Allerdings nimmt STOKOE ausgerechnet Sprachdefinitionen zum Maßstab, die ausschließlich die gesprochene Sprache als Sprache zulassen. Während er diese rigorose Eingrenzung auf die gesprochene Sprache hinsichtlich der Gebärdensprache aufweichen will, übernimmt er sie unreflektiert selbst hinsichtlich der geschriebenen Sprache und lässt diese seinerseits ebenso wie eine breite *opinio communis* der Sprachwissenschaftler nicht als Sprache zu.¹⁵¹

Nicht zufällig dehnt STOKOE seine Betrachtung des menschlichen Gebrauchs der Gebärdensprache auf evolutionäre Ereignisse aus und folgert, dass die Gebärdensprache der gesprochenen Sprache evolutionsgeschichtlich vorausgegangen sei und dass der syntaktisch-semantische Gebrauch von Gebärden am Anfang der Geschichte der Menschen und ihrer Sprache stehe. „The species that began to use gestures in this syntactic-semantic way, whether it was *Homo erectus* or *Homo sapiens*, really began the human story.“¹⁵²

Die Primatenforscher Dorothy L. CHENEY und Robert M. SEYFAHRT verwenden Sprachkriterien, um die Informationsverfahren ihrer *Baboons* (= *Cercopithecus aethiops*, *Grüne Meerkatzen*) möglichst genau zu beschreiben. Anknüpfend an die Ergebnisse STRUHSAKERS¹⁵³ analysieren sie zahlreiche eigene und weitere empirische Befunde im Verhalten nichtmenschlicher Primaten nach zeichentheoretischen und sprachwissenschaftlichen Kriterien, auch wenn diese noch nicht systematisch und vollständig herangezogen werden. Ihre Beobachtungen geben differenzierte Hinweise, welche Kriterien von Sprache in welchem Maße auf die Verständigung der Meerkatzen zutreffen und welche nicht: Semantische Bezüge lassen sich eher feststellen als grammatische Strukturen. Auf dem Hintergrund eines nicht näher erläuterten Kommunikationsmodells beachten sie jeweils speziell produzierende und rezipierende Aktionen ihrer Baboons sowie anderer Primaten und stoßen dabei auf einen evidenten Unterschied in den Leistungen der Probanden: Informationsaufnahme und –verarbeitung sind weit ausgeprägter als die Informationsproduktion: „In sum, whereas call production in primates is relatively fixed, the cognitive mechanisms that underlie call perception are considerably more complex. Underlying primates’ assessment of call meaning is a rich conceptual structure in which calls are linked both to objects and relations in the world and to other calls in the species’ repertoire. When responding to calls, monkeys act as if they recognize individuals and have concepts like *leopard*, *eagle*, *close associate*, and so on. The contrast between impoverished production and rich, conceptually based perception argues strongly against the view that a concept cannot be acquired unless it is instantiated in one’s

¹⁴⁹ STOKOE, W. C. (2002). S. XIII.

¹⁵⁰ Behindertengleichstellungsgesetz (BGG). ([2002] 2007): „§ 6 Gebärdensprache und andere Kommunikationshilfen (1) Die Deutsche Gebärdensprache ist als eigenständige Sprache anerkannt. (2) Lautsprachbegleitende Gebärden sind als Kommunikationsform der deutschen Sprache anerkannt. (3) Hörbehinderte Menschen (Gehörlose, Ertaubte und Schwerhörige) und sprachbehinderte Menschen haben nach Maßgabe der einschlägigen Gesetze das Recht, die Deutsche Gebärdensprache oder lautsprachbegleitende Gebärden zu verwenden. Soweit sie sich nicht in Deutscher Gebärdensprache oder mit lautsprachbegleitenden Gebärden verständigen, haben sie nach Maßgabe der einschlägigen Gesetze das Recht, andere geeignete Kommunikationshilfen zu verwenden.“

¹⁵¹ Sh. STOKOE, W. C. u.a. ([1960] 1993). Preface. S. i. Zur Kritik an der Einstellung der *opinio communis* zur geschriebenen Sprache sh. FELDBUSCH, E. (1985).

¹⁵² STOKOE, W. C. (2002). S. XIII; s. auch S. 20.

¹⁵³ Sh. dazu Kapitel 3.2. der vorliegenden Arbeit.

language (...). Monkeys and apes have many concepts for which they have no words.“¹⁵⁴ Für die Evolution deuten sie demnach: Als die Vorfahren der Menschen oder die frühen Menschen in der Produktion von Sprache aktiv wurden, hatten sie schon viel Rezeption gelernt: “Before hominids produced syntactic utterances, they assigned meaning to other individuals’ calls and extracted syntactic, rule-governed, propositional information from the vocal interactions of others. Language-like perception and cognition thus preceded and set the stage for language-like production.”¹⁵⁵ Es geht CHENEY und SEYFAHRT ausdrücklich nicht darum, den Baboons eine Sprache zu attestieren: „Unser Ziel ist nicht, zu beweisen, daß Affen eine Sprache besitzen. Sondern, im Sinne von Hockett (1960), gebrauchen wir Sprache als einen Ausgangspunkt für eine vergleichende Studie der Kommunikation bei nicht-menschlichen Primatenarten. Wir hoffen, daß unsere Analyse über ebenso viele *Unterschiede* wie auch Ähnlichkeiten zwischen menschlicher und nichtmenschlicher Kommunikation bei Primaten Aufschluß geben wird.“¹⁵⁶

Sowohl die Arbeiten STOKOEs als auch die von CHENEY und SEYFAHRT zeigen, wie es unter der Einbeziehung von Sprachkriterien möglich wird, Übergänge zwischen qualitativ wohlunterschiedenen Kommunikationsstufen in den Blick zu nehmen und die Sprachentstehung als Prozess des Werdens erkennen zu lassen. Beide legen den Schluss nahe, dass die Verständigung mittels Gebärden im Laufe der Evolution eine entscheidende Stufe auf dem Weg zur Sprache bildete.

5. Die Ergebnisse der neueren Naturwissenschaften als Zündstoff für eine interdisziplinäre Diskussion über *Information, Kommunikation und Sprache*

Zwischen den im 2. und 3. Kapitel dargestellten Positionen zu den Begriffen *Information, Kommunikation* und *Sprache* im Spannungsfeld der Geistes- und der Naturwissenschaften besteht ein unversöhnlicher Widerspruch. Auf der einen Seite werden Kommunikation und Sprache als Wesensmerkmale allein dem Menschen vorbehalten. Auf der anderen Seite wird jede Beziehung in der Natur als Kommunikation beschrieben und Information zur physikalischen Grundgröße erhoben. Um die dogmatische Starre zu überwinden halten wir es für notwendig, die Forschungsergebnisse der jeweils gegensätzlichen Position als Zündstoff für die eigene Weiterentwicklung zur Kenntnis zu nehmen und dadurch schließlich zu einem sich gegenseitig befruchtenden interdisziplinären Austausch zu kommen.

Ausgehend von den keineswegs neuen Erkenntnissen, dass in der Natur alles miteinander in Beziehung steht und evolutionär geprägt ist, gilt es zunächst, die Beziehungen mit modernen Untersuchungstechniken so genau wie möglich zu erfassen und zu beschreiben, ohne sie vorschnell mit Etiketten zu belegen, für die in anderen Disziplinen differenzierte Definitionen vorliegen.

Auf der Basis der Einzelbeschreibungen sind Vergleiche und Klassifizierungen möglich. Dazu können die Einteilungen von Beziehungen in Relationen der unbelebten, der belebten und der menschlichen Natur bzw. in *Ursache-Wirkung, Reiz-Reaktion* und (*menschliche*) *Kommunikation* verwendet werden. Auch diese Einteilungen sind nicht neu, die Zuordnungen sind aber aufgrund der aktuellen Untersuchungsergebnisse neu zu überprüfen. So stellt sich etwa die Frage, inwieweit in der nicht-menschlichen Natur über die Relationen *Ursache-Wirkung* und einfache *Reiz-Reaktion* hinaus komplexere Beziehungen bestehen, die als

¹⁵⁴ CHENEY, D. L. / SEYFARTH, R. M. (2007). S. 262.

¹⁵⁵ A.a.O. S. 272.

¹⁵⁶ CHENEY, D. L. / SEYFARTH, R. M. (1994). S. 140.

Wechselwirkung bis hin zu *Kommunikation* im umfassenden Sinne beschrieben werden können. Zu ergründen ist auch, ob Information schon auf der Ursache-Wirkung-Ebene stattfindet.

Bei der Begriffswahl ist zu beachten, dass mit den Begriffen sowohl die Gemeinsamkeiten als auch die Unterschiede beschrieben werden können. Zu enge oder zu weite Fassungen sind dysfunktional, da entweder die Gemeinsamkeiten oder die Unterschiede aus dem Blick geraten. Werden Begriffe, die in einem Bereich wohl definiert sind, auf einen anderen Bereich angewandt, müssen die wissenschaftlichen Kriterien der jeweiligen Definition für den neuen Bereich überprüft werden, wie es die in Kapitel 4 beschriebenen Beispiele mit dem Begriff *Sprache* in Ansätzen leisten.

Wenn jede Wissenschaftsdisziplin die Beziehungen ihrer Untersuchungsgegenstände und die daran beteiligten Faktoren analysiert und hinsichtlich differenzierter Begrifflichkeiten eingeordnet hat, können im Vergleich der jeweils erreichten unterschiedlichen Stufen der unbelebten, der belebten und der menschlichen Natur sowie im Besonderen der Übergänge dazwischen neue, interdisziplinär aufeinander abgestimmte Antworten gefunden werden auf die thematisch zentrale Frage: *Was an den beschriebenen Beziehungen ist gleich, was verschieden?*¹⁵⁷ Am Ende kann eine Beschreibung von stufenweisen Beziehungs- und Informationsgefügen stehen, die auch Einblick in die Evolution der Kommunikation und in die Geschichte der Sprachentstehung erlaubt.

¹⁵⁷ Die Frage ist nicht neu, bisher haben die verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen aufgrund der unterschiedlichen Interessen und Begrifflichkeiten jedoch weitgehend isoliert und aneinander vorbei nach Antworten gesucht.

6. Literatur

ARMSTRONG, David, F. / KARCHMER, Michael A. / VAN CLEVE, John Vickrey (eds.). (2002). *The Study of Signed Languages. Essays in Honor of William C. STOKOE*. Washington DC: Gallaudet University Press.

BALUŠKA, František / VIVANCO, Jorge M. (eds.). (seit 2009). *Signaling and Communication in Plants*. Berlin. Heidelberg: Springer.

BALUŠKA, František (ed.). (2009). *Plant-Environment Interactions. From Sensory Plant Biology to Active Plant Behavior*. Berlin. Heidelberg: Springer.

BALUŠKA, František / MANCUSO, Stefano (eds.). (2009). *Signaling in Plants*. Berlin. Heidelberg: Springer.

BALUŠKA, František / MANCUSO, Stefano / VOLKMANN, Dieter (eds.). (2006). *Communication in Plants. Neuronal Aspects of Plant Life*. Berlin. Heidelberg. New York: Springer.

BALUŠKA, František / VOLKMANN, Dieter / HLAVACKA, Andrej / MANCUSO, Stefano / BARLOW, Peter W. (2006). *Neurobiological View of Plants and Their Body Plan*. In: BALUŠKA, František / MANCUSO, Stefano / VOLKMANN, Dieter (eds.). *Communication in Plants. Neuronal Aspects of Plant Life*. Berlin. Heidelberg. New York: Springer. pp. 19-35.

BASSLER, Bonnie L. (1999). *How bacteria talk to each other: regulation of gene expression by quorum sensing*. In: *Current Opinion in Microbiology*. 1999, 2. pp. 582-587.

BASSLER, Bonnie L. (2002). *Small Talk: Cell-to-Cell Communication in Bacteria*. In: *Cell*. Vol. 109. May 2002. pp. 421-424.

BAUER, Joachim. (2008). *Das kooperative Gen. Abschied vom Darwinismus*. Hamburg: Hoffmann und Campe.

BECK-SICKINGER, Annette. (o.J.). *Interview zum Thema: Molekulare und zelluläre Kommunikation*. In: DIES. *Molekulare und zelluläre Kommunikation: Biotechnologie, Bioinformatik und Biomedizin in Therapie und Diagnostik*. Universität Leipzig. S. 36-39. Online verfügbar unter http://www.zv.uni-leipzig.de/fileadmin/user_upload/Forschung/PDF/molekulare_zellulaere_kommunikation.pdf, zuletzt überprüft am 11.12.2010.

Behindertengleichstellungsgesetz (BGG). ([2002] 2007). *Bundesgesetzblatt (BGBl) I*. S. 1467f.

BETHGE, Philip. (2006). *Die Pflanzenflüsterer. Bohnen führen Selbstgespräche, Tabakpflänzchen rufen um Hilfe, Tomaten schreien vor Schmerzen: Botaniker entschlüsseln die geheime Sprache der Pflanzen. Genforscher arbeiten sogar schon daran, das Buschgewisper für die biologische Schädlingsbekämpfung nutzbar zu machen*. In: *Der Spiegel*. 26. (2006). S. 114ff.

BLACKMORE, Susan. (2008). Genes, memes, and memes. Don't think intelligence - think replicators! Online verfügbar unter: <http://www.susanblackmore.co.uk/memetics/temes.htm> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

BODDERAS, Elke. (2007). Walsprache hat eine Grammatik. In: Welt Online. Wissen. Linguistik. Vom 12. Juli 2007. Online verfügbar unter http://www.welt.de/wissenschaft/article1020447/Walsprache_hat_eine_Grammatik.html , zuletzt geprüft am 11,12,2010.

BOLAND, Wilhelm. (2007). Wehrhafte Pflanzen. Abwehr und Kommunikation mit Düften. In: labor&more. 01/07. S. 34-39.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.). (2007). IKT 2020. Forschung für Innovationen. Bonn. Berlin.

Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (Stand am 7. März 2010). Online verfügbar unter <http://www.admin.ch/ch/d/sr/101/index.html> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

CAVALIERI, Paola / SINGER, Peter (eds.). (1994). The Great Ape Project. Equality beyond Humanity. New York: St. Martin's Press.

CAVALIERI, Paola / SINGER, Peter (Hrsg.). (1996). Menschenrechte für die Großen Menschenaffen! "Das Great Ape Project". München: Goldmann.

CHENEY, Dorothy L. / SEYFARTH, Robert M. (2007). Baboon Metaphysics: The Evolution of a Social Mind. Chicago and London: The University of Chicago Press.

CHENEY, Dorothy L. / SEYFARTH, Robert M. (1994). Wie Affen die Welt sehen. Das Denken einer anderen Art. München. Wien: Hanser.

CHOMSKY, Noam. (1976). Reflections on Language. London: Temple Smith.

CHOMSKY, Noam. ([1960] 2006). Language and Mind. Cambridge: University Press.

CHOMSKY, Noam. (1980). Human Language and Other Semiotic Systems. In: SEBEOK, Thomas A. / UMIKER-SEBEOK, Jean. Speaking of Apes. A Critical Anthology of Two-Way Communication with Man. New York and London: Plenum Press. pp. 429-440.

DAWKINS, Richard. ([1976] 2006). The Selfish Gene. Oxford. New York: Oxford University Press.

DAWKINS, Richard. ([1978] 2006). Das egoistische Gen. Heidelberg: Spektrum.

DEGENHARDT, Jörg. (2007). Die Funktion flüchtiger Signalstoffe bei der Verteidigung von Pflanzen gegen Schädlinge. In: Max-Planck-Gesellschaft. Jahrbuch 2007. S. 437-442.

Deutsches Krebsforschungszentrum (dkfz). Krebsinformationsdienst (KID). (2009). Zielgerichtete Krebstherapien: Wie funktionieren sie? Informationsblatt. 3.2.2009. Heidel-

berg. Online verfügbar unter <http://www.krebsinformationsdienst.de/wegweiser/iblat/iblat-zielgerichtete-krebstherapien.pdf> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

DUDEN. Stoffverteilungsplan zur Umsetzung des Lehrplans Grundschule in Nordrhein-Westfalen. Sachunterricht. Klasse 4. (2010). Berlin: Duden Schulbuchverlag. Online verfügbar unter http://www.duden-paetec.de/verlag/pdf_gs/2335.pdf , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

DUPRÉ, John. (1991). Conversations with Apes: Reflections on the Scientific Study of Language. In: HYMAN, John (ed). Investigating Psychology. Sciences of the Mind after Wittgenstein. London and New York: Routledge. pp. 95-116.

ECKERT, Nadine. (2007). Der stille Schrei. In: Bild der Wissenschaft online. 9.2007. S. 14. Online verfügbar unter http://www.bild-der-wissenschaft.de/bdw/bdwlive/heftarchiv/index2.php?object_id=31130144 , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

EINSTEIN, Albert. ([1969] 1982). Brief an Max Born vom 3.3.47. In: Albert EINSTEIN. Hedwig und Max BORN. Briefwechsel 1916-1955. Frankfurt/M.: Erbrich. S. 114f.

ENGELS, Friedrich. ([geschrieben1873-1886] [1925] 1975). Dialektik der Natur. In: MARX, Karl. / ENGELS, Friedrich. Werke. Band 20. Berlin: Dietz. S. 305-570.

ERDMANN, Martin. (2001). Masse macht's, aber was macht Masse? In: MÜLLER-KRUMBHAR, Heiner / WAGNER, Hermann-Friedrich (Hrsg.). (2001). ... und Er würfelt doch! Von der Erforschung des ganz Großen, des ganz Kleinen und der ganz vielen Dinge. Berlin: Wiley-VCH. S. 122-134.

FEDERLE, Michael J. / BASSLER, Bonnie L. (2003). Interspecies communication in bacteria. In: The Journal of Clinical Investigation. November 2003. Volume 112. Number 9. pp. 1291-1299.

FELDBUSCH, Elisabeth. (1985). Geschriebene Sprache. Untersuchungen zu ihrer Herausbildung und Grundlegung ihrer Theorie. Berlin. New York: de Gruyter.

FISCHER, Julia. (2008). Die Evolution der Sprache. Bertha Benz-Vorlesung 25. Ladenburg: Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung.

FISCHER, Renate. (2009). Lautlos sprechen – Gebärdensprachen und das Wertesystem. In: das baugerüst. 2/09. S. 58-61.

FOR 942. (Forschergruppe der DFG an der Universitätsmedizin Göttingen). (o.J.). Der Wnt-Signalweg in Entwicklung und Tumorprogression. Online verfügbar unter <http://www.for942.med.uni-goettingen.de/content/12.html> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

FORD, Brian J. (1998). Die geheime Sprache der Natur. Wie Tiere und Pflanzen sich verständigen. Wien. München: Deuticke.

FRIEDL, Christian. (2002). Der Urknall. Die Jagd nach Gottes Plan. Bayrischer Rundfunk. Dokumentation.

GARDNER, R. Allen / GARDNER, Beatrice T. (1980). Comparative Psychology and Language Aquisition. In: SEBEOK, Thomas A. / UMIKER-SEBEOK, Jean. Speaking of Apes. A Critical Anthology of Two-Way Communication with Man. New York and London: Plenum Press. pp. 287-330.

GARNER, Richard Lynch. ([1892] 2007). The Speech of the Monkeys. Unabridged facsimile of 1892. London: William Heinemann.

GIESECKE, Michael. (2002). Theorie der Kommunikation und ihrer Medien. Objektbereich: Pflanze. Elektromagnetische Wellen und Biophotonen als universelle Kommunikationsmedien zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen. Online verfügbar unter <http://www.michael-giesecke.de/theorie/index.htm> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

GRUSCH, Michael. (o.J.). Forschungsgebiet: Untersuchung von Signalwegen, die Wachstum, Überleben und Apoptose von Krebszellen regulieren. In: Entwicklung experimenteller Krebstherapien. Medizinische Universität Wien. Institut für Krebsforschung. Online verfügbar unter <http://www.meduniwien.ac.at/krebsforschung/forschung/forschungseinheiten/entwicklung-experimenteller-krebstherapien/priv-doz-dr-michael-grusch/> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

HALITSCHKE, Rayko / STENBERG, Johan A. / KESSLER, Danny / KESSLER, André / BALDWIN, Ian Thomas. (2008). Shared Signals – ‚Alarm Calls‘ from Plants Increase Apparency to Herbivores and Their Enemies in Nature. In: Ecology Letters. 11 (1). pp. 24-34.

HAESLER, Sebastian. (2006). Also sprach der Zebrafink. Ein Gen namens FoxP2 ermöglicht uns Menschen das Sprechen. Aber wie? Antworten geben uns – die Singvögel. In: Gehirn und Geist. Hirnforschung. Neurolinguistik. 12/2006. S. 52-57.

HECKMANN, Silke. (2005). Der Einfluss des Proteins HalS von *Pseudomonas aeruginosa* auf die interzelluläre Kommunikation. Düsseldorf: Inaugural Dissertation (Universität Düsseldorf).

HOLZMANN, Klaus. (o.J.). Forschungsgebiete: 1. Genexpressionsanalysen beim bösartigen Wachstum. In: Entwicklung experimenteller Krebstherapien. Medizinische Universität Wien. Institut für Krebsforschung. Online verfügbar unter <http://www.meduniwien.ac.at/krebsforschung/forschung/forschungseinheiten/entwicklung-experimenteller-krebstherapien/aounivprofdr-klaus-holzmann/> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

HUBER, Benedikt. (2000). Der Quantencomputer. Fachbereichsarbeit aus Physik. Online verfügbar unter <http://www.univie.ac.at/pluslucis/FBA/FBA00/huber/> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Human Genome Project. (2008). About The Human Genome Project. In: Human Genome Project Information. Online verfügbar unter http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/project/about.shtml , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Institut für Mensch-Maschine-Interaktion an der RWTH Aachen. (o.J.). Startseite. Online verfügbar unter <http://www.mmi.rwth-aachen.de/?startseite> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Jena School for Microbial Communication (JSMC). (o.J.). Broschüre. Online verfügbar unter http://www.jsmc.uni-jena.de/cms/images/stories/download%20files/JSMC%20brochure_dt.pdf , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

JUNKER, Thomas. (2009). Darwins deutsche Vertreter und das Rätsel der verschwundenen Kreationisten. Online verfügbar unter <http://www.thomas-junker.homepage.t-online.de/pdf/09tjrk.pdf> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

KASSEWITZ, Jack. (2008a). Press Release: Deciphering Dolphin Language with Picture Words. Online verfügbar unter <http://www.speakdolphin.com/ResearchItems.cfm?ID=6> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

KASSEWITZ, Jack. (2008b). Erklärung zum „Clean Ocean Dolphin Poster“. Online verfügbar unter <http://www.speakdolphin.com/weNeedToTalk.cfm> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

KERNER, Dagny / KERNER, Imre. ([1992] 1994). Der Ruf der Rose. Was Pflanzen fühlen und wie sie mit uns kommunizieren. Köln: Kiepenheuer & Witsch.

KOECHLIN, Florianne. (2003). Körperzellen: Dynamische Netzwerke mit Eigensinn – Zellgeflüster. Online verfügbar unter http://www.blauen-institut.ch/pg_blu/pf/a_f.html , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

KOECHLIN, Florianne. (2004). Pflanzen kommunizieren, lernen, erinnern sich ... Was weiss die moderne Biologie zum Wesen der Pflanze? Online verfügbar unter http://www.blauen-institut.ch/pg_blu/pf/a_f.html , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

KOECHLIN, Florianne. (2007). Zellgeflüster. Streifzüge durch wissenschaftliches Neuland. Basel: Lenos.

KOECHLIN, Florianne. (2008a). PflanzenPalaver. Belauschte Geheimnisse der botanischen Welt. Basel: Lenos.

KOECHLIN, Florianne. (2008b). Naturwissenschaft und die Rheinauer Thesen zu Rechten von Pflanzen. Online verfügbar unter http://www.blauen-institut.ch/pg_blu/pf/a_f.html , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

KOECHLIN, Florianne / AMMANN, Daniel / GELINSKY, Eva et al. (2008). Rheinauer Thesen zu Rechten von Pflanzen. Online verfügbar unter http://www.blauen-institut.ch/pg_blu/pa/a_rheinau.html , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

KOPP, Stefan. (2008). Max and the Articulated Communicator Engine. Online verfügbar unter <http://www.techfak.uni-bielefeld.de/~skopp/max.html> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Kungl. Vetenskaps-Akademierna. The Royal Swedish Academy Of Sciences. (2009). The key to life at the atomic level. In: The Nobel Prize In Chemistry 2009. Information For The Public. pp.1-9. Online verfügbar unter http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2009/info_publ_che_09_en.pdf , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

KURZWEIL, Ray. (2005). *The Singularity Is Near. When Humans Transcend Biology*. New York u.a.: Viking.

KUTSCHERA, Ulrich / NIKLAS, Karl J. (2004). The modern theory of biological evolution: an expanded synthesis. In: *Naturwissenschaften*. 91. S. 255-276.

LANDUA, Rolf. (2008). *Am Rand der Dimensionen. Gespräche über die Physik am CERN*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

LEHNEN-BEYEL, Ilka. (2007). Hilfeschreie und Lockangebote aus dem Grünen. Forscher entschlüsseln das ausgeklügelte Notrufsystem von Pflanzen. In: *ddp/wissenschaft.de. Biologie*. 22.8.2007. Online verfügbar unter <http://www.wissenschaft.de/wissenschaft/hintergrund/282025.html?page=0> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation (MMK) der Technischen Universität München (TUM). (o.J.). Forschungsgebiete. Online verfügbar unter <http://www.mmk.ei.tum.de/layout.php?LangExt=&selectedMain=Forschung&selectedSub> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

LIEBAL, Katja. (2009). Interview zum Thema "Menschenaffen, Plaudertaschen – Kommunikation der Primaten" in der Sendung "W wie Wissen" am 5.7.09. im 1. Programm der ARD. Online verfügbar unter http://www.daserste.de/wwiewissen/beitrag_dyn~uid,we4q6ta8vvggqkv8~cm.asp , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

LORENZ, Konrad. (1964). *Er redete mit dem Vieh, den Vögeln und den Fischen*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.

MARSHALL, John C. (1970). The Biology of Communication in Man and Animals. In: LYONS, John (ed.): *New Horizons in Linguistics*. Harmondsworth: Penguin Books. pp. 229-241.

MARTINET, André. (1967). *Éléments de linguistique générale*. Paris: Armand Colin.

MARX, Karl. ([1867] 1972). *Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie*. In: MARX, Karl / ENGELS, Friedrich. *Werke*. Band 23. Berlin: Dietz.

McCLINTOCK, Barbara. (1983). The Significance of Responses of the Genome to Challenge. Nobel lecture, 8. December, 1983. In: LINDSTEN, Jan (ed.). (1993). *Nobel Lectures. Physiology or Medicine. 1981-1990*. Singapore: Continental Press. S. 180-199.

NEALSON, Kenneth H. / HASTINGS, J. Woodland. (1979). Bacterial Bioluminescence: Its Control and Ecological Significance. In: *Microbiological Reviews*. Vol. 43. No. 4. Dec. 1979. pp. 496-518.

NYSTRAND, Anders. (2006). The Nobel Prize in Physiology or Medicine for 2006 *jointly to Andrew Fire and Craig Mello "for their discovery of RNA interference – gene silencing by double-stranded RNA"*. In: The Nobel Committee for Physiology or Medicine, Karolinska Institutet. *The Nobel Prize in Physiology or Medicine for 2006*. pp. 1-9. Online verfügbar

unter http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2006/info_en.pdf , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

O'CONNELL-RODWELL, Caitlin E. / WOOD, Jason D. / GUNTHER, Roland. / KLEMPERER, Simon. (Stanford Univ. Dept. of Geophys.), RODWELL, Timothy C. / PURIA, Sunil. / SAPOLSKY, Robert. (Stanford Univ.), KINZLEY, Colleen. (Oakland Zoo), ARNASON, Byron T. (Austin, TX), HART, Lynette A. (Univ. of California). (2004). Elephant low-frequency vocalizations propagate in the ground and seismic playbacks of these vocalizations are detectable by wild African elephants (*Loxodonta Africana*). In: The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 115. Issue 5. p. 2554.

ORSZAG, Peter. (2008). Untersuchungen zum „Quorum Sensing“ (QS) cyanobakterieller Begleitbakterien und des Cyanobakteriums Stamm Flo 1. Bremen: Diplomarbeit (Universität Bremen).

PAI, Anand / YOU, Lingchong. (2009). Optimal tuning of bacterial sensing potential. In: Molecular Systems Biology. 5. 286. pp. 1-11. published online. doi:10.1038/msb.2009.43.

PAIJMANS, J. J. (2008). Building a linguistic corpus from bee dance data. Tilburg. Online verfügbar unter http://arxiv.org/PS_cache/cs/pdf/0406/0406054v1.pdf , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

PATTERSON, Francine / GORDON, Wendy. (1994). The Case for the Personhood of Gorillas. In: CAVALIERI, Paola / SINGER, Peter (eds.). The Great Ape Project. Equality beyond Humanity. New York: St. Martin's Press. pp. 58-77.

PITZSCHKE, Andrea / FORZANI, Celine / HIRT, Heribert. (2006). Reactive Oxygen Species Signaling in Plants. In: Antioxidants & Redox Signaling. Vol. 8. Number 9 & 10. S. 1757-1765.

POLLICK, Amy S. / DE WAAL, Frans B. M. (2007). Ape gestures and language evolution. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS). vol. 104. no. 19. published online. doi:10.1073/pnas.0702624104. S. 8184-8189.

POOLE, Joyce. (2009). Elephant Communication. How elephants communicate. Online verfügbar unter <http://www.elephantvoices.org/elephant-communication.html> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

POPP, Fritz-Albert. ([1999] 2007). Die Botschaft der Nahrung. Frankfurt/M.: Zweitausend-eins.

RIEDEL, Kathrin / SCHÖNMANN, Susan / EBERL, Leo. (2005). Quorum sensing in Pflanzen-assoziierten Bakterien. In: BIOSpektrum. 4/2005. S. 385-388.

RIES, Jonas / YU, Shuizi Rachel / BURKHARDT, Markus / BRAND, Michael / SCHWILLE, Petra. (2009). Modular scanning FCS quantifies receptor-ligand interactions in living multicellular organisms. In: Nature Methods 6. pp. 643-645. published online. doi:10.1038/nmeth.1355.

RUBY, Edward G. / NEALSON, Kenneth H. (1976). Symbiotic association of *Photobacterium fischeri* with the marine luminous fish *Monocentris japonica*: A model of

symbiosis based on bacterial studies. In: *Biological Bulletin*. 151. December 1976. pp. 574-586.

SALART, Daniel / BAAS, Augustin / BRANCIARD, Cyril / GISIN, Nicolas / ZBINDEN, Hugo. (2008). Testing the speed of 'spooky action at a distance'. In: *Nature. Letters*. Vol. 454. 14. August 2008. pp. 861-864.

SCHAUDER, Stephan / BASSLER, Bonnie L. (2001). The languages of bacteria. In: *Genes & Development*. 15. pp. 1468-1480. Online verfügbar unter <http://genesdev.cshlp.org/content/15/12/1468.full.pdf> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

SCHNABEL, Patrick. (o.J.). Kommunikationstechnik. Kommunikationstechnik von A bis Z. M2M – Maschine-zu-Maschine-Kommunikation. In: DERS. (1997-2009). *das ELKO. das ELEktronik-KOmpendium*. Online verfügbar unter <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/1502061.htm> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

SCHULZE, Birgit / KOST, Christian / ARIMURA, Gen-Ichiro / BOLAND, Wilhelm. (2006). Duftstoffe: Die Sprache der Pflanzen. In: *Chemie in unserer Zeit*. Vol. 40. Issue 6. pp. 366-377.

SCOBEL, Gert. (2008). *Zeitmaschine CERN*. 3sat. Live-Sendung am 5. Juli 2008.

SEYFARTH, Robert M. / CHENEY, Dorothy L. / MARLER, Peter. (1980). Monkey Responses to Three Different Alarm Calls: Evidence of Predator Classification and Semantic Communication. In: *Science. New Series*. Vol. 210. No. 4471. November 1980. pp. 801-803.

SHAPIRO, James A. (1998). Thinking About Bacterial Populations As Multicellular Organisms. In: *Annual Reviews of Microbiology*, Vol. 52. pp. 81-104.

SHAPIRO, James A. (1999). Transposable elements as the key to a 21st century view of evolution. In: *Genetica* 107. pp 171-179.

SHAPIRO, James A. (2006). Genome Informatics: The Role of DNA in Cellular Computations. In: *Biological Theory*. 1. 3. pp. 288-301.

SHELDRAKE, Rupert. ([1981] 1985). *A New Science of Life. The Hypothesis of Formative Causation*. Los Angeles: J. P. Tarcher, Inc.

SHELDRAKE, Rupert. (2008). *Das schöpferische Universum. Die Theorie des morphogenetischen Feldes*. 3. komplett überarbeitete deutsche Neuauflage. München: nymphenburger.

Spiegelartikel (o Verf.). (1972). Die Affen lernen es nie. In: *Der Spiegel*. Heft 43. S. 164-169.

STOKOE, William C. ([1960] 1993). *Sign Language Structure: An Outline of the Visual Communication Systems of the American Deaf*. Burtonsville MD: Linstok Press.

STOKOE, William C. (2002). *Language in Hand. Why Sign Came Before Speech*. Washington DC: Gallaudet University Press.

STRUHSAKER, Thomas T. (1967). Auditory Communication among Vervet Monkeys (*Cercopithecus aethiops*). In: ALTMANN, Stuart A. (ed). Social Communication among Primates. Chicago & London: The University of Chicago Press. S. 281-324.

SUTTERLÜTY-FALL, Hedwig. (o.J.a). Kommunikationsprobleme. In: Wissenswertes zur Krebserkrankung. Medizinische Universität Wien. Institut für Krebsforschung. Online verfügbar unter <http://www.meduniwien.ac.at/krebsforschung/forschung/wissenswertes-zur-krebserkrankung/krebsdiagnose-und-therapie/kommunikationsprobleme/>, zuletzt geprüft am 11.12.2010.

SUTTERLÜTY-FALL, Hedwig. (o.J.b). Aktuelle Projekte: Studien zum Verständnis der Kommunikationsmechanismen zwischen den Zellen: Die Rolle der "Sprouty" Moleküle in der Zell-Zell-Kommunikation. In: Entwicklung experimenteller Krebstherapien. Medizinische Universität Wien. Institut für Krebsforschung. Online verfügbar unter <http://www.meduniwien.ac.at/krebsforschung/forschung/forschungseinheiten/entwicklung-experimenteller-krebstherapien/priv-doz-dr-hedwig-sutterluety-fall/>, zuletzt geprüft am 11.12.2010.

SUZUKI, Ryuji. (2006). Interview zum Thema: Warbling Whales Speak a Language All Their Own. In: Howard Hughes Medical Institute. HHMI News. March 21, 2006. Online verfügbar unter <http://www.hhmi.org/news/suzuki20060321.html>, zuletzt geprüft am 11.12.2010.

SUZUKI, Ryuji / BUCK, John R. / TYACK, Peter L. (2006). Information entropy of humpback whale songs. In: Acoustical Society of America. Vol. 119. No. 3, March 2006. pp. 1849-1866.

Technische Universität Dresden. DFG-Forschungszentrum für Regenerative Therapien Dresden und Biotechnologisches Zentrum. (2009). Erleuchtet: Mit neuer Methode die Kommunikation in lebenden Organismen erforschen. Pressemitteilung 31. Juli 2009. 2 Seiten. Online verfügbar unter http://www.crt-dresden.de/fileadmin/Upload/PM_CRTD_31.Juli09.pdf, zuletzt überprüft am 11.12.2010.

TEMBROCK, Günter. (1971). Biokommunikation. Informationsübertragung im biologischen Bereich. Teil 1 und 2. Berlin: Akademie-Verlag.

TURNER, Bryan M. (2009). Epigenetic responses to environmental change and their evolutionary implications. In: Philosophical Transactions of The Royal Society. B. Biological Sciences. 364. pp. 3403-3418. Online verfügbar unter <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/364/1534/3403.full.pdf>, zuletzt geprüft am 11.12.2010.

VESTER, Heike. (2009). Gespräch zum Thema „Forscherin: Einzelne Wale haben eigene Namen“ mit Elke RICHTER (dpa) am 13.6.09. Online verfügbar unter http://nachrichten.t-online.de/wale-haben-eigene-namen/id_19063714/index, zuletzt geprüft am 11.12.2010.

VIERING, Kerstin. (2009). Grunzen, Grummeln, Grollen. Tiere tauschen erstaunlich differenzierte Botschaften aus. Allmählich lernt der Mensch, sie zu verstehen. In: Berliner Zeitung. 18. September 2009. Textarchiv. Online verfügbar unter <http://www.berlinonline.de/berlinerzeitung/archiv/.bin/dump.fcgi/2009/0918/wissenschaft/0003/index.html>, zuletzt geprüft am 11.12.2010.

VOLAND, Eckart. ([1993] 2000). Grundriss der Soziobiologie. Heidelberg. Berlin: Spektrum.

VON RANDOW, Thomas. (1990). Information als Teilchen. In: Die Zeit. 09.11.1990. Nr. 46. Zeit online. Online verfügbar unter <http://www.zeit.de/1990/46/Information-als-Teilchen> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

WACHSMUTH, Ipke. (2005). „Ich, Max“ – Kommunikation mit Künstlicher Intelligenz. In: HERRMANN, Christoph S. / PAUEN, Michael / RIEGER, Jochem W. / SCHICKTANZ, Silke (Hrsg.). Bewusstsein. Philosophie, Neurowissenschaften, Ethik. München: Wilhelm Fink. S. 329-354.

WIENER, Norbert. (1948). Cybernetics or control and communication in the animal and the machine. New York: John Wiley & Sons, Inc. Paris: Herman et Cie.

WILSON, Eduard Osborne. (1975). Sociobiology: The New Synthesis. Cambridge (Mass.): Belknap Press of Harvard University Press.

YOU, Lingchong / COX III, Robert Sidney / WEISS, Ron / ARNOLD, Frances H. (2004). Programmed population control by cell–cell communication and regulated killing. In: Nature. April 2004. pp. 868-871. published online. doi:10.1038/nature02491.

ZEILINGER, Anton. (2008). Die Wirklichkeit der Quanten. In: Spektrum der Wissenschaft. November 2008. S. 54-63.

ZIMMERMANN Matthias R. / MAISCHAK, Heiko / MITHÖFER, Axel / BOLAND, Wilhelm / FELLE, Hubert H. (2009). System Potentials, a Novel Electrical Long-Distance Apoplastic Signal in Plants, Induced by Wounding. In: Plant Physiology. 149. 1593-1600.

7. Homepages

BLACKMORE, Susan. Online verfügbar unter <http://www.susanblackmore.co.uk/index.htm> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Deutsches Krebsforschungszentrum (dkfz). Krebsinformationsdienst (KID). Online verfügbar unter <http://www.krebsinformationsdienst.de> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Fritz-Albert Popp Institut. Online verfügbar unter <http://www.biophotonik.de/index.php> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Human Genom Project. Online verfügbar unter Human Genom Project Information. http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/home.shtml , zuletzt geprüft am 11.12. 2010.

Institut für Mensch-Maschine-Interaktion an der RWTH Aachen. (o.J.). Online verfügbar unter <http://www.mmi.rwth-aachen.de/?startseite> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

JUNKER, Thomas. Online verfügbar unter <http://www.thomas-junker-geschichtederbiologie.de/> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

KOECHLIN, Florianne. Blauen-Institut. Online verfügbar unter <http://www.blaueninstitut.ch/index.html> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Kungl. Vetenskaps-Akademien. The Royal Swedish Academy Of Sciences. Online verfügbar unter <http://www.kva.se/en/>, zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation (MMK) der Technischen Universität München (TUM). Online verfügbar unter <http://www.mmk.ei.tum.de/layout.php?LangExt=&selectedMain=Home&selectedSub> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Medizinische Universität Wien. Online verfügbar unter <http://www.meduniwien.ac.at/homepage/index.php?id=495> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

Nobelprize.org. The Official Web Site of the Nobel Prize. Online verfügbar unter <http://nobelprize.org/> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

POOLE, Joyce. U.a. ElephantVoices. Online verfügbar unter <http://www.elephantvoices.org/> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

SpeakDolphin.com. Online verfügbar unter <http://www.speakdolphin.com/home.cfm> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.

VESTER, Heike. Ocean Sounds. Online verfügbar unter <http://www.ocean-sounds.com/eng/> , zuletzt geprüft am 11.12.2010.