

Gerhard Roth

Wahrnehmung und Erkenntnis: Grundzüge einer neurobiologisch fundierten Erkenntnistheorie

1 Einleitung

Die philosophische Erkenntnistheorie befasst sich mit der Möglichkeit sicherer und begründeter Erkenntnisse über die Welt in ihrer Gesamtheit (von Kutschera 1981). Dabei ist die Frage, ob man überhaupt und wenn ja wie man solche Erkenntnisse erlangen kann, seit dem Altertum hochumstritten. Zugleich stehen die erkenntnistheoretischen Positionen in einem komplexen Verhältnis zur jeweils vertretenen Ontologie, d. h. zur Frage nach dem *Seinszustand* der Welt einschließlich des Erkenntnissubjekts.

Der am meisten unter Philosophen und Wissenschaftlern verbreitete ontologische Standpunkt ist der eines *Realismus*. Dieser vertritt die Meinung, dass es eine vom Wahrnehmen und Denken des Menschen unabhängige Welt gibt, die auch dann nicht aufhört zu existieren, wenn niemand sie wahrnimmt oder über sie nachdenkt. Diese Welt habe ich „Realität“ genannt (Roth 1994). Ein solcher *ontologischer Realismus* geht oft einher mit einem *erkenntnistheoretischen Realismus*, d. h. der Überzeugung, dass die Realität zumindest in manchen, vielleicht sogar vielen Eigenschaften von uns *erkennbar* ist. Der weitverbreitete *kritische* erkenntnistheoretische Realismus erkennt an, dass unsere Sinnesorgane, unsere Beobachtungen und unser Denken nur *angenähert*, aber nie exakt die Eigenschaften der Realität erfassen können. Allerdings nehmen kritische Erkenntnisrealisten wie Hermann von Helmholtz und Karl Popper an, dass man mithilfe standardisierter, intersubjektiv zugänglicher Beobachtungen und Experimente, deren Resultate prinzipiell falsifizierbar sind, zu ‚wahren‘, d. h. mit Eigenschaften der Realität übereinstimmenden Erkenntnissen kommen kann.¹ Dem steht ein erkenntnistheoretischer *Agnostizismus* gegenüber, der auf das erkenntnistheoretische Dilemma bzw. den *erkenntnistheoretischen Zirkel* hinweist, dass Erkenntnisse immer auf Beobachtungen gegründet sein müssen und immer nur über weitere Beobachtungen überprüft werden können, niemals aber durch einen direkten Vergleich von Beobachtungen und Erkenntnissen mit der Realität. Deren Existenz wird zwar nicht angezweifelt, sie wird aber als ‚unzugänglich‘ bezeichnet.

1 Vgl. von Helmholtz/Bernhart 1877/1925; Popper 1934/1976.

net. Das Maximum dessen, was wir auch in den Naturwissenschaften erreichen können, ist nach dieser Position ein hoher Grad an logischer Konsistenz und innerer Widerspruchslosigkeit sowie inhaltlicher Kohärenz und Anschlussfähigkeit an bereits akzeptierte Anschauungen. Entsprechend kann es hochgradig bewährte, aber niemals objektiv wahre Aussagen geben.²

Eine in der Philosophie- und Wissenschaftsgeschichte einflussreiche Auffassung ist der *Positivismus*, wie er vor allem von Ernst Mach (1885/1991) sowie von Vertretern des *radikalen Konstruktivismus*³ vertreten wurde. Diese Position geht davon aus, dass das einzige, was uns direkt zugänglich ist, die sinnlichen Erfahrungen sind, unsere ‚Wirklichkeit‘, aus denen wir dann mithilfe unseres Denkens konsistente und kohärente Erkenntnisse entwickeln können. Ob und in welchem Maße die Sinneserfahrungen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse einer *objektiven* Realität entspricht, ist nicht nur unüberprüfbar, sondern stellt für die genannten Autoren eine unsinnige Frage dar. Das Grundargument lautet, dass man über etwas, das prinzipiell unerfahrbar ist, auch keine Existenzaussage machen kann.

In der Psychologie, Psychiatrie und Philosophie erfreut sich die Position des *psychophysischen Parallelismus* nach wie vor großer Beliebtheit.⁴ Mit diesem Begriff ist üblicherweise nicht das ontologische Modell von Leibniz gemeint, wie dieser es in seiner *Monadologie* entwickelte und in dem zwischen Psychischem und Materiellem keinerlei Interaktion bestehen; für Leibniz sind dies getrennte Wesensbereiche, und was so aussieht wie eine Interaktion, geht auf die von Gott verfügte „prästabilisierte Harmonie“ zurück. Im modernen Sinne wurde der psychische Parallelismus durch den Psychologen, Physiker und Philosophen Gustav Fechner (1801–1887) entwickelt, der zugleich *panpsychistische* Anschauungen vertrat. Danach sind Geist und Materie von Beginn an aufs Engste verbunden, d. h. Materie ist auch schon immer geistig, und Geist ist nur materiell realisierbar. Diese Geist-Materie-Identität zeigt sich uns jedoch stets unter *zwei Aspekten*, nämlich einem Binnenaspekt in Form des Selbsterlebens, und einem Außenaspekt in Form der externen wissenschaftlichen Beobachtung und Erforschung. Es ist danach unmöglich, beide Aspekte unter denselben Bedingungen wahrzunehmen. Begrifflich gesehen handelt es sich um eine Kombination zwischen einem ontologischen Identismus und einem erkenntnistheoretischen bzw. phänomenalen Dualismus.

² Vgl. von Kutschera 1981, 179 ff.

³ Z. B. von Foerster/Pörksen 1999; von Glasersfeld 1996; 1998.

⁴ Vgl. Schick, Feigl, Metzger, Chalmers u. v. a.

Trotz seiner großen Beliebtheit und Suggestivität hat der psychophysische Parallelismus in Verbindung mit einem ontologischen Identismus mit schwer lösbaren Schwierigkeiten zu kämpfen. Zum einen gibt es keinerlei Hinweis darauf, dass ‚Geist‘ aus denselben physikalischen Entitäten besteht wie Atome und Moleküle, d. h. die ‚Elementarteilchen‘ des Geistes sind unbekannt. Diejenigen Prozesse im Gehirn, die zur Entstehung von bewussten geistigen Zuständen beitragen (s. unten), haben als solche nichts „Geistiges“ an sich und kommen wie Aktionspotenziale, Neurotransmitter, EEG-Wellen im Gehirn auch unabhängig von geistigen Prozessen vor. Es scheint also *nicht* so zu sein, dass es schon auf unterster physikalischer Ebene Geist gibt, sondern Geist ist offenbar das Ergebnis eines sehr spezifischen Zusammenwirkens nicht-geistiger Vorgänge. Es kann auch – anders als mein Lehrer Bernhard Rensch (1968) meinte – nicht die reine Komplexität neuronalen Geschehens sein, die Geist hervorbringt, dann wären etwa die Prozesse im Kleinhirn, die mindestens so komplex sind wie die innerhalb der Großhirnrinde, von Bewusstsein begleitet, was sie aber nicht sind.

Eine in mehrfacher Hinsicht merkwürdige Zwischenposition nimmt Immanuel Kant in seiner Erkenntnistheorie ein, dargelegt vornehmlich in der *Kritik der reinen Vernunft* (1787/1983).⁵ Gegenüber den *Rationalisten* wie Platon, Thomas von Aquin, René Descartes, Gottfried Wilhelm Leibniz und Christan Wolff hielt er den Erwerb ‚wahrer‘ Erkenntnis durch bloßes Denken (bzw. eine platonische *Ideenschau*) für unmöglich. Vielmehr war die sinnliche Erfahrung eine notwendige, wenngleich nicht hinreichende Bedingung gesicherter Erkenntnis. Gegenüber den Empiristen (Hobbes, Locke, Hume usw.) nahm Kant jedoch an, dass wir mithilfe erfahrungsunabhängiger *apriorischer* Anschauungsformen von Raum und Zeit und ebenso *apriorischer*, weil logisch zwingend ableitbarer Denkformen, den *Kategorien*, zu gesichertem Wissen über die Welt gelangen können. Insofern war Kant ein Erkenntnisoptimist. Zugleich nahm er an, dass die Realität als *Welt der Dinge an sich* vollkommen unerkennbar sei. Ein schon zu Lebzeiten Kants aufgezeigter Grundwiderspruch liegt darin, dass nach Meinung Kants die *Dinge an sich* unsere sinnlichen Erfahrungen hervorrufen, obwohl wir angeblich von dieser Welt und der Tatsache bzw. den Details ihrer Einwirkung auf die Sinnesorgane gar nichts wissen können.

Ein solches Nicht-Wissen würde sich auch auf die Existenz einer Welt der Dinge an sich beziehen. Ebenso bleibt die objektive Gültigkeit der Kant’schen Kategorien unbegründet. Wer garantiert, dass der Mensch nicht auch bei der logischen Deduktion der Kategorien irren kann? Vielleicht war Kant die scheinbare Unumstößlichkeit der Physik Newtons Beweis dafür, dass wir kraft unseres logi-

⁵ Für eine umfassende Darstellung s. Höffe (2004).

schen Denkens gesichertes Wissen erwerben können. Einsteins Relativitätstheorie hat die Gültigkeit der Newtonschen Physik auf „mesokosmische“ Verhältnisse, also bei nicht zu großen Massen und bei Geschwindigkeiten weit unterhalb der Lichtgeschwindigkeit, eingeschränkt, die Quantenphysik hat unsere Auffassung von Kausalität bzw. Determinismus stark verändert und der Gödel'sche Unvollständigkeitssatz den Glauben an die Vollständigkeit der Logik zerstört.

Über den ontologischen Realismus und Agnostizismus hinaus gibt es den *ontologischen Idealismus*, wie er sich bei Berkeley findet, für den es nur unsere (von Gott geschaffene) geistigen Sinneserfahrungen und Denkinhalte gibt, durch die die scheinbar realen Dinge entstehen (*esse est percipi*). Damit wollte Berkeley das Leib-Seele-Problem lösen. Dieser Ansatz hat sich aber über Erkenntnisse unserer Sinneserfahrungen hinaus als unfruchtbar erwiesen, da er von einem Solipsismus („nur ich existiere als wahrnehmend-denkend“) nicht plausibel unterscheidbar ist.

Diskussionswürdig erscheinen heutzutage entweder nur eine Kombination von ontologischem Realismus entweder mit einem kritischen Realismus, der die Realität zumindest für partiell erkennbar hält, oder mit einem hypothetischen Realismus, der die Realität zwar für existent, aber für prinzipiell unerkennbar ansieht, sowie ein Positivismus/radikaler Konstruktivismus, der die Annahme einer Realität für überflüssig hält. Allerdings sind, wie zu zeigen sein wird, alle drei Positionen mit tiefgreifenden Problemen behaftet.

2 Philosophische Erkenntnistheorie und empirische Wissenschaften

Die Erkenntnistheorie ist seit der Antike neben der Ontologie eine Hauptdisziplin der Philosophie. Nicht nur Kant und alle anderen klassischen Erkenntnistheoretiker, sondern auch moderne Erkenntnisphilosophen wie Franz von Kutschera (1981) halten an dem Status der philosophischen Erkenntnistheorie als *Grundlage* für alle wissenschaftlichen Einzeldisziplinen fest. Die philosophischen Untersuchungen der Bedingungen gesicherter wissenschaftlicher Erkenntnisse werden danach *nicht* von den Einzelwissenschaften abgelöst, da diese schließlich nicht ihre eigenen Erkenntnisvoraussetzungen reflektieren können – das vermag nur eine außenstehende oder „übergeordnete“ Disziplin. Bereits Kant unterscheidet in der *Kritik der reinen Vernunft* zwischen dem empirisch-disziplinären Erkenntnisgewinn (der *quaestio facti*) und der Frage nach der Gültigkeit dieser Erkenntnisse (der *quaestio juris*), die nur philosophisch untersucht werden könne.

Eine solche in der Philosophie verbreitete und für die Eigenwahrnehmung der Philosophen durchaus verständliche Sicht als ‚Grundlagentheoretiker‘ ist jedoch fragwürdig, denn sie gelangt auch ihrerseits nicht aus dem erkenntnistheoretischen Zirkel heraus. Versucht man die Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis rein logisch-gedanklich zu ergründen, so setzt man die Gültigkeit eines solchen Vorgehens axiomatisch voraus, was unzulässig ist, denn dessen Korrektheit kann nicht wiederum logisch-gedanklich bewiesen werden. Geht man aber zumindest teilweise empirisch vor, so liefert man sich der Gültigkeit der Resultate empirischer Forschung aus.

Zudem wurde wissenschaftshistorisch diese Sicht der Philosophie als erkenntnistheoretische Grundlegung der Einzelwissenschaft in dem Maße fragwürdig, in dem bedeutende Forscher wie Wilhelm Wundt oder Ernst Mach von Amtes wegen sowohl Philosophen als auch Einzelwissenschaftler waren, oder sich als Naturwissenschaftler explizit mit erkenntnistheoretischen Fragen ihrer Disziplin auseinandersetzten wie Hermann von Helmholtz, Albert Einstein, Max Planck, Niels Bohr, Werner Heisenberg und Carl-Friedrich von Weizsäcker – um nur einige zu nennen. In demselben Maße verlor die rein philosophische Erkenntnistheorie ihre Bedeutung für die Naturwissenschaften.

Viele Naturwissenschaftlicher sind der festen Überzeugung, die Naturwissenschaften seien in der Lage, zumindest *annäherungsweise* gültige Aussagen über die Realität zu erlangen. Dazu sei eine genaue Betrachtung der Prozesse des Erkenntnisgewinns in der Physik, der Chemie, der Biologie usw. sowie der neurobiologischen und psychologischen Grundlagen von Wahrnehmung und Erkenntnis nötig. Zumindest in der Physik wurde ein hoher Grad an philosophischen Reflexion über physikalische Methoden und Erkenntnisprozesse erreicht.⁶ Allerdings hat es auch gleich zu Beginn der modernen Physik, insbesondere mit dem Entstehen der Quantenphysik, eine Auseinandersetzung um den erkenntnistheoretischen Status quantenphysikalischer Aussagen gegeben, die bis heute andauert. Während die Vertreter der sogenannten Kopenhagener Deutung, vor allem Niels Bohr, eine *instrumentalistische* Position annahmen, nach der die Modelle der Quantenphysik lediglich nützliche Beschreibungsweisen beobachteter Vorgänge ohne Anspruch auf ‚reale‘ Gültigkeit besitzen, halten bis heute die Vertreter eines realistischen Standpunktes die Modelle für Abbildungen objektiver Tatsachen. Nach Meinung von Albert Einstein und David Bohm waren die beobachteten Paradoxien (z. B. der Welle-Teilchen-Dualismus) nur Ausdruck der Wirkung verborgener Mechanismen. Werner Heisenberg nahm hier eine gewisse

⁶ Vgl. Planck 1929/1952; Einstein/Infeld 1938/1950; Heisenberg 2000; von Weizsäcker 1971.

Mittelposition ein.⁷ Die Antwort, die sich aus solchen Reflexionen ergibt, könnte entsprechend lauten: „Ja, aufgrund dessen, was die Naturwissenschaften tun, und wie unser Wahrnehmungs- und Erkenntnisapparat funktionieren, ist eine objektive Erkenntnis möglich“, oder: „Nein, auch der naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinn vermag es nicht, den erkenntnistheoretischen Zirkel zu durchbrechen.“

Es ergibt sich hier ein Kreisprozess erkenntnistheoretischer Arbeit zwischen Philosophie und Einzelwissenschaften, denn es kann weder eine rein philosophische Erkenntnistheorie geben noch eine rein disziplinäre wissenschaftliche Arbeit, die ohne Reflektionen über die Möglichkeiten der Erkenntnis auskommt. Besonders deutlich wird dies innerhalb derjenigen Disziplinen, die sich mit Wahrnehmungsvorgängen und deren kognitiver Verarbeitung direkt beschäftigen, nämlich Psychologie und Neurobiologie. Hier scheint das Dilemma zu bestehen, dass wir mithilfe unserer Wahrnehmung und unserer kognitiven Leistungen die psychologischen Voraussetzungen und neurobiologischen Grundlagen dieser Leistungen erkennen wollen. Kürzer gesagt: Das Gehirn muss sich selber untersuchen.⁸

Von manchen Philosophen wird dies vorschnell als Aporie im Sinne „das Gehirn kann sich doch nicht selber verstehen!“ abgetan. Aber wenn hier ein Grunddilemma vorliegt, so gilt dies natürlich auch für die Philosophen, sofern sie dabei ihr Gehirn benutzen. Und selbst, wenn sie glauben (was manche Philosophien offenbar tun), zum Denken brauche man kein Gehirn, sondern nur Geist, dann versuchen sie mithilfe des denkenden Erkennens die Möglichkeiten des denkenden Erkennens zu ergründen. Aus diesem Zirkel scheint es aber weder empirisch noch philosophisch ein Entkommen zu geben.

3 Evolutionäre Erkenntnistheorie – ein Ausweg aus dem Erkenntniszirkel?

Einen der bekanntesten Versuche, erkenntnistheoretische Probleme mithilfe naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu lösen und dadurch den Erkenntniszirkel zu durchbrechen, stellt die *Evolutionäre Erkenntnistheorie (EE)* dar, die mit den Namen Donald Campbell, Konrad Lorenz, Rupert Riedl, Karl Popper und Gerhard Vollmer verbunden ist, aber schon von William James, Herrmann von

⁷ Vgl. Heisenberg 2000.

⁸ Vgl. Roth 1994/1997.

Helmholtz und Ernst Mach vorbereitet wurde. Die Vertreter der EE gehen davon aus, dass Erkenntnistheorie gleichermaßen philosophisch und auf der Grundlage naturwissenschaftlicher Erkenntnisse betrieben werden muss. Im Zentrum des Letzteren stehen dabei die Verhaltens- und Wahrnehmungsforschung und die Evolutionstheorie. Die moderne Neurobiologie wurde und wird hingegen nur wenig rezipiert. Ich gehe hier im Wesentlichen von dem Buch *Die Rückseite des Spiegels* von Konrad Lorenz aus, das seinerzeit (1973) großes Aufsehen erregte, sowie von den Veröffentlichungen Gerhard Vollmers, insbesondere von seinem Buch *Evolutionäre Erkenntnistheorie*, das 1975 erschien und bis heute unverändert nachgedruckt wird.

Lorenz und Vollmer setzen kritisch bei der Erkenntnistheorie Kants an, insbesondere bei dessen Grundannahme, sowohl die Anschauungsformen des Raumes und der Zeit als auch die Kategorien als Grundformen des Denkens seien *apriorisch*, d. h. vor aller Erfahrung gültig. Beide Autoren argumentieren gegen Kant, *apriorische* Anschauungsformen und Kategorien mögen zwar *individuell* erfahrungsunabhängig (*individuell apriorisch*) sein, seien aber stammes- und gattungsgeschichtlich im Prozess der evolutiven Anpassung der Tiere und des Menschen an die jeweilige Umwelt erworben (*evolutionär aposteriorisch*). Sie könnten deshalb zwar keine *absolute* Gültigkeit beanspruchen, aber in ihrer stammesgeschichtlich-evolutiven Bewährung liege der Garant dafür, dass wir im Gegensatz zur Auffassung Kants die Welt *in Grenzen* erkennen können: die Wahrnehmungs- und Erkenntnismechanismen der Organismen müssen so beschaffen sein, dass sie das Überleben ermöglichen, sonst würden sie nicht existieren!

Es muss also im Sinne der klassischen Korrespondenztheorie eine hinreichende ‚Passung‘ zwischen ihnen und den objektiven Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten der Welt geben. In den Augen der EE wäre ein Überleben von Millionen von Arten im Laufe der Evolution völlig unerklärlich, wenn es eine hinreichende Passung nicht gäbe (Vollmer 1975/2002, 102):

Unser Erkenntnisapparat ist ein Ergebnis der Evolution. Die subjektiven Erkenntnisstrukturen passen auf die Welt, weil sie sich im Laufe der Evolution in Anpassung an diese reale Welt herausgebildet haben. Und sie stimmen mit den realen Strukturen (teilweise) überein, weil nur eine solche Übereinstimmung das Überleben ermöglichte.

Damit nimmt die EE zusammen mit einem ontologischen Realismus einen optimistischen erkenntnistheoretischen Standpunkt ein. Die Annahme einer vollkommen unerkennbaren Welt der „Dinge an sich“ im Sinne Kants wird explizit abgelehnt. So heißt es bei Lorenz: „An unserer Überzeugung [...], daß alles, was unser Erkenntnisapparat uns meldet, *wirklichen* Gegebenheiten der außersubjektiven Welt entspricht, halten wir unerschütterlich fest“ (Lorenz 1973). „Wirk-

lich“ ist von Lorenz hier im Sinne von „tatsächlich“ gemeint, was ich als „real“ bezeichne (Roth 1994/1997). Eine ähnliche Gewissheit findet sich zum Beispiel trotz aller Reflexion der grundsätzlichen Eingeschränktheit unseres Erkenntnisvermögens beispielsweise bei Herrmann von Helmholtz und auch bei meinem Lehrer Bernhard Rensch (1968).

Eine gewisse Verwirrung ergibt sich daraus, dass Lorenz, Vollmer und Popper den Begriff des „hypothetischen Realismus“ verwenden. Dieser Begriff suggeriert, auch unsere wissenschaftlichen Erkenntnisse müssten wegen des Erkenntniszirkels immer Hypothesen bleiben und könnten niemals gesichertes Wissen sein. Das aber ist weder von Lorenz und Vollmer und Popper gemeint, sondern sie sind – wie erwähnt – davon überzeugt, dass wir die ‚objektiven‘ Eigenschaften der Realität zumindest hinsichtlich der Existenz naturgesetzlicher, kausaler Prozesse und damit einer Grundstrukturiertheit erkennen können. Der ‚hypothetische‘ Charakter der wissenschaftlichen Erkenntnisse besteht für sie lediglich darin, dass sie sich im Prozess der Verifikation und Falsifikation immer nur vorläufig bewähren (Popper 1934/1976). Zugleich aber ergibt sich dadurch eine stetige Annäherung an die ‚Tatsachen‘ der Realität, also ein objektiver Fortschritt im wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn. Der maßgebliche Bürge hierfür ist die erfolgreiche Evolution des menschlichen Erkenntnisapparats, der die größte Erkenntniskraft besitzt.

Die EE muss also die Gültigkeit der von Darwin begründeten und in Form der *Synthetischen Theorie* weiterentwickelten Evolutionstheorie voraussetzen, sonst baut sie auf Sand. In der Tat: so wie Kant felsenfest von der absoluten Gültigkeit der Newtonschen Physik überzeugt war (Höffe 2004), so glaubten und glauben die Vertreter der EE an die Gültigkeit ‚der‘ Evolutionstheorie. Hier aber eröffnet sich eine tiefgründige Problematik.

Was man heute unter Evolutionstheorie versteht, setzt sich aus mindestens drei Theoriekomplexen zusammen.⁹ Der erste Komplex betrifft die Frage nach der *Stammesgeschichte* der Lebewesen einschließlich der Frage nach der Entstehung des Lebens. Hier sind wir allerdings auf relativ sicherem Boden. Es kann nicht mehr ernsthaft bezweifelt werden, dass alle Lebewesen einen gemeinsamen Ursprung haben, der rund 4 Milliarden Jahre zurückliegt, und damit eine gemeinsame Stammesgeschichte aufweisen. Dies ist jedoch für die EE nicht von Belang. Bei der zweiten Frage nach der Entstehung der unterschiedlichen *Reiche* der Lebewesen (dem Reich der Prokaryonten, d. h. Bakterien und Archäen, der Protozoen, der Pflanzen, Pilze und Tiere), deren Stämme, Klassen, Familien, Gattungen und Arten im Laufe der Stammesgeschichte, also der *Diversifikation*, herrscht noch einige Unklarheit – wahrscheinlich liegen diesem Prozess mehrere

⁹ Vgl. Mayr 1984; Storch/Welsch/Wink 2013.

Prinzipien zugrunde, vornehmlich aber geographische Isolation. Aber auch diese Grundfrage der Evolutionsbiologie ist für die EE kaum von Bedeutung. Die dritte Frage betrifft hingegen die EE im Kern, nämlich diejenige nach den *Mechanismen* der Evolution als Abwandlungen von Formen und Funktionen von Lebewesen in Raum und Zeit. Während in den Augen vieler Laien und auch der Vertreter der EE diese Frage durch die Darwin'sche Lehre von der *natürlichen Selektion* bzw. durch den *Neodarwinismus* oder besser die *Synthetische Theorie der Evolution* als Vereinigung der klassischen Darwinschen Theorie mit der modernen Populationsgenetik, Systematik und Paläontologie endgültig beantwortet wurde, ist dies unter Experten inzwischen mehr denn je umstritten.¹⁰

Es wird dabei nicht bezweifelt, dass die von Darwin als für die Evolution grundlegend angesehene Interaktion von genetischer und phänotypischer Variabilität und Selektion *ein* evolutiver Mechanismus ist, aber es wird inzwischen weithin akzeptiert, dass es daneben weitere, vielleicht sogar wichtigere Mechanismen gibt. Davon seien hier nur genannt: (1) neutrale genetische bzw. epigenetische Abänderungen, die mit unterschiedlichen Häufigkeiten *ohne* Bezug auf selektierende Umweltbedingungen auftreten (Kimura 1983), (2) mindestens sechs Großkatas-trophen, bei denen zwischen 50 und 95 % existierender Arten ausgelöscht wurden und durch welche die Evolution einen ganz anderen, nicht von genetischer Variation und Selektion bestimmten Gang nahm, (3) Selbstkanalisations-Effekte der Evolution im Zuge der Entstehung komplexer Strukturen und Funktionen (Wake/Roth 1988), (4) *Stasis*, d. h. Verharren von großen Tiergruppen auf einem bestimmten *Bauplan* über Millionen oder gar Hunderte von Millionen Jahren.¹¹

Demgegenüber besteht die Grundüberzeugung der *Synthetischen Theorie*, dass die Evolution – von Ausnahmen abgesehen – *ausschließlich* oder ganz wesentlich aufgrund der natürlichen Selektion zum Entstehen und Überleben neuer und ‚besser angepasster‘ Lebensformen führt (Mayr 1984). Dies soll dann zur Zunahme immer komplexeren und leistungsfähigeren Formen im Laufe der Stammesgeschichte führen, d. h. zu einer Evolution im Sinne der *Höherentwicklung*, denn der Höherentwickelte ist nach Ansicht des (Neo-)Darwinismus automatisch der besser Angepasste (Futuyma 1998). Er verdrängt seine innerartlichen Konkurrenten und überlebt besser die feindlichen biotischen und abiotischen Lebensbedingungen. Vollmer spricht ausdrücklich von einem den Organismen auferlegten „Entwicklungszwang“ (1975/2002, 65), denn für ihn ist der höher entwickelte Organismus immer auch der besser Angepasste.

¹⁰ Vgl. Gould 1977; ders./Eldredge 1977; Gerhart/Kirschner 1997; 2005; Kutschera 2009; Pigliucci/Müller 2010.

¹¹ Vgl. Gould/Eldredge 1977; Roth 2013.

Diese Sicht der Stammesgeschichte als einer evolutiven *Höherentwicklung* entspricht aber kaum den Tatsachen.¹² Überblickt man die gesamte Stammesgeschichte der Lebewesen, so sind die erfolgreichsten von ihnen die prokaryotischen (d. h. zellkern-losen) Bakterien, denn sie übertreffen an Alter, Biomasse, Artenvielfalt und Überlebensleistungen mit Abstand alle anderen Lebewesen. Ihr Bauplan ist vor rund 2,5 Milliarden Jahren entstanden und ist der einfachste aller heutigen Lebewesen. Sie werden in Alter, Biomasse und Vielfalt von den Protozoen (den eukaryotischen, d. h. zellkern-besitzenden Einzellern) gefolgt, die seit mindestens 1 Milliarde Jahren nahezu unverändert geblieben sind. Die grundlegenden Funktionsmechanismen der Protozoen sind auch heute noch in unseren Körpern zu finden – alle Vielzeller sind ja kaum etwas anderes als Protozoen-Kolonien. Den Einzellern folgten vor rund 700 Millionen Jahren zahllose ‚primitive‘ Formen von Tieren wie Schwämme, Quallen, kleine wurmartige Tiere (z. B. Nematoden), die alle relativ einfache Sinnessysteme und Nervensysteme besitzen und einen großen Teil der heutigen Biomasse ausmachen. Aber auch die meisten Vertreter der artenmäßig größten Tiergruppe, der Arthropoden, zeigen durch eine über Hunderte Millionen Jahre fast gleichbleibende Ausstattung an Sinnesorganen und Nervensystemen bzw. Gehirnen, und diese Konstanz findet sich bei den meisten Weichtieren und den ‚niederen‘ Wirbeltieren wie den Schleimaalen, Neunaugen und Knorpelfischen.

Dramatische Höherentwicklungen sind in der Stammesgeschichte hingegen selten und finden sich nur bei Kopffüßern, einigen Knochenfischen, Vögeln und Säugern einschließlich der Primaten, zu denen auch der Mensch gehört. Sehr viel mehr Gruppen von Tieren (einige hunderttausend Arten!) haben etwas scheinbar Paradoxes gemacht, sie sind nämlich im Laufe ihrer Evolution *einfacher* geworden, z. B. viele Arthropoden, Mollusken und alle Amphibien. Wenn man im Sinne des Darwinismus und der Synthetischen Theorie den Überlebenserfolg als Hauptkriterium nimmt, dann sind bis heute die einfachsten Formen die Erfolgreichsten und Langlebigsten – nämlich die Bakterien, Protozoen, die ‚Würmer‘ sowie viele Arthropoden! Bei Tieren mit komplexen Sinnesorganen und Gehirnen muss sich der Überlebenserfolg erst noch beweisen (so gab es vor mehreren hundert Millionen Jahren sehr viel mehr Kopffüßer mit vergleichsweise großen Gehirnen als heute – warum?). Die generelle Gleichsetzung von Stammesgeschichte bzw. Evolution mit ‚Höherentwicklung‘ ist also falsch.

Besonders problematisch sind die Begriffe des ‚Überlebens des Tüchtigsten‘ und der ‚Anpassung‘. Nach Darwin und einigen Vertretern der Synthetischen Theorie der Evolution führen genetische Variationen (überwiegend Rekombina-

¹² Für Details s. Roth (2010, 2013).

tionen der Allele) und Selektion zum vielzitierten „Survival of the fittest“. Es ist aber bisher nicht gelungen, diesen für den Darwinismus zentralen Begriff *zirkelfrei* zu definieren. Im Rahmen des Darwinismus wird die Fitness eines Organismus über seinen Reproduktionserfolg und den seiner Nachkommen erklärt und anschließend wird der Reproduktionserfolg durch die Fitness begründet. Dies ist ein klassischer Zirkelschluss (*petitio principii*). Kritiker des Darwinismus haben schon früh formuliert, dass hier die Tautologie des *Überlebens des Überlebenden* vorliegt, und dieses Argument ist nie schlüssig widerlegt worden.

Während der Begriff des „Survival of the fittest“ auch von angesehenen Neodarwinisten wie Endler (1986, 28) als höchst problematisch angesehen wird, versucht man, den Begriff der „Anpassung“ (Adaption) zirkelfrei zu erklären in dem Sinne, dass ein bestimmter phänotypischer Unterschied, also ein Unterschied in einem bestimmten Merkmal (z. B. Flügellänge, Augenstruktur, Gehirngröße) bzw. einer bestimmten Eigenschaft (z. B. Schnelligkeit, Sehschärfe, Intelligenz usw.), mit einem erhöhten Reproduktionserfolg in Verbindung gebracht wird, und dieses Merkmal bzw. diese Eigenschaft wird dann als „besser angepasst“ angesehen (Futuyma 1998, 337 ff.). Aber auch hierdurch beseitigt man nicht die Zirkularität, denn letzteres wird dann zur Erklärung des Ersteren herangezogen.

Neodarwinisten pflegen die Tatsache zu betonen, dass Unterschiede in „adaptiven“ Merkmalen oft sehr gering sind, sich erst auf lange Sicht auswirken und deshalb in natürlichen Populationen nur schwer empirisch zu identifizieren sind (Mayr 1984; Endler 1986; Futuyma 1998). Dies wird als Erklärung dafür herangezogen, dass es so wenige gut belegte Beispiele für das Wirken der natürlichen Selektion gibt. Weiterhin ist es schwer, Merkmalsänderungen, die eindeutig auf natürliche Selektion zurückgehen, von solchen zu unterscheiden, die durch andere, *nichtadaptive* Ursachen bzw. Prozesse bewirkt wurden, wie sie oben genannt wurden.

Auch müssten nach dem Prinzip der natürlichen Selektion die ‚besseren‘ Organismen die hinsichtlich eines überlebens- und reproduktionsförderlichen Merkmals weniger Entwickelten im Konkurrenzkampf verdrängt haben. Es dürfte letztere also gar nicht mehr geben, oder höchstens als Reliktstufe, wie dies auch Vollmer suggeriert (1975/2002, 66). Das Gegenteil ist aber der Fall: Wie erwähnt, sind gerade die allereinfachsten Organismen, nämlich die Bakterien und die Protozoen, die mit Abstand erfolgreichsten Lebewesen. Die Bakterien haben alle Großkatastrophen der Erdgeschichte überlebt und werden das in Zukunft auch weiter tun. Umgekehrt waren es die am engsten an ihre Umwelt angepassten Gruppen, die Spezialisten, die bei Umweltveränderungen am ehesten ausstarben.

Nehmen wir die Leistungsfähigkeit von Sinnesorganen und Nervensystemen bzw. Gehirnen, so ergibt sich dasselbe Bild: diejenigen Lebewesen, die als Bakterien, Protozoen oder Kleinstwürmer eine minimale sensorische Ausstattung und

ein Minimum an Reizverarbeitung und Motorik haben, sind die Erfolgreichsten! Komplexe Sinnesorgane gibt es durchaus häufiger, insbesondere bei Arthropoden, große Gehirne sind hingegen vergleichsweise selten, und die allermeisten vielzelligen Tiere auf der Welt haben gar keine Gehirne im engeren Sinne, sondern ‚nur‘ eine Kombination von einzelnen Ganglien und diffusen Nervennetzen (Roth 2010; 2013).

Schließlich gelangt man zu der Erkenntnis, dass es in den allermeisten Fällen hinsichtlich einer bestimmten Umwelt nicht einen *einzigsten bestangepassten* Organismus gibt, der dann die Konkurrenz gewinnt, sondern immer eine – oft unbekannte – Zahl ähnlich vorteilhafter Phänotypen (Endler 1986, 48, 110), die ganz unterschiedliche Überlebensstrategien anwenden. Das heißt: die einen überleben, weil sie sehr einfach und robust ‚gebaut‘ sind und unzählige einfache und robuste Nachkommen haben, die anderen sind die Komplexen und Raffinierten, die meist nur wenige, aber kompetente Nachkommen haben. Es überlebt derjenige, der erfolgreich überlebt – wie auch immer er dies schafft. *Was genau* das erfolgreiche Überleben sichert, ist so vielfältig, wie es Lebensbedingungen gab und gibt – nämlich fast unzählig viele. Viel wichtiger als das Gewinnen eines innerartlichen oder zwischenartlichen Konkurrenzkampfes scheint das *Ausweichen* in neue ökologische Nischen zu sein, und zwar aufgrund abgeänderter Merkmale, wie dies bei der Evolution des Menschen und seiner unmittelbaren Vorfahren und dem Übergang vom Leben im Urwald zu dem in der Savanne der Fall war.¹³ Hierbei kann es sich wiederum um sehr unterschiedliche Strategien handeln wie eine starke Zu- oder Abnahme der Körpergröße, neue Beutefangstrategien, aber auch extreme Vereinfachungen oder Parasitismus.

Damit fällt das entscheidende Argument der EE fort, dass für das Überleben eine bessere Anpassung im Sinne eines immer genaueren Erfassens der Umwelt durch immer leistungsfähigere Sinnesorgane und Gehirne nötig sei. Aus der bloßen Tatsache des Überlebens sind *keinerlei* erkenntnistheoretischen Schlussfolgerungen hinsichtlich der Korrespondenz zwischen Erkenntnisapparat und Realität zu ziehen, außer dass der jeweilige *Erkenntnisapparat* der Organismen – ob nun höchst komplex wie beim Menschen oder höchst einfach wie beim Pantoffeltierchen – *bisher für das Überleben offensichtlich reichte*. Dies aber ist eine für die Erkenntnistheorie inhaltsleere Aussage. Keinesfalls können die evolutiv erworbenen Erkenntnisformen als Garant sicherer Erkenntnis den Platz des Kant’schen Erkenntnisformen a priori einnehmen, auch wenn sie ontogenetisch a priori sein sollten, d. h. wenn Tiere und Mensch mit ihnen auf die Welt kommen.

¹³ Vgl. Roth 2010.

4 Makro-, Meso- und Mikrokosmos

Die EE geht von dem Grundsatz aus, dass unser Erkenntnisvermögen nur deshalb so verlässlich arbeitet, weil dieses Vermögen bzw. seine evolutiven Vorstufen sich an die auf der Erde herrschenden Lebens- und Überlebensbedingungen, den *Mesokosmos*, angepasst haben. Der Mesokosmos entspricht ziemlich genau derjenigen Welt, die durch die Newtonsche Physik mit der Annahme eines absoluten dreidimensionalen Raumes, einer absoluten Zeit, von Kausalität, einer instantan fernwirkenden Schwerkraft, der Unterscheidung von schwerer und träger Masse usw. beschrieben wird. Dies gilt auch für alle mit unserer sinnlichen Anschauung vereinbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse, die sozusagen intersubjektiv standardisierte mesokosmische Wahrnehmungs- und Erkenntnisakte sind. Dies ist zugleich der Grund dafür, dass physikalische Phänomene, die im Bereich des *Makrokosmos*, also der relativistischen Physik, als auch des *Mikrokosmos*, also der Quantenphysik auftreten, unseren Anschauungen z. T. dramatisch zu widersprechen scheinen. Obwohl unanschaulich, kann der menschliche Geist jedoch damit umgehen, ja aufgrund mathematisch-logischer Schlussfolgerungen die Existenz solch unanschaulicher Phänomene wie der Zeitdilatation und Raumkontraktion, der Raumkrümmung, der Existenz von Neutrinos, Schwerkraftwellen oder Higgs-Teilchen postulieren und Experimente ersinnen, die geeignet sind, solche Annahmen zu bestätigen oder zu widerlegen. Dies gilt sogar für „wilde“ Spekulationen wie dunkle Energie, die vorerst nichts anderes ist als ein Erklärungsversuch für bestimmte Beobachtungen, z. B. ein immer schneller expandierendes Universum.¹⁴

Für die EE stellt dies ein großes Problem dar. Denn zum einen will sie erklären, warum unsere Anschauung mesokosmisch ist und sich Tiere und Mensch in dieser Welt so gut zurechtfinden, zum anderen sehen die Vertreter EE die (für die irdische Existenzsicherung ziemlich belanglosen) Befunde der Relativitätstheorie und der Quantenphysik als glänzende Beweise für die Möglichkeit an, tendenziell objektive wissenschaftliche Erkenntnisse zu erlangen. Die Wissenschaft ist nämlich für die EE und den Falsifikationismus Poppers ein Prozess, in dem wir den objektiven Gesetzmäßigkeiten immer näherkommen, auch wenn wir diese nie ganz erreichen werden.

Wenn aber unser Erkenntnisapparat mesokosmisch ist und im ganz Großen wie im ganz Kleinen scheitern muss (sonst wäre er eben nicht lediglich mesokosmisch angepasst), wieso können wir dann relativistische Effekte und Quanteneffekte überhaupt erkennen und die Grenzen unserer Anschauung mithilfe

¹⁴ Vgl. Bahr/Resag/Riebe 2014.

der Mathematik und der Experimente übersteigen? Eine mögliche Erklärung könnte lauten, dass es jenseits unserer Wahrnehmungswelt eine Welt objektiver Gegebenheiten gibt, die uns zwingt, bestimmte scheinbar widersinnige Dinge zu akzeptieren, weil sie sich aus bestimmten mathematischen Modellen ergeben. Aber woher nehmen wir die Fähigkeit hierzu, die ja nicht dem mesokosmischen Erkenntnisapparat entspringen kann? Man kann ja schlecht annehmen, dass sich mit Einstein und Planck dieser Erkenntnisapparat blitzschnell an die neuen Gegebenheiten adaptiert hat. Wir müssen also davon ausgehen, dass der konstruktive menschliche Geist relativ unabhängig von seinem Mesokosmos mathematisch-logische Werkzeuge entwickelt hat (Quantenlogik, nicht-euklidische Geometrie usw.), mithilfe derer er unanschauliche Prozesse vernünftig beschreiben kann.

Das vorgeblich schlagende Argument der mesokosmischen Anpassung unseres Erkenntnisapparates, das Kernstück der EE, erweist sich damit als erkenntnistheoretische Sackgasse. Die EE kann daher nicht erklären, warum wir in der Lage sind, völlig unanschauliche Gesetzmäßigkeiten oder scheinbare Paradoxien wie den Welle-Teilchen-Dualismus oder die „Verschränkung“ (Zeilinger 2003, 82 ff.) zu erkennen und etwa im Rahmen der Quantenfeld-Theorie plausibel zu machen.

Eine mit dem Gedanken der Evolution unseres Erkenntnisvermögens verträgliche, aber nicht von der EE bedachte Möglichkeit lautet, dass unser *kognitiver Apparat* sich keineswegs im Sinne eines strengen Adaptationsmechanismus genau an die Lebensbedingungen angepasst hat, sondern dass – etwa im Falle der Säugetiere, Primaten und des Menschen – mit der Evolution der Großhirnrinde und ihrer Fähigkeiten ‚geistige Freiräume‘ geschaffen wurden, die abstraktes Denken, Mathematik, theoretische Physik, aber auch Kultur, Kunst, Kommunikation zu entwickeln gestatteten, die bis zum Beweis des Gegenteils keinen direkten Überlebenswert hatten. Dies ist so seltsam nicht: die Erfinder der Computer, die seinerzeit vornehmlich militärische Ziele verfolgten, waren sich nicht darüber im Klaren, welch ungeheure allgemeine Revolution mit diesen Techniken in Gang gesetzt wurde (und diese Revolution mag erst am Anfang sein). Mit der Evolution der Großhirnrinde der Säugetiere und Primaten entstand ein „universeller Rechen- und Speicherapparat“, der beim Menschen in seiner Kapazität noch durch die grammatisch-syntaktische Sprache verstärkt wurde (Roth 2010, 401 ff.). Dieser Prozess konnte in dieser Kapazität weit über die aktuellen Erfordernisse des Überlebens hinausgehen und sich deshalb beliebig weit von der sinnlichen Erfahrung und Alltagslogik entfernen.

5 Die erkenntnistheoretische und ontologische Bedeutung sinnesphysiologischer und neurobiologischer Erkenntnisse

Mit der Ablehnung der EE in der vorliegenden Form ist aber die Frage nach der Bedeutung der Erkenntnisse der modernen Biologie für die Erkenntnistheorie nicht vom Tisch, sondern stellt sich in verschärfter Form. Dabei zeigt sich nämlich ein erkenntnistheoretisches Grundproblem, welches die meisten Erkenntnisphilosophen bisher nicht reflektiert haben.

Für einen tierischen Organismus ist es unabdingbar, auf lebens- und überlebensrelevante Ereignisse in seiner Umwelt und im eigenen Körper adäquat zu reagieren (bei Einzellern, Pflanzen und Pilzen ist dies natürlich genauso). Dies wird gewährleistet durch die Verarbeitung von Sinnesreizen und deren Umsetzung in ein bestimmtes Verhalten. Wie in den gängigen neurobiologischen Lehrbüchern¹⁵ nachzulesen, arbeiten die Sinnesrezeptoren bzw. Sinnesorgane aller Lebewesen selektiv, d. h. sie reagieren nur auf bestimmte und oft winzige Ausschnitte aus dem Gesamtspektrum physikalisch-chemischer Umweltereignisse. Sinnesrezeptoren sind aber nicht nur reiz-selektiv, sondern sie müssen die aufgenommenen Reize in die „Sprache des Gehirns“ bzw. der Neurone umwandeln (Roth 1994/1997, 92ff.). Nervenzellen und damit das Gehirn sind nämlich für die Umweltreize einschließlich der körpereigenen Reize unempfindlich, und es ist deshalb die Funktion der Sinnesrezeptoren, diese in solche elektrochemische Signale umzuwandeln, welche die Nervenzellen erregen können. Diese Signale sind aber nach ihrer Umwandlung (*Transduktion*) entweder als chemische Signale (Transmitter) oder als elektrische Signale (graduierte Membranpotenziale oder Aktionspotenziale) alle mehr oder weniger dieselben unabhängig von der Modalität der Sinnesreize (taktile, visuell, auditorisch usw.), sie sind primär bedeutungsfreie Signale, ähnlich den „Nullen“ und „Einsen“ im binären Code der Informationstechnologie. Dies habe ich die „Neutralität des neuronalen Codes“ genannt (Roth 1994/1997, 94), die in der Ökonomie etwa der Neutralität des Geldes entspricht.

Dadurch verlieren die Sinneserregungen aber ihre Sinnesspezifität bzw. Modalität, d. h. ob es sich um eine visuelle, auditorische, taktile, geruchliche oder geschmackliche Information handelt. Diese wird im Gehirn auf zwei Arten ‚rekonstruiert‘, einmal über die überwiegend genetisch festgelegten Verarbeitungsorte: d. h. was im Hinterhauptscortex an Erregung ankommt, wird als ‚visuell‘ erlebt

15 Z. B. Kandel/Schwartz/Jessell 1996; Galizia/Lledo 2013.

usw. Zum anderen geschieht dies über die sensomotorische Rückkopplung, d. h. was sich bei Bewegung der Augen bewegt, wird ebenfalls als ‚visuell‘ interpretiert. Schließlich reagieren die Sinnesrezeptoren nicht auf komplexe Sinneserregungen, sondern nur auf physiko-chemische ‚Elementarereignisse‘ auf der Ebene von Molekülen (z. B. beim Geruch, Geschmack, Tasten und Hören) oder gar von Lichtquanten (Sehen). Alle Objekteigenschaften wie Farbe, Form, Bewegung, Ort im Raum, zeitliche Veränderung müssen ebenso wie die Modalität vom Gehirn ‚erschlossen‘ werden. Zudem wird über Mittelung überprüft, ob es sich bei einem gemeldeten Reiz tatsächlich um die Folge der Einwirkung eines Umweltereignisses handelt oder um eine zufällige oder gar intern generierte Fluktuation. Dabei spielt auch die Erfahrung eine große Rolle.

Dies bedeutet, dass es sich bei der Erlebniswelt eines Tieres oder eines Menschen, also seiner *Wirklichkeit*, um eine Welt handelt, die vollständig auf neuronalen Berechnungen beruht. Die Frage, ob *da überhaupt ein Umweltreiz ist bzw. war*, kann vom Gehirn nur abgeschätzt werden. Viele Anteile unserer Wahrnehmungen gehen gar nicht auf aktuelle Umweltreize zurück, sondern sind von den Verarbeitungssystemen ‚konstruiert‘, wie sich schön an optischen Täuschungen zeigen lässt.

Wenn sich anstelle eines Philosophen ein Nachrichtentechniker diese Vorgänge anschaut, so wird er zu dem Schluss kommen, dass in einem derartigen System aus dessen inneren Zuständen und Zustandsveränderungen niemals verlässlich, sondern nur mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten auf externe Zustände und Zustandsveränderungen geschlossen werden kann. Die Güte des Schlussfolgerns hängt unter anderem von der Auftretsstärke und -wahrscheinlichkeit des möglichen externen Reizes sowie von der Präzision der internen Verarbeitungsmechanismen ab, die bei komplexeren Gehirnen hochgradig erfahrungsabhängig sind.

Es kann also allein schon aufgrund der Bauprinzipien von Sinnesrezeptoren bzw. -organen, Nervenzellen und Gehirnen keine verlässliche Korrespondenz zwischen Realität und Wirklichkeit geben. Ob und inwiefern ein Wahrnehmungsinhalt ganz oder partiell irgendeinem externen Geschehen entspricht, ist grundsätzlich nicht überprüfbar, denn hierzu müssten die Gehirnmechanismen aus sich selbst heraustreten können. Es können vom Gehirn immer nur Konstrukte (Beobachtungen, Denkakte) mit anderen Konstrukten verglichen werden, und das Ergebnis dieses Vergleichs ist immer mit Unsicherheit behaftet. Der erkenntnistheoretische Zirkel kann von uns nicht aufgebrochen werden.

Als Neurobiologe nehme ich jedoch aus Plausibilitätsgründen an, dass es eine bewusstseinsunabhängige Realität gibt, in der *real existierende Tiere in real existierenden Umwelten* überleben, und zwar mithilfe eines Verhaltens, das durch ihr reales Gehirn erzeugt wird. Bei einigen (vielleicht sogar vielen) Tieren ein-

schließlich des Menschen erzeugt – so nehme ich an – dieses reale Gehirn eine Welt bewussten Erlebens, eine *Wirklichkeit*. Mithilfe dieser Konstruktion ist unser Gehirn in der Lage, ein zumindest vorübergehendes überlebensförderndes Verhalten zu erzeugen. Kurz gesagt: in der bewusstseinsunabhängigen *Realität* besitzen reale Tiere reale Gehirne, und diese realen Gehirne erzeugen eine anschaulich erlebte *Wirklichkeit*. Damit ist schon rein logisch diese Wirklichkeit eine echte Teilmenge der Realität.

Es ergeben sich jedoch in diesem Zusammenhang schwierige ontologische Fragen. Denn aus der Annahme, dass unsere sinnlich erfahrbare Welt ein Konstrukt unseres realen Gehirns ist, folgt, dass auch alles, was Menschen einschließlich der Neurobiologen beobachten, ein Konstrukt des jeweiligen realen Gehirns ist. Wenn man beispielsweise Hirnschnitte ansieht, Aktionspotenziale auf dem Bildschirm beobachtet oder Vorgänge im funktionellen Kernspintomographen verfolgt, dann sind dies Erzeugnisse des individuellen visuellen Cortex. Ich kann mithilfe bildgebender Verfahren sogar mein eigenes Gehirn bei der Arbeit anschauen. Da es sich aber auch hierbei um visuelle Wahrnehmungen handelt, betrachte ich als Konstrukt bei diesem Selbstversuch ein visuelles Konstrukt, das vermutlich der reale bewusstseinsfähige visuelle Cortex meines realen Gehirns hervorgebracht hat. Dieser visuelle Wahrnehmungsinhalt kann selbstverständlich nicht wiederum ein realer, sondern nur ein konstruierter Teil des realen Gehirns sein, denn sonst wäre das Gehirn eine echte Teilmenge seiner selbst, was ein logischer Widerspruch ist. Der Produzent, das reale Gehirn, ist innerhalb unserer Wahrnehmungs- und Erlebniswelt nicht zugänglich – es verbirgt sich hinter seinem Produkt, wie bereits Erwin Schrödinger in *Geist und Materie* (1994) schrieb. Entsprechend können wir niemals einen direkten, d. h. bewussten Zugang zum realen Gehirn haben. Wir erleben also dasjenige Gehirn nicht, das uns und unsere anschauliche Welt hervorgebracht hat.

Daher können derartige Aussagen keine ‚Objektivität‘ beanspruchen, sondern sind immer nur Aussagen innerhalb unserer Wirklichkeit und mithilfe von Anschauungen und Begriffen, die von dieser Wirklichkeit abgeleitet sind. Wenn wir vom ‚realen Gehirn‘ sprechen, so sprechen wir von einem völlig hypothetischen Gebilde, und die Unterscheidung zwischen Realität und Wirklichkeit ist selbstverständlich eine Unterscheidung, die innerhalb unserer Wirklichkeit getroffen wurde.

6 Der Begriff der Existenz

In welchem Maße ist es dann noch sinnvoll, die *Existenz* einer Realität anzunehmen, über die wir prinzipiell nichts Verlässliches aussagen können – auch nicht, ob wir uns in unseren wissenschaftlichen Erkenntnissen ihr annähern oder nicht sogar entfernen? Falls wir allerdings die Annahme der Existenz einer Realität für überflüssig oder ungerechtfertigt halten, wie es der Positivismus und der radikale Konstruktivismus (s. unten) tun, dann ergibt sich unvermeidlich das *Problem der Existenz anderer Menschen*. Wenn sie für Positivisten und radikalen Konstruktivisten lediglich von uns wahrgenommene ‚Phänomene‘ darstellen, hinter denen sich nichts Reales verbirgt, wozu schrieben Mach und von Glasersfeld Bücher oder hielten Vorträge? Sie taten es, weil sie *spontan* von der realen Existenz anderer Menschen ausgingen. Die meisten Dinge des Alltags und auch Wissenschaft wären ein widersinniges Unterfangen, würden wir nicht *intuitiv* von der bewusstsensunabhängigen Existenz anderer Wesen und Dinge überzeugt sein, gleichgültig welchen philosophischen Standpunkt wir einnehmen. Freilich verleiht auch Intuition unseren Erkenntnissen keine objektive Gültigkeit.

Aber was können wir denn Sinnvolles über die Existenz und Beschaffenheit der Realität aussagen? Können wir im Sinne eines kritischen erkenntnistheoretischen Realismus annehmen, dass die Realität strukturiert ist und von Naturgesetzen beherrscht wird? Das erscheint erst einmal gerechtfertigt. Wie sicher sind wir aber bei solchen Naturgesetzen? Schon viele Male im Laufe der Wissenschaftsgeschichte wurden Dinge als ‚absolut gesetzmäßig‘ angesehen, was sich dann als Irrtum herausstellte (z. B. das ptolemäische Modell des Sonnensystems, das mechanistische Weltbild der klassischen Physik). Kein Physiker weiß zurzeit, welche Gesetze die dunkle Materie oder dunkle Energie beherrschen, wie das Vakuum tatsächlich aussieht, oder ob die Stringtheorie recht hat.

Zudem ist mit der Quantenphysik der Begriff der *Existenz* problematisch geworden, insbesondere in Hinblick auf das Problem des Übergangs quantenphysikalischer Zustände in Zustände klassisch-makrophysikalischer Art durch den Messprozess – ein Problem, das nach wie vor ungelöst ist. Existieren im Sinne des *Dekohärenzmodells* die makrophysikalischen Zustände nur dann, wenn sie gemessen werden?¹⁶ Und in welchem Sinne existieren ‚virtuelle Teilchen‘ im Quantenvakuum, die sich, wenn entstanden, sofort wieder annihilieren und daher nicht den Energieerhaltungssatz verletzen? Es gibt dann buchstäblich ‚Nichts‘, was den Energieerhaltungssatz verletzen könnte.

¹⁶ Vgl. Schlosshauer-Selbach 2008.

Noch viel schwieriger wird die Frage nach der *Existenz des Geistes* und damit auch die Frage *Wer sind wir eigentlich – und wo existieren wir?* Auch für den naturwissenschaftlich-physikalistisch denkenden Hirnforscher ist diese Frage vorerst nicht zu beantworten. Er mag darauf hinweisen, dass es bestimmte physikalisch-neurobiologische Voraussetzungen für das Entstehen geistiger Zustände im menschlichen und vielleicht tierischen Gehirn gibt, z. B. bestimmte kortikale Strukturen und Funktionen, Oszillations- und Synchronisationsprozesse, wie sie im Elektroenzephalogramm sichtbar werden, und er mag darauf hinweisen, dass bewusste geistige Prozesse sehr stoffwechselintensiv sind und ständige Zufuhr von Sauerstoff und Zucker benötigen, was die bildgebenden Verfahren ermöglicht. Aber niemand hat Moleküle, Atome, Elementarteilchen nachweisen können, aus denen Geist und Bewusstsein bestehen könnten. Man kann vermuten, dass es sich bei geistigen Prozessen um besonders geartete „Felder“ handelt – ich habe sie in Roth (2013) deshalb „mentale Felder“ genannt –, aber bisher hat noch niemand geistige Akte mithilfe der Maxwell'schen Gleichungen für elektromagnetische Wellen beschreiben können. Diese Felder müssten die Fähigkeit der internen Ordnungsbildung und der reziproken Beschreibung haben – aber das ist rein spekulativ.

Daraus folgt die äußerst beunruhigende Tatsache, dass dasjenige, was von Philosophen seit Descartes als das ‚einzig wirklich Gewisse‘ bezeichnet wurde, nämlich die Inhalte unseres Bewusstseins, das Rätselhafteste ist, was wir kennen. Wo existieren unsere Gedanken? Der Hirnforscher würde sagen: in einer Erlebniswelt, die vom realen Gehirn erzeugt wird. Aber dieses reale Gehirn existiert erst einmal nur als Hypothese in unserer geistigen Vorstellung. Sind wir also nur Konstrukte einer Hypothese?

7 Realistisch-kritischer oder radikaler Konstruktivismus?

Wie kaum eine moderne Wissenschaftstheorie hat der *Konstruktivismus* Furore gemacht, wenngleich eher in den Geistes- und Sozialwissenschaften als in den Natur- und Biowissenschaften einschließlich der Psychologie, denen er eigentlich entstammt, wenn man an Autoren wie Jean Piaget, Paul Watzlawick, Ernst von Glasersfeld, Heinz von Foerster, Humberto Maturana und Francisco Varela denkt (wobei letztere Drei sich nie als *Konstruktivisten* verstanden). Vieles von dem, was diese Autoren an Vorstellungen und Modellen entwickelten, ist heute fester Bestandteil der Kognitions- und Neurowissenschaften, was nicht verwundert, weil Piaget, Maturana und Varela selbst aktive Kognitionsforscher waren.

Der neurobiologische Konstruktivismus geht von der Tatsache aus, dass unsere ‚Erlebniswelt‘, die Wirklichkeit, ein Konstrukt des Gehirns ist. Freilich kann so etwas auch ein erkenntnistheoretischer kritischer Realist akzeptieren (und das sind wohl die meisten Kognitionsforscher), vorausgesetzt unser Gehirn ‚re-konstruiert‘ aufgrund von Sinnesdaten, Gedächtnisinhalten und Denkprozessen die Realität zumindest ungefähr so, wie sie tatsächlich ist. Das entspricht dann einer kritischen Abbildtheorie. Brisant wird es erst, wenn man aus den sinnesphysiologisch-neurobiologischen Erkenntnissen folgern muss, dass das Gehirn gar nichts abbilden kann, also nicht *re-konstruiert*, sondern konstruiert. Die Vorstellung einer *Re-Konstruktion* ist ja nur dann plausibel, wenn wir uns auf einen externen Beobachterstandpunkt stellen können, von dem aus wir gleichzeitig die Realität und ihre Sinnesreize und die Konstrukte des Gehirns parallel verfolgen könnten. Dies ist aber ein Trug, denn diese ‚externe‘ Beobachtung der Interaktion zwischen Gehirn und Umwelt, etwa im Laborexperiment, findet natürlich innerhalb der Wahrnehmung und Erkenntnis des Beobachters statt.

Diese Erkenntnis hat unter anderem zur Formulierung eines *radikalen Konstruktivismus*, der in ausführlicher Form vornehmlich von Ernst von Glasersfeld (1995) vertreten wurde. Er impliziert, wie bereits erwähnt, eine *radikale* Ablehnung genauerer Vorstellungen einer bewusstseinsunabhängigen Realität. So heißt es (von Glasersfeld 1995):

Der radikale Konstruktivismus beruht auf der Annahme, daß [...] das denkende Subjekt sein Wissen nur auf der Grundlage eigener Erfahrung konstruieren kann. Was wir aus unserer Erfahrung machen, das allein bildet die Welt, in der wir bewußt leben.

Eine solche Vorstellung ist allerdings, wie alle agnostischen Erkenntnistheorien, mit schwerwiegenden Problemen behaftet. Bereits rein logisch wird mit dem Gebrauch des Personalpronomens *wir* vorausgesetzt, dass es mehr als ein *Ich* gibt, denn unter *wir* wird auf eine vorerst unbestimmte Anzahl solcher *Ich*e verwiesen. Dies aber setzt die *reale* Existenz eines anderen wahrnehmend-fühlend-denkenden Ich voraus – etwas, das der radikale Konstruktivismus wie jeder Agnostizismus als überflüssige Annahme eigentlich ablehnt. Ich habe Sinnesempfindungen von ‚anderen Personen‘, habe aber keine Gewissheit, ob diese Personen real existieren und wie sie ‚eigentlich‘ beschaffen sind, und muss folglich eine solche Frage als sinnlos ansehen.

Zweitens wird im Zitat behauptet, *wir* konstruierten Wissen aus unseren Erfahrungen, und dies sei das Einzige, was wir zur Verfügung hätten. Dabei wird nicht genau gesagt, *wie* diese Erfahrungen zustande kommen. Werden sie einfach empfunden, oder nehmen wir nicht doch aufgrund zahlreicher empirischer Evi-

denzen an, dass ihnen unbewusste Mechanismen zugrunde liegen und ihnen auch vorhergehen? Solche Annahmen wären aber wiederum Spekulationen über bewusstseinsunabhängige ‚reale‘ Vorgänge.

Drittens wird unterstellt, dass dieses *wir* bzw. das *ich* als Teil des *wir* das Erfahrungssubjekt sind und nicht selbst Resultat von Erfahrungen im Rahmen der Hirnentwicklung, wie die Entwicklungspsychologie es nahelegt. Es wird dann rätselhaft, wie wir als kleine Kinder Erfahrungen machen können, bevor unser Ich als vermeintliches Erfahrungs- und Erkenntnissubjekt ausgereift ist. Wie jedem Solipsisten muss die eigene Existenz und Herkunft rätselhaft bleiben.

All dies zeigt, dass auch der radikale Konstruktivismus – will er nicht in einen Solipsismus ableiten – stets Annahmen über bewusstseinsunabhängig existierende Dinge und Prozesse machen muss, ohne welche die Aussagen über Wahrnehmungs- und Erkenntnisprozesse innerhalb und außerhalb der Wissenschaften sinnlos sind. Der scheinbare Ausweg des radikalen Konstruktivismus auf den Spuren des Mach’schen Positivismus lautet, dass wir in der Lage sind, Widersprüche in unserem Bemühen, Sinnesempfindungen in einen möglichst kohärenten und konsistenten Zusammenhang zu bringen, zu erkennen und zu beseitigen. Sofern bestimmte Widersprüche, etwa zwischen der klassisch-mechanistischen Physik und der Quantenphysik bzw. der Relativitätstheorie, als sinnliche Erfahrungen auftauchen, müssen wir demnach so lange ‚herumprobieren‘, bis die Widersprüche verschwinden. Mach bezeichnet dies als Anpassung von Gedanken an Gedanken und nicht etwa an eine bewusstseinsunabhängige Realität.

Dramatisch wird es jedoch, wenn Widersprüche auftauchen, die anscheinend generell *nicht* behebbar sind, sondern unübersteigbare Schranken unserer Vorstellungen darzustellen scheinen wie im Falle des Welle-Teilchen-Dualismus bei Elektronen und Lichtquanten. Zum einen nötigt uns dies zum Abschied von der Frage nach dem ‚Wesen der Dinge‘, also dem *Essentialismus*. Die Gegenstände der Physik bestehen aus denjenigen Eigenschaften, die wir an ihnen beobachten und messen können – ein ‚Wesen‘ dahinter, etwa in Form einer Platonischen Ideenwelt, gibt es nicht. Deshalb erscheint es sinnlos zu fragen, was die Elementarteilchen, die sich je nach Experiment einmal als Welle und einmal als Teilchen zeigen, ‚tatsächlich‘ sind. Im Rahmen der Quantenfeld-Theorie wird versucht, diese Paradoxie dadurch aufzulösen, indem man die Teilchen als diskrete Anregungen des Quantenfeldes interpretiert, dem man allerdings nicht einmal eine reale physikalische Existenz (eine ‚Dinghaftigkeit‘) zusprechen will. Einstein betonte bereits in diesem Zusammenhang, das Licht sei weder Welle noch Teilchen und nahm eine anti-essentialistische Position ein, indem er feststellte, die Begriffe der Physik seien „freie Schöpfungen des Denkens“ (Einstein 1946/2015, 44).

Wir sind also im Rahmen eines vernünftigen erkenntnistheoretischen Konstruktivismus gezwungen, das Vorhandensein einer Realität anzunehmen, selbst

wenn wir dabei wissen, dass diese Annahme nur ein Denkmodell ist und dass wir nicht einmal etwas über dessen ‚Existenz‘ aussagen können. Wissenschaftliches Tun setzt notwendig die Annahme der Existenz anderer Menschen und damit anderer Wissenschaftler als Basis einer intersubjektiven Erkenntnissuche voraus, und dies tut auch jeder Skeptiker, Positivist und radikale Konstruktivist.

8 Zusammenfassung und Abschlussbetrachtung

Die Frage, ob wir überhaupt und – falls ja – in welchem Ausmaß wir objektive, unbezweifelbare Erkenntnisse erlangen können, ist auf komplexe Weise mit der ontologischen Frage nach der Existenz einer von menschlichem Wahrnehmen, Erkennen und Denken – also unserer *Wirklichkeit* – unabhängige Welt verbunden, von mir *Realität* genannt. Die unter Philosophen und Wissenschaftlern am weitesten verbreitete Position ist die eines erkenntnistheoretischen kritischen Realismus, verbunden mit einem ontologischen Realismus. Dies bedeutet zum einen die Annahme, dass es eine „Realität“ gibt, und zum anderen die Annahme, dass diese Realität *teilweise*, d. h. zumindest in ihren Grundprinzipien und wohl auch in zahlreichen Details erkennbar ist. Wissenschaft ist danach die – vielleicht niemals abgeschlossene – Annäherung unserer Erkenntnis an diese Realität.

Einer solchen Position steht seit jeher die skeptische Position gegenüber, die auf dem Dilemma des *erkenntnistheoretischen Zirkels* aufbaut. Dieser Zirkel ergibt sich, wenn wir versuchen, mithilfe menschlicher Erkenntnis eine von menschlicher Erkenntnis unabhängige Realität (teilweise) zu erfassen. Jede Aussage über die Realität verbleibt jedoch innerhalb der Grenzen unserer ‚Wirklichkeit‘. Eine Steigerung dieser skeptischen Position stellen der Positivismus und der radikale Konstruktivismus dar, die jegliche Spekulation über die Existenz und Beschaffenheit der Realität für gegenstandslos halten. Wissenschaft besteht danach nur im Streben nach maximaler logischer und empirischer Konsistenz und Kohärenz der Deutung von Erfahrungstatsachen.

Kants Lehre von den apriorischen Anschauungsformen und synthetischen Urteilen war ein Versuch, den erkenntnistheoretischen Zirkel zu durchbrechen und objektive Erkenntnis grundsätzlich möglich erscheinen zu lassen. Dieser Versuch – inspiriert vom überwältigenden Erfolg der Newton’schen Physik – muss jedoch als gescheitert angesehen werden, da Kant fälschlicherweise die von ihm logisch deduzierten Kategorien als objektiv gültig ansah. Nach heutiger Anschauung kann es keine objektiv gültige, d. h. voraussetzungsfreie Logik geben. In kritischer Auseinandersetzung mit Kant versucht die *Evolutionäre Erkenntnistheorie* das Kant’sche Konzept der synthetischen Urteile a priori in ein *evolutionäres*

A posteriori umzudeuten und dadurch objektive Erkenntnis möglich werden zu lassen. Die Gültigkeit des menschlichen „Erkenntnisapparats“ und seiner Leistungen ergibt sich danach aus der über Milliarden dauernden stammesgeschichtlichen Bewährung der Erkenntnisformen im Kampf ums Überleben. Nur diejenigen Erkenntnisformen konnten sich im Wechselspiel von Mutation und Selektion durchsetzen, welche die Grundstrukturen der Realität mehr oder weniger objektiv widerspiegeln. Dieser Prozess findet in der wissenschaftlichen Erkenntnis seinen vorläufigen Höhepunkt. Die zumindest partielle Gültigkeit menschlicher Erkenntnis wird aus dem scheinbar überragenden Überlebenserfolg der Spezies *Homo sapiens* abgeleitet.

Diese innerhalb und außerhalb der Philosophie populäre Erkenntnistheorie weist zwei schwere Mängel auf. Zum einen setzt sie die Gültigkeit der Darwinistisch-Neodarwinistischen Theorie voraus, welche die durch Mutation und Selektion getriebene Anpassung an die Umweltbedingungen als Motor der evolutionären Höherentwicklung ansieht. Diese Theorie wird inzwischen von zahlreichen Evolutionsbiologen in weiten Teilen als unzulänglich bzw. empirisch nicht genügend bewiesen angesehen, und zwar aus folgenden Gründen: (1) Mutation und Selektion sind nicht die alleinigen Faktoren der stammesgeschichtlichen Abwandlung von Formen und Funktionen; (2) Evolution ist nicht identisch mit einer Höherentwicklung, denn die einfachsten Formen sind in der Regel die erfolgreichsten; (3) das Prinzip der Anpassung an die Umwelt als Garant für das Überleben ist eine Tautologie im Sinne des ‚Überleben des Überlebenden‘. Hieraus folgt, dass die Grundannahme der Evolutionären Erkenntnistheorie für das Durchbrechen des erkenntnistheoretischen Zirkels ungeeignet ist.

Die Erkenntnisse der modernen psychologischen und neurobiologischen Wahrnehmungs- und Kognitionsforschung führen zu der scheinbar paradoxen Situation, dass sich empirisch plausibel machen lässt, warum der erkenntnistheoretische Zirkel nicht durchbrochen werden kann. Bei der Wechselwirkung der Rezeptoren unserer Sinnesorgane mit der Umwelt werden deren physikalisch-chemischen Einwirkungen in einen Code, bestehend aus elektrochemischen Elementarereignissen, umgewandelt, der gegenüber der Natur der Einwirkungen *unspezifisch* ist. Auf der Basis solcher Elementarereignisse konstruiert unser Gehirn eine unbewusste und bewusste Erfahrungswelt, die ‚Wirklichkeit‘, die bis dato ein Leben und Überleben in der natürlichen und sozialen menschlichen Umwelt ermöglicht. Eine genaue Passung zwischen ‚Wirklichkeit‘ und ‚Realität‘ ist dabei weder erforderlich noch empirisch hinreichend nachweisbar.

Der scheinbare Selbstwiderspruch zwischen den auf ‚Gültigkeit‘ ausgerichteten Resultaten der empirischen Forschung und der Bestätigung des erkenntnistheoretischen Zirkels löst sich durch die Feststellung auf, dass auch die empirische Forschung innerhalb der Wirklichkeit stattfindet: wissenschaftliche Hypothesen

als Ergebnisse unserer Sinneswahrnehmungen und mathematisch-logischen Denkkakte können nur durch weitere Sinneswahrnehmungen und mathematisch-logische Denkkakte in ihrer Konsistenz und Kohärenz und damit nur „immanent“ bekräftigt oder widerlegt werden. Die eindrucksvollen Fortschritte der modernen Naturwissenschaften beruhen auf „freien Schöpfungen menschlichen Denkens“ (Einstein 1946/2015, 44), nicht auf einer fiktiven Annäherung an objektive Wahrheiten.

Allerdings zwingt uns die immer wieder auftauchende Widerständigkeit empirischer Forschungsergebnisse, z. B. in der Quantenphysik oder der Neurobiologie, zu immer neuen Abwandlungen dieser „freien Schöpfungen“. Solche Widerständigkeiten veranlassen uns auf denk-ökonomische Weise dazu, die Existenz bewusstseinsunabhängiger Strukturen und Prozesse anzunehmen, an deren scheinbarer Widersprüchlichkeit wir uns als Wissenschaftler abarbeiten. Freilich sind alle derartigen wissenschaftlichen Bemühungen nur Mutmaßungen innerhalb unserer Wirklichkeit.

Zugleich führen uns die Forschungsergebnisse der Quantenphysik und der Hirnforschung zu einer radikalen Revision des Begriffs der ‚Existenz‘ weg von dem in der Philosophie immer noch herrschenden Essentialismus, d. h. dem Glauben, Wissenschaft könne und müsse danach streben, das ‚Wesen der Dinge‘ zu ergründen. Dieser Prozess des Umdenkens hat jedoch gerade erst begonnen.

Die hier vorgelegten Überlegungen zeigen, dass eine dem Stand der modernen Naturwissenschaften angemessene Erkenntnistheorie nicht von der Philosophie als einer ‚Königin der Wissenschaften‘ allein, sondern nur in gemeinschaftlicher Arbeit von Philosophen mit hinreichender fachwissenschaftlicher Kompetenz und Wissenschaftlern mit hinreichender philosophischer Kompetenz geleistet werden kann.

Danksagung: Ich danke Herrn Dipl. Psychol. Georg Hoffmann, Bremen, und Herrn Prof. Dr. Stefan Bornholdt, Universität Bremen, für wertvolle Diskussionsbeiträge.

Bibliographie

- Bahr, Benjamin/Resag, Jörg/Riebe, Kristin (2014): Faszinierende Physik. Berlin/Heidelberg.
 Einstein, Albert/Infeld, Leopold (1938/1950): Die Evolution der Physik. Wien/Hamburg.
 Einstein, Albert (1946/2015): Mein Weltbild. Berlin.
 Ender, John (1986): Natural Selection in the Wild. Princeton.
 Foerster, Heinz von/Pörksen, Bernhard (1999): Wahrheit ist die Erfindung eines Lügners. Gespräche für Skeptiker. Heidelberg.
 Futuyama, Douglas Joel (1998): Evolutionary Biology. New York.

- Galizia, Cosmas Giovanni/Lledo, Pierre-Marie (2013): *Neurosciences. From Molecule to Behavior*. Berlin.
- Gerhart, John/Kirschner, Marc (1997): *Cells, Embryos, and Evolution. Toward a Cellular and Developmental Understanding of Phenotypic Variation and Evolutionary Adaptability*. Oxford.
- Gerhart, John/Kirschner, Marc (2005): *The Plausibility of Life. Resolving Darwin's Dilemma*. New Haven.
- Glaserfeld, Ernst von (1996): *Radikaler Konstruktivismus. Ideen, Ergebnisse, Probleme*. Frankfurt a. M.
- Glaserfeld, Ernst von (1998): *Konstruktivismus statt Erkenntnistheorie*. Klagenfurt.
- Gould, Stephen Jay (1977): *Ontogeny and Phylogeny*. Cambridge.
- Gould, Stephen Jay/Eldredge, Niles (1977): Punctuated equilibria. The tempo and mode of evolution reconsidered. In: *Paleobiology* 3, 115–151.
- Heisenberg, Werner (2000): *Physik und Philosophie*. Stuttgart.
- Helmholtz, Hermann von/Bernhart, Joseph (1877/1925): *Natur und Naturwissenschaft*. München.
- Höffe, Otfried (2004): *Kants Kritik der reinen Vernunft. Die Grundlegung der modernen Philosophie*. 4. Aufl. München.
- Kandel, Eric Richard/Schwartz, James H./Jessell, Thomas Michael (Hg.) (1996): *Neurowissenschaften*. Heidelberg.
- Kant, Immanuel (1787/1983): *Kritik der reinen Vernunft*. Hamburg.
- Kimura, Motoo (1983): *The Neutral Theory of Molecular Evolution*. Cambridge.
- Kutschera, Franz von (1981): *Grundfragen der Erkenntnistheorie*. Berlin.
- Kutschera, Ulrich (2009): *Tatsache Evolution. Was Darwin nicht wissen konnte*. München.
- Lorenz, Konrad (1973): *Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens*. München.
- Mach, Ernst (1885/1991): *Analyse der Empfindungen*. Darmstadt.
- Mayr, Ernst (1984): *Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt. Vielfalt, Evolution und Vererbung*. Berlin.
- Pigliucci, Massimo/Müller, Gerd B. (2010): *Evolution, the Extended Synthesis*. Cambridge.
- Planck, Max (1929/1952): *Das Weltbild der neuen Physik*. 11. Aufl. Leipzig.
- Popper, Karl Raimund (1934/1976): *Logik der Forschung*. 6. Aufl. Tübingen.
- Rensch, Bernhard (1968): *Biophilosophie auf erkenntnistheoretischer Grundlage (Panpsychistischer Identismus)*. Stuttgart.
- Roth, Gerhard (1994/1997): *Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen*. Frankfurt a. M.
- Roth, Gerhard (2010): *Wie einzigartig ist der Mensch? Die lange Evolution der Gehirne und des Geistes*. Heidelberg.
- Roth, Gerhard (2013): *The Long Evolution of Brains and Minds*. Dordrecht.
- Schlosshauer-Selbach, Maximilian (2008): *Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition*. Berlin.
- Schrödinger, Erwin (1994): *Geist und Materie*. Zürich.
- Storch, Volker/Welsch, Ulrich/Wink, Michael (2013): *Evolutionsbiologie*. 3. überarb. Aufl. Berlin.
- Vollmer, Gerhard (1975/2002): *Evolutionäre Erkenntnistheorie. Angeborene Erkenntnisstrukturen im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie und Wissenschaftstheorie*. 8. Aufl. Stuttgart.

Wake, David Burton/Roth, Gerhard (1988): The linkage between ontogeny and phylogeny in the evolution of complex systems. In: Dies. (Hg.): *Complex Organismal Functions. Integration and Evolution in Vertebrates*. London, 361–377.

Weizsäcker, Carl Friedrich von (1971): *Die Einheit der Natur*. Studien. München.

Zeilinger, Anton (2003): *Einsteins Schleier. Die neue Welt der Quantenphysik*. 2. Aufl. München.