

**Erster Gutachter:** Prof. Dr. Oliver R. Scholz

**Zweiter Gutachter:** Dr. Paul M. Näger

**Modul:** Mastermodul (M)

Sommersemester 2022

# Masterarbeit:

**Typen-Reduktionismus trotz multipler Realisierbarkeit**

**Abgabetermin:** 27.10.2022

**Gesamtwörterzahl:** 27.227

**Vorgelegt von:** Johannes Heinle

**Matrikelnummer:** 501 682

**E-Mail:** [johannesheinle@gmail.com](mailto:johannesheinle@gmail.com)

**Studiengang:** Wissenschaftsphilosophie (MA).

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	1
2. Kontextualisierung des MR-Problems .....	3
2.1. Funktionale Reduktion .....	3
2.2. Typen-Reduktion und das MR-Problem .....	5
2.3. Lokale Reduktion .....	8
3. Mein Lösungsvorschlag .....	12
3.1. Analyse der MR-Fälle .....	12
3.2. Empirische Argumente .....	14
3.3. Lösung des MR-Problems .....	16
3.4. Philosophische Argumente .....	19
3.4.1. Argument für kausale Eigenschaften .....	19
3.4.2. Argument für Identität .....	22
3.5. Zwischenresümee: mein Reduktionismus .....	27
4. Mögliche Einwände .....	29
4.1. Bewusstseinszustände .....	30
4.1.1. Ein Rahmen für eine allgemeine Metaphysik .....	30
4.1.2. Das Problem der Erklärungslücke .....	31
4.1.3. Explanatorische Erwägungen .....	33
4.2. Verschränkte Zustände .....	36
4.2.1. Superpositionsprinzip .....	36
4.2.2. Kollaps-Interpretationen .....	41
4.2.2.1. Kopenhagener Interpretation .....	42
4.2.2.2. GRW-Interpretation .....	44
4.2.2.2.1. GRW und Dispositionen .....	48
4.2.2.2.2. GRW und Reduktion .....	55
5. Schlusswort .....	58
6. Literaturverzeichnis .....	60

# 1. Einleitung

Was ist das Verhältnis zwischen dem Gegenstandsbereich der fundamentalen Physik und dem Gegenstandsbereich der anderen erfahrungswissenschaftlichen Disziplinen, wie etwa der Chemie, Biologie, Geologie oder der Psychologie? Diese **Frage** betrifft das Thema der Einheit und Vielfalt der Natur ebenso wie das Thema der Einheit und Vielfalt der Naturwissenschaften. Dementsprechend hat sie auch *mindestens* zwei Dimensionen:

**ontologische Dimension:** Sind die Eigenschaftsvorkommnisse im Gegenstandsbereich der Einzelwissenschaften *identisch* mit Konfigurationen von Eigenschaftsvorkommnissen im Gegenstandsbereich der fundamentalen Physik?<sup>1</sup>

**logisch-epistemologische Dimension:** Sind die wahren Gesetze der Einzelwissenschaften *logisch ableitbar* aus den wahren Gesetzen der fundamentalen Physik? Und in Folge: Lassen sich die Phänomene im Gegenstandsbereich der Einzelwissenschaften *erklären* mithilfe der Gesetze der fundamentalen Physik?

Diese Frage(n) sind **Hauptgegenstand der vorliegenden Arbeit**. In der Metaphysik der Wissenschaften war lange Zeit eine Position namens *nichtreduktiver Physikalismus* dominant, welche die erste Frage bejaht und die letzte verneint. Die Hauptmotivation zur Verneinung der letzten Frage ist das Problem der multiplen Realisierbarkeit.<sup>2</sup> Dieses Problem wird im Abschnitt 2 dieser Arbeit im Kontext der aktuellen Debatte um funktionale Reduktion dargestellt. Im Abschnitt 3 werde ich meine eigene Analyse und meinen eigenen Lösungsvorschlag für das Multirealisierbarkeitsproblem und dabei auch meine eigene Position im Rahmen eines *reduktiven Physikalismus* entwickeln. Dieser Lösungsvorschlag und diese Position werden durch unabhängige empirische und philosophische Argumente bestärkt. In Abschnitt 4 gehe ich auf die nach meiner Einschätzung stärksten Einwände gegen (m)einen Reduktionismus ein und in Abschnitt 5 ziehe ich dann mein Fazit. Bei all dem werde ich dieses Prinzip hier voraussetzen:

**(SP)** Für jede höherstufige Eigenschaft  $x$  gibt es eine Konfiguration von niederstufigeren Eigenschaften  $y$ , so dass gilt: in jeder (metaphysisch oder naturgesetzlich<sup>3</sup>) möglichen Welt, in der  $y$  auftritt, tritt auch  $x$  auf.

---

<sup>1</sup> Ich setze hier und im weiteren Verlauf der Arbeit eine Bündelontologie voraus. Das heißt Objekte werden als Bündel von Eigenschaften angesehen. Spreche ich von Konfigurationen von Eigenschaften, können damit Objekte sowie auch Konfigurationen von Objekten gemeint sein. Dabei gehe ich davon aus, dass meine Argumente genauso gut funktionieren, wenn man sie im Rahmen einer Substratontologie formuliert, die Formulierung im Rahmen einer Bündelontologie insgesamt aber viel einfacher ist.

<sup>2</sup> Das Problem wurde von Putnam (1967) hervorgebracht und nachher von Fodor (1974, 1987) generalisiert.

<sup>3</sup> Ich lege mich hier nicht darauf fest, ob der in (SP) ausgedrückte Zusammenhang naturgesetzlich oder metaphysisch notwendig ist.

Ein gutes Beispiel ist die **Fitness eines Organismus**. Es kann nicht sein, dass zwei jeweils relevante Raumzeitgebiete exakt dieselben niederstufigere Eigenschaften beinhalten, darunter zwei physikalisch identische Organismen und Umweltbedingungen, diese Organismen jedoch eine unterschiedliche Fitness besitzen. Dieses Beispiel zeigt, dass die Supervenienzbasis einer höherstufigen Eigenschaft nicht allein in den physikalischen Eigenschaften des Trägers der höherstufigen Eigenschaft bestehen muss. Denn für die Fitness eines Organismus sind auch die Eigenschaften seiner Umwelt relevant. Wenn ich im Folgenden also von Konfigurationen von physikalischen Eigenschaften spreche, welche die Supervenienzbasis für eine höherstufige Eigenschaft bilden, dann meine ich damit die physikalischen Eigenschaften des Trägerobjektes *plus* die der im jeweiligen Fall relevanten Umwelt. Die Formulierung von (SP) schließt insbesondere auch nicht Fälle von globaler Supervenienz aus.

Es gibt eine komplizierte Fachdebatte über die adäquate Formulierung des Supervenienzprinzips (SP). Die Grundidee, dass höherstufige Eigenschaften über physikalische Eigenschaften supervenieren, ist aber relativ unkontrovers. Einige Autoren vertreten sogar, dass jeder Physikalist sich auf diese Grundidee verpflichten muss (siehe z.B. schon Lewis 1983, S. 33ff). Trotzdem kann bereits mein Voraussetzen von (SP) Kritik auf sich ziehen: *Erstens* könnte es den Anschein haben, dass das Voraussetzen von (SP) bereits das Bejahen der zweiten Teilfrage oben impliziert. Der Schein trügt aber. Wie ich in **Abschnitt 2.2.** zeigen werde, beinhaltet (SP) nur, dass alle Konfigurationen von physikalischen Eigenschaften desselben Typs auch dieselben höherstufigen Eigenschaften besitzen ( $P_1 \rightarrow H$ ). Es beinhaltet aber nicht zusätzlich noch das umgekehrte Implikationsverhältnis ( $P_1 \leftrightarrow H$ ), was für eine Gesetzesdeduktion notwendig wäre. Dies ist gerade der Punkt hinter dem MR-Argument! Zudem werde ich am Ende von **Abschnitt 3.4.2.** zeigen, dass auch nichtreduktive Physikalisten und sogar Eigenschaftsdualisten (SP) akzeptieren müssen, wenn sie nicht absurde explanatorische Konsequenzen in Kauf nehmen wollen.

*Zweitens* könnte man meinen, dass das Voraussetzen von (SP) bereits etwas darüber impliziert, ob höherstufige Eigenschaften mit Konfigurationen von niederstufigen Eigenschaften identisch sind oder nicht. Aber auch das stimmt nicht. Das Prinzip (SP) verträgt sich mit der Annahme, dass es **emergente Eigenschaften** gibt im Sinne von höherstufigen Eigenschaften, die nicht mit Konfigurationen von niederstufigen Eigenschaften identisch sind. Und sie verträgt sich auch mit der gegenteiligen Annahme, dass supervenierende Eigenschaften mit den jeweiligen Basis-Eigenschaften **identisch** sind. Die Supervenienzrelation besteht in diesem Fall trivialerweise. Es ist dann auch präziser, von einer *Supervenienz der Wahrheitswerte der höherstufigen Beschreibungen über physikalische Beschreibungen* zu sprechen.<sup>4</sup> Das ändert aber nichts daran, dass Identität Supervenienz garantiert.

---

<sup>4</sup> Höherstufige Beschreibungen sind auch in dem Fall intensional verschieden von physikalischen Beschreibungen, wenn sie auch auf dasselbe referieren. Die Beschreibungen "x hat eine Temperatur von 300 K"

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass (SP) weder epistemisch noch ontisch etwas impliziert, das unter einer Mehrheit der Philosophen als arg kontrovers gilt. Insbesondere impliziert es noch nichts über die Positionen, für die ich im Folgenden unabhängige Argumente anbringen möchte.

---

und "x besteht aus Molekülen, deren mittlere kinetische Energie  $6.21 \cdot 10^{-21}$  Joule beträgt" unterscheiden sich beispielsweise in ihrer Bedeutung, obwohl sie sich auf dasselbe beziehen (Frege 1892). Gegeben (SP) und eine wahre und vollständige Beschreibung des Referenten in physikalischem Vokabular sind die Wahrheitswerte aller anderen Beschreibungen des Referenten aber festgelegt. Entsprechendes gilt auch im Falle der globalen Supervenienz: Gegeben globale Supervenienz und eine wahre und vollständige globale Beschreibung der Welt in physikalischem Vokabular, sind die Wahrheitswerte jeder weiteren, wahrheitsfähigen Beschreibung der Welt festgelegt. David Lewis (1970, 1972, 1977) und Frank Jackson (1994 und 1998, Kapitel 3) sprechen hier sogar von einer *a-priori-Implikation*, da sie der Auffassung sind, dass die funktionale Definition höherstufiger Begriffe *a priori* erfolgt. Diese Auffassung kann aber mit gutem Recht kritisiert werden: Denn die Schaffung von koextensiven Begriffen ist eine notwendige Bedingung einer intertheoretischen Reduktion. Genau diese erfolgt aber *a posteriori*, sie basiert auf empirischem Wissen darüber, wie die in einer höherstufigen Theorie formulierten Beschreibungen durch Entitäten im Gegenstandsbereich einer niederstufigeren Theorie wahr gemacht werden. Siehe dazu ausführlicher auch Laurence und Margolis (2003) und Marras (2005).

## 2. Kontextualisierung des MR-Problems

### 2.1. Funktionale Reduktion

Jaegwon Kim (2008) hat argumentiert, dass nur eine funktionale Reduktion sowohl eine ontische Identifikation als auch eine epistemische Erklärung von höherstufigen mit niederstufigen Eigenschaftsvorkommnissen ermöglicht. Die Konzeption einer **funktionalen Reduktion** geht historisch auf Frank P. Ramsey zurück. Sie wurde insb. von David Lewis (1970, 1972, 1980a, 1994a) ausgearbeitet und von Kim selbst weiterentwickelt (siehe Kim 1998, Kapitel 4; 2005, Kapitel 4, insbesondere S. 101 – 102; siehe ferner Chalmers 1996, S. 42 – 51). Unter Bezugnahme auf Kim lässt sie sich durch diese drei, aufeinander aufbauende Schritte charakterisieren (Esfeld 2011a, S. 133):

(a) **Definition:** Ein Begriff  $F$  wird innerhalb einer relativ höherstufigen wissenschaftlichen Theorie  $T_2$  durch eine kausale Rolle definiert im Sinne der charakteristischen (Ursachen und) Wirkungen der Objekte, die unter  $F$  fallen.<sup>5</sup>

(b) **Suche nach Realisatoren:** Es wird innerhalb des Gegenstandsbereiches einer relativ niederstufigeren wissenschaftlichen Theorie  $T_1$  nach Konfigurationen von physikalischen Eigenschaften gesucht, deren Relationen untereinander so beschaffen sind, dass sie unter Standardbedingungen, *qua Konfiguration* die kausale Rolle, welche  $F$  definiert, realisieren und in Folge alle unter  $F$  fallen.

(c) **Erklärung:** Für jedes Vorkommnis einer solchen physikalischen Konfiguration zeigt man, wie die Beschreibung der Konfiguration in  $T_1$  erklärt, weshalb diese ein Fall von  $F$  ist. Mit anderen Worten: Man beschreibt die Konfigurationen in Vokabularen von  $T_1$  je einzeln als physikalische Mechanismen und erklärt auf diese Weise, wie diese die Wirkungen, welche  $F$  definieren, konkret hervorbringen.

Das folgende **Beispiel** ist stark vereinfacht, illustriert aber die entscheidenden Kerngedanken hinter den einzelnen Schritten (siehe ausführlich Sachse 2007, Kapitel 4): (a) Der Begriff  $F$  »Gen für weiße Blüten im Frühjahr« wird innerhalb der klassischen Genetik durch die charakteristischen phänotypischen Wirkungen der Objekte, welche unter  $F$  fallen, definiert. (b) Es wird innerhalb der Molekularbiologie nach physikalischen Konfigurationen von Molekülen (DNA-Sequenzen) gesucht, welche die kausale Rolle, welche  $F$  definiert, realisieren. (c) Für jedes Vorkommnis einer solchen Molekülkonfiguration zeigt man, wie die molekularbiologische Beschreibung dieser Konfiguration erklärt, weshalb diese

---

<sup>5</sup> Die Gleichsetzung von funktionalen mit kausalen Eigenschaften wird sich nachher als eine Kernprämisse in meiner Argumentation herausstellen. Ich kann für diese Prämisse im begrenzten Rahmen dieser Arbeit nicht gesondert argumentieren. Siehe für eine ausführliche Argumentation in diesem Sinne aber Mumford (1998), Kapitel 9 und Whittle (2008).

Konfiguration unter den Begriff F fällt. Mit anderen Worten: Man beschreibt die Konfigurationen einzeln als physikalische Mechanismen und erklärt auf diese Weise, wie diese die Wirkungen, welche den Begriff F definieren, konkret hervorbringen.

Somit kann jedes Vorkommnis einer kausalen Eigenschaft in der Welt **erklärt werden**. Es handelt sich dabei um eine **kausale Erklärung**: Die Existenz eines Genvorkommnis kann beispielsweise dadurch erklärt werden, dass es im entsprechenden Organismus eine Molekülkonfiguration gibt, welche die charakteristischen Wirkungen besitzt, die dieses Gen charakterisieren. Ferner ist die **Erklärung reduktiv**<sup>6</sup>, insofern ein höherstufiges Merkmal wie ein Gen auf Merkmale von niederstufigeren Entitäten wie einer Molekülkonfiguration zurückgeführt wird. Das bedeutet aber nicht, dass genetische Merkmale Molekülkonfigurationen als solchen innewohnen. Wenn einer einzelnen Molekülkonfiguration genetische Merkmale zugeschrieben werden, dann ist diese Aussage nicht wahr aufgrund intrinsischer Eigenschaften der Moleküle, sondern aufgrund von bestimmten stabilen Regularitäten oder Veränderungen der Konfiguration als Ganze.<sup>7</sup>

Es lässt sich allgemein festhalten: Wenn ein Vorkommnis einer kausalen Eigenschaft in der Welt im Sinne der Konzeption einer funktionalen Reduktion auf eine Konfiguration von physikalischen Eigenschaften reduziert wird, dann erlangen wir sowohl eine **ontische Token-Identität** als auch eine **epistemische Token-Reduktion**. Wenn man beispielsweise ein Genvorkommnis funktional auf ein Vorkommnis einer Konfiguration von Molekülen reduziert, dann besteht eine Token-Identität zwischen diesem Genvorkommnis und bestimmten kausalen Eigenschaften der Molekülkonfiguration. Und es besteht eine Token-Reduktion im Sinne einer Erklärung des Genvorkommnisses durch die Molekülkonfiguration anhand der Schritte (a) bis (c). Die Kombination aus ontischer Token-Identität und fehlender epistemischer Typen-Reduzierbarkeit wird, wie wir bereits wissen, auch als "**nicht-reduktiver Physikalismus**" bezeichnet.

Ein **großes Problem** von dieser Position ist dieses hier: Die These der Token-Identität besagt, allgemein gesprochen, dass jedes Vorkommnis einer höherstufigen Eigenschaft identisch ist mit Konfigurationen von niederstufigeren Eigenschaften. Das gilt meist aber nicht umgekehrt: Beispielsweise ist jedes Gen eine Molekülkonfiguration, aber nicht jede Molekülkonfiguration ist ein Gen. Daraus folgt, dass einige niederstufige Eigenschaftsvorkommnisse unter höherstufige Eigenschaftstypen fallen und andere nicht. Nehmen wir zum Zwecke der Illustration beispielsweise an, es gäbe zwei niederstufige Eigenschaftsvorkommnisse x und y, wobei x mit einem höherstufigen Eigenschaftsvorkommnis identisch ist und y nicht. Dann scheint es einen Unterschied zwischen x und y geben zu müssen, der

---

<sup>6</sup> Unter anderem Chalmers (1996), S. 42 – 51 und Kim (2005), Kapitel 4 sprechen in diesem Zusammenhang von einer reduktiven Erklärung. Eine reduktive Erklärung muss sich also nicht auf Eigenschaftstypen, sondern kann sich auch auf Eigenschaftstokens beziehen.

<sup>7</sup> Siehe ausführlicher mit Bezug auf die Fachliteratur Abschnitt 4.2.2.2.2. in dieser Arbeit.

dafür verantwortlich ist, dass x unter einen höherstufigen Eigenschaftstyp fällt und y nicht. Andernfalls wäre dies ein *factum brutum*, eine Tatsache ohne Erklärung. Dies erscheint aber unplausibel. Wenn es aber kein *factum brutum* ist, dann gibt es eine Erklärung dafür, dass generell bestimmte niederstufige Eigenschaftsvorkommnisse höherstufige Beschreibungen wahr machen und andere nicht. Der Vertreter eines nicht-reduktiven Physikalismus schuldet uns dafür eine Erklärung, die nicht auf Typen-Identität und Typen-Reduktion beruht (McLaughlin 1995, S. 603). Ich werde auf dieses Problem im Abschnitt 2.3. dieser Arbeit noch ausführlicher zu sprechen kommen.

## 2.2. Typen-Reduktion und das MR-Problem

Konzeptionen von funktionaler Reduktion gehen ihrem Anspruch nach daher meist weiter, als nur eine reduktive Erklärung für jedes *einzelne Vorkommnis* einer kausalen Eigenschaft in der Welt bieten zu wollen. Wenn, sagen wir, ein bestimmtes Vorkommnis einer DNA-Sequenz die phänotypische Wirkung hat, die den oben genannten Genotyp für weiße Blüten definiert, dann gilt der folgende, **gesetzesartige Zusammenhang** (Esfeld, Sachse und Soom 2012, S. 220f): *Alle Vorkommnisse einer DNA-Sequenz des gleichen Typs* haben unter Standardbedingungen im Organismus und dessen Umgebung zur Folge, dass die Pflanze weiße Blüten im Frühjahr hervorbringt. Der Grund für diesen gesetzesartigen Zusammenhang ist die starke Supervenienz von höherstufigen Eigenschaften (genetischen Eigenschaften) über niederstufigere Eigenschaften (molekularbiologische Eigenschaften). Dieser gesetzesartige Zusammenhang spiegelt sich auch in den Begriffen der wissenschaftlichen Theorien wider: Es sei F wieder ein funktionaler Begriff einer Theorie T<sub>2</sub>. Und P<sub>1</sub> sei ein physikalischer Begriff einer niederstufigeren Theorie T<sub>1</sub>, der sich auf alle Vorkommnisse von Konfigurationen physikalischer Eigenschaften bezieht, die auf eine bestimmte Weiße zusammengesetzt sind und aufgrund der Art und Weiße ihrer Zusammensetzung unter Standardbedingungen solche Wirkungen hervorbringen, dass diese Konfigurationen ebenfalls unter F fallen. Dann lässt sich dieser Zusammenhang formal wie folgt darstellen:

$$(I) \forall x (P_{1x} \rightarrow Fx)$$

**In Worten:** Für alle x gilt: wenn x die physikalische Beschreibung P<sub>1</sub> erfüllt, dann erfüllt x auch die funktionale Beschreibung F. Oder weniger technisch: Alles dasjenige, was unter den Begriff P<sub>1</sub> fällt, fällt auch unter den Begriff F.

Dieser Zusammenhang ist aufgrund des **starken Supervenienzprinzips (SP)** nomologisch, wenn nicht sogar metaphysisch notwendig: Wenn P<sub>1</sub> die Supervenienzbasis für Eigenschaftsvorkommnisse

beschreibt, die wiederum von F beschrieben werden und wenn ein x unter  $P_1$  fällt, dann ist das hinreichend dafür, dass dieses x auch unter F fällt.

Die umgekehrte Konditionalaussage gilt hingegen nicht:

$$(II) \neg \forall x (Fx \rightarrow P_1x)$$

Der Grund hierfür ist die **multiple Realisierbarkeit** (fortan kurz: MR) von funktionalen Eigenschaften. Etwas ausführlicher: Es gibt typischerweise<sup>8</sup> mehrere, type-verschiedene Konfigurationen von Vorkommnissen physikalischer Eigenschaften, die unter Standardbedingungen die kausale Rolle realisieren, welche einen funktionalen Begriff F definieren. Formal:

$$(III) \forall x (P_2x \rightarrow Fx)$$

$$(IV) \forall x (P_3x \rightarrow Fx)$$

$$(V) \dots$$

Die Formeln (I), (III), (IV) ... drücken **schwache Brückenprinzipien** aus. Das heißt sie schlagen Brücken in Form von einseitigen Konditionalen zwischen den Begriffen einer niederstufigeren Theorie  $T_1$  zu den Begriffen einer höherstufigen Theorie  $T_2$ . Solche Brücken sind notwendig<sup>9</sup>, da die Begriffe höherstufiger Theorien i.d.R. in einem anderen (funktionalen) Vokabular formuliert sind als die (physikalischen) Begriffe der niederstufigeren Theorie. Beispielsweise spricht die klassische Genetik in Begriffen wie "Genotyp", "Phänotyp", die Molekularbiologie hingegen in Begriffen wie "DNA-Sequenz" und "Molekül". Die Brücke zwischen solchen Begriffen baut man über das **Kriterium der Kausalität** auf: Man zeigt auf, dass Typen von Konfigurationen, welche in einer niederstufigen Theorie  $T_1$  mit  $P_1$  beschrieben werden, Wirkungen manifestieren, welche auch in einer höherstufigen Theorie  $T_2$  mit F beschrieben werden können (Vergleiche S. 3, Reduktionsschritt (b)). Allerdings erhalten wir auf diesem Wege und aufgrund der multiplen Realisierbarkeit von funktionalen Eigenschaften nur *schwache Brückenprinzipien* in Form von einseitigen Konditionalen. Gewissermaßen reichen diese Brücken nur

---

<sup>8</sup> Es gibt eine lebhafte Debatte darüber, welchen Status die MR-These hat. Ich vertrete dabei den Standpunkt, dass MR empirisch und kontingent und nicht apriori und notwendig gilt. Stellen wir uns beispielsweise eine mögliche Welt  $w_1$  vor, in der es nur 3 fundamentale Eigenschaften gibt. Wenn  $E_1$ ,  $E_2$  und  $E_3$  in der Relation R stehen, dann realisieren sie die nicht-fundamentale Eigenschaft  $E_4$ . Es gibt in  $w_1$  keine andere Konfiguration von Eigenschaften, welche  $E_4$  realisieren könnte. Also ist die MR-These in  $w_1$  falsch. Es ist sogar vorstellbar, dass es in unserer aktuellen Welt funktionale Eigenschaften gibt, welche in einem relevanten Sinne nicht multipel realisierbar sind. Holger Lyre schreibt in diesem Sinne vollkommen richtig: „*Not only should it be obvious that we cannot infer about the MR status of the world from mere a priori considerations [...].*“ (Lyre (2009a), S. 4). Ebenso David Rosenthal: „*Multiple realizability is the possibility that mental-state types are instantiated by states of distinct physiological types. It's an empirical matter whether that's actually the case.*“ (Rosenthal (1994), S. 351). Siehe für ausgefeiltere Argumente im Sinne meines Standpunktes auch Shapiro (2000, 2004).

<sup>9</sup> Es kann keine Konzeption einer Reduktion einer Theorie  $T_2$  auf eine Theorie  $T_1$  (im Unterschied zu einer Elimination von  $T_2$  zugunsten von  $T_1$ ) geben, die ohne Brückenprinzipien auskommt. Siehe: Endicott (1998); Hüttemann (2003), Kapitel 4.3.; Marras (2005), S. 344 – 347; Fazekas (2009).

„in eine Richtung“: Sie verbinden einen physikalischen mit einem funktionalen Begriff, aber nicht umgekehrt.

Hierin liegt das **Problem mit der multiplen Realisierbarkeit** (fortan kurz: MR-Problem). Denn einseitige Konditionale von den Begriffen einer niederstufigeren Theorie  $T_1$  zu den Begriffen einer höherstufigeren Theorie  $T_2$  reichen nicht aus, um  $T_2$  auf  $T_1$  zu reduzieren.<sup>10</sup> Der Grund ist, dass sie uns keine Begriffe in  $T_1$  an die Hand geben, die koextensional zu den Begriffen in  $T_2$  sind. In Folge kann man die Gesetze von  $T_1$  – in dem Maße, wie diese Gesetze für den Gegenstandsbereich von  $T_2$  relevant sind – auch nicht in Begriffen formulieren, die mit Begriffen von  $T_2$  koextensional sind. Deshalb lassen sich die Gesetze von  $T_2$  nicht aus den von  $T_1$  deduzieren und deshalb ist mit bloß schwachen Brückenprinzipien keine (klassisch-nagelsche) Theorienreduktion von  $T_2$  auf  $T_1$  möglich.

Eine **naheliegende Reaktion** auf das MR-Problem im Kontext funktionaler Reduktion besteht darin, einen funktionalen Begriff  $F$  mit einer Disjunktion von physikalischen Begriffen  $P_n$  zu verbinden, die alle  $n$  Konfigurationstypen beschreiben, welche die Eigenschaft realisieren, die von  $F$  beschrieben wird. Damit kommen wir in der Tat zu einem "**starken Brückengesetz**" in Form dieses gültigen Bikonditionals:

$$(VI) \forall x (Fx \leftrightarrow (P_{1x} \vee P_{2x} \vee P_{3x} \dots \vee P_{nx})).$$

Eines von **vielen Problemen** mit dieser Reaktion ist dieses: Es geht uns bei unseren Reduktionsbemühungen in der Regel um die Reduktion von *natürlichen Eigenschaften* oder *Naturgesetzen*.<sup>11</sup> Das sind die einzig interessanten Fälle! Das heißt der funktionale Begriff  $F$  sollte eine natürliche Eigenschaft bezeichnen. Weiterhin gewährleisten starke Brückenprinzipien wie das obere Extensionsgleichheit, was heißt, der funktionale Begriff  $F$  und der physikalische Kunstbegriff müssen trotz ihrer Bedeutungsverschiedenheit auf die gleichen Entitäten referieren. Daraus und aus dem Prinzip der Ununterscheidbarkeit des Identischen folgt, dass der Kunstbegriff auch eine natürliche Eigenschaft bezeichnen muss. Das ist aber nicht der Fall: Die durch ihn bezeichnete Disjunktionseigenschaft stellt keine natürliche Eigenschaft dar, sondern eine beziehungslose Aneinanderreihung von Einzeleigenschaften. Folglich ist die soeben skizzierte Reaktion unzufriedenstellend (siehe für ein gelungenes Beispiel zur Illustration dieses Problems Papineau 1993, S. 40).

---

<sup>10</sup> Und zwar auch dann nicht, wenn der Gegenstandsbereich von  $T_2$  ein echter Teil vom Gegenstandsbereich von  $T_1$  ( $T_1$  mag eine universelle physikalische Theorie sein) ist.

<sup>11</sup> Naturgesetze lassen sich häufig als Allquantifikationen über natürliche Eigenschaften rekonstruieren, insofern gehören diese beiden Punkte eng zusammen. Dabei muss ein Naturgesetz über natürliche Eigenschaften (Arten) qualifizieren, um nicht in eine Vielzahl zusammenhangsloser Regularitäten zu zerfallen.

### 2.3. Lokale Reduktion

Eine weitaus populärere Reaktion auf das Multirealisierbarkeitsproblem geht auf David Lewis (1969, 180a) und Jaegwon Kim (1998, S. 93 – 95, S 106 – 112; 2005, S. 25) zurück. Sie besteht darin, die Gesamtmenge der Entitäten, welche die funktionale Beschreibung "F" erfüllen, in Untermengen einzuteilen: Die Untermenge der Entitäten, die "F" erfüllen, indem sie "P<sub>1</sub>" erfüllen; die Untermenge der Entitäten, die "F" erfüllen, indem sie "P<sub>2</sub>" erfüllen, ... die Untermenge der Entitäten, die "F" erfüllen, indem sie "P<sub>n</sub>" erfüllen. Auf diese Weise kann man die Konzeption funktionaler Reduktion zu einer **lokalen Reduktion** ausweiten: die funktionale Beschreibung "F" wird funktional-reduziert auf die physikalische Beschreibung "P<sub>1</sub>" in dem durch "P<sub>1</sub>" definierten Konfigurationstyp; die funktionale Beschreibung "F" wird funktional-reduziert auf die physikalische Beschreibung "P<sub>2</sub>" in dem durch "P<sub>2</sub>" definierten Konfigurationstyp; ..... die funktionale Beschreibung "F" wird funktional-reduziert auf die physikalische Beschreibung "P<sub>n</sub>" in dem durch "P<sub>n</sub>" beschriebenen Konfigurationstyp.

Diese Reduktionsstrategie ist in dem folgenden Sinne **lokal**: Zunächst wird eine höherstufige wissenschaftliche Theorie T<sub>2</sub>, welche F enthält, unterteilt in *Subtheorien* T<sub>2a</sub>, T<sub>2b</sub>, ..., welche die Begriffe F in G<sub>1</sub>, F in G<sub>2</sub>, ... enthalten. Dabei bezieht sich bspw. eine Subtheorie T<sub>2a</sub>, welche den Begriff F in G<sub>1</sub> enthält, auf genau den Gegenstandsbereich G<sub>1</sub>, in dem die durch F definierte, kausale Rolle von physikalischen Konfigurationen des Typs P<sub>1</sub> ausgeführt wird. Danach wird eine niederstufigere wissenschaftliche Theorie T<sub>1</sub>, welche P enthält, unterteilt in Subtheorien T<sub>1a</sub>, T<sub>1b</sub>, ..., welche die Begriffe P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ... enthalten. Offensichtlich sind jetzt die Begriffe in T<sub>1a</sub> koextensional zu denen in T<sub>2a</sub>, die in T<sub>1b</sub> zu denen in T<sub>2b</sub>, .... Daher lässt sich nun T<sub>2a</sub> *lokal* auf T<sub>1a</sub> reduzieren; T<sub>2b</sub> auf T<sub>1b</sub>, usw. usf.

Hier ist erneut ein **Beispiel**, das wissenschaftlich inadäquat ist, aber die entscheidenden Kernideen illustriert: Angenommen Schmerz sei ein psychologischer, funktionaler Eigenschaftstyp. Und angenommen Schmerz wird bei Menschen ausschließlich und einheitlich durch das Feuern von C-Fasern und bei Kraken ausschließlich und einheitlich durch das Feuern von G-Fasern realisiert. Dann ist dieser Eigenschaftstyp durch type-verschiedene, neuronale Konfigurationen multipel realisierbar. Gleichzeitig könnten aber die Begriffe "Schmerzen in Menschen" und "Feuern von C-Fasern" sowie auch "Schmerzen in Kraken" und "Feuern von G-Fasern" koextensional sein. In dem Fall kann man eine psychologische Subtheorie des Schmerzes in Menschen lokal reduzieren auf eine neurobiologische Subtheorie über das Feuern von C-Fasern. Und die psychologische Subtheorie des Schmerzes in Kraken lässt sich lokal reduzieren auf eine neurobiologische Subtheorie über das Feuern von G-Fasern. Man erreicht auf diese Weise eine lokale Reduktion im Sinne einer **Spezies-spezifischen Reduktion**. Wenn Schmerzen auch innerhalb einer Spezies multipel realisierbar sind, muss man die Reduktion weiter auf einen kleineren Gegenstandsbereich (z.B. biologische Unterarten) einschränken.

Die Strategie einer lokalen Reduktion schafft damit einen **Spagat** zwischen einer bloßen Token-Identität und Token-Reduktion auf der einen Seite und einer vollen Typen-Identität und Typen-Reduktion auf der anderen Seite, die durch MR verhindert zu sein scheint. Das macht sie für viele wohl auch so attraktiv. Dennoch hat sie mit **großen Problemen** zu kämpfen. Sehen wir uns zur Illustration dieser Probleme erneut ein **Beispiel** an: Den Begriff "Wasser" definieren wir im Alltag und in der Chemie je über eine kausale Rolle. Im Alltag definieren wir den Begriff über die charakteristischen Wirkungen, wie durchsichtig und weitgehend geruchslos, farblos und durstlöschend auf unsere Körper zu wirken. In der Chemie erfolgt die Definition über die chemischen Eigenschaften des Wassers, die als kausale Rolleneigenschaften des Wassers verstanden werden können (Lyre 2012a). Die Objekte in der Welt, welche unter diesen Begriff fallen, können durch verschieden zusammengesetzte Atomkonfigurationen (Moleküle) multipel realisiert werden. Im Wesentlichen sind das neben dem herkömmlichen Wassermolekül  $H_2O$ , ( $H_2O$ ) Hydrodeuteriumoxid ( $HDO$ ), Deuteriumoxid ( $D_2O$ ) und Tritiumoxid ( $T_2O$ ). Wie sieht in diesem Fall eine Strategie der lokalen Reduktion aus? Man bildet wohl eine Subtheorie des Wassers  $T_{2a}$ , die sich genau auf den Gegenstandsbereich bezieht, in dem die kausale Rolle des Wassers von den Atomkonfigurationen des Typs  $H_2O$  ausgeführt wird. Dann reduziert man diese Subtheorie  $T_{2a}$  auf so etwas wie die chemische Subtheorie  $T_{1a}$  von  $H_2O$ . Das macht man, indem man zeigt, dass das herkömmliche Wasserstoffdioxid  $H_2O$  in dem Gegenstandsbereich von  $T_{1a}$  genau die kausale Rolle ausführt, welche Wasser in  $T_{2a}$  definiert und somit die Vokabularien der Theorien koextensional verknüpft. Entsprechend geht man auch mit den anderen Atomkonfigurationstypen  $HDO$ ,  $D_2O$  und  $T_2O$  vor.

Das Beispiel zeigt meiner Meinung nach gleich **mehrere Probleme** der lokalen Reduktionsstrategie. **Erstens** scheint sie in der Realität nirgendwo anwendbar zu sein. Denn das, was wir in unseren Meeren, Flüssen und Badewannen vorfinden, ist neben  $H_2O$  immer auch durch andere Konfigurationstypen wie insbesondere  $HDO$  realisiert.

**Zweitens** scheint funktionalen Beschreibungen wie hier "Wasser" im Kontext einer lokalen Reduktion gar keine wissenschaftliche Bedeutung mehr zuzukommen. Denn diese werden aufgespalten in funktional-physikalische *Mischbeschreibungen* der Form "F in  $G_1$ ", "F in  $G_2$ ", ... und *diese* werden reduziert auf physikalische Beschreibungen der Form " $P_1$ ", " $P_2$ " ... Damit wird anerkannt, dass es funktional-physikalische Eigenschaftstypen wie Schmerz-in-Kraken in der physischen Welt gibt, indem diese in den wiederkehrenden Wirkungen von physikalischen Konfigurationen wie in feuernden C-Fasern lokalisiert werden. Die ursprüngliche Einheit der wissenschaftlichen Beschreibung "F" geht dabei aber verloren, da diese in keinen Gesetzen oder Theorien mehr auftaucht und nun multipel auf

type-verschiedene Eigenschaften referiert.<sup>12</sup> Die Strategie einer lokalen Reduktion läuft damit in Gefahr auf einen **Eliminativismus in Bezug auf höherstufige Eigenschaftstypen** und damit auch in Bezug auf die wissenschaftliche Bedeutung von höherstufigen Beschreibungen (Gesetze und Theorien), welche diese Eigenschaften behandeln, hinauszulaufen.<sup>13</sup>

Das ist ein **ernstzunehmendes Problem**. Sehen wir uns hierzu wieder den Begriff "Wasser" an. Dieser Begriff tritt innerhalb von reifen wissenschaftlichen Theorien in Gesetzesaussagen auf, die kontrafaktische Aussagen stützen und schließlich zu Erfolgen bei Prognosen und kausalen Erklärungen führen. Es käme angesichts dieser Erfolge aber einem schieren Wunder gleich, wenn die Objekte, welche unter den Begriff "Wasser" fallen, nicht einige relevante Eigenschaften teilen würden, welche von den reifen Theorien und Gesetzen nicht zumindest annähernd korrekt beschrieben werden. Mit anderen Worten: Wir haben gute Gründe für die Annahme, dass Begriffe wie "Wasser" im dennettschen Sinne homogene kausale Muster (Pattern) umfassen und für den Erfolg der Wissenschaften wesentlich sind. Die Strategie lokaler Reduktion kann die Einheit dieser Muster jedoch nicht einfangen. Denn sie negiert, dass höherstufige Eigenschaftsvorkommnisse *qua Vorkommnis eines höherstufigen Eigenschaftstyps* etwas Bestimmtes sind (etwas Bestimmtes verursachen).

**Drittens** war kein praktizierender Wissenschaftler aufgrund der MR von Wasser durch verschiedenartige Moleküle wohl je der Meinung, dass es *deshalb*<sup>14</sup> ein dringendes Problem hinsichtlich der Reduzierbarkeit der Molekularchemie auf die Atomphysik gibt. Das MR-Argument wird aber klassisch als ein Argument gegen Typen- und Theorienreduktion verstanden. Und der Fall von der multiplen Realisierbarkeit von Wasser ist nicht *prinzipiell* anders als der von Genen für weiße Blüten im Frühjahr oder der von Schmerzen (siehe mein Analyse-vorschlag in Abschnitt 3.1.). Das alles deutet darauf hin, dass etwas mit dem MR-Argument faul ist und in Folge die Strategie einer lokalen Reduktion fehlmotiviert ist.

**Fassen wir zusammen:** Die klassische Konzeption einer funktionalen Reduktion ermöglicht prinzipiell die Erklärung eines Vorkommnisses einer kausalen Eigenschaft, indem gezeigt wird, dass es eine konkrete Konfiguration von physikalischen Eigenschaften gibt, welche qua Konfiguration die Wirkungen, welche die kausale Eigenschaft charakterisieren, realisieren. Diese Konzeption kann über Brückenprinzipien ausgebaut werden, sodass gezeigt werden kann, dass alle Konfigurationen von

---

<sup>12</sup> Es ist in solchen Fällen deshalb auch angebrachter, statt von einer *multiplen Realisierbarkeit* von funktionalen Eigenschaften (ontisch) von einer *multiplen Referenz* von funktionalen Beschreibungen (sprachlich) zu sprechen (Vgl. Esfeld und Sachse (2010), S. 36 im Zusammenhang mit dem sogenannten Realisierer-Funktionalismus).

<sup>13</sup> Lewis (1966, 1970, 1972, 1994a) ist mit seiner Version des Funktionalismus sowieso auf diese Konsequenz festgelegt (Vgl. Esfeld und Sachse 2010, Kapitel 1.3.). Kim nimmt sie an verschiedenen Stellen eher widerwillig an (Kim 1998, S. 111; Kim 1999, S. 17 – 18; Kim 2005, S. 26 und 58; Kim 2008).

<sup>14</sup> Das bedeutet natürlich nicht, dass es solche praktischen Probleme nicht gibt, aber sie haben sicher nichts mit der MR von Wasser zu tun.

physikalischen Eigenschaften des gleichen Typs auch denselben funktionalen Eigenschaftstyp hervorbringen. Dieses Implikationsverhältnis gilt aufgrund der multiplen Realisierbarkeit von funktionalen Eigenschaften durch type-verschiedene Konfigurationen von physikalischen Eigenschaften jedoch nicht umgekehrt. Dies wird als ein allgemeines Problem für die Typen-Reduktion von multirealisierbaren Eigenschaften wahrgenommen. Die beiden diskutierten Lösungsstrategien über disjunktive Eigenschaften und funktional-physikalische Mischeigenschaften konnten dieses Problem nicht überzeugend lösen. Es war deshalb innerhalb der Fachdebatte lange Zeit ein Konsens, dass eine Typen-Reduktion und eine Theorien-Reduktion in Fällen, in denen MR vorliegt, scheitern müssen. Dieser Konsens scheint sich langsam aufzuweichen und es wird immer häufiger behauptet, dass am MR-Argument etwas prinzipiell nicht stimmen kann. Ich teile diese Annahme und lege im nachfolgenden Abschnitt zunächst meine eigene Analyse des MR-Argumentes vor. Diese Analyse hat den Anspruch, auf *alle* in der Literatur diskutierten MR-Fälle anwendbar zu sein. Danach werde ich zeigen, dass MR-Fälle einer Theorienreduktion und Typenreduktion in Wirklichkeit gar nicht im Wege stehen.

# 3. Mein Lösungsvorschlag

## 3.1. Analyse der MR-Fälle

Eine **zentrale Behauptung** von mir lautet, dass sich *alle* in der Fachliteratur diskutierten MR-Fälle so analysieren oder rekonstruieren lassen, dass sie auf einer Entgegensetzung von *physikalischen* Realisierereigenschaften und *funktionalen* realisierten Eigenschaften beruhen. Genauer gesagt beruhen sie auf einer Klassifikation der Realisierer hinsichtlich ihrer **physikalischen Komposition** auf der einen Seite. Und einer Klassifikation der realisierten Eigenschaften hinsichtlich deren Funktion im Sinne einer **kausalen Rolle** auf der anderen Seite. Ein **MR-Fall lässt** sich damit abstrakt gesprochen so analysieren: Ein höherstufiger, funktionaler Eigenschaftstyp ist multipel realisierbar durch Konfigurationen von Vorkommnissen physikalischer Eigenschaften, *die deshalb unter verschiedene physikalische Typen fallen, weil sie physikalisch verschieden zusammengesetzt sind.*

Die Darstellung der vorangegangenen **Beispiele** soll diese Behauptung stützen. Fassen wir diese drei Beispiele im Sinne der Analyse hier noch einmal zusammen:

(1) **Gen-Beispiel:** Die klassische Genetik definiert Begriffe wie F »Gen für weiße Blüten im Frühjahr« über die charakteristischen phänotypischen Wirkungen der Objekte, welche unter F fallen. Damit klassifiziert sie den durch F bezeichneten Eigenschaftstyp (Genotyp) über eine kausale Rolle. Dieser funktionale Eigenschaftstyp wird durch physikalische Konfigurationen von Molekülen (DNA-Sequenzen) realisiert, die deshalb unter verschiedene physikalische Typen fallen, weil sie physikalisch (molekular) verschieden zusammengesetzt sind.

(2) **Bewusstseins-Beispiel:** Der psychologische Behaviorismus definiert Begriffe wie F »hat Schmerzen« über die charakteristischen Wirkungen der Objekte, welche unter F fallen, wie etwa zusammenzucken oder aufschreien. Damit klassifiziert er den durch F bezeichneten Eigenschaftstyp (mentale Eigenschaft) über eine kausale Rolle. Dieser funktionale Eigenschaftstyp wird durch Konfigurationen von neurobiologischen Eigenschaften realisiert (in unserem Beispiel C- und G-Fasern), die deshalb unter verschiedene physikalische Typen fallen, weil sie physikalisch (neurobiologisch) verschieden zusammengesetzt sind.

(3) **Wasser-Beispiel:** Die Chemie definiert Begriffe wie F »Wasser« über die charakteristischen Wirkungen der Objekte, welche unter F fallen, wie etwa einen Siedepunkt von  $\sim 100^{\circ}\text{C}$  zu haben. Damit klassifiziert sie den durch F bezeichneten Eigenschaftstyp über eine kausale Rolle. Dieser wird durch Konfigurationen von Atomen realisiert (hauptsächlich  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HD}_0$ ,  $\text{D}_2\text{O}$  und  $\text{T}_2\text{O}$ ), die deshalb unter verschiedene physikalische Typen fallen, weil sie physikalisch (atomar) verschieden zusammengesetzt sind.

Diese Beispiele sind alle den Wissenschaften entnommen. Allgemein kann als **Faustregel** gelten (Esfeld 2005, S. 4): Teile der Physik, die Chemie und die Molekularbiologie klassifizieren die Objekte in ihrem Gegenstandsbereich hinsichtlich ihrer physikalischen Komposition. Wasserstoff zum Beispiel ist definiert durch den Aufbau aus einem Atomkern mit einem Proton sowie einem Elektron in der Atomhülle. Und Sauerstoff im Grundzustand ist definiert durch den Aufbau aus einem Atomkern mit acht Protonen und acht Neutronen. Dementsprechend ist das „normale“ Wassermolekül (siehe weiter unten)  $H_2O$  definiert durch seine Zusammensetzung aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Im Kontrast dazu klassifizieren die Biologie mit Ausnahme der Molekularbiologie und andere höherstufige Disziplinen die Objekte in ihrem Gegenstandsbereich hinsichtlich ihrer kausalen Rolle (siehe oben die Beispiele (1) und (2)). Wenn meine Analyse also zutrifft, dann ist zu erwarten, dass MR-Fälle vor allem dann auftreten, wenn das Realisierobjekt in den Gegenstandsbereich der Molekularbiologie oder einer niederstufigeren Theorie fällt und wenn die realisierte Eigenschaft in einer entsprechenden höherstufigeren Theorie beschrieben wird.

Diese unterschiedlichen Klassifizierungsstrategien machen in der **Wissenschaftspraxis** durchaus Sinn: Wenn Eigenschaftsvorkommnisse Wirkungen haben, die in einem bestimmten Gegenstandsbereich relevant sind, dann macht es durchaus Sinn, diese Eigenschaftsvorkommnisse in einer Theorie über diesen Gegenstandsbereich über einen funktionalen Begriff zu beschreiben, das heißt sie kausal zu klassifizieren. Wenn Eigenschaftsvorkommnisse beispielsweise eine bestimmte phänotypische Wirkung besitzen, dann macht es natürlich Sinn, diese in einer genetischen Theorie über einen funktionalen Begriff zu beschreiben. Es ist in solchen Fällen pragmatisch, davon zu abstrahieren, was die genaue physikalische Zusammensetzung der Konfiguration ist, auf welche diese Begriffe im jeweiligen Fall referieren.<sup>15</sup> Wenn man hingegen wissen möchte, woraus beispielsweise ein Gen besteht, dann ist eine Klassifikation hinsichtlich der molekularbiologischen oder physikalischen Zusammensetzung angebracht.

Es ist jedoch **fraglich**, ob aus diesen unterschiedlichen Klassifizierungsstrategien Konsequenzen für die Debatte um Typenidentität und Typenreduktion erwachsen. Denn Mechanismen bestehen aus Teilen, die selbst wiederum Eigenschaften haben. Und es spricht *prima facie* nichts dagegen, dass diese Eigenschaften selbst wiederum *kausale Eigenschaften* sind und dass jede höherstufige Eigenschaft mit einer niederstufigen kausalen Eigenschaft type-identisch ist. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werde ich diese These noch weiter ausformulieren und Argumente zu ihren Gunsten entwickeln.

---

<sup>15</sup> Wenn das MR-Argument schlagend ist, dann haben die höherstufigen Theorien natürlich nicht nur einen pragmatischen Mehrwert. Denn dann besteht ein prinzipieller Vorteil der höherstufigen Theorien darin, dass sie relevante kausale Gemeinsamkeiten (funktionale Eigenschaftstypen) in der Welt einfangen können, die den niederstufigen Theorien aufgrund von MR verschlossen bleiben müssen. Allerdings glaubt der Autor dieses Textes ja nicht daran, dass das MR-Argument schlagend ist (siehe weiter unten).

## 3.2. Empirische Argumente

Kommen wir an dieser Stelle wieder auf unser **Wasser-Beispiel** zurück. In einem bestimmten Sinne haben wir es hier gleich mit drei MR-Fällen auf mehreren Ebenen zu tun (Lyre 2012a, S. 6):

- (1) **molekulare Ebene:** Wasser kann multipel realisiert werden u.a. durch die unterschiedlich zusammengesetzten Moleküle  $H_2O$ ,  $D_2O$  und  $T_2O$ .
- (2) **atomare Ebene:** Wasserstoff kann multipel realisiert werden durch die unterschiedlich zusammengesetzten Atomarten (Isotope) Protium, Deuterium und Tritium.
- (3) **subatomare Ebene:** Wasserstoffkerne können multipel realisiert werden durch die unterschiedlich zusammengesetzten Nukleonkonfigurationen Proton; Proton + Neutron und Proton + zwei Neutronen.<sup>16</sup>

Es ist in meinen Augen aber ratsam, hier nur von einem MR-Fall zu reden: Wasser ist multipel realisierbar durch verschiedenartige Atomkonfigurationen, die deshalb unter verschiedene physikalische Typen fallen, weil ihre Wasserstoffatomkerne je verschieden zusammengesetzt sind. Das heißt sie unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der Neutronen in ihrem Kern. Dieser Unterschied ist vor allem für die unterschiedlichen *physikalischen Eigenschaften* von Protium, Deuterium und Tritium verantwortlich. Allerdings teilen diese Atomarten auch eine entscheidende, intrinsische Eigenschaft: Es handelt sich je um ein Isotop des Wasserstoffes, d.h. je um Atome mit **gleich vielen Protonen**. Jetzt ist schon aus dem Schulunterricht bekannt, dass Atome mit gleich vielen Protonen das gleiche Element darstellen und sich *chemisch* fast identisch verhalten.<sup>17</sup>

Das heißt, die Wasserstoffisotope  $^1H$ ,  $^2H$  und  $^3H$  teilen die für den Gegenstandsbereich der Chemie **kausal-relevante Eigenschaft** genau ein Proton im Atomkern zu besitzen. Die chemische Beschreibung von Wasser ist dementsprechend eine Generalisierung über diese (und eventuell weitere) geteilte Eigenschaften der Realisierer, welche kausal relevant für den Gegenstandsbereich der Chemie sind. Diese Eigenschaften lassen sich in der Atomphysik beschreiben durch "X".<sup>18</sup> Die Beschreibung "X" ist nun offensichtlich koextensional zu der funktionalen Beschreibung "Wasser" in der Chemie. Auf diese Weise kann man die Gesetze der Atomphysik – in dem Maße, wie diese Gesetze für den Gegenstandsbereich der Chemie relevant sind – prinzipiell auch in Begriffen formulieren, die mit

---

<sup>16</sup> Ich vernachlässige hier den Sauerstoff und konzentriere mich nur auf den Wasserstoff.

<sup>17</sup> Das hat vor allem damit zu tun, dass die chemischen Eigenschaften eines Elements vor allem mit der elektromagnetischen Kopplung über das elektrisch geladene Proton zusammenhängen. Das elektrisch neutrale Neutron ist in diesem Kontext und damit auch für die chemischen Eigenschaften eines Stoffes nur wenig relevant.

<sup>18</sup> "X" steht hier stellvertretend für eine detaillierte atomphysikalische Beschreibung, welche insbesondere die elektromagnetische Wechselwirkung der Protonen und Elektronen hervorhebt. Wichtig ist, dass "X" in der Atomphysik, genauso wie "Wasser" in der Chemie, eine kausale Rolle beschreibt.

Begriffen der Chemie koextensional sind. Dadurch lassen sich die Gesetze der Chemie aus denen der Atomphysik deduzieren und damit erste auf zweite reduzieren. Dies alles zeigt, dass die MR von Wasser durch verschieden zusammengesetzte Moleküle kein bedrohlicher Fall für die Typen-Identität und den **Typen-Reduktionismus** darstellt.

Diese Idee lässt sich nun **verallgemeinern** (Ladyman und Ross 2007, S. 196ff.; Lyre 2012a, S. 7.): Höherstufige Beschreibungen (Gesetze, Theorien) sind häufig lediglich Generalisierungen über die geteilten Eigenschaften der Realisierer, welche kausal relevant für den Gegenstandsbereich dieser Beschreibung (dieses Gesetzes, dieser Theorie) sind (Lyre 2009a, 2012. Siehe für zahlreiche weitere Beispiele in diesem Sinne auch Polger und Shapiro 2016). Dass diese Realisierer verschieden zusammengesetzt sind oder noch weitere, gegebenenfalls differente Eigenschaften besitzen, ist für die Möglichkeit einer höherstufigen Klassen-, Gesetzes-, und Theorienbildung unerheblich. Auf jeden Fall beziehen sich die höherstufigen Beschreibungen auf kausale Eigenschaftstypen, die sich prinzipiell auch niederstufig beschreiben lassen. Dass dies meistens nicht der Fall ist, ist einer pragmatisch-epistemischen Aufgabenteilung geschuldet. Die Atomphysik etwa teilt die Objekte in ihrem Gegenstandsbereich nicht danach ein, ob sie bestimmte makroskopische Wirkungen hervorbringen. Das geht vom Standpunkt höherstufiger Disziplinen, welche sich auf Wirkungen in einem bestimmten Gegenstandsbereich spezialisiert haben, deutlich einfacher. Daraus folgt aber *nicht*, wie wir gesehen haben, dass die Physik nicht prinzipiell auch all das beschreiben kann, was höherstufige Theorien beschreiben.

Kommen wir zu einem weiteren Beispiel (Lyre 2009a, 2012, 2018a, 2021): Ein **harmonischer Oszillator** ist ein ziemlich abstraktes Objekt (System), das sich durch die kausale Eigenschaft auszeichnet, bei einer Auslenkung aus einer Gleichgewichtslage mit einer proportional anwachsenden Stärke entgegenzuwirken. Instanzen sind etwa bestimmte Pendel, Federn, Stimmgabeln und elektromagnetische Schwingkreise. Hier ist es *prima facie* viel schwerer zu sagen, was die geteilten, kausal-relevanten Eigenschaften der Realisierer sind. Allerdings lässt sich ein harmonischer Oszillator durch diese Differentialgleichung beschreiben, welche ein höherstufiges Gesetz über das Verhalten harmonischer Oszillatoren darstellt:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

Das Beispiel bietet uns weitere, **wichtige Einsichten**: Die Beschreibungen in den hochmathematischen Theorien sind häufig Generalisierungen über die geteilten und im jeweiligen Fall relevanten, *relationalen (strukturellen) Eigenschaften* der Objekte, welche unter diese Beschreibungen fallen. Im Falle des harmonischen Oszillators gehört zu diesen Eigenschaften u.a., dass die Schwingungsdauer allein von der Relation zwischen Oszillatorlänge und Gravitationskraft abhängt. Generell teilen alle Instanzen eines harmonischen Oszillators dieselben kausal-relationalen (strukturellen) Merkmale,

welche durch die obenstehende Differentialgleichung festgelegt sind. Es herrscht damit eine Typen-Identität zwischen harmonischen Oszillatoren auf der Phänomenebene und jener relational-kausalen Eigenschaft auf der mechanistischen Ebene. Damit hebt sich die unter **Mechanisten** verbreitete ontische Unterscheidung zwischen einer phänomenalen Ebene und der Ebene der Komponenten auf und wird zu einer rein pragmatischen Distinktion. Und damit stellen auch Fälle geteilter relationaler Eigenschaften - obwohl hier die MR auf den ersten Blick deutlich drastischer erscheint - kein Problem für Typen-Identität und Typen-Reduktion dar. Diese beiden Fallbeispiele sollen nun meinen nachstehenden Lösungsvorschlag motivieren.

### 3.3. Lösung des MR-Problems

Ein **MR-Fall**, so mein Analysevorschlag, liegt vor, genau dann wenn eine funktionale Eigenschaft durch Konfigurationen von Vorkommissen physikalischer Eigenschaften realisierbar ist, die deshalb unter verschiedene physikalische Typen fallen, weil sie physikalisch verschieden zusammengesetzt sind. Das **MR-Problem** soll nun darin bestehen, dass in solchen Fällen keine Typen-Identität und Typen-Reduktion möglich sind.

Mein **Lösungsvorschlag** beginnt mit der Beobachtung, dass das MR-Problem in dieser Analyse auf einer Entgegensetzung von *physikalischen* Realisierereigenschaften und *funktionalen* realisierten Eigenschaften beruht. Genauer gesagt beruht es auf einer Klassifikation der Realisierer hinsichtlich ihrer **physikalischen Komposition** auf der einen Seite. Und einer Klassifikation der realisierten Eigenschaften hinsichtlich deren Funktion im Sinne einer **kausalen Rolle** auf der anderen Seite. Diese Entgegensetzung ist jedoch eine grobe Vereinfachung und in diesem Kontext auch **irrelevant** (Esfeld 2005). Denn Realisierer als Mechanismen sind nicht einfach "primitiv", sie bestehen aus Teilen, welche wiederum Eigenschaften besitzen. Und es gibt sehr gute Gründe für die Annahme, dass es sich sowohl bei den niederstufigen Eigenschaften der Realisierer als auch bei den höherstufigen, realisierten Eigenschaften um *kausale Eigenschaften* handelt (Annahme 1). Denn beide werden durch wissenschaftliche Beschreibungen charakterisiert, welche nichts mehr machen, als die Relationen, insbesondere Kausalrelationen, anzugeben, in denen Vorkommnisse dieser Eigenschaften stehen. Es handelt sich insofern um *kausale Beschreibungen*. Darüber hinaus haben wir sehr gute Gründe für die Annahme, dass die höherstufigen kausalen Eigenschaften, welche darin bestehen, bestimmte Wirkungen hervorzubringen, **type-identisch** sind mit den Wirkungen, welche bestimmte Konfigurationen von

niederstufigen kausalen Eigenschaften als Ganze hervorbringen (Annahme 2). Diese Annahmen ebnen den Weg zu meiner Lösung des MR-Problems.

Nehmen wir eine beliebige Beschreibung  $F_s$  eines Eigenschaftstyps durch eine höherstufige Theorie  $T_2$ . Dann handelt es sich dabei gemäß (Annahme 1) um eine kausale Beschreibung und um einen kausalen Eigenschaftstyp. Und gemäß (Annahme 2) ist dieser Eigenschaftstyp identisch mit den Wirkungen von bestimmten Konfigurationen von niederstufigen Eigenschaften. Es kann also *prinzipiell* auch eine Beschreibung  $F_p$  der Wirkungen dieser Konfigurationen im Gegenstandsbereich von  $T_2$  durch eine niederstufige Theorie  $T_1$  geben, welche mit  $F_s$  koextensional ist. In Folge lassen sich die Beschreibungen (Gesetze) von  $T_2$  aus denen von  $T_1$  deduzieren und  $T_2$  ist auf  $T_1$  **reduzierbar**.

Diese *prinzipielle* Reduzierbarkeit wird *erstens* nicht dadurch behindert, dass die Konfigurationen, welche unter die kausale Beschreibung  $F_p$  fallen, unterschiedlich zusammengesetzt sein können. Daher bietet sie eine Lösung des MR-Problems.<sup>19</sup> *Zweitens* wird sie nicht dadurch behindert, dass die Konfigurationen, welche unter die kausale Beschreibung  $F_p$  fallen, in anderen Gegenstandsbereichen als dem von  $T_2$  ganz unterschiedliche Wirkungen haben können. Wichtig sind hier allein die geteilten, kausal-relevanten Eigenschaften der Konfigurationen für den Gegenstandsbereich von  $T_2$ .  $H_2O$ ,  $HD_0$ ,  $D_2O$  und  $T_2O$  haben beispielsweise im Bereich des Physikalischen unterschiedliche Wirkungen (unterschiedliche Massen). Aber das verhindert nicht die prinzipielle Reduzierbarkeit der chemischen Theorie des Wassers, da alle Realisierer des Wassers niederstufigere Eigenschaften teilen, welche für den Gegenstandsbereich der Theorie kausal-relevant sind.

*Drittens* wird die prinzipielle Reduzierbarkeit nicht dadurch behindert, dass kausale Beschreibungen wie  $F_p$  in der Wissenschaftspraxis häufig nicht vorliegen. Es gibt beispielsweise keine quantenphysikalische Beschreibung der phänotypischen Wirkungen von bestimmten Elementarteilchenkonfigurationen in bestimmten Pflanzen im Frühjahr. Insofern lässt sich die Genetik

---

<sup>19</sup> Es gibt oftmals auch eine ganz einfache Erklärung dafür, dass verschieden zusammengesetzte Realisierer in bestimmten Gegenstandsbereichen dieselben Wirkungen haben. Im Wasser-Beispiel und im Gegenstandsbereich der Chemie liegt es an der gleichen Anzahl an Protonen im Atomkern. Besonders interessant (aufschlussreich) ist hier aber das Gen-Beispiel: In der Philosophie der Biologie gibt es eine anhaltende Diskussion darüber, was genau die Objekte der natürlichen Selektion sind: der einzelne Organismus, eine Gruppe von individuellen Organismen oder einzelne Gene (Brandon (1984)). Die Objekte der Selektion haben Eigenschaften, die unter dem Begriff "Fitness" zusammengefasst werden. Mit "Fitness" sind die Fähigkeit zu Überleben und sich zu reproduzieren gemeint. Dabei trägt eine Eigenschaft X mehr zur Fitness eines Selektionsobjektes O bei als eine Eigenschaft Y, wenn X im Vergleich zu Y die Wahrscheinlichkeit zu Überleben und zur Fortpflanzung für O stärker erhöht als X. Generell kann man sagen, dass verschiedene Genmutationen Eigenschaften im Organismus hervorrufen, welche wiederum mehr oder weniger zur Fitness des Organismus beitragen. Die natürliche Selektion besteht dann in einem ausselektieren von Selektionsobjekten mit einer geringeren "Fitness" als konkurrierende Selektionsobjekte. Sie berücksichtigt dabei nicht die physikalische Zusammensetzung ihrer Objekte, sondern bezieht sich nur auf deren makroskopische Wirkungen, welche für die Fitness der betreffenden Organismen (oder Gene oder Population) relevant sind, was auch immer deren physikalische Zusammensetzung ist (Papineau (1993), Kapitel 2). Folglich ist in solchen Fällen auch nichts verwunderlich daran, dass unterschiedlich zusammengesetzte Konfigurationen in bestimmten Gegenstandsbereichen dieselben Wirkungen haben.

gerade nicht auf die Quantenphysik reduzieren. Das ist aber ein *praktisches* Problem. Das MR-Problem hingegen ist ein philosophisches Problem und in der Philosophie geht es zuvorderst um *prinzipielle* Fragen. Und wenn (Annahme 1) und (Annahme 2) wahr sind, dann ist eine Theorien-Reduktion wie bspw. der Genetik auf die Quantenphysik auch in MR-Fällen *prinzipiell* möglich.

*Viertens* wird sie nicht dadurch behindert, dass einige wissenschaftliche Theorien die Objekte in ihrem Gegenstandsbereich hinsichtlich ihrer physikalischen Komposition klassifizieren. Denn die *Eigenschaften* dieser Objekte werden kausal beschrieben. Aus der Sicht von relativ niederstufigeren Theorien sind diese Eigenschaften wieder durch kausale Rollen realisiert (für eine ausführliche Begründung siehe Abschnitt 3.4.1.).

*Fünftens* wird die prinzipielle Reduzierbarkeit von  $T_2$  auf  $T_1$  nicht dadurch behindert, dass sich die Gesetze von  $T_2$  oft nicht *exakt* aus denen von  $T_1$  ableiten lassen. Das ist vielmehr zu erwarten, wenn man, wie ich, davon ausgeht, dass die Gesetze von  $T_2$  lediglich Generalisierungen über die geteilten Eigenschaften der Realisierer sind, welche kausal relevant für den Gegenstandsbereich von  $T_2$  sind (Vergleich Abschnitt 3.2.). Es reicht in diesem Fall aus, wenn jeder Begriff von  $T_2$  in der Weise einem Begriff von  $T_1$  zugeordnet werden kann, dass zu jedem Gesetz  $L$  von  $T_2$  aus den Gesetzen von  $T_1$  ein Bildgesetz  $L^*$  abgeleitet werden kann. (Dabei ist  $L^*$  ein **Bildgesetz** von  $L$ , wenn es dem Gesetz hinreichend ähnlich ist, das aus  $L$  dadurch entsteht, dass man jeden in ihm vorkommenden Begriff von  $T_2$  durch den ihm zugeordneten Begriff von  $T_1$  ersetzt.)<sup>20</sup>

Der von mir in Abschnitt 3.3. unterbreitete Lösungsvorschlag **steht und fällt** mit den Annahmen (1) und (2). Bis hierhin habe ich diese Annahmen aber nur wissenschaftlich anhand von einzelnen Fällen motiviert. Nachstehend werde ich allgemeine philosophische Argumente für diese Annahmen entwickeln und meine Lösung damit weiter untermauern.

---

<sup>20</sup> Vergleich hierzu die Arbeiten von Schaffner (1967) und Hooker (1981a, b). Das klassische Modell von Nagel (1961) wird heutzutage allgemein als zu restriktiv angesehen. Eine interessante Konsequenz aus all dem ist, dass synchrone Theorienreduktion von einer höherstufigen Theorie auf eine niederstufigere Theorie offenbar genauso approximativ ist wie die diachrone Theorienreduktion einer älteren Theorie auf eine neuere Theorie (Vgl. Lyre (2012a)).

## 3.4. Philosophische Argumente

### 3.4.1. Argument für kausale Eigenschaften

(**Annahme 1**) Es handelt sich bei den Beschreibungen und Eigenschaften in wissenschaftlichen Theorien, *insofern ihnen wissenschaftliche Bedeutung zukommt*, um kausale Beschreibungen und Eigenschaften.

Der Philosoph **Frank Jackson** schreibt (siehe auch Blackburn 1990 und bereits Russell 1927, S. 199):

„When physicists tell us about the properties they take to be fundamental, they tell us about what these properties do. This is no accident. We know about what things are like essentially through the way they impinge on us and on our measuring instruments.“

- Frank Jackson: From Metaphysics to Ethics. A Defense of Conceptual Analysis (1998), S. 23.

Jackson spricht hier einen **wichtigen Punkt** an. Die Welt ist irgendwie beschaffen. Das heißt sie besitzt gewisse Eigenschaften im Sinne von Qualitäten. Und wir können diese Eigenschaften *im Alltag und in den Wissenschaften* nur erkennen, insofern diese in kausalen Beziehungen zu uns stehen. Etwas abstrakter gesprochen gilt offenbar EP:

**Empiristisches Prinzip (EP):** Ein Subjekt *S* besitzt einen *epistemischen Zugang* zu einer beliebigen Eigenschaft der Art *G* nur durch – und damit in Abhängigkeit von – den insbesondere kausalen Beziehungen, in denen Vorkommnisse von *G* zu anderen Eigenschaften und letztendlich zum Erkenntnisapparat von *S* stehen.<sup>21</sup>

Hier ist ein **einfaches Beispiel**: Es liegt ein glatter Gegenstand vor mir. Dann ist es naheliegend, davon auszugehen, dass ich durch dieses Vorkommnis einen epistemischen Zugang zur Eigenschaft Glattheit wie folgt erlangen kann: Die Oberflächenpunkte des Gegenstandes und die Objekte hinter ihm reflektieren Lichtstrahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen, dieses treffen auf meine Netzhaut und verursachen bestimmte elektrochemische Reaktionen in meinem Nervensystem, welche wiederum die Wahrnehmung eines runden Gegenstandes in mir hervorrufen. Es mag noch andere (viel indirektere) Zugänge zu der Eigenschaft Glattheit für mich geben, aber es scheint schlichtweg keiner *denkbar*, der nicht in einer kausalen Relation zwischen mir und Vorkommnissen dieser Eigenschaft besteht. Deshalb ist das Prinzip EP so **plausibel**.

---

<sup>21</sup> Ich beziehe mich hier nur auf natürliche Eigenschaften und lasse aus, ob es z.B. auch mathematische Eigenschaften gibt und ob wir diese erkennen können. Außerdem lasse ich mit der Formulierung „[...] insbesondere kausalen Beziehungen [...]“ offen, ob wir vielleicht auch über *nomologische Beziehungen* Zugang zu den Eigenschaften in der empirischen Welt erhalten können und wie sich diese zu kausalen Beziehungen verhalten.

Aus diesem Prinzip folgt nun, dass es **keine Trennung** zwischen (höherstufigen) funktionalen und (niederstufigen) physikalischen Beschreibungen gibt. Denn beides sind kausale Beschreibungen, weil sie die Eigenschaften, von denen sie handeln, so beschreiben, dass sie diese Eigenschaften in kausale Beziehungen zu anderen Eigenschaften setzen. Das gilt nun auch - wie Jackson hervorhebt - für die Beschreibungen der fundamentalen physikalischen Theorien: Auch und insbesondere Physiker besitzen einen epistemischen Zugang zu den Eigenschaften in ihrem Gegenstandsbereich nur abhängig von den kausalen Relationen, in denen Vorkommnisse dieser Eigenschaften zu ihren Messgeräten und letztlich zu ihren Sinnesorganen stehen.

Damit ist noch nichts darüber ausgesagt, ob die fundamentalen Eigenschaften selbst unabhängig von den kausalen Relationen sind, in denen sie stehen. Das heißt es ist noch nichts darüber ausgesagt, ob jene fundamentalen Eigenschaften *kategorial* oder *dispositional* sind (siehe zu dieser Unterscheidung etwa Black 2000; Bird 2007, S. 70 – 70; Barker 2009; Esfeld 2008a, S. 140 – 142, S. 166 – 191; Esfeld 2011a, S. 92 - 98 und Engelhard 2017):

- Eine Eigenschaft G ist eine **kategoriale Eigenschaft**, gdw. das Wesen von G unabhängig von den kausalen (und nomologischen) Relationen ist, in denen G manifestiert wird oder sich manifestieren kann.
- Eine Eigenschaft E ist eine **dispositionale Eigenschaft**, gdw. das Wesen von G in der Disposition oder Kraft besteht, bestimmte kausale (und nomologische) Wirkungen hervorzubringen.

Wenn wir die fundamentalen Eigenschaften als kategorial begreifen, hat dies eine sonderbare Konsequenz, für welche in der Literatur der lateinische Ausdruck "**quidditas**" gebraucht wird. Denn eine beliebige kategoriale Eigenschaftsart kann in beliebigen kausalen (und nomologischen) Relationen stehen. Daraus und aus EP folgt, dass wenn wir die fundamentalen Eigenschaften als kategorial begreifen, wir keinen Zugang zum Wesen der fundamentalen Eigenschaften haben können. Denn wir erlangen einen solchen nur in Abhängigkeit von kausalen und nomologischen Relationen und das Wesen von kategorialen Eigenschaften ist unabhängig von diesen. Das Wesen einer kategorialen Eigenschaft muss daher in einer unerkennbaren "**primitiven Washeit**" bestehen.

Das kann mithilfe des nachstehenden Gedankenexperiments illustriert werden (Black 2007): Es sei G die Eigenschaftsart, die in der möglichen Welt  $w_1$  als Ladung und H die Eigenschaftsart, die in  $w_1$  als Masse charakterisiert wird. Dann gibt es gemäß der Humeschen Metaphysik eine mögliche Welt  $w_2$ , die  $w_1$  weitestgehend gleicht, außer dass die kausalen und nomologischen Rollen von Ladung und Masse gegenüber  $w_1$  vertauscht sind. Das heißt: In  $w_2$  stehen Eigenschaften der Art G in den kausalen und nomologischen Relationen, in denen die Eigenschaften der Art H in  $w_1$  stehen und umgekehrt. Es

gibt damit einen *metaphysischen Unterschied* zwischen den Welten  $w_1$  und  $w_2$ . Dieser macht gemäß dem Prinzip EP aber keinen *epistemisch feststellbaren Unterschied* zwischen  $w_1$  und  $w_2$ , weil beide Welten hinsichtlich ihrer Relationen vollkommen identisch sind. Man spricht in solchen Fällen auch von einem "**haecceistischen Unterschied**" zwischen  $w_1$  und  $w_2$ . Wenn wir also davon ausgehen, dass EP wahr ist und wir eine der Welten  $w_1$  oder  $w_2$  bewohnen, dann können wir *prinzipiell* nicht wissen, welche dieser Welten die unsrige ist.

Jackson selbst ist Befürworter des **Kategorialismus** und akzeptiert diese Konsequenz:

„However, it does suggest the possibility that (i) there are two quite different intrinsic properties, P and P\*, which are exactly alike in the causal relations they enter into, (ii) sometimes one is possessed and sometimes the other, and (iii) we mistakenly think that there is just one property because the difference does not make a difference (as the point is put in information theory). An obvious extension of this possibility leads to the uncomfortable idea that we may know next to nothing about the intrinsic nature of our world. We know only its causal cum relational nature.“ - ebd, S. 23 – 24.

Ich bin entgegen Jackson ein Befürworter des **Dispositionalismus**. Das hat vor allem damit zu tun, dass der Kategorialismus meiner Ansicht nach nicht jene Rolle verständlich machen kann, welche fundamentale Naturgesetze, die in Allquantifikationen über natürliche Eigenschaften ausgedrückt werden, in (wissenschaftlichen) Erklärungen spielen. Wir können uns hier jedoch unabhängig von der eigentlichen Fachdiskussion auf einen Dispositionalismus festlegen. Denn die in dieser Arbeit vorgeschlagene Lösung des MR-Problems funktioniert nur, wenn wir die fundamentalen Eigenschaften als dispositional begreifen: Eine kategoriale Eigenschaft kann beliebige kausale Rollen einnehmen und damit auch beliebige kausale Rollenbeschreibungen wahr machen. Damit ist eine multiple Realisierbarkeit von kausalen Rollen durch komplett verschiedene Eigenschaften in einer kategorialistischen Metaphysik trivialerweise immer gegeben (Esfeld 2009, Abschnitt 3).

Betrachten wir zum Schluss wieder ein **Beispiel**. Ein Kandidat für eine fundamentale physikalische Eigenschaft ist die Ladung. Wenn wir die Ladung als eine dispositionale Eigenschaft begreifen, kann das bedeuten, dass das Wesen der Ladung in der Kraft besteht, ein elektromagnetisches Feld aufzubauen, sodass gleichgeladene Objekte abgestoßen und entgegengesetzt geladene Objekte angezogen werden. Durch diese Wirkungen steht die Ladung in Kausalrelationen zu unseren Erkenntnisapparaten. Und *allein aufgrund* dieser Relationen entwickeln wir eine kausale Beschreibung der Ladung im Rahmen der modernen Quantenelektrodynamik. Es gibt somit deshalb keinen prinzipiellen Unterschied zwischen den Beschreibungen (Prädikaten) in niederstufigen oder höherstufigen Theorien, weil beide die Relationen, insbesondere Kausalrelationen, in denen Eigenschaften stehen, angeben und sie über diese charakterisieren (definieren).

### 3.4.2. Argument für Identität

Im Folgenden möchte ich für diese Annahme hier argumentieren:

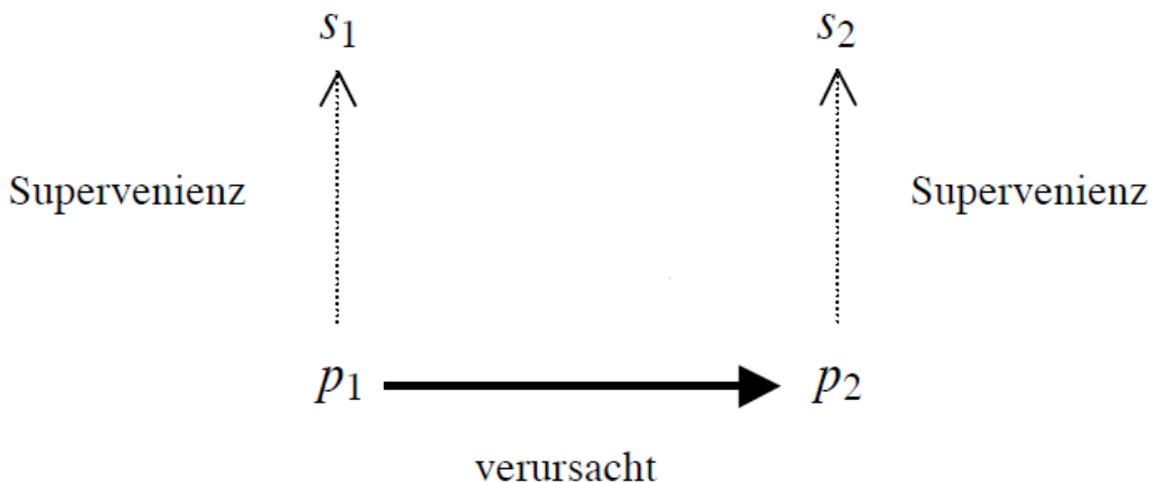
**(Annahme 2)** Die höherstufigen Eigenschaften, welche darin bestehen, bestimmte Wirkungen hervorzubringen, sind *type-identisch* mit den Wirkungen, welche bestimmte Konfigurationen von niederstufigen kausalen Eigenschaften als Ganze hervorbringen.

Das Argument für diese Annahme<sup>22</sup> baut wieder auf einem **neuen Prinzip** auf:

**Geschlossenheitsprinzip (GP):** Für jedes Vorkommnis einer physikalischen Eigenschaft  $p$  gilt: *in dem Maße*, wie  $p$  Ursachen hat, Gesetzen unterliegt und eine Erklärung erlaubt, hat  $p$  vollständige physikalische Ursachen, untersteht vollständigen physikalischen Gesetzen und hat eine vollständige physikalische Erklärung.

Hier ist wieder ein **Beispiel**:<sup>[53]</sup> Ein Atomkern zerfällt. Dann ist es naheliegend, davon auszugehen, dass dieses Vorkommnis einer physikalischen Eigenschaft (dieses physikalische Ereignis), in dem Maß, wie es überhaupt Ursachen hat, vollständige physikalische Ursachen hat. Und dass es in dem Maß, wie es überhaupt eine Erklärung erlaubt, vollständig durch eine fundamentale physikalische Theorie erklärbar ist. Der Grund dafür ist, dass sich (GP) bisher in der Wissenschaftspraxis bewährt hat. Das Prinzip (GP) ergibt sich also zwar weder direkt aus den Wissenschaften (wie etwa aus den Erhaltungssätzen, siehe Walter 2006, S. 227ff.), noch ist es philosophisch wohlbegründet. Da es in der Wissenschaftspraxis aber *sehr erfolgreich* ist, kann es als **plausible Default-Position** gelten. Das heißt, die Beweislast liegt erst einmal bei den Kritikern von (GP), gute apriorische Argumente oder empirische Evidenzen gegen das Prinzip (GP) darzulegen.

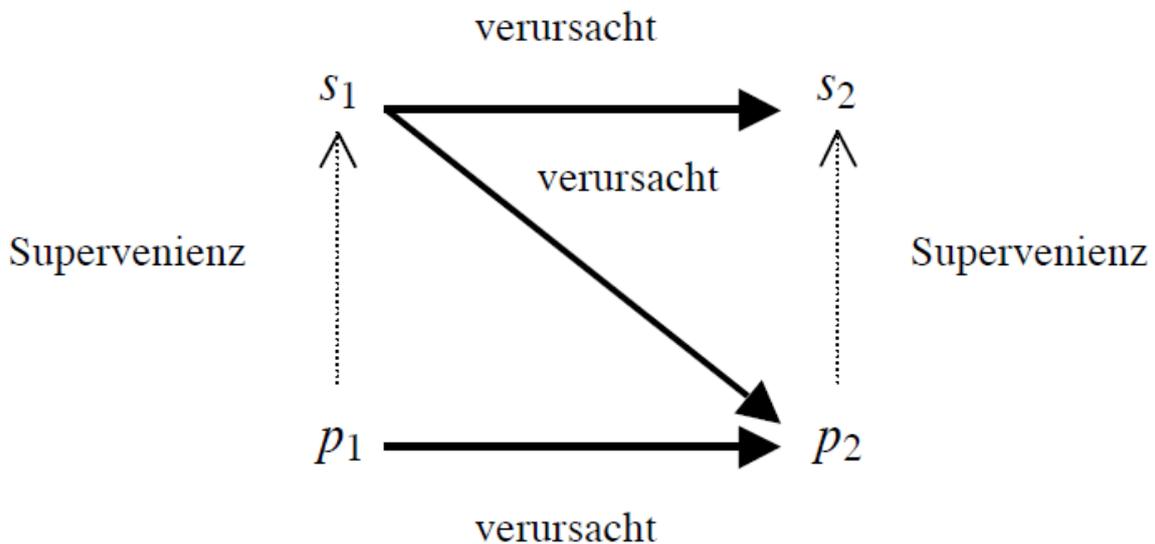
Aus den Prinzipien (GP) und (SP) (Vgl. S. 1) folgt nun dieses **Schema**:



Schema 1

<sup>22</sup> siehe für dieses Argument, das vor allem in der Philosophie des Geistes diskutiert wird, insbesondere Kim (1998), Kapitel 2; Kim (2005), Kapitel 2 sowie ausführlich und kritisch Walter (2006).

Beginnen wir mit dem Vorkommnis einer physikalischen Eigenschaft  $p_2$ . Gemäß dem Geschlossenheitsprinzip (**GP**) ist dieses – insoweit es überhaupt verursacht ist – durch ein anderes Vorkommnis einer physikalischen Eigenschaft  $p_1$  verursacht. Und laut dem Supervenienzprinzip (**SP**) supervenieren<sup>23</sup> über diese Vorkommnisse von physikalischen Eigenschaften Vorkommnisse von höherstufigen Eigenschaften  $s_1$  und  $s_2$ , etwa Vorkommnisse von Genen oder Wasser. Schließlich bestehen die Eigenschaftsvorkommnisse  $s_1$  und  $s_2$  nach der (**Annahme 1**) (vgl. S. 16), insofern sie unter bestimmte höherstufige Eigenschaftstypen fallen, darin, bestimmte Wirkungen hervorzubringen. Man könnte annehmen, dass  $s_1$   $s_2$  verursacht. Gemäß dem Supervenienzprinzip (**SP**) kann  $s_1$   $s_2$  aber nur verursachen (kausal beeinflussen), indem es  $p_1$  verursacht (kausal beeinflusst). Wir gelangen damit zu folgendem Schema:



Schema 2

Es gibt nun **zwei Möglichkeiten**.<sup>24</sup> Entweder die höherstufigen Eigenschaftsvorkommnisse (fortan: Ereignisse<sup>25</sup>) sind **identisch** mit physikalischen Ereignissen *oder* sie sind es nicht ( $s_1 = p_1$  und  $s_2 = p_2$

<sup>23</sup> Genauer gesagt supervenieren nach (SP) höherstufige Eigenschaften über *Konfigurationen* von physikalischen Eigenschaften, welche die relevante Umwelt eines Objektes einschließen können. Dies schreibe ich im Folgenden aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit nicht explizit aus und kann sich der Leser dazu denken.

<sup>24</sup> Es gibt in der neueren Literatur Versuche, Möglichkeiten auszuloten, die zwischen diesen beiden Möglichkeiten liegen. Die Grundidee ist grob gefasst, dass höherstufige Eigenschaftsvorkommnisse weder identisch noch völlig verschieden von physikalischen Eigenschaftsvorkommnissen sind, sodass beide in keinem kausalen Konkurrenzverhältnis stehen (siehe für eine Position in diesem Sinne beispielsweise Yablo 1992). Die Debatte um das Argument für Identität ist sehr komplex, soweit ich sie überschaue, löst diese Zwischenmöglichkeit jedoch nicht das eigentliche Problem, wie ich es dargestellt habe: Denn wenn keine Identität zwischen höherstufigen und physikalischen Eigenschaftsvorkommnissen besteht, bleibt es dabei, dass letztere in jedem Fall für alles hinreichend sind und erstere damit keine kausale Arbeit mehr leisten können (Vgl. Gillet und Rives (2005) und Pineda (2002), S. 36–40 gegen Yablo).

<sup>25</sup> Ich verfolge fortan – erneut der Einfachheit halber – eine Ereignisontologie, in der Ereignisse mit Eigenschaftsvorkommnissen identifiziert werden. Einen ähnlichen Ereignisbegriff hat auch Kim (1976) im Kopf: Nach Kim besteht ein Ereignis darin, dass ein Objekt zu einem bestimmten Zeitpunkt eine bestimmte Eigenschaft hat. Ein Ereignis kann man nach Kim als ein Tripel aus einem Objekt  $o$ , einer Eigenschaft  $F$  und

oder  $s_1 \neq p_1$  und  $s_2 \neq p_2$ ). Die zweite Möglichkeit führt geradewegs in eine **systematische Überdetermination**: Alles, was durch höherstufige Ereignisse verursacht wird, wird zugleich auch von physikalischen Ereignissen verursacht. In dem obenstehenden Schema 2 wird bspw.  $p_2$  durch  $p_1$  und durch  $s_1$  verursacht.

Diese Position scheint jedoch nur schwer zu verteidigen zu sein. Denn gemäß (**SP**) gibt es für das Auftreten aller höherstufiger Ereignisse in der Welt eine hinreichende physikalische Bedingung in Form von physikalischen Ereignissen als Supervenienzbasis. Und gemäß (**GP**) gibt es für das Auftreten jedes physikalischen Ereignisses – insoweit es überhaupt eine Bedingung hat – eine vollständige physikalische Bedingung in Form eines physikalischen Ereignisses als kausale Ursache. **Kurz**: Alle Ereignisse – insoweit sie überhaupt festgelegt sind – sind vollständig durch physikalische Bedingungen festgelegt. Das impliziert: Es gibt für *jede* Wirkung, von der angenommen wird, dass sie von einem höherstufigen Ereignis hervorgerufen wird, physikalische Bedingungen, die für sich allein hinreichend sind, um die Existenz der entsprechenden Wirkung hervorzurufen. Daher können höherstufige Ereignisse gar keine "kausale Arbeit" mehr leisten, welche nicht sowieso erbracht wird und sind daher von **Epiphänomenen** nicht zu unterscheiden.

Weshalb sollten wir dann aber überhaupt von ihrer Existenz überzeugt sein? Nach (**EP**) (vgl. S. 19) können wir höherstufige Ereignisse ja nur in Abhängigkeit von den kausalen Relationen erkennen, in welchen diese stehen. Wenn wir von (**EP**) überzeugt sind und davon ausgehen, dass physikalische Ereignisse alle kausale Relationen einnehmen, welche auch höherstufige Ereignisse einnehmen, dann folgt daraus, dass wir höherstufige Ereignisse nicht erkennen können. Man kann sagen, dass in diesem Fall die Situation in Schema 2 und die Situation in Schema 1 für uns **epistemisch ununterscheidbar** sind.

Das ist eine **absurde Konsequenz!** Denn offenbar erkennen wir höherstufige Eigenschaften in der Welt, *weil* es sich bei diesen Ereignissen um etwas handelt, das kausal relevant für die Geschehnisse in der Welt ist, das also einen kausalen Unterschied in der Welt macht. Ansonsten hätten wir – wie gesehen – an erster Stelle gar keinen Grund diese Ereignisse anzuerkennen. Die Schlussfolgerung dieser Überlegung ist daher diese: Die höherstufigen Ereignisse sind kausal wirksam und sie sind nur unter der Bedingung kausal wirksam, dass sie mit physikalischen Ereignissen identisch sind.

Aber **Vorsicht**: Die vorangegangenen Überlegungen stützen noch nicht (Annahme 2), sondern nur die schwächere (Annahme2\*):

---

einem Zeitpunkt  $t$  auffassen – das heißt ein Ereignis hat die Form  $\langle o, F, t \rangle$ . Kurz gesagt ist ein Ereignis nach Kim also ein bestimmtes *Vorkommen* einer bestimmten Eigenschaft zu einem bestimmten Zeitpunkt.

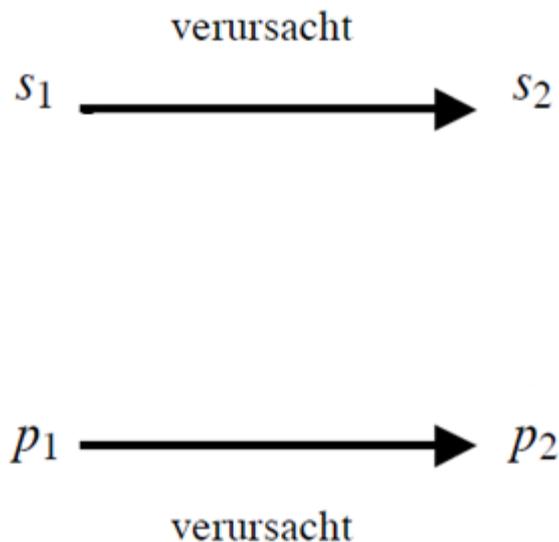
**(Annahme 2\*)** Alle Eigenschaftsvorkommnisse in der Welt sind entweder selbst Vorkommnisse fundamentaler physikalischer Eigenschaften oder mit Konfigurationen von Vorkommnissen fundamentaler physikalischer Eigenschaften identisch. Anders gesagt: Einige Konfigurationen von Vorkommnissen fundamentaler physikalischer Eigenschaften sind Vorkommnisse von höherstufigen Eigenschaften, weil sie *qua Konfiguration* die Wirkungen hervorbringen, die für die betreffenden höherstufigen Eigenschaften charakteristisch sind.

Es ist indes leicht, von der (Annahme 2\*) zur **(Annahme 2)** zu gelangen. Nehmen wir an, ein Eigenschaftsvorkommnis  $s_1$  ist identisch mit der Wirkung einer Konfiguration  $K_1$  von physikalischen Eigenschaftsvorkommnissen in einem bestimmten Gegenstandsbereich  $G_1$ . Dann gilt frei nach Lawrence Shapiro Folgendes (Shapiro 2000; Siehe auch Antony 2008): Wenn andere Konfigurationen von physikalischen Eigenschaftsvorkommnissen  $K_2, K_3, \dots K_n$  in  $G_1$  dieselbe Art von Ereignissen hervorrufen wie  $K_1$ , dann haben  $K_1$  und  $K_2, K_3, \dots K_n$  in  $G_1$  auch dieselben kausal-relevanten Eigenschaften. Dann besteht eine **Typen-Identität** zwischen jenen Eigenschaften und den Wirkungen von  $K_1$  und  $K_2, K_3, \dots K_n$  in  $G_1$ . Dass  $K_1$  und  $K_2, K_3, \dots K_n$  komplett unterschiedlich zusammengesetzt sein und in anderen Gegenstandsbereichen  $G_2, G_3, \dots G_n$  komplett unterschiedliche Wirkungen haben können, spielt dabei keine Rolle. Wenn hingegen  $K_1, K_2, K_3, \dots K_n$  nicht dieselbe Art von Wirkungen in  $G_1$  hervorrufen, dann fallen sie in  $G_1$  auch nicht unter dieselben kausalen Typen.<sup>26</sup> Dann gibt es auch keine interessanten kausalen Gesetze in  $G_1$  über  $K_1, K_2, K_3, \dots K_n$  und dann ist dies auch kein interessanter Fall für Fragen nach Identität und Reduktion in  $G_1$ .

In der Einleitung dieser Arbeit habe ich erwähnt, dass auch Emergentisten (Eigenschaftsdualisten) das Prinzip (SP) akzeptieren müssen, wenn sie nicht absurde explanatorische Konsequenzen in Kauf nehmen wollen. Darauf möchte ich hier zurückkommen. Ein Emergentist könnte versucht sein, das Prinzip (SP) abzulehnen. Das sieht dann so aus:

---

<sup>26</sup> siehe auch was Kim (1992) das "Prinzip der kausalen Individuation von wissenschaftlichen Arten" (meine Übersetzung) nennt.



Schema 3

Tatsächlich haben wir (SP) bisher nicht unabhängig begründet. Das Ablehnen von (SP) hat aber absurde explanatorische Konsequenzen. Denn nach allem, was wir empirisch über die Welt wissen, ist eine "höherstufige Verursachung" wie hier von  $s_2$  durch  $s_1$  immer auch durch **physikalische Ereignisse störbar**. Wenn beispielsweise eine Molekülkonfiguration unter bestimmten Umständen bestimmte phänotypische Wirkungen hat, lässt sich diese Verursachung stören, indem man die mikrophysikalische Struktur der Molekülkonfiguration verändert. Allgemein scheint zu gelten: Es kann keinen Unterschied in den höherstufigen Eigenschaften innerhalb von zwei Raumgebieten  $x$  und  $y$  geben, ohne dass es auch einen Unterschied in den physikalischen Eigenschaften in  $x$  und  $y$  gibt. Das ist aber nichts weiter als das Prinzip (SP) (folgt aus diesem per modus tollens).<sup>27</sup>

Das **Argument für (SP)** ist also dieses hier: Höherstufige Ereignisse lassen sich in ganz unterschiedlichen wissenschaftlichen und alltäglichen Kontexten durch physikalische Ereignisse stören. Soweit wir wissen, gilt dies ausnahmslos. Es wäre vor diesem Hintergrund absurd anzunehmen, dass keine **modale Abhängigkeit** von höherstufigen gegenüber physikalischen Ereignissen in Form einer ontologischen Supervenienz besteht. Über eine Reductio ad Absurdum können wir auf die Wahrheit von (SP) schließen.

Am Ende dieses Abschnittes möchte ich den **Zusammenhang** zwischen dem Argument für kausale Eigenschaften (Abschnitt 3.3.1.) und dem Argument für Identität (Abschnitt 3.3.2.) noch einmal explizit hervorheben. Der Grund dafür, dass wir annehmen, dass es die Eigenschaften gibt, von denen wissenschaftliche Beschreibungen handeln, besteht einzig und allein darin, dass sie signifikante

---

<sup>27</sup> Für den Emergentisten, der (SP) ablehnt, ist natürlich auch keine funktionale Reduktion möglich. Denn die Konzeption funktionaler Reduktion impliziert, dass, wie Kim (1992) es nennt, kausale Kräfte von den höherstufigen auf die niederstufigeren Eigenschaften "kausal vererbt werden" ("causal inheritance") oder zu diesen "hinunterfließen" ("drains down").

Wirkungen haben. Wir nehmen beispielsweise an, dass es Elektronen gibt, weil diese Striche in Nebelkammern verursachen oder signifikante Wirkungen auf unsere Messinstrumente haben (**Argument für kausale Eigenschaften**). Gegeben die plausiblen Prinzipien (GP) und (SP) können höherstufige Eigenschaften aber nur unter der Bedingung kausal wirksam sein, dass sie mit Konfigurationen von physikalischen Eigenschaften identisch sind. Gene etwa können nur dann kausal wirksam sein, wenn sie mit Konfigurationen von Molekülen und letztendlich physikalischen Elementarteilchen identisch sind (**Argument für Identität**).

Das Argument für kausale Eigenschaften und das Argument für Identität begründen je die Annahme 1 und die Annahme 2 und damit letztendlich meine in Abschnitt 3.3. ausgearbeitete Lösung für das MR-Problem sowie meine **reduktionistische Position**.

### 3.5. Zwischenresümee: mein Reduktionismus

In den vorangegangenen Abschnitten habe ich für die These argumentiert, dass Multirealisierbarkeit auf der einen Seite und Typen-Identität und Typen-Reduktion auf der anderen Seite keine unüberwindbaren Gegensätze sind. Ein MR-Fall, so mein Analyseverschlagn, liegt vor, genau dann, wenn eine funktionale Eigenschaft durch Konfigurationen von Vorkommnissen physikalischer Eigenschaften realisierbar ist, die deshalb unter verschiedene physikalische Typen fallen, weil sie physikalisch verschieden zusammengesetzt sind. Der **entscheidende Schritt in meiner Argumentation** besteht darin, sowohl die funktionale Eigenschaft als auch die Eigenschaften der Realisierer als kausale Eigenschaften anzusehen (Annahme 1). Diese Eigenschaftsmetaphysik ermöglicht es, eine höherstufige Eigenschaft mit einer Wirkung zu identifizieren, welche Konfigurationen von niederstufigen Eigenschaften *qua Konfiguration* besitzen (Annahme 2). Man kann so weit gehen und Folgendes sagen: Eine höherstufige kausale Eigenschaft kann überhaupt nur mit sich selbst, d.h. mit einer kausalen Eigenschaft, identisch sein. Merkmale der physikalischen Zusammensetzung sind für die ontische Frage der kausalen Identität völlig unerheblich. Wer gegen Typen-Identität einwendet, dass kausale Eigenschaft verschiedenartig zusammengesetzte Realisierer haben, begeht einen **Kategorienfehler**.

Es ist auf den ersten Blick **nicht eindeutig**, ob der von mir vorgeschlagene Reduktionismus **eliminativ oder konservativ** ist. Auf der einen Seite referieren wissenschaftliche Beschreibungen nach ihm allein auf fundamentale Eigenschaften und deren Konfigurationen und werden alleine von diesen wahr gemacht. Dies spricht *prima facie* für eine **eliminativistische Interpretation** meines Reduktionismus. Auf der anderen Seite sind alle höherstufigen Eigenschaften *identisch* mit Konfigurationen von fundamentalen Eigenschaften (Annahme 2). Und Identität ist eine **symmetrische Relation** (Esfeld und Sachse 2010, S. 103): Wenn alle höherstufigen Eigenschaften identisch sind mit Konfigurationen von

fundamentalen Eigenschaften, dann *sind* einige Konfigurationen von fundamentalen Eigenschaften höherstufige Eigenschaften.<sup>28</sup> Diese Identität begründet, obwohl sie symmetrisch ist, klarerweise einen **Reduktionismus**: Denn alles, was es gibt, sind fundamentale physikalische Eigenschaften und deren Konfigurationen, aber nur einige Konfigurationen von fundamentalen physikalischen Eigenschaften sind höherstufige Eigenschaften. Bei genauerem Hinsehen entpuppt sich meine Position daher letztendlich doch als ein **konservativer Reduktionismus**: Denn er erkennt alle höherstufigen Eigenschaften in der Welt mit all ihren charakteristischen Zügen an. Damit besitzt er den Vorteil gegenüber der Strategie einer lokalen Reduktion, dass er nicht auf einen **Eliminativismus** in Bezug auf höherstufige Eigenschaftstypen hinausläuft (Vergleich Abschnitt 2.3. und 2.1. unten). Dies gelingt ihm, indem er alle Eigenschaften als kausal denkt (Annahme 1). Er besitzt darüber hinaus den Vorteil gegenüber Antireduktionisten und Eigenschaftsdualisten, dass er nicht auf einen praktischen **Epiphänomenalismus** in Bezug auf höherstufige Eigenschaften hinausläuft (Vergleich Abschnitt 3.4.2.). Dies gelingt ihm, indem er alle höherstufigen Eigenschaften mit Konfigurationen von fundamentalen Eigenschaften identifiziert (Annahme 2). Er umgeht damit dem von Lawrence A. Shapiro (2000) bekanntermaßen aufgestellten Dilemma und bewahrt einem davor, eines der, wie wir gesehen haben, unplausiblen Hörner akzeptieren zu müssen.

Diese zweite Annahme hat eine bemerkenswerte Konsequenz. Wenn sie wahr ist, dann zeigt das **Schichtenmodell der Welt** keine **ontischen Seinsschichten** an, denn dann gibt es gar keine eigenständigen chemischen, biologischen oder psychologischen Seinsschichten. Stattdessen gibt es dann nur verschiedene Stufen der Grade der Komplexität oder der Organisation von Konfigurationen von Vorkommnissen fundamentaler Eigenschaften. Das Schichtenmodell gibt dann verschiedene **Beschreibungsschichten** an: Physikalische, chemische, biologische oder psychologische Beschreibungen gehören verschiedenen Ebenen der Beschreibung an, insofern die Wahrmacher dieser Beschreibungen unterschiedlich komplex sind (siehe Heil 2003 für eine detaillierte Argumentation in diesem Sinne).

---

<sup>28</sup> Es ergibt aus diesem Grund auch keinen Sinn zu fragen, ob eine Konfiguration von Eigenschaften eine bestimmte Wirkung hervorgebracht hat qua seiner fundamentalen Eigenschaften oder qua seiner Eigenschaften als Ganzes, weil beides dasselbe ist.

## 4. Mögliche Einwände

Eine Position, welche letztlich eine Rückführbarkeit von allen natürlichen Eigenschaften auf fundamentale physikalische Eigenschaften behauptet und auf die Welt zutreffen soll, sollte sich auch mit unserer besten wissenschaftlichen Theorie über die fundamentalen physikalischen Eigenschaften auseinandersetzen. Das ist nach dem derzeitigen Stand was die Materie betrifft die **Quantenphysik**. Sie sollte sich überdies mit den philosophischen und empirischen Problemen des Reduktionismus auseinandersetzen. Nach meiner Einschätzung gibt es v.a. **zwei große Problemfelder** für reduktionistische Positionen:

1. Das **Problemfeld** mentaler Zustände insbesondere mit phänomenalem und oder propositionalem Gehalt.
2. Das **Problemfeld** verschränkter Zustände von zwei oder mehreren Quantensystemen.

Beides soll im Folgenden geschehen. Das heißt, es wird auf die Quantenphysik (Abschnitt 4.2.) und auf die obenstehenden Problemfelder (Abschnitte 4.1. und 4.2.) eingegangen. Bei alledem mache ich es mir **nicht zu leicht**. Das heißt, ich werde auf die schwersten Herausforderungen für meine reduktionistische Position innerhalb dieser Problemfelder eingehen. In Bezug auf das Problemfeld mentaler Zustände bedeutet das, dass ich mich vor allem auf mentale Zustände mit *phänomenalem Gehalt* fokussiere. Diese widersetzen sich scheinbar noch hartnäckiger oder grundsätzlicher einer Naturalisierung oder Reduktion als mentale Eigenschaften mit *propositionalem Gehalt*. In Bezug auf das Problemfeld verschränkter Zustände bedeutet dies, dass ich mich auf die konzeptuellen Merkmale der *Standard-Quantenphysik* konzentriere. *Diese* induzieren einen Holismus und damit eine riesige Herausforderung für jede reduktionistische Position. Der Quanten- Holismus ergibt sich mithin nicht aus den bloßen empirischen Befunden der Quantenphysik (Näger und Stöckler 2018, insb. S. 161). Die bekannteste und am weitesten ausgearbeitete Alternativtheorie zur Standard-Quantenphysik, die **Bohmsche-Mechanik**, wird zwar ebenfalls mit einem Holismus assoziiert. Es ist jedoch fraglich, ob diese Assoziation gerechtfertigt ist. So schreibt Michael Esfeld in seiner Habilitation in Bezug auf Bohm: „Er ignoriert die Unterscheidung zwischen Nicht-Separabilität und dem Verletzen des Prinzips der lokalen Wirkung. Er führt mit dem Quanten-Potential eine neue, nicht-lokale Wechselwirkung ein. Nicht-lokale Wechselwirkung ist jedoch nicht Holismus [...]“. (Esfeld 2002, S. 285) Meine Hoffnung für den Reduktionismus liegt daher auf Bohms Mechanik (siehe etwa das extrem reduktionistische Naturbild von Esfeld und Deckert 2018). Derzeit stellen allerdings sowohl die Standard-Quantenphysik als auch die Bohmsche Mechanik verheißungsvolle Forschungsansätze dar. Und da eine reduktionistische Position gerade dadurch an Stärke und Überzeugungskraft gewinnt, dass sie überzeugende Antworten auf die für sie potentiell größten Problemfelder innerhalb der derzeitigen Forschung findet, werde ich mich in Abschnitt 6 mit der Standard-Quantenphysik auseinandersetzen.

## 4.1. Bewusstseinszustände

### 4.1.1. Ein Rahmen für eine allgemeine Metaphysik

In einem breiteren Kontext bietet der von mir vertretene Ansatz einen Rahmen für eine **allgemeine Metaphysik**. Jackson, den wir oben bereits zwei Mal zitiert haben, schreibt:

„Metaphysics, we said, is about what there is and what it is like. But of course it is concerned not with any old shopping list of what there is and what it is like. Metaphysicians seek a comprehensive account of some subject matter—the mind, the semantic, or, most ambitiously, everything—in terms of a limited number of more or less basic notions. In doing this they are following the good example of physicists. The methodology is not that of letting a thousand flowers bloom but rather that of making do with as meagre a diet as possible [ . . . ]. Because the ingredients are limited, some putative features of the world are not going to appear explicitly in the story.

The question then will be whether they, nevertheless, figure implicitly in the story. Serious metaphysics is simultaneously discriminatory and putatively complete, and the combination of these two facts means that there is bound to be a whole range of putative features of our world up for either elimination or location.“

- Frank Jackson: *Armchair Metaphysics* (1994). In: J. O’Leary-Hawthorne und M. Michael (Hrsg.): *Philosophy in Mind*. Dordrecht: Kluwer, S. 25.

Die Metaphysik oder Ontologie handelt also davon, was es gibt (Ontologie) und wie es beschaffen ist (Metaphysik). Sie steht nach Jackson vor dem **Problem der Lokalisation**. Huw Price (2004) nennt es auch das Problem der Platzierung. Es besteht darin, wie man mit der primitiven Ontologie (den grundlegenden Begriffen) einer Theorie alles erfassen kann, was es im Gegenstandsbereich dieser Theorie gibt – also auch das, was in ihrer primitiven Ontologie (den grundlegenden Begriffen) nicht explizit auftritt. Dieses Problem betrifft nach meinem Verständnis sowohl philosophische Ontologien als auch wissenschaftliche Theorien sowie **naturalisierte Ontologien** als Mischform aus Beidem.

Der **Funktionalismus** bietet eine elegante Lösung für dieses Problem. Sie besteht darin, alles dasjenige, was nicht explizit in der primitiven Ontologie (den grundlegenden Begriffen) einer Theorie auftritt, durch seine Funktion im Sinne einer kausalen Rolle einzuführen (zu definieren) (Esfeld 2021). Jene Rollen werden von den Entitäten innerhalb der jeweiligen primitiven Ontologie gespielt. Kommen wir auf das **Gen-Beispiel** zurück: Innerhalb der Molekularbiologie kann das Objekt (der Begriff) »Gen für weiße Blüten im Frühjahr« über bestimmte phänotypische Wirkungen charakterisiert (definiert) werden. Diese werden von Molekülkonfigurationen verursacht und Gene i.F. *in diesen lokalisiert*. Demzufolge gehört der Genbegriff zum Repertoire der molekularen Biologie, allerdings nicht als ursprünglicher, sondern als ein abgeleiteter Begriff. In vergleichbarer Weise ist "Wasser" zwar kein Teil der grundlegenden, aber dennoch der Begriffe in der Chemie.

#### 4.1.2. Das Problem der Erklärungslücke

Damit haben wir aber erst zwei der drei Beispiele auf S. 12 behandelt. Es steht noch das **Bewusstsein-Beispiel** und die Reduktion von mentalen Eigenschaften auf neuronale Eigenschaften offen. Übertragen auf dieses Beispiel besteht die funktionalistische Lösungsstrategie darin, dass eine Eigenschaft (ein Prädikat) wie »Schmerz empfinden« durch bestimmte funktionale Rollen charakterisiert (definiert) wird, welche letztlich Rollen für das Verhalten und mithin für die körperlichen Bewegungen von Subjekten sind. Die Neurowissenschaften entdecken Konfigurationen von neuronalen Eigenschaften im Gehirn, welche diese Rollen realisieren und lokalisieren den Schmerz deshalb in diesen Rolleneigenschaften. In Folge ist die Schmerzeigenschaft kein Bestandteil ihrer primitiven Ontologie (Begriffe), aber der abgeleiteten Ontologie (Begriffe) der Neurowissenschaft.

An dieser Stelle offenbart sich das **Qualia-Problem für den Funktionalismus**. Der Begriff "Qualia" bezeichnet den phänomenalen Erlebnisgehalt mentaler Eigenschaften. Das heißt, die spezifische Art und Weise, wie es sich für ein Subjekt anfühlt, eine solche Eigenschaft zu besitzen. Beispielsweise hat die Eigenschaft »Schmerz empfinden« einen phänomenalen Erlebnisgehalt, weil es sich für ein Subjekt auf eine charakteristische Weise anfühlt, wenn es Schmerzen hat. Das Problem soll nun darin bestehen, dass die Neurowissenschaften nur den *kausalen Aspekt* von Schmerzen reduktiv erklären können. Es scheint aber noch einen *qualitativen Aspekt* von Schmerzen zu geben. Dieser wird von der neurowissenschaftlichen Erklärung nicht erfasst, es bleibt eine **Erklärungslücke** (Levine 1983, 1993. Siehe für eine gelungene Zusammenfassung von Levines Argument Beckermann 2008, Kapitel 13.2.2.).

Das Qualia-Problem gilt auch als das "**schwierige Problem des Bewusstseins**". Wann immer ein Problem als besonders schwierig gilt, lohnt ein Blick auf die **Wissenschaftsgeschichte** und auf andere, damals vermeintlich unerklärliche Merkmale der Welt: Der Vorsokratiker Empedokles teilte die Welt noch in die vier Elemente Erde, Wasser, Luft und Feuer ein. Wie wir aus der naturwissenschaftlichen Forschung aber wissen, gibt es keine unveränderliche "Wasser-Substanz" im Sinne eines primitiven Stoffes in der Welt. Nichtsdestotrotz gibt es Wasser. Es gibt Molekülkonfigurationen, welche die funktionale Rolle erfüllen, die für Wasser charakteristisch ist. Zugespitzt formuliert: Es gibt Wasser in der Welt, weil es Molekülkonfigurationen in der Welt gibt, die sich wasserhaft verhalten. In genau der gleichen Weise gibt es keinen **élan vital**, keinen primitiven Lebensstoff in der Welt; aber es gibt dennoch Organismen. Leben ist definiert durch eine funktionale Rolle in Begriffen charakteristischer Bewegungen wie Stoffwechsel, Homöostase, Reproduktion, Anpassung usw. Diese Rolle wird ebenfalls durch bestimmte Molekülkonfigurationen realisiert (s.u.). Um noch ein letztes Beispiel anzuführen: Es gibt auch kein **Phlogiston**, keinen primitiven Wärmestoff. Aber es gibt eine Eigenschaft, welche wir im Alltag als "Wärme" bezeichnen und ebenfalls auf Molekularbewegungen beruht.

Für **Empedokles** galt Wasser noch als irreduzibel. Ähnliches gilt für **Gregor Mendel** und Gene. Mendel definierte Gene aufgrund seiner berühmten Experimente zwar funktional, konnte die Funktionsweise von Genen aber noch nicht reduktiv erklären (Waters 1990, 2007). Dies konnte erst seit der Entdeckung der molekularen Struktur der DNA 1953 durch Watson und Crick allmählich geleistet werden. Diese Entdeckung im Speziellen und der Aufstieg der Molekularbiologie im 20. Jahrhundert im Allgemeinen konnten auch verständlicher machen, dass die oben definierte funktionale Rolle für Leben durch Molekülkonfigurationen realisiert werden kann. Für die **Vitalisten** vor dem 20. Jhr. hatte Leben wohl noch einen *qualitativen Charakter*, der ihnen irreduzibel zu sein schien.

Eine Erklärungslücke ist also - anders als Antireduktionisten manchmal behaupten - keine prinzipielle, sondern eine **graduelle Angelegenheit**. Wissenschaftshistorisch wurde immer wieder geglaubt, dass eine bestimmte Eigenschaft einen qualitativen Aspekt hat und dass dieser nicht funktional erklärbar ist. Dieser Glaube hat sich sukzessiv aber als immer weniger haltbar erwiesen. Heute ist die Lücke bei der molekularen Erklärung von Leben sicher größer als bei der von Wasser. Aber es gibt keine grundsätzlichen Zweifel mehr daran, dass sich beide Eigenschaften reduktiv erklären lassen. Man würde sicher über das Ziel hinausschießen, wenn man daraus schließt, dass mentale Eigenschaften auch zukünftig oder prinzipiell funktional erklärbar sind.<sup>29</sup> **Mein Vorschlag** besteht vielmehr darin Folgendes zu sagen: Es ist umgekehrt auch verkehrt von einer derzeitigen Erklärungslücke auf eine auch zukünftig bestehende oder prinzipielle Erklärungslücke zu schließen. Es *kann* sein, dass die Neurowissenschaft für das Mentale das leisten wird, was die Chemie für Wasser oder die Molekularbiologie für Gene und Leben geleistet hat (eine ähnliche Vermutung äußert Pauen 2022 in einem Spektrum-Interview).

Die meisten Argumente gegen eine solche Möglichkeit beruhen auf **Vorstellbarkeit**.<sup>30</sup> Beispielsweise ist es *vorstellbar*, dass ein Subjekt eine bestimmte funktionale Eigenschaft ("feuernde C-Fasern haben"), aber nicht eine damit normalerweise korrelierte mentale Eigenschaft ("Schmerz empfinden") besitzt. Diese populären Argumente verlieren angesichts der Wissenschaftshistorie aber an Schlagkraft. So war es für Wissenschaftler im 17. Jahrhundert sicher auch *vorstellbar*, dass die mittlere kinetische Energie eines Gases  $6.21 \cdot 10^{-21}$  Joule beträgt, aber das Gas nicht die damit normalerweise korrelierte Temperatur von 300 K bzw. 26,85° Celsius hat. Dies war wie wir heute wissen aber kein schlagendes Argument gegen die reduktive Erklärbarkeit der Temperatur. Denn seit der Entwicklung der kinetischen Gastheorie wissen wir, dass die **Temperatur** eines Gases identisch ist mit der mittleren kinetischen Energie seiner Moleküle.

---

<sup>29</sup> Siehe für eine überzeugende Kritik an induktiven Schlüssen von bisherigen Erfolgen oder Misserfolgen der Wissenschaften auf zukünftige Erfolge oder Misserfolge der Wissenschaften in Bezug auf die sog. Pessimistische Meta-Induktion Mizrahi (2012).

<sup>30</sup> Kripke (1980), Chalmers (1996, 2009). Dennett (1991, S. 48) spricht hier auch passend vom "Philosophen-Syndrom": Man verwechselt das Versagen der eigenen Vorstellungskraft mit einer Einsicht in metaphysische Notwendigkeit.

Wer dies erst einmal begriffen hat, kann sich auch das oben beschriebene Szenario nicht mehr so einfach *vorstellen* oder *für möglich halten*. Das Beispiel der Temperatur zeigt also, dass das, was wir uns in einem gewissen Sinne vorstellen können oder für möglich halten, von unserem **Hintergrundwissen** abhängt. Unser Hintergrundwissen hat sich historisch aber sehr häufig als falsch herausgestellt und ist bei empirischen Fragen generell als fallibel anzusehen. Das gilt im besonderen Maße für unser Wissen um das Bewusstsein, da dieses in einem besonderen Maße noch sehr beschränkt ist. Deshalb ist hier ein Schluss von einer Vorstellbarkeit auf eine prinzipielle epistemische Nicht-Erklärbarkeit und oder eine ontische Nicht-Identität auch kein überzeugendes Argument.

#### 4.1.3. Explanatorische Erwägungen

Der von mir verteidigte Funktionalismus bietet allerdings, wie eingangs erwähnt, nur *einen Rahmen* für eine allgemeine Metaphysik. Anders ausgedrückt (Esfeld 2019, S. 88; Punkt 3): Es kann niemals nur kausale Rolleneigenschaften in der Welt geben. Es muss immer noch etwas da sein, das die betreffenden Rollen realisiert. Wenn alle Realisatoren selbst wiederum funktional definiert wären, würde sich ein **infinites Regress** ergeben. Der Ausgangspunkt einer ernsthaften metaphysischen oder naturwissenschaftlichen Theorie ist daher immer eine primitive Ontologie. Die **primitive Ontologie** einer Theorie umfasst alles, was innerhalb dieser Theorie als schlechthin seiend angenommen werden muss in dem Sinne, dass es nicht durch irgendetwas anderes abgeleitet oder erklärt werden kann. Wird eine Theorie im Rahmen eines Funktionalismus formuliert, dann umfasst ihre primitive Ontologie also all das, was in ihr nicht durch eine kausale Rolle eingeführt (definiert) werden kann.

Es kann als ein **großer Vorteil** meiner reduktionistischen Position angesehen werden, dass sie die Möglichkeit für eine relativ **minimale Ontologie** öffnet. Denn sie identifiziert alle höherstufigen Eigenschaften mit Konfigurationen von fundamentalen physikalischen Eigenschaften. In Folge muss sie auch nur die fundamentalen physikalischen Eigenschaften als schlechthin existent annehmen. Das ist insofern ein Vorteil für meine Position, weil eine Ontologie, wie oben beschrieben, alles umfasst, was es gibt. Umso weniger sie also als primitiv voraussetzen muss, desto mehr kann aus ihr abgeleitet und mit ihrer Hilfe erklärt werden und desto größer ist also ihre **explanatorische Stärke**.

Damit zusammen hängen auch einige **Schwächen des Eigenschaftsdualismus**. Der Eigenschaftsdualist nimmt mentale Eigenschaften einfach in seine primitive Ontologie mit auf. Das heißt, er kann die **Existenz** von mentalen Eigenschaften innerhalb seines Weltbildes nicht nur nicht *derzeit* und *in Gänze*,

sondern *generell* und *überhaupt* nicht erklären. Anders ausgedrückt: Statt einer Erklärungslücke haben Eigenschaftsdualisten gar keine Erklärung für die Existenz von mentalen Eigenschaften. Um der augenfälligen Korrelation zwischen mentalen und physikalischen Eigenschaften gerecht zu werden, behaupten Eigenschaftsdualisten meist, dass erstere über letztere supervenieren. Die **Supervenienzrelation** allein erklärt im Unterschied zur Identitätsrelation aber weder, warum dieses Abhängigkeitsverhältnis vorliegt, noch wodurch es zustande kommt.<sup>31</sup> Daher scheint es sinnvoll zusätzlich zur Supervenienzrelation auch eine **Realisierungsrelation** zu postulieren. Das Problem mit diesem Schritt ist Folgender: Die auch unter Eigenschaftsdualisten beliebteste Realisierungsrelation entstammt dem Funktionalismus. Die Idee ist, dass eine Eigenschaft F eine Eigenschaft G realisiert, gdw. die Eigenschaft F die Rolle ausübt, welche für G charakteristisch ist. Das Problem der Erklärungslücke („Erlebniseigenschaften erschöpfen sich nicht in einer kausalen Rolle“) stellt sich wenn überhaupt im Funktionalismus aber unabhängig davon, ob man Realisierereigenschaften mit Rolleneigenschaften identifiziert (meine Position) oder nicht (Eigenschaftsdualismus). Und das MR-Problem ist, wie ich hoffe gezeigt zu haben, allein kein gutes Argument, um die letztere Option zu wählen. So oder so handelt man sich durch Nicht-Identität also **keine explanatorischen Mehrwerte** gegenüber einer Identitätsposition, sondern nur zusätzliche Erklärungsprobleme ein (Vgl. Abs. 3.4.2).<sup>32</sup>

Der Begriff der Reduktion wird oft mit dem der **Emergenz** kontrastiert. Es ist für ein besseres Verständnis meiner Position hilfreich, hier zwei Formen von ontologisch emergenten Eigenschaften zu unterscheiden. Meine Position ist unverträglich mit der Vorstellung von **synchron-emergenten Eigenschaften**, das heißt höherstufigen Eigenschaften, die nicht mit Konfigurationen von niederstufigen Eigenschaften identisch sind. Sie leugnet aber nicht den trivialen Umstand, dass es neue Eigenschaften *in einem zeitlichen Sinne* gibt, d.h. Eigenschaften, die sich erst im Laufe der kosmologischen Evolution entwickelt haben und nicht mit Konfigurationen von Eigenschaften zu einem früheren Zeitpunkt identisch sind. Diese Eigenschaften können wir als **diachron-emergente Eigenschaften** bezeichnen. Diese Eigenschaften können innerhalb meines Reduktionismus ganz einfach durch dynamische Gesetze plus Anfangsbedingungen des Kosmos als Ganzen erklärt werden, die zusammen während der kosmologischen Evolution zu komplexeren Konfigurationen physikalischer Eigenschaften geführt haben. Zusammengefasst kann meine synchron-reduktionistische Position also einerseits das Auftreten neuer Merkmale im Sinne von diachron-emergenten Eigenschaften erklären, ohne sich andererseits aber all die Probleme einzufangen, die mit der Vorstellung von synchron-emergenten Eigenschaften verbunden sind (siehe etwa Abschnitt 3.4.2.).

---

<sup>31</sup> Kim (1993), S. 167; Kim (1998), S. 9 – 15; Kim (2005), S. 13; Hüttemann (2017), S. 295. Etwas Ähnliches trifft meiner Einschätzung nach auf die beobachtbare Tendenz zu, den Begriff der Supervenienz durch den des Fundierens (engl. groundierung) zu ersetzen.

<sup>32</sup> Vergleiche auch die Ausführungen von Terence Horgan zum Verhältnis zwischen erklärenden sog. "Superdupervenienz-Beziehungen" und Reduktion. Horgan (1993), insb. S. 556 – 560, 565 – 566, 574 – 582.

Aus all diesen Gründen halte ich meinen reduktiven Funktionalismus für einen attraktiven Rahmen für ein metaphysisches Weltbild. Was dabei in die jeweilige primitive Ontologie aufgenommen werden soll, ist durch den Funktionalismus nicht vorgegeben. Denn die funktionale Charakterisierung von Eigenschaften ist generell **unabhängig von ihrer ontologischen Realisierung** oder Beschaffenheit. Mit anderen Worten: Der Funktionalismus schließt nicht a priori aus, dass auch Aliens oder Roboter, die kein Molekül im Körper haben, Wasser oder Gene in sich tragen und lebend und bewusst sein können. Er ist sogar mit einer supranaturalistischen Ontologie kompatibel, insofern nicht-natürliche Entitäten wie zum Beispiel Seelen funktionale Rollen einnehmen oder durch solche beschrieben werden können (Putnam 1967, S. 130). Viele Philosophen sympathisieren jedoch mit der Idee einer **naturalisierten Ontologie**. Das ist eine Ontologie, welche anhand wissenschaftlicher Methoden und unter Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse formuliert wird. Eine naturalisierte Ontologie im Rahmen eines Reduktionismus sollte offenbar auf die Quantenphysik Bezug nehmen. Dieses Unterfangen ist aber gleich mit mehreren Problemen behaftet: (1) Es ist alles andere als eindeutig, wie die Welt grundlegend beschaffen wäre, wenn die Quantenphysik wahr wäre. (2) Die Quantenphysik enthält klar antireduktive Elemente. Nachfolgend wird erläutert, auf welchen Merkmalen der Quantenphysik das zweite Problem beruht (**Abschnitt 4.2.1.**) und anschließend gezeigt, wie meine Position gegen dieses und weitere Probleme aus der Quantenphysik verteidigt werden kann (**Abschnitt 4.2.2.**).

## 4.2. Verschränkte Zustände

### 4.2.1. Superpositionsprinzip

Die **Quantenphysik**<sup>33</sup> handelt zunächst und hauptsächlich von mikrophysikalischen Systemen. Beispiele für solche Systeme sind Elektronen und Photonen, Protonen und Neutronen einschließlich ihrer Konstituenten (Quarks) genauso wie ganze Atome. Diese Systeme haben zum einen *zeitunabhängige Eigenschaften*, welche während der gesamten Existenz des Systems unverändert bleiben. Beispiele sind die Masse und die Ladung eines Systems. Ein Elektron zum Beispiel hat immer dieselbe Masse und Ladung. Wenn ein System einen Wechsel von einer negativen elektrischen Ladung von  $-1e$  zu einer positiven elektrischen Ladung von  $+1e$  vollzöge, dann wäre es *kein Elektron mehr*, sondern ein Positron. Die elektrische Ladung kann, wie bereits gesagt, als eine dispositionale Eigenschaft verstanden werden. Wir verstehen ihr Wesen dann als die Kraft oder Disposition, ein elektromagnetisches Feld aufzubauen, sodass gleichgeladene Systeme abgestoßen und entgegengesetzt geladene Systeme angezogen werden.<sup>34</sup>

Zum anderen besitzen mikrophysikalische Systeme auch *zeitabhängige Eigenschaften* wie Ort, Impuls, Energie oder Spin in einer gegebenen Raumrichtung. Ein Elektron zum Beispiel kann seinen Wert des Spins in einer gegebenen Raumrichtung von Spin-up (Spin  $\uparrow$ ) zu Spin-down (Spin  $\downarrow$ ) wechseln (oder umgekehrt) und ein Elektron bleiben. Ich nehme im Folgenden mit dem Begriff "Eigenschaft" sofern nicht anders angegeben ausschließlich auf zeitabhängige Eigenschaften Bezug. Die berühmte **Heisenbergsche Unschärferelation** handelt davon, dass bestimmte Eigenschaften in der Quantenphysik in dem Sinne *inkompatibel* sind, dass es prinzipiell nicht möglich ist, dass ein System sich in einem Zustand befinden kann, in dem es für mehr als eine dieser Eigenschaften einen definiten numerischen Wert innehat. Das berühmteste Beispiel sind der Ort und Impuls:

$$(1) \Delta p \cdot \Delta q \geq 0,5 \cdot \hbar / (2 \cdot \pi)$$

In dieser **Formel** steht "p" für den Impuls, "q" für den Ort, "Δ" steht für die Abweichung von einem definiten numerischen Wert (d.h. die "Unschärfe") und "ħ" steht für Plancks Wirkungsquantum. Diese Formel besagt somit: Es gibt keinen Zustand eines Quantensystems, in dem das Produkt der Unbestimmtheit des Impulses und des Ortes unter einen bestimmten Wert fällt. Anders ausgedrückt: Je mehr sich der Wert des Ortes einem definiten numerischen Wert annähert, desto größer ist die Unbestimmtheit des Wertes des Impulses (und umgekehrt). Im Regelfall ist ein System in einem

---

<sup>33</sup> Ich beziehe mich der Einfachheit halber im Folgenden nur auf die *nicht-relativistische Quantenmechanik* und nicht auf die kompliziertere Quantenfeldtheorie. Ferner fokussiere ich mich zuvorderst auf die *Standard-Quantenmechanik* und nicht auf Alternativen mit verborgenen Parametern wie die Bohmsche Mechanik. Siehe dazu auch meine Ausführungen auf S. 26.

<sup>34</sup> Vgl. Abschnitt 3.4.1. in dieser Arbeit unten. Die zeitunabhängige Eigenschaft der Masse im Sinne von Ruhemasse kann jedoch nicht ganz so einfach als eine Disposition aufgefasst werden. Siehe insbesondere die physikalischen Probleme, welche Bird (2007), Kapitel 10.3.4. bzw. Bird (2005), iv. und Lehmkuhl (2008) diskutieren.

Zustand, in dem es weder einen definiten numerischen Wert des Ortes noch des Impulses hat. Es befindet sich in einer **Überlagerung (Superposition)** mehrerer Orts- und Impulswerte.

Ein **weiteres Beispiel** für inkompatible Eigenschaften neben Ort und Impuls ist der Spin in allen drei orthogonalen Raumrichtungen: der Spin in x-Richtung (Spin x), der Spin in y-Richtung (Spin y) und der Spin in z-Richtung (Spin z).<sup>35</sup> Dieses Beispiel bietet sich besonders für mathematische, experimentelle und philosophische Untersuchungen an. Denn Systeme von Spin  $\frac{1}{2}$  - wie etwa Elektronen – können nur die beiden definiten numerischen Werte "Spin up" und "Spin down" in einer gegebenen Raumrichtung besitzen. Das heißt es gibt nur zwei mögliche, diskrete definite numerische Werte anstatt des viel komplizierteren Falles eines kontinuierlichen Spektrums von unendlich vielen Orts- oder Impulswerten. Aus der Heisenbergschen Unschärferelation folgt nun, dass ein System von Spin  $\frac{1}{2}$  nur in einem Zustand sein kann, in dem es einen definiten numerischen Wert von *höchstens* einer dieser Spinkomponenten besitzt. Im Regelfall befindet es sich sogar in einem Zustand, in dem es keinen definiten numerischen Spinwert in irgendeiner Raumrichtung besitzt, sondern sich in einer Superposition der beiden Spinwerte "Spin-up" und "Spin-down" in allen drei Raumrichtungen befindet.

Man kann das **radikal Neue** an der Quantenphysik so umschreiben: Wenn in der klassischen Physik die Eigenschaft eines Systems verschiedene Werte wie sagen wir "up" und "down" haben kann, dann ist das System immer in einem Zustand, in dem es genau einen dieser Werte hat. In der Quantenphysik gilt hingegen für alle zeitabhängigen Eigenschaften das **Superpositionsprinzip**: Wenn die Eigenschaft eines Systems die Werte "up" und "down" einnehmen kann, dann kann das System in einem Zustand sein, der eine Superposition (Überlagerung) von Zuständen mit diesen beiden Werten ist und in dem also diese beiden Werte gleich- oder verschiedengewichtig zusammen eingehen. Anstatt eines definiten Wertes liegt in diesem Fall dann eine *Werte Verteilung* vor.

Das Superpositionsprinzip ist aber nicht auf einzelne Systeme begrenzt. Es gilt auch für **zusammengesetzte Systeme** (Lyre 2018b, Abschnitt 3.1.2). Das einfachste Beispiel ist ein zusammengesetztes System aus wieder zwei Systemen von Spin  $\frac{1}{2}$  wie zwei Elektronen oder Neutronen. Ein solches System kann einerseits durch **Produktzustände** beschrieben werden wie etwa:

$$(2) |\phi\rangle = |\uparrow_z\rangle_1 |\downarrow_z\rangle_2 \text{ oder}$$

$$(3) |\phi\rangle = |\downarrow_z\rangle_1 |\uparrow_z\rangle_2$$

In dieser **Formel** steht " $|\phi\rangle$ " für den Spinzustand des zusammengesetzten Systems, " $|\uparrow_z\rangle_1$ " zeigt an, dass System 1 Spin-up in z-Richtung hat; " $|\downarrow_z\rangle_2$ " zeigt an, dass das System 2 Spin-down in z-Richtung

---

<sup>35</sup> Wenn im Folgenden vom Spin ohne weitere Erläuterung die Rede ist, dann ist damit immer der Spin im Sinne einer Spinkomponente (in einer bestimmten Raumrichtung) gemeint.

hat und *vice versa*. Die Formel (2) besagt somit Folgendes: Das System 1 hat Spin-up in z-Richtung und das System 2 hat Spin-down in z-Richtung. Diese Formel zeigt insofern einen Produktzustand an, als dass sie die Teilsysteme in einen Eigenzustand der betrachteten Spin-Observable setzt; der Gesamtzustand wird einfach durch das Tensorprodukt der Eigenvektoren der Teilsysteme beschrieben. Das heißt - und das ist für unsere Zwecke besonders wichtig - dass der Zustand des Gesamtsystems über die Zustände der Teilsysteme *superveniert*.

Der Zustand eines zusammengesetzten Systems lässt sich aber nur in absoluten Ausnahmefällen durch die Produktzustände der Einzelsysteme beschreiben, die in Abschnitt 4.2.2. näher untersucht werden. Im Regelfall wird ein zusammengesetztes System hingegen durch eine **Superposition von Produktzuständen** beschrieben. Man spricht hier auch von einer **Zustandsverschränkung**. Das einfachste Beispiel betrifft wieder Spinzustände und ist in der Fachliteratur als **Singulett-Zustand** bekannt:<sup>36</sup>

$$(4) |\Psi\rangle = 1/\sqrt{2} * (|\uparrow_z\rangle_1 |\downarrow_z\rangle_2 - |\downarrow_z\rangle_1 |\uparrow_z\rangle_2).$$

In dieser **Formel** steht " $|\Psi\rangle$ " für den Spinzustand des Gesamtsystems. Diese Formel beinhaltet u.a. Folgendes: Es befinden sich nicht nur die Teilsysteme 1 und 2 in Superpositionen, das Gesamtsystem befindet sich in einer Superposition der beiden möglichen Zustände des Gesamtsystems mit definiten numerischen Werten – das heißt in einer Überlagerung der möglichen Zustände "erstes System Spin up und zweites System Spin down" und "erstes System Spin down und zweites System Spin up" in z-Richtung. Die Formel (4) kann - anders als (2) und (3) - *nicht* in Produktform gebracht werden.

Zustandsverschränkungen werden häufig mit einem **Holismus** assoziiert. **Paul Teller**<sup>37</sup> etwa argumentiert, dass die Zustandsverschränkung eine Relation zwischen den betroffenen Systemen ist. Diese Relation superveniert nicht über die intrinsischen Eigenschaften der einzelnen Systeme. Insofern ist das Gesamtsystem mehr (hat relationale Eigenschaften) als die Summe seiner Teile in Isolation (die Teilsysteme und ihre intrinsischen Eigenschaften). Diese Konsequenz ergibt sich ziemlich<sup>38</sup> direkt aus dem mathematischen Formalismus der Quantenphysik: Im Falle des Singulett-Zustands etwa hat nur das Gesamtsystem globale Eigenschaften (globale Observablen) mit definiten numerischen Werten und

---

<sup>36</sup> Das Beispiel geht auf David Bohm (1951), S. 611 - 622 zurück. Konzeptuell ähnliche Beispiele können auch mit den inkompatiblen Eigenschaften Ort und Impuls aufgebaut werden (siehe etwa Einstein, Podolsky und Rosen 1935).

<sup>37</sup> Teller (1986); Teller (1989), S. 213 - 216. Siehe auch Cleland (1984) für eine hilfreiche Unterscheidung in stark- und schwach nicht-superveniente Relationen. French (1989), S. 17f. zeigt auf, dass Zustandsverschränkungen stark nicht-supervenient sind.

<sup>38</sup> Diese metaphysische Konsequenz ergibt sich aber – wie jede metaphysische Schlussfolgerung – nicht direkt (zwingend) aus dem mathematischen Formalismus der wissenschaftlichen Theorie. Liu (1996), insb. S. 277 geht zum Beispiel so weit, die Korrelationen zwischen den Messergebnissen an den Teilsystemen in die Supervenienz-Basis mit aufzunehmen. Auf dieser Grundlage argumentiert sie gegen Holismus in der Quantenphysik im Sinne von fehlender Supervenienz.

damit einen reinen Zustand. Dieser legt fest, was für die Teilsysteme gilt (insofern dies überhaupt bestimmt ist<sup>39</sup>) *und nicht umgekehrt!*

Diese Charakterisierung des Quanten-Holismus zeigt schon das erste Problem für den Reduktionismus (**Problem 1**) an. Denn aus dem Gesagten folgt offenbar, dass ein Ganzes im Singulett-Zustand nicht durch seine Teile erklärt werden kann. In Folge versagt hier eine explanatorische Reduktion. Das wiederum kann als ein Hinweis gesehen werden, dass die Eigenschaften eines verschränkten Ganzen emergente Eigenschaften im ontischen Sinne sind. Meine Haltung dazu ist die folgende: das Problem (1) ergibt sich, wie gezeigt, ziemlich direkt aus dem mathematischen Formalismus der Standard-Quantenphysik. Es ist daher ein ernsthaftes Problem für einen synchronen Mikro-Reduktionismus. Unter einem **synchronen Mikro-Reduktionismus** verstehe ich eine Position, gemäß der die Eigenschaften eines verschränkten Ganzen durch seine Teile zu einem gegebenen Zeitpunkt epistemisch abgeleitet (erklärt) werden können (Hüttemann 2005). Das Problem (1) betrifft allerdings nicht meine reduktionistische Position. Meine Position ist eine über das Verhältnis zwischen den Eigenschaften im Gegenstandsbereich der Einzelwissenschaften und den Eigenschaften im Gegenstandsbereich der fundamentalen Physik. Sie betrifft nicht das Verhältnis zwischen den verschiedenstufigen Eigenschaften innerhalb der fundamentalen Physik. Ich werde mich daher im Folgenden darauf beschränken, meine Position vor allem gegen die davon verschiedenen Probleme (2) und (3) argumentativ zu verteidigen. Kommen wir zunächst auf das Problem (2) zu sprechen.

Die Reichweite des Quanten-Holismus kann mit dem berühmten Gedankenexperiment von **Schrödingers Katze** illustriert werden (Schrödinger 1935b): Stellen Sie sich eine geschlossene Kiste vor. In dieser Kiste befinden sich eine Katze, ein instabiler Atomkern, ein Detektor für die beim Zerfall erzeugte Strahlung und eine tödliche Menge Gift. Der Atomkern wird - sagen wir - innerhalb von einer Stunde mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,5 zerfallen. Wenn das Atom zerfällt, wird der Geigerzähler dies messen und einen Mechanismus auslösen, der dann das Gift freisetzt, welches wiederum die Katze tötet. Nach der Schrödinger-gleichung sind die Zustände aller Systeme in der Kiste innerhalb kurzer Zeit miteinander verschränkt. Das heißt: Nur das Gesamtsystem aus allen diesen Systemen ist in einem wohldefinierten, reinen Zustand ähnlich dem Singulett Zustand. Und dieser Zustand ist eine Superposition aus dem Zustand mit der Korrelation "Atom zerfallen, Mechanismus ausgelöst und Katze tot" und dem Zustand mit der Korrelation "Atom nicht zerfallen, Mechanismus nicht ausgelöst und Katze lebendig." Die Katze selbst befindet sich nicht in einem reinen Zustand wie "Katze tot" oder "Katze lebendig" oder irgendetwas dazwischen (ebd., S. 812). Dies widerspricht unserer Alltagsontologie und auch der Ontologie der klassischen Physik von Systemen mit definiten numerischen Eigenschaftswerten. An dieser Situation ändert sich auch dann nichts, wenn Sie die Kiste

---

<sup>39</sup> Nämlich, dass nur bestimmte Korrelationen zwischen den Messergebnissen an den Teilsystemen möglich sind. Siehe dazu viel ausführlicher Abschnitt 4.2.2. in dieser Arbeit.

öffnen und mit dem Gesamtsystem im Inneren interagieren. Nach dem Formalismus der Quantenphysik ist zu erwarten, dass Sie dann mit dem Zustand des Gesamtsystems auch verschränkt sind.

Mithin zeigt Schrödingers Gedankenexperiment, dass wenn man vom Formalismus der Quantenphysik ausgeht, man innerhalb kurzer Zeit auch zu Makroobjekten in Superpositionen gelangt. Mit anderen Worten: Wenn die Schrödingerdynamik *gilt und ausnahmslos gilt*, dann bilden nicht nur alle mikrophysikalischen, sondern alle Systeme schlechthin ein holistisches Ganzes.<sup>40</sup> Dieser **universale Holismus** steht offenbar dem lange Zeit sehr erfolgreichen **atomistischen Weltbild** entgegen, nach dem sich alles in der Welt in der Bewegung von kleinsten Teilchen lokalisieren lässt, die unabhängig voneinander existieren und nur dadurch miteinander zusammenhängen, dass sie wechselwirken. Hierin steckt nun das **Problem (2)** für meinen Reduktionismus. Denn offenbar beruht mein Reduktionismus auf einem weitgehend atomistischen Weltbild. Er beruht auf einem Bild von der Welt, nach dem sich Eigenschaften im Gegenstandsbereich der Einzelwissenschaften "herauspicken" und in den Wirkungen von klar umgrenzten Konfigurationen von fundamentalen physikalischen Eigenschaften lokalisieren lassen (siehe Abschnitt 4.1.1.). Dieses Bild scheint durch die Quantenphysik endgültig falsifiziert. Ich werde auf das Problem (2) in Abschnitt 4.2.2.2. dieser Arbeit eingehen und zeigen, dass es sich auch im Rahmen der Standard-Quantenphysik lösen lässt.

Davor möchte ich aber noch auf ein weiteres **Problem (3)** aufmerksam machen: Bislang hatten wir *ad hoc* angenommen, dass die fundamentalen physikalischen Eigenschaften dispositional anstatt kategorial sind, weil sonst mein Lösungsvorschlag für das MR-Problem nicht funktioniert (vgl. Abschnitt 3.4.1.). Viele Philosophen behaupten aber, dass in der modernen Physik kein Platz ist für Dispositionen im Sinne von Eigenschaften, welche andere Eigenschaften hervorbringen (Russell 1912, Norton 2003). Wenn sie Recht haben, bietet der von mir unterbreitete Reduktionismus keinen Rahmen für eine naturalisierte Metaphysik. Ich werde entgegen dieser Philosophen aber zeigen, dass es sogar gute Gründe gibt anzunehmen, dass die fundamentalen Eigenschaften dispositional sind (4.2.2.2.1.)

**Fassen wir zusammen:** Die formalen Merkmale der Standard-Quantenphysik legen uns nach allen rationalen Kriterien der Interpretation wissenschaftlicher Theorien auf eine Sicht auf verschränkte Systeme als holistische Systeme fest. Dieser Quanten-Holismus stellt ein Problemfeld für reduktionistische Positionen dar. Wenn er nur kleine Systeme auf der Mikroebene betrifft, wirft er allein das Problem (1) auf und meine gemäßigte reduktionistische Position ist nicht betroffen. Nach dem Formalismus der Quantenphysik ist aber zu erwarten, dass dieser Holismus nicht nur fundamentale physikalische, sondern auch alle höherstufigen Eigenschaften umfasst. Dieser Befund gilt unabhängig

---

<sup>40</sup> Eine solche Position lässt sich etwa durch die Annahme plausibilisieren, dass im Urknall alle mikrophysikalischen Systeme miteinander wechselgewirkt haben und alle Systeme allein aus solchen mikrophysikalischen Systemen zusammengesetzt sind.

davon, ob man höherstufige Eigenschaften mit Konfigurationen von niederstufigen Eigenschaften identifiziert (Reduktionismus) oder nicht (Emergentismus). Dies ist das Problem (2) und betrifft meine Position. Problem (3) besteht darin, dass meine Position auf einen Dispositionalen Essenzialismus in Bezug auf die fundamentalen Eigenschaften festgelegt ist. Einige Philosophen behaupten aber, dass die moderne Physik die fundamentalen Eigenschaften nicht als dispositionale im Sinne von kausalen Eigenschaften beschreibt.

Ich werde im Folgenden zeigen, dass die Probleme (2) und (3) im Rahmen **der GRW-Interpretation der Quantenphysik** überzeugend gelöst werden können. Dabei werde ich auch Argumente dafür entwickeln, dass wir uns tatsächlich auf die GRW-Interpretation und nicht auf die Kopenhagener Interpretation oder die Viele-Welten-Interpretation festlegen sollen und damit meine Lösungsvorschläge weiter bestärken.

#### 4.2.2. Kollaps-Interpretationen

Wenn man eine Eigenschaft eines Teils von einem verschränkten Ganzen misst, dann erhält man indes immer einen **definiten numerischen Wert** für diese Eigenschaft. Misst man beispielsweise den Spin in z-Richtung eines Systems 1 von einem Ganzen im Singulett-Zustand, dann erhält man immer entweder  $|\uparrow z\rangle_1$  oder  $|\downarrow z\rangle_1$  und nicht etwa eine Überlagerung von beidem ( $|\uparrow z\rangle_1 |\downarrow z\rangle_1$ ). Diese Messergebnisse sind **maximal korreliert**: Wenn man an System 1 den Zustand  $|\uparrow z\rangle_1$  misst, dann ist System 2 nach der Messung mit Sicherheit im Zustand  $|\downarrow z\rangle_2$  und umgekehrt. Ebenso liegt, wenn man am System 1 den Zustand  $|\downarrow z\rangle_1$  misst, nach der Messung das System 2 mit Sicherheit im Zustand  $|\uparrow z\rangle_2$  vor und umgekehrt. Es sind also überhaupt nur diese zwei entgegengesetzten Messergebnisse möglich: *Entweder  $|\uparrow z\rangle_1 |\downarrow z\rangle_2$  oder  $|\downarrow z\rangle_1 |\uparrow z\rangle_2$* . Diese Korrelationen bestehen auch dann, wenn die beiden Messereignisse raumartig zueinander liegen. Das heißt, wenn kein Lichtsignal eine Verbindung zwischen den beiden herstellen könnte.

Das **Messproblem** besteht nun in Folgendem (Norsen 2017): Die Entwicklung der Zustände von Quantensystemen wird durch die Schrödinger-Gleichung beschrieben. **(a)** Wenn man die Schrödinger-Dynamik auf einen Messprozess anwendet, erhält man als Ergebnis eine Beschreibung, nach der die

Zustände aller beteiligten Systeme - einschließlich des Messgeräts - in einer Superposition stehen respektive verschränkt sind. **(b)** Eine Messung an einem dieser Systeme führt scheinbar entgegen der Beschreibung durch die Schrödingergleichung zu einem definiten numerischen Wert dieser Eigenschaft. Beispielsweise zeigt ein Messgerät nach der Messung des Spins eines Elektrons in z-Richtung immer einen definiten numerischen Wert an, das heißt immer entweder  $|\uparrow_z\rangle$  oder  $|\downarrow_z\rangle$ . Das Messproblem stellt sich dann in der Frage, wie die Punkte (a) und (b) sich zueinander verhalten, das heißt insbesondere, ob es realiter Systeme mit definiten numerischen Eigenschaftswerten gibt und wenn ja, wie sie zu ebendiesen gelangen. Wie das Gedankenexperiment um Schrödingers Katze zeigt, betrifft diese Frage auch Systeme im **makrophysikalischen Bereich**. Zusammengefasst besteht das Messproblem also darin, dass sich sowohl Mikro- als auch Makrosysteme laut des Standard-Formalismus in Superpositionen befinden und dies augenscheinlich unseren Messergebnissen an Mikrosystemen und unserer Beobachtung von Makrosystemen widerspricht.

#### 4.2.2.1. Kopenhagener Interpretation

Es gibt eine **instrumentalistische Lösung** für das Messproblem, die ausreicht, um mit der Quantenphysik im Labor umgehen zu können. Nach ihr entwickeln sich die Zustände von Quantensystemen gemäß zwei Dynamiken: **(i)** Erstens gemäß der Schrödinger-Dynamik im Allgemeinfall (s.o.). **(ii)** Zweitens gemäß einer diskontinuierlichen und zeitlich-irreversiblen Dynamik im Falle einer Messung. Genauer: Bei einer Messung findet eine Reduktion der Superposition auf einen Zustand statt, in dem das gemessene System genau einen definiten numerischen Wert der gemessenen Eigenschaft besitzt. Wenn man beispielsweise den Spin in y-Richtung eines Teiles von einem Ganzen im Singulett-Zustand misst, dann findet eine Zustandsreduktion derart statt, sodass die Teilsysteme *durch die Messung* die definiten numerischen Werte  $|\uparrow_y\rangle_1 |\downarrow_y\rangle_2$  oder  $|\downarrow_y\rangle_1 |\uparrow_y\rangle_2$  erlangen.

Die Schrödingerentwicklung ist **deterministisch**. Das bedeutet, wenn man die Dynamik, welche durch die Schrödinger-Gleichung ausgedrückt wird, für die einzige Dynamik von Quantensystemen hält, dann erhält man auch eine deterministische Theorie. Die Standard-Quantenphysik ist folglich eine deterministische Theorie. Raum für einen **Indeterminismus** in der Quantenphysik besteht damit nur dann, wenn man die Schrödinger-Dynamik durch eine Dynamik mit Zustandsreduktionen ergänzt oder

ersetzt.<sup>41</sup> Das augenfälligste und bekannteste Merkmal der Quantenphysik, der Indeterminismus, ist damit kein grundlegendes Merkmal unseres Naturverständnisses gemäß der Quantenphysik. Das grundlegende Merkmal der Quantenphysik ist das Superpositionsprinzip und alle damit verbundenen Seltsamkeiten der Quantenphysik. Diese Erkenntnis wird sich im weiteren Verlauf der Arbeit noch als wichtig herausstellen.

Die instrumentalistische Lösung des Messproblems wurde 1932 von Johann von Neumann (1932, Kapitel 6) in seinem Buch "Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik" kanonisiert. Werner Heisenberg (1959, S. 27 – 42) übernahm den Grundansatz in seiner Version der **Kopenhagener Interpretation**, in dem er ebenfalls eine zweite Dynamik der Messung annahm. Naturphilosophisch stellt er jedoch keine befriedigende Lösung dar. Denn die zweite Dynamik wird vollkommen **ad hoc** postuliert: Weil unsere Messgeräte immer definite numerische Werte der gemessenen Eigenschaft anzeigen, wird postuliert, dass gerade beim Messprozess eine Zustandsreduktion eintritt. Es wird dabei auch in keiner Weise angegeben, wie der Prozess, der zu einer Zustandsreduktion führt, physikalisch abläuft.

Außerdem ist das Verhältnis zwischen den beiden Dynamiken völlig undurchsichtig. Operational ist natürlich klar, was eine Messung ist und damit auch, wann die Schrödinger-Dynamik außer Kraft gesetzt wird und die Reduktions-Dynamik einsetzen soll. Aber Messprozesse sind keine in der Natur irgendwie hervorgehobenen Prozesse und Messgeräte keine **natürlichen Arten**, die in der Natur unabhängig von unseren Interessen vorkommen (wie etwa Elektronen, Wasserstoffatome, ...). Messprozesse unterliegen, wie alle anderen Prozesse auch, den gleichen Naturgesetzen. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen einer Messung und einer beliebigen physikalischen Interaktion. Und Messgeräte bestehen wie alle anderen physikalischen Objekte auch aus Quarks und Leptonen. Es gibt keinen objektiven Unterschied zwischen einem Messgerät und anderen Objekten. Vielmehr können Lebewesen diverse physikalische Objekte als Messgeräte benutzen und konstruieren abhängig von ihren Fähigkeiten und Interessen.

Ferner kann man argumentieren, dass Messgeräte eine Erfindung des Menschen sind, die erst sehr spät in der **Evolution des Universums** erfolgt. Die Konstruktion und Benutzung von Messgeräten scheint aber die Existenz von makroskopischen Systemen vorauszusetzen, die nicht Zustandsverschränkungen unterworfen sind. Man kann daher argumentieren, dass einerseits im Rahmen der instrumentalistischen Lösung die Existenz von makroskopischen Systemen mit Eigenschaften mit definiten numerischen Werten eine notwendige Bedingung dafür ist, dass Messgeräte entstehen konnten. Andererseits kann aber die Existenz von solchen makroskopischen Objekten im Rahmen der instrumentalistischen Lösung

---

<sup>41</sup> Indeterminismus in Bezug auf den von Neumannschen Ansatz kann z.B. bedeuten, dass es zwei mögliche Welten  $w_1$  und  $w_2$  geben kann, die bis zu einem Zeitpunkt  $t$  übereinstimmen und danach divergieren: In  $w_1$  ist  $|\uparrow y\rangle_1 |\downarrow y\rangle_2$  das Ergebnis einer Messung an einem zusammengesetzten System von Spin  $\frac{1}{2}$  in  $y$ -Richtung; in  $w_2$  ist  $|\downarrow y\rangle_1 |\uparrow y\rangle_2$  das Ergebnis der entsprechenden Messung.

an erster Stelle gar nicht erklärt werden kann. **Kurz gefasst**, was Johann von Neumann festhält, ist ein völlig unbefriedigender und undurchsichtiger Dualismus zweier Dynamiken, von denen eine zudem völlig ad hoc ist *und* ihre eigenen Voraussetzungen nicht verständlich machen bzw. garantieren kann.

**Um klar zu sein:** Es ist auf Grundlage einer Interpretation ohne Zustandsreduktionen und unter Bezugnahme auf Dekohärenz möglich, unsere Erfahrung definiter numerischer Werte als lokale Beobachter zu berücksichtigen. Es ist auf dieser Grundlage möglich, eine konsistente Geschichte des Universums zu erzählen, in der auch Messgeräte und Menschen stets Superpositionen unterworfen sind. Das Problem scheint mir aber Folgendes zu sein: Wenn man sich damit zufrieden gibt, mit Dekohärenz erklären zu können, dass uns die Welt klassisch *erscheint*, dann hat man keinen Grund Zustandsreduktionen einzuführen. Wenn man hingegen Zustandsreduktionen einführt, dann tut man dies in der Regel, weil man zu einer Makrowelt mit tatsächlich klassischen Eigenschaften gelangen und damit die Quantenphysik mit klassischen Theorien versöhnen möchte. Der Kopenhagener Deutung gelingt dies aber nicht. Sie ist auf absurde Konsequenzen festgelegt, wie dass es keine Makroobjekte mit wohldefinierten Zuständen gab, bevor es erste Messinstrumente oder Beobachter gab (was auch immer das sein soll). *Einerseits* kann die heisenbergsche Kopenhagener Deutung also nichts erklären, was nicht auch ohne Zustandsreduktion erklärbar ist. *Andererseits* gelangt man mit ihr nicht zu einer klassischen Makrowelt und damit zu keiner Vereinheitlichung. Es scheint mir daher naturphilosophisch völlig unklar, weshalb man das Projektionspostulat (von Neumanns Idee einer Zustandsreduktion qua Messung) überhaupt einführen sollte.

#### 4.2.2.2. GRW-Interpretation

Die **Ghirardi-Rimini-Weber-Interpretation** geht auf die italienischen Physiker Gian Carlo Ghirardi, Alberto Rimini und Tullio Weber (1986; siehe auch Ghirardi 2005) zurück. In der Literatur hat sich das Akronym "**GRW**" sowohl als Bezeichnung für die Autoren als auch für die Interpretation eingebürgert. GRW ergänzen, grob gesagt, die Schrödinger-Gleichung um einen stochastischen Term, so dass sie Wahrscheinlichkeiten für Zustandsreduktionen in Form von spontanen Lokalisationen der Quantensysteme angibt (Esfeld 2011a, Kapitel 5.6.). Diese neue Gleichung gibt für kleine Quantensysteme in Isolation (z.B. ein einzelnes Elektron) eine extrem niedrige Wahrscheinlichkeit der spontanen Lokalisation an. Mit der Größe des Systems nimmt die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Zustandsreduktionen aber rapide zu. Für aus vielen Quantensystemen zusammengesetzte Makrosysteme (z.B. ein Messgerät oder eine Katze) ist die Wahrscheinlichkeit deshalb extrem hoch, dass eines dieser Systeme sich spontan lokalisiert. Falls eines dieser Systeme sich spontan lokalisiert, sind aufgrund der Zustandsverschränkungen alle anderen Systeme ebenfalls lokalisiert. Durch die

spontane Lokalisation des Systems nehmen dann auch die anderen zustandsabhängigen Eigenschaften des betreffenden Systems quasi-definite Werte an.<sup>42</sup>

Die GRW-Interpretation enthält damit eine **klare Lösung für das Messproblem**. Denn wenn ein Quantensystem mit einem Messgerät, einer Katze, etc. verschränkt wird, führt die GRW-Dynamik dazu, dass der Gesamtzustand *nahezu sofort* reduziert wird. Deshalb messen wir immer nur Eigenschaften an Quantensystemen mit definiten numerischen Werten und deshalb nehmen wir auch niemals Makroobjekte in Superpositionen wahr. Damit besitzt die GRW-Interpretation einige wichtige **Vorteile** gegenüber der Kopenhagener Interpretation: *Erstens* schmuggelt sie keine physikalisch vollkommen unklaren Begriffe wie "Messung", "Messgerät" oder gar "Beobachter" in die fundamentale physikalische Theorie mit ein. Die Lokalisation eines Quantensystems ereignet sich vielmehr spontan, ohne dass es eine Interaktion mit einem externen Objekt wie einem Messgerät oder Beobachter bedarf. *Zweitens* beinhaltet sie eine einheitliche Dynamik für Zustandsverschränkungen *und* Zustandsreduktionen, die sowohl den mikrophysikalischen als auch den makrophysikalischen Bereich erfasst und damit auch den Übergang zwischen quantenphysikalischen Eigenschaften zu klassischen Eigenschaften erklärt.

Dies ist dann auch die Grundlage für mein Argument für die Festlegung auf **die GRW-Interpretation** innerhalb der Debatte um Reduktion und Emergenz. Die am besten ausgearbeitete Alternative zur GRW-Interpretation innerhalb der Standard-Quantenphysik ist die **Viele-Welten-Interpretation** (VWI). Die VWI erkennt nur die reine Schrödinger-Dynamik mit Zustandsverschränkungen an. Von Superpositionen und Zustandsverschränkungen ist allerdings nur in der Quantenphysik die Rede. Alle anderen wissenschaftlichen Theorien – einschließlich allen anderen physikalischen Theorien wie insbesondere die Relativitätstheorie – sind klassische Theorien. Das heißt sie beschreiben die Systeme in ihrem Gegenstandsbereich so, dass sie immer einen wohldefinierten Zustand haben bzw. sie beschreiben die Eigenschaften in ihrem Gegenstandsbereich so, dass sie immer definite numerische Werte haben (Vgl. S. 37). Wenn man allerdings eine Dynamik ohne Zustandsreduktionen wie die Schrödinger-Dynamik anerkennt, dann ist man darauf festgelegt, dass auch makroskopische Systeme bzw. Eigenschaften Superpositionen unterworfen sind (Vgl. S. 39f.) **Kurz gesagt**: Wenn man sich innerhalb der Quantenphysik auf die VWI festlegt, dann ist man damit automatisch auch darauf festgelegt, dass nur die Quantenphysik die Welt an sich beschreibt; alle anderen wissenschaftlichen Theorien beschreiben die Welt bloß so, wie sie einem lokalen Beobachter erscheint. Mithin sind alle wissenschaftlichen Theorien außer der Quantenphysik **grob falsch**. Dies ist ein Problem für die Debatte

---

<sup>42</sup> Siehe Ghirardi (2005), S. 417 – 418. Der Zustand ist genau genommen nur annäherungsweise ein reiner Zustand mit genau einem definiten numerischen Wert der betreffenden Eigenschaften. Mit anderen Worten: Die numerischen Resultate, die Resultate der Zustandsreduktionen sind, weisen immer noch eine gewisse Vagheit auf (siehe Albert und Loewer (1996) sowie Wallace (2008), S. 58 – 61). Ich spreche hier daher von "quasi-definiten Werten". Diese Tatsache stellt für das Folgende aber keine philosophischen Probleme dar.

um Reduktion und Emergenz wie sie hier verstanden werden möchte, nämlich als eine Debatte innerhalb der naturalisierten Metaphysik. Denn in dieser wird häufig auf Eigenschaften Bezug genommen, wie sie von unseren reifsten wissenschaftlichen Theorien beschrieben werden und für oder wider die Reduzierbarkeit oder Emergenz dieser Eigenschaften argumentiert. Dies ist aber nur dann ein rationales Unterfangen, wenn diese wissenschaftlichen Theorien auch wahr oder annähernd wahr sind. Ein Argument für eine Festlegung auf GRW und gegen eine Festlegung auf VWI innerhalb der Debatte um Reduktion und Emergenz lautet also: *Wenn* man in der Debatte um Reduktion und Emergenz einen allgemeinen wissenschaftlichen Realismus voraussetzen möchte, dann kann man sich nicht auf die VWI, sondern muss sich auf eine Interpretation mit Zustandsreduktionen wie GRW festlegen. Solche Argumente können als **transzendente Argumente gegen VWI** bezeichnet werden, insofern sie sich z.B. um die Bedingungen der Möglichkeit der Erkenntnis durch wissenschaftliche Theorien, die nicht die Quantenphysik sind, drehen.

Einige Autoren führen diese Argumente als die Hauptargumente gegen VWI an (Esfeld 2008a, Kapitel 3.3.). Sind es auch gute Argumente? Barry Stroud (1986) hat in Auseinandersetzung mit den Werken von Immanuel Kant (v.a. 1781) und Peter Strawson (1959, 1966) bereits auf den Unterschied zwischen **doxatischen und alethischen Notwendigkeiten** hingewiesen. Transzendente Argumente stützen, wenn, dann nur doxatische Notwendigkeiten. Bei transzendentalen Argumenten gegen VWI sind das Notwendigkeiten der Form "Wenn ich Alltagserfahrungen habe, kann ich nicht anders als zu glauben, dass die Alltagsgegenstände definite numerische Eigenschaftswerte haben" oder "Wenn ich von der Sinnhaftigkeit der klassischen Reduktionsdebatte überzeugt bin, kann ich nichts anders als zu glauben, dass Alltagsgegenstände definite numerische Eigenschaftswerte haben". Die transzendentalen Argumente stützen aber nicht alethische Notwendigkeiten.

Das **stärkste Argument gegen VWI** ist dieses hier: Innerhalb der Quantenphysik können Wahrscheinlichkeiten für Messergebnisse angegeben werden. Beim Singulett-Zustand kann beispielsweise eine 50%-ige Wahrscheinlichkeit für das Messergebnis  $|\uparrow y\rangle_1 |\downarrow y\rangle_2$  und eine 50%-ige Wahrscheinlichkeit für das Messergebnis  $|\downarrow y\rangle_1 |\uparrow y\rangle_2$  angegeben werden. Nach der VWI erlangen Quantensysteme aber niemals solche definiten numerischen Eigenschaftswerte. Was sagen die Wahrscheinlichkeitsangaben dann aus? Die elaborierteste Antwort auf dieses Problem baut auf entscheidungstheoretische Überlegungen auf (Deutsch 1999, Wallace 2003). Sie setzt die Existenz einer bevorzugten Basis voraus, um Wahrscheinlichkeitsangaben innerhalb der VWI verständlich zu machen. Die Existenz einer bevorzugten Basis kann aber nur durch den Prozess der Dekohärenz festgestellt werden, der selbst probabilistisch ist und wodurch diese Antwort **zirkulär** wird (Baker2007). Auch andere Versuche, die obige Frage zu beantworten, überzeugen nicht (Albert 2015, Kapitel 8).

Meine Behauptung ist nun, dass sich innerhalb der GRW-Interpretation nicht nur das Messproblem, sondern auch die **Probleme (2) und (3)** meines Reduktionismus lösen lassen. Die GRW-Interpretation hat darüber hinaus – anders als die KPI oder die VWI – nicht mit grundsätzlichen konzeptuellen Problemen zu kämpfen. Meinen Reduktionismus als einen Rahmen für eine allgemeine Metaphysik auf Grundlage der GRW-Interpretation der Quantenphysik anzusetzen, zeichnet dann nicht nur ein klares und konsistentes, sondern auch ein **enorm kohärentes Gesamtbild der Welt**. Dies bekräftigt meinen Ansatz zusätzlich. Beginnen wir also mit meinem Lösungsvorschlag für das Problem (3).

#### 4.2.2.2.1. GRW und Dispositionen

Das **Problem (3)** besteht darin, dass Dispositionen in der modernen Physik keinen Platz haben sollen. Dagegen lässt sich sagen, dass sich, wie bereits zweimal gezeigt, die zeitunabhängige Eigenschaft der Ladung als Disposition auffassen lässt. Außerdem lassen sich auch (globale) zeitabhängige Eigenschaften von superponierten Systemen im Rahmen einer Kollaps-Interpretation als Dispositionen verstehen.<sup>43</sup> Die Eigenschaft eines verschränkten Ganzen ist demnach z.B. die **Kraft oder Disposition**, durch Zustandsreduktionen klassische Eigenschaften mit definiten numerischen Werten zu produzieren. Anders gesagt: Indem ein verschränktes Ganzes etwas Qualitatives ist, also eine bestimmte Eigenschaft besitzt, ist es u.a. die Kraft oder Disposition reine Zustände hervorzubringen, in denen bestimmte (lokale) Eigenschaften definite Werte haben. Zum Beispiel besitzt nach diesem Verständnis ein Gesamtsystem im Singulett-Zustand die Disposition oder Kraft reine Zustände von zwei Systemen hervorzubringen, sodass nachher die Teilsysteme entweder die Spinwerte  $|\uparrow z\rangle_1 |\downarrow z\rangle_2$  oder  $|\downarrow z\rangle_1 |\uparrow z\rangle_2$  besitzen.<sup>44</sup>

Dieses Verständnis lässt sich sowohl auf die Kopenhagener Interpretation als auch auf die GRW-Interpretation übertragen. Übertragen auf die Kopenhagener-Interpretation wie sie oben beschrieben wurde besitzt ein verschränktes System also die Kraft oder Disposition, *unter der Bedingung einer Messung* klassische Eigenschaften hervorzubringen. Und übertragen auf die **GRW-Interpretation** besteht eine Zustandsverschränkung in der Kraft oder Disposition, *spontan* (quasi-)klassische Eigenschaften hervorzubringen.[114]

Nach unserem derzeitigen Kenntnisstand ist diese Disposition nicht weiter reduzierbar: Sie beruht nicht auf nicht-dispositionalen, kategorialen Eigenschaften. Dasselbe gilt für die zeitunabhängige Eigenschaft der elektrischen Ladung. Die quantenphysikalischen Eigenschaften der Zustandsverschränkung und der elektrischen Ladung sind in diesem Sinne gemäß der modernen Physik ontologisch **fundamentale Eigenschaften**. Dement-sprechend sind sie primitiv und durch nichts Weiteres erklärbar. Man mag dies intellektuell unbefriedigend finden, aber es ist sicher **kein spezifisches Problem** meiner Position: Es gibt nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand einfach keine (synchron-reduktive) Erklärung für Superpositionen. Außerdem ist gemeinhin bekannt, dass Erklärungen irgendwo aufhören oder in einem infiniten Regress oder Zirkel enden müssen.

Dass die oben genannten Eigenschaften *erstens* nach der modernen Physik fundamentale Eigenschaften sind und sich *zweitens* als Dispositionen verstehen lassen, fügt sich sehr gut in meinen Reduktionismus ein, da dieser auf die Behauptung festgelegt ist, dass die fundamentalen physikalischen Eigenschaften

---

<sup>43</sup> Dorato (2006, 2007, 2010, 2017); Haag (1992); Suárez (2007), S. 426 – 433.

<sup>44</sup> Dieses Verständnis ist unabhängig davon, ob man der Auffassung ist, dass ein verschränktes Ganzes Teile besitzt oder nicht.

dispositionale Eigenschaften sind. Es reicht aber natürlich nicht aus, dass Eigenschaften von verschränkten Systemen als Dispositionen *verstanden werden können*. Es bedarf auch **guter Gründe** für diese Annahme, damit aus meinem Reduktionismus eine attraktive naturphilosophische Position wird.

(1) Ein **erster guter Grund** ist, dass diese Annahme eine klare Antwort auf die Frage bereithält, was die Eigenschaften von Quantensystemen sind, wenn diese keine zeitabhängigen Eigenschaften mit definiten numerischen Werten haben. Es wäre in diesem Fall nicht überzeugend zu behaupten, dass ein System gar keine zeitabhängigen Eigenschaften besitzt und diese bei einer Zustandsreduktion gleichsam aus dem Nichts entstehen (Dorato und Esfeld 2010). Genauso wenig überzeugt es aber, dass in diesem Fall einfach der quantenphysikalische Zustandsvektor (die Wellenfunktion) existieren soll.<sup>45</sup> Denn jener ist ein mathematisches Instrument, der die physikalische Realität repräsentieren soll und nicht die physikalische Realität selbst. Eine entscheidende Frage in der Interpretation der Quantenphysik lautet daher, was der quantenphysikalische Zustandsvektor repräsentieren soll. Meine Position enthält eine klare Antwort auf diese Frage: er repräsentiert die Disposition, bestimmte Eigenschaften mit definiten Werten zu erwerben.

(2) Der **zweite Grund** ist, dass diese Annahme ein klares Kriterium zur Unterscheidung zwischen mathematischen und physikalischen Strukturen etabliert. Die Eigenschaften der Zustandsverschränkung werden von vielen Autoren als relationale Eigenschaften gedeutet. Die Position dieser Autoren ist in der Fachliteratur als **ontischer Strukturenrealismus** (ORS) bekannt.<sup>46</sup> Der ORS deutet verschränkte Ganze ontologisch so, dass es zwar Teile gibt, diese haben aber nicht je für sich intrinsische Eigenschaften, sondern sind durch Relationen der Zustandsverschränkung miteinander verbunden. Diese Relationen schließen es aus, jedem Teilsystem für sich genommen einen wohldefinierten Zustand zuzuordnen. Stattdessen ist nur das Gesamtsystem, bestehend aus den Teilsystemen, welche durch die Relationen verbunden sind, in einem reinen Zustand.

Eine **zentrale Herausforderung** dieser Position ist zu klären, was eine physikalische Struktur von einer mathematischen Struktur unterscheidet.<sup>47</sup> Mit anderen Worten: Der ORS darf nicht den gleichen Fehler wie die Wellenfunktions-Realisten begehen und physikalische Strukturen mit den Mitteln ihrer

---

<sup>45</sup> Siehe dazu den auf Bell (2004) Kapitel 4 zurückgehende und v.a. durch Maudlin (2010, 2015) weiterentwickelte Einwand gegen den Wellen-Funktions-Realismus, wie ihn Beispielsweise Albert (1996, 2013) verteidigt. Siehe überdies Lazarovici et al. (2013), Abschnitt 2.

<sup>46</sup> Ich beziehe mich hier nicht auf die radikale, sondern nur auf die moderate Variante dieser Position, nach der es zwar Teilsysteme gibt, diese aber nichts weiter sind als dasjenige, was in den Relationen der Zustandsverschränkung steht. Siehe Esfeld (2004), Esfeld und Lam (2011); Esfeld, Lazarovici, Lam, Hubert (2017); siehe ebenso Esfeld (2008a), Kapitel 4 und Esfeld und Sachse (2010), Kapitel 2.2. und 2.5. Für eine gute Übersicht über die vielen einzelnen Versionen des OSR siehe überdies Lyre (2009b).

<sup>47</sup> Cao (2003); Dumsday (2019), S. 34ff.; Lyre (2009b), Abschnitt 3. Ladyman und Ross (2007), S. 159 – 161 und French (2014), S. 230 verweigern sich dieser Herausforderung, indem sie behaupten, dass es nicht möglich ist, abstrakte mathematische von konkreten physikalischen Strukturen zu unterscheiden. Siehe Briceño und Mumford (2016) für eine Kritik an dieser Verweigerung.

Darstellung vermischen (s.o.). Diese Herausforderung stellt sich vor allem dann, wenn man die Raumzeit als **ontologisch nachrangig** gegenüber der Materie betrachtet. Diese Annahme kann *philosophische Gründe* haben, etwa wenn man Leibniz Einwände gegen Newtons Substantialismus überzeugend findet. Oder sie kann *physikalische Gründe* haben: Verschränkungen sind unabhängig von raumzeitlichen Abständen, was man als Indiz dafür sehen kann, Verschränkungen als ontologisch grundlegender anzusehen. Außerdem besitzen sie keine bestimmte Lokalisation. All dies zeigt, dass es zumindest problematisch ist, physikalische Strukturen in Abgrenzung zu mathematischen Strukturen als *raumzeitlich* zu begreifen.

Meine Position bietet eine **klare Lösung** für diese Herausforderung (Suárez 2004a, b): Eine physikalische Relation der Zustandsverschränkung unterscheidet sich von einer mathematischen Relation dadurch, dass sie die kausale Kraft oder Disposition zur Erzeugung bestimmter Effekte hat. Genauer gesagt besitzt sie die Disposition klassische Eigenschaften mit definiten numerischen Werten zu produzieren. Mit Alldem möchte ich mich *nicht* einer Interpretation von Zustandsverschränkungen im Sinne des OSR verschreiben. Aber es spricht garantiert für die Attraktivität meiner Position, dass sie ein zentrales Problem einer der populärsten Positionen der Quantenphilosophie lösen kann.

(3) Der **dritte Grund** ist, dass diese Annahme eine klare Erklärung für den Ursprung der Zeitrichtung bietet. Bertrand Russell hat in seinem bereits erwähnten Paper argumentiert, dass der Kausalitätsbegriff mit bestimmten Annahmen verknüpft ist, die mit der modernen Physik unverträglich sind. Insbesondere impliziere der Kausalitätsbegriff eine bestimmte Asymmetrie (wenn U die Ursache von W ist, dann kann W nicht die Ursache von U sein), während die fundamentalen physikalischen Gesetze zeitsymmetrisch seien (Russell 1912, S. 15). Entgegen Letzteres lässt sich erwidern, dass wenn man eine Dynamik mit Zustandsreduktionen wie die GRW-Dynamik als ein fundamentales Naturgesetz anerkennt, dann handelt es sich um ein Gesetz, das nicht umkehrbar in Bezug auf die Zeitrichtung ist. Denn wenn eine Zustandsreduktion erfolgt, dann ist es zwar möglich, dass ein kollabiertes System wieder Verschränkungen eingeht, es ist aber physikalisch nicht möglich, dass es wieder *dieselbe* Verschränkung eingeht, in der es vor der Zustandsreduktion war. Dies widerspräche der GRW-Gleichung. David Albert hat herausgearbeitet, dass die GRW-Dynamik als ein **fundamentales asymmetrisches Naturgesetz** geeignet ist, die Grundlage für alle zeitlich unumkehrbaren Prozesse in der Physik zu bilden (Albert 2000, Kapitel 7; siehe auch Loewer 2012). Albert ist aber Humeaner und will nichts von Dispositionen wissen.

Wenn wir jedoch seine Arbeit um unsere Annahme um fundamentale Dispositionen als kausale Kräfte ergänzen, dann erhalten wir eine Erklärung für den Ursprung der Zeitrichtung. Diese ergibt sich daraus, dass das Verhältnis zwischen Ursache und Wirkung **unumkehrbar** ist: Die Manifestation einer Disposition als eine hervorgebrachte Wirkung folgt zeitlich auf ihre Ursache und dieser

Produktionsvorgang lässt sich nicht rückgängig machen. *Weil* alle Eigenschaften fundamentale kausale Kräfte in diesem Sinne oder auf solche reduzierbar sind, sind auch alle natürlichen Prozesse zeitlich gerichtet (Esfeld 2009, 2010, 2012).<sup>48</sup> Der große Vorteil dieser Erklärung ist **Vereinheitlichung**: Albert zeigt v.a., dass die Gerichtetheit makroskopischer (insb. thermodynamischer) Prozesse aus der GRW-Gleichung plus bestimmten Anfangsbedingungen (die berühmte Vergangenheitshypothese) abgeleitet werden kann. Die GRW-Gleichung beschreibt aber nur die zeitliche Entwicklung von Systemen und damit nur *zeitabhängige Eigenschaften*. Die Mikroprozesse aufgrund von zeitunabhängigen Eigenschaften weisen aber auch immer nur in eine zeitliche Richtung. Beispielsweise bewegen sich entgegengesetzt geladene Systeme immer aufeinander zu und nicht voneinander weg. Wenn wir alle fundamentalen Eigenschaften als kausale Kräfte verstehen, dann kann die allgemeine Gerichtetheit von Prozessen erklärt und damit das eigentliche Rätsel hinter dem Zeitpfeil gelöst werden. Außerdem vereinheitlicht es Alberts Versuch den Zeitpfeil auf Grundlage der GRW-Gleichung zu erklären mit der Forschungstradition zum kausalen Zeitpfeil (siehe zum kausalen Zeitpfeil Carrier 2009, Kapitel 1).

(4) Der **vierte Grund** ist, dass diese Annahme eine Berücksichtigung von objektiven Wahrscheinlichkeiten für Einzelfälle ermöglicht. Es ist allgemein anerkannt, dass die Wahrscheinlichkeiten der Quantenphysik objektiv sind und nicht in Begriffen von (relativen) Häufigkeiten interpretiert werden können (Friebe 2018, Abschnitt 2.2.1). Trotzdem sprechen sich Roman Frigg und Carl Hoefer (2007) in einem Paper für eine humesche Sicht auf die GRW-Wahrscheinlichkeiten aus. Ihr Grundgedanke ist, grob gesagt, dass eine wahre Allaussage ein Naturgesetz ist, genau dann, wenn es als ein Axiom oder Theorem in einem deduktiven, idealen System enthalten ist, welches das beste Gleichgewicht zwischen empirischen Informationsgehalt, Einfachheit *und* Passung erreicht. Wenn ein solches System Gesetze enthält, die nur Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Arten von Ereignissen angeben, dann beschreiben diese die Wahrscheinlichkeiten in der Welt (ebd., Abschnitt 4. Siehe allgemein insbesondere Lewis 1980b, 1986, 1994b sowie die Weiterentwicklungen von Loewer 2001, 2004 und Hoefer 2006 selbst).

Dieser Ansatz hat **zwei Schwächen**, welche bereits indirekt aus der Arbeit von Frigg und Hoefer hervorgehen (Vgl. Dorato und Esfeld 2010, Abschnitt 4): **Erstens** sind die GRW-Wahrscheinlichkeiten **objektiv**. Das heißt die indeterministischen Prozesse der Lokalisierung sind nach GRW *subjektunabhängige Prozesse* in der Natur (Ghirardi 2005, S. 406). Die Kriterien der Einfachheit, Stärke und Passung sind dahingegen aber *epistemische Kriterien*. Ob diese Kriterien sowie die beste Balance zwischen ihnen erfüllt ist oder nicht, scheint mir nicht objektiv durch die Verteilung der fundamentalen physikalischen Eigenschaften festgelegt zu sein. Vielmehr hängt dies von denkenden Subjekten und der

---

<sup>48</sup> Eine interessante Konsequenz aus der Strategie, die Richtung der Zeit durch die Richtung der kausalen Kraft zu erklären ist, dass sie die in der Philosophie der Quantenphysik diskutierte Option von zeitlich rückwärts gerichteter Kausalität ausschließt. (Esfeld 2008a, S. 171).

Sprache, welche diese zur Repräsentation der Welt verwenden, ab. Was in einer Sprache einfach ist, mag in der anderen beispielsweise hochkompliziert sein. Wenn dieser Kritikpunkt zutrifft, dann ist auch die Unterscheidung zwischen echten Naturgesetzen und bloßen Regularitäten in der Besten-System-Analyse **subjektiv**.<sup>49</sup> Entsprechendes gilt dann für den humeschen Wahrscheinlichkeitsbegriff.

**Zweitens** beziehen sich die Wahrscheinlichkeitsangaben in der GRW-Interpretation auf Einzelereignisse. Frigg und Hoefer selbst schreiben dazu zum Beispiel: „*As has been pointed out by many [...], probabilities in QM refer to single cases. This is true in GRW theory as well, which gives us the probability for the occurrence of some particular event when the next hit occurs. In fact, GRW theory assigns probabilities to events no matter how often they actually occur*“ (Frigg und Hoefer 2007, S. 377). Gehen wir also bspw. davon aus, dass in einer möglichen Welt die GRW-Dynamik gilt und nur ein verschränktes System existiert, wobei es mit einer 50%-igen Wahrscheinlichkeit die Spinwerte  $|\uparrow z\rangle_1$   $|\downarrow z\rangle_2$  und mit einer 50%-igen Wahrscheinlichkeit die Spinwerte  $|\downarrow z\rangle_1$   $|\uparrow z\rangle_2$  produziert. Danach hört die Welt auf zu existieren. Es gibt in dieser Welt kein System aus wahren Aussagen, aus dem sich diese Wahrscheinlichkeiten deduzieren ließen. Dieses zugegebene extreme Beispiel zeigt, dass sich die humesche Theorie nicht auf **Einzelfallwahrscheinlichkeiten** beziehen lässt.

Alternativ zur Humeschen Theorie kann man die GRW-Wahrscheinlichkeiten auch im Sinne einer anti-humeschen **Propensitätstheorie** interpretieren. Diese ergänzt das bereits eingeführte Konzept der Disposition um das der **Propensität**. Nehmen wir an, dass Eigenschaften des Typs F die Disposition oder Kraft sind, Eigenschaften des Typs G und H hervorzubringen. Dann ist gemäß einer weitgetragenen Auffassung von Propensitäten die Disposition der Fs, welche darin besteht, Gs hervorzubringen, eine Tendenz innerhalb von jedem F, ein G hervorzubringen. Diese Tendenz besitzt eine gewisse Stärke. Tendenzen mit quantifizierbaren Stärken sind **Propensitäten** (Rosenthal 2003).

Das Konzept einer Propensität lässt sich wunderbar auf **GRW-Wahrscheinlichkeiten** übertragen (Lorenzetti 2021). Nehmen wir an, eine Eigenschaft eines verschränkten Systems ist die Disposition oder Kraft, die wohldefinierten Eigenschaften  $|\uparrow z\rangle_1$  und  $|\downarrow z\rangle_2$  oder  $|\downarrow z\rangle_1$  und  $|\uparrow z\rangle_2$  hervorzubringen. Dann hat diese Eigenschaft gemäß der Standardauffassung von Propensitäten die Tendenz, die wohldefinierten Eigenschaften  $|\uparrow z\rangle_1$  und  $|\downarrow z\rangle_2$  zu produzieren. Diese Tendenz besitzt eine gewisse Stärke und das verschränkte System somit eine Propensität. Die Propensität ist eine **objektive Wahrscheinlichkeit** eines Systems, mit der es sich auf einer bestimmten Weise verhält. Das System hätte diese Eigenschaft auch dann noch, wenn es das einzige in der Welt wäre und nach der Zustandsreduktion aufhören würde

---

<sup>49</sup> David Lewis hat diesen Kritikpunkt vorausgesehen und daher angenommen, dass, wie er es ausdrückt, die Natur uns gegenüber wohlwollend ist (Lewis (1994b), Abschnitt 3): Damit meint er, dass es nur *ein System* gibt, dass in dem Sinne robust ist, dass es sich unter allen akzeptablen Kriterien der Einfachheit und des Informationsgehalts als das beste auszeichnet. Diese Annahme ist jedoch völlig *ad hoc* und konnte meines Wissens bisher von keinem Humeaner plausibel gemacht werden.

zu existieren. Damit ist die Propensitätstheorie *erstens* eine objektive Wahrscheinlichkeitsinterpretation und lässt sich *zweitens* auch auf Einzelfallwahrscheinlichkeiten anwenden. Sie ermöglicht dadurch eine absolut angemessene Interpretation sowie eine relativ angemessenere **Interpretation des Wahrscheinlichkeitsbegriffs** in der GRW-Interpretation als die Humesche Theorie von Roman Frigg und Carl Hofer.

(5) Der **fünfte Grund** ist, dass diese Annahme nahezu alle klassischen Probleme mit der Analyse von Dispositionen annulliert. Die konditionale Analyse von Dispositionen geht davon aus, dass eine Disposition D *erstens* eine externe Stimulusbedingung S hat und *zweitens* nach deren Eintreten einige Zeit bis zu ihrer Manifestation M benötigt (Choi und Fara 2021, Abschnitt 1.2.). Nahezu alle klassischen Probleme (*Antidotes, Finks, Regress*) mit der Analyse von Dispositionszuschreibungen gehen mit diesen beiden Annahmen einher und werden anhand von makroskopischen Dispositionen diskutiert. Nehmen wir bspw. die Disposition "x ist hochgiftig". Diese lässt sich nach der konditionalen Analyse so verstehen: Wenn viel x eingenommen *würde*, *würde* x nach kurzer Zeit zum Tode führen ( $Dx \leftrightarrow (Sx \square \rightarrow Mx)$ ).

Ein **erstes Problem** mit dieser Analyse ist, dass man nach einer hochgiftigen Substanz sofort ein Gegenmittel einnehmen könnte (*Antidotes*) (Bird 1998). Ein **zweites Problem** ist, dass man eine Mutation in sich tragen mag, die dazu führt, dass wann immer man eine hochgiftige Substanz zu sich nimmt, der Körper ein eigenes Gegenmittel ausstößt (*Finks*) (Martin 1994, Lewis 1997). In beiden Fällen manifestiert sich die Disposition trotz Vorliegen der Stimulusbedingung nicht und die konditionale Analyse erweist sich als falsch. Die Fallbeispiele zeigen auch, dass beide Probleme eng verwandt sind. Sie entstehen gar nicht erst, wenn man sich wie ich darauf verpflichtet, dass die fundamentalen physikalischen Eigenschaften Dispositionen und alle makroskopischen Dispositionen auf diese reduzierbar sind. Die Disposition von **Zustandsverschränkungen** zu Zustandsreduktionen etwa benötigt keine externen Manifestationsbedingungen.<sup>50</sup> Sie manifestiert sich gemäß der GRW-Interpretation vielmehr *spontan* und dann *instantan*. Ähnliches gilt wieder für die quantenphysikalische Eigenschaft der **Ladung**. Die unmittelbare Wirkung der Ladung eines Systems ist nicht das Anziehen oder Abstoßen von anderen Systemen, sondern der Aufbau eines elektromagnetischen Feldes in der unmittelbaren Umgebung, durch das dann andere Systeme an- oder abgestoßen werden. Nichts Externes triggert und nichts kann verhindern, dass eine Ladung ein elektromagnetisches Feld aufbaut oder dass eine Zustandsverschränkung kollabiert (Esfeld 2011c).

Damit stellen sich die klassischen Probleme mit *Antidotes* und *Finks* für meine Position erst gar nicht. Darüber hinaus löst sie auch ein **klassisches Regressproblem** bei der Analyse von Dispositionen: Wenn Eigenschaften Dispositionen sind und wenn Dispositionen immer externe Manifestationsbedingungen

<sup>50</sup> Bird (2007), S. 60 deutet ähnliche Gedanken an.

brauchen, dann scheint es, dass die Manifestationsbedingung b für die Kraft a selbst eine Kraft ist, die eine Manifestationsbedingung c benötigt usw. usf. (Armstrong 1999, Abschnitt 4). Dieses Problem stellt sich nicht für eine Position, welche Dispositionen ohne äußere Manifestationsbedingungen denkt. Die fundamentalen Dispositionen sind reale anstatt bloß potentielle Eigenschaften. Verschränkte Systeme haben beispielsweise *aktual* die Disposition oder Kraft Eigenschaften mit definiten numerischen Werten hervorzubringen; diese Eigenschaft ist nicht bloß eine noch nicht realisierte Möglichkeit. Sie besitzen diese Kraft auch dann, wenn einige von ihnen sie über einen längeren Zeitraum nicht spontan ausüben.<sup>51</sup> Entsprechendes gilt erneut für die Ladung. Damit kann man in meiner Position die **drei wichtigsten Probleme** der klassischen Analyse von Dispositionen lösen. Denn nach ihr lassen sich alle Beschreibungen von makroskopischen Dispositionen auf Beschreibungen von mikroskopischen Dispositionen zurückführen und auf dieser Ebene stellen sich das Problem mit Antidotes, das Problem mit Finks und das Regressproblem erst gar nicht.

(6) Der **sechste und letzte Grund** ist, dass diese Annahme ein Problem für die **Bündelontologie** löst, zumindest was komplexe Objekte betrifft. Lyre schreibt dazu:

„Grundsätzlich muss die Bündelauffassung dann die Tatsache, dass an einem Raumzeitpunkt (oder in einer sehr kleinen, kompakten Raumzeitregion) zahlreiche Eigenschaften offenbar immer ko-präsent und ko-lokalisiert sind, um ein Objektbündel zu konstituieren, als *factum brutum* ansehen [...].“

- Holger Lyre: Quanten-Identität und Ununterscheidbarkeit. In: Cord Friebe, Meinard Kuhlmann, Holger Lyre, Paul M. Näger, Oliver Passon, Manfred Stöckler (Hrsg.): *Philosophie der Quantenphysik. 2. Auflage*. Berlin: Springer Spektrum, S. 96.

Dieses Problem stellt sich nicht, wenn man Eigenschaften als **dispositional** konzipiert. Denn wenn man die starke Kernkraft beispielsweise als Disposition denkt, besteht ihr Wesen darin, Quarks in Hadronenteilchen, wie etwa Neutronen und Protonen, zu binden. Es ist daher nicht nur erklärbar, sondern sogar unausweichlich, dass die Eigenschaften, welche Hadronen konstituieren, zusammen auftreten. Genauso kann man über die Elektromagnetische Wechselwirkung als eine Disposition erklären, weshalb die Eigenschaften, welche Atome und Moleküle konstituieren, zusammen auftreten. Wenn man die Eigenschaften hingegen als **kategorial** konzipiert, ist eine analoge Erklärung nicht möglich. Denn dann ist das, was diese Eigenschaften sind, unabhängig von den kausalen und nomologischen Relationen, in welchen diese stehen. Es ist dann beispielsweise nicht erklärbar, weshalb sie immer dann, wenn sie auftreten, Hadronen- oder Moleküleigenschaften zusammenbinden und nicht etwa plötzlich ganz andere kausale oder nomologische Rollen einnehmen sollten. Man kann hier davon sprechen, dass der Kategorialismus vor einer **materiellen Form des Induktionsproblems** steht (siehe dazu ausführlicher Heinle 2022).

---

<sup>51</sup> Vergleiche meine Definition von dispositionalen Eigenschaften auf S. 18.

#### 4.2.2.2. GRW und Reduktion

Das **Problem (2)** besteht darin, dass die Standard-Quantenphysik einen Holismus induziert, welcher meinem funktionalen Reduktionismus entgegenzustehen scheint. Dagegen lässt sich sagen, dass Holismus und funktionale Reduktion auf diesen Ebenen keine *prinzipiellen* Gegensätze darstellen. Der Holismus kann als eine vertikale und als eine horizontale These über Systeme verstanden werden (Esfeld 2022, Kapitel 1.4.). Der **Holismus als eine horizontale These** besagt Folgendes: Ein System S ist holistisch, genau dann wenn die Teile, welche S konstituieren, bezüglich einiger ihrer konstitutiven Eigenschaften davon ontologisch abhängig sind, dass es andere Teile gibt, mit denen sie auf einer geeigneten Weise arrangiert sind, sodass sie das System S bilden. Die betreffenden Eigenschaften sind mithin relationale Eigenschaften der Teile. Eine **relationale Eigenschaft** ist eine Eigenschaft, die ein Objekt nur abhängig davon besitzt, dass es in Begleitung anderer Objekte auftritt.<sup>52</sup> Diese Relationen bestehen in den irreduziblen Beziehungen der Teile untereinander, welche das Ganze bilden. Die Teile, welche das holistische Ganze bilden, besitzen, kurz gesagt, also einige ihrer Eigenschaften nur innerhalb des Ganzen.

Der **ontische Strukturenrealismus (ORS)** erfüllt diese Definition des Holismus. Er besagt, dass zumindest einige der konstitutiven Eigenschaften der Teile eines Ganzen in Relationen dieser Objekte untereinander bestehen. Aber er beinhaltet nichts darüber, wie weit sich diese Relationen erstrecken (Esfeld 2004). Wenn man den ORS auf die Quantenphysik bezieht und die GRW-Dynamik akzeptiert, dann ist die Ausdehnung der Zustandsverschränkungen mithin **sehr stark begrenzt!** Denn dann reicht eine einzige Zustandsreduktion aus, damit jedes Teilsystem in einer Kette von Teilsystemen mit verschränkten Zuständen einen Zustand mit einem definiten numerischen Wert der betreffenden Eigenschaft einnimmt. Bei Makrosystemen aus enorm vielen Mikrosystemen ist daher zu erwarten, dass diese fast augenblicklich einen Lokalisationsprozess erfahren und auf dieser Grundlage wohldefinierte Eigenschaften erlangen. Der Quanten-Holismus ist daher gemäß der GRW-Interpretation nahezu vollständig auf den mikrophysikalischen Bereich der Welt beschränkt und auch dort auf kleinere Mikrosysteme sehr stark limitiert.

Erinnern wir uns an das **Stufenmodell der Welt**: Dieses zeigt nach meinem Verständnis die Komplexität von Konfigurationen von fundamentalen physikalischen Eigenschaften an. Ein komplexes System (wie Schrödingers Katze) besteht aus *sehr vielen* fundamentalen physikalischen Eigenschaften. Es unterliegt als Ganzes in der Regel keinen Superpositionen und besitzt seine konstitutiven Eigenschaften deshalb auch unabhängig von anderen Systemen. Deshalb ist es unproblematisch, ein komplexes System wie ein Lebewesen aus der Welt "herauszupicken" und in eine sehr komplexe Konfiguration von fundamentalen physikalischen Eigenschaften zu lokalisieren (**Problem (2)**). Es ist nur nicht möglich, die lokalen Relationen der Zustandsverschränkung weiter zu

---

<sup>52</sup> Vallentyne (1997), Langton und Lewis (1998) sowie Lewis (2001).

reduzieren, da sie nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand primitiv sind (**Problem (1)**). Zwar besitzen die Mikrosysteme nach einer Zustandsreduktion nur "quasi-klassische" Eigenschaften und gehen sofort wieder (zeitlich und räumlich stark begrenzte) Verschränkungen ein. Aber das sind **keine prinzipiellen Probleme** für meinen Reduktionismus: Denn ich sehe synchrone Theorienreduktionen von einer höherstufigen auf eine niederstufige Theorie als genauso **approximativ** an wie diachrone Theorienreduktionen von einer älteren auf eine neuere Theorie.<sup>53</sup> Eine höherstufige Beschreibung (Theorie, Gesetz) ist nach meinem Verständnis lediglich eine Generalisierung über die geteilten Eigenschaften (Dispositionen) der Realisierer, welche kausal relevant für den Gegenstandsbereich dieser Beschreibung (dieses Gesetzes, dieser Theorie) sind. Es ist danach kein Problem für die Rückführung von höherstufigen auf niederstufigere Beschreibungen, wenn wir erstere Eigenschaften als wohldefiniert und klassisch und letztere als ein wenig unscharf oder nur "annähernd-klassisch" auffassen.

Der Quanten-Holismus steht somit keineswegs einer funktionalen Reduktion von höherstufigen Eigenschaften auf physikalische Eigenschaften entgegen. Inwiefern ein solcher Reduktionismus erfolgreich sein kann, ist keine Frage der Definition oder Gültigkeit des Quanten-Holismus, sondern vielmehr eine Frage seiner **Reichweite** (Esfeld 2008, Kapitel 4.2.). Wenn man die GRW-Dynamik o.Ä. akzeptiert und Reduktionen als approximativ auffasst, dann hindert uns der Quanten-Holismus nicht daran, höherstufige Eigenschaften auf niederstufigen Eigenschaften zu reduzieren. Man reduziert sie dann eben z.T. auf kleinere Strukturen und nicht auf die intrinsischen Eigenschaften der Relata dieser Strukturen.

Der Holismus in Form des OSR und der funktionale Reduktionismus stehen sich nicht nur nicht entgegen, sie **ergänzen** sich sogar. Kommen wir dafür noch ein letztes Mal auf Schrödingers Katze zurück: Nach der funktionalen Definition von Leben ist nicht jede Teilchenkonfigurationen, welche die geometrische Figur und Zusammensetzung einer Katze hat, eine Katze. Genauso ist nach der funktionalen Definition von Wasser nicht jede Konfiguration von H<sub>2</sub>O-Molekülen Wasser. Um ein Lebewesen oder Wasser zu sein, muss sich eine Teilchenkonfiguration vielmehr so verhalten, wie es für Leben oder Wasser charakteristisch ist. Mithin ist das der entscheidende Punkt dafür, dass etwas eine funktionale Definition erfüllt. Daraus folgt, dass wenn man die Eigenschaft wässrig oder lebendig zu sein in bestimmten Konfigurationen lokalisiert, diese Eigenschaften nicht den Konfigurationen als solche innewohnt. Wässrig zu sein oder lebendig zu sein sind keine intrinsischen Eigenschaften von Molekülkonfigurationen. Es sind vielmehr *erstens* **relationale Eigenschaften**, da die Relationen zwischen molekularen Eigenschaften untereinander und zu ihrer Umwelt<sup>54</sup> auf eine bestimmte Weise

---

<sup>53</sup> Vergleiche S. 13 – 14; 16 Punkt 5 und Fußnote 38 in dieser Arbeit.

<sup>54</sup> Diese Form von relationalen Eigenschaften ist jedoch nicht hinreichend für Holismus. Siehe ausführlich Esfeld (2002), Kapitel 1.3.

angeordnet sein müssen, damit diese *qua Konfiguration* Wasser oder eine Katze sein können. Und es sind *zweitens* **kausale Eigenschaften**, weil es eine notwendige und hinreichende Bedingung für eine Konfigurationen von Molekülen ist, dass diese *qua Konfiguration* bestimmte Wirkungen hervorbringen muss, damit diese eine funktionale Definition erfüllen kann.

Abstrakt gesprochen bedeutet eine höherstufige Eigenschaft funktional zu reduzieren also, sie in einem **kausal-relationalen Netz zu lokalisieren**. Das ergänzt sich sehr gut mit dem moderaten OSR, nach dem es zwar Objekte gibt, diese aber nur in dem Sinne existieren, dass sie Relata in bestimmten Relationen sind.<sup>55</sup> Und es passt noch besser zum OSR in Kombination mit dem Dispositionalen Essenzialismus, wie wir ihn in Abschnitt 4.2.2.2.1. eingeführt haben. Denn nach diesem sind die fundamentalen Eigenschaften nicht nur *relational*, sondern auch *kausal* insofern sie die kausale Kraft haben, Eigenschaften mit definiten numerischen Werten hervorzubringen. Damit kann man nach dem funktionalen Reduktionismus höherstufige Eigenschaften in kausal-relationalen Eigenschaften lokalisieren und nach dem dispositionalen OSR gibt es auf einer fundamentalen Ebene nur oder vorwiegend kausal-relationale Eigenschaften.

Mein Lösungsvorschlag für das Problem (2) und mein Reduktionismus allgemein sind allerdings **nicht auf den OSR beschränkt**. Man kann den Holismus auch als eine **vertikale These** verstehen. Danach ist ein System S holistisch, genau dann, wenn seine Konstituenten einige ihrer konstitutiven Eigenschaften nur zusammengenommen besitzen. Letztendlich kommen diese Eigenschaften nur dem Ganzen in Form einer intrinsischen Eigenschaft zu (Esfeld 2002, Kapitel 1.4.). Auch in diesem Fall nimmt das verschränkte Ganze fast nie makroskopische Ausmaße an, spontane Zustandsverschränkungen verhindern dies. Generell ist, wenn man eine sehr komplexe Konfiguration aus vielen fundamentalen physikalischen Eigenschaften betrachtet, *das Ganze* gemäß GRW fast nie in einer Superposition. Deshalb ist es auch unproblematisch, *dieses Ganze* mit einer Konfiguration von seinen *sehr vielen* fundamentalen physikalischen Eigenschaften zu identifizieren.

---

<sup>55</sup> Lyre (2009a), S. 88 und Lyre (2012a), Seite 9 und Fußnote 2 macht denselben Punkt. Lyre (2012b) behauptet scheinbar konträr dazu, dass der ORS nicht auf die Einzelwissenschaften übertragen werden muss. Zu alledem passt auch gut, dass wir bereits bei der Untersuchung des harmonischen Oszillators festgelegt haben, dass die geteilten Eigenschaften von verschiedenen zusammengesetzten Realisierern bei grundlegenden Theorien meist relationale Eigenschaften sind (Vgl. S. 14 in dieser Arbeit).

## 5. Schlusswort

Die **Leitfrage** der vorliegenden Arbeit war die nach dem Verhältnis zwischen dem Gegenstandsbereich der fundamentalen Physik und dem Gegenstandsbereich der anderen erfahrungswissenschaftlichen Theorien. Diese Leitfrage besitzt, wie wir festgestellt haben, zwei Dimensionen. In der Metaphysik der Wissenschaften war lange Zeit eine Position namens *nichtreduktiver Physikalismus* dominant, welche die ontische Dimension dieser Frage bejaht und die epistemische verneint. Die Hauptmotivation zur Verneinung der letzten Frage ist das **Problem der multiplen Realisierbarkeit**.

Ich habe in der vorliegenden Arbeit an erster Stelle einen **Lösungsvorschlag** für dieses Problem entwickelt und durch unabhängige philosophische und empirische Argumente untermauert. Ein MR-Fall, so zunächst mein Analysevorschlag, besteht dann, wenn eine funktionale Eigenschaft durch Konfigurationen von Vorkommnissen physikalischer Eigenschaften realisierbar ist, die deshalb unter verschiedene physikalische Typen fallen, weil sie physikalisch verschieden zusammengesetzt sind. Der **entscheidende Schritt** in der Argumentation für meinen Lösungsvorschlag ist dann, sowohl die realisierten funktionalen Eigenschaften als auch die physikalischen Eigenschaften der Realisierer als kausale Eigenschaften anzusehen (**Annahme 1**). Dieser Schritt ermöglicht es mir, eine höherstufige Eigenschaft im Gegenstandsbereich der Einzelwissenschaft mit einer Wirkung zu identifizieren, welche Konfigurationen von niederstufigen Eigenschaften im Gegenstandsbereich der fundamentalen Physik *qua Konfiguration* besitzen (**Annahme 2**). Diese Typen-Identifikation und der damit einhergehende Typen-Reduktionismus werden in keiner Weise dadurch beeinträchtigt, wenn die Konfigurationen von niederstufigen Eigenschaften type-verschieden zusammengesetzt sind. In diesem Sinne sind Typen-Reduktionismus und multiple Realisierbarkeit miteinander **kompatibel**.

Dieser Lösungsvorschlag funktioniert aber nur unter der Annahme, dass die fundamentalen physikalischen Eigenschaften essenzielle Dispositionen zum Hervorbringen bestimmter Effekte sind. Denn kategoriale Eigenschaften können beliebige kausale Rollen einnehmen und damit beliebige höherstufige Eigenschaften realisieren. Die Annahme eines fundamentalen Dispositionalen Essenzialismus lässt sich im Rahmen der GRW-Interpretation der Quantenphysik gut begründen. Ein großer Vorteil der vorliegenden Arbeit besteht dann darin, dass sie in ihrem Gesamtkontext ein **enorm kohärentes Bild von der Welt** zeichnet. Das heißt sie vereint mehrere Überzeugungen, die miteinander konsistent sind und sich gegenseitig stützen. Hier sind einige Beispiele:

*Erstens* vereint sie unsere Überzeugungen aus der Quantenphysik mit unserer Alltagsontologie und auch der Ontologie von klassischen Theorien von Systemen mit **definiten numerischen Eigenschaftswerten**. (S. 40f.). *Zweitens* vereint sie unsere Überzeugungen aus der Quantenphysik mit unserer Alltagserfahrung, dass **Kausalität** etwas Reales ist (S. 41ff.). *Drittens* vereint sie unsere

Überzeugungen aus der fundamentalen Physik mit unserer Alltagserfahrung von der **Gerichtetheit der Zeit** (S. 44f.).<sup>56</sup> *Viertens* vereint sie unsere Konzeption der höherstufigen Eigenschaften wie wässrig-sein oder ein-bestimmtes-Gen sein als funktional mit unserer Konzeption der fundamentalen physikalischen Eigenschaften (Abschnitt 3.4.1.). *Fünftens* vereint sie die Grundüberzeugung des Entitätenrealismus, nach welchem wir einen epistemischen Zugang zu theoretischen Entitäten nur durch unsere kausalen und nomologischen Beziehungen zu diesen besitzen, mit denen des Strukturrealismus.<sup>57</sup> Er vereint damit die zwei prominentesten Positionen innerhalb des selektiven wissenschaftlichen Realismus. *Sechstens* vereint sie den Anspruch der **fundamentalen Physik** eine universelle und allgemeingültige Disziplin zu sein mit dem Anspruch der anderen **Erfahrungswissenschaften** reale und homogene kausale Muster (Patterns) zu entdecken und zu beschreiben (Abschnitt 3.5.). *Siebtens und letztens* vereint sie die Überzeugungen des **reduktiven Funktionalismus** mit denen eines **dispositionalen OSR** (S. 51). Diesen letztens Punkt finde ich persönlich besonders interessant! Denn der OSR ist eine der, wenn nicht die populärste Position zur Ontologie der fundamentalen physikalischen Theorien.<sup>58</sup> Und der Funktionalismus ist die dominante Position zum Verhältnis der Gegenstandsbereiche der Erfahrungswissenschaften. Es dürfte daher ein vitales Interesse innerhalb der Forschergemeinde bestehen, mögliche Beziehungen zwischen diesen beiden naturphilosophischen Positionen weiter auszuloten.<sup>59</sup>

---

<sup>56</sup> Der amerikanische Philosoph Wilfrid Sellars unterschied sehr prominent zwischen einem wissenschaftlichen und einem manifesten Weltbild (Sellars 1962). Wenn man es als eine Aufgabe der Naturphilosophie ansieht, diese beiden Weltbilder miteinander zu versöhnen, kann man die Punkte eins bis drei als einen möglichen Beitrag zur Bewältigung dieser Aufgabe ansehen.

<sup>57</sup> Betrachte für eine Vereinigung in diesem Sinne den Semirealismus von Anjan Chakravartty (1998; 2007; 2017, Kapitel 4).

<sup>58</sup> Der ontische Strukturrealismus wird nicht nur in Bezug auf die Ontologie der Quantenmechanik vertreten (z.B. French und Ladyman 2003, Esfeld 2004), sondern z.B. auch in Bezug auf die Ontologie der Allgemeinen Relativitätstheorie (z.B. Dorato 2000, Stachel 2002) und die Ontologie der Eichtheorien (z.B. Lyre (2004a, b).

<sup>59</sup> Die Debatte um das Verhältnis zwischen OSR und den Einzelwissenschaften steht generell noch am Anfang. Erste ausführlichere Debattenbeiträge finden sich in Ladyman und Ross (2007, Kapitel 4); Esfeld und Sachse (2010, Kapitel 2.4.) und French (2014, Kapitel 12). Zum Verhältnis zwischen Funktionalismus und OSR gibt es meines Wissens nach bisher überhaupt keine längeren Untersuchungen.

## 6. Literaturverzeichnis

Albert, David Z. (1996). Elementary quantum metaphysics. In: James T. Cushing, Arthur Fine und Sheldon Goldstein (Hrsg.): *Bohmian mechanics and quantum theory: an appraisal*. Dordrecht: Kluwer, S. 277 – 284.

Albert, David Z. und Loewer, Barry (1996). Tails of Schrödinger's Cat. In: Rob K. Clifton (Hrsg.): *Perspectives on Quantum Reality*. Dordrecht: Kluwer, S. 81 – 91.

Albert, David Z. (2000). *Time and Chance*. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press.

Albert, David Z. (2013). Wave Function Realism. In: Alyssa Ney und David Z. Albert (Hrsg.): *The Wave Function: Essays on the Metaphysics of Quantum Mechanics*. Oxford: Oxford University Press, S. 52 – 57.

Albert, David Z. (2015). *After Physics*. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press.

Antony, Louise M. (2008). Multiple Realization: Keeping It Real. In: Jakob Hohwy und Jesper Kallestrup (Hrsg.): *Being Reduced: New Essays on Reduction, Explanation, and Causation*. Oxford: Oxford University Press, S. 164 – 175.

Armstrong, David M. (1999). The Causal Theory of Properties: Properties according to Shoemaker, Ellis, and Others. *Philosophical Topics* 26(1/2), S. 25 - 37.

Baker, David J. (2007). Measurement Outcomes and Probability in Everettian Quantum Mechanics. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 38(1), S. 153 - 169.

Barker, Stephen (2009). Dispositional Monism, Relational Constitution and Quiddities. *Analysis* 69(2), S. 242 - 250.

Beckermann, Ansgar (2008). *Analytische Einführung in die Philosophie des Geistes*. Berlin: De Gruyter.

Bell, John (2004). *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics. Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bickle, John (2003). *Philosophy and Neuroscience: A Ruthlessly Reductive Account*. Dordrecht: Kluwer.

Bird, Alexander (1998). Dispositions and Antidotes. *The Philosophical Quarterly* 48(191), S. 227 - 234.

Bird, Alexander (2005). The Dispositionalist Conception of Laws. *Foundations of Science* 10(4), S. 353 – 370.

Bird, Alexander (2007). *Nature's Metaphysics: Laws and Properties*. Oxford: Oxford University Press.

Black, Robert (2000). Against quidditism. *Australasian Journal of Philosophy* 78(1), S. 87 – 104.

Blackburn, Simon (1990). Filling in Space. *Analysis* 50(2), S. 62 – 65.

- Block, Ned und Stalnaker, Robert (1999). Conceptual Analysis, Dualism, and the Explanatory Gap. *The Philosophical Review* 108(1), S. 1 - 46.
- Bohm, David (1951). *Quantum theory*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Bohm, David und Hiley, Basil (1993). *The Undivided Universe. An Ontological Interpretation of Quantum Theory*. London: Routledge.
- Brandon, Robert N. und Burian, Richard M. (1984). *Genes, Organisms, Populations: Controversies over the Units of Selection*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.
- Briceño, Sebastian und Mumford, Stephen (2016). Relations all the way Down? Against Ontic Structural Realism. In: Anna Marmodoro und David Yates (Hrsg.): *The Metaphysics of Relations*. Oxford: Oxford University Press. S. 198 – 217.
- Cao, Tian Yu (2003). Can We Dissolve Physical Entities into Mathematical Structures? *Synthese* 136(1), S. 57 - 71.
- Carrier, Martin (2009). *Raum-Zeit*. Berlin: De Gruyter.
- Cartwright, Nancy (1999). *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chalmers, David J. (1995). Facing Up to the Problem of Consciousness. *Journal of Consciousness Studies* 2(3), S. 200 - 219.
- Chalmers, David J. (1996). *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- Chalmers, David J. (2009). The Two-Dimensional Argument against Materialism. In: Brian P. McLaughlin und Sven Walter (Hrsg.): *Oxford Handbook to the Philosophy of Mind*. Oxford: Oxford University Press, S. 313 – 338.
- Chakravartty, Anjan (1998). Semirealism. *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 29(3), S. 391 - 408.
- Chakravartty, Anjan (2007). *A Metaphysics for Scientific Realism: Knowing the Unobservable*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chakravartty, Anjan (2017). *Scientific Ontology: Integrating Naturalized Metaphysics and Voluntarist Epistemology*. Oxford: Oxford University Press.
- Choi, Sungho und Fara, Michael (2021). Dispositions. In: Edward N. Zalta (Hrsg.): *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. URL = < <https://plato.stanford.edu/entries/dispositions/>>. Zuletzt abgerufen am 26.03.2021 um 13:03 Uhr.
- Cleland, Carol E. (1984). Space: An Abstract System of Non-Supervenient Relations. *Philosophical Studies* 46(1), S. 19 – 40.
- Callender, Craig (1999). Reducing Thermodynamics to Statistical Mechanics: The Case of Entropy. *The Journal of Philosophy* 96(7), S. 348 - 373.
- Davidson, Donald (1970). Mental Events. In: Lawrence Forster und J. W. Swanson (Hrsg.): *Experience and theory*. Amherst: University of Massachusetts Press, S. 79 – 101.
- Dennett, Daniel (1991). Real Patterns. *The Journal of Philosophy* 88(1), S. 27 - 51.

- Deutsch, David (1999). Quantum Theory of Probability and Decisions. *Proceedings: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 455(1988), S. 3129 - 3137.
- Dorato, Mauro (2000). Substantivalism, Relationism and Structural Spacetime Realism. *Foundations of Physics* 30(10), S. 1605 - 1628.
- Dorato, Mauro (2006). Properties and Dispositions: Some Metaphysical Remarks on Quantum Ontology. In: Angelo Bassi, Detlef Dürr, Tullio Weber und Nino Zanghi (Hrsg.): *Quantum mechanics. American Institute of Physics. Conference Proceedings, Vol. 844*. New York: Melville, S. 139 – 157.
- Dorato, Mauro (2007). Dispositions, relational properties, and the quantum world. In: Max Kistler und Bruno Gnassounou (Hrsg.): *Dispositions and causal powers*. Aldershot: Ashgate, S. 249 - 270.
- Dorato, Mauro (2010). Do Dispositions and Propensities Have a Role in the Ontology of Quantum Mechanics? Some Critical Remarks. In: Mauricio Suárez (Hrsg.): *Probabilities, Causes and Propensities in Physics*. Berlin: Springer, S. 197 – 219.
- Dorato, Mauro (2017). Dispositions, relational properties and the quantum world. Bruno Gnassounou (Hrsg.): *Dispositions and Causal Powers*. London: Routledge, S. 249 – 270.
- Dorato, Mauro und Esfeld, Michael (2010). GRW as an Ontology of Dispositions. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 41(1), S. 41 - 49.
- Dretske, Fred (1981). *Knowledge and the Flow of Information*. Oxford: Basil Blackwell.
- Dretske, Fred (1989). Reasons and Causes. *Philosophical Perspectives* 3, S. 1 – 15.
- Dretske, Fred (1995). *Naturalizing the Mind*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.
- Dummsday, Travis (2019). *Dispositionalism and the Metaphysics of Science*. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press.
- Einstein, Albert; Podolsky, Boris und Rosen, Nathan (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review* 47, S. 777 – 780. Deutsch in: K. Baumann und R. U. Sexl (Hrsg.): *Die Deutungen der Quantentheorie*. Braunschweig: Vieweg, S. 80 – 86.
- Endicott, Ronald P. (1998). Collapse of the New Wave. *Journal of Philosophy* 95(2), S. 53 – 72.
- Engelhard, Kristina (2017). Dispositionale und Kategorische Eigenschaften. In: Markus Schrenk (Hrsg.): *Handbuch Metaphysik*. Heidelberg: J.B. Metzler, S. 110 - 116.
- Esfeld, Michael (2002). *Holismus in der Philosophie des Geistes und in der Philosophie der Physik*. Berlin: Suhrkamp Taschenbuch Verlag.
- Esfeld, Michael (2004). Quantum Entanglement and a Metaphysics of Relations. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 35(4), S. 601 - 617.
- Esfeld, Michael (2005). The Causal Homogeneity of Biological Kinds. *History and Philosophy of the Life Sciences* 27(3/4), S. 421 - 433.
- Esfeld, Michael und Sachse, Christian (2007). Theory Reduction by Means of Functional Sub-types. *International Studies in the Philosophy of Science* 21(1), S. 1 – 17.

- Esfeld, Michael (2008a). *Naturphilosophie als Metaphysik der Natur*. Berlin: Suhrkamp Taschenbuch Verlag.
- Esfeld, Michael (2008b). Mentale Verursachung und die neue Reduktionismus-Debatte in der Philosophie des Geistes. In: Patrick Spät (Hrsg.): *Zur Zukunft der Philosophie des Geistes*. Münster: Mentis, S. 25 – 40.
- Esfeld, Michael (2009). The Modal Nature of Structures in Ontic Structural Realism. *International Studies in the Philosophy of Science* 23(2), S. 179 – 194.
- Esfeld, Michael (2010). Physics and Causation. *Foundations of Physics* 40(9-10), S. 1597 - 1610.
- Esfeld, Michael und Sachse, Christian (2010). *Kausale Strukturen – Einheit und Vielfalt in der Natur und den Naturwissenschaften*. Berlin: Suhrkamp Taschenbuch Verlag.
- Esfeld, Michael (2011a). *Einführung in die Naturphilosophie*. Darmstadt: WBG-Verlag.
- Esfeld, Michael (2011b). Funktion. In: Armin G. Wildfeuer and Petra Kolmer (Hrsg.): *Neues Handbuch philosophischer Grundbegriffe*. Freiburg (Breisgau): Alber, S. 842 – 854.
- Esfeld, Michael (2011c). Wozu Dispositionen? Einleitung zum Kolloquium "Die Renaissance von Dispositionen in der gegenwärtigen Naturphilosophie". In: Carl Friedrich Gethmann (Hrsg.): *Lebenswelt und Wissenschaft. Deutsches Jahrbuch Philosophie* 2. Hamburg: Meiner, S. 433 – 439.
- Esfeld, Michael und Sachse, Christian (2011). Identität statt Emergenz – Plädoyer für einen konservativen Reduktionismus. In: Jens Greve und Annette Schnabel (Hrsg.): *Emergenz: Zur Analyse und Erklärung komplexer Strukturen*. Berlin: Suhrkamp, S. 1 – 17.
- Esfeld, Michael und Lam, Vincent (2011). Ontic structural realism as a metaphysics of objects. In: Alisa and Peter Bokulich (Hrsg.): *Scientific structuralism*. Dordrecht: Springer, S. 143 - 159.
- Esfeld, Michael (2012). Causal Realism. In: Dennis Dieks, Wenceslao J. Gonzalez, Stephan Hartmann, Michael Stöltzner und Marcel Weber (Hrsg.): *Probabilities, laws, and structures. The philosophy of science in a European perspective. Volume 3*. Dordrecht: Springer, S. 157 - 168.
- Esfeld, Michael; Sachse, Christian und Soom, Patrice (2012). Marrying the Merits of Nagelian Reduction and Functional Reduction. *Acta Analytica* 27(3), S. 217 - 230.
- Esfeld, Michael; Lazarovici, Dustin; Lam, Vincent und Hubert, Mario (2017). The Physics and Metaphysics of Primitive Stuff. *British Journal for the Philosophy of Science* 68(1), S. 133 – 161.
- Esfeld, Michael und Deckert, Dirk-André (2018). *A Minimalist Ontology of the Natural World*. London: Routledge.
- Esfeld, Michael (2018). Collapse or no collapse? What is the best ontology of quantum mechanics in the primitive ontology framework? In: Shan Gao (Hrsg.): *Collapse of the wave function*. Cambridge (Massachusetts): Cambridge University Press, S. 167 - 184.
- Esfeld, Michael (2019). *Wissenschaft und Freiheit*. Berlin: Suhrkamp Taschenbuch Verlag.
- Esfeld, Michael (2021). Against the Disappearance of Spacetime in Quantum Gravity. *Synthese* 199(2), S. 355 - 369.
- Everett, Hugh (1957). "Relative state" formulation of quantum mechanics. *Review of Modern Physics* 29, S. 454 – 462.

- Fazekas, Peter (2009). Reconsidering the Role of Bridge Laws In Inter-Theoretical Reductions. *Erkenntnis* 71(3), S. 303 - 322.
- Fetzer, James H. (1981). *Scientific Knowledge: Causation, Explanation, and Corroboration*. Dordrecht: Reidel.
- Fodor, Jerry (1974). Special Sciences (Or: The Disunity of Science as a Working Hypothesis). *Synthese* 28(2), S. 97 - 115.
- Fodor, Jerry (1987). *Psychosemantics*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.
- Fodor, Jerry (1990). *A Theory of Content and Other Essays*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.
- Fodor, Jerry (1997). Special Sciences: Still Autonomous After All These Years. *Philosophical Perspectives* 11, S. 149 - 163.
- French, Steven (2014). *The Structure of the World. Metaphysics and Representation*. Oxford: Oxford University Press.
- Frege, Gottlob (1892). Über Sinn und Bedeutung. *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik* 100, S. 25 – 50.
- French, Steven (1989). Individuality, Supervenience and Bell's Theorem. *Philosophical Studies* 55(1), S. 1 – 22.
- French, Steven and Ladyman, James (2003). Remodelling Structural Realism: Quantum Physics and the Metaphysics of Structure. *Synthese* 136(1), S. 31 – 56.
- French, Steven (2014). *The Structure of the World: Metaphysics and Representation*. Oxford: Oxford University Press.
- Friebe, Cord (2018). Messproblem, Minimal- und Kollapsinterpretationen. In: Cord Friebe, Meinard Kuhlmann, Holger Lyre, Paul M. Näger, Oliver Passon, Manfred Stöckler (Hrsg.): *Philosophie der Quantenphysik. 2. Auflage*. Berlin: Springer Spektrum, S. 43 – 78.
- Frigg, Roman und Hoefer, Carl (2007). Probability in GRW theory. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 38(2), S. 371 – 389.
- Ghirardi, Gian Carlo; Rimini, Alberto und Weber, Tullio (1986). Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems. *Physical Review D: Particles and fields* 34(2), S. 470 – 491.
- Ghirardi, Gian Carlo (2005). *Sneaking a look at God's cards. Unraveling the mysteries of quantum mechanics*. Translated by Gerald Malsbary. Princeton: Princeton University Press.
- Ghirardi, Gian und Bassi, Angelo (2020). Collapse Theories. In: Edward N. Zalta (Hrsg.): *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. URL = <https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/qm-collapse/>. Zuletzt abgerufen am: 12.03.2021 um 19:55 Uhr.
- Giere, Ronald N. (1973). Objective Single-Case Probabilities and the Foundations of Statistics. *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics* 74, S. 467 – 483.

Gillet, Carl und Rives, Bradley (2005). The non-existence of determinables: or, a world of absolute determinates as default hypothesis. *Noûs* 39(3), S. 483 – 504.

Gillet, Carl und Aizawa, Kenneth (2009). Levels, Individual Variation and Massive Multiple Realization in Neurobiology. In John Bickle (Hrsg.): *The Oxford Handbook of Philosophy and Neuroscience*. Oxford: Oxford University Press, S. 539 – 582.

Gillies, Donald (2000). *Philosophical theories of probability*. London: Routledge.

Goldstein, Sheldon (2001). Boltzmann's Approach to Statistical Mechanics. In: Jean Bricmont, Giancarlo Ghirardi, Detlef Dürr, Francesco Petruccione, Maria Carla Galavotti und Nino Zanghi (Hrsg.): *Chance in Physics Foundations and Perspectives*. Dordrecht: Springer, S. 39 - 54.

Gryb, Sean (2020). *New Difficulties for the Past Hypothesis*. [Preprint]

Haag, Rudolf (1992). *Local Quantum Physics*. Berlin: Springer.

Hartmann, Stephan; Frigg, Roman und Foad, Dizadji-Bahmani. Who's Afraid of Nagelian Reduction? *Erkenntnis* 73(3), S. 393 - 412.

Heil, John (2003). *From a Ontological Point of View*. Oxford: Oxford University Press.

Heinle, Johannes (2022). Das Super-Wunderargument.

[https://www.researchgate.net/publication/362965970\\_Das\\_Super-Wunderargument\\_fruhe\\_Version](https://www.researchgate.net/publication/362965970_Das_Super-Wunderargument_fruhe_Version).  
Abgerufen am 26.08.2022.

Heisenberg, Werner (1936). Prinzipielle Fragen der modernen Physik. In: Helmut Rechenberg, Hans-Peter Dürr und Walter Blum (Hrsg.): *Physik und Philosophie*. Stuttgart: Hirzel.

Heisenberg, Werner (1984). *Gesammelte Werke / Collected Works. Abteilung / Series C: Allgemeinverständliche Schriften / Philosophical and Popular Writings. Band I: Physik und Erkenntnis 1927 – 1955*. München: Piper.

Hofer, Carl (2006). The Third Way on Objective Probability: A Sceptic's Guide to Objective Chance. *Mind* 116(463), S. 549 - 596.

Hooker, Cliff A. (1981a). Towards a General Theory of Reduction. Part 1: Historical and Scientific Setting. *Dialogue* 20(1), S. 38 – 59.

Hooker, Cliff A. (1981b). Towards a General Theory of Reduction. Part II: Identity in Reduction. *Dialogue* 20(2), S. 201 - 236.

Horgan, Terence (1993). From Supervenience to Superdupervenience: Meeting the Demands of a Material World. *Mind* 102(408), S. 555 – 586.

Howard, Don (1985). Einstein on Locality and Separability. *Studies in History and Philosophy of Science* 16, S. 171 – 201.

Howard, Don (1989). Holism, Separability, and the Metaphysical Implications of the Bell Experiments. In: James T. Cushing und Ernan McMullin (Hrsg.): *Philosophical Consequences of Quantum Theory. Reflections on Bell's Theorem*. Notre Dame: University of Notre Dame Press, S. 224 – 253.

- Howard, Don (1997). Space-time and Separability, and the Physical Implications of the Bell Experiments. In: A Van Der Merwe, Franco Selleri und Gino Tarozzi (Hrsg.): *Bell's Theorem and the Foundations of Modern Physics*. Singapore: World Scientific, S. 306 – 314.
- Humphreys, Paul (1985). Why Propensities Cannot be Probabilities. *The Philosophical Review* 94(4), S. 557 - 570.
- Humphreys, Paul (1989). *The Chances of Explanation. Causal Explanation in the Social, Medical, and Physical Sciences*. Princeton: Princeton University Press.
- Hüttemann, Andreas (2003). *What's Wrong with Microphysicalism?* London: Routledge.
- Hüttemann, Andreas (2005). Explanation, emergence, and quantum entanglement. *Philosophy of Science* 72(1), S. 114 – 127.
- Hüttemann, Andreas (2017). Physikalismus, Materialismus und Naturalismus. In: Markuns Schrenk (Hrsg.): *Handbuch Metaphysik*. Stuttgart: Metzler, S. 292 – 298.
- Jackson, Frank (1994). Armchair Metaphysics. In: Michaelis Michael, John O'Leary-Hawthorne (Hrsg.): *Philosophy in Mind - The Place of Philosophy in the Study of Mind*. Dordrecht: Kluwer, S. 23 – 42.
- Jackson, Frank (1998). *From Metaphysics to Ethics. A Defense of Conceptual Analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- Kant, Immanuel (1781). *Die Kritik der reinen Vernunft*. Köln: Anaconda Verlag.
- Kim, Jaegwon (1976). Events as Property Exemplifications. In: Myles Brand, Douglas Walton (Hrsg.): *Action Theory*. Dordrecht: Reidel, S. 159 – 177.
- Kim, Jaegwon (1992). Multiple Realization and the Metaphysics of Reduction. *Philosophy and Phenomenological Research* 52(1), S. 1 - 26.
- Kim, Jaegwon (1993). *Supervenience and Mind: Selected Philosophical Essays*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kim, Jaegwon (1998). *Mind in a physical world. An Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.
- Kim, Jaegwon (1999). Making Sense of Emergence. *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition* 95(1/2), S. 3 - 36.
- Kim, Jaegwon (2005). *Physicalism, or something near enough*. Princeton: Princeton University Press.
- Kim, Jaegwon (2008). Reduction and Reductive Explanation: Is one possible without the other? In: Jakob Hohwy und Jesper Kallestrup (Hrsg.): *Being Reduced: New Essays on Reduction, Explanation, and Causation*. Oxford: Oxford University Press, S. 93 – 114.
- Kripke, Saul (1980). *Naming and Necessity*. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press.
- Ladyman, James und Ross, Don (2007). *Every thing must go: Metaphysics naturalized*. Oxford: Oxford University Press.
- Langton, Rae und Lewis, David (1998). Defining 'Intrinsic'. *Philosophy and Phenomenological Research* 58(2), S. 333 - 345.

- Laurence, Stephen und Margolis, Eric (2003). Concepts and Conceptual Analysis. *Philosophy and Phenomenological Research* 67(2), S. 253 - 282.
- Lazarovici, Dustin; Esfeld, Michael; Hubert, Mario und Dürr, Detlef (2013). The Ontology of Bohmian Mechanics. *The British Journal for the Philosophy of Science* 65(4), S. 773 - 796.
- Lazarovici, Dustin und Reichert, Paula (2015). Typicality, Irreversibility and the Status of Macroscopic Laws. *Erkenntnis* 80(4), S. 689 – 716.
- Lazarovici, Dustin und Reichert, Paula (2020). Arrow of Time without a Past Hypothesis. In: Valia Allori (Hrsg.): *Statistical Mechanics and Scientific Explanation*. Singapur: WSPC, S. 343 – 386.
- Lehmkuhl, Dennis (2008). Mass-energy-momentum in general relativity. Only there because of spacetime? *The British Journal for the Philosophy of Science* 62(3), S. 453 - 488.
- Levine, Joseph (1983). Materialism and Qualia: The Explanatory Gap. *Pacific Philosophical Quarterly* 64(4), S. 354 – 361.
- Levine, Joseph (1993). On Leaving Out What It's Like. In: Martin Davies und Glyn W. Humphreys: *Consciousness. Psychological and Philosophical Essays*, S. 121 - 136.
- Lewis, David (1966). An Argument for the Identity-Theory. *Journal of Philosophy* 63(1), S. 17 – 25.
- Lewis, David (1969). Art, Mind, and Religion. *Journal of Philosophy* 66(1), S. 22 - 27.
- Lewis, David (1970). How to define theoretical terms. *Journal of Philosophy* 67(13), S. 427 - 446.
- Lewis, David (1972). Psychophysical and theoretical identifications. *Australasian Journal of Philosophy* 50(3), S. 249 - 258.
- Lewis, David (1977). Eine Argumentation für die Identitätstheorie. In: Ansgar Beckersmann (Hrsg.): *Analytische Handlungstheorie. Band 2. Handlungserklärungen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 398 – 411.
- Lewis, David (1980a). Mad pain and Martian pain. In Ned Block (Hrsg.): *Readings in the Philosophy of Psychology*. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press, S. 216 - 222.
- Lewis, David (1980b). A subjectivist's guide to objective chance. In: Richard C. Jeffrey (Hrsg.): *Studies in Inductive Logic and Probability, Volume II*. Berkeley: University of California Press, S. 263 – 293. Wieder abgedruckt in: David Lewis (1986). *Philosophical papers, Vol. 2*. Oxford: Oxford University Press, S. 83 – 133.
- Lewis, David (1983). New Work for a Theory of Universals. *Australasian Journal of Philosophy* 61(4), S. 343 – 377.
- Lewis, David (1986). *Philosophical papers, Vol. 2*. Oxford: Oxford University Press.
- Lewis, David (1994a). Reduction of mind. In: Samuel Guttenplan (Hrsg.): *Companion to the Philosophy of Mind*. Oxford: Blackwell, S. 412 - 431.
- Lewis, David (1994b). Humean Supervenience Debugged. *Mind* 103(412), S. 473 – 490.
- Lewis, David (1997). Finkish Dispositions. *The Philosophical Quarterly* 47(187), S. 143 - 158.
- Lewis, David (2001). Redefining 'intrinsic'. *Philosophy and Phenomenological Research* 63(2), S. 381 - 398.

- Liu, Chuang (1996). Holism vs. Particularism: A Lesson from Classical and Quantum Physics. *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift Für Allgemeine Wissenschaftstheorie* 27(2), S. 267 - 279.
- Loewer, Barry (2001). Determinism and Chance. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 32(4), S. 609 – 620.
- Loewer, Barry (2004). David Lewis's Humean Theory of Objective Chance. *Philosophy of Science* 71(5), S. 1115 - 1125.
- Loewer, Barry (2012). Two accounts of laws and time. *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition* 160(1), S. 115 - 137.
- Lorenzetti, Lorenzo (2021). A Refined Propensity Account for GRW Theory. *Foundations of Physics* 51(2), S. 1 – 20.
- Lyre, Holger (2004a). *Lokale Symmetrien und Wirklichkeit*. Münster: Mentis.
- Lyre, Holger (2004b). Holism and structuralism in U(1) gauge theory. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 35(4), S. 643 - 670.
- Lyre, Holger (2009a). The "Multirealization" of Multiple Realizability. In: Alexander Hieke und Hannes Leitgeb (Hrsg.): *Reduction, Abstraction, Analysis*. Frankfurt: Ontos, S. 79 – 94.
- Lyre, Holger (2009b). Humean Perspectives on Structural Realism. In: Friedrich Stadler (Hrsg.): *The Present Situation in the Philosophy of Science*. Dordrecht: Springer, S. 381 – 397.
- Lyre, Holger (2012a). Reduktionismus, Multirealisierbarkeit und höherstufige Näherungen. In: Michel Jan G. und Münster Gernot (Hrsg.): *Die Suche nach dem Geist*. Münster: Mentis, S. 55 – 80.
- Lyre, Holger (2012b). Structural Invariants, Structural Kinds, Structural Laws. In: Dennis Dieks, Wenceslao J. Gonzalez, Stephan Hartmann, Michael Stöltzner und Marcel Weber (Hrsg.): *Probabilities, Laws, and Structures*. Dordrecht: Springer, S. 169 – 182.
- Lyre, Holger (2013). Must Structural Realism Cover the Special Sciences? In: Vassilios Karakostas und Dennis Dieks (Hrsg.): *Perspectives and Foundational Problems in Philosophy of Science*. Dordrecht: Kluwer, S. 383 - 390.
- Lyre, Holger (2018a). Structures, Dynamics and Mechanisms in Neuroscience - an Integrative Account. *Synthese* 195(12), S. 5141 – 5158.
- Lyre, Holger (2018b). Quanten-Identität und Ununterscheidbarkeit. In: Cord Friebe, Meinard Kuhlmann, Holger Lyre, Paul M. Näger, Oliver Passon, Manfred Stöckler (Hrsg.): *Philosophie der Quantenphysik. 2. Auflage*. Berlin: Springer Spektrum, S. 79 – 112.
- Lyre, Holger (im Erscheinen). Multiple Realisierbarkeit. In: Vera Hoffmann-Kolss (Hrsg.): *Handbuch Philosophie des Geistes*. Stuttgart: Metzler Verlag.
- Marras, Ausonio (2005). Consciousness and Reduction. *The British Journal for the Philosophy of Science* 56(2), S. 335 – 361.
- Martin, Charles B. (1994). Dispositions and Conditionals. *The Philosophical Quarterly* 44(174), S. 1 - 8.

- Maudlin, Tim (1995). Three measurement problems. *Topoi* 14(1), S. 7 – 15.
- Maudlin, Tim (2002). Remarks on the Passing of Time. *Proceedings of the Aristotelian Society* 102, S. 259 - 274.
- Maudlin, Tim (2010). Can the world be only wavefunction? In: Simon Saunders, Jonathan Barrett, Adrian Kent und David Wallace (Hrsg.): *Many worlds? Everett, quantum theory, and reality*. Oxford: Oxford University Press, S. 121 - 143.
- Maudlin, Tim (2014). Critical Study ‘David Wallace’, The Emergent Multiverse: Quantum Theory According to the Everett Interpretation. *Noûs* 48(4), S. 794 - 808.
- Maudlin, Tim (2015). The Universal and the Local in Quantum Theory. *Topoi* 34(2), S. 349 - 358.
- Maudlin, Tim (2020). The Grammar of Typicality. In: Valia Allori (Hrsg.): *Statistical Mechanics and Scientific Explanation*. Singapur: WSPC, S. 231 – 252.
- McLaughlin, Brian (1995). Philosophy of Mind. In: Robert Audi (Hrsg.): *The Cambridge Dictionary of Philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press, S. 597 – 606.
- Mellor, D. Hugh (1971). *The Matter of Chance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Miller, David (1996). Propensities and Indeterminism. In: Anthony O’Hear (Hrsg.): *Karl Popper: Philosophy and Problems*. Cambridge: Cambridge University Press, S. 121 – 147.
- Millikan, Ruth (1984). *Language, Thought, and other Biological Categories*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.
- Millikan, Ruth (1989). Biosemantics. *Journal of Philosophy* 86(6), S. 281 – 297.
- Mizrahi, Moti (2013). The pessimistic induction: A bad argument gone too far. *Synthese* 190(15), S. 3209 - 3226.
- Mumford, Stephen (1998). *Dispositions*. Oxford: Oxford University Press.
- Nagel, Ernest (1961). *The Structure of Science*. London: Routledge.
- Näger, Paul und Stöckler, Manfred (2018). Verschränkung und Nicht-Lokalität: EPR, Bell und die Folgen. In: Cord Friebe, Meinard Kuhlmann, Holger Lyre, Paul M. Näger, Oliver Passon, Manfred Stöckler (Hrsg.): *Philosophie der Quantenphysik. 2. Auflage*. Berlin: Springer Spektrum, S. 107 – 186.
- Neumann, Johann von (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin: Springer.
- Noordhof, Paul (1998). Do Tropes Resolve the Problem of Mental Causation? *Philosophical Quarterly* 48(191), S. 221 - 226.
- Norsen, Travis (2017). The Measurement Problem. In: Travis Norsen (Hrsg.): *Foundations of Quantum Mechanics*. Dordrecht: Springer, S. 59 - 85.

- Norton, John D. (2003). Causation as Folk Science. In: Huw Price und Richard Corry (Hrsg.): *Philosophers' Imprint*. Oxford: Oxford University Press, S. 11 - 44.
- Papineau, David (1993). *Philosophical Naturalism*. Oxford: Blackwell.
- Papineau, David (1998). Mind the gap. *Philosophical Perspectives* 12, S. 373 – 389.
- Papineau, David (2002). *Thinking about Consciousness*. Oxford: Oxford University Press.
- Pauen, Michael (2022). »Wir überschätzen die Rolle des Bewusstseins systematisch« <https://www.spektrum.de/news/leib-seele-problem-was-wissen-wir-ueber-das-bewusstsein/1974235>  
Abgerufen am 24.08.2022.
- Penrose, Roger (1989). *The emperor's new mind. Concerning computers, minds, and the laws of physics*. Oxford: Oxford University Press.
- Penrose, Roger (2004). *The road to reality: a complete guide to the laws of the universe*. London: Jonathan Gape.
- Pineda, David (2002). The Causal Exclusion Puzzle. *European Journal of Philosophy* 10(1), S. 26 – 42.
- Polger, Thomas W. und Lawrence, Shapiro A. (2016). *The Multiple Realization Book*. Oxford: Oxford University Press.
- Popper, Karl R. (1959). The propensity interpretation of probability. *British Journal for the Philosophy of Science* 10(37), S. 25 – 43.
- Price, Huw (2004). Naturalism without representationalism. In: Mario De Caro und David Macarthur (Hrsg.): *Naturalism in question*. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press, S. 71 – 88.
- Psillos, Stathis (2006). What do Powers do when they are not Manifested? *Philosophy and Phenomenological Research* 72(1), S. 137 - 156.
- Putnam, Hilary (1967). Psychological Predicates. In: William H. Capitan und Daniel Davy Merrill (Hrsg.): *Art, Mind and Religion*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, S. 37 – 48.
- Rosenberg, Alexander (1994). *Instrumental Biology or the Disunity of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenberg, Alex (2001). On Multiple Realization and the Special Sciences. *Journal of Philosophy* 98(7), S. 365 – 373.
- Rosenthal, David M. (1994): Identity Theories. In: Samuel Guttenplan (Hrsg.): *A Companion to the Philosophy of Mind*. Oxford: Blackwell.
- Rosenthal, Jacob (2003). *Wahrscheinlichkeiten als Tendenzen. Eine Untersuchung objektiver Wahrscheinlichkeitsbegriffe*. Paderborn: Mentis.
- Russell, Bertrand (1912). On the notion of cause. *Proceedings of the Aristotelian Society* 13, S. 1 – 26.
- Russell, Bertrand (1927). *An Outline of Philosophy. Part II: The Nature and Knowledge of Physics*. London: Routledge.

- Sachse, Christian (2005). Reduction of Biological Properties by Means of Functional Sub-Types. *History and Philosophy of the Life Sciences* 27(3/4), S. 435 - 449.
- Sachse, Christian (2007). *Reductionism in the Philosophy of Science*. Offenbach: Ontos Verlag.
- Schaffner, Kenneth (1967). Approaches to Reduction. *Philosophy of Science* 34(2), S. 137 - 147.
- Schrödinger, Erwin (1935a). Discussion of Probability Relations between Separated Systems. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 31(4), S. 555 – 563.
- Schrödinger, Erwin (1935b). Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik. *Naturwissenschaften* 23, S. 897 – 812, 823 – 828, 844 – 849.
- Sellars, Wilfrid (1962). Philosophy and the Scientific Image of Man. In: Robert Colodny (Hrsg.): *Science, Perception, and Reality*. Pittsburgh: Pittsburgh University Press, S. 35 - 78.
- Shapiro, Lawrence (2000). Multiple Realizations. *Journal of Philosophy* 97(12), S. 635 - 654.
- Shapiro, Lawrence (2004). *The Mind Incarnate*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.
- Sklar, Lawrence (1993). *Physics and chance. Philosophical issues in the foundations of statistical mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Soom, Patrice; Sachse, Christian und Esfeld, Michael (2010). Psycho-Neural Reduction through Functional Sub-Types. *Journal of Consciousness Studies* 17(1-2), S. 7 – 26.
- Stachel, John (2002). The Relations between Things versus the Things between Relations: The deeper Meaning of the Hole Argument. In: David B. Malament (Hrsg.): *Reading Natural Philosophy: Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics*. La Salle: Open Court.
- Strawson, Peter Frederick (1959). *Individuals: An Essay in Descriptive Metaphysics*. London: Routledge.
- Strawson, Peter Frederick (1966). *Bounds of Sense*. London: Routledge.
- Stroud, Barry (1968). Transcendental Arguments. *Journal of Philosophy* 65(9), S. 241 - 256.
- Suárez, Mauricio (2004a). On Quantum Propensities: Two Arguments Revisited. *Erkenntnis* 61(1), S. 1 - 16.
- Suárez, Mauricio (2004b). Quantum Selections, Propensities and the Problem of Measurement. *The British Journal for the Philosophy of Science* 55(2), S. 219 - 255.
- Suárez, Mauricio (2007). Quantum propensities. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 38(2), S. 418 – 438.
- Teller, Paul (1986). Relational Holism and Quantum Mechanics. *The British Journal for the Philosophy of Science* 37(1), S. 71 – 81.
- Teller, Paul (1989). Relativity, Relational Holism, and the Bell Inequalities. James T. Cushing und Ernan McMullin (Hrsg.): *Philosophical Consequences of Quantum Theory. Reflections on Bell's Theorem*. Notre Dame: University of Notre Dame Press, S. 208 - 223.
- Tye, Michael (1995). *Ten Problems of Consciousness*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.
- Vallentyne, Peter (1997). Intrinsic Properties Defined. *Philosophical Studies: An International*

*Journal for Philosophy in the Analytic Tradition* 88(2), S. 209 - 219.

Wallace, David (2003). Everettian Rationality: Defending Deutsch's Approach to Probability in the Everett Interpretation. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 34(3), S. 415 - 439.

Wallace, David (2008). Philosophy of quantum mechanics. In: Dean Rickles (Hrsg.): *The Ashgate companion to contemporary philosophy of physics*. Aldershot: Ashgate, S. 16 – 98.

Walter, Sven (2006). *Mentale Verursachung: Eine Einführung*. Münster: Mentis.

Waters, C. Kenneth (1990). Why the antireductionist consensus won't survive: the case of classical Mendelian genetics. In: Arthur Fine, Micky Forbes und Linda Wessels (Hrsg.): *Proceedings of the 1990 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. East Lansing: Philosophy of Science Association*, S. 125 – 139.

Waters, C. Kenneth (2007). Causes That Make a Difference. *The Journal of Philosophy* 104(11), S. 551 - 579.

Whittle, Ann (2008). A Functionalist Theory of Properties. *Philosophy and Phenomenological Research* 77(1), S. 59 - 82.

Wong, Hong Yu (2006). Scattered Remarks on Multiple Realizability. *Indiana Undergraduate Journal of Cognitive Science* 1, S. 31 - 45.

Yablo, Stephen (1992): Mental causation. *Philosophical Review* 101(2), S. 245 – 280.

### **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit über Typen-Reduktionismus  
trotz multipler Realisierbarkeit selbstständig von mir und ohne fremde  
Hilfe verfasst worden ist, dass keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die  
angegebenen benutzt worden sind und dass die Stellen der Arbeit, die anderen Werken –  
auch elektronischen Medien – dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen wurden, auf  
jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht worden sind. Mir  
ist bekannt, dass es sich bei einem Plagiat um eine Täuschung handelt, die gemäß der  
Prüfungsordnung sanktioniert werden kann.

Ich erkläre mich mit einem Abgleich der Arbeit mit anderen Texten zwecks Auffindung  
von Übereinstimmungen sowie mit einer zu diesem Zweck vorzunehmenden Speicherung  
der Arbeit in einer Datenbank einverstanden.

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit oder Teile daraus nicht anderweitig als  
Prüfungsarbeit eingereicht habe.

19.10.2022 J. Heinze  
(Datum, Unterschrift)