



Ralf Otte (Autor)

Versuch einer Systemtheorie des Geistes

Mathematische und physikalische Untersuchungen
mentaler Prozesse Ansatz zur mathematischen Analyse des
Geist-Körper-Problems



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/186>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1. Vorüberlegungen und Einführung in die Thematik

Seit Jahrhunderten gibt es bei Philosophen eine rege Diskussion zum Wesen geistiger Zustände. Die Diskussion ist für den Laien im Detail kaum zu überschauen, und doch ist ein grobes Muster in den philosophischen Grundannahmen erkennbar, das manchmal ganze Epochen geprägt hat. Bereits in der Antike wurde von einem substantziellen Unterschied zwischen physischen und geistigen Phänomenen, einem echten Dualismus zwischen physischen und geistigen Substanzen ausgegangen. In späteren philosophischen Anschauungen wurde dieser grundlegende Dualismus abgeschwächt und auf einen Dualismus von Eigenschaften der gleichen Substanz reduziert. Zur Mitte des letzten Jahrhunderts favorisierten viele Philosophen einen Monismus, eine Art Identität geistiger und körperlicher Zustände. Später wurde der Monismus adaptiert, man akzeptierte erneut einen essentiellen Unterschied zwischen geistigen und physischen Phänomenen, und von vielen Philosophen und Forschern wird heutzutage ein sogenannter Funktionalismus als die am besten geeignete Beschreibungsform für das Geist-Körper-Problem vorgeschlagen. Aber auch diese Ansätze werden stetig weiterentwickelt, so dass heute verschiedene philosophische Herangehensweisen und Erklärungsmodelle für das Wesen geistiger Zustände vertreten werden.

Aber nicht nur die Philosophen, sondern auch die Naturwissenschaftler versuchen seit vielen Jahren herauszufinden, wie geistige, also innere mentale Zustände einer Person aus den komplizierten physischen Erregungsmustern des Gehirns überhaupt hervorgehen können. Es geht dabei letztlich um nichts Geringeres als um das Verständnis zur Entstehung von Bewusstsein in all seinen Facetten. Doch mindestens genauso wichtig ist die Frage, ob bzw. *wie* geistige Zustände kausal auf die physischen Zustände zurückwirken könnten. Einige Forscher streiten diese kausale Wirkung vom Geistigen auf das Physische im Gehirn (schon aus energetischen Gründen) prinzipiell ab, andere lassen eine solche Wirkungskette zu, fragen aber nach dem möglichen Wirkprinzip. Hierbei handelt es sich um die Grundfragen von Philosophen, Biologen und Psychologen, die sich mit der „neuen Wissenschaft des Geistes“ (Eric Kandel) beschäftigen. Um die interdisziplinäre Diskussion zwischen den Wissenschaftlern zu unterstützen, werden in diesem Aufsatz formale Beschreibungen vorgestellt, die es ermöglichen, geistige und physische Zustände *mathematisch* zu modellieren, um daraus Modelle für die möglichen Wechselwirkungen zwischen geistigen und physischen Phänomenen entwickeln zu können.

Obwohl der Aufsatz eine philosophische Betrachtung voranstellt, verfolgt er eine systemtheoretische Herangehensweise an die Phänomene des Gehirns. Das bedeutet, dass er – wie in der (kybernetischen) Systemtheorie üblich – versucht, das Verhalten des Gehirns durch Eingabefunktionen (Reize), (innere) Zustandsfunktionen und Ausgabefunktionen (Reaktionen) zu beschreiben. Es ist dabei völlig klar, dass hier nur ein erster Ansatz, eine Methode, entworfen werden kann, stationäre und dynamische Zustandsfunktionen des Gehirns zu entwickeln, da die Komplexität selbst kleinster Teile des Gehirns eine detaillierte mathematische Behandlung nahezu unmöglich

macht. Eine formale mathematische Herangehensweise hat jedoch den Vorteil, dass sie so präzise sein muss, ja so präzise ist, dass es möglich wird, die theoretisch aufgestellten Modelle gegen die Beobachtungsdaten zu prüfen und Widersprüche in den Aussagen schneller zu entdecken. Damit könnten – jedenfalls im Idealfall – Modellverbesserungen rascher erfolgen, als es bei einer rein textuellen Beschreibung komplexer Phänomene möglich ist. Andererseits besteht das Risiko einer mathematischen Formulierung in einer Trivialisierung des Problems, da oftmals so viele Vereinfachungen und Randbedingungen eingeführt werden müssen, dass die Modelle mit den wirklichen Zusammenhängen nur noch wenig übereinstimmen. Jedoch wiegen die möglichen Chancen diese Risiken aus Sicht des Autors auf.

Um Zustandsgrößen des Gehirns mathematisch zu entwickeln, wird im Folgenden eine komplexwertige Beschreibungsform gewählt, da es aus Sicht des Autors unmöglich erscheint, die Zustände des Gehirns mit reellwertiger Mathematik korrekt zu formulieren. Der Grund liegt vereinfacht gesagt schon darin, dass – aufgrund des permanenten Ladungsträgertransports von Ionen – bereits eine einfache Synapse des Gehirns induktives und kapazitives Verhalten besitzt und aus der Systemtheorie bekannt ist, dass Zustandsfunktionen derartiger Systeme mittels komplexer, also reeller und imaginärer Funktionen beschrieben werden. Es ist deshalb gar nicht vorstellbar, dass Teile des Gehirns mittels reellwertiger Mathematik korrekt analysierbar wären, wollte man nicht – wie oben bereits befürchtet – das Problem unverhältnismäßig vereinfachen. Denn wenn bereits die Übertragungsfunktion einer Synapse eine komplexwertige Funktion sein muss, so werden höhere Funktionengruppen des Gehirns mindestens mit komplexwertiger Mathematik formalisiert werden müssen; und eine hyperkomplexe Mathematik deutet sich an dieser Stelle bereits an.

Diese komplexwertige Eigenschaft des Gehirns, die sich aus ersten systemtheoretischen Überlegungen zwingend ergibt, hat nun jedoch einige unerwartete Konsequenzen. Denn sucht man in der Naturwissenschaft nach Phänomenen, die sich ebenfalls nur mittels komplexwertiger Funktionen beschreiben lassen, so stößt man zwangsläufig auf Phänomene der Quantenphysik. Versucht man beispielsweise die Wellengleichung eines freien Elektrons aufzuschreiben, so gelingt das unter Verwendung komplexer Zahlen. Am Beispiel des bekannten Doppelspaltexperimentes der Quantenmechanik wird aufgezeigt, dass die unerwarteten Interferenzphänomene von einzelnen Quanten nur mittels komplexer Funktionen, die sich miteinander überlagern, beschreibbar sind. Bereits hier gibt uns die Natur ganz klar vor, wie wir ihre Zusammenhänge zu modellieren haben. Wir haben nicht die Wahl, beliebige mathematische Werkzeuge zur Beschreibung der grundlegenden Phänomene zu wählen. Erstaunlicherweise haben nun aber auch gerade derartig beschreibbare Phänomene „überraschende“ Eigenschaften; man sollte also erwarten, dass auch im Gehirn unerwartete Eigenschaften auftreten könnten, die den überraschenden Effekten aus der Quantenphysik in nichts nachstehen sollten und zwar unabhängig davon, ob innere Gehirnzustände auf physikalischen Quanteneffekten basieren oder nicht.

Interessante systemtheoretische Eigenschaften, die sich beispielsweise direkt aus der komplexwertigen Beschreibungsform ergeben, sind speziell zu erwartende dynamische Effekte des Gehirns, denn rückgekoppelte komplexwertige Systeme besitzen eine viel „reichhaltigere“ Systemdynamik als rückgekoppelte reellwertige Systeme. Aus der Theorie dynamischer Systeme ist bekannt, dass man durch bestimmte Differentialgleichungen (1. Ordnung) bereits kompliziertes chaotisches Verhalten modellieren kann. Differentialgleichungen entsprechen im diskreten Fall Rekursionsgleichungen, also diskreten, rückgekoppelten Systemen. Da aus der Neurobiologie zahlreiche Hinweise für Rückkopplungsschleifen im Gehirn vorliegen und man in erster Näherung eine getaktete, diskrete Informationsverarbeitung annehmen darf, bietet es sich an, das Gehirn durch diskrete Rekursionsgleichungen zu beschreiben. Erweitert man jedoch die für systemtheoretische Rückkopplungen üblichen Rekursionsgleichungen zu komplexwertigen Differenzgleichungen, so erhält man bereits im einfachsten Fall Systeme, deren Systemdynamiken durch komplexe Mandelbrot- und Julia-Mengen beschrieben werden können. Damit zeigen selbst einfachste komplexwertige Systemmodelle, d.h. Rekursionsgleichungen 1. Ordnung mit quadratischen Polynomen, bereits enorm viele Möglichkeiten für konvergente, divergente und chaotische Dynamiken, so dass sie in einem ersten Ansatz zur Beschreibung von Dynamiken des Gehirns benutzt werden können und zwar dann, wenn man die mathematischen Störgrößen der Rekursionsgleichung als eintreffenden Reiz interpretiert, auf den das System mit seiner Dynamik zu antworten hat. Dies deckt sich hervorragend mit der Theorie chaotischer dynamischer Systeme in Erweiterung auf komplexwertige Größen. Basierend auf diesem Konzept wird eine Rekursionsgleichung erarbeitet, die es uns bereits erlaubt, das bewusste Sehen eines Reizes im ersten Ansatz zu modellieren, wenn auch nur qualitativ, da dem Autor konkrete Beobachtungsdaten nicht vorliegen. Doch *bewusste Wahrnehmung* kann bereits als Teil des Bewusstseins betrachtet werden, so dass die mathematische Modellierung der bewussten Wahrnehmung eines Sehreizes einen Ansatz darstellen kann, das komplexe Phänomen *Bewusstsein* aus systemtheoretischer Sicht zukünftig noch besser zu verstehen.

Bei näherer Untersuchung zeigt sich darüber hinaus, dass es günstig ist, die „höheren Zustände“ des Gehirns, die mentalen und neuronalen Prozesse der Wahrnehmung und der Selbstwahrnehmung, nicht nur komplexwertig darzustellen, sondern in Erweiterung des Modells mit einer hyperkomplexen Algebra zu beschreiben. Allerdings ergibt sich dies nicht logisch zwingend wie die komplexwertige Beschreibungsform des Übertragungsverhaltens von Synapsen, sondern es wird postuliert und an einigen Beispielen erklärt, dass eine mathematische Beschreibung mittels Quaternionen bestimmte Eigenschaften des Gehirns optimal erklären könnte. Es wird insbesondere vorgeschlagen, dass Phänomene des Selbstbewusstseins mit hyperkomplexen Zahlen beschrieben werden sollten, da bei den Quaternionen eine Multiplikation zweier imaginärer Dimensionen (i,j) eine neue Dimension (k) erzeugt. Mit dieser Beschreibungsform könnte auch einer *Emergenztheorie des Geistes* Rechnung getragen werden, da bei Emergenz völlig neue Eigenschaften entstehen, was mathematisch sehr gut durch eine neue (imaginäre) Dimension modelliert werden kann. Welche Konsequenzen das für die Natur geistiger Prozesse haben könnte, ist gegenwärtig noch

nicht untersucht; insbesondere bleiben auch wegen der Möglichkeit, hyperkomplexe Funktionen zu entwickeln, die gar *keinen* Realanteil besitzen (zum Beispiel Funktionen basierend auf vektorialen Quaternionen), viele Fragen zum Wesen derartig beschreibbarer Zustände offen.

Aber selbst wenn man diesem Postulat nicht folgen mag, zeigt sich, dass bereits die oben eingeführte komplexwertige Beschreibungsmethodik von neuronalen und mentalen Zuständen nicht nur systemtheoretische Konsequenzen besitzt, sondern auch Konsequenzen für das Erkennen der wirklichen Natur der unterlagerten Phänomene hat. Während man den reellwertigen Teil der Funktion sehr gut mit den ableitbaren elektrischen und magnetischen Potentialen, kurz mit den messbaren neuronalen Aktivitätsmustern in Einklang bringen kann, stellt sich die Frage, was es denn *wirklich* bedeutet, wenn die geistigen (mentalen) Zustände imaginär beschrieben werden müssen. Die Antwort auf diese wichtige Frage ist im Prinzip aber eine Frage an die Philosophen. Im Aufsatz wird daher nur gezeigt, wie sich die Natur anderer Phänomene darstellt, die bis dato bereits imaginär beschrieben werden mussten.

Dabei stellt sich mit Blick auf die Quantenphysik heraus, dass diese Phänomene als eine Art „vor-physische“ Phänomene anzusehen sind. Diese zunächst für uns unerwartete und auch unbefriedigende Antwort stellt aber zumindest die Quantenphysiker vor keine Erklärungsnot mehr, da in der Quantenphysik schon seit vielen Jahrzehnten mit komplexen Wahrscheinlichkeitsamplituden gerechnet wird, ohne die Natur dieser mathematischen Konstrukte wirklich aufzulösen. Der Begriff „vor-physisch“ soll an dieser Stelle nur verdeutlichen, dass diese Größen zwar objektiv (also physikalisch real) existieren, jedoch (noch) nicht so real sind, dass sie direkt messbar wären, denn alle uns bekannten Sensoren messen letztlich reellwertige physikalische Größen. Müssen physikalische Phänomene jedoch mit imaginären Funktionen beschrieben werden, so entziehen sie sich einer direkten Messbarkeit, und das, obwohl sie Wirkungen in der realen Welt erzielen können. Die Interferenzstreifen am Beugungsgitter eines Doppelspaltens sind Ergebnisse solcher realer Wirkungen, die sich aus der Überlagerung (auch) imaginärer Komponenten ergeben haben.

Aus der Quantenphysik kann somit gelernt werden, dass bzw. *wie* diese „vor-physischen“ Phänomene durch bestimmte „Operationen“ reellwertig werden. Überträgt man diese Erkenntnisse analog auf das Gehirn, zeigt sich ein Weg, zu erkennen, wie imaginäre, mentale (also geistige) Phänomene, kausal auf neuronale (also physische) Prozesse einwirken können. Der mathematische „Grund“ liegt vereinfacht gesagt darin, dass es durch einfache Operationen möglich ist, imaginäre Funktionen reellwertig werden zu lassen: Multipliziert man eine imaginäre Zahl (bi) mit sich selbst oder multipliziert man eine komplexe Zahl ($a+bi$) mit ihrer konjugiert komplexen ($a-bi$), so ist das erhaltene Ergebnis rein reell, da letztlich die komplexwertige Gleichung $i*i=-1$ gilt.

Natürlich stellt sich dabei die Frage, wie denn diese mathematische Multiplikation komplexer Zustandsgrößen biologisch realisiert werden soll. An dieser Stelle hilft uns

die Systemtheorie weiter. Geht man nämlich davon aus, dass die komplexen Funktionen zur Beschreibung der Zustandsgrößen ganz bestimmte komplexwertige Funktionen darstellen, die der Systemtheoretiker Fourier- bzw. Laplace-Transformierte nennt, so hat dies eine entscheidende (biologische) Konsequenz, die die Leistungsfähigkeit der Analysemethodik verdeutlicht. Fourier-Transformierte sind die sogenannten Spektren von Zeit- bzw. Ortsfunktionen. Man kann Zeitsignale (eines Reizes) oder Ortsmuster einer Reizantwort (Erregungsmuster) im Gehirn nämlich als Funktion der Zeit bzw. des Ortes oder aber auch als Funktion ihrer Spektren darstellen. Der Vorteil der Spektraldarstellung liegt nun gerade in ihrer Loslösung von konkreten („absoluten“) Zeiten bzw. Räumen, da die Spektraldarstellung die gleichen Informationen enthält wie die Originalfunktionen, jedoch unabhängig von ihrer „absoluten“ Lage in Raum und Zeit. Es wird daher angenommen, dass biologische Systeme bei der Reizaufnahme eine derartige Transformation von selbst vornehmen und die Eingangssignale stets transformiert (also spektral) verarbeiten. Auch wird angenommen, dass die Gehirnzustände spektral codiert werden, da dadurch eine „absolute“ Verortung von Systemzuständen im Gehirn unnötig wird.

Unter diesen Voraussetzungen, die biologisch sehr plausibel und zum Beispiel im Hörapparat mit seiner spektralen Zerlegung des Schalls sichtbar sind, kann nun geschlossen werden, dass eine Multiplikation von inneren Zuständen des Gehirns permanent passiert, da eine Multiplikation von komplexen Spektren mathematisch einer sogenannten *Faltung* ihrer Zeit- bzw. Ortsfunktionen entspricht, was einfacher ausgedrückt mit einer gegenseitigen Durchdringung von Orts- bzw. Zeitstrukturen gedeutet werden kann.

Sollte es sich (anatomisch) also zeigen lassen, dass zwei Gehirnabschnitte G1 und G2 miteinander verkoppelt sind und sich gegenseitig strukturell durchdringen, entspräche dies systemtheoretisch einer Multiplikation ($G1 * G2$) der Spektren ihrer beiden komplexwertigen Zustandsfunktionen, woraus zwangsläufig aus imaginären Zustandsgrößen von G1 und G2 reellwertige Zustandsgrößen entstehen müssen und umgekehrt. Dies wäre dann sozusagen der gesuchte Ort, wo aus imaginären, geistigen Zuständen strukturell bedingt reellwertige, messbare Potentiale entstünden. Selbst ein separater Neuronenverband mit der Übertragungsfunktion Z, dessen Ausgang Y (neurobiologisch) auf seinen Eingang rückgekoppelt ist, entspricht systemtheoretisch einer permanenten Multiplikation des Ausgangszustandes Y mit der Übertragungsfunktion Z; auch in diesem Fall würde die Multiplikation komplexwertiger Funktionen zu Veränderungen der reellwertigen Anteile führen und umgekehrt. Man kann sich sogar noch einen dritten und äußerst interessanten Fall der Rückkopplung von Neuronenverbänden vorstellen: Der Autor vermutet, dass im Gehirn Neuronenverbände existieren, bei denen nicht einfach der Systemausgang auf den Eingang zurückgekoppelt wird, sondern bei denen die komplexwertige Übertragungsfunktion Z (also die Struktur) auf sich selbst zurückgeführt wird. Diese Systeme werden im Aufsatz als selbstbezügliche Systeme bezeichnet, und ihre Systemdynamik kann mathematisch im ersten Ansatz mit $Z_{n+1} = A * Z_n * Z_n + B * Z_n + C$ beschrieben werden. Ein derartiges selbstbezügliches System besitzt äußerst interessante dynamische Eigenschaften.

ten. Insbesondere lassen sich mit bestimmten Rekursionsgleichungen dieses Typus bereits einfache Phänomene der Selbstorganisation modellieren, die im Teil II des Aufsatzes näher untersucht werden.

Mit dem vorliegenden Aufsatz soll also versucht werden, der Diskussion zum Geist-Körper-Problem ein formales Hilfsmittel an die Hand zu geben, mit dem Konzepte und Vermutungen konkret mathematisch ausgedrückt werden können. Selbstverständlich kann dieser Aufsatz nur einen Rahmen vorgeben und erste Ansätze vorstellen, da es aufgrund der Vielfalt von Strukturen und Prozessen im Gehirn den jeweiligen Fachleuten überlassen werden muss, die für sie notwendigen mathematischen Hilfsmittel zu nutzen, um ihre eigenen Beobachtungsdaten zu erklären. Es zeigt sich aber schon jetzt, dass sich allgemein zugängliche Daten [Libet, 2005] mittels vorge-schlagener Beschreibungsmethodik recht gut erklären lassen und dass durch den Ansatz die Frage nach der Natur geistiger Phänomene etwas mehr aufgehellt werden kann, und zwar vor allem deshalb, weil diese Frage bereits in anderen Wissenschaftsbereichen, die die komplexwertige Beschreibungsmethodik seit längerem benutzen, gestellt und beantwortet worden ist.

Es ist nicht so, dass die Mathematik die Natur der Dinge vorgibt, sondern in der Geschichte der Naturwissenschaft hat sich gezeigt, dass von Zeit zu Zeit Probleme auftraten, die nur durch „neue“ mathematische Ansätze adäquat gelöst werden konnten. Genau wie uns reelle (z.B. transzendente) Zahlen – die bereits aus der Lösung einfacher geometrischer Aufgaben entstehen können – etwas mehr Verständnis über die „Unendlichkeit“ vermitteln, so können uns imaginäre Zahlen auf eine Physik aufmerksam machen, die jenseits der direkt messbaren Phänomene abläuft und die trotzdem direkt auf unsere Realität einwirkt. Mentale, geistige Phänomene könnten nun solche „vor-physischen“ Eigenschaften besitzen. Sollte sich das durch verschiedene Experimente bestätigen, würden geistige Phänomene ihre eigenständige Entität zurückerhalten und als selbstständige Phänomene „parallel“ zu den physischen existieren und mit diesen kooperativ wechselwirken. Als Arbeitshypothese werden im Aufsatz diese imaginären („vor-physischen“) Komponenten der Zustandsgrößen mit den von Philosophen eingeführten *privaten Zuständen* der ersten Person (bzw. ihrer Qualia) gleichgesetzt; die reellwertigen Komponenten werden als objektiv messbare Aktivitätspotentiale der Neuronen verstanden; ob diese Vereinfachung zulässig ist oder zu Widersprüchen führt, kann gegenwärtig nicht gesagt werden. Aber eins lässt sich bereits feststellen: Es geht nicht mehr um die theoretische Frage, wie aus (objektiven) räumlichen Aktivitätsmustern des Gehirns (private) innere Zustände entstehen können, denn reellwertige und imaginäre Komponenten einer komplexen Zustandsgröße entstehen *immer gleichzeitig* und wandeln sich permanent ineinander um. Genauso wenig, wie im komplexen Zahlenbereich reelle Zahlen imaginäre Zahlen determinieren oder umgedreht, so gibt es auch keine linearen Kausalketten zwischen beiden Phänomenen, denn sowohl neuronale als auch mentale Phänomene bilden eine „organische Einheit“, die viel mehr ist als die berühmten „zwei Seiten einer Medaille“.

Gehirnzustände haben reellwertige und imaginäre Anteile, die permanent miteinander wechselwirken, doch wir müssen uns davon verabschieden, von separaten geistigen Phänomenen zu sprechen, die auf die physischen einwirken, und von separaten physischen Phänomenen, die die geistigen kausal bedingen. Beide Gehirnphänomene werden als „organisches Ganzes“ ständig ineinander überführt, durchdringen und bedingen einander, denn schon aus der einfachen Multiplikation komplexer Funktionen lässt sich die *Unterschiedlichkeit und Einheit beider Phänomene* erkennen. Dies könnte helfen zu verstehen, warum die in allen Fachdisziplinen rund um das Gehirn beobachteten Wechselwirkungen so außerordentlich kompliziert erscheinen.

Der Aufsatz soll kein philosophisches Dokument sein, sondern ein Diskussionsbeitrag für Naturwissenschaftler und Ingenieure. Trotzdem muss ein kurzer (historischer) Abriss zur Philosophie des Geistes vorangestellt werden. Der Grund der philosophischen Exkursion liegt darin, dass die Theoretiker in der Vergangenheit durch das intensive Durchdenken der Wechselbeziehungen zwischen Geist und Körper und daraus folgender, etwaiger Widersprüche einen hervorragenden Forschungsrahmen für alle empirischen Wissenschaften bereitet haben.

Worum geht es? Bei allen Diskussionen der letzten Jahre hat sich laut *Metzinger* ein philosophisches Trilemma herauskristallisiert, welches das philosophische Geist-Körper-Problem wohl am besten beschreibt [Metzinger, 2007]. Bei diesem Trilemma sind immer dann, wenn zwei Aussagen stimmen, diese beiden im Widerspruch mit der dritten Aussage.

Trilemma

1. Mentale Phänomene sind nicht-physische Phänomene.
2. Mentale Phänomene sind im Bereich physischer Phänomene kausal wirksam.
3. Der Bereich physischer Phänomene ist kausal geschlossen.

Tafel 1: Trilemma des Geist-Körper-Problems (Metzinger, 2007, S. 14)

Gelten beispielsweise Aussage 1 und 2 in Tafel 1, dann steht diese Kombination im Widerspruch zu Aussage 3, denn wenn nicht-physische Phänomene auf physische Phänomene kausal wirken können, dann wäre der Bereich physischer Phänomene selbstverständlich kausal nicht mehr geschlossen. Dabei hat der dritte Punkt des Trilemmas eine starke Bedeutung, denn was auch immer mentale Phänomene in der „Physis“ bewirken würden, die Physik darf durch einen „mentalen Eingriff“ in ihrer Kausalität nicht verletzt werden.

Die philosophische Diskussion lässt sich für unsere Zwecke nun auf einige wenige Punkte zuspitzen. Angenommen, es gäbe tatsächlich mentale Zustände als eigenständige Phänomene. An welcher Stelle im Gehirn sollten diese mentalen Zustände, und hier wollen wir bewusst von geistigen Zuständen sprechen, in die Physik, in die physi-

schen Zustände, wie zum Beispiel in die Neuronalen Netze des Gehirns eingreifen? Dieser Punkt ist deshalb essentiell, da es einen speziellen Wesensunterschied zwischen geistigen und physischen Phänomenen zu geben scheint, den bereits *Descartes* hervorgehoben hat. Physische Zustände sind immer räumliche Zustände, geistige Zustände sind aber anscheinend raumlos. Es gibt keinen Ort, keinen Raum für einen geistigen Zustand im Gehirn, es ist für uns unvorstellbar, *wo* sich denn die Gedanken, Gefühle und Wünsche aufhalten sollten, wenn diese *nicht* mit den Aktivitätsmustern der Neuronenverbände identisch sein sollten.

Wenn es aber keinen realen Ort für Gedanken und Gefühle gibt, wo sollte dann der „kausale Übergabepunkt“, der konkrete Ort einer Wechselwirkung zwischen geistigem Zustand und physischem Zustand lokalisiert sein, von den Forderungen nach Geschlossenheit der Physik (Aussage 3 in Tafel 1) ganz abgesehen. Und selbst wenn man einen solchen Ort finden könnte, können wir uns nicht wirklich vorstellen, wie denn (energielose) geistige Phänomene ganz konkret zu physischen Wirkungen führen sollten. Eine kausale Wirkung von physischen Phänomenen zu geistigen Zuständen wird dagegen allgemein anerkannt. Ja, es ist experimentell zweifelsfrei gezeigt worden, dass physische Phänomene, also beispielsweise neuronale Aktivitätsmuster im Gehirn, zu geistigen Zuständen führen. Die moderne Hirnforschung kann aufzeigen, dass bei alleiniger Reizung von bestimmten Gehirnarealen bei einer Versuchsperson mentale Zustände wie Schmerz oder Farbempfinden auftreten. Die Korrelation zwischen physischen und geistigen Phänomenen ist mehrfach experimentell nachgewiesen, aber eine Korrelation kann verschiedene Ursachen und kausale Richtungen haben. Eine kausale Wirkung vom Geistigen zum Physischen wird von einigen Philosophen und Naturwissenschaftlern auch weiterhin angenommen, von anderen dagegen prinzipiell bezweifelt.

Sollte es sich aber zeigen lassen, dass auch geistige Phänomene letztlich physikalische (jedoch „vor-physische“) Phänomene sind, genauso wie gewisse quantenphysikalische Effekte auch „vor-physische“ Phänomene darstellen, die jedoch unter bestimmten Bedingungen auf die „beobachtbare“ Physik einwirken können, so wäre das Trilemma gelöst.