

Zufall und Ursache spezieller Ereignisse
Eine metaphysische Untersuchung nicht-fundamentaler
Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen

Martin Voggenauer

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine von der Philosophischen Fakultät der Universität zu Köln angenommene Dissertation.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Andreas Hüttemann für die zentrale Unterstützung bei der Abfertigung dieser Dissertation über die letzten Jahre danken. Darüber hinaus möchte ich mich für die Zweitbetreuung und insbesondere die äußerst hilfreichen Kommentare in der Abschlussphase der Dissertation bei Herrn Prof. Dr. Andreas Bartels bedanken. Für die Anfertigung des Drittgutachtens und die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Sven Bernecker respektive Herrn Prof. Dr. Frank Hentschel. Bei Herrn Prof. Dr. Michael Strevens möchte ich mich für die Betreuung meines Forschungsaufenthalts an der New York University, während dem entscheidende Teile des Wahrscheinlichkeitskapitels entstanden sind, bedanken. Weiter möchte ich Herrn Dr. Wolfgang Pietsch dafür danken, dass er mich im Rahmen meines Philosophiestudiums erstmals mit der Philosophie der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität in Kontakt gebracht hat. Darüber hinaus möchte ich mich bei allen Teilnehmern des Forschungskolloquiums und der naturphilosophischen Lesegruppen unseres Lehrstuhls für den anregenden Austausch der letzten Jahre bedanken. Für die finanzielle Unterstützung meiner Promotion gilt mein Dank gleichermaßen dem Lehrstuhl für theoretische Philosophie der Neuzeit und Gegenwart, der Studienstiftung des deutschen Volkes sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Fördernummer HU 843/12-1). Schließlich möchte ich auch all jenen danken, die mir während meiner Münchner und Kölner Studienjahre privat nahestanden und so einen wesentlichen Teil zum Gelingen dieses Projekts beigetragen haben.

Inhalt

1. Einführung.....	6
1.1 Historische Beziehungen von Wahrscheinlichkeit und Kausalität.....	8
1.2 Systematische Beziehungen von Wahrscheinlichkeit und Kausalität.....	10
1.3 Allgemeine Zielsetzung und Vorgehensweise.....	12
2. Spezielle Ereignisse.....	17
2.1 Wahrscheinlichkeit und Kausalität auf höheren Ebenen.....	17
2.1.1 Interaktionsebenen als Naturebenen.....	18
2.1.2 Strukturebenen als Interaktionsebenen.....	20
2.2 Wahrscheinlichkeit und Kausalität spezieller Ereignisse.....	23
2.2.1 Spezielle Ereignisse ohne höhere Ebenen.....	24
2.2.2 Multiple Konstitution spezieller Ereignisse.....	28
3. Spezielle Wahrscheinlichkeit.....	33
3.1 Allgemeine Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit.....	33
3.1.1 Formale Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit.....	34
3.1.2 Philosophische Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit.....	38
a) Wahrscheinlichkeit als ontologisches Konzept.....	38
b) Wahrscheinlichkeit als nicht-primitives Konzept.....	40
3.1.3 Kriterien für Wahrscheinlichkeitsinterpretationen.....	42
a) Vereinbarkeit mit deterministischen Naturgesetzen.....	42
b) Ermöglichung singulärer Wahrscheinlichkeiten.....	42
c) Erklärung relativer Häufigkeiten.....	44
3.2 Darstellung zentraler Wahrscheinlichkeitsinterpretationen.....	46
3.2.1 Klassische Theorie.....	47
3.2.2 Frequentismus.....	54
3.2.3 Propensitätstheorie.....	58
3.2.4 Beste-Systeme-Analyse.....	63
3.2.5 Spielraumtheorie.....	68
3.3 Vorschlag einer Symmetrieinterpretation der Wahrscheinlichkeit.....	77
3.3.1 Wahrscheinlichkeiten als konstitutive Symmetrien.....	77
a) Konstante Verhältnisse.....	77
b) Spezielle Symmetrien.....	80
c) Konstitutive Symmetrien.....	83
3.3.2 Diskussion konstitutiver Symmetrien.....	89
a) Kriterien für Wahrscheinlichkeitsinterpretationen.....	89
b) Feststellbarkeit konstitutiver Symmetrien.....	94
c) Gesetz der großen Zahl.....	97

4. Spezielle Kausalität	101
4.1 Allgemeine Charakterisierung der Kausalität.....	101
4.1.1 Formale Charakterisierung der Kausalität.....	102
4.1.2 Philosophische Charakterisierung der Kausalität.....	106
a) Kausalität als ontologisches Konzept.....	106
b) Kausalität als nicht-primitives Konzept.....	107
4.1.3 Kriterien für Kausalitätstheorien	108
a) Vereinbarkeit mit symmetrischen Naturgesetzen	108
b) Ermöglichung singulärer Kausalbeziehungen.....	110
c) Unterscheidung von Kausalität und Korrelation.....	112
4.2 Darstellung zentraler Kausalitätstheorien.....	115
4.2.1 Regularitätstheorie.....	116
4.2.2 Probabilistische Theorie	120
4.2.3 Kontrafaktische Theorie	124
4.2.4 Interventionistische Theorie	129
4.2.5 Prozesstheorie.....	135
4.3 Vorschlag einer Erhaltungstheorie der Kausalität.....	142
4.3.1 Kausalbeziehungen als produktive Erhalte	143
a) Mechanismen.....	143
b) Spezielle Veränderungen und Erhalte	146
c) Produktive Erhalte.....	153
4.3.2 Diskussion produktiver Erhalte	157
a) Kriterien für Kausalitätstheorien	157
b) Feststellbarkeit produktiver Erhalte	161
c) Selektion von Ursachen.....	162
5. Zusammenhang von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität	168
5.1 Verbindung von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität	168
5.1.1 Formale Verbindung von Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen	168
5.1.2 Ontologische Verbindung von konstitutiven Symmetrien und produktiven Erhalten.....	170
5.2 Einordnung von produktiver Wahrscheinlichkeit und konstitutiver Kausalität	174
5.2.1 Produktive Wahrscheinlichkeiten: Humphreys' Paradoxon	175
5.2.2 Konstitutive Kausalbeziehungen: Interlevel-Kausalität	179
5.3 Produktiv vorgelagerte Wahrscheinlichkeit und konstitutiv zugrundeliegende Kausalität.....	180
5.3.1 Produktiv vorgelagerte Wahrscheinlichkeiten: Die kausale Markov-Bedingung.....	181
5.3.2 Konstitutiv zugrundeliegende Kausalbeziehungen: Das Exklusionsargument	184
6. Resümee	193
Literaturverzeichnis.....	196

Kapitel 1: Einführung

Wie können einem fairen Münzwurf objektive Wahrscheinlichkeiten zukommen, wo doch die dem Münzwurf zugrundeliegenden Dynamiken deterministischer Natur und die Ergebnisse des Münzwurfs damit vollständig durch seine Anfangsbedingungen bestimmt zu sein scheinen? Und wie kann das Werfen eines Steins das Zerschlagen einer Fensterscheibe verursachen, wenn eine entsprechende asymmetrische Kausalbeziehung zwischen dem Werfen des Steins und dem Zerschlagen der Fensterscheibe in einem vermeintlichen Widerspruch zu zugrundeliegenden symmetrischen Naturgesetzen zu stehen scheint? Inwiefern kann schließlich makroskopischen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen wie im Münz- bzw. Steinwurf überhaupt eine eigenständige objektive Bedeutung zukommen, die über die Bedeutung möglicher Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen der fundamentalen Physik hinausgeht?

Diese Fragen nach der Möglichkeit eigenständiger nicht-fundamentaler Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen makroskopischer Phänomene bilden den Rahmen dieser Arbeit. Dabei bleiben diese Fragen nicht nur auf makroskopische physikalische Phänomene beschränkt, sondern stellen sich auch für Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen jenseits der Physik. So lässt sich bspw. gleichermaßen für die Biologie die Frage aufwerfen, inwiefern Mutationswahrscheinlichkeiten oder kausale Mechanismen wie der der DNA-Replikation trotz zugrundeliegender deterministischer und symmetrischer Dynamiken und trotz zugrundeliegender fundamentalerer Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen eine objektive Bedeutung zukommen kann. Allgemein übertragen sich diese Fragen auf die Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen aller speziellen Wissenschaften. Als spezielle Wissenschaften (*special sciences*) werden dabei im Allgemeinen alle empirischen Wissenschaften jenseits einer fundamentalen Physik bezeichnet. In Anlehnung daran werde ich in dieser Arbeit entsprechend von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität bei jenen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen, die Gegenstand solcher nicht-fundamentalen Wissenschaften sind, sprechen.

Obwohl nun diese speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen den ursprünglich angestammten Gegenstandsbereich der neuzeitlichen Auseinandersetzung mit den Konzepten der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität bilden, kommt ihnen heute scheinbar nur noch eine nachgeordnete Rolle zu, die es auf den ersten Blick fraglich erscheinen lässt, ob sie überhaupt eine ontologische Entsprechung finden. Erstens scheinen die fundamentalen Wahrscheinlichkeiten der Quantenmechanik, die die fundamentale Physik beschreibt, indeterministischer Natur zu sein. Und zweitens scheinen die fundamentalen Kausalbeziehungen – wenn man überhaupt noch von solchen sprechen kann – symmetrische nomologische Abhängigkeitsbeziehungen zu beschreiben. Spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen,

die Wahrscheinlichkeiten deterministischer Dynamiken und gerichtete Kausalbeziehungen beschreiben, scheinen hingegen auf bestimmte Weise in solchen fundamentalen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen gründen zu müssen.

Andererseits ist nun aber eine eigenständige objektive Bedeutung dieser speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen in den speziellen Wissenschaften, die es dort ermöglicht stabile Häufigkeiten zu erklären und echte Produktions- bzw. Abhängigkeitsbeziehungen von bloßen Korrelationsbeziehungen zu unterscheiden, nicht zu leugnen. So spielen etwa unabhängig von möglichen zugrundeliegenden fundamentalen Wahrscheinlichkeiten die Wahrscheinlichkeiten der Statistischen Mechanik und der Evolutionstheorie eine derart zentrale Rolle in den entsprechenden Theorien, dass sie bei einem realistischen Wissenschaftsverständnis geradezu nach einer ontologischen Entsprechung verlangen. Gleiches gilt aufgrund der Bedeutung kausaler Mechanismen und Gesetzmäßigkeiten als den zentralen Bausteinen der Theorien der Wissenschaften jenseits der fundamentalen Physik ebenso für die entsprechenden Kausalbeziehungen. Eine fehlende ontologische Entsprechung spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen würde damit aber aufgrund ihrer zentralen Bedeutung für die speziellen Wissenschaften womöglich eine vollständige Reduktion der Natur auf eine durch die fundamentale Physik beschriebene fundamentale Naturebene implizieren.

Um nun einer solchen vollständigen ontologischen Reduktion entgegenzutreten, möchte ich in dieser Arbeit untersuchen, wie speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen trotz des vermeintlichen Widerspruchs zu zugrundeliegenden deterministischen und symmetrischen Dynamiken und trotz der ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen eine eigenständige ontologische Bedeutung zukommen kann. Die Beantwortung dieser Fragestellung wird dabei – wie sich noch zeigen wird – über die Klärung des genauen Verhältnisses zwischen den Konzepten der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität selbst führen. Entsprechend möchte ich im Folgenden zunächst mit einer kurzen Skizze der Geschichte der wechselhaften Beziehung von Wahrscheinlichkeit und Kausalität in der philosophischen Diskussion dieser beiden Konzepte in die Arbeit einsteigen (1.1). Auf Grundlage dieser Skizze werde ich sodann versuchen, mögliche ontologische Beziehungen, in denen Wahrscheinlichkeit und Kausalität grundsätzlich zueinanderstehen können, herauszuarbeiten (1.2). Schließlich werde ich an dieser systematischen Darstellung anschließend als letzten Punkt dieses einführenden Kapitels eine gemeinsame Theorie von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität als Ziel dieser Arbeit ausgeben und die grundsätzliche Vorgehensweise, mit der ich dieses Ziel zu erreichen gedenke, kurz umreißen (1.3).

1.1 Historische Beziehungen von Wahrscheinlichkeit und Kausalität

Den Konzepten der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität kommt seit der frühen Neuzeit eine zentrale Bedeutung in der philosophischen Reflexion über die empirischen Wissenschaften zu.¹ Während der Gegensatz zwischen den der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität zugrundeliegenden Grundintuitionen von echtem Zufall und kausaler Notwendigkeit bereits seit jeher besteht, tritt dieser in der frühen Neuzeit aufgrund des Siegeszugs eines mechanistischen und damit deterministischen Weltbildes offen zu Tage. Wo Ursachen ihre Wirkungen mechanistisch vermittelt notwendigerweise hervorbringen, bleibt kein Platz für echten Zufall. Der Widerspruch von Kausalität und Wahrscheinlichkeit besteht selbst dann noch, wenn sich die vermeintliche Notwendigkeit, mit der Ursachen ihre Wirkungen hervorbringen, ontologisch lediglich auf zeitlich geordnete und raumzeitlich benachbarte Regularitäten von Ereignispaaren reduzieren lassen sollte. Denn auch strikte Regularitäten erlauben scheinbar schlicht keinen objektiven Zufall, sodass Wahrscheinlichkeit gezwungenermaßen auf die Unkenntnis der Erkenntnissubjekte zurückzuführen und damit rein epistemologischer Natur zu sein scheint. Genau dieses Bild von Kausalität als strikter Regularität und Wahrscheinlichkeit als Unkenntnis der Erkenntnissubjekte wird im 18. Jahrhundert wesentlich durch David Hume auf Seiten der Kausalität und Pierre Simon de Laplace auf Seiten der Wahrscheinlichkeit geprägt und dominiert im 19. Jahrhundert das Verständnis der Rolle von Kausalität und Wahrscheinlichkeit in den empirischen Wissenschaften.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts erodiert diese Vormachtstellung der Kausalität gegenüber der Wahrscheinlichkeit aber nach und nach und schlägt schließlich in ihr genaues Gegenteil um. Einerseits gewinnen Wahrscheinlichkeiten zunehmend in den empirischen Wissenschaften an Bedeutung und ziehen schließlich mit der statistischen Mechanik sogar in die theoretische Physik ein. Folglich rückt auch der empirische Charakter der Wahrscheinlichkeit, der sich vor allem in den relativen Häufigkeiten als wichtigstem empirischen Indiz für Wahrscheinlichkeiten widerspiegelt, verstärkt in den Vordergrund. Andererseits geraten die als raumzeitlich benachbarte Regularitäten verstandenen asymmetrischen Kausalbeziehungen mehr und mehr in Konflikt mit den in Form von symmetrischen Differenzialgleichungen formulierten physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Das vermeintlich so zentrale und allen Wissenschaften zugrundeliegende Kausalgesetz „selbe Ursache, selbe Wirkung“ erscheint zunehmend als ein nicht mehr zeitgemäßes Relikt einer überkommenen Metaphysik und mit

¹ Die im Folgenden nur angedeuteten Positionen werde ich erst in den Unterkapiteln 3.2 bzw. 4.2 systematisch einführen. Für ausführlichere Einblicke in die neuere Geschichte der philosophischen Wahrscheinlichkeits- bzw. Kausalitätsdebatte siehe z. B. von Plato (1994) bzw. Hüttemann (2013) sowie die Sammelbände von Hájek & Hitchcock (2016, Teil I & IV) bzw. von Beebe et al. (2009, Teil I & II).

einem modernen physikalischen Weltbild unvereinbar.² Während dadurch die Wahrscheinlichkeit immer mehr eine ontologische Bedeutung insbesondere als objektive relative Häufigkeiten erfährt, verschwindet die Kausalität um die Jahrhundertwende mehr und mehr aus den empirischen Wissenschaften bzw. aus der philosophischen Reflexion über diese. Prominente Wortführer für eine Häufigkeitsinterpretation der Wahrscheinlichkeit sowie gegen einen Platz der Kausalität in den empirischen Wissenschaften sind dabei Richard von Mises auf der einen sowie Ernst Mach und Bertrand Russell auf der anderen Seite.

Diese Tendenzen verstärken sich mit der zu Beginn des 20. Jahrhunderts einsetzenden wissenschaftlichen Revolution der Quantenmechanik noch weiter. Bedeutet diese doch womöglich nichts weniger als die Abkehr von einem deterministischen Weltbild und damit die endgültige Zurückweisung der Bedeutung eines strikten Kausalgesetzes für die Wissenschaften. Daneben lässt die dominierende indeterministische Interpretation der Quantenmechanik, die die Wahrscheinlichkeiten scheinbar dem unmittelbaren Einzelfall zukommen lässt, aber auch die Interpretation von Wahrscheinlichkeit als objektive relative Häufigkeiten von Referenzklassen wieder fraglich erscheinen. Allerdings untermauern die baldige mathematische Grundlegung der Wahrscheinlichkeit durch Andrei Kolmogorows Axiomatik³ sowie eine insbesondere von Karl Popper aufgezeigte indeterministische Interpretationsmöglichkeit dieser Axiomatik in Form seiner Propensitätstheorie die Bedeutung der Wahrscheinlichkeit als dem eigentlich fundamentalen wissenschaftlichen Konzept.

Erst gegen Mitte des 20. Jahrhunderts wird schließlich in der philosophischen Reflexion über die empirischen Wissenschaften auch der Kausalität nach und nach wieder eine Bedeutung für die Wissenschaften beigemessen.⁴ Dies liegt nicht zuletzt daran, dass sich der verengte Fokus auf die theoretische Physik zunehmend weitert. Gerade in den speziellen Wissenschaften jenseits einer fundamentalen Physik sowie allgemein in der wissenschaftlichen Praxis scheint aber ein Konzept der Kausalität zur wissenschaftlichen Erklärung, Vorhersage und Intervention unabdingbar. Allerdings ändert dies zunächst nichts an der Vorrangstellung der Wahrscheinlichkeit, was nicht zuletzt auf eine im Unterschied zur Wahrscheinlichkeit noch ausstehende weithin anerkannte formale Charakterisierung der Kausalität zurückzuführen ist. Zwar muss Kausalität folglich nicht länger als unwissenschaftlich aus den Wissenschaften verdrängt werden, dafür muss sie sich nun scheinbar irgendwie auf das fundamentalere und mathematisch greifbarere Konzept der Wahrscheinlichkeit zurückführen lassen. Die bedeutendsten Vertreter

² So spricht Russell (1912-1913, 1) von Kausalität als „a relic of bygone age, surviving, like the monarchy, only because it is erroneously supposed to do no harm“.

³ Die Anfänge der modernen Wahrscheinlichkeitsrechnung reichen dabei mit Fragestellungen zu Glücksspielen bis in die Mitte des 17. Jahrhunderts zurück.

⁴ vgl. Bunge (1982)

einer solchen Rückführung von Kausalität auf Wahrscheinlichkeit finden sich dabei in dieser Zeit in Hans Reichenbach und Patrick Suppes.

Allerdings scheitert der Versuch einer vollständigen Reduktion von Kausalität auf Wahrscheinlichkeit nicht zuletzt an Nancy Cartwrights Erkenntnis, dass eine solche Rückführung die für die wissenschaftliche Praxis zentrale Unterscheidung von effektiven und ineffektiven Strategien bzw. allgemeiner von Kausalität und Korrelation unmöglich macht. Entsprechend relativiert sich im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts auch das Verhältnis von Wahrscheinlichkeit und Kausalität wieder. Dies spiegelt sich einerseits in einer zunehmenden Loslösung der Debatten der beiden Konzepte voneinander und andererseits in einer Vielzahl verschiedener Interpretationsansätze der beiden Konzepte wider. Dabei gleichen sich die Debatten allerdings teils in ihren Versuchen, Wahrscheinlichkeit und Kausalität auf bestimmte fundamentalere Konzepte ontologisch zu reduzieren. Unabhängig voneinander wird so bspw. gleichermaßen versucht, Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen auf Regularitäten, Dispositionen oder physikalische Größen wie Erhaltungsgrößen und Symmetrien von Dynamiken zurückzuführen.

Insgesamt zeichnen sich in der gemeinsamen historischen Entwicklung der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität bereits verschiedene mögliche ontologische Beziehungen zwischen den beiden Konzepten ab. Diese möglichen Beziehungen zwischen Wahrscheinlichkeit und Kausalität möchte ich im Folgenden noch etwas genauer herausarbeiten, um daran anschließend das Ziel dieser Arbeit präzise formulieren zu können.

1.2 Systematische Beziehungen von Wahrscheinlichkeit und Kausalität

Der kurze historische Abriss der wechselhaften Beziehung von Wahrscheinlichkeit und Kausalität hat bereits einige der grundsätzlich möglichen Beziehungen dieser beiden Konzepte offengelegt.⁵ Zunächst können Wahrscheinlichkeit und Kausalität in einer sich ontologisch wechselseitig ausschließenden Beziehung zueinander stehen. Einerseits könnte ein deterministisches Weltbild durch Kausalität derart bestimmt sein, dass jeder Art von Wahrscheinlichkeit höchstens eine epistemologische Bedeutung zukommt. Andererseits scheint die Wahrscheinlichkeit in einem durch die Quantenmechanik implizierten möglichen indeterministischen Weltbild eine aufgrund ihres asymmetrischen Charakters bereits an Ansehen verlierende Kausalität vollends obsolet zu machen. Allerdings ist eine solche rivalisierende Beziehung zwischen Wahrscheinlichkeit und Kausalität nicht zwingend, sondern stellt nur eine mögliche Art von Beziehung dar.

⁵ Ähnlich diskutiert auch Gillies (2001) verschiedene Alternativen möglicher Beziehungen von Wahrscheinlichkeit und Kausalität.

Denn neben einem wechselseitigen Ausschluss ist auch eine ontologische Reduktion eines der beiden Konzepte auf das andere denkbar. Einerseits ließe sich so versuchen Kausalbeziehungen auf wahrscheinlichkeitsverändernde Beziehungen zurückzuführen. Andererseits besteht für nicht-fundamentale Wahrscheinlichkeiten die prinzipielle Möglichkeit Wahrscheinlichkeiten auf ihre zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken und damit womöglich auf Kausalbeziehungen zurückzuführen. Zwar bedeuten solche Reduktionsbeziehungen, dass ein Konzept ontologisch grundlegender als das andere ist; anders als in einer rivalisierenden Beziehung schließt aber das eine Konzept nicht das andere aus bzw. lässt ihm keine ausschließlich epistemologische Bedeutung zukommen.

Neben solchen Abhängigkeitsbeziehungen lassen sich Wahrscheinlichkeit und Kausalität auch als unabhängige ontologische Konzepte, die in keiner unmittelbaren ontologischen Beziehung zueinander stehen, begreifen. Dies kann entweder der Fall sein, wenn beide Konzepte primitive Konzepte darstellen oder wenn sie sich je auf weitere voneinander unabhängige ontologische Konzepte reduzieren lassen. Mögliche zugrundeliegende Konzepte, auf die sich Wahrscheinlichkeit und Kausalität gleichermaßen ontologisch reduzieren lassen, sind etwa Regelmäßigkeiten, Dispositionen oder physikalische Eigenschaften. Beispielsweise wird so versucht einerseits Wahrscheinlichkeiten auf relative Häufigkeiten, Propensitäten oder physikalische Symmetrien und andererseits Kausalbeziehungen auf Regularitäten, kausale Kräfte oder Erhaltungsgrößen zurückzuführen.

Diese drei Arten möglicher ontologischer Beziehungen zwischen Wahrscheinlichkeit und Kausalität in Form eines wechselseitigen Ausschlusses, einer Rückführung auf das jeweils andere Konzept sowie einer unabhängigen Rückführung auf fundamentalere Konzepte deuteten sich dabei bereits in der historischen Darstellung an. In dieser Arbeit möchte ich über diese drei Möglichkeiten hinausgehend versuchen, einen vierten Weg einzuschlagen. Dieser wird darin bestehen, zu zeigen, dass einerseits den Konzepten der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität zwar tatsächlich eine jeweils eigenständige ontologische Bedeutung zukommt, dass aber andererseits diese beiden Konzepte dennoch auf eine gewisse Weise miteinander verbunden sind, die es überhaupt erst ermöglicht, dass auch den Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen der speziellen Wissenschaften eine ontologische Bedeutung zukommt. Folglich werde ich keines der beiden Konzepte aufgrund des jeweils anderen als ontologisches Konzept ausschließen bzw. auf das jeweils andere zurückführen. Auch werde ich Wahrscheinlichkeit und Kausalität nicht als ontologisch vollständig voneinander losgelöste Konzepte verstehen. Wie ich stattdessen die angedeutete vierte Möglichkeit zu erreichen gedenke, möchte ich im Folgenden kurz skizzieren.

1.3 Allgemeine Zielsetzung und Vorgehensweise

Das wesentliche Ziel dieser Arbeit besteht vor dem Hintergrund der angestellten historischen und systematischen Vorüberlegungen nun also darin, zu zeigen, dass es sich bei Wahrscheinlichkeit und Kausalität um gleichermaßen ontologische Konzepte handelt, die trotz ihrer Eigenständigkeit in einem bestimmten sich einander ergänzenden Verhältnis zueinander stehen. Dabei soll insbesondere gezeigt werden, dass damit auch den Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen der speziellen Wissenschaften eine ontologische Bedeutung zukommen kann. Neben der Entwicklung einer geeigneten Kausalitätstheorie und Wahrscheinlichkeitsinterpretation, die es entsprechend ermöglichen das Verhältnis zwischen Kausalität und Wahrscheinlichkeit zu ergründen, wird folglich die Klärung des genauen Verhältnisses von Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen verschiedener Wissenschaften ein weiteres Ziel dieser Arbeit darstellen.

Die Untersuchung des Verhältnisses spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen zu zugrundeliegenden fundamentalen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen wird dabei noch deutlich machen, dass die ontologische Bedeutung von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität unabhängig von der Existenz sowie der konkreten Ausgestaltung von Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen einer fundamentalen bzw. untersten Ebene ist. Entsprechend werde ich eine explizite Diskussion von solchen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen einer untersten Ebene in dieser Arbeit ausklammern und im Folgenden immer nur voraussetzen, dass speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen fundamentalere (aber eben nicht zwingend auch fundamentale) Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen zugrunde liegen. Dadurch sollen insbesondere die Frage nach der Existenz einer möglichen fundamentalen Ebene bzw. nach einem möglichen Sonderstatus fundamental-physikalischer Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen sowie die philosophischen Probleme der eine solche fundamentale Ebene möglicherweise beschreibenden Quantenmechanik ausgespart werden. Um den Untersuchungsgegenstand nicht unnötig aufzublähen, werde ich neben dem Ausschluss fundamentaler Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen auch keinen gesonderten Fokus auf mentale Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen legen, und die Probleme der Philosophie des Geistes nur insofern berücksichtigen, als sie sich auf nicht-mentale spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen übertragen lassen.

Vor dem Hintergrund dieser Eingrenzungen des Untersuchungsgegenstands werde ich versuchen, das ausgegebene Ziel in vier Schritten zu erreichen. Zunächst werde ich in Kapitel 2 versuchen spezielle Wahrscheinlichkeit und Kausalität, die ich bisher lediglich als die

Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen der speziellen Wissenschaften eingeführt habe, ontologisch greifbar zu machen. Daran anschließend werde ich in den Kapiteln 3 und 4 spezielle Wahrscheinlichkeit bzw. spezielle Kausalität zunächst je für sich diskutieren und jeweils eine geeignete ontologische Interpretation bzw. Theorie vorschlagen. In einem letzten Schritt werde ich in Kapitel 5 schließlich die Ergebnisse dieser Überlegungen zusammenführen und damit versuchen zu klären, wie einerseits spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen miteinander zusammenhängen und andererseits in welchem Verhältnis solche speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen zu fundamentaleren Wahrscheinlichkeiten bzw. Kausalbeziehungen stehen. Im Einzelnen werde ich dabei wie folgt vorgehen.

Als erstes werde ich in Kapitel 2 versuchen, die Frage zu beantworten, inwiefern sich die Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen spezieller Wissenschaften überhaupt ontologisch charakterisieren lassen. Dazu werde ich in Unterkapitel 2.1 zunächst die Möglichkeit diskutieren, dass solche speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen ontologisch die Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen höherer Naturebenen darstellen könnten. Demnach würden spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen auf eine globale hierarchische Ordnung der Natur Bezug nehmen bzw. in eine solche eingebettet sein. Allerdings werde ich zeigen, dass solche Ebenen aufgrund der Interaktion von Entitäten verschiedener Organisation und Größe nicht den geeigneten ontologischen Rahmen für spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen bilden können, sofern sie letztere nicht bereits voraussetzen. Daher werde ich in Unterkapitel 2.2 folgern, dass sich spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen ontologisch nicht als die Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen höherer Ebenen global charakterisieren lassen, sondern nur lokal als Wahrscheinlichkeiten von bzw. Kausalbeziehungen zwischen intrinsisch ausgezeichneten speziellen Ereignissen. Entsprechend werde ich den Fokus von möglicherweise ontologisch ausgezeichneten Ebenen auf eine ontologische Auszeichnung spezieller Ereignisse richten und spezielle Ereignisse als die Inhalte von aufgrund ihrer Konstitution aus fundamentaleren Ereignissen lokal ausgezeichneten Raumzeitgebieten charakterisieren.

Diese Diskussion wird sodann die Grundlage für die eigentliche Auseinandersetzung mit den Konzepten der speziellen Wahrscheinlichkeit bzw. Kausalität in den Kapiteln 3 und 4 bilden. Dabei werde ich trotz des vermeintlich anspruchsvolleren Konzepts zunächst mit der Wahrscheinlichkeit beginnen, da sie auch in der modernen philosophischen Debatte zunächst von größerer Bedeutung war und entsprechend früher formalisiert wurde. Durch diese Reihenfolge lassen sich insbesondere Erkenntnisse aus der weithin anerkannten formalen Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit auf die in den letzten Jahrzehnten verstärkte und noch nicht

abgeschlossene Debatte über eine mögliche formale Charakterisierung der Kausalität übertragen. Nach einer entsprechenden formalen Charakterisierung der beiden Konzepte mithilfe der mathematischen Wahrscheinlichkeits- bzw. Graphentheorie in den Abschnitten 3.1.1 und 4.1.1, werde ich in den Abschnitten 3.1.2 und 4.1.2 spezielle Wahrscheinlichkeit und Kausalität auch nochmals explizit als nicht-primitive ontologische Konzepte philosophisch charakterisieren. Des Weiteren werde ich mich auf je drei allgemeine Kriterien für spezielle Wahrscheinlichkeit und Kausalität als nicht-primitive ontologische Konzepte beschränken, die als Grundlage der darauf folgenden problemorientierten Diskussion verschiedener Wahrscheinlichkeitsinterpretationen respektive Kausalitätstheorien dienen sollen.⁶ Wenngleich ich diese Kriterien für Wahrscheinlichkeit und Kausalität in den Abschnitten 3.1.3 bzw. 4.1.3 noch im Einzelnen motivieren werde, möchte ich die ihnen gemeinsam zugrundeliegenden grundsätzlichen Motivationen hier bereits kurz hervorheben.

Das jeweils erste Kriterium (a) wird durch die ontologische Bedeutung von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität motiviert werden. Soll spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität eine solche Bedeutung zukommen, müssen sie insbesondere mit den als Differenzialgleichungen formulierten zugrundeliegenden Naturgesetzen der Physik vereinbar sein. Einerseits bedeutet dies für spezielle Wahrscheinlichkeit, dass sich spezielle Wahrscheinlichkeiten mit den ihnen zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken vereinbaren lassen müssen, andererseits für spezielle Kausalität, dass sich asymmetrische Kausalbeziehungen mit den ihnen zugrundeliegenden symmetrischen Dynamiken in Einklang bringen lassen müssen.

Das jeweils zweite Kriterium (b) wird in einem ontologischen Vorrang der Wahrscheinlichkeiten von bzw. der Kausalbeziehungen zwischen einzelnen Ereignissen (Token) gegenüber den Wahrscheinlichkeiten von bzw. den Kausalbeziehungen zwischen Ereignisklassen (Typen) bestehen. Diese zweite Forderung werde ich im Wesentlichen durch unser vortheoretisches Verständnis der der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität zugrundeliegenden Konzepte des Zufalls und der Notwendigkeit als dem Einzelfall anhängende Konzepte motivieren. Ein solches singuläres Verständnis von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität wird sich dabei zudem in den jeweiligen formalen Charakterisierungen widerspiegeln.

Das jeweils dritte Kriterium (c) wird schließlich durch die Funktion der beiden Konzepte in den Wissenschaften motiviert werden und besteht darin, dass geeignete Theorien spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität der wesentlichen Rolle dieser beiden Konzepte für wissenschaftliche Theorien gerecht werden müssen. Diese Rolle besteht einerseits für

⁶ Dabei werde ich mich auf rein ontologische Kriterien beschränken und insbesondere auf Kriterien verzichten, die eine Verbindung zu entsprechenden epistemologischen Konzepten herstellen, wie sie bspw. Schaffer (2007) und Glynn (2010) für die Wahrscheinlichkeit angeben.

Wahrscheinlichkeit in der Erklärung relativer Häufigkeiten und andererseits für Kausalität in der Unterscheidung kausaler Beziehungen von bloßen raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehungen und damit letztlich in der Erklärung des Unterschieds von Kausalität und bloßer Korrelation.⁷

Diese Kriterien sollen sodann in den Unterkapiteln 3.2 und 4.2 als Grundlage einer problemorientierten Diskussion zentraler Wahrscheinlichkeitsinterpretationen respektive Kausalitätstheorien dienen. Da die Themen der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität je für sich genommen bereits mehr als genug Stoff für eigenständige Abhandlungen liefern würden, werde ich in der Diskussion der beiden Konzepte weitere Einschränkungen vornehmen müssen und werde folglich auch nicht allen Interpretationen und Theorien in vollem Umfang gerecht werden können. Insbesondere werde ich den Fokus auf die kanonischen Wahrscheinlichkeitsinterpretationen bzw. Kausalitätstheorien legen und diese anhand einzelner ausgewählter Hauptvertreter einführen. Diese Interpretationen bzw. Theorien werden auf Seiten der Wahrscheinlichkeit neben Laplaces klassischer Theorie (3.2.1) von Mises' Frequentismus (3.2.2), Poppers Propensitätstheorie (3.2.3), Lewis' Beste-Systeme-Analyse (3.2.4) und von Kries' Spielraumtheorie (3.2.5) umfassen sowie auf Seiten der Kausalität neben Humes Regularitätstheorie (4.2.1) Suppes' probabilistische Theorie (4.2.2), Lewis' kontrafaktische Theorie (4.2.3), Woodward's interventionistische Theorie (4.2.4) und Salmon's späte Prozesstheorie (4.2.5). Die Diskussion dieser Interpretationen bzw. Theorien werde ich dabei vor dem Hintergrund der genannten Kriterien und unter Berücksichtigung der neueren Literatur führen. Auf Problemstellungen, die sich nur in den Debatten einzelner Interpretationen bzw. Theorien ergeben und dabei über die genannten Kriterien hinausgehen, werde ich hingegen verzichten müssen.

In den Unterkapiteln 3.3 und 4.3 werde ich schließlich an die mit Blick auf die angegebenen Kriterien jeweils vielversprechendste Interpretation bzw. Theorie anknüpfen und versuchen diese so zu erweitern bzw. umzuinterpretieren, dass sich ihre zentralen Probleme beheben lassen und sie sich für eine gemeinsamen Theorie von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität eignen. Konkret werde ich in den Abschnitten 3.3.1 bzw. 4.3.1 versuchen einerseits ausgehend von spielraumtheoretischen Überlegungen zu einer Interpretation von Wahrscheinlichkeit als durch Zufallsexperimente ausgezeichnete physische Symmetrien zu gelangen sowie andererseits ausgehend von Erhaltungsgrößentheorien der Kausalität zu einer Theorie von Kausalität als allgemeinen Erhalt von Veränderungen. In beiden Fällen werde ich entsprechend Wahrscheinlichkeit und Kausalität zunächst in Form von Symmetrien bzw. Erhalten

⁷ Dabei muss eine mögliche Erklärung jeweils nur die Minimalforderung erfüllen, dass Explanans und Explanandum voneinander verschieden sind und dass das Explanans in irgendeiner Weise für das Explanandum relevant ist.

auf im Kern physikalische Konzepte zurückführen, um daran anschließend durch eine Relativierung dieser Konzepte eine entsprechende Ausweitung auf spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen zu ermöglichen. Die entwickelten Ansätze werde ich sodann in den Abschnitten 3.3.2 und 4.3.2 vor dem Hintergrund der angegebenen Kriterien sowie der Frage nach ihrer Bedeutung für darüber hinausgehende epistemologische Fragestellungen diskutieren.

In Kapitel 5 werde ich schließlich versuchen zu zeigen, wie sich ein solches Verständnis von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität zusammenführen lässt und wie entsprechend sowohl spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen miteinander als auch untereinander zusammenhängen. Die dieser Zusammenführung zugrundeliegende Erkenntnis wird dabei sein, dass zwar spezieller Wahrscheinlichkeit eine rein konstitutive Rolle und spezieller Kausalität eine rein produktive Rolle zukommt, diese beiden Rollen aber in einem genau bestimmten Zusammenhang stehen. Um dies zu sehen, werde ich in Unterkapitel 5.1 die der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität zugrunde liegenden mathematischen Strukturen zunächst formal und daran anschließend die vorgeschlagene Wahrscheinlichkeitsinterpretation mit der angegebenen Kausalitätstheorie auch ontologisch zusammenführen. Durch eine klare Abgrenzung der Rollen dieser beiden Konzepte werde ich sodann in Unterkapitel 5.2 verdeutlichen, wie sich die Probleme, die sich aus einer Vermischung aus konstitutiven und produktiven Konzepten ergeben, beseitigen lassen. Endlich werde ich in Unterkapitel 5.3 aufzeigen, wie durch die Verbindung von Konstitutions- und Produktionsbeziehungen überhaupt erst spezielle Wahrscheinlichkeiten unabhängig von den Wahrscheinlichkeiten kausal vorgelagerter Ereignisse sowie spezielle Kausalbeziehungen unabhängig von den konstitutiv zugrundeliegenden Kausalbeziehungen möglich werden.

Abschließend werde ich in Kapitel 6 noch einmal über die gewonnenen Erkenntnisse unter Berücksichtigung ihrer Implikationen für die Einheit der Natur und die Bedeutung der speziellen Wissenschaften resümieren.

Kapitel 2: Spezielle Ereignisse

In der Einleitung habe ich spezielle Wahrscheinlichkeit und Kausalität zunächst als diejenigen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen eingeführt, die Gegenstand der speziellen Wissenschaften sind. Für eine geeignete ontologische Interpretation bzw. Theorie von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität gilt es nun darüber hinaus zu klären, ob sich Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen auch ontologisch als speziell charakterisieren lassen. Hierzu werde ich in diesem Kapitel zwei verschiedene Möglichkeiten in Erwägung ziehen.

In Unterkapitel 2.1 werde ich zunächst die Möglichkeit diskutieren, spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen als Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen auf höheren globalen Naturebenen zu charakterisieren. Allerdings werde ich zeigen, dass eine mögliche ontologische Auszeichnung solcher Ebenen als Rahmen für nicht-fundamentale Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen bereits solche Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen voraussetzt. Entsprechend werde ich in Unterkapitel 2.2 die Idee von einer Ebenenhierarchie als globalen Rahmen spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen zu Gunsten einer lokalen Auszeichnung spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen als zweiter Möglichkeit verwerfen.

Konkret werde ich zeigen, dass sich auch ohne einen solchen Bezug auf höhere Ebenen spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen über die Konstitution spezieller Ereignisse ontologisch als Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen spezieller Ereignisse charakterisieren lassen. Darüber hinaus werde ich darlegen, dass sich spezielle Ereignisse bei einem geeigneten Konstitutionsbegriff nicht zwangsläufig auf fundamentalere Ereignisse ontologisch reduzieren lassen und so zumindest prinzipiell eigenständige spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen möglich sind. Diese allgemeine Charakterisierung spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen wird sodann die Grundlage für eine getrennte Diskussion von philosophischen Theorien spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität in den nächsten beiden Kapiteln bilden.

2.1 Wahrscheinlichkeit und Kausalität auf höheren Ebenen

In diesem Unterkapitel werde ich zunächst der Frage nachgehen, ob eine geeignete Hierarchie von Interaktionsebenen den Rahmen für spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen bilden könnte. Dazu werde ich zunächst eine grundsätzliche Charakterisierung von Interaktionsebenen als ontologische Naturebenen vornehmen (2.1.1). Daran anschließend werde ich zeigen, dass solche Interaktionsebenen entweder Kausalbeziehungen zwischen speziellen Ereignissen bereits voraussetzen oder aber, sofern sie auf andere Strukturmerkmale

zurückgeführt werden, eine Vielzahl spezieller Kausalbeziehungen ausschließen (2.1.2). Entsprechend werde ich die Möglichkeit der Auszeichnung spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen durch globale Interaktionsebenen im darauffolgenden Unterkapitel 2.2 zu Gunsten einer Auszeichnung durch lokale Konstitutionsbeziehungen von Ereignissen aufgeben.

2.1.1 Interaktionsebenen als Naturebenen

Ein erstes mögliches ontologisches Verständnis spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen stellt ihre Charakterisierung als Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen höherer Ebenen dar. Demnach würden globale Interaktionsebenen den Ort bestimmter Kausalbeziehungen bilden und damit diese als spezielle Kausalbeziehungen auszeichnen. Darüber hinaus würden dadurch die Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen, die in solchen Kausalbeziehungen stehen, zugleich als spezielle Wahrscheinlichkeiten mit ausgezeichnet. Entsprechend möchte ich zunächst versuchen solche Interaktionsebenen als eine mögliche Form ontologischer Naturebenen allgemein zu charakterisieren.

Grundsätzlich findet sich die Vorstellung einer hierarchisch in Ebenen gegliederten Wirklichkeit in unterschiedlicher Ausprägung in den verschiedensten philosophischen Debatten wieder.¹ Die gemeinsame Grundintuition, die solchen Ebenenhierarchien dabei zugrunde liegt, ist die Idee, dass sich die Natur bzw. die sie beschreibenden Wissenschaften in voneinander abgrenzbare Teilbereiche gliedern und diese sich in einer gewissen Weise anordnen lassen, die es ermöglicht von niedrigeren und höheren Ebenen und in ihnen enthaltenen niedrigeren bzw. höheren Entitäten und ihren Ereignissen und Prozessen zu sprechen.² Dabei lassen sich Ebenenhierarchien grundsätzlich in Hierarchien von Natur- und Wissenschaftsebenen unterscheiden.³ Einerseits lassen sich Ebenenhierarchien als zentrale Grobstruktur der Natur verstehen. Die Ebenen einer solchen ontologischen Hierarchie von Naturebenen sind demnach unabhängig von unserem Erkenntnisvermögen ein integraler Bestandteil der physischen Welt. Andererseits lassen sich Ebenenhierarchien aber auch so verstehen, dass sie die wissenschaftliche Erkenntnis der Natur widerspiegeln. Anders als Naturebenen sind solche Wissenschaftsebenen keine erkenntnisunabhängigen Strukturen der Natur selbst, sondern lediglich die Folge unserer

¹ Die modernen Ursprünge von Ebenenhierarchien finden sich im Britischen Emergentismus sowie in den frühen Schriften zur Theorienreduktion (vgl. Kim 2002). Den historischen Ausgangspunkt zeitgenössischer Auseinandersetzungen mit Natur- und Wissenschaftsebenen bilden dabei zumeist Oppenheim & Putnam (1958). Für eine Diskussion der Bedeutung von Ebenenhierarchien in verschiedenen philosophischen Debatten siehe Kim (2002), Brooks (2017) und Eronen (2018).

² Anstatt der Entitäten selbst kann es auch deren Verhalten, Aktivitäten, Zustände, Gesetzmäßigkeiten oder Eigenschaften, etc. sein, was auf verschiedenen Ebenen verortet ist. Der Einfachheit halber werde ich in diesem Unterkapitel nur von Entitäten auf verschiedenen Ebenen sprechen. Später wird dann vor allem die Frage nach Ereignissen und Prozessen auf verschiedenen Ebenen in den Fokus rücken.

³ vgl. Craver (2007, 170-172)

wissenschaftlichen Kategorisierung der Natur. Folglich liefert die Beschreibung der Natur als Ebenenhierarchie entweder eine Aussage über die tatsächliche Beschaffenheit der Natur oder lediglich über unsere Erkenntnis einer nicht zwingend selbst in Ebenen gegliederten Natur.

Die Wissenschaftsebenen spiegeln sich dabei in der Gliederung der empirischen Wissenschaften in verschiedene Disziplinen und Subdisziplinen mit verschiedenen ihnen je angestammten Gegenstandsbereichen wider. So beschäftigen sich bspw. die Physik mit subatomaren und atomaren Strukturen, die Chemie mit Atom- und Molekülbindungen, die Biologie mit biologischen Makromolekülen, Zellen, Organismen und Populationen, die Psychologie mit Kognitionsvorgängen und die Sozialwissenschaften mit dem Sozialverhalten von Menschen. Bei einer solchen Gliederung der Wissenschaften zeigt sich allerdings bereits, dass sich die Gegenstandsbereiche mitunter überlappen. Einerseits beansprucht die Physik bspw. skalenunabhängige Gesetzmäßigkeiten aufzustellen, wodurch physikalische Gesetzmäßigkeiten auch auf vordergründig chemische, biologische oder soziale Ereignisse und Prozesse Anwendung finden. Andererseits zeugen die Wissenschaften von fließenden Übergängen, sodass es entsprechend schwer ist, überhaupt Grenzen zwischen den einzelnen Wissenschaften zu ziehen. Beispielsweise interessieren sich etwa Physik und Chemie gleichermaßen für Atomorbitale, auch wenn dies in der Physik oftmals auf das Wasserstoffatom beschränkt bleibt. Ebenso geht die Chemie fließend mit immer komplexer werdenden organischen Molekülen in die Biologie über.

Wenngleich es nun naheliegend scheint, dass eine Gliederung der Wissenschaften eine ontologische Entsprechung in Naturebenen findet,⁴ ist es entscheidend Natur- und Wissenschaftsebenen aufgrund ihres unterschiedlichen Geltungsanspruchs auseinanderzuhalten. Die Unterscheidung in Natur- und Wissenschaftsebenen bedeutet nun, dass selbst wenn es eine Hierarchie von Wissenschaftsebenen geben sollte, ein Schluss von einer solchen Gliederung auf die Gliederung der Natur selbst nicht zwangsläufig folgt, sondern lediglich ein mögliches Indiz für eine entsprechende Gliederung der Natur darstellt. Auf der anderen Seite bedeutet eine solche Unterscheidung von Wissenschafts- und Naturebenen nun aber auch, dass das Fehlen einer strikten Trennung von wissenschaftlichen Disziplinen sowie einander widersprechende wissenschaftliche Theorien nicht zwangsläufig eine erkenntnisunabhängige Gliederung der Natur in Ebenen ausschließt. Denn selbst bei einer möglichen Gliederung der Natur in Ebenen könnte bspw. die Beschränktheit menschlicher Erkenntnis eine fehlende strikte Trennung wissenschaftlicher Disziplinen zur Folge haben. Im Folgenden werde ich entsprechend den

⁴ Bspw. sprechen Oppenheim & Putnam (1958, 9-10/27-29) von einer natürlichen Ordnung der Wissenschaften und unterscheiden folglich auch nicht zwischen Wissenschafts- und Naturebenen.

Fokus unabhängig von einer möglichen Gliederung der Wissenschaften in Ebenen auf Naturebenen legen.

Allgemein impliziert nun eine Hierarchie von Naturebenen zunächst keine ontologische Vorrangstellung niedriger oder höherer Ebenen, sondern beschreibt nur eine relative Anordnung von Entitäten und Ereignissen.⁵ Weiter spiegelt eine Hierarchie von Naturebenen vordergründig eine synchrone Anordnung der Natur in einem festen Zeitraum wider.⁶ Zwar finden Ereignisse und Prozesse innerhalb einer Ebene durchaus im Zeitverlauf statt, ihre unter- bzw. übergeordneten Ereignisse und Prozesse auf niedrigeren und höheren Ebenen finden allerdings zeitgleich dazu statt. Bilden Zellen bspw. eine Naturebene, bedeutet dies, dass Zellen bzw. die Ereignisse und Prozesse, in denen sie involviert sind, nicht zeitlich nach den Ereignissen und Prozessen der ihnen zugrundeliegenden Zellorganelle stattfinden, sondern gleichzeitig mit diesen.

Die Idee von Interaktionsebenen ist es nun, dass diese Naturebenen autonome Bereiche bilden, in denen sich die kausalen Interaktionen in unserer Welt im Wesentlichen verorten lassen. Entsprechend zeichnet die Möglichkeit kausaler Interaktionen von Entitäten bzw. die Möglichkeit von Kausalbeziehungen zwischen entsprechenden Ereignissen die Zugehörigkeit dieser Entitäten und Ereignisse zu ein und derselben Ebene sowie gleichzeitig ihre Abgeschlossenheit gegenüber anderen Ebenen aus. Allerdings stellt sich die Frage, ob solche Interaktionsebenen nicht einfach durch die entsprechenden Kausalbeziehungen selbst charakterisiert sind und damit nicht den Rahmen für spezielle Kausalbeziehungen und Ereignisse bilden, sondern bereits deren Folge sind. Entsprechend möchte ich im Folgenden der Frage nachgehen, ob sich solche Interaktionsebenen auch anders als durch die Kausalbeziehungen selbst auszeichnen lassen.

2.1.2 Strukturebenen als Interaktionsebenen

Die Frage, ob sich Interaktionsebenen auch durch etwas anderes als den einzelnen speziellen Kausalbeziehungen selbst auszeichnen lassen und somit einen nicht-zirkulären Rahmen für spezielle Kausalbeziehungen bilden können, wirft zunächst die grundlegendere Frage auf, wie

⁵ Neben einer ontologischen Vorrangstellung niedrigerer Ebenen (siehe z. B. Pettit 1994) sind insbesondere auch eine Vorrangstellung höherer Ebenen (siehe z. B. Schaffer 2010) sowie eine fehlende Vorrangstellung und damit eine gleichermaßen ontologische Bedeutung aller Ebenen (siehe z. B. Hüttemann 2004) denkbar. Die folgenden Überlegungen sind zudem unabhängig von der Frage nach der Existenz einer untersten Ebene (vgl. Schaffer 2003).

⁶ Dies soll nicht bedeuten, dass eine Hierarchie von Naturebenen als Ganzes nicht das Produkt eines evolutionären Prozesses und damit keiner zeitlichen Veränderung ausgesetzt wäre (vgl. Oppenheim & Putnam 1958, 23-27 und Wimsatt 2007, 212-213/221-227). Auch wenn die Ebenen im Zuge der Evolution erstmals nacheinander in Erscheinung treten, lösen die späteren höheren Ebenen die früheren nicht ab, sodass die Ebenen tatsächlich eine hierarchische Struktur ausbilden.

allgemein eine Auszeichnung von Naturebenen noch erfolgen könnte. Dies führt nun zu einer Unterscheidung von Naturebenen in Struktur- und Interaktionsebenen. Denn neben möglicher interaktiver Beziehungen mit anderen Entitäten, kann die gemeinsame Zugehörigkeit verschiedener Entitäten zu ein und derselben Naturebene prinzipiell auch in einer gemeinsamen Struktur der Entitäten selbst liegen. Entsprechend lassen sich Strukturebenen, deren Entitäten durch gemeinsame Strukturmerkmale ausgezeichnet sind, von Interaktionsebenen, deren Entitäten als miteinander interagierbare Entitäten ausgezeichnet sind, zunächst begrifflich unterscheiden. Sollen nun Interaktionsebenen nicht durch die einzelnen speziellen Kausalbeziehungen selbst charakterisiert werden, sondern den Rahmen für spezielle Kausalbeziehungen bilden, muss die Charakterisierung von Interaktionsebenen aber ebenfalls über solche ausgezeichneten Strukturmerkmale, die die Zugehörigkeit verschiedener Entitäten zu ein und derselben Ebene bestimmen, und damit über Strukturebenen erfolgen. Als solche ausgezeichneten Strukturmerkmale lassen sich grundsätzlich eine vergleichbare Organisation der Entitäten sowie eine vergleichbare Größenordnung bzgl. bestimmter ausgezeichneter Skalen angeben. Entsprechend lassen sich Strukturebenen zunächst weiter in Organisations- und Größenebenen unterscheiden.

Im ersten Fall von Organisationsebenen besteht die Grundintuition darin, dass es ausgezeichnete lokale Organisationsformen in der Natur gibt, die globale Ebenen ausbilden. Entsprechend finden sich Entitäten vergleichbarer Organisation auf ein und derselben Ebene wieder. Diese globalen Ebenen lassen sich sodann aufgrund der Zusammensetzung der einzelnen Entitäten aus anderen Entitäten hierarchisch anordnen und bilden so die Grobstruktur der Natur.⁷ Beispielsweise bilden Zellen und Moleküle solche ausgezeichneten Organisationsformen, die aufgrund ihrer ausgezeichneten Organisationsform je eine Ebene bilden. Da Zellen aus Molekülen aufgebaut sind und nicht andersherum, lässt sich folglich die Ebene der Moleküle unterhalb der Ebene der Zellen anordnen.⁸ Im zweiten Fall von Größenebenen ist die Intuition hingegen, dass es ausgezeichnete Größenordnungen ausgezeichneter physikalischer Größen gibt, die sich entsprechend hierarchisch als Ebenen anordnen lassen. Gemäß einer solchen Ebenenkonzption finden sich bspw. Entitäten vergleichbarer räumlicher Ausdehnung

⁷ Für solche Ebenenhierarchien argumentieren insbesondere Oppenheim & Putnam (1958) und Wimsatt (2007). Während bei Oppenheim & Putnam (1958, 5-6) die Ebenen durch je eine ausgezeichnete uniform zusammengesetzte Organisationsform charakterisiert sind, sind sie bei Wimsatt (2007, 206-211) als Regularitätsmaxima möglicher Organisationsformen durch ihre relative Robustheit und Abgeschlossenheit gegenüber anderen Organisationsformen charakterisiert. Im Unterschied zu Oppenheim & Putnam, können dabei bei Wimsatt (2007, 213/220) Entitäten aus Entitäten unterschiedlicher Organisationsform oder als Mechanismen zusammengesetzt sein. Auch Craver (2007, Kap. 5) und Bechtel (2008, Kap. 4) betonen die Bedeutung mechanistischer Kompositionsbeziehungen für Ebenen, allerdings verstehen sie unter Ebenen nur die lokalen Kompositionshierarchien. Eine ausführliche Diskussion der verschiedenen Ebenenkonzptionen findet sich bei Eronen (2018).

⁸ Vgl. Oppenheim & Putnam (1958, 9-10) und Wimsatt (2007, 233-234).

oder Entitäten mit vergleichbaren Beträgen ausgezeichneter Erhaltungsgrößen unabhängig von ihrer Organisationsform auf ein und derselben Ebene wieder.⁹ Die entsprechenden Skalen geben sodann unmittelbar hierarchische Anordnungen dieser globalen Ebenen vor.

Damit stellt sich nun die Frage, ob Organisations- oder Größenebenen auch eine Bedeutung als Interaktionsebenen zukommen kann und sie folglich den Rahmen spezieller Kausalbeziehungen bilden können. Eine solche Rolle von Organisations- und Größenebenen als Interaktionsebenen würde bedeuten, dass nur diejenigen Entitäten miteinander interagieren können, die eine vergleichbare Organisationsform bzw. Größenordnung bzgl. einer ausgezeichneten physikalischen Größe aufweisen.¹⁰ Allerdings zeigt die Erfahrung, dass sehr wohl Entitäten verschiedener Organisationsformen und Größenordnungen miteinander interagieren können. So interagieren bspw. Zellen mit Makromolekülen und einzelne Individuen mit ganzen Populationen trotz verschiedener Organisationsform und räumlicher Ausdehnung. Insbesondere können sich überhaupt erst komplexe Ganzheiten dadurch ausbilden, dass Entitäten unterschiedlicher Strukturebenen miteinander interagieren. Dies soll nicht bedeuten, dass es nicht möglich wäre, dass überwiegend Entitäten derselben Organisationsform und/oder Größenordnung miteinander interagieren, allerdings zeigen die Beispiele, dass nicht allein dieselbe Organisationsform und Größenordnung Voraussetzung für gemeinsame Interaktionen sein können. Folglich sind Strukturebenen, die durch die Organisationsformen und Größenordnungen ihrer Entitäten charakterisiert sind, nicht als Interaktionsebenen, die den globalen Rahmen für spezielle Kausalbeziehungen bilden könnten, geeignet.¹¹

Eine mögliche Bedeutung solcher Strukturebenen als Interaktionsebenen würde hingegen wiederum voraussetzen, dass bereits feststeht, welche Organisationsformen und Größenordnungen miteinander interagieren können. Damit lassen sich aber erst durch eine Vielzahl unabhängiger spezieller Kausalbeziehungen zwischen Ereignissen einzelner Entitäten bestimmter Organisation und Größe diese zu ein und derselben Ebene im Sinne von Interaktionsebenen zusammenfassen. Wenn also überhaupt etwas verschiedene Organisationsformen und Größen-

⁹ Potochnik & McGill (2012) argumentieren bspw. für eine hierarchische Anordnung der Entitäten der Natur entlang ihrer räumlichen Ausdehnung. Rueger & McGivern (2010, 382-383) argumentieren darüber hinaus für eine hierarchische Anordnung bzgl. verschiedener physikalischer Größen wie Ausdehnung, Impuls und Energie.

¹⁰ Insbesondere Wimsatt (2007, 203-204/209-210) legt eine mögliche Bedeutung seiner als Regularitätsmaxima bestimmten Organisationsebenen als Interaktionsebenen nahe, insofern diese weitestgehend kausal abgeschlossene Bereiche bilden. Ebenso sind Potochnik & McGills (2012, 133-136) Größenebenen maßgeblich dadurch motiviert, dass (zumindest in der Ökologie) auf verschiedenen Größenordnungen räumlicher Ausdehnung fundamental verschiedene Kausalprozesse auftreten und überwiegend Entitäten gleicher Größe miteinander interagieren.

¹¹ Daran ändert auch ein mögliches Zusammenfallen von Organisations- und Größenebenen nichts. So diskutiert bspw. Wimsatt (2007, 206-209) eine hierarchische Anordnung entlang der räumlichen Ausdehnung als Folge der eigentlichen Organisationshierarchie. Eronen (2013, 2015) hingegen argumentiert, dass unsere Vorstellung von Ebenen sich zwar aus den beiden Konzepten von lokaler Komposition bzw. Organisation und globalen Skalen zusammensetzt, dass aber zugleich diese beiden Konzepte sich in der Regel nicht zusammenbringen lassen und es folglich sinnvoller ist den Ebenensprech ganz aufzugeben.

ordnungen kausal zusammenbringt und damit solche Strukturebenen als Interaktionsebenen auszeichnet, sind es wiederum die einzelnen Kausalbeziehungen selbst.¹² Damit bleibt aber nur die Möglichkeit bestehen, dass die speziellen Kausalbeziehungen selbst Interaktionsebenen als solche auszeichnen und damit grundlegender als diese Ebenen sind. Folglich können spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen nicht durch höhere Ebenen charakterisiert sein, sondern können höchstens solche höheren Interaktionsebenen überhaupt erst auszeichnen. Mögliche den speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen nachgelagerte Interaktionsebenen sind damit aber für die Analyse spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen nicht länger von Interesse und werden entsprechend im Weiteren keine Rolle spielen. Stattdessen werde ich im nächsten Unterkapitel versuchen zu zeigen, wie sich spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen auch unabhängig von möglichen globalen Interaktionsebenen über die Konstitution spezieller Ereignisse ontologisch charakterisieren lassen.

2.2 Wahrscheinlichkeit und Kausalität spezieller Ereignisse

Nachdem ich gezeigt habe, dass mögliche Interaktionsebenen immer schon spezielle Kausalbeziehungen voraussetzen, werde ich in diesem Unterkapitel die Idee von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität als Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen auf höheren Ebenen zugunsten einer lokalen ontologischen Charakterisierung aufgeben. Konkret werde ich versuchen spezielle Wahrscheinlichkeit und Kausalität als Wahrscheinlichkeiten von bzw. als Kausalbeziehungen zwischen intrinsisch ausgezeichneten speziellen Ereignissen zu bestimmen (2.2.1). Darüber hinaus werde ich zeigen, dass sich durch einen geeigneten Konstitutionsbegriff diese speziellen Ereignisse von den ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen konzeptuell unterscheiden lassen, sodass zumindest prinzipiell eigenständige spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen möglich werden (2.2.2). Entsprechend werde ich spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen im weiteren Verlauf der Arbeit ausschließlich als Wahrscheinlichkeiten von bzw. als Kausalbeziehungen zwischen solchen speziellen Ereignissen ontologisch charakterisiert verstehen.

¹² So zeichnet auch bei Potochnik & McGill (2012, 135-137) erst die Interaktion verschieden großer Entitäten aus, welche Entitäten zu ein und derselben Ebene gehören, sodass eine fundamentale Verschiedenheit von Kausalbeziehungen verschiedener Größenordnungen bereits vorausgesetzt werden muss. Rueger & McGivern (2010, 387) verweisen hingegen auf fundamental verschiedene Strukturen und Prozesse auf unterschiedlichen Größenordnungen verschiedener kontinuierlicher Skalen, die in den signifikant verschiedenen Größenordnungen selbst begründet liegen.

2.2.1 Spezielle Ereignisse ohne höhere Ebenen

Die Idee hinter Interaktionsebenen war, dass Naturebenen bestimmen welche Entitäten miteinander interagieren bzw. welche Ereignisse miteinander in Kausalbeziehungen stehen können und dass sie damit letztlich spezielle Kausalbeziehungen als solche auszeichnen. Die Interaktion verschieden organisierter sowie verschieden großer Entitäten hat allerdings gezeigt, dass weder Organisations- noch Größenebenen sich als Grundlage solcher Interaktionsebenen eignen, da beide, sobald sie als Interaktionsebenen interpretiert werden, die zu bestimmenden Kausalbeziehungen bereits voraussetzen müssen. Während sich also die Relata von Kausalbeziehungen weder auf einzelne Organisationsformen noch auf einzelne Größenordnungen einschränken lassen, werde ich im Folgenden zeigen, dass sich dennoch sinnvoll von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität im Sinne von Wahrscheinlichkeiten von bzw. Kausalbeziehungen zwischen einzelnen speziellen Ereignissen in Abgrenzung zu den Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen der diesen speziellen Ereignissen zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse sprechen lässt.

Zunächst kann eine Charakterisierung von speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen nur insofern über spezielle Ereignisse erfolgen, als diese nicht selbst wiederum über höhere Ebenen charakterisiert sind. Denn eine Charakterisierung spezieller Ereignisse über höhere Ebenen würde gerade wieder eine Charakterisierung spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität über höhere Ebenen und damit die aufgezeigten Probleme implizieren. Folglich lassen sich spezielle Ereignisse höchstens lokal durch ihren Aufbau aus fundamentaleren Ereignissen charakterisieren. Eine genaue Analyse des Aufbaus bzw. der Konstitution spezieller Ereignisse aus ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen werde ich dabei erst im nächsten Abschnitt vornehmen, bis dahin verstehe ich unter 'Konstitution' schlicht, dass speziellen Ereignissen auf eine bestimmte Weise fundamentalere Ereignisse zugrunde liegen. Unter 'fundamentaleren Ereignissen' sind dabei dementsprechend die bzgl. einer solchen Konstitutionsrelation, die später als eine bestimmte Art von Abhängigkeitsrelation bestimmt werden wird, fundamentalere Ereignisse zu verstehen.

Grundsätzlich setzt nun aber die Abgrenzung spezieller Ereignisse von zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen zunächst einen Ereignisbegriff voraus, der nicht einfach Ereignisse mit bloßen Raumzeitgebieten bzw. deren Inhalten gleichsetzt, sondern diese bzgl. verschiedener Konstitutionsstufen relativiert.¹³ Denn nur durch eine solche Relativierung hinsichtlich verschiedener Konstitutionsstufen lässt sich überhaupt von speziellen Ereignissen in Abgrenzung zu den ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen sprechen. Demnach

¹³ Für eine Diskussion verschiedener Ereigniskonzeptionen siehe Casati & Varzi (2020).

beschreiben spezielle Ereignisse und die sie konstituierenden fundamentaleren Ereignisse die Inhalte ausgezeichneter Raumzeitgebiete zu verschiedenen Konstitutionsstufen. Dabei betrachte ich nur die Inhalte solcher Raumzeitgebiete und Konstitutionsstufen als spezielle Ereignisse, die durch ihren Inhalt eine sinnvolle Abgrenzung erfahren. Solche sinnvoll abgesteckten Raumzeitgebiete und Konstitutionsstufen zeichnen sich durch eine intrinsische Stabilität der in ihnen enthaltenen Entitäten aus, die als Ganzes in einer Raumzeitregion eine Veränderung erfahren.

Um sich dabei nicht unmittelbar der Gefahr einer Reduktion aller Ereignisse auf fundamentalere Ereignisse auszusetzen, darf eine Charakterisierung spezieller Ereignisse dabei nur die für die jeweilige Konstitutionsstufe relevanten Veränderungen berücksichtigen. Denn würden auch fundamentalere Veränderungen eines bestimmten Raumzeitgebiets berücksichtigt, würde das entsprechende spezielle Ereignis mit den ihm zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen zusammenfallen. Demnach stellen spezielle Ereignisse für die entsprechende Konstitutionsstufe relevante Veränderungen dar, die ich im Folgenden auch als spezielle Veränderungen bezeichnen werde. Später werde ich im Rahmen der im 4. Kapitel entwickelten Kausalitätstheorie dieser Charakterisierung spezieller Ereignisse als spezielle Veränderungen eine Charakterisierung spezieller Prozesse als spezielle Erhalte gegenüberstellen. Für den weiteren Verlauf der Arbeit ist es dabei ausreichend, dass die Erfahrung zeigt, dass es solche stabilen Entitäten, die als Ganzes Veränderungen erfahren und entsprechend spezielle Ereignisse auszeichnen, gibt. Wie genau die Ausbildung solcher stabilen Entitäten aus fundamentaleren Entitäten im Einzelfall erfolgt und welche Entitäten solche stabilen Entitäten konkret darstellen, ist hingegen für diese Arbeit nicht weiter von Belang und in erster Linie wohl auch eher Gegenstand der empirischen Wissenschaften selbst.

Die zuletzt ausgeführten Überlegungen möchte ich nun kurz anhand des makroskopischen Ereignisses des Werfens eines Steins, das im Verlauf der Arbeit immer wieder als paradigmatisches Beispiel für ein spezielles Ereignis auftreten wird, veranschaulichen. Unter dem Ereignis des Werfens eines Steins verstehe ich dabei im Weiteren den eigentlichen Wurfvorgang selbst, also das, was zeitlich zwischen dem Bewegen der Hand und dem Loslassen des Steins geschieht. Diesem Ereignis werde ich später den Prozess des Steinflugs, also den Prozess, wie sich der Stein, nachdem er geworfen wurde, in der Luft fortbewegt, gegenüberstellen. Das makroskopische Ereignis des Werfens eines Steins sowie die ihm zugrundeliegenden molekularen Ereignisse stellen nun zunächst verschiedene Konstitutionsstufen derselben Raumzeitregion dar. Weiter stellt das makroskopische Ereignis des Steinwurfs nun insofern ein spezielles Ereignis dar, als der in diesem Ereignis enthaltene Stein eine stabile Entität darstellt,

die als Ganzes eine Veränderung erfährt. Die zugrundeliegenden molekularen Ereignisse, die dasselbe Raumzeitgebiet einnehmen, bilden hingegen kein einheitliches Ereignis, sondern – wie ich ebenfalls später im Rahmen der Charakterisierung spezieller Kausalbeziehungen noch zeigen werde – eine Vielzahl über fundamentalere Prozesse miteinander verbundener fundamentalerer Ereignisse, die ihrerseits durch die Veränderungen der in ihnen enthaltenen molekularen Entitäten ausgezeichnet sind.

Auch wenn ich mich in dieser Arbeit aus Gründen der Einfachheit weitestgehend auf solche physikalischen speziellen Ereignisse wie den Steinwurf konzentrieren werde, werde ich darüber hinaus immer auch versuchen anzudeuten, wie sich diese Überlegungen auf nicht-physikalische spezielle Ereignisse übertragen lassen.¹⁴ So können bspw., wie ich später noch diskutieren werde, chemische bzw. biologische Entitäten wie DNA-Moleküle ebenfalls durch ihre intrinsische Stabilität ausgezeichnete Entitäten darstellen, die etwa im Entwinden der DNA eine spezielle Veränderung erfahren können, sodass diese Veränderung damit ein spezielles Ereignis darstellt, das sich von den zugrundeliegenden fundamentaleren Veränderungen und damit Ereignissen der einzelnen DNA-Bestandteile abgrenzen lässt.

Mit einem solchen Begriff spezieller Ereignisse können nun spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen ohne höhere Ebenen ausschließlich über die Konstitution ihrer Ereignisse ontologisch charakterisiert werden. Denn sofern spezielle Ereignisse durch ihre Konstitution aus fundamentaleren Ereignissen charakterisiert sind, können sie problemlos den Ausgangspunkt für spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen bilden.¹⁵ Die Auszeichnung spezieller Ereignisse über ihre Konstitution bedeutet nun, dass der Aufbau von Ereignissen aus zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen zur Ausbildung spezieller Ereignisse führt, die zunächst unabhängig von den Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen der zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse selbst als Gegenstand von (speziellen) Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen betrachtet werden können. Mit der angegebenen Charakterisierung spezieller Ereignisse lassen sich so bspw. zunächst die Kausalbeziehungen, in denen das Werfen eines Steins als makroskopisches Ereignis mit anderen Ereignissen steht, von den mikroskopischen molekularen Ereignissen, die dem Werfen des Steins zugrunde liegen, und deren Kausalbeziehungen unterscheiden. Gleichermäßen lassen sich so bspw. auch die Wahrscheinlichkeiten eines makroskopischen Ereignisses, wie dem Landen einer Münze mit

¹⁴ Der Begriff 'physikalisch' ist dabei im Weiteren immer in einem engen Sinne von 'die Physik betreffend' zu verstehen. Insofern ich mentale Ereignisse bereits in der Einführung vom Gegenstand dieser Arbeit ausgeschlossen habe, sind in dieser Arbeit folglich mit 'nicht-physikalischen Ereignissen' nicht mentale Ereignisse, sondern physische Ereignisse wie bspw. chemische oder biologische Ereignisse gemeint.

¹⁵ Entscheidend ist dabei, dass Ereignisse anders als bspw. bei Davidson (1969) nicht über ihre Kausalkräfte charakterisiert werden.

einem bestimmten Ergebnis, von den möglichen fundamentaleren Wahrscheinlichkeiten der mikroskopischen Ereignisse, die dem makroskopischen Ereignis zugrunde liegen, prinzipiell unterscheiden.

Für eine solche Charakterisierung spezieller Ereignisse und damit spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen ist es dabei zunächst ausreichend, dass es zugrundeliegende fundamentalere Ereignisse gibt, fundamentale Ereignisse im Sinne von letzten nicht weiter analysierbaren Ereignissen müssen hingegen nicht vorausgesetzt werden. Insbesondere stellen damit die Begriffe fundamentalerer und spezieller Ereignisse eine relative Charakterisierung dar, insofern Ereignisse im Verhältnis zu den einen (fundamentaleren) Ereignissen spezielle Ereignisse und zu anderen (speziellen) Ereignissen fundamentalere Ereignisse darstellen können. Diese Relativierung überträgt sich sodann auch auf die entsprechenden speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen.

Insofern sich diese Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen spezieller Ereignisse von den Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen der ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse zunächst begrifflich unterscheiden lassen, lässt sich also unabhängig von möglichen Interaktionsebenen von speziellen Ereignissen und ihren (speziellen) Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen sprechen. Diese allgemeine Charakterisierung spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen als Wahrscheinlichkeiten von bzw. als Kausalbeziehungen zwischen solchen speziellen Ereignissen sagt allerdings noch nichts darüber aus, was es genau heißt, dass einem speziellen Ereignis eine bestimmte Wahrscheinlichkeit zukommt bzw. dass zwei spezielle Ereignisse in einer Kausalbeziehung zueinander stehen. Auch wie die Wahrscheinlichkeiten von bzw. die Kausalbeziehungen zwischen speziellen Ereignissen mit den Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen der zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse ontologisch zusammenhängen ist damit noch nicht bestimmt. Während ich die erste Frage nach einer geeigneten Theorie spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität in den Kapiteln 3 bzw. 4 zu beantworten suche, wird die zweite Frage nach dem Verhältnis von speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen zu den ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen aufbauend auf diesen Theorien erst in Kapitel 5 eine abschließende Antwort finden. Bis dahin ermöglicht die vorgenommene Charakterisierung spezieller Ereignisse aber bereits, dass sich überhaupt sinnvoll von speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen sprechen lässt. Bevor ich nun in den nächsten beiden Kapiteln spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen separat analysieren werde, möchte ich zunächst noch wie angekündigt die Konstitution spezieller Ereignisse aus zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen versuchen zu spezifizieren.

2.2.2 Multiple Konstitution spezieller Ereignisse

In den vorangegangenen Abschnitten habe ich gezeigt, dass eine mögliche Bestimmung spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität über die Konstitution spezieller Ereignisse selbst führen muss. In diesem Abschnitt möchte ich nun versuchen die Konstitution spezieller Ereignisse aus fundamentaleren Ereignissen so zu spezifizieren, dass später die Abgrenzung spezieller Ereignisse und damit letztlich spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen von den zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen und ihren Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen keine rein begriffliche bleibt, gleichzeitig aber spezielle und fundamentalere Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen auch nicht vollständig voneinander losgelöst werden. Dazu müssen spezielle Ereignisse einerseits eine gewisse ontologische Eigenständigkeit besitzen, andererseits zugleich auf den zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen aufbauen.

Denn nur so lässt sich unserer Erfahrung gerecht werden, dass spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen fundamentalere Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen nicht eindeutig festlegen, gleichzeitig aber die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen nur verschiedene Konstitutionsstufen derselben einen Natur beschreiben. Schließlich nehmen wir einerseits verschiedene Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen auf verschiedenen Konstitutionsstufen derselben Raumzeitgebiete wahr, erfahren diese aber andererseits nie vollständig voneinander losgelöst. Beispielsweise nehmen wir das Landen einer Münze oder das Werfen eines Steins als eigenständige makroskopische Ereignisse wahr, die trotz zugrundeliegender mikroskopischer Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen selbst Gegenstand eigener makroskopischer Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen sein können. Zugleich wissen wir aber auch, dass den makroskopischen Ereignissen des Landens der Münze und des Werfens des Steins mikroskopische Veränderungen zugrunde liegen und es folglich keine makroskopischen Ereignisse ohne zugrundeliegende mikroskopische Ereignisse geben kann.

Eine solche ontologische Eigenständigkeit spezieller Ereignisse bei gleichzeitiger Abhängigkeit von fundamentaleren Ereignissen muss nun aber in der Konstitution der speziellen Ereignisse selbst gründen. Entsprechend möchte ich im Folgenden untersuchen, wie eine geeignete Konstitutionsrelation, die ontologisch eigenständige spezielle Ereignisse ermöglicht, aussehen könnte. Allgemein verstehe ich unter der Konstitution eines einzelnen speziellen Ereignisses seinen Aufbau aus zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen und damit zunächst eine Relation zwischen einem speziellen Ereignistoken und einer Menge

fundamentalerer Ereignistoken.¹⁶

Diese Relation ließe sich nun zunächst am naheliegendsten als eine Identitätsbeziehung interpretieren, wonach ein einzelnes spezielles Ereignis einfach mit der Menge der ihm zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse identisch wäre. Damit würden sich aber spezielle Ereignisse und mit ihnen letztlich spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen ontologisch vollständig auf fundamentalere Ereignisse reduzieren lassen. Denn wo ein einzelnes spezielles Ereignis nichts weiter als die bloße Gesamtheit fundamentalerer Ereignisse ist können auch die Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen dieses Ereignisses nichts weiter als eine solche Gesamtheit fundamentalerer Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen sein. Damit würde aber insbesondere die Änderung einzelner zugrundeliegender fundamentalerer Ereignisse immer auch ein verändertes spezielles Ereignis implizieren und mithin echte spezielle Ereignisse als Gegenstand eigenständiger spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen praktisch unmöglich werden.

Um nun zumindest prinzipiell ontologisch eigenständige spezielle Ereignisse zu ermöglichen, muss ein einzelnes spezielles Ereignis also schlicht mehr sein als die bloße Gesamtheit der zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse. Damit also bspw. das Landen einer Münze und das Werfen eines Steins als makroskopische Ereignisse Gegenstand ontologisch eigenständiger spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen sein können, müssen sie mehr als die Gesamtheit der ihnen tatsächlich zugrundeliegenden mikroskopischen Ereignisse sein. Die Grundidee, die ich im Weiteren verfolgen möchte, ist nun, dass dieses Mehr und damit die ontologische Eigenständigkeit spezieller Ereignisse in einer multiplen Konstitution spezieller Ereignisse gründet. Dabei verstehe ich unter der multiplen Konstitution eines speziellen Ereignisses, dass das einzelne spezielle Ereignistoken nicht nur durch die tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse ontologisch charakterisiert ist, sondern darüber hinaus durch eine Vielzahl von Konstitutionsweisen, die dasselbe spezielle Ereignis zur Folge gehabt hätten.¹⁷

¹⁶ Eine Konstitutionsbeziehung grenzt sich dabei insofern von einer Teil-Ganzes-Beziehung ab, als letztere eine Relation zwischen zwei einzelnen Ereignistoken beschreibt (vgl. Jones 2015, 252-258)

¹⁷ Ähnliche Konstitutionskonzepte für Objekte statt Ereignisse, die ebenso unter dem Namen der multiplen Konstitution firmieren, finden sich bei Kistler (2009) und Jones (2015). Kistler (2009, 600-601) argumentiert dabei vor einem ähnlichen Hintergrund und schreibt: „a given object can be, successively or alternatively, constituted by more than one collection of parts“. Bei Jones (2015, 222-224) bildet hingegen das Problem der Vielen (problem of the many), also das Problem das scheinbar eindeutig bestimmte Entitäten oftmals einer Vielzahl gleichwertiger möglicher Konstituentenmengen gegenüberstehen, den Ausgangspunkt für eine multiple Konstitution: „many different collections of particles can simultaneously constitute a single object“ (vgl. auch Lowe 1982 und 1995). Bei Jones (2015, 226-229) sind die Objekte dabei in erster Linie die Gegenstände charakteristischer Veränderungen, die nicht bzgl. verschiedener Konstituentenmengen unterscheiden können.

Dem Konzept der multiplen Konstitution liegt die Beobachtung zugrunde, dass es für ein spezielles Ereignistoken neben den tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen weitere Konstitutionsweisen gibt, die bei einem Wechsel der tatsächlich zugrundeliegenden Konstitutionsweise in diese das konkrete spezielle Ereignis als solches nicht verändern würden. Soll nun nicht nur einer fundamentalen Konstitutionsstufe, sondern gleichermaßen den verschiedenen Konstitutionsstufen einer Raumzeitregion und damit den speziellen Ereignissen eine ontologische Bedeutung zukommen, so lässt sich auch in ontologischer Hinsicht nicht von dem Inhalt eines Raumzeitgebiets per se, sondern immer nur von dem Inhalt eines Raumzeitgebiets bzgl. einer bestimmten Konstitutionsstufe sprechen. Die Idee der multiplen Konstitution ist es sodann diese Eigenschaft eines entsprechend ontologisch interpretierten speziellen Ereignisses, dass es bei einer möglichen Veränderung der tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse unverändert bleiben würde, als eine Eigenschaft des jeweiligen Ereignistokens selbst (und nicht etwa als eine bloße Realisationseigenschaft eines entsprechenden Ereignistyps) zu begreifen.

Folglich beschreibt die multiple Konstitution spezieller Ereignisse in gewissem Sinne eine Symmetrieeigenschaft spezieller Ereignisse, insofern ein Ereignistoken dasselbe spezielle Ereignis bei Transformation einer Konstitutionsweise auf eine andere bleibt. Beispielsweise ändern einzelne Abänderungen der dem Münz- oder Steinwurf zugrundeliegenden molekularen Ereignisse nichts am konkreten Landen einer Münze bzw. am konkreten Werfen eines Steins als makroskopischen Ereignissen, da das makroskopische Ereignistoken gerade durch die Invarianz bzgl. solcher Abänderungen charakterisiert ist. Dabei spielt es keine Rolle, dass die durch die multiple Konstitution erfassten, nicht tatsächlich zugrundeliegenden Konstitutionsweisen auf einer fundamentaleren Konstitutionsstufe nicht tatsächlich physikalisch realisiert bzw. regelmäßig ineinander übergeführt werden. So ist das Ereignis des Landens der Münze oder des Werfens des Steins nicht allein durch die jeweils tatsächlich zugrundeliegende mikroskopische Konstitutionsweise ontologisch charakterisiert, sondern auch durch jene mikroskopischen Konstitutionsweisen, die zwar nicht tatsächlich physikalisch realisiert sind, die aber das einzelne makroskopische Ereignis in Form entsprechender Transformationsinvarianzen überhaupt erst als spezielles Ereignis ontologisch auszeichnen. Letztlich ist ein einzelnes spezielles Ereignis damit nicht einfach mit der Menge der tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse ontologisch identisch, sondern über die tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse hinausgehend eben auch durch diese Symmetrien und damit durch alle weiteren gleichwertigen Konstitutionsweisen ontologisch charakterisiert.

Das Konzept der multiplen Konstitution muss dabei insbesondere von einem Konzept der multiplen Realisation, das in der Regel eine Beziehung zwischen einem Ereignistyp und seinen verschiedenen möglichen Realisationsweisen beschreibt, unterschieden werden.¹⁸ Die hier vorgeschlagene multiple Konstitution bildet dahingegen eine Beziehung zwischen einem einzelnen speziellen Ereignistoken und einer Vielzahl verschiedener Konstitutionsweisen aus fundamentaleren Ereignissen und damit nunmehr eine Beziehung zwischen einem speziellen Ereignistoken und einer Menge von Mengen fundamentalerer Ereignistoken. Konkret bedeutet die multiple Konstitution eines speziellen Ereignisses also, dass ein einzelnes spezielles Ereignis nicht nur durch die tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse konstituiert ist, sondern in Form von Transformationsinvarianzen implizit auch durch alle weiteren Konstitutionsweisen aus anderen fundamentaleren Ereignissen, die dasselbe spezielle Ereignis zur Folge haben würden.

Einem solchem Konzept von multipler Konstitution liegt dabei die Erkenntnis zugrunde, dass spezielle Ereignisse, denen eine eigenständige ontologische Bedeutung zukommen soll und die sich folglich nicht vollständig auf fundamentale Ereignisse ontologisch reduzieren lassen sollen, nach einer Konstitutionsbeziehung zwischen speziellen Ereignissen und den ihnen tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen verlangen, die über eine bloße Identitätsbeziehung hinausgeht. Die Konstitution spezieller Ereignisse beschreibt demnach eine asymmetrische Relation, insofern zwar eine konkrete Menge tatsächlich zugrundeliegender fundamentalerer Ereignisse ein spezielles Ereignis zur Folge hat, gleichzeitig aber dieses eine spezielle Ereignis als solches aufgrund seiner ontologischen Eigenständigkeit durch eine Vielzahl anderer Mengen fundamentalerer Ereignisse in Form von Transformationsinvarianzen ontologisch mit charakterisiert ist.¹⁹

Insofern die multiple Konstitution spezieller Ereignisse in Form von Transformationsinvarianzen implizit nicht-realisierte Konstitutionsweisen mit berücksichtigt, kann den speziellen Ereignissen nun prinzipiell eine eigenständige ontologische Bedeutung, die über die ihnen tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse hinausgeht, zukommen. Diese eigenständige Bedeutung wird, wie ich in Kapitel 5 noch zeigen werde, schließlich die Grundlage für eine entsprechende eigenständige ontologische Bedeutung spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen bilden, wodurch die beschriebene Konstitutions-

¹⁸ Die multiple Realisation wird dabei oftmals auch als Relation zwischen Eigenschaften oder Zuständen statt zwischen Ereignissen verstanden (vgl. Abschn. 5.3.2).

¹⁹ Die multiple Konstitution spezieller Ereignisse impliziert dabei auch, dass spezielle Ereignisse sich weniger scharf gegen ihre Umwelt abgrenzen lassen als die ihnen tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse, da erstere eben auch durch Transformationsinvarianzen bzgl. anderer Konstitutionsweisen, die aus fundamentalerer Perspektive leicht abweichende Raumzeitgebiete implizieren können, ontologisch charakterisiert sind.

beziehung neben der zu anfangs beschriebenen Intuition letztlich wesentlich mit motiviert werden wird.

Damit möchte ich die Diskussion von speziellen Ereignissen als Grundlage spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen zunächst beschließen. In den folgenden beiden Kapiteln werde ich nun die Konzepte spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität zunächst unabhängig voneinander einführen und diskutieren. Hierfür wird zunächst die bloße Annahme der Möglichkeit intrinsisch ausgezeichnete spezieller Ereignisse hinreichend sein. In Kapitel 5 werde ich schließlich unter Hinzunahme der in diesem Abschnitt angestellten Überlegungen zur multiplen Konstitution spezieller Ereignisse zeigen, wie sich spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen miteinander verbinden lassen und wie spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen verschiedener Konstitutionsstufen miteinander zusammenhängen.

Kapitel 3: Spezielle Wahrscheinlichkeit

In diesem Kapitel werde ich das Konzept der Wahrscheinlichkeit zunächst unabhängig diskutieren und interpretieren, um schließlich in Kapitel 5 den genauen Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit und Kausalität spezieller Ereignisse herstellen zu können. Den Einstieg hierzu soll in Unterkapitel 3.1 eine kurze formale und philosophische Charakterisierung spezieller Wahrscheinlichkeit bilden. Vor dem Hintergrund dieser Charakterisierung werde ich sodann versuchen, zentrale Kriterien für eine geeignete Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit anzugeben, die die Grundlage für eine problemorientierte Diskussion bedeutender Wahrscheinlichkeitsinterpretationen im darauf folgenden Unterkapitel 3.2 bilden sollen. Dabei werde ich die verschiedenen Interpretationen anhand ausgewählter Vertreter einführen und ihre Probleme unter Berücksichtigung der neueren Literatur diskutieren. Durch diese Diskussion motiviert werde ich endlich den Fokus auf solche Wahrscheinlichkeitsinterpretationen legen, die die Bedeutung der den probabilistischen Phänomenen zugrundeliegenden Dynamiken hervorzuheben versuchen. Schließlich werde ich im letzten Unterkapitel 3.3 an diesen Interpretationen anknüpfend versuchen, spezielle Wahrscheinlichkeiten über allgemeine Symmetrien zu interpretieren. Die entwickelte Wahrscheinlichkeitsinterpretation soll so den ersten Baustein für eine gemeinsame Interpretation von Wahrscheinlichkeit und Kausalität spezieller Ereignisse in Kapitel 5 liefern.

3.1 Allgemeine Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit

In diesem ersten Unterkapitel werde ich zunächst die Wahrscheinlichkeit formal über die sogenannten Wahrscheinlichkeitsaxiome, die die gemeinsame formale Grundlage der verschiedenen Wahrscheinlichkeitsinterpretationen bilden, charakterisieren (3.1.1). Daran anschließend werde ich eine grundsätzliche Unterscheidung der Interpretationen dieser Axiomatik hinsichtlich epistemologischer und ontologischer sowie primitiver und nicht-primitiver Wahrscheinlichkeitsinterpretationen vornehmen, um im Weiteren den Fokus auf spezielle Wahrscheinlichkeit als ein nicht-primitives ontologisches Wahrscheinlichkeitskonzept zu legen (3.1.2). Abschließend werde ich drei zentrale Kriterien für die spätere Diskussion möglicher Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit formulieren (3.1.3). Im Einzelnen werden diese Kriterien darin bestehen, dass eine entsprechende Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit erstens spezielle Wahrscheinlichkeiten mit zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken in Einklang bringt, zweitens eine Interpretation von Wahrscheinlichkeiten bereits für singuläre probabilistische Phänomene erlaubt sowie drittens Häufigkeiten durch Wahrscheinlichkeiten zu erklären vermag.

3.1.1 Formale Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit

Den gemeinsamen formalen Rahmen der verschiedenen Wahrscheinlichkeitsbegriffe und damit auch Wahrscheinlichkeitsinterpretationen bildet heutzutage in der Regel die axiomatische Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit durch den Logiker und Mathematiker Andrei N. Kolmogorow. Kolmogorow wählte 1933 in seinen „Grundbegriffe[n] der Wahrscheinlichkeitsrechnung“ einen axiomatischen Zugang zur Wahrscheinlichkeit, um so die genuin mathematische Struktur der Wahrscheinlichkeit herauszuarbeiten. Der Vorteil einer solchen allgemeinen formalen Charakterisierung liegt darin, dass sich mit wenigen Annahmen, den sogenannten Wahrscheinlichkeitsaxiomen, die gesamte mathematische Struktur, die den verschiedenen Wahrscheinlichkeitsbegriffen und -interpretationen zugrunde liegt, erfassen lässt, ohne sich dabei in die philosophischen Streitfragen einzulassen. Damit lassen sich zunächst die formalen Aspekte des Wahrscheinlichkeitskonzepts klar von seinen philosophischen Aspekten abgrenzen und die rein mathematischen Implikationen des axiomatisch erfassten Konzepts der Wahrscheinlichkeit fernab von Spekulationen über Sein und Erkenntnis von Wahrscheinlichkeiten in der Welt betrachten.

Die Wahrscheinlichkeitsaxiomatik ist dabei wesentlich durch die mathematische Struktur relativer Häufigkeiten als wichtigstem empirischen Indiz für das Vorliegen von Wahrscheinlichkeiten motiviert. Eine relative Häufigkeit beschreibt, wie oft ein bestimmtes Ereignis bzw. ein bestimmtes Merkmal in einer betrachteten Grundmenge vorliegt, und bestimmt sich entsprechend als das Verhältnis der Mächtigkeit einer Teilmenge (der Menge derjenigen Elemente, die ein bestimmtes Merkmal tragen) zu einer Grund- bzw. Obermenge (der Menge aller betrachteten Elemente). Als ein solches anteiliges Verhältnis ist die relative Häufigkeit zunächst dadurch gekennzeichnet, dass sie nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Darüber hinaus zeichnet sich das Konzept der relativen Häufigkeit dadurch aus, dass die relative Häufigkeit der Grundmenge als Verhältnis der Mächtigkeit der Grundmenge zu sich selbst gleich 1 ist. Schließlich ist die relative Häufigkeit noch dadurch gekennzeichnet, dass die relative Häufigkeit der Vereinigung zweier disjunkter Teilmengen gleich der Summe der relativen Häufigkeiten der beiden Teilmengen ist. Dieser letzte Punkt ergibt sich dabei unmittelbar daraus, dass die Mächtigkeit der Vereinigung zweier disjunkter Teilmengen gleich der Summe der Mächtigkeiten der zwei Teilmengen ist.

Der zentrale Schritt Kolmogorows war nun, von den relativen Häufigkeiten selbst zu abstrahieren und lediglich die genannten drei Eigenschaften zur allgemeinen formalen Charakterisierung von Wahrscheinlichkeiten heranzuziehen. Die Abstraktionsleistung liegt dabei darin, dass diese drei Forderungen bereits ausreichen um Wahrscheinlichkeit formal zu

charakterisieren und dass so insbesondere auf einen expliziten Bezug auf die Mächtigkeit einer zugrundeliegenden Grundmenge verzichtet werden kann.¹ Eine durch diese drei Eigenschaften beschriebene Funktion stellt dabei im mathematischen Sinne eine besondere Form eines Maßes dar,² sodass probabilistische Phänomene durch Wahrscheinlichkeitsräume als einer bestimmten Art von Maßräumen formal beschrieben werden können.

Ein solcher Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, F, P) setzt sich dabei aus einem Messraum (bzw. messbaren Raum) (Ω, F) und einem Wahrscheinlichkeitsmaß P zusammen. Der Messraum (Ω, F) besteht wiederum aus der Grund- bzw. Ergebnismenge Ω und der Menge der messbaren Ereignisse F , die eine gewisse Eigenschaften erfüllende Teilmenge der Potenzmenge von Ω (also der Menge aller Teilmengen von Ω) darstellt.³ Die Elemente der Ergebnismenge Ω werden u. a. als Ergebnisse oder Elementarereignisse bezeichnet und werden später die in dieser Arbeit betrachteten singulären speziellen Ereignisse repräsentieren.⁴ Die Wahrscheinlichkeit schließlich lässt sich als eine bestimmte Art von Funktion auf einem solchen Messraum verstehen, die durch drei Axiome, die den oben festgestellten Eigenschaften relativer Häufigkeiten entsprechen, charakterisiert ist. Ein Wahrscheinlichkeitsmaß P auf einem Messraum (Ω, F) ist folglich zunächst eine Abbildung $P : F \rightarrow [0,1]$ von den messbaren Ereignissen in das abgeschlossene Einheitsintervall, d. h. alle messbaren Ereignisse haben eine Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 1. Weiter ist das Maß der Grundmenge gleich 1 ($P(\Omega) = 1$), d. h. das messbare Ereignis der Grundmenge tritt mit Sicherheit ein. Und schließlich ist die Wahrscheinlichkeit der Vereinigung abzählbar unendlich vieler (und damit – wie man sofort sieht – auch endlich vieler) disjunkter Ereignisse gleich der Summe der Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Ereignisse.⁵

¹ Erst durch diesen Verzicht wird zudem auch die Betrachtung irrationaler Wahrscheinlichkeiten möglich.

² Ein Maß ist dabei eine nicht-negative Funktion, die einerseits der leeren Menge den Wert 0 zuordnet und andererseits die weiter unten diskutierte Eigenschaft der σ -Additivität erfüllt.

³ Die Menge der messbaren Ereignisse F darf im Allgemeinen nicht einfach gleich der Potenzmenge von Ω gesetzt werden, sondern muss die Eigenschaften einer sogenannten σ -Algebra erfüllen, da der Maßraum (Ω, F, P) ansonsten den Paradoxien der naiven Maßtheorie ausgesetzt ist. Mathematisch ist eine σ -Algebra ein Mengensystem, das die Grundmenge enthält, sowie bzgl. Komplementbildungen und abzählbarer Vereinigungen stabil ist. Im Fall der in dieser Arbeit betrachteten Beispiele diskreter Wahrscheinlichkeitsräume ist diese Subtilität allerdings nicht von Bedeutung, sodass dort F einfach gleich der Potenzmenge von Ω gesetzt werden kann. Während Kolmogorow (1933, 2) selbst die Eigenschaften der σ -Algebra ebenfalls als Teil seiner Axiome aufführte, werden heutzutage im Allgemeinen unter Wahrscheinlichkeitsaxiomen nur die das Wahrscheinlichkeitsmaß charakterisierenden Axiome verstanden.

⁴ Die messbaren Ereignisse der Wahrscheinlichkeitstheorie, also die Elemente einer σ -Algebra, stellen hingegen im Allgemeinen nur die Mengen solcher Elementarereignisse dar und finden keine Entsprechung in einem ontologischen Ereignisbegriff.

⁵ Der Grund für die Ausweitung der Additivitätsforderung auf abzählbar unendliche Vereinigungen liegt in der dadurch implizierten Stetigkeit von Maßen, also der Tatsache, dass Maß und Grenzwertbildung vertauschen. Bei Kolmogorow (1933, 13-15) selbst folgt diese sogenannte σ -Additivität entsprechend auch aus zwei separaten Axiomen, einem endlichen Additivitätsaxiom und einem Stetigkeitsaxiom. In der σ -Additivität liegt ein weiterer wesentlicher Abstraktionsschritt, der die Forderung der Additivität der relativen Häufigkeiten zweier disjunkter Teilmengen (und die daraus folgende Additivität der relativen Häufigkeiten endlich vieler disjunkter Teilmengen) auf abzählbar unendliche Teilmengen ausweitet und so das Konzept der Wahrscheinlichkeit überhaupt erst mathematischen Grenzwertbetrachtungen und damit der Analysis zugänglich macht.

Dabei unterscheiden sich Wahrscheinlichkeitsmaße allein durch die Forderung der Normierung, also der Forderung, dass das Maß der Grundmenge gleich 1 ist, von beliebigen Maßen.

Neben der gewonnenen Abstraktion von relativen Häufigkeiten wird mit einer solchen axiomatischen Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit nun eben insbesondere auch die richtige Anwendung sowie Interpretation des Wahrscheinlichkeitskalküls offengelassen. So macht die Axiomatik weder Aussagen darüber, welcher Wahrscheinlichkeitsraum ein probabilistisches Phänomen angemessen beschreibt, noch wie ein solcher Wahrscheinlichkeitsraum richtig zu interpretieren ist. Beispielsweise kann die Wahrscheinlichkeit mit einer Münze Kopf zu werfen auf vielerlei Weise im Sinne der mathematischen Wahrscheinlichkeitstheorie richtig beschrieben werden. Zunächst lassen sich neben den üblichen Elementarereignissen 'Kopf' und 'Zahl' weitere unorthodoxe Elementarereignisse betrachten, wie etwa dass die Münze auf dem Rand landet oder die Münze aufgrund äußerer Umstände nicht wieder zum Liegen kommt. Nachdem die Elementarereignisse (und damit die messbaren Ereignisse als Potenzmenge dieser Elementarereignisse) bestimmt sind bietet sich weiter eine Vielzahl verschiedener Zuschreibungen von Wahrscheinlichkeitswerten. Angenommen die Elementarereignisse wurden auf 'Kopf' und 'Zahl' eingeschränkt, so lassen sich sowohl jedem Ereignis die Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{2}$ zuordnen als auch bspw. 'Kopf' die Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{3}$ und 'Zahl' die Wahrscheinlichkeit $\frac{2}{3}$. Schließlich sind auch alle sonstigen Wahrscheinlichkeiten erlaubt, solange sich die beiden Wahrscheinlichkeiten zu 1 addieren. Solche durch den Wahrscheinlichkeitskalkül beschriebene probabilistische Phänomene werde ich dabei im Folgenden wie üblich als Zufallsexperimente bezeichnen, selbst wenn sie keine Experimente im eigentlichen Sinne darstellen.⁶ Ist nun eine beliebige formale Beschreibung gewählt und damit das Zufallsexperiment formal bestimmt, z. B. durch die Beschreibung, dass 'Kopf' und 'Zahl' je eine Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ haben, verliert die Wahrscheinlichkeitstheorie weiterhin kein Wort darüber, wie diese Wahrscheinlichkeiten richtig zu interpretieren sind. So lässt sich die formale Beschreibung gleichermaßen mit einer Interpretation von Wahrscheinlichkeiten als relativen Häufigkeiten, Dispositionen oder subjektiven Glaubensgraden vereinbaren.

Das mathematische Wahrscheinlichkeitskonzept ist damit also durch die axiomatische Charakterisierung vollständig beschrieben und macht keinerlei Aussagen über die realweltliche Existenz oder Beschaffenheit von Wahrscheinlichkeiten. Insofern die Mathematik dabei Wahrscheinlichkeiten einfach mit den Messwerten normierter Maße gleichsetzt, löst sich der mathematische Wahrscheinlichkeitsbegriff so weit vom philosophischen Wahrscheinlichkeitsbegriff

⁶ Dabei werde ich später in Kapitel 5 diese Zufallsexperimente noch weiter in einen genuin probabilistischen und einen genuin kausalen Aspekt zerlegen und damit letztlich zeigen, inwiefern tatsächlich die multiple Konstitution von Ereignissen ontologisch eigenständige spezielle Wahrscheinlichkeiten ermöglicht.

und dem Phänomen des Zufalls, dass sich in einem mathematischen Sinne bei Messwerten beliebiger normierter Maße von Wahrscheinlichkeiten sprechen lässt, auch wenn diese keine genuin probabilistischen Phänomene mehr beschreiben.⁷ Ob nun hingegen eine konkrete Beschreibung probabilistischer Phänomene durch einen konkreten Wahrscheinlichkeitsraum den betrachteten Phänomenen angemessen ist, müssen diejenigen entscheiden, die den Wahrscheinlichkeitskalkül zur Anwendung bringen. Was darüber hinaus die richtige Interpretation einer solchen adäquaten Anwendung des Wahrscheinlichkeitskalküls auf probabilistische Phänomene ist, ist wiederum Aufgabe der Philosophie und mithin Ziel dieses Kapitels.

Bei der Suche nach der richtigen Interpretation der Wahrscheinlichkeit ist die Philosophie dabei letztlich weder strikt an die konkrete Anwendung des Wahrscheinlichkeitskalküls in den einzelnen Wissenschaften, noch an die beschriebene Axiomatik selbst als vermeintlich einzig möglicher Formalisierung der Wahrscheinlichkeit gebunden. Vielmehr werden die Fragen nach der grundsätzlich legitimen Anwendung der Axiomatik und nach der Adäquatheit der Axiomatik für das philosophische Konzept der Wahrscheinlichkeit selbst zum Teil der philosophischen Auseinandersetzung. Eine Einschränkung a priori auf die Notwendigkeit der beschriebenen Axiomatik und ihrer Allgemeingültigkeit könnte so eventuell die Diskussion um die richtige Interpretation eines vorthoretischen Wahrscheinlichkeitskonzepts von vorneherein schon zu sehr einengen.⁸ Trotz dieses Vorbehalts bildet die in diesem Abschnitt skizzierte Axiomatik aufgrund ihrer Einfachheit und ihrer mathematischen Stärke eine weithin akzeptierte und solide Grundlage für eine philosophische Auseinandersetzung mit dem Konzept der Wahrscheinlichkeit. Entsprechend werde auch ich sie als formalen Rahmen der weiteren Auseinandersetzung mit dem Konzept der Wahrscheinlichkeit und insbesondere einer philosophischen Charakterisierung spezieller Wahrscheinlichkeit im nächsten Abschnitt zugrunde legen.

⁷ Worauf bereits Kolmogorow (1933, 1) bei der Einführung der Wahrscheinlichkeitsaxiomatik selbst verweist: „wir kommen so zu Anwendungen der mathematischen Wahrscheinlichkeitstheorie auf Untersuchungsgebiete, die mit den Begriffen des Zufalls und der Wahrscheinlichkeit im konkreten Sinne dieser Begriffe nichts zu tun haben.“

⁸ So wird unter anderem erwogen, dass das Konzept bedingter Wahrscheinlichkeit dem Konzept absoluter bzw. unbedingter Wahrscheinlichkeit vorausgeht und folglich eine Axiomatik bedingter Wahrscheinlichkeit der beschriebenen Axiomatik vorzuziehen wäre. Auch steht es mitunter zur Diskussion, ob wirklich allen Anwendungen von Wahrscheinlichkeit der gleiche Wahrscheinlichkeitsbegriff zugrunde liegt und sie damit eine einheitliche Axiomatik voraussetzen. Für einen Überblick über diese und weitere Kritikpunkte an der gängigen Wahrscheinlichkeitsaxiomatik siehe Lyon (2016).

3.1.2 Philosophische Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit

a) Wahrscheinlichkeit als ontologisches Konzept

Allgemein lassen sich Wahrscheinlichkeitsinterpretationen zunächst dahingehend unterscheiden, ob sie Wahrscheinlichkeit als ein ontologisches oder ein epistemologisches Konzept charakterisieren. Einerseits lässt sich Wahrscheinlichkeit als ein ontologisches Phänomen auffassen, das unabhängig von unserem Erkenntnisvermögen ein zentrales Charakteristikum der physischen Welt darstellt. Andererseits kann Wahrscheinlichkeit ein rein epistemologisches Konzept darstellen, das lediglich ein Merkmal unserer Beschreibung der Welt ist, unabhängig von der menschlichen Erkenntnis aber keinerlei Entsprechung in der erkenntnisunabhängigen Natur findet. Wenn wir also von der Wahrscheinlichkeit von Ereignissen sprechen, können wir damit entweder versuchen etwas über die Natur selbst oder aber über unsere Glaubensgrade bzgl. der Natur auszusagen.⁹ Beispielsweise kann die Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für 'Kopf' bzw. 'Zahl' im Münzwurf entweder auf die Natur des Münzwurfes oder aber auf unsere Überzeugung, dass das jeweilige Ereignis eintritt, zurückgeführt werden. Folglich beschreibt die Wahrscheinlichkeit im ersten Fall eine Eigenschaft der Münze und des zugrundeliegenden physikalischen Prozesses des Werfens mit all seinen Anfangs- und Randbedingungen. Im zweiten Fall hingegen beschreibt sie den genauen Glaubensgrad an eines der beiden Ereignisse 'Kopf' bzw. 'Zahl' vor dem Hintergrund unseres Wissens bzw. Unwissens.

Während das Beispiel des Münzwurfs ein ontologisches und ein epistemologisches Wahrscheinlichkeitsverständnis noch gleichermaßen plausibel erscheinen lässt, ist dies insbesondere für die Wahrscheinlichkeiten der empirischen Wissenschaften nicht mehr der Fall. Vielmehr scheint es hier zwischen einem ontologischen und einem epistemologischen Wahrscheinlichkeitskonzept eine klare Rollenverteilung zu geben. Auf der einen Seite legen bei einem realistischen Wissenschaftsverständnis diejenigen Wahrscheinlichkeiten, die Gegenstand wissenschaftlicher Theorien sind, eine ontologische Lesart nahe.

So erklären etwa die Wahrscheinlichkeiten der Quantenmechanik und der statistischen Mechanik die verschiedensten Naturphänomene sowohl qualitativ als auch quantitativ höchst präzise. Werden nun die durch die wissenschaftlichen Theorien beschriebenen Naturphänomene selbst als erkenntnisunabhängig betrachtet, so scheint eine epistemologische Interpretation der sie erklärenden Wahrscheinlichkeiten problematisch. Dies gilt dabei gleichermaßen für womöglich indeterministische Wahrscheinlichkeiten der fundamentalen Physik, wie für deterministische Wahrscheinlichkeiten nicht-fundamentaler bzw. spezieller Wissenschaften.

⁹ Epistemologisch interpretierte Wahrscheinlichkeiten werden dabei zumeist nicht den Ereignissen selbst, sondern Aussagen (über Ereignisse) zugeschrieben. Ontologisch interpretierte Wahrscheinlichkeiten werden in der einschlägigen Literatur oftmals auch als objektive Wahrscheinlichkeiten bezeichnet.

Denn auch bei den Wahrscheinlichkeiten, denen deterministische Dynamiken zugrunde liegen, wie bspw. in der statistischen Mechanik oder der Evolutionsbiologie legt die Bedeutung objektiver Wahrscheinlichkeitswerte für die jeweiligen wissenschaftlichen Theorien nahe, dass die entsprechenden speziellen Wahrscheinlichkeiten mehr sind als eine bloße Charakterisierung der Glaubensgrade von Erkenntnissubjekten.¹⁰

Auf der anderen Seite besteht ein bedeutender Teil empirischer Forschung darin, wissenschaftliche Hypothesen aufzustellen und diese anhand statistischer Daten zu bestätigen oder zu verwerfen. Aufgrund des genuin epistemologischen Charakters der involvierten Hypothesenwahrscheinlichkeiten ist hier hingegen ein ontologisches Wahrscheinlichkeitsverständnis wenig zielführend. Offensichtlich sind die bis zu einem gewissen Grad wahrscheinlichen Hypothesen entweder wahr oder falsch, sodass diese Wahrscheinlichkeiten keine unmittelbare Entsprechung in der erkenntnisunabhängigen Natur finden.

Mitunter wird dabei versucht diese diametral entgegengesetzten Rollen der Wahrscheinlichkeit als einerseits ontologisches und andererseits epistemologisches Konzept durch ein einziges Wahrscheinlichkeitskonzept zu ersetzen. Beispielsweise wird so versucht trotz der vermeintlich eindeutigen ontologischen und epistemologischen Anwendungsfelder der Wahrscheinlichkeit, dennoch alle Wahrscheinlichkeiten durch eines der beiden Wahrscheinlichkeitskonzepte abzudecken.¹¹ Darüber hinaus wird auch bisweilen eines der beiden Wahrscheinlichkeitskonzepte vom Überbegriff der Wahrscheinlichkeit implizit oder explizit ausgeschlossen und als ein nicht-probabilistisches Konzept interpretiert.¹² Daneben bleibt als Möglichkeit nur die Unterscheidung zwischen einem epistemologischen und einem ontologischen Wahrscheinlichkeitskonzept anzuerkennen und diese je eigenständig zu interpretieren.¹³ Vor dem Hintergrund der genannten Probleme eines einheitlichen Wahrscheinlichkeitskonzepts werde ich im Folgenden ebenfalls eine solche Unterscheidung vornehmen und mit Blick auf die Frage nach einer geeigneten ontologischen Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit den Fokus weitestgehend auf Interpretationen von Wahrscheinlichkeit als einem ontologischen Konzept legen. Zunächst möchte ich aber noch eine weitere grundsätzliche Charakterisierung spezieller Wahrscheinlichkeit als ein nicht-primitives Konzept vornehmen.

¹⁰ Albert (2000) argumentiert bspw. ausführlich für eine solche erkenntnisunabhängige Interpretation der Wahrscheinlichkeiten der statistischen Mechanik.

¹¹ Einen solchen Weg schlägt z. B. de Finetti (1989, 172-174) mit seiner subjektivistischen Interpretation ein, mit der Folge der Leugnung jeder Art von objektiver Wahrscheinlichkeit.

¹² Einen solchen Weg schlagen etwa von Mises und Popper ein. Während für von Mises (1928, 9-12) die Wahrscheinlichkeit als empirisches Konzept nur Anwendung auf beobachtbare, wiederholbare Ereignisse findet, grenzt Popper (1935, Kap. 8) die Bewährung von Hypothesen als ein eigenständiges Konzept bewusst von einem ontologischen Wahrscheinlichkeitskonzept ab.

¹³ Ein bedeutender Vertreter eines solchen Ansatzes ist bspw. Carnap (1950, Kap. 2), der einerseits eine frequentistische Interpretation für die Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen und andererseits eine logische Interpretation für

b) Wahrscheinlichkeit als nicht-primitives Konzept

Neben der Abgrenzung eines ontologischen von einem epistemologischen Wahrscheinlichkeitskonzept lässt sich weiter zwischen Wahrscheinlichkeit als einem primitiven und einem nicht-primitiven Konzept unterscheiden. Eine solche Unterscheidung ist dabei für ein ontologisches wie ein epistemologisches Wahrscheinlichkeitsverständnis gleichermaßen möglich. Während bei einem primitiven Wahrscheinlichkeitsverständnis sich Wahrscheinlichkeiten nicht weiter auf fundamentalere Eigenschaften, die den physischen Ereignissen bzw. den Glaubensgraden zugrunde liegen, zurückführen lassen, macht eine nicht-primitives Wahrscheinlichkeitskonzept genau solche zugrundeliegenden fundamentaleren Eigenschaften als eigentlichen Grund für das Auftreten von Wahrscheinlichkeiten aus. Entsprechend ließe sich bspw. die Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für 'Kopf' oder 'Zahl' im Münzwurf als eine primitive Wahrscheinlichkeit interpretieren, die sich nicht auf weiteres Wissen über die Münze oder vergleichbare Münzen respektive auf weitere physikalische Eigenschaften der Münze reduzieren lässt.

Für die Frage nach der richtigen Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit ist dabei in erster Linie eine ontologische Unterscheidung zwischen Wahrscheinlichkeiten als primitive Propensitäten und den Wahrscheinlichkeiten zugrundeliegende fundamentalere Strukturmerkmale von Interesse.¹⁴ Einerseits interpretieren so bestimmte Propensitätstheorien, die ich in Abschnitt 3.2.3 noch im Detail besprechen werde, Wahrscheinlichkeiten als basale Dispositionen der jeweiligen Erzeugungsbedingungen eines Ereignisses. Wahrscheinlichkeiten sind demgemäß ontologisch primitiv und nicht auf weitere Eigenschaften der Natur zurückführbar. Nicht-primitive ontologische Ansätze versuchen hingegen Wahrscheinlichkeiten auf weitere Strukturmerkmale zu reduzieren. Die naheliegendsten Strukturmerkmale, auf die Wahrscheinlichkeit reduziert wird, werden dabei einerseits relative Häufigkeiten und andererseits physische Symmetrien sein.

Ähnlich wie ein ontologisches und ein epistemologisches Wahrscheinlichkeitskonzept haben auch ein primitives und ein nicht-primitives ontologisches Wahrscheinlichkeitskonzept natürliche Anwendungsbereiche. So sind einerseits die nicht-primitiven Interpretationen wesentlich vor dem Hintergrund einer deterministischen Physik entstanden und folglich auch dort am vielversprechendsten, wo Wahrscheinlichkeiten durch zugrundeliegende deterministische Dynamiken und Mechanismen beschrieben werden. So scheinen bspw. die

die Wahrscheinlichkeiten von Aussagen vorschlägt.

¹⁴ Auf epistemologischer Seite spiegelt sich die Unterscheidung von nicht-primitiven und primitiven Wahrscheinlichkeiten vor allem in den Weiterentwicklungen der klassischen Theorie im 20. Jahrhundert wider. Während einerseits die logische Theorie Keynes (1921) und Carnaps (1950) Wahrscheinlichkeiten relativ zum verfügbaren Wissen vollständig auf logische Symmetrien zurückführt, sind andererseits im Subjektivismus Ramseys (1931) und de Finettis (1937) Wahrscheinlichkeiten als subjektive Glaubensgrade nicht weiter reduzierbar.

Wahrscheinlichkeiten der klassischen statistischen Mechanik oder der Evolutionsbiologie aufgrund zugrundeliegender deterministischer Prozesse und Mechanismen eine nicht-primitive Wahrscheinlichkeitsinterpretation nahelegen.¹⁵ Andererseits sind die primitiven Wahrscheinlichkeiten der Propensitätstheorie eng an eine indeterministische Interpretationsweise der Quantenmechanik gebunden. Denn werden die Wahrscheinlichkeiten der Quantenmechanik ontologisch primitiv verstanden, muss sich dies auch in einer entsprechenden Wahrscheinlichkeitsinterpretation widerspiegeln.

Auch hier gibt es Versuche eine einheitliche Interpretation für alle ontologischen Wahrscheinlichkeiten anzubieten.¹⁶ Einerseits wird die Propensitätstheorie unter anderem auch auf die Wahrscheinlichkeiten der speziellen Wissenschaften ausgeweitet, die folglich ebenfalls als primitive Wahrscheinlichkeiten aufgefasst werden. Andererseits lassen sich etwa durch eine Bohmsche Interpretation der Quantenmechanik auch die vermeintlich indeterministischen Wahrscheinlichkeiten der Quantenmechanik als nicht-primitive Wahrscheinlichkeiten interpretieren.¹⁷ Aufgrund der zentralen Frage dieser Arbeit nach dem Zusammenhang von Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen spezieller Ereignisse werde ich allerdings die Frage nach einer möglichen Sonderrolle der Wahrscheinlichkeiten auf einer möglichen fundamentalen Ebene bzw. Konstitutionsstufe aussparen und folglich insbesondere auf eine separate Interpretation der Wahrscheinlichkeiten der Quantenmechanik verzichten. Stattdessen werde ich im Folgenden den Fokus auf nicht-primitive ontologische Wahrscheinlichkeitsinterpretationen legen und primitive Interpretationen nur insofern mit berücksichtigen, insofern diese auf spezielle Wahrscheinlichkeiten ausgeweitet werden. Bevor ich aber die wichtigsten Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit in Unterkapitel 3.2 einführe und diskutiere, möchte ich im folgenden Abschnitt zunächst noch zentrale Kriterien für eine solche Interpretation formulieren.

¹⁵ Schaffer (2007) argumentiert dabei, dass ontologische bzw. objektive Wahrscheinlichkeiten nicht reduzierbar sein können und folglich deterministische Wahrscheinlichkeiten ausschließlich epistemologisch zu interpretieren sind. Glynn (2010) und List & Pivato (2015) widersprechen dem mit Verweis auf eine zu berücksichtigende Ebenenabhängigkeit deterministischer Wahrscheinlichkeiten (siehe Kap. 5).

¹⁶ Aufgrund der grundsätzlichen Beobachtungsäquivalenz von deterministischen und indeterministischen Beschreibungen lassen sich solche Ausweitungen auch nicht von vorneherein ausschließen (vgl. Werndl 2009).

¹⁷ Allgemein hängt die Primitivität der Wahrscheinlichkeiten der Quantenmechanik von der jeweils zugrundeliegenden Interpretation der Quantenmechanik ab. In der Bohmschen Mechanik wird versucht die Wahrscheinlichkeiten der Quantenmechanik anders als in den meisten Interpretationen auf zugrundeliegende versteckte Variablen zurückzuführen. Die sich daraus ergebenden klassischen Wahrscheinlichkeiten lassen sich entsprechend durch nicht-primitive Wahrscheinlichkeitsinterpretationen interpretieren. Für die Implikationen einer solchen Bohmschen Interpretation der Quantenmechanik unter anderem für Quantenwahrscheinlichkeiten siehe Dürr (1992).

3.1.3 Kriterien für Wahrscheinlichkeitsinterpretationen

a) Vereinbarkeit mit deterministischen Naturgesetzen

Das erste Kriterium für nicht-primitive ontologische Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit gründet darin, dass ontologisch verstandene Wahrscheinlichkeiten mit den Gesetzmäßigkeiten der empirischen Wissenschaften vereinbar sein sollten. Die den Wahrscheinlichkeiten der speziellen Wissenschaften zugrundeliegenden Naturgesetze beschreiben dabei durchweg deterministische Dynamiken bzw. Mechanismen. Folglich sollte eine geeignete Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit unabhängig von möglicherweise indeterministischen fundamentalen Gesetzmäßigkeiten erklären, wie sich diese deterministischen Dynamiken mit der einem ontologischen Wahrscheinlichkeitskonzept inhärenten Idee eines objektiven Zufalls vereinbaren lassen. Denn während einerseits die zugrundeliegenden Dynamiken spezielle Ereignisse vollständig zu determinieren scheinen, scheinen dieselben Ereignisse andererseits ein objektives Zufallsverhalten zu zeigen. Folglich muss es eine geeignete Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit etwa im Beispiel des Münzwurfs schaffen, zu erklären, wieso einerseits die Wahrscheinlichkeit für 'Kopf' und 'Zahl' je $\frac{1}{2}$ sein kann, während andererseits das Ereignis 'Kopf' bzw. 'Zahl' durch die zugrundeliegenden deterministischen Bewegungsgleichungen der klassischen Mechanik bereits eindeutig bestimmt zu sein scheint.

Die Vereinbarkeit spezieller Wahrscheinlichkeiten mit deterministischen Dynamiken sollte dabei auch der bereits beschriebenen Bedeutung spezieller Wahrscheinlichkeiten in den empirischen Wissenschaften gerecht werden. So treten in den verschiedensten wissenschaftlichen Theorien deterministische Wahrscheinlichkeiten als objektive Größen auf, deren Implikationen sich unmittelbar in der Natur ablesen lassen. Beispielsweise erklären die deterministischen Wahrscheinlichkeiten der statistischen Mechanik die Phänomene der Thermodynamik sowie die deterministischen Wahrscheinlichkeiten der Evolutionsbiologie die Phänomene der Variation und der Selektion mit großer Präzision. Die Erkenntnisunabhängigkeit solcher Naturphänomene scheint dabei eine objektive Antwort auf die Vereinbarkeit der deterministischen Dynamiken der speziellen Wissenschaften mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten nahezulegen.

b) Ermöglichung singulärer Wahrscheinlichkeiten

Das zweite Kriterium für Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit ist der Tatsache geschuldet, dass wir Wahrscheinlichkeiten in der Regel bereits einzelnen Instanziierungen von Zufallsexperimenten zuschreiben. Beispielsweise schreiben wir so den Ereignissen 'Kopf' und 'Zahl' im einzelnen Münzwurf bereits eine objektive Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ zu. Eine

geeignete Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeiten sollte folglich solche singulären Wahrscheinlichkeiten einzelner Zufallsexperimente ermöglichen und Wahrscheinlichkeiten nicht ausschließlich Klassen von Zufallsexperimenten zuschreiben. Ein solches singuläres Wahrscheinlichkeitsverständnis legt dabei bereits der historische Ursprung des wissenschaftlichen Wahrscheinlichkeitskonzepts in dem noch regellosen Konzept des Zufalls nahe. Der Zufall ist gerade dadurch gekennzeichnet, dass er sich nicht auf etwaige zurückliegende Ereignisse oder Zugehörigkeiten zu gewissen Klassen von Phänomenen zurückführen lässt. Was zufällig eintritt, tritt ohne einen aus früheren Ereignissen ersichtlichen Grund genau in einem bestimmten Moment ein.

Diese Eigenart des Zufalls spiegelt sich nun auch in der in Abschnitt 3.1.1 beschriebenen formalen Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit wider.¹⁸ Mathematisch war Wahrscheinlichkeit nichts als ein Maß auf einem geeigneten Messraum, das verschiedenen Ereignissen verschiedene Mess- bzw. Wahrscheinlichkeitswerte zuordnet. Die Messwerte im fairen Münzwurf waren bspw. je $\frac{1}{2}$ für die Ereignisse 'Kopf' und 'Zahl'. Die Zuschreibung von Wahrscheinlichkeitswerten zu Ereignissen erfolgt nun aber zunächst für einzelne Ereignisse, während erst die Anwendung derselben Wahrscheinlichkeitsmaße auf probabilistische Phänomene, die durch dieselben Messräume beschreibbar sind, Aussagen über wiederholte Zufallsexperimente ermöglichen. Beispielsweise lassen sich mathematische Aussagen über wiederholte Münzwürfe in Form von Grenzhäufigkeiten erst dadurch gewinnen, dass jeder einzelne Münzwurf durch denselben Wahrscheinlichkeitsraum beschrieben wird. Damit legt die Axiomatik aber bereits selbst nahe, dass sich auch spezielle Wahrscheinlichkeiten einzelnen speziellen Ereignissen bzw. Zufallsexperimenten zuschreiben lassen sollten. Auch wenn die Axiomatik lediglich die mathematische Struktur der Wahrscheinlichkeit widerspiegelt und folglich selbst nur ein Indiz für die ontologische Bedeutung singulärer Wahrscheinlichkeiten sein kann, spricht ihre Leistungsfähigkeit und Anwendbarkeit deutlich für eine solche unmittelbare Zuschreibung von Wahrscheinlichkeiten zu einzelnen Zufallsexperimenten auch ohne einen Bezug auf entsprechende Klassen.

Abgesehen von der formalen Motivation liegt der Hauptgrund für die Forderung an Wahrscheinlichkeitsinterpretationen, genuin singuläre Wahrscheinlichkeiten abzudecken, nun aber in unserem Fragen nach Wahrscheinlichkeiten im Einzelfall. So interessieren wir uns in der Regel für die Wahrscheinlichkeiten konkreter einzelner Ereignisse unabhängig von ihren möglichen Zugehörigkeiten zu verschiedenen Ereignisklassen. Insbesondere ist so bspw. in der

¹⁸ Vergleichbar argumentiert auch Giere (1973, 477), dass die Wahrscheinlichkeitsaxiomatik bereits eine Einzelfallinterpretation von Wahrscheinlichkeiten nahelegt (siehe auch Popper 1957).

wissenschaftlichen Vorhersage und Folgenabschätzung die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses im konkreten Einzelfall von Interesse. Und auch in Glücksspielen wie dem Münzwurf fragen wir nach der Wahrscheinlichkeit von 'Kopf' im nächsten Münzwurf, ohne dass wir uns für die Wahrscheinlichkeiten einer entsprechenden Ereignisklasse interessieren. Demnach scheinen Wahrscheinlichkeiten bereits im Einzelfall objektive Auswirkungen zu haben und sollten folglich auch dem Einzelfall zukommen.

Insbesondere wenn nun versucht wird spezielle Wahrscheinlichkeiten mit ihren zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken zu vereinbaren, sollte dies aufgrund der bereits im Einzelfall vorliegenden Dynamiken auch für singuläre Wahrscheinlichkeiten versucht werden. Schließlich liegen einem Zufallsexperiment, das ohne jeglichen Bezug auf Experimente ähnlicher Art nur ein einziges Mal durchgeführt wird, dieselben Dynamiken zugrunde, wie wenn es Teil einer Klasse von Zufallsexperimenten wäre. Wenn wir uns etwa ein Universum mit nur einer einzigen fairen Münze vorstellen, die in der gesamten Geschichte dieses Universums nur ein einziges Mal geworfen wird, dann würde dieser Münzwurf auf derselben zugrundeliegenden deterministischen Dynamik basieren wie der Wurf einer fairen Münze in unserem Universum. In unserem Universum würden wir aufgrund der zugrundeliegenden Dynamik diesem Münzwurf dabei objektive Wahrscheinlichkeiten von $\frac{1}{2}$ für 'Kopf' und 'Zahl' zuordnen. Da die Dynamiken in dem beschriebenen Universum und in unserem Universum aber dieselben sind, gibt es keinen Grund nicht dieselbe Wahrscheinlichkeit dem einmaligen Münzwurf des besagten Universums zuzuordnen. Dies gilt umso mehr für die singulären Wahrscheinlichkeiten solcher einmaligen Zufallsexperimente, die Gegenstand oben genannter wissenschaftlicher Theorien sind.

c) Erklärung relativer Häufigkeiten

Das dritte und letzte zentrale Kriterium für Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit besteht schließlich darin, die in wiederholten Zufallsexperimenten auftretenden Häufigkeiten zu erklären. Trotz der gerade dargelegten ontologischen Bedeutung singulärer Wahrscheinlichkeiten lässt sich kaum bestreiten, dass Wahrscheinlichkeiten in einem engen Zusammenhang mit über die einzelnen Zufallsexperimente hinausgehenden relativen Häufigkeiten stehen. So ermöglicht auch erst die Beobachtung stabiler relativer Häufigkeiten einen Übergang von einem vermeintlich regellosen vortheorietischen Zufallskonzept zu einem mathematisch greifbaren wissenschaftlichen Wahrscheinlichkeitskonzept. Entsprechend war auch die formale Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit – wie in Abschnitt 3.1.1 dargelegt – wesentlich durch die Eigenschaften relativer Häufigkeiten motiviert.

Darüber hinaus lassen sich genaue Wahrscheinlichkeitswerte oftmals erst durch die Berücksichtigung relativer Häufigkeiten ermitteln bzw. bestätigen. So legt zwar bspw. bereits die bloße Geometrie einer fairen Münze eine gleiche Wahrscheinlichkeit von 'Kopf' und 'Zahl' nahe. Davon überzeugen, dass es sich tatsächlich um eine faire Münze handelt, lassen wir uns allerdings in der Regel erst, wenn sich im wiederholten Münzwurf eine entsprechende relative Häufigkeit ergibt. Weichen die relativen Häufigkeiten hingegen signifikant von den vermuteten Wahrscheinlichkeiten ab, neigen wir eher dazu die Wahrscheinlichkeiten zu hinterfragen, als dass wir an das Eintreten einer unwahrscheinlichen Abfolge von Ereignissen glauben. Wird im wiederholten Münzwurf bspw. ausschließlich 'Kopf' geworfen, liegt es uns näher, eine gezinkte Münze zu vermuten, als eine außerordentlich unwahrscheinliche Folge von Ereignissen einfach hinzunehmen.

Das Problem der beschriebenen Bedeutung von relativen Häufigkeiten für Wahrscheinlichkeiten besteht nun darin, dass aufgrund der mit dem Wahrscheinlichkeitskalkül vorgenommenen Abstraktionen vom Konzept der relativen Häufigkeit, ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeiten und Häufigkeiten verloren geht. Beispielsweise ist nicht unmittelbar offensichtlich, wieso eine Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für 'Kopf' und 'Zahl' in einzelnen Münzwürfen dazu führen sollte, dass sich 'Kopf' und 'Zahl' bei endlich oft wiederholten Münzwürfen je in der Hälfte der Fälle ergeben sollten. Und tatsächlich lässt sich ein solcher Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeiten und Häufigkeiten mathematisch auch nur für Grenzhäufigkeiten und damit für unendlich oft wiederholte Zufallsexperimente herstellen.¹⁹ Eine zielführende Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeiten muss folglich nicht nur Wahrscheinlichkeiten im Einzelfall ermöglichen, sondern zugleich den Zusammenhang zu den relativen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente herstellen und somit ihr Auftreten erklären. Denn erst durch eine solche Erklärung relativer Häufigkeiten, die zeigen kann, inwiefern relative Häufigkeiten die Folge von Wahrscheinlichkeiten sind, lässt sich die Bedeutung relativer Häufigkeiten bei der Feststellung von Wahrscheinlichkeiten letztlich rechtfertigen.

Diese drei Kriterien der Vereinbarkeit von Wahrscheinlichkeiten mit zugrundeliegenden deterministischen Gesetzmäßigkeiten, der Ermöglichung von singulären Wahrscheinlichkeiten und der Erklärung von Häufigkeiten sollen nun im folgenden Unterkapitel als Rahmen für eine problemorientierte Diskussion zentraler Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit dienen.

¹⁹ Für Details siehe Abschn. 3.3.2 c).

3.2 Darstellung zentraler Wahrscheinlichkeitsinterpretationen

Nach der allgemeinen Charakterisierung spezieller Wahrscheinlichkeit im letzten Unterkapitel möchte ich in diesem Unterkapitel verschiedene Wahrscheinlichkeitsinterpretationen anhand ausgewählter Vertreter einführen und sie vor dem Hintergrund der genannten Kriterien problemorientiert diskutieren.²⁰ Dabei werde ich mit Laplaces klassischer Theorie beginnend im Wesentlichen chronologisch verfahren und zeigen, wie sich die jeweiligen Interpretationen von ihren Vorgängern abgrenzen. Eine Ausnahme wird lediglich die zeitlich zwischen Laplace und von Mises angesiedelte Spielraumtheorie von Kries' bilden, um sie einfacher als Ausgangspunkt einer im nächsten Unterkapitel zu entwickelnden Symmetrieinterpretation spezieller Wahrscheinlichkeit heranziehen zu können.

Den Anfang dieses Unterkapitels sowie gleichermaßen der meisten zeitgenössischen Auseinandersetzungen mit möglichen Wahrscheinlichkeitsinterpretationen bildet folglich die klassische Theorie, die wesentlich durch die Arbeiten von Pierre Simon de Laplace geprägt wurde (3.2.1). Die klassische Theorie führt Wahrscheinlichkeiten auf die Unwissenheit der Erkenntnissubjekte und deren epistemologische Indifferenzüberlegungen zurück. Wenngleich Wahrscheinlichkeiten aufgrund der zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken damit eine rein epistemologische Rolle zukommt, werde ich die klassische Theorie aufgrund ihrer grundlegenden Bedeutung für alle weiteren Wahrscheinlichkeitsinterpretationen mit berücksichtigen und als mögliche Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit diskutieren.²¹

Daran anschließend werde ich als erste ontologische Gegenposition den frequentistischen Ansatz diskutieren, der die empirische Seite der Wahrscheinlichkeit in den Vordergrund rückt (3.2.2). Der Frequentismus setzt Wahrscheinlichkeiten schlicht mit relativen Häufigkeiten gleich und findet seinen bedeutendsten Vertreter zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Richard von Mises. Diesem Ansatz stelle ich sodann die Propensitätstheorie gegenüber, die sich um die Mitte des letzten Jahrhunderts durch die Arbeiten Karl Poppers zum bedeutendsten Gegenspieler des Frequentismus entwickelte (3.2.3). Popper interpretiert Wahrscheinlichkeiten dabei als primitive dispositionale Eigenschaften der Erzeugungsbedingungen einzelner Ereignisse. Wenngleich die Propensitätstheorie damit im Kern eine Interpretation primitiver und damit fundamentaler Wahrscheinlichkeiten darstellt, möchte ich sie hier, insofern sie mitunter auf genuin deterministische Wahrscheinlichkeiten ausgeweitet wird, als eine mögliche Interpretation

²⁰ Für ausführliche Diskussionen dieser Interpretationen mit teils anderen Schwerpunkten siehe z. B. Rosenthal (2004) sowie den Sammelband von Hájek & Hitchcock (2016, Teil IV). Einen einführenden Überblick über die Philosophie der Wahrscheinlichkeit und ihre wichtigsten Interpretationen liefert zudem Hájek (2019).

²¹ Dies lässt sich zudem durch die Tatsache rechtfertigen, dass in der klassischen Theorie oftmals nicht strikt zwischen einer epistemologischen und einer ontologischen Reduktion von Wahrscheinlichkeit auf gleiche Möglichkeit unterschieden wurde (vgl. Hacking 1971a).

spezieller Wahrscheinlichkeit mit berücksichtigen. Als vierte Interpretation werde ich die Wahrscheinlichkeitsinterpretation von David Lewis diskutieren, die er im Rahmen seiner Analyse von Naturgesetzen als beste Systeme (kurz BSA für *best system analysis*) entwickelte und die insbesondere in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen hat. Wenngleich stark frequentistisch geprägt versuchen diese BSA-Wahrscheinlichkeiten in gewissem Sinne Häufigkeits- und Symmetrieelemente anderer Wahrscheinlichkeitsinterpretationen miteinander zu verbinden (3.2.4).

Im letzten Abschnitt dieses Unterkapitels möchte ich schließlich den Fokus auf von Kries' Spielraumtheorie, die unter der Vorherrschaft der klassischen Theorie im 19. Jahrhundert entstand und ähnliche epistemologische Züge trägt, richten (3.2.5). Die Spielraumtheorie versucht Wahrscheinlichkeiten auf die Symmetrien der Anfangsbedingungen der zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken zurückzuführen. Dabei erfreuen sich insbesondere in neuester Zeit die der Spielraumtheorie zugrundeliegenden Ideen wieder größerer Beliebtheit. Diese zeitgenössischen Ansätze zeigen dabei auch, dass die Spielraumwahrscheinlichkeiten nicht gezwungenermaßen epistemologisch interpretiert werden müssen, und rechtfertigen so eine Berücksichtigung dieser Theorie als möglicher Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit. Obwohl eine solche Interpretation insbesondere Gefahr zu laufen droht, dass Wahrscheinlichkeiten nur auf basalere Wahrscheinlichkeiten zurückgeführt werden, werde ich sie aufgrund ihrer Stärken bei der Erklärung relativer Häufigkeiten in Unterkapitel 3.3 schließlich zum Ausgangspunkt eigener Überlegungen machen.

3.2.1 Klassische Theorie

Die bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts dominierende Wahrscheinlichkeitsinterpretation stellt die sogenannte klassische Theorie dar, die eng mit dem Name Pierre Simon de Laplaces (1814) verbunden ist.²² Gemäß dieser Theorie lassen sich Wahrscheinlichkeiten im Wesentlichen auf die Unkenntnis der Erkenntnissubjekte zurückführen. Entsprechend könnte laut Laplace (1814, 1-2) eine allwissende Intelligenz bei Kenntnis des Zustands der Welt zu einem bestimmten Zeitpunkt sowie aller (deterministischen) Gesetzmäßigkeiten alle vergangenen und zukünftigen Zustände mit Sicherheit bestimmen und folglich alle Wahrscheinlichkeiten durch Gewissheiten ersetzen. Beispielsweise könnte eine solche Intelligenz auch die Ergebnisse einzelner Münzwürfe immer exakt vorhersagen. Wahrscheinlichkeit ist demnach ein epistemologisches Konzept, das bei entsprechender Information durch Sicherheit ersetzt werden kann.

²² Ein wichtiger Vorläufer der klassischen Theorie Laplaces findet sich insbesondere in den Überlegungen Jakob Bernoullis (vgl. Hacking 1971b).

Anders als in Situationen völliger Unkenntnis ergeben sich Wahrscheinlichkeiten nun aber genau für solche Ereignisse, von denen wir zwar nicht die genauen Ursachen kennen, dafür aber von gleich möglichen Alternativereignissen Kenntnis haben. So können wir zwar aufgrund unseres beschränkten Wissens nicht den exakten Ausgang eines Münzwurfs vorhersagen, dennoch besitzen wir das Wissen über die gleiche Möglichkeit bzw. Equipossibilität der Alternativen 'Kopf' und 'Zahl' und können so durch die Angabe der für ein Ereignis günstigen Fälle diesen Ereignissen Wahrscheinlichkeiten zuschreiben:²³

„Die Theorie des Zufalls ermittelt die gesuchte Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses durch Zurückführung aller Ereignisse derselben Art auf eine gewisse Anzahl gleich möglicher Fälle [...] und durch Bestimmung der dem Ereignis günstigen Fälle.“ (Laplace 1814, 4)²⁴

Um die konkrete Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses zu bestimmen, müssen also zunächst alle gleich möglichen Fälle, d.h. alle Elementarereignisse die in einem Zufallsexperiment auftreten können, bestimmt werden. Werden bspw. zwei Münzen gleichzeitig geworfen, müssen zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit, genau einmal Kopf zu werfen, zunächst alle gleich möglichen Fälle, die sich in einem zweifachen Münzwurf ergeben können, bestimmt werden. Im Beispiel des doppelten Münzwurfs wären dies als geordnete Paare geschrieben die vier Alternativen ('Zahl', 'Zahl'), ('Zahl', 'Kopf'), ('Kopf', 'Zahl') und ('Kopf', 'Kopf'). Als zweiten Schritt müssen sodann die für das betrachtete Ereignis günstigen Fälle, also diejenigen Fälle die das betrachtete Ereignis realisieren, bestimmt werden. Im Beispiel des doppelten Münzwurfs müssen also für das betrachtete Ereignis, genau einmal Kopf zu werfen, diejenigen Kombinationen bestimmt werden, die zu einem solchen Ereignis führen. Die dafür günstigen Kombinationen sind aber genau die Alternativen ('Zahl', 'Kopf') und ('Kopf', 'Zahl').

Nachdem alle in einem Zufallsexperiment gleich möglichen Fälle und darüber hinaus die für ein bestimmtes Ereignis günstigen Fälle eines Zufallsexperiments bestimmt sind, ergibt sich die Wahrscheinlichkeit des betrachteten Ereignisses als Quotient der für das betrachtete Ereignis günstigen Fälle zu allen gleich möglichen Fällen, die in dem Zufallsexperiment auftreten können:

²³ Als *Fälle* bezeichnet Laplace dabei das, was bisher als Ergebnisse bzw. Elementarereignisse bezeichnet wurde.

²⁴ „La théorie des hasards consiste à réduire tous les événements du même genre, à un certain nombre de cas également possibles [...] et à déterminer le nombre de cas favorables à l'évènement dont on cherche la probabilité.“

„Das Verhältnis dieser Zahl [der günstigen Fälle, M. V.] zu der aller möglichen Fälle ist das Maß dieser Wahrscheinlichkeit, die also nichts anderes als ein Bruch ist, dessen Zähler die Zahl der günstigen Fälle und dessen Nenner die Zahl aller möglichen Fälle ist.“ (Laplace 1814, 4)²⁵

Für das Beispiel des zweifachen Münzwurfs bedeutet dies, dass sich die Wahrscheinlichkeit für das Ereignis, genau einmal Kopf zu werfen, folglich aus dem Verhältnis derjenigen Kombinationen, die genau einmal 'Kopf' enthalten, zu allen möglichen Kombinationen ergibt. Werden wie oben zwei günstige Fälle und vier mögliche Fälle ausgemacht, ergibt sich entsprechend eine Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für das Ereignis, im doppelten Münzwurf genau einmal Kopf zu werfen.

Allerdings ist damit noch nicht gesagt, was Laplace unter *gleich möglich* genau versteht und wieso im Beispiel des zweifachen Münzwurfs genau die vier angegebenen Fälle gleich möglich sind. Genau an dieser Stelle kommt die epistemologische Komponente der klassischen Theorie ins Spiel. Denn so spezifiziert Laplace (1814, 4) in dem im ersten Zitat ausgelassen Nebensatz gleich mögliche Fälle als solche Fälle, „über deren Existenz wir in gleicher Weise unschlüssig sind“²⁶. Damit ist aber genau das gleich möglich, was von uns Erkenntnissubjekten als gleich möglich erkannt wird. Entsprechend können nach Laplace (1814, 5-6) auch unterschiedliche Fälle von verschiedenen Erkenntnissubjekten als gleich möglich erkannt werden und folglich ein und demselben Ereignis verschiedene Wahrscheinlichkeitswerte zugeschrieben werden. In der nun folgenden Diskussion werde ich dabei zeigen, dass genau diese epistemologische Komponente das Hauptproblem für ein mögliches ontologisches Verständnis spezieller Wahrscheinlichkeiten darstellt.

Deterministische Wahrscheinlichkeit

Zunächst ist die klassische Theorie aufgrund ihres epistemologischen Charakters problemlos mit deterministischen Dynamiken und Mechanismen vereinbar. Denn anders als die deterministischen Dynamiken selbst, finden die Wahrscheinlichkeiten keine unmittelbare ontologische Entsprechung. Damit stellt sich erst gar nicht die Frage, wie spezielle Wahrscheinlichkeiten mit zugrundeliegenden deterministischen Gesetzmäßigkeiten ontologisch zusammenhängen können. Allerdings wird diese Vereinbarkeit eben auch nur aufgrund des epistemologischen

²⁵ „Le rapport de ce nombre à celui de tous les cas possibles, est la mesure de cette probabilité qui n'est ainsi qu'une fraction dont le numérateur est le nombre des cas favorables, et dont le dénominateur est le nombre de tous les cas possibles.“

²⁶ „c'est-à-dire tels que nous soyons également indécis sur leur existence“

Wahrscheinlichkeitsverständnisses der klassischen Theorie erreicht. Eine solche epistemologische Interpretation der Wahrscheinlichkeit ist aber nur solange naheliegend, solange deterministischen Wahrscheinlichkeiten keine sonderlich große Bedeutung in den empirischen Wissenschaften zukommt. Je mehr aber deterministische Wahrscheinlichkeiten in zentralen wissenschaftlichen Theorien wie der statistischen Mechanik oder der Evolutionstheorie eine Rolle spielen, desto unplausibler wird ein rein epistemologisches Verständnis dieser scheinbar erkenntnisunabhängigen Wahrscheinlichkeiten. Insbesondere wirft die Rückführung solcher Wahrscheinlichkeiten auf Fälle, „über deren Existenz wir in gleicher Weise unschlüssig sind“, die Frage auf, ob durch den Bezug auf die Erkenntnissubjekte eine objektive Lesart von Wahrscheinlichkeiten überhaupt noch möglich ist.

Für Laplace (1814, 5-6) selbst bedeute eine epistemologische Wahrscheinlichkeitsinterpretation allerdings gerade nicht, dass sich Wahrscheinlichkeiten subjektiv beliebig bestimmen lassen. So erklärt zwar die Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeiten von Erkenntnissubjekten voneinander abweichende Wahrscheinlichkeiten und Meinungen, allerdings können vor dem Hintergrund gegebener Information dennoch nicht einfache Ereignisse nach eigenem Gutdünken Wahrscheinlichkeiten zugeschrieben werden. Vielmehr werden die Fälle, „über deren Existenz wir in gleicher Weise unschlüssig sind“, durch die gegebene Information und damit objektiv bestimmt. Wissen wir etwa, dass wir es im doppelten Münzwurf mit zwei normalen Münzen zu tun haben, die je auf einer Seite einen Kopf und auf der anderen Seite eine Zahl zeigen und die weiter unabhängig voneinander geworfen werden, lassen sich die Wahrscheinlichkeiten wie oben gezeigt durch Berücksichtigung aller Ereignisse derselben Art objektiv bestimmen. Erst wenn wir eine andere Information über die Münze besitzen, ergeben sich andere Wahrscheinlichkeitswerte. Folglich ist Wahrscheinlichkeit zwar einerseits vom Kenntnisstand der Erkenntnissubjekte abhängig und damit ein epistemologisches Konzept, kann aber andererseits vor dem Hintergrund eines solchen gegebenen Kenntnisstands zumindest theoretisch einen objektiven Wert annehmen.

Allerdings muss für eine solche objektive Zuschreibung von Wahrscheinlichkeiten vorausgesetzt werden, dass sich bei gleicher Information überhaupt eindeutig bestimmen lässt, was die Ereignisse derselben Art sind. Ob eine solche Bestimmung grundsätzlich möglich ist, möchte ich nun im Zusammenhang mit dem nächsten Kriterium in Form der Frage nach der Möglichkeit singulärer Wahrscheinlichkeiten diskutieren.

Singuläre Wahrscheinlichkeit

Auf den ersten Blick scheint in der klassischen Theorie auch in einmaligen Zufallsexperimenten bei gleichem Kenntnisstand eine objektive Zuschreibung epistemischer Wahrscheinlichkeiten möglich. Auch im einmaligen Münzwurf liegen 'Kopf' und 'Zahl' als mögliche Ereignisse derselben Art vor und auch im einmaligen Münzwurf können wir ihnen die gleiche Möglichkeit zuschreiben. Allerdings zeigt sich, dass Laplace anders als für gleich mögliche Fälle nicht weiter spezifiziert, was genau Ereignisse derselben Art sind. Für objektive singuläre Wahrscheinlichkeiten ist es nun aber entscheidend, dass sich die Ereignisse derselben Art objektiv im einzelnen Zufallsexperiment bestimmen lassen.

Dass diese Anforderung aber nicht trivial ist, zeigt bereits das Beispiel des einmaligen Münzwurfs. Auf den ersten Blick scheint es offensichtlich, dass die Ereignisse derselben Art 'Kopf' und 'Zahl' sein müssen und dass sich diese bereits im Einzelfall bestimmen lassen. Zieht man aber alle prinzipiell möglichen Ereignisse heran, müssten wir zumindest noch berücksichtigen, dass die Münze auch auf ihrem Rand landen könnte. Damit gäbe es allerdings bereits drei Ereignisse derselben Art. Für eine Zuschreibung von Wahrscheinlichkeiten ist es nun nötig diese drei Ereignisse derselben Art auf gleich mögliche Fälle zurückzuführen. Dabei gibt es im Prinzip zwei Möglichkeiten. Einerseits könnten alle drei Ereignisse auf gleich mögliche Fälle zurückführbar sein, insofern wir im selben Maße über diese drei Fälle unschlüssig sind. Folglich gäbe es je einen günstigen Fall für jedes dieser drei Ereignisse und die Wahrscheinlichkeit für 'Kopf' wäre nur noch $\frac{1}{3}$ und damit im Widerspruch zu unserer Intuition und den empirischen Häufigkeiten. Andererseits könnten nur 'Kopf' und 'Zahl' gleich möglich sein, da wir uns nur über diese beiden Fälle gleichermaßen unschlüssig sind. Demnach könnte zwar 'Rand' durchaus ein Ereignis derselben Art wie 'Kopf' und 'Zahl' sein, allerdings sind wir uns nur über die Ereignisse 'Kopf' oder 'Zahl' in gleicher Weise unschlüssig. Folglich wären nur die Fälle 'Kopf' und 'Zahl' gleich möglich, der Fall 'Rand' hingegen sogar unmöglich.²⁷

Betrachten wir nun aber einen einzelnen Münzwurf für sich ohne Kenntnisse über frühere Münzwürfe, so ist es alles andere als offensichtlich, für welche der beiden Optionen wir uns entscheiden. Wollen wir 'Rand' als ein Ereignis derselben Art wie 'Kopf' und 'Zahl' mit ein- bzw. ausschließen, müssen wir uns entweder auf die physikalischen Eigenschaften des konkreten Münzwurfs oder aber auf die empirischen Häufigkeiten wiederholter Münzwürfe beziehen. Dies würde aber bedeuten, dass entweder die Ereignisse derselben Art im Einzelfall ontologisch bestimmt sind oder dass wir unser Wissen über das Verhalten von Münzen

²⁷ Entsprechend würde auch im Beispiel des doppelten Münzwurfs die Wahrscheinlichkeit, genau einmal Kopf zu werfen, entweder wie gehabt $\frac{1}{2}$ oder aber – aufgrund der dann zusätzlichen günstigen Fälle von ('Kopf', 'Rand') und ('Rand', 'Kopf') – $\frac{4}{9}$ sein.

in früheren Münzwürfen heranziehen müssen. Eine rein epistemologische Wahrscheinlichkeitszuschreibung wäre im Einzelfall hingegen nicht möglich. Werden die Ereignisse derselben Art hingegen einfach als diejenigen Elementarereignisse, die gleich möglich sind, bestimmt, tritt die Frage auf, ob dies nicht bereits die zu bestimmenden Wahrscheinlichkeiten voraussetzt. Dies führt schließlich zu der Frage, was mit einer Rückführung von Wahrscheinlichkeit auf gleiche Möglichkeit überhaupt gewonnen ist und damit zum letzten Kriterium und der Frage, ob durch eine klassische Interpretation auch relative Häufigkeiten erklärt werden können.

Wahrscheinlichkeit & Häufigkeit

Bevor ich der Frage nachgehe, ob die klassische Theorie die relativen Häufigkeiten in wiederholten Zufallsexperimenten erklären kann, möchte ich zunächst einmal sehen, was unter 'gleich möglichen Fällen' überhaupt zu verstehen ist. Zunächst kann mit 'gleicher Möglichkeit' nicht auf Möglichkeit in einem logischen Sinne referiert werden, da diese kein graduelles, sondern ein binäres Konzept darstellt, d.h. etwas ist logisch möglich oder es ist logisch unmöglich.²⁸ Das naheliegendste Konzept, das eine solche Zuschreibung gradueller Werte und damit einen Vergleich verschiedener Werte erlaubt, ist nun aber das Konzept der Wahrscheinlichkeit selbst. 'Gleich möglich' würde demnach aber nichts weiter bedeuten als 'gleich wahrscheinlich' und Wahrscheinlichkeit mithin auf Wahrscheinlichkeit zurückgeführt werden. So lassen sich zwar bspw. die Wahrscheinlichkeiten für den doppelten Münzwurf auf die gleiche Möglichkeit von 'Kopf' und 'Zahl' im einzelnen Münzwurf zurückführen, wieso aber 'Kopf' und 'Zahl' im einzelnen Münzwurf gleich möglich sind, ist damit nicht geklärt. Entweder bedeutet die Tatsache, dass 'Kopf' und 'Zahl' im einzelnen Münzwurf gleich möglich sind nun aber nichts anderes, als dass 'Kopf' und 'Zahl' gleich wahrscheinlich sind und damit diese Wahrscheinlichkeiten (epistemologisch) primitiv sind oder dass sich die epistemische gleiche Möglichkeit von 'Kopf' und 'Zahl' auf ontologische Eigenschaften beziehen muss.

Tatsächlich stellt neben der epistemologischen Lesart von gleicher Möglichkeit eine ontologische Lesart von gleicher Möglichkeit eine mögliche Interpretation von Laplaces Wahrscheinlichkeitsverständnis dar. Wenngleich Laplaces klassische Theorie und dass darin enthaltene Konzept gleicher Möglichkeit weithin epistemologisch rezipiert werden, verweist etwa Ian Hacking (1971a) darauf, dass der Idee von gleicher Möglichkeit bei Laplace eine doppelte epistemologische und physikalische Lesart zugrunde liegt, die allerdings nie deutlich voneinander getrennt werden. Hacking (1971a, 354) kommt sogar zu dem Schluss, dass selbst die epistemische gleiche Möglichkeit bei Laplace nichts anderes ist als der Glaube an eine

²⁸ vgl. Hájek (2019)

solche physikalische gleiche Möglichkeit.²⁹ Inwiefern ein physisches Verständnis von gleicher Möglichkeit eine mögliche ontologische Interpretation von Wahrscheinlichkeit erlaubt, werde ich im Zusammenhang mit konstitutiven Symmetrien in Unterkapitel 3.3 noch ausführlich diskutieren. An dieser Stelle möchte ich gleiche Möglichkeit hingegen wie in der Rezeption Laplaces weithin üblich epistemologisch verstehen.

Wird gleiche Möglichkeit nun epistemologisch verstanden, bleiben schließlich nur epistemische Symmetrieüberlegungen als mögliche Alternative zu einer direkten Gleichsetzung von gleicher Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit. Beispielsweise wären 'Kopf' und 'Zahl' ohne weitere Kenntnisse über die Münze aufgrund der erkannten Symmetrie der Münze gleich möglich. Dass solche epistemischen Symmetrieüberlegungen allerdings selbst bei gleichem Kenntnisstand nicht zwangsweise eindeutig bestimmt werden können, zeigt das Bertrandsche Paradoxon. Eine vielzitierte anschauliche Variante dieses Paradoxons findet sich dabei in Bas van Fraassens (1989, 303) Kartonfabrik: Eine Fabrik stellt würfelförmige Kartons her, deren Seitenlänge zufällig zwischen 0 und 2 liegt. Die Frage ist nun, wie groß die Wahrscheinlichkeit für einen Karton mit Seitenlänge kleiner oder gleich 1 ist. Auf den ersten Blick scheint die Antwort einfach und eindeutig. Da die Seitenlänge aller günstigen Fälle kleiner oder gleich 1 ist und die aller möglichen Fälle kleiner oder gleich 2, ist die Wahrscheinlichkeit bei Gleichverteilung der Längen gleich $\frac{1}{2}$. Formuliert man allerdings die Fragestellung um und fragt nach der Wahrscheinlichkeit für einen Karton mit einer entsprechenden Flächengröße von kleiner 1 entsteht nun die Paradoxie. Da alle günstigen Fälle eine Fläche kleiner 1 haben und alle möglichen Fälle eine Fläche kleiner 4 haben, ist die Wahrscheinlichkeit nun unter der Annahme der Gleichverteilung der Flächen gleich $\frac{1}{4}$. Das Beispiel ließe sich weiter auf das Volumen der Kartons ausweiten. Offensichtlich wird jeweils nach der Wahrscheinlichkeit für dieselbe Art von Kartons gefragt, allerdings ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Annahme über die gleiche Möglichkeit in Form von Gleichverteilungen über Längen, Flächen oder Volumen sich einander widersprechende Wahrscheinlichkeiten. Ohne Bezug auf eine mögliche ontologische Auszeichnung, können rein epistemischen Symmetrieüberlegungen demnach keine eindeutig bestimmte gleiche Möglichkeit und damit keine eindeutig bestimmten Wahrscheinlichkeiten liefern.

Insgesamt folgt damit, dass sich nicht nur durch eine epistemologisch primitive Interpretation gleicher Möglichkeit keine eindeutigen Wahrscheinlichkeiten ergeben, sondern auch beim Versuch, gleiche Möglichkeit über epistemische Symmetrieüberlegungen zu bestimmen.

²⁹ Hacking (1971a, 352-354) zeigt dabei, dass ein solche Lesart von gleicher Möglichkeit als einem im Kern physikalischem Konzept nicht nur in Laplaces frühen Schriften, sondern auch noch in seinem Hauptwerk von 1814 zu finden ist.

Dies hat nun aber auch Folgen für eine mögliche Erklärung relativer Häufigkeiten durch Wahrscheinlichkeiten. Denn einmal von der Frage, wie ein epistemologisches Konzept wie die Wahrscheinlichkeit der klassischen Theorie überhaupt Häufigkeiten in der Welt erklären soll, abgesehen, lassen sich durch fehlende eindeutige Wahrscheinlichkeiten erst recht keine Häufigkeiten in wiederholten Zufallsexperimenten vorhersagen bzw. erklären.

3.2.2 Frequentismus

Die Schwächen der klassischen Theorie sowie die zunehmende Bedeutung der Wahrscheinlichkeiten in den empirischen Wissenschaften führten im 19. Jahrhundert nach und nach zur Abkehr von einem epistemologischen Verständnis der Wahrscheinlichkeiten hin zu einer unmittelbaren Gleichsetzung von Wahrscheinlichkeiten mit relativen Häufigkeiten. Richard von Mises (1928) explizierte diese zunächst implizit vorgenommene Gleichsetzung schließlich und baute sie zu einer umfassenden Theorie empirischer Wahrscheinlichkeiten aus.³⁰ Die Motivation für eine solche frequentistische Theorie liegt dabei darin, dass durch die Gleichsetzung von Wahrscheinlichkeiten mit relativen Häufigkeiten erstere unmittelbar empirisch zugänglich werden. Allerdings findet von Mises' (1928, 9-12) Wahrscheinlichkeitsbegriff aufgrund dieses Bezugs auf Häufigkeiten auch ausschließlich auf wiederholbare Vorgänge wie Glücksspiele, soziale Massenerscheinungen und physikalische Prozesse Anwendung:

„Mit dem rationellen Wahrscheinlichkeitsbegriff [...] wollen wir nur solche Fälle erfassen, in denen es sich um einen vielfältig wiederholbaren Vorgang, um eine in großen Mengen auftretende Erscheinung, physikalisch gesprochen um eine praktisch unbegrenzte Folge von gleichartigen Beobachtungen handelt.“

(von Mises 1928, 12)

Allgemein ist dabei als frequentistische Wahrscheinlichkeitsinterpretation zunächst ein aktueller bzw. endlicher Frequentismus am naheliegendsten. Dieser beschreibt einfach eine naive Gleichsetzung von Wahrscheinlichkeiten mit den tatsächlich vorliegenden relativen Häufigkeiten. Wird bspw. eine Münze einhundert Mal geworfen und zeigt sie in fünfzig Würfeln 'Kopf', so ist die Wahrscheinlichkeit für 'Kopf' gleich $\frac{1}{2}$. Allerdings birgt eine solche unmittelbare Gleichsetzung eine Vielzahl von Problemen, insofern sie der ureigenen Eigenschaft von Wahrscheinlichkeit, verschiedene Ergebnisse realisieren zu können, zuwiderläuft.³¹ Im

³⁰ Ein weiterer bedeutender früher Vertreter des Frequentismus findet sich in Hans Reichenbach (1935). Für einen Überblick über verschiedene frequentistische Interpretationen siehe La Caze (2016).

³¹ Für eine ausführliche Diskussion der Probleme eines solchen endlichen Frequentismus siehe Hájek (1997).

Gegensatz zur Notwendigkeit bzw. zur Unmöglichkeit eines Ereignisses besagt die nicht-triviale Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses gerade, dass es auch anders hätte kommen können. Wenn nun aber Wahrscheinlichkeit mit tatsächlicher relativer Häufigkeit gleichgesetzt wird, führt die Realisierung einer anderen Möglichkeit, die zwar in einer nicht-trivialen Wahrscheinlichkeit bereits enthalten ist, dennoch zu einer Veränderung dieser Wahrscheinlichkeit. So waren zwar im obigen Beispiel des hundertfachen Münzwurfs die Wahrscheinlichkeiten für 'Kopf' und 'Zahl' in jedem der hundert Münzwürfe gemäß dem tatsächlichen Ergebnis nur $\frac{1}{2}$. Wenn nun aber 'Kopf' auch nur in einem einzigen der 'Zahl'-Würfe tatsächlich aufgetreten wäre, wären die Wahrscheinlichkeiten bereits nicht mehr $\frac{1}{2}$ gewesen.

Entsprechend setzt von Mises (1928, 12-13) auch nicht einfach Wahrscheinlichkeiten mit tatsächlichen relativen Häufigkeiten gleich, sondern definiert sie über unendliche Kollektive und verfolgt damit einen sogenannten hypothetischen Frequentismus. Ein Kollektiv ist dabei eine Ansammlung einzelner Ereignisse, die sich hinsichtlich eines bestimmten Merkmals unterscheiden. Beispielsweise wäre ein unendlich oft wiederholter Münzwurf ein solches Kollektiv, da sich die einzelnen Münzwürfe nur darin unterscheiden, ob 'Kopf' oder 'Zahl' geworfen wird. Konvergieren nun die relativen Häufigkeiten, mit denen einzelne Merkmalsausprägungen in diesen Kollektiven auftreten, so lassen sich Wahrscheinlichkeiten mit den entsprechenden Grenzwerten der relativen Häufigkeiten der Merkmalsausprägungen gleichsetzen:

„Diesen ‚Grenzwert‘ [...] der relativen Häufigkeit [...] nennen wir die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten.“ (von Mises 1928, 14)

Wird ein Münzwurf bspw. beliebig oft wiederholt und nähert sich, je öfter die Münze geworfen wird, das Verhältnis von 'Kopf'-Würfeln zu allen Münzwürfeln immer mehr $\frac{1}{2}$ an, so ist die Wahrscheinlichkeit von 'Kopf' gleich $\frac{1}{2}$.

Um darüber hinaus regelmäßige Kollektive aus dem Konzept der Wahrscheinlichkeit auszuschließen, fordert von Mises (1928, 23-28) neben der Konvergenz der relativen Häufigkeiten zudem die Regellosigkeit der entsprechenden Kollektive. Würde bspw. im unendlichen Münzwurf 'Kopf' und 'Zahl' immer genau abwechselnd geworfen, so gäbe es im wiederholten Münzwurf keine Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für 'Kopf' bzw. 'Zahl', sondern er würde vielmehr der Gesetzmäßigkeit folgen, dass auf 'Kopf' notwendigerweise 'Zahl' folgen muss und umgekehrt. Wahrscheinlichkeiten sind demnach nur vor dem Hintergrund solcher regellosen Kollektive, die bezüglich bestimmter Merkmalsausprägungen konvergieren, definiert. Dass solche Kollektive auch tatsächlich existieren bzw. dass endliche Wiederholungen von

Zufallsexperimenten den Anfang solcher Kollektive bilden, zeigt dabei laut von Mises (1928, 17-21/25-27) unsere Erfahrung.

Zwar entgeht von Mises damit den Problemen einer naiven Gleichsetzung von Wahrscheinlichkeiten mit tatsächlichen relativen Häufigkeiten, allerdings tun sich durch den Bezug auf unendliche Kollektive dafür ganz neue Probleme auf, wie ich in der nun folgenden Diskussion der angegebenen Kriterien zeigen werde.³²

Deterministische Wahrscheinlichkeit

Die Interpretation von Wahrscheinlichkeiten als relative Häufigkeiten ist zunächst problemlos mit den den Zufallsexperimenten zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken und Mechanismen vereinbar. Wenngleich die entsprechenden Gesetzmäßigkeiten deterministisch sind, lassen sich Kollektiven und über ihre Zugehörigkeit zu diesen auch einzelnen Ereignissen Wahrscheinlichkeiten zuschreiben. Die Wahrscheinlichkeiten sind durch die relativen Häufigkeiten in solchen Kollektiven charakterisiert, die selbst nichts weiter als das Ergebnis deterministischer Dynamiken einzelner Zufallsexperimente sind. So sind bspw. die Ergebnisse der einzelnen Münzwürfe durch die zugrundeliegenden Bewegungsgleichungen und Randbedingungen determiniert, zugleich lassen sich den Ereignissen 'Kopf' und 'Zahl' aber aufgrund der relativen Häufigkeiten im wiederholten Münzwurf objektive Wahrscheinlichkeiten zuschreiben. Ob solche Wahrscheinlichkeiten dabei auch für einzelne Ereignisse tatsächlich objektiv bestimmt sein können, bleibt, wie ich als nächstes zeige, allerdings fraglich.

Singuläre Wahrscheinlichkeit

Hinsichtlich des zweiten Kriteriums in Form der Frage, ob Wahrscheinlichkeiten auch einzelnen Ereignissen zukommen können, zeigen sich nun die eigentlichen Probleme einer frequentistischen Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeiten.³³ Zunächst ist eine Zuschreibung von Wahrscheinlichkeiten im Einzelfall überhaupt nur dann möglich, wenn das einzelne Zufallsexperiment in ein Kollektiv eingebettet ist. Damit negiert der Frequentismus zunächst einen singulären, unmittelbar dem Einzelfall anhängenden Charakter von Wahrscheinlichkeiten. Denn erst die realisierten Häufigkeiten bestimmen rückwirkend, was die Wahrscheinlichkeiten in den entsprechenden einzelnen Zufallsexperimenten waren. So ist bspw. die Wahrscheinlichkeit, 'Kopf' in einem einmaligen Münzwurf zu werfen, nur aufgrund der Zugehörigkeit des konkreten Münzwurfs zu einem bestimmten Kollektiv von Münzwürfen

³² Für eine ausführliche Diskussion dieser und weiterer Probleme eines solchen hypothetischen Frequentismus siehe Hájek (2009).

³³ vgl. Hájek (1997, 215-218)

bestimmt und die Wahrscheinlichkeit des einzelnen Münzwurfs auch von den Ergebnissen aller zukünftigen Münzwürfe abhängig.

Damit werden aber die Wahrscheinlichkeiten gegenwärtiger Ereignisse durch zeitlich beliebig weit entfernte sowie sich nie realisierende Ereignisse bestimmt. Das Problem einer solchen Abhängigkeit von zukünftigen Wahrscheinlichkeiten wird insbesondere bei einmaligen Zufallsexperimenten deutlich. In einem Universum, in dem eine faire Münze in der gesamten Geschichte dieses Universums genau ein einziges Mal geworfen wird, gibt es kein Kollektiv dessen Anfang dieser Münzwurf bilden könnte. Folglich lassen sich diesem Münzwurf keine nicht-trivialen Wahrscheinlichkeiten zuschreiben.

Insofern Wahrscheinlichkeiten nur relativ zu Kollektiven bestimmt sind, stellt sich darüber hinaus die Frage, ob eine solche Wahrscheinlichkeitszuschreibung über die Zugehörigkeit zu einem Kollektiv tatsächlich objektiv erfolgen kann.³⁴ Denn in der Regel liegen keine unmittelbar offensichtlichen tatsächlichen Kollektive, die den Anfang eindeutig bestimmter unendlicher Kollektive bilden könnten, vor. Beispielsweise ließen sich sowohl nur die Würfe mit ein- und derselben Münze als Anfang eines Kollektivs betrachten, als auch die Würfe aller gleichartigen Münzen. Im ersten Fall ließen sich weiter entweder nur solche Münzwürfe einem Kollektiv zurechnen, die von derselben Person durchgeführt werden, oder aber alle Münzwürfe mit derselben Münze durch beliebige Personen. Die Vielzahl möglicher Kollektivbildungen spricht nun gegen ein objektives Kriterium zur Gruppierung verschiedener Ereignisse zu ein und demselben Kollektiv. Damit scheinen aber in einer solchen frequentistischen Interpretation objektive Wahrscheinlichkeiten den Ereignissen höchstens insofern zuzukommen, als sie als Teil eines bestimmten Kollektivs betrachtet werden. Dies würde aber bedeuten, dass eindeutige singuläre Wahrscheinlichkeiten niemals vorliegen können, sondern immer nur verschiedene relativierte Wahrscheinlichkeiten, die höchstens bzgl. des jeweils betrachteten Kollektivs objektiv sind. Im Beispiel des Münzwurfs würde dies zu einer je anderen Wahrscheinlichkeit für ein und denselben einzelnen Münzwurf führen, je nachdem als Teil welchen Kollektivs er betrachtet wird.

Wahrscheinlichkeit & Häufigkeit

Schließlich stellt sich die Frage, ob es frequentistische Interpretationen schaffen, das Auftreten von relativen Häufigkeiten auch tatsächlich zu erklären. Dabei scheint zunächst eine naive Gleichsetzung von Wahrscheinlichkeiten mit tatsächlichen relativen Häufigkeiten nur wenig

³⁴ Für eine ausführliche Diskussion der damit verbundenen Referenzklassenprobleme sowie der Frage, inwieweit sich diese auch für nicht-frequentistische Interpretationen stellen, siehe Hájek (2007).

zur Erklärung dieser Häufigkeiten beitragen zu können. So sichert eine solche naive Gleichsetzung lediglich die empirische Feststellbarkeit deterministischer Wahrscheinlichkeiten als endliche Häufigkeiten. Abgesehen davon bedeutet die Identität beider Konzepte aber, dass Wahrscheinlichkeiten nichts weiter als die Existenz dieser Häufigkeiten beschreiben, ohne dass sie in irgendeiner Weise etwas Klärendes zum Auftreten dieser Häufigkeiten beitragen könnten. Wird bspw. im hundertmaligen Münzwurf die Wahrscheinlichkeit von 'Kopf' gleich dem tatsächlichen Verhältnis der 'Kopf-Würfe zu allen Münzwürfen gesetzt, dann sind zwar Wahrscheinlichkeiten und relative Häufigkeiten trivialerweise gleich, aber die Wahrscheinlichkeit von 'Kopf' besagt nichts weiter, als dass 'Kopf' in dieser Folge von hundert Münzwürfen genau so und so oft gefallen ist.

Werden nun hingegen wie bei von Mises die Wahrscheinlichkeiten nicht einfach mit den tatsächlichen relativen Häufigkeiten gleichgesetzt, sondern mit den Grenzwerten relativer Häufigkeiten unendlicher Kollektive, von denen tatsächliche relative Häufigkeiten nur endliche Ausschnitte darstellen, stellt sich das Problem auf ähnliche Weise. Zwar erfolgt hier die Gleichsetzung nicht unmittelbar, allerdings sind die hypothetischen unendlichen Grenzwerte auch hier unmittelbar aus den beobachteten endlichen Häufigkeiten abgeleitet. Damit werden die endlichen Häufigkeiten aber über ein hypothetisches Konvergenzverhalten erklärt, das als nicht-empirische Tatsache selbst maßgeblich durch die zu erklärenden endlichen Häufigkeiten gestützt wird. Davon abgesehen geht damit auch die eigentliche Hauptmotivation für den Frequentismus, Wahrscheinlichkeiten ausschließlich durch den Bezug auf unmittelbare Erfahrungstatsachen zu charakterisieren, verloren.³⁵ Schließlich lassen sich konvergierende und regellose relative Häufigkeiten unendlicher Kollektive anders als die tatsächlichen Häufigkeiten nicht länger unmittelbar feststellen.

3.2.3 Propensitätstheorie

Vor allem die Schwierigkeiten von Häufigkeitsinterpretationen, singuläre Wahrscheinlichkeiten objektiv zu interpretieren, veranlassten Karl Popper (1957, 1959, 1990), der zunächst selbst einen frequentistischen Ansatz verfolgte, schließlich dazu, eine alternative Wahrscheinlichkeitsinterpretation zu entwickeln. Motiviert durch die Bedeutung von Einzelfallwahrscheinlichkeiten in der Quantenmechanik interpretiert Popper (1959, 27-28) entsprechend Wahrscheinlichkeiten nicht länger als relative Häufigkeiten von Ereignissen, sondern als Propensitäten, die die Ereignisse im Einzelfall hervorbringen. Unter Propensitäten versteht Popper (1959, 30-31)

³⁵ Die sich darüber hinaus stellende Frage, wie Grenzwerte unendlicher Kollektive überhaupt Aussagen über endliche relative Häufigkeiten erlauben, möchte ich an dieser Stelle aussparen und ihr gesondert in Abschn. 3.3.2 c) im Zusammenhang mit dem Gesetz der großen Zahl nachgehen (siehe auch Hájek 2009, 214-217).

dabei primitive dispositionale Eigenschaften der Natur, die im konkreten Einzelfall ein Ereignis herbeiführen können und in Ereignisfolgen für Häufigkeiten verantwortlich zeichnen:³⁶

„[T]he concept of propensity [...] introduces a dispositional property of singular physical experimental arrangements—that is to say, of singular physical events—in order to explain observable frequencies in sequences of repetitions of these events.“ (Popper 1959, 31)

Dabei bleibt diese Interpretation nicht nur auf die indeterministischen Wahrscheinlichkeiten der Quantenmechanik beschränkt, sondern wird bisweilen auch auf die Wahrscheinlichkeiten der speziellen Wissenschaften ausgeweitet. Um die Eignung der Propensitätstheorie als mögliche Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit zu diskutieren, möchte ich sie entsprechend ebenfalls am Beispiel des Münzwurfs veranschaulichen. Für den Münzwurf würde eine solche Interpretation nun aber bedeuten, dass die Wahrscheinlichkeit, 'Kopf' zu werfen, genau dann $\frac{1}{2}$ ist, wenn die dem einzelnen Münzwurf zugrundeliegende Wurfanordnung eine entsprechende Tendenz hat, 'Kopf' im konkreten Einzelfall zu realisieren.

Anders als der Frequentismus schreibt Poppers Propensitätstheorie die Wahrscheinlichkeiten nicht länger den Ergebnissen selbst zu, sondern ihren physikalischen Erzeugungsbedingungen. Beispielsweise könnten unter die Erzeugungsbedingungen des einzelnen Münzwurfs insbesondere die Beschaffenheit der Münze, die Wurfvorrichtung bzw. die werfende Person sowie ihre unmittelbaren Umweltbedingungen fallen. Der Gesamtheit der physikalischen Erzeugungsbedingungen eines einzelnen Zufallsexperiments kommen dann Wahrscheinlichkeiten in Form der Dispositionen, die verschiedenen Ereignisse zu realisieren, zu. Die Propensitäten sind dabei für Popper nicht auf weitere ontologische Strukturen rückführbar und folglich ontologisch primitiv. Diese primitive dispositionale Kraft der Erzeugungsbedingungen führt nach Popper (1959, 34) schließlich zu stabilen Häufigkeiten in langen Abfolgen gleicher Erzeugungsbedingungen.³⁷ Die Tatsache, dass die Erzeugungsbedingungen des einzelnen

³⁶ Bereits Charles Sanders Peirce (1910) nimmt eine ähnliche Unterscheidung zwischen Wahrscheinlichkeit als dispositiver Eigenschaft („would-be“) und der Konsequenz dieser dispositiven Kraft in Form der Manifestation von Häufigkeiten vor. Hacking (1971a, 343-344) sieht in einer Art Propensitätstheorie sogar die ursprünglichste Interpretation von Wahrscheinlichkeiten, die im Laufe der Zeit durch das Konzept physikalischer gleicher Möglichkeit ergänzt wurde und durch die epistemologische Lesart dieser gleichen Möglichkeit schließlich in Laplaces klassische Theorie mündete. Für einen Überblick über verschiedene Propensitätstheorien siehe Gillies (2000).

³⁷ Während er zunächst die Manifestation von Häufigkeiten in unendlichen Folgen als Eigenschaft der dispositiven Kraft im Einzelfall mit fordert, verzichtet Popper (1990) später auf diese zusätzliche Forderung und betrachtet sie lediglich als bloße Folge der Propensitäten. Darin folgen ihm u. a. Giere (1973) und Fetzer (1982) als weitere bedeutende Vertreter von Propensitätstheorien.

Münzwurfs eine Tendenz von $\frac{1}{2}$ haben, 'Kopf' zu realisieren, führt also bei einer Vielzahl gleicher Wurfanordnungen zu einer ausgeglichenen Anzahl von 'Kopf' und 'Zahl'.

Im Folgenden möchte ich nun untersuchen, was die Rückführung von Wahrscheinlichkeiten auf dispositionale Kräfte von Erzeugungsbedingungen für die angegebenen Kriterien für Wahrscheinlichkeitsinterpretationen bedeutet. Dabei werde ich zeigen, dass sich durch die dispositionale Komponente eine Reihe neuer Probleme auftun, die größtenteils auf den primitiven Charakter von Poppers Propensitäten zurückzuführen sind. Eine mögliche Antwort auf diese Probleme in Form eines nicht-primitiven Verständnisses von Propensitäten wird hingegen zu der Frage führen, worauf sich die Propensitäten der Erzeugungsbedingungen dann weiter zurückführen lassen, und damit letzten Endes wieder auf eine Häufigkeits- oder Symmetrieinterpretation hinauslaufen.³⁸

Deterministische Wahrscheinlichkeit

Das erste Kriterium für Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit bestand in der Vereinbarkeit von Wahrscheinlichkeiten spezieller Ereignisse mit ihren zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken. Hinsichtlich dieses Kriteriums lässt sich zunächst feststellen, dass die Gleichsetzung von Wahrscheinlichkeiten mit primitiven Dispositionen von Erzeugungsbedingungen keinerlei Information darüber liefert, wie aus den Erzeugungsbedingungen eine bestimmte Wahrscheinlichkeit resultiert. Würde eine solche Interpretation auch auf spezielle Wahrscheinlichkeiten Anwendung finden, wäre bspw. die Wahrscheinlichkeit von 'Kopf' im Münzwurf eine primitive dispositionale Eigenschaft der Erzeugungsbedingungen dieses Zufallsexperiments, die sich nicht auf weitere Eigenschaften der Erzeugungsbedingungen zurückführen ließe.

Eine solche Primitivität von Wahrscheinlichkeiten mag nun für eine oftmals indeterministisch interpretierte Quantenmechanik, in der Wahrscheinlichkeiten selbst eine fundamentale, nicht weiter analysierbare Rolle zuzukommen scheint, eine durchaus gangbare Option darstellen. Für spezielle Wahrscheinlichkeiten, denen scheinbar fundamentalere deterministische Dynamiken zugrunde liegen, scheint aber ein solches primitives Wahrscheinlichkeitsverständnis mehr als fraglich. Denn entweder werden diese deterministischen

³⁸ Für eine umfangreiche Auflistung von Problemen von Propensitätstheorien siehe Eagle (2004). Eagle (2004, 396-399) listet dabei auch die möglichen Probleme von sogenannten Langzeitpropensitätstheorien auf. Diese Theorien versuchen die Manifestation von Propensitäten in Folgen von Zufallsexperimenten herauszustellen, wodurch ihre Probleme im Wesentlichen denen des Frequentismus gleichen. Das als Humphreys' (1985) Paradoxon bekannt gewordene Problem, dass Propensitätstheorien womöglich gewisse bedingte Wahrscheinlichkeiten uninterpretiert lassen müssen, werde ich hingegen erst im Zusammenhang mit der Frage nach der allgemeinen Interpretation bedingter Wahrscheinlichkeiten gesondert in Abschn. 5.2.1 diskutieren.

Wahrscheinlichkeiten entgegen dem üblichen Verständnis damit implizit ebenfalls indeterministisch verstanden oder der Großteil probabilistischer Phänomene wird vom ontologischen Konzept der Wahrscheinlichkeit schlicht ausgeschlossen.³⁹ Damit findet aber bspw. die Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für 'Kopf' im Münzwurf entweder gar keine ontologische Entsprechung oder sie ist entgegen der vermuteten zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken Ausdruck eines im Kern indeterministischen Prozesses. Auch wenn bei den Wahrscheinlichkeiten des Münzwurfs vielleicht sogar noch eine rein epistemologische Interpretation möglich scheint, wird das Problem für die Wahrscheinlichkeiten wissenschaftlicher Theorien wie der statistischen Mechanik und der Evolutionstheorie, denen ebenfalls solche deterministischen Dynamiken zugrunde gelegt werden, deutlich. Damit wird aber entweder die über Jahrhunderte tradierte Vorstellung von der Determiniertheit makroskopischer Prozesse beiläufig in der philosophischen Auseinandersetzung über die richtige Interpretation der Wahrscheinlichkeit über Bord geworfen oder das Konzept der Wahrscheinlichkeit verliert seinen ursprünglich angestammten Gegenstandsbereich, der die Wahrscheinlichkeitsrechnung seit ihren Anfängen bis ins 20. Jahrhundert maßgeblich geprägt hat.

Singuläre Wahrscheinlichkeit

Der große Vorteil der Propensitätstheorie liegt nun hingegen darin, dass sie die Wahrscheinlichkeiten den einzelnen Zufallsexperimenten zuschreibt und somit echte singuläre Wahrscheinlichkeiten ermöglicht. Anders als im Frequentismus resultieren die Wahrscheinlichkeiten einzelner Ereignisse nicht länger aus ihrer Zugehörigkeit zu tatsächlichen oder hypothetischen Folgen von Ereignissen, sondern aus den jeweils im Einzelfall vorliegenden Erzeugungsbedingungen selbst. Entsprechend lassen sich auch mögliche Probleme, die unmittelbar aus der Zugehörigkeit zu solchen Kollektiven resultieren, zunächst vermeiden. Denn auch wenn sich die Dispositionen der Erzeugungsbedingungen in den relativen Häufigkeiten unendlicher Folgen von Zufallsexperimenten widerspiegeln mögen, definiert nicht erst die relative Häufigkeit einer unendlichen Folge den Wert der Wahrscheinlichkeit. Die Wahrscheinlichkeit liegt vielmehr im einzelnen Zufallsexperiment selbst bereits als Propensität vor und erst die hypothetische unendliche Wiederholung der gleichen Erzeugungsbedingungen führt zu entsprechenden relativen Häufigkeiten. So besitzt auch bspw. der einzelne Münzwurf unabhängig von seiner Wiederholbarkeit eine Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für 'Kopf'. Und erst dieselben Erzeugungs-

³⁹ So spricht bspw. Giere (1973, 479-481) einerseits den Wahrscheinlichkeiten der statistischen Mechanik eine ontologische Bedeutung ab und lässt ihnen eine rein instrumentelle Rolle zukommen. Andererseits hält er es aber zugleich für möglich, dass etwa die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, indeterministisch ist und damit als Propensität interpretiert werden kann.

bedingungen und damit dieselben Wahrscheinlichkeiten für jeden einzelnen Münzwurf in einer Folge von Münzwürfen führen zu den relativen Häufigkeiten. Wie genau dabei der Zusammenhang von Wahrscheinlichkeit und relativer Häufigkeit ist, möchte ich schließlich noch vor dem Hintergrund des letzten Kriteriums diskutieren.

Wahrscheinlichkeit & Häufigkeit

Grundsätzlich versucht die Propensitätstheorie relative Häufigkeiten unter Bezug auf das Gesetz der großen Zahl zu erklären. Das Gesetz der großen Zahl stellt dabei einen Zusammenhang zwischen den im jeweiligen Einzelfall vorliegenden Wahrscheinlichkeiten und dem Grenzwert relativer Häufigkeiten in unendlich oft wiederholten Zufallsexperimenten her. Gemäß der Propensitätstheorie führen demnach gleiche Erzeugungsbedingungen und damit gleiche Propensitäten in wiederholten Zufallsexperimenten zu stabilen relativen Häufigkeiten. Inwiefern das Gesetz der großen Zahl, das lediglich eine Aussage über die relativen Häufigkeiten unendlich oft wiederholter Zufallsexperimente macht, auch Aussagen über endliche Wiederholungen von Zufallsexperimenten erlaubt, möchte ich dabei an dieser Stelle ausklammern und gesondert in Abschn. 3.3.2 c) in allgemeinerer Form diskutieren.

Davon abgesehen stellt aber bereits der bloße Bezug auf gleiche Erzeugungsbedingungen als Voraussetzung für eine mögliche Erklärung von Häufigkeiten ein Problem für die Propensitätstheorie dar.⁴⁰ Denn die mögliche Wiederholung gleicher Erzeugungsbedingungen wirft die Frage auf, was genau sich wiederholen muss, damit gleiche Propensitäten vorliegen und sich folglich überhaupt auf relative Häufigkeiten schließen lassen könnte. Eine erste Möglichkeit besteht nun darin wie Popper (1990, 17) selbst, die Propensität dem Gesamtzustand der Natur zum Zeitpunkt eines Zufallsexperiments zuzuschreiben. Die Wahrscheinlichkeit für 'Kopf' in einem einzelnen Münzwurf wäre also bspw. nicht von einzelnen Eigenschaften der Münze, der werfenden Person oder einzelnen Umweltbedingungen abhängig, sondern vom Zustand des gesamten Universums zum Zeitpunkt dieses Münzwurfs. Insofern vermutlich kein Zustand des Universums einem anderen gleicht, würde damit aber jede Art von Wiederholung und somit ein Schluss auf Häufigkeiten unmöglich werden.⁴¹ So wird es bspw. fraglich, wieso verschiedenen Münzwürfen überhaupt dieselben Wahrscheinlichkeiten zukommen sollen und folglich wieso unendliche Folgen von Münzwürfen stabile relative Häufigkeiten zeigen.

⁴⁰ Diskussionen dieses Problems finden sich auch bei Gillies (2000, 822-825), Eagle (2004, 393-395) und Hájek (2007, 574-576).

⁴¹ Ein ähnliches Argument lässt sich auch in der Kausalitätsdebatte finden (siehe Abschn. 4.1.3b).

Eine mögliche Alternative scheint nur darin zu bestehen, dass Propensitäten nicht vom Zustand des gesamten Universums, sondern nur von einigen relevanten Bedingungen abhängen.⁴² Demnach besitzen Zufallsexperimente genau dann gleiche Propensitäten und damit gleiche Wahrscheinlichkeiten, wenn sie sich in relevanten Bedingungen gleichen. Beispielsweise könnten die Propensitäten eines einzelnen Münzwurfs nur von der Münze oder der werfenden Person abhängig sein. Allerdings birgt eine solche Einschränkung auf relevante Bedingungen ähnliche Probleme, wie die Wahl eines geeigneten Kollektivs im Frequentismus. Denn je nachdem welche Erzeugungsbedingungen als relevant angesehen werden, kommen einem Zufallsexperiment unterschiedliche Propensitäten zu und gelten unterschiedliche Zufallsexperimente als gleichartig. Im Münzwurf besäßen dann bspw. nur Würfe, die mit derselben Münze ausgeführt wurden, oder nur Münzen, die von derselben Person geworfen wurden, dieselben Propensitäten. Damit ergeben sich aber Probleme vergleichbar zu den Referenzklassenproblemen des Frequentismus. Insbesondere würden verschiedene Auswahlen relevanter Bedingungen und damit verschiedene Propensitätszuschreibungen unterschiedliche Häufigkeiten implizieren. Eine mögliche Lösung in Form einer objektiven Auswahl der für Propensitäten im Einzelfall relevanten Erzeugungsbedingungen würde hingegen bedeuten, dass Propensitäten auf weitere Eigenschaften zurückgeführt werden und folglich die ursprüngliche Charakterisierung der Wahrscheinlichkeiten als primitive Dispositionen verloren geht.⁴³

3.2.4 Beste-Systeme-Analyse

Eine weitere ontologische Interpretation von Wahrscheinlichkeiten, die zurzeit viel diskutiert wird und in gewisser Weise Elemente der bereits diskutierten Interpretationen verbindet, stellt David Lewis' (1986a, 1994) Rückführung von Wahrscheinlichkeiten auf probabilistische Naturgesetze dar.⁴⁴ Lewis' Interpretation ist dabei eng an sein Humesches Weltbild und den darin auftretenden Naturgesetzbegriff geknüpft. Entsprechend möchte ich dieses zunächst kurz darstellen.

Gemäß Lewis (1994, 474) ist unsere Welt vollständig durch raumzeitlich lokale Eigenschaften und deren raumzeitliche Anordnung charakterisiert, während alles andere auf der Gesamtheit dieser lokalen Eigenschaften superveniert. Supervenienz bedeutet hierbei konkret,

⁴² siehe z. B. Fetzer (1982)

⁴³ In gewissem Sinne lässt sich die in Unterkapitel 3.3 entwickelte Interpretation von Wahrscheinlichkeiten als konstitutive Symmetrien als eine solche Rückführung von Dispositionen auf solche fundamentalere Eigenschaften verstehen.

⁴⁴ Ein weiterer bedeutender Vertreter dieses Ansatzes, der Lewis' Überlegungen aufgreift und weiterentwickelt, findet sich in Loewer (2001, 2004). Für einen Überblick über verschiedene Beste-Systeme-Ansätze und ihre Probleme siehe Schwarz (2016).

dass sich zwei mögliche Welten bereits in der Anordnung bzw. Ausprägung dieser lokalen Eigenschaften unterscheiden müssen, um selbst verschieden zu sein. Die Supervenienzbasis, also das worauf alles andere superveniert, wird dabei auch als Humesches Mosaik bezeichnet und umfasst gleichermaßen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Die Muster und Regularitäten einer solchen Welt ohne modale Kräfte lassen sich nun durch verschiedene deduktive Systeme wahrer Generalisierungen beschreiben, also durch Systeme von fundamentalen Aussagen, aus denen sich alle anderen Aussagen über die Welt ableiten lassen. Vor dem Hintergrund solcher deduktiven Systeme lässt sich wiederum bestimmen, was Naturgesetze sind. Denn nach Lewis (ebd., 478) sind nun Naturgesetze genau die Theoreme des besten dieser deduktiven Systeme. Dabei ist dasjenige System am besten, das durch eine optimale Balance zwischen Einfachheit (*simplicity*), (Erklär-)Stärke (*strength*) und Passgenauigkeit (*fit*) der enthaltenen Theoreme ausgezeichnet ist.

Dieses Verständnis von Naturgesetzen wird nun für eine mögliche Wahrscheinlichkeitsinterpretation insofern relevant, als das beste System nach Lewis (ebd., 480) nicht zwangsläufig nur aus deterministischen Gesetzen bestehen muss. Stattdessen kann das beste System, um bspw. die Einfachheit zu erhöhen, auch probabilistische Gesetze enthalten. Genau diese probabilistischen Gesetze bestimmen nun nach Lewis, was Wahrscheinlichkeiten ontologisch sind:

„The virtues of simplicity, strength, and fit trade off. The best system is the system that gets best balance of all three. [...] [T]he laws are those regularities that are theorems of the best system. [...] [T]he chances are what the probabilistic laws of the best system say they are.“ (Lewis 1994, 480)

Auch wenn Münzwürfe keine fundamentalen Bestandteile von Lewis' Humeschen Mosaik darstellen, lassen sich dennoch Lewis' Überlegungen auch an diesem Standardbeispiel veranschaulichen, indem man sich eine Welt vorstellt, in der Münzwürfe fundamental sind und diese ohne sonstige Regelmäßigkeiten in etwa der Hälfte der Fälle zu 'Kopf' bzw. zu 'Zahl' führen. In einer solchen Welt ist es einfacher, alle Münzwürfe durch eine einzige Wahrscheinlichkeit zu beschreiben als jeden einzelnen tatsächlichen Münzwurf exakt zu beschreiben. Die Wahrscheinlichkeit ließe sich nun zunächst mit der exakten relativen Häufigkeit von 'Kopf' für alle Münzwürfe des gesamten Universums gleichsetzen. Dies würde allerdings zu einer Wahrscheinlichkeit führen, die zwar nahe bei $\frac{1}{2}$ liegt, aber eine schier endlose Zahl von Nachkommastellen besitzt. Ein anderes deduktives System, das die Wahrscheinlichkeit aufgrund der Symmetrien der Münze auf genau $\frac{1}{2}$ setzt, verliert hingegen nur wenig an Passgenauigkeit bzgl.

der tatsächlichen relativen Häufigkeiten und gewinnt zugleich deutlich an Einfachheit. Zudem könnte dieses System womöglich nicht nur die relativen Häufigkeiten im Münzwurf erklären, sondern auch diejenigen von Glücksspielen mit ähnlichen Symmetrien.

Die probabilistischen Gesetze lassen sich also nur in sehr einfachen Welten unmittelbar über die tatsächlichen relativen Häufigkeiten bestimmen. In der Regel sind aber gemäß Lewis (1994, 481) diejenigen Systeme, die Symmetrien und Regelmäßigkeiten in den Häufigkeiten berücksichtigen und zudem verschiedene Ereignisse zusammenfassen, deutlich einfacher bzw. können entschieden mehr erklären, während sie nur geringfügig an Passgenauigkeit verlieren. Entsprechend sind Wahrscheinlichkeiten ontologisch auch nicht als bloße relative Häufigkeiten oder Symmetrien zu verstehen, sondern als das, was von den probabilistischen Naturgesetzen eines Besten Systems beschrieben wird. Die Interpretation von Wahrscheinlichkeiten als Teil eines solchen Gesamtpakets birgt allerdings auch einige Probleme, die – wie sich in der folgenden Diskussion der angeführten Kriterien zeigen wird – wesentlich auf das zugrundeliegende Verständnis von Naturgesetzen zurückzuführen sind.

Deterministische Wahrscheinlichkeit

Die Frage, ob eine solche Beste-Systeme-Wahrscheinlichkeitsinterpretation prinzipiell mit deterministischen Dynamiken vereinbar ist, hängt in erster Linie davon ab, wie das Humesche Mosaik konkret ausgestaltet ist und welche Anforderungen an die Theoreme und damit die Naturgesetze eines deduktiven Systems gestellt werden. Lewis selbst vertritt dabei wohl mit die strikteste Position. Für ihn umfasst das Humesche Mosaik tatsächlich nur fundamentalphysikalische Eigenschaften an einzelnen Raumzeitpunkten, während Gesetze für alle Raumzeitpunkte gelten müssen. Da nun aber Wahrscheinlichkeiten durch solche zugrundeliegenden Gesetze interpretiert werden, bedeutet dies, dass makroskopischen Zufallsexperimenten keine eigenständigen speziellen Wahrscheinlichkeiten zukommen können. Denn da die entsprechenden Zufallsgeräte solcher makroskopischen Zufallsexperimente keinen fundamentalen Bestandteil des Humeschen Mosaiks darstellen, können ihnen auch höchstens von den fundamentalen Wahrscheinlichkeiten ihrer Konstituenten abgeleitete Wahrscheinlichkeiten zukommen. Eine mögliche Lösung für dieses Problem könnte allenfalls eine Ausweitung des Humeschen Mosaiks auf nicht-fundamentale Eigenschaften oder eine Aufweichung des BSA-Naturgesetzbegriffs, die auch nicht-universelle Aussagen über ausgezeichnete Raumzeitregionen zulässt, bieten.⁴⁵ Allerdings bergen solche Abschwächungen selbst wiederum neue Probleme, auf die ich an dieser Stelle nicht näher eingehen möchte.

⁴⁵ Hofer (2007) argumentiert bspw. für eine Relativierung des besten Systems bzgl. verschiedener Ebenen. Um

Die Diskussion der Frage, ob sich Lewis' Interpretation für spezielle Wahrscheinlichkeiten eignet, zeigt jedenfalls bereits, wie stark Wahrscheinlichkeit in der Beste-Systeme-Analyse von der zugrundeliegenden Humeschen Metaphysik und dem darin enthaltenen Naturgesetzbegriff abhängt. Anders als in den bisher diskutierten Wahrscheinlichkeitsinterpretationen leitet sich Lewis' Wahrscheinlichkeitsinterpretation unmittelbar aus dem zugrundeliegenden Humeschen Gesetzesbegriff ab. Damit verlagert sich aber auch die Frage nach der Eignung dieser Wahrscheinlichkeitsinterpretation als Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit zum großen Teil auf den Gesetzesbegriff. Für ein ontologisches Wahrscheinlichkeitskonzept ist es so zunächst entscheidend, dass die Naturgesetze in der Beste-Systeme-Analyse ebenfalls ontologisch verstanden werden. Dies bedeutet aber insbesondere, dass es objektiv bestimmt sein muss, was es für ein System genau heißt, dass es am einfachsten, stärksten oder passgenausten ist, und wie sich darüber hinaus diese drei Kriterien ausbalancieren lassen. Denn wenn sich auch nur eines der drei Konzepte nicht objektiv charakterisieren lässt oder aber die drei Kriterien nicht objektiv gegeneinander abgewogen werden können, so kann auch das gesamte System und mit ihm Naturgesetze und Wahrscheinlichkeiten nicht objektiv charakterisiert sein. Schließlich bleibt es auch dann noch möglich, dass es verschiedene solcher Systeme von Naturgesetzen und damit verschiedene objektive Wahrscheinlichkeiten gibt, wenn sich Einfachheit, Erklärstärke und Passgenauigkeit objektiv charakterisieren und gegeneinander abwägen lassen.⁴⁶ Lewis (1994, 479) eigene Antwort auf diese Problematik ist, dass sich all diese Fragen erst gar nicht stellen, sofern die Natur so beschaffen ist, dass sie unabhängig von den genauen Standards für die drei Kriterien und ihre Balance überhaupt nur ein bestes System zulässt.⁴⁷ Allgemein steht und fällt Lewis' Wahrscheinlichkeitsinterpretation also mit der Beste-Systeme-Analyse von Naturgesetzen.

die makroskopischen Wahrscheinlichkeiten nicht als indeterministische Wahrscheinlichkeiten interpretieren zu müssen, deutet er dabei das beste System in ein für uns Akteure bestes System um (siehe auch Cohen & Callender (2009, 26-30) und Frigg & Hoefer (2015)). Albert (2000) und Loewer (2001) erweitern hingegen den Beste-Systeme-Gesetzesbegriff, um Aussagen über ausgezeichnete Raumzeitregionen zu ermöglichen, sofern das beste System durch solche Aussagen deutlich an Einfachheit gewinnt. Konkret fügen sie etwa eine Annahme (die sog. *Past Hypothesis*) über die Entropie des makroskopischen Anfangszustands des Universums sowie eine Annahme über eine gleichmäßige Verteilung über entsprechende Mikrozustände zu den universellen Gesetzesaussagen hinzu, um die makroskopischen Wahrscheinlichkeiten aus diesen Annahmen zusammen mit den deterministischen Dynamiken erklären zu können.

⁴⁶ Für eine ausführlichere Diskussion der Probleme, die sich durch das Ausbalancieren der drei Kriterien ergeben, siehe z. B. Schwarz (2016, 426-429).

⁴⁷ "If nature is kind, the best system will be robustly best—so far ahead of its rivals that it will come out first under any standards of simplicity and strength and balance." (Lewis 1994, 479)

Singuläre Wahrscheinlichkeit

Die Frage nach der Möglichkeit von singulären Wahrscheinlichkeiten lässt sich nun ebenso nur vor dem Hintergrund des zugrundeliegenden Naturgesetzbegriffs beantworten. Zwar lassen sich probabilistische Gesetze prinzipiell so verstehen, dass sie den konkreten einzelnen Ereignissen Wahrscheinlichkeiten zuschreiben. Allerdings sind nach Lewis Naturgesetze selbst nichts weiter als die Theoreme des besten deduktiven Systems. Da das beste System aber wesentlich durch die Regularitäten des gesamten Humeschen Mosaiks bestimmt ist, bedeutet dies, dass auch die Wahrscheinlichkeiten erst durch diese Regularitäten bestimmt sind. Angenommen Münzen wären bspw. wieder Teil des Humeschen Mosaiks, dann könnte ein regelmäßiges Auftreten von 'Kopf' und 'Zahl' zu entsprechenden probabilistischen Gesetzen führen. Erst durch diese Gesetze käme dann den einzelnen Münzwürfen eine Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für 'Kopf' bzw. 'Zahl' zu.

Zwar sind nun Naturgesetze in der Beste-Systeme-Analyse nicht ausschließlich durch Häufigkeiten bestimmt, dennoch kommt ihnen die zentrale Bedeutung für Naturgesetze zu. So räumt Lewis (1994, 475-477) aufgrund der Humeschen Perspektive Häufigkeiten explizit eine Vorrangstellung gegenüber Symmetrien ein. Dies bedeutet nun allerdings wiederum, dass es keine ontologisch verstandenen Wahrscheinlichkeiten für einmalige Ereignisse geben kann. Beispielsweise würde das beste System für ein Universum, in dem nur eine einzelne faire Münze ein einziges Mal geworfen wird, kein probabilistisches Gesetz für den Münzwurf umfassen, sodass das Ereignis 'Kopf' nicht mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit aufgetreten sein kann. Die Wahrscheinlichkeiten einzelner Ereignisse sind also ausschließlich durch ihre Einbettung in ein bestes System, das von den Regularitäten des gesamten Humeschen Mosaik abhängt, bestimmt und damit in gleicher Weise von dieser Gesamtheit abhängig.

Wahrscheinlichkeit & Häufigkeit

Der indirekte Bezug der Wahrscheinlichkeiten auf Häufigkeiten wirkt sich schließlich auch auf das dritte Kriterium für Wahrscheinlichkeitsinterpretationen und die Frage, wie gut Beste-Systeme-Wahrscheinlichkeiten tatsächliche relative Häufigkeiten erklären, aus. Insbesondere stellt sich die Frage, inwiefern Naturgesetze, die entscheidend über Regularitäten und damit auch Häufigkeiten charakterisiert sind, diese Häufigkeiten wiederum erklären können. Denn wie bereits erwähnt lässt Lewis keinen Zweifel daran aufkommen, dass das zentrale Element für die Charakterisierung von Naturgesetzen als Sätze bester Systeme Regularitäten sind. Insofern Wahrscheinlichkeiten nun über probabilistische Gesetze interpretiert werden, spielen damit bei der Erklärung von Häufigkeiten durch die Wahrscheinlichkeiten der Beste-Systeme-

Analyse, die Häufigkeiten selbst wiederum eine entscheidende Rolle. Zwar werden die Häufigkeiten anders als im Frequentismus nicht ausschließlich und unmittelbar durch sich selbst erklärt, sondern erst über den Umweg über Naturgesetze, die als beste Systeme neben Regularitäten und Häufigkeiten weitere Strukturmerkmale mit berücksichtigen. Allerdings ändert dies nichts daran, dass die Häufigkeiten im Kern die probabilistischen Gesetze bestimmen und sodann die probabilistischen Gesetze die Wahrscheinlichkeiten liefern, sodass auch hier den Häufigkeiten selbst eine entscheidende Rolle bei ihrer Erklärung zukommt.

Sofern Münzwürfe einen Teil des Humeschen Mosaiks darstellen, sind so bspw. die Wahrscheinlichkeiten im Münzwurf durch die probabilistischen Gesetze eines besten Systems bestimmt. Die für den Münzwurf relevanten probabilistischen Gesetze eines besten Systems wiederum sind in erster Linie durch die relativen Häufigkeiten des wiederholten Münzwurfs charakterisiert, wenn auch etwaige Symmetrieüberlegungen geringfügige Anpassungen implizieren können. Werden die relativen Häufigkeiten des wiederholten Münzwurfs nun aber durch die Wahrscheinlichkeiten, die die Beste-Systeme-Gesetze liefern, erklärt, werden sie entscheidend durch sich selbst mit erklärt.

3.2.5 Spielraumtheorie

Als letztes möchte ich nun noch eine Wahrscheinlichkeitsinterpretation diskutieren, deren Wurzeln zwar einerseits bis ins 19. Jahrhundert zu den Arbeiten von Johannes von Kries (1886) und Henri Poincaré (1896) zurückreichen, die aber andererseits vor allem in letzter Zeit neuerliche Beachtung gefunden hat. Die Entstehung dieser Interpretation ist zeitlich folglich zwischen den Hochphasen der klassischen Theorie und des Frequentismus anzusiedeln. Während von Kries entsprechend seine sogenannte Spielraumtheorie ausgehend von der klassischen Theorie entwickelt, stellt Poincarés sogenannte Methode der willkürlichen Funktionen (*méthode des fonctions arbitraire*) in erster Linie eine allgemeine Methode zur Berechnung von Ergebniswahrscheinlichkeiten aus Anfangswahrscheinlichkeiten dar. In den folgenden Ausführungen werde ich mich dabei zunächst an von Kries' Überlegungen orientieren und diese dann in der späteren Diskussion den zeitgenössischen Weiterentwicklungen beider Ansätze gegenüberstellen.⁴⁸

⁴⁸ Für eine Diskussion der Bedeutung von von Kries' Spielraumtheorie als eine der ersten nicht-klassischen Theorien sowie der Gründe ihrer Ablösung durch von Mises' Frequentismus siehe Kamlah (1983) und Zabell (2016a). Für die historische Entwicklung dieser Interpretation ausgehend von den Arbeiten von Kries' und Poincarés siehe von Plato (1983, Kap. 5 und 1994). Wichtige zeitgenössische Vertreter finden sich insbesondere in Rosenthal (2010, 2012 und 2016) und Strevens (1998, 2003, Kap. 2, 2011 und 2013).

Ausgehend von den Problemen der gleichen Möglichkeit in der klassischen Theorie versucht von Kries zu einer objektiven physischen Bestimmung gleicher Möglichkeiten und damit zu objektiven Wahrscheinlichkeiten zu gelangen. Die gleiche Möglichkeit von Ereignissen ist demnach nicht wie in der klassischen Theorie die Folge einer rein negativen Indifferenz aufgrund mangelnder Informationen, sondern resultiert vielmehr aus den zugrundeliegenden physikalischen Umständen und einer damit verbundenen positiven Indifferenz. Die Wahrscheinlichkeiten im Münzwurf bestimmen sich bspw. nicht daraus, dass wir über 'Kopf' und 'Zahl' in gleicher Weise unschlüssig sind, sondern aus unserer Kenntnis über die zugrundeliegenden Dynamiken und Anfangsvariablen von Münzwürfen. Der Versuch, Wahrscheinlichkeit auf eine auf physischer gleicher Möglichkeit basierenden Indifferenz zurückzuführen, stellt dabei – wenngleich von Kries Wahrscheinlichkeiten wohl weiterhin in erster Linie epistemologisch versteht – einen ersten Schritt zu einem physischen Verständnis deterministischer Wahrscheinlichkeiten dar.⁴⁹ Da der Fokus dieser Arbeit auf einem ontologischen Wahrscheinlichkeitsverständnis liegt und insbesondere auch neuere spielraumtheoretische Ansätze eine entsprechende Interpretation verfolgen, werde ich auch in der weiteren Diskussion die der Indifferenz zugrundeliegenden physischen Elemente in den Vordergrund stellen.

Von Kries (1886, 24-26/30-34) zentrale Idee ist nun, dass die Anfangsvariablen der einem Zufallsexperiment zugrundeliegenden Dynamiken je einen (Gesamt-)Spielraum bilden, der sich in weitere (Teil-)Spielräume zergliedern lässt. Die Teilspielräume stellen kleine gleich große Intervalle der Anfangsvariablen dar, die sich wie der Gesamtspielraum dadurch auszeichnen, dass die in ihnen enthaltenen Anfangsvariablenwerte zu den verschiedenen Ergebnissen des Zufallsexperiments führen. Die Teilspielräume können dabei beliebig gewählt werden, sofern sie nicht zu klein sind. Zur Veranschaulichung möchte ich zunächst von Kries' (1886, 49-54) eigenes paradigmatisches Beispiel des Stoßspiels heranziehen und erst später eine Übertragung der angestellten Überlegungen auf das Beispiel des Münzwurfs vornehmen. Im Stoßspiel wird einer Kugel ein Stoß versetzt, sodass sie entlang einer Rinne, die abwechselnd in gleich große schwarze und weiße Abschnitte eingeteilt ist, rollt. Dabei werden die äußeren Umweltbedingungen konstant gehalten, sodass der Ort, an dem die Kugel zum Ruhen kommt, ausschließlich von der anfänglichen Stoßkraft (bzw. der Anfangsgeschwindigkeit) abhängt. Von Interesse ist nun die Wahrscheinlichkeit, dass die Kugel in einem schwarzen Abschnitt (kurz 'Schwarz') bzw. in einem weißen Abschnitt (kurz 'Weiß') zum Ruhen kommt. Den (Gesamt-)Spielraum in diesem Beispiel bilden die Werte, die die anfängliche Stoßkraft als

⁴⁹ Heidelberger (2001) sieht dementsprechend die rein epistemologische Lesart dieses Indifferenzprinzips in der Nachfolge von Kries' als eine verpasste Chance für eine frühe ontologische Alternative zum Frequentismus.

einzigste Anfangsvariable annehmen kann. Dieser Spielraum lässt sich nun in weitere Teilspielräume untergliedern, bspw. in Form der Intervalle derjenigen Stoßkraftwerte, die dazu führen, dass die Kugel in benachbarten schwarzen und weißen Abschnitten zum Liegen kommt.⁵⁰ Ein anfänglicher Stoßkraftwert aus dem ersten Stoßkraftintervall führt damit dazu, dass die Kugel im ersten schwarzen oder im ersten weißen Abschnitt zum Ruhen kommt, eine aus dem zweiten dazu, dass sie im zweiten schwarzen oder im zweiten weißen Abschnitt zum Ruhen kommt, usw.

Voraussetzung für die Zuschreibung objektiver Wahrscheinlichkeitswerte ist nun, dass das Verhältnis der Anfangsvariablenbereiche, die zu den verschiedenen Ereignissen führen, in den einzelnen Teilspielräumen konstant ist.⁵¹ Sind die Verhältnisse in den einzelnen Teilspielräumen hingegen verschieden, lässt sich das Ergebnis wiederholter Experimente systematisch beeinflussen, sodass eine Zuschreibung objektiver Wahrscheinlichkeiten unmöglich ist. Im Beispiel des Stoßspiels bedeutet dies, dass für jeden Teilspielraum, das Verhältnis des Bereichs der Stoßkräfte, die zu 'Schwarz' führen, zum gesamten Intervall des Teilspielraums für alle Teilspielräume gleich ist. Dies ist aufgrund der konstanten Abwechslung von gleich großen schwarzen und weißen Abschnitten gegeben.⁵² Die Wahrscheinlichkeiten entsprechen nun genau dem konstanten Verhältnis der günstigen Anfangsvariablenbereiche zu den gesamten Anfangsvariablenintervallen der Teilspielräume. Für das Stoßspiel würden sich so etwa eine Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für 'Schwarz' bzw. 'Weiß' ergeben, da in jedem Teilspielraum das Verhältnis des Bereichs der Stoßkräfte, die zu 'Schwarz' führen, zum gesamten Stoßkraftintervall gleich $\frac{1}{2}$ ist. Die Wahrscheinlichkeiten in einem Zufallsexperiment bestimmen sich also aus den konstanten Verhältnissen in kleinen Intervallen der Anfangsvariablen der dem Zufallsexperiment zugrundeliegenden Dynamiken.⁵³

⁵⁰ Im Prinzip kann aber jedes beliebige Stoßkraftintervall als Teilspielraum gewählt werden, sofern es mindestens einen 'Schwarz'-ergebenden und einen 'Weiß'-ergebenden Bereich umfasst.

⁵¹ Strevens (2011, 345-346) spricht hierbei – allerdings auf den Arbeiten Poincarés aufbauend – von der Mikrokonstanz (microconstancy) der Evolutionsfunktion.

⁵² Die konstante Abwechslung von schwarzen und weißen Abschnitten ist dabei nach von Kries (1886, 61-65) der Grund für unsere Indifferenz.

⁵³ Damit diese Verhältnisse auch wirklich eindeutige und objektive Wahrscheinlichkeiten liefern können, dürfen sie nicht von weiteren vorgelagerten Prozessen abhängen, die von den Verhältnissen in den ursprünglich betrachteten Teilspielräumen abweichende Verhältnisse implizieren könnten. Entsprechend fordert von Kries (1886, 34-35/43-47) zur Bestimmung objektiver Wahrscheinlichkeiten, dass die Teilspielräume „ursprünglich“ sind, d.h. dass sie durch Berücksichtigung vorgelagerter Prozesse nicht weiter zerlegbar sind und sich folglich auch keine anderen Verhältnisse ergeben können. Im Stoßspiel sind bspw. die betrachteten Teilspielräume nach von Kries (1886, 70-72) ursprünglich, da die Verhältnisse der Stoßkraftwerte, die zu 'Schwarz' führen, zu denen, die zu 'Weiß' führen, ausschließlich aus der konstanten Abfolge von schwarzen und weißen Abschnitten folgen und die Verhältnisse in den Teilspielräumen folglich unabhängig von der Berücksichtigung weiterer vorgelagerter Prozesse sind. In gewissem Sinne findet sich diese Idee der Ursprünglichkeit in der kausalen Markov-Bedingung wieder, vgl. Abschn. 5.3.1.

Damit die über konstante Verhältnisse in Teilspielräumen bestimmten Wahrscheinlichkeiten sich nun aber auch in den in wiederholten Zufallsexperimenten beobachtbaren Häufigkeiten wiederfinden, bedarf es darüber hinaus einer Annahme über die Gutartigkeit der Verteilung der Anfangsvariablenwerte in wiederholten Zufallsexperimenten.⁵⁴ Die Verteilung der Anfangsvariablenwerte, die ich im Weiteren als Anfangsverteilung bezeichnen werde, muss folglich gewisse Glattheits- und Aperiodizitätsbedingungen erfüllen, damit nicht einzelne Ergebnisse systematisch bevorzugt werden. Im beschriebenen Stoßspiel muss also nach von Kries (1886, 53-54) insbesondere sichergestellt sein, dass die anfänglichen Stoßkräfte in wiederholten Zufallsexperimenten nicht derart verteilt sind, dass sie 'Schwarz' bzw. 'Weiß' in allen Teilspielräumen systematisch bevorzugen. Denn eine periodische Anfangsverteilung, die bspw. doppelt so viele Stoßkraftwerte, die zu 'Schwarz' führen, annimmt, würde trotz des gleichen Verhältnisses in den Teilspielräumen von Stoßkräften, die zu 'Schwarz' bzw. 'Weiß' führen, in wiederholten Zufallsexperimenten doppelt so oft zu 'Schwarz' führen wie zu 'Weiß'. Auch darf bspw. nicht immer wieder derselbe Stoßkraftwert angenommen werden, da dies ebenfalls zu von den konstanten Verhältnissen abweichenden Häufigkeiten führen würde. Abgesehen von solchen im Folgenden auch als exzentrisch bezeichneten Verteilungen führen aber beliebige Anfangsverteilungen zu denselben Häufigkeiten, die die konstanten Verhältnisse der Teilspielräume widerspiegeln. Die weitestgehende Unabhängigkeit von konkreten Verteilungen ist dabei die Folge der konstanten Verhältnisse von zu bestimmten Ergebnissen führenden Anfangsvariablenwerten in kleinen Intervallen. Damit werden im Falle gutartiger Verteilungen stabile relative Häufigkeiten, die den konstanten Verhältnissen der Teilspielräume entsprechen, garantiert. Die Einschränkung auf solche gutartigen Verteilungen und damit allgemein der Bezug auf Anfangsverteilungen stellt nun aber ein zentrales Problem für diesen Ansatz als mögliche Wahrscheinlichkeitsinterpretation dar.

Bevor ich allerdings dieses Problem vor dem Hintergrund der angegebenen Kriterien für Wahrscheinlichkeitsinterpretationen noch ausführlich diskutieren werde, sei noch kurz angemerkt, dass sich die Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit von einer Anfangsvariable nun auch systematisch auf Zufallsexperimente, die von mehreren Anfangsvariablen abhängen und sich folglich durch mehrere (Gesamt-)Spielräume beschreiben lassen, ausweiten lässt (vgl. von Kries 1886, 54-57). Einen solchen multivariaten Fall stellt auch das Beispiel des senkrecht nach oben gerichteten Münzwurfs dar, das von einer anfänglichen (vertikalen) Wurfgeschwindigkeit und einer anfänglichen Drehgeschwindigkeit (bzw. Winkelgeschwindigkeit)

⁵⁴ Strevens (2011, 346-348) bezeichnet diese Eigenschaft der Anfangsverteilung als Makroperiodizität (*macro-periodicity*), während Rosenthal (2012, 232) von der Nicht-Exzentrizität (*non-eccentricity*) der Verteilungen spricht.

als Anfangsvariablen abhängt.⁵⁵ Die Rolle der im Stoßspiel abwechselnd von der Kugel überschrittenen schwarzen und weißen Abschnitte spielt dabei die Tatsache, dass im Flug der Münze abwechselnd Kopf und Zahl nach oben zeigen.

Deterministische Wahrscheinlichkeit

Da die Spielraumtheorie es also schafft probabilistische Muster mit zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken zu vereinbaren, scheint sie zumindest auf den ersten Blick als Interpretation deterministischer Wahrscheinlichkeiten vielversprechend. Insbesondere liefert die Spielraumtheorie gleichermaßen eine Antwort darauf, wieso sich die Ergebnisse von deterministischen Dynamiken in Zufallsexperimenten nicht vorhersagen lassen, sich aber gleichzeitig stabile probabilistische Muster ergeben, die sich vorhersagen lassen. Einerseits resultiert ersteres aus der Tatsache, dass kleine Veränderungen der Anfangsvariablen zu abweichenden Ergebnissen führen, da bereits in den Teilspielräumen verschiedene Anfangsvariablenwerte zu verschiedenen Ergebnissen führen. Andererseits erklärt das konstante Verhältnis der zu verschiedenen Ergebnissen führenden Anfangswerte in den Teilspielräumen die Unabhängigkeit von der genauen Anfangsverteilung und damit die stabilen Häufigkeiten. Während also bspw. im Münzwurf eine kleine Änderung der anfänglichen Wurf- oder Drehgeschwindigkeit bereits zu einer Änderung von 'Kopf' zu 'Zahl' führen kann, liefert das konstante Verhältnis der 'Kopf'- bzw. 'Zahl'-ergebenden Anfangsvariablenwerte in kleinen Intervallen von Wurf- und Drehgeschwindigkeiten bei gutartigen Verteilungen dieser beiden Variablen stabile relative Häufigkeiten, die den konstanten Verhältnissen entsprechen.

Allerdings wirft nun der Bezug auf die Verteilungen von Anfangsvariablenwerten die Frage auf, ob dadurch nicht bloß die ursprünglich betrachteten Wahrscheinlichkeiten der Zufallsexperimente auf basalere Wahrscheinlichkeiten zurückgeführt werden, eine allumfassende Interpretation der Wahrscheinlichkeit damit aber offen bleibt.⁵⁶ Zur Unterscheidung dieser beiden Arten von Wahrscheinlichkeiten werde ich im Folgenden wie üblich von Anfangs- und Ergebniswahrscheinlichkeiten sprechen. So werden bspw. im Münzwurf die Ergebniswahrscheinlichkeiten von 'Kopf' und 'Zahl' auf eine Verteilung der anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten zurückgeführt. Damit bedarf es aber für eine vollständige Interpretation

⁵⁵ Für eine ausführliche mathematische Behandlung des Münzwurfes sowie des im Wesentlichen dem Stoßspiel entsprechenden Glücksrads und weiterer Zufallsexperimente im Sinne der Spielraumtheorie siehe Keller (1986).

⁵⁶ Rosenthal (2012, 230) fasst diese Tatsache unter dem Diktum „probabilities in—probabilities out“ zusammen. Strevens (2011, 349) schreibt hierzu: „[T]he problem of finding a deterministic basis for probabilities was not solved but merely pushed one step along the causal chain.“ Roberts (2016) spricht bei dem Problem eines möglicherweise zirkulären Bezugs auf Anfangsverteilungen vom Input-Problem und diskutiert verschiedene Lösungsansätze.

der Wahrscheinlichkeiten von 'Kopf' und 'Zahl' auch einer Interpretation der den Anfangsverteilungen der Wurf- und Drehgeschwindigkeiten zugrundeliegenden Anfangswahrscheinlichkeiten. Insbesondere wird damit auch die Frage, weshalb deterministische Dynamiken mit objektiven Wahrscheinlichkeiten letztlich vereinbar sind, auf diese Anfangsverteilungen bzw. ihre zugrundeliegenden Anfangswahrscheinlichkeiten verlagert. Bei von Kries selbst würde diese Frage eine epistemologische Antwort in Form einer epistemologischen Interpretation dieser Anfangswahrscheinlichkeiten bzw. einer epistemischen Indifferenz bzgl. der Anfangsverteilungen finden.⁵⁷ Damit würde allerdings die Vereinbarkeit der zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken mit objektiven Wahrscheinlichkeiten letztlich – wie schon in der klassischen Theorie – nur epistemologisch erreicht.⁵⁸

Jenseits eines solchen epistemologischen Verständnisses von Anfangswahrscheinlichkeiten, erben die durch den Mechanismus der Spielraumtheorie interpretierten Ergebnismwahrscheinlichkeiten auch bei jeder sonstigen Interpretation der Anfangswahrscheinlichkeiten die Probleme der jeweiligen Interpretation. Auch wenn diese Probleme nun nicht mehr den ursprünglich betrachteten Ergebnismwahrscheinlichkeiten unmittelbar zukommen, sondern den den Anfangsverteilungen zugrundeliegenden Anfangswahrscheinlichkeiten, übertragen sie sich über den Mechanismus der Spielraumtheorie doch wieder auf die ursprünglich betrachteten Ergebnismwahrscheinlichkeiten. Im Münzwurf würden entsprechend lediglich die Ergebnismwahrscheinlichkeiten von 'Kopf' und 'Zahl' durch die Spielraumtheorie interpretiert, die Verteilungen und damit die Wahrscheinlichkeiten der anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten hingegen würde auf andere Weise interpretiert. Damit erben aber auch die Wahrscheinlichkeiten von 'Kopf' und 'Zahl' die Probleme einer solchen Interpretation der Anfangswahrscheinlichkeiten. Grundsätzlich bieten sich für die Interpretation dieser Anfangswahrscheinlichkeiten neben einer epistemologischen Interpretation auch alle anderen bereits diskutierten Wahrscheinlichkeitsinterpretationen an, wobei in der zeitgenössischen Literatur vor allem frequentistische Interpretationen überwiegen.⁵⁹

⁵⁷ vgl. Rosenthal (2016, 160-161)

⁵⁸ In der neueren Literatur finden sich darüber hinaus explizit subjektive Interpretationen solcher Spielraumwahrscheinlichkeiten, siehe z. B. Savage (1973), Myrvold (2012) und Gallow (2021). Solche Interpretationen verstehen die Anfangsverteilungen als subjektive Glaubensfunktionen, die bereits die nötigen Gutartigkeitsforderungen erfüllen und auf die folglich die Maschinerie der Spielraumtheorie angewendet werden kann.

⁵⁹ Beispielsweise verfolgen Abrams (2012) und Strevens (1998, 2003, 2011) eine solche frequentistische Interpretation, in der die Anfangsverteilungen als kontrafaktisch robuste relative Häufigkeiten interpretiert werden. Insofern hier die Spielraumtheorie bzw. die Methode der willkürlichen Funktionen nur eine Methode liefert, wie (Ergebnis-)Wahrscheinlichkeiten aus basaleren (Anfangs-)Wahrscheinlichkeiten hervorgehen, erstere dadurch aber nicht interpretiert werden, spricht Strevens (2003, 29-32/35) auch davon, dass die Methode der willkürlichen Funktionen nur von der „Physik“ der Wahrscheinlichkeit, nicht aber von ihrer „Metaphysik“ handelt. Ähnlich

Eine mögliche Alternative zu einer solchen zusätzlichen Interpretation von Anfangswahrscheinlichkeiten besteht in dem Versuch, die Spielraumtheorie ganz ohne Bezug auf Anfangsverteilungen zu formulieren und sie entsprechend zu einer eigenständigen Interpretation auszudeuten. So versucht etwa Jacob Rosenthal (2010, 2012 und 2016) einen Bezug auf Anfangsverteilungen zu vermeiden, indem er die Wahrscheinlichkeiten einfach mit den konstanten Verhältnissen in den Teilspielräumen identifiziert.⁶⁰ Demnach wäre etwa die Wahrscheinlichkeit von 'Kopf' und 'Zahl' im fairen Münzwurf auf die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen bzw. in kleinen Intervallen des Raums der anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten zurückgeführt, unabhängig von möglichen Verteilungen dieser Variablen. Der Verzicht auf einen Bezug auf Anfangsverteilungen bei der Interpretation von Wahrscheinlichkeiten wird dabei durch die Einsicht ermöglicht, dass die meisten Anfangsverteilungen sowieso den konstanten Verhältnissen entsprechende Wahrscheinlichkeiten liefern und es darüber hinaus fraglich ist, inwiefern exzentrische Anfangsverteilungen überhaupt ontologisch relevante Wahrscheinlichkeiten liefern. Diesen Ansatz werde ich in Unterkapitel 3.3 noch etwas ausführlicher diskutieren und zum Ausgangspunkt eigener Überlegungen machen. Zunächst möchte ich aber die Spielraumtheorie auch noch vor dem Hintergrund der anderen beiden Kriterien für Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit diskutieren.

Singuläre Wahrscheinlichkeit

Das zweite Kriterium in Form der Ermöglichung singulärer Wahrscheinlichkeiten birgt dabei aufgrund des Bezugs auf Intervalle von Anfangsvariablenwerten unabhängig vom gewählten Umgang mit den Anfangsverteilungen ein Problem für die Spielraumtheorie. Zwar leiten sich bei von Kries die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen zunächst aus den bereits in einzelnen Zufallsexperimenten vorliegenden Informationen ab. Beispielsweise liegen im Stoßspiel die sich gleichmäßig abwechselnden schwarzen und weißen Bereiche bereits im einzelnen Zufallsexperiment vor, genauso wie sich bereits im einzelnen Münzwurf 'Kopf' und 'Zahl' darin abwechseln, welche Seite der Münze im Flug gerade nach oben zeigt. Allerdings scheint es bereits in einem solchen epistemologischen Ansatz ein Problem für echte singuläre Wahrscheinlichkeiten zu sein, dass wir zudem indifferent bzgl. bestimmter gutartiger Anfangsverteilungen sein müssen. Schließlich macht das Fehlen solcher Verteilungen in einmalig durchgeführten

argumentiert Canson (2020, 7-11), dass eine solche Methode der willkürlichen Funktionen keine Interpretation liefert, sondern lediglich eine Methode Ergebniswahrscheinlichkeiten aus Anfangswahrscheinlichkeiten zu erhalten.

⁶⁰ „It is the [initial state] space itself and its structure that determines the outcome probabilities.“ (Rosenthal 2012, 230)

Zufallsexperimenten echte singuläre Wahrscheinlichkeiten unmöglich. Dieses Problem stellt sich nun aber unabhängig von der gewählten Interpretation der Anfangswahrscheinlichkeiten. Da es bspw. keine Verteilungen von anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten für den einzelnen Münzwurf gibt, kann es ohne einen Bezug auf entsprechende Referenzklassen auch keine Wahrscheinlichkeiten für 'Kopf' und 'Zahl' im einzelnen Münzwurf geben, wenn diese u.a. auf die Anfangsverteilungen zurückgeführt werden.

Andererseits bedeutet auch die von Rosenthal vorgeschlagene Alternative einer Gleichsetzung von Wahrscheinlichkeiten mit konstanten Verhältnissen in Teilspielräumen und der damit verbundene Verzicht auf einen expliziten Bezug auf Anfangsverteilungen nicht, dass damit Wahrscheinlichkeiten im Einzelfall unmittelbar möglich wären. Da auch bei einem solchen Ansatz explizit Bezug auf das konstante Verhältnis der zu verschiedenen Ergebnissen führenden Anfangsvariablenbereiche genommen wird, stellt sich auch hier die Frage, wie Wahrscheinlichkeiten einzelnen Zufallsexperimenten zukommen können. Denn in einem konkreten Einzelfall kann eine Anfangsvariable nur einen einzigen Wert annehmen und entsprechend kein konstantes Verhältnis von Anfangswertbereichen, die zu verschiedenen Ergebnissen führen, vorliegen. Damit hängen aber die Wahrscheinlichkeiten im Einzelfall trotz eines fehlenden Bezugs auf Anfangsverteilungen ebenfalls von entsprechenden Referenzklassen von Zufallsexperimenten ab. Im nächsten Unterkapitel werde ich dabei genau an dieser Stelle ansetzen und versuchen, den Ursprung der konstanten Verhältnisse wiederholter Zufallsexperimente bereits in den einzelnen Zufallsexperimenten zu suchen. Zunächst möchte ich aber noch sehen, ob und wie die Spielraumtheorie die Häufigkeiten in wiederholten Zufallsexperimenten erklären kann.

Wahrscheinlichkeit & Häufigkeit

Schließlich hängt auch eine mögliche Erklärung der relativen Häufigkeiten in wiederholten Zufallsexperimenten durch Wahrscheinlichkeiten davon ab, wie die Spielraumtheorie genau ausgestaltet ist. Warf einerseits die klassische Theorie die Frage auf, wie epistemologisch verstandene Wahrscheinlichkeiten relative Häufigkeiten in der Welt erklären sollen, war das Problem einer frequentistischen Interpretation, dass Häufigkeiten letztlich durch sich selbst erklärt werden. In beiden Fällen bedeutet der spielraumtheoretische Ansatz nun eine bloße Verlagerung der Probleme. Während das Problem einer epistemologischen Interpretation auch bei Anwendung auf die Spielraumtheorie dabei grundsätzlich bestehen bleibt, werden in dem frequentistischen Ansatz der Spielraumtheorie nun zumindest die relativen Häufigkeiten nicht mehr durch sich selbst erklärt. Beispielsweise werden die Wahrscheinlichkeiten von $\frac{1}{2}$ im

Münzwurf nicht durch die relativen Häufigkeiten des Münzwurfes selbst erklärt, sondern durch die Anfangsverteilungen und damit durch die tatsächlichen oder hypothetischen relativen Häufigkeiten der verschiedenen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten. Damit hat eine solche frequentistisch verstandene Spielraumtheorie auch zunächst einen großen Vorteil gegenüber einem einfachen tatsächlichen oder hypothetischen Frequentismus. Allerdings lassen sich die Häufigkeiten der Anfangsvariablen selbst nun wiederum nicht durch die den Anfangsverteilungen zugrundeliegenden Anfangswahrscheinlichkeiten erklären, da diese durch die relativen Häufigkeiten der Anfangsvariablen selbst interpretiert werden. Folglich bleibt auch hier das Problem bestehen, dass gewisse relative Häufigkeiten letztlich durch sich selbst erklärt werden oder aber unerklärt bleiben müssen.

Für die Alternative zu einer Reinterpretation der Anfangsverteilungen in Form eines Verzichts auf einen expliziten Bezug auf Anfangsverteilungen stellt sich nun hingegen das Problem, dass sich die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen nicht zwangsläufig in den Ergebnishäufigkeiten widerspiegeln müssen. Denn nur wenn tatsächliche Anfangsverteilungen gewisse Glattheits- und Aperiodizitätsanforderungen erfüllen, decken sich die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen mit den relativen Häufigkeiten in den Zufallsexperimenten. Somit liegen bei einem Verzicht auf Anfangsverteilungen als Teil der Interpretation auch dann noch die den konstanten Verhältnissen der Teilspielräume entsprechenden Wahrscheinlichkeiten vor, wenn eine tatsächliche oder hypothetische exzentrische Anfangsverteilung zu anderen Häufigkeiten führt und entsprechend andere Wahrscheinlichkeiten nahelegt. Da in den Teilspielräumen bzw. in kleinen Intervallen des Raums der Anfangsvariablen sich die anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten, die zu 'Kopf' bzw. 'Zahl' führen, die Waage halten, ergibt sich gemäß diesem Ansatz eine Wahrscheinlichkeit für 'Kopf' und 'Zahl' von je $\frac{1}{2}$. Eine mögliche exzentrische Verteilung der anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten der Münze, die von diesen Wahrscheinlichkeiten abweichende Häufigkeiten zur Folge hat, führt demnach dazu, dass sich die Wahrscheinlichkeiten nicht in den Häufigkeiten widerspiegeln. Auf eine mögliche Lösung dieses Problems werde ich dabei bei der Frage nach der Feststellung von singulären Wahrscheinlichkeiten in Abschn. 3.3.2 b) noch explizit eingehen.

3.3 Vorschlag einer Symmetrieinterpretation der Wahrscheinlichkeit

Vor dem Hintergrund der zuletzt angestellten spielraumtheoretischen Überlegungen werde ich in diesem Unterkapitel nochmals explizit der bereits im Zusammenhang mit der klassischen Theorie angedeuteten Möglichkeit nachgehen, spezielle Wahrscheinlichkeiten auf physische Symmetrien zurückzuführen. Einerseits werde ich so versuchen den Stärken der Spielraumtheorie bei der Hervorhebung der deterministischen Dynamiken, die den Zufallsexperimenten zugrunde liegen, Rechnung zu tragen. Andererseits möchte ich durch den Bezug auf physische Symmetrien einen bereits in den einzelnen Zufallsexperimenten liegenden Grund für die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen wiederholter Zufallsexperimente liefern und so letztlich eine Erklärung ihrer relativen Häufigkeiten ermöglichen. Entsprechend werde ich zunächst ausgehend von den Problemen eines möglichen Verzichts auf einen expliziten Bezug auf Anfangsverteilungen in der Spielraumtheorie den Blick auf Symmetrien als eigentlichen Ursprung der konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen richten (3.3.1). Dabei werde ich versuchen zu zeigen, dass nur physisch ausgezeichnete Symmetrien, die die Konstitution von Zufallsgeräten sowie die in den Zufallsexperimenten tatsächlich physisch realisierten Symmetrietransformationen berücksichtigen, speziellen Wahrscheinlichkeiten zugrunde liegen können. Schließlich werde ich die dadurch implizierte Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit durch physisch ausgezeichnete Symmetrien hinsichtlich verschiedener Punkte diskutieren (3.3.2). Unter anderem werde ich dabei versuchen, die empirische Feststellbarkeit solcher ausgezeichneten Symmetrien und ihr Verhältnis zu relativen Häufigkeiten herauszuarbeiten.

3.3.1 Wahrscheinlichkeiten als konstitutive Symmetrien

a) Konstante Verhältnisse

Wie bereits angedeutet stellt für die Spielraumtheorie die Gleichsetzung von Wahrscheinlichkeiten mit konstanten Verhältnissen in Teilspielräumen eine mögliche Alternative zu einem expliziten Bezug auf Anfangsverteilungen und einer damit verbundenen weitestgehenden Verlagerung der Interpretationsfrage dar. Die Grundidee dieses insbesondere von Jacob Rosenthal (2010, 2012, 2016) verfolgten Ansatzes besteht darin, dass die Wahrscheinlichkeiten ausschließlich auf die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen bzw. in kleinen Intervallen des Raums der Anfangsvariablen zurückzuführen sind. Entsprechend stellt sich die Frage nach einer geeigneten Interpretation von Anfangswahrscheinlichkeiten erst gar nicht und die Spielraumtheorie könnte zu einer eigenständigen Wahrscheinlichkeitsinterpretation ausgebaut werden. Die (Ergebnis-)Wahrscheinlichkeiten eines Zufallsexperiments entsprechen demnach einfach den konstanten Verhältnissen in den Teilspielräumen. Beispielsweise wird so die

Wahrscheinlichkeit von 'Kopf' und 'Zahl' im fairen Münzwurf auf die konstanten Verhältnisse der 'Zahl'- und 'Kopf'-ergebenden Wurf- und Drehgeschwindigkeiten in kleinen Intervallen des Raums der anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten zurückgeführt, unabhängig von möglichen tatsächlichen oder hypothetischen Verteilungen dieser Variablen. Da in kleinen Intervallen des Raums der Anfangsvariablen, sich die Anfangsvariablenwerte, die zu 'Kopf' bzw. 'Zahl' führen, die Waage halten, ergibt sich gemäß den Überlegungen der Spielraumtheorie eine Ergebniswahrscheinlichkeit für 'Kopf' und 'Zahl' von je $\frac{1}{2}$.

Allerdings hatte ich ebenfalls bereits gezeigt, dass entsprechend interpretierte Wahrscheinlichkeiten nicht in den einzelnen Zufallsexperimenten vorliegen können, da eine schlichte Gleichsetzung der Wahrscheinlichkeiten mit den konstanten Verhältnissen in den Teilspielräumen wiederholter Zufallsexperimente keine Antwort auf einen möglichen Ursprung dieser konstanten Verhältnisse in den einzelnen Zufallsexperimenten liefert. Doch gerade in den konstanten Verhältnissen liegt gemäß der Spielraumtheorie der Grund für das probabilistische Verhalten von Zufallsexperimenten. Die Frage nach der Möglichkeit singulärer Wahrscheinlichkeiten führt uns damit zu der grundlegenden Frage, wieso gerade die Dynamiken in Zufallsexperimenten annähernd konstante Verhältnisse von Anfangsvariablenwerten, die zu verschiedenen Ergebnissen führen, in kleinen Intervallen aufweisen, während dies bei nicht-probabilistischen Phänomenen nicht der Fall zu sein scheint. So stellt sich bspw. die Frage, wieso die anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten im Münzwurf im Unterschied zu den meisten anderen Prozessen solche konstanten Verhältnisse in kleinen Intervallen aufweisen. Die Antwort auf diese Frage muss nun aber in den Faktoren, die die zugrundeliegenden Dynamiken der einzelnen Zufallsexperimente bestimmen, liegen.

Damit müssen also die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen in irgendeiner Weise von den in den Zufallsexperimenten involvierten Zufallsgeräten und ihrer Beziehung zu ihrer Umgebung abhängen, um ein probabilistisches Verhalten in Zufallsexperimenten im Unterschied zu einem nicht-probabilistischen Verhalten sonstiger Phänomene zu erklären. Mit Zufallsgeräten werden dabei die Gegenstände der Zufallsexperimente bezeichnet, die für den probabilistischen Charakter des Zufallsexperiments verantwortlich sind, wie bspw. die Münze im Münzwurf.⁶¹ Während also die Münze als Zufallsgerät und die Beziehung, die sie im Münzwurf zu ihrer Umgebung entwickelt, ein Zufallsexperiment darstellen, ist dies bei einem beliebigen Gegenstand, unabhängig davon wie wir ihn werfen, in der Regel nicht der Fall. Selbst wenn wir dieselben Randbedingungen wie im Münzwurf schaffen, werden wir kein

⁶¹ Anders als in Glücksspielen, in denen sich Zufallsgeräte meist einfach als stabile Entitäten, die gewisse Symmetrien aufweisen, abgrenzen lassen, muss eine strikte Abgrenzung von Zufallsgeräten in komplexeren Zufallsexperimenten nicht zwangsläufig gegeben sein, vgl. 3.3.1 c).

stabiles probabilistisches Muster beim Wurf eines beliebigen Gegenstandes vermuten bzw. bei wiederholter Durchführung erhalten. Unter 'Randbedingungen' möchte ich dabei im Folgenden jene Bedingungen verstanden wissen, die keine für das Ergebnis der Zufallsexperimente relevanten Anfangsbedingungen im Sinne der Spielraumtheorie darstellen.

Folglich müssen die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen wiederholter Zufallsexperimente in irgendeiner Weise mit den physischen Eigenschaften der Zufallsgeräte und ihrer Beziehung zu ihrer Umgebung in den einzelnen Zufallsexperimenten zusammenhängen, die beliebige Phänomene nicht aufweisen. Entsprechend werde ich im Folgenden versuchen anders als die Spielraumtheorie, die den Blick vor allem auf die Rolle der konstanten Verhältnisse wiederholter Zufallsexperimente richtet, die Bedeutung der physischen Eigenschaften der Zufallsgeräte und ihrer Beziehung zu ihrer Umgebung im einzelnen Zufallsexperiment hervorzuheben. Beispielsweise werde ich versuchen die konstanten Verhältnisse 'Kopf'- und 'Zahl'-ergebender Wurf- und Drehgeschwindigkeiten im wiederholten Münzwurf auf physische Eigenschaften der Münze und ihrer Beziehung zu ihrer Umgebung in den einzelnen Münzwürfen zurückzuführen. Denn erst dadurch lassen sich die probabilistischen Muster wiederholter Zufallsexperimente abschließend erklären.

Am naheliegendsten für eine solche Erklärung des probabilistischen Verhaltens von Zufallsexperimenten wäre nun zunächst der Bezug auf eine Art physische gleiche Möglichkeit von Ereignissen, die sich aus den oberflächlichen makroskopischen bzw. speziellen Symmetrien der Zufallsgeräte ableiten lässt. Mit 'speziellen Symmetrien' werde ich dabei im Folgenden diejenigen Symmetrien von Zufallsgeräten bezeichnen, die allein ihre höhere Konstitutionsform, nicht aber ihren Aufbau berücksichtigen. So könnte man bspw. versuchen die Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ für 'Kopf' und 'Zahl' im Münzwurf auf ihre spiegelsymmetrische makroskopische Form zurückzuführen. Allerdings birgt ein solcher Bezug auf eine über spezielle Symmetrien bestimmte gleiche Möglichkeit von Ereignissen für die Bestimmung eindeutiger Wahrscheinlichkeiten ähnliche Probleme, wie ich sie für die klassische Theorie der Wahrscheinlichkeit bereits diskutiert habe.

Das Problem der gleichen Möglichkeit in der klassischen Theorie war, dass die gleiche Möglichkeit von Ereignissen vom Kenntnisstand der Erkenntnissubjekte abhängt. Selbst wenn wir gleich mögliche Ereignisse aufgrund eindeutiger objektiver Symmetrieüberlegungen bestimmen könnten, bekämen wir gemäß der klassischen Theorie keine erkenntnisunabhängigen Wahrscheinlichkeiten. So würden wir bspw. auch dem Wurf einer unfairen Münze aufgrund unserer auf oberflächlichen bzw. speziellen Symmetrien basierenden Indifferenz zwischen 'Kopf' und 'Zahl' eine falsche Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ zuschreiben. Andererseits könnten

wir gemäß dem Bertrandschen Paradoxon in Fällen wie der Kartonfabrik nicht zwischen verschiedenen vermeintlich gleichwertigen Symmetrieüberlegungen unterscheiden.

Das Problem des epistemologischen Verständnisses gleicher Möglichkeit in der klassischen Theorie ist folglich gerade, dass sie zur Bestimmung aller gleich möglichen Fälle eben nur spezielle Symmetrien heranzieht, da allein diese bestimmen, worüber wir gleichermaßen unschlüssig sind.⁶² Wird nun aber eine mögliche physische gleiche Möglichkeit von Ereignissen auf ebensolche spezielle Symmetrien zurückgeführt, kommt dies einer solchen epistemologischen Wahrscheinlichkeitszuschreibung aufgrund von epistemologischen Indifferenzüberlegungen gleich. Entsprechend müssen für eine echte physische gleiche Möglichkeit von Ereignissen und damit für Wahrscheinlichkeiten im Sinne eines ontologischen Wahrscheinlichkeitskonzepts die für Zufallsexperimente physisch relevanten Symmetrien herangezogen werden und damit implizit die Probleme falscher bzw. verschiedener vermeintlich gleichwertiger Wahrscheinlichkeitszuschreibungen vermieden werden.

b) Spezielle Symmetrien

Mein Ziel in den nächsten beiden Abschnitten ist es nun entsprechend der Vorüberlegungen des letzten Abschnitts, die relevanten physischen Symmetrien im einzelnen Zufallsexperiment, die die konstanten Verhältnisse der Spielraumtheorie und damit letztlich die probabilistischen Muster wiederholter Zufallsexperimente erklären können, zu identifizieren.⁶³ Aufgrund der Probleme eines epistemologischen Konzepts gleicher Möglichkeit in der klassischen Theorie können dabei nicht einfach spezielle Symmetrien, auf denen eine solche epistemische gleiche Möglichkeit wesentlich beruht, herangezogen werden. Stattdessen bedarf es ausgezeichneter physischer Symmetrien, auf denen sich ein physisches Konzept gleicher Möglichkeit errichten lässt. Grundsätzlich bezeichnen dabei Symmetrien die Invarianz einer relevanten Struktur unter bestimmten Transformationen und stellen folglich im Wesentlichen Eigenschaften von Transformationen dar. Die Transformationen, die eine relevante Struktur unverändert lassen, werden dabei auch als Symmetrietransformationen bezeichnet. Bei den ausgezeichneten physischen Symmetrien handelt es sich nun um solche Invarianten, denen in Zufallsexperimenten aufgrund der Dynamiken der Zufallsexperimente auch tatsächlich eine physische Relevanz zukommt. Dies gilt es nun im Folgenden zu präzisieren.

⁶² Für eine Diskussion epistemologischer Symmetrieargumente in der Interpretation von Wahrscheinlichkeit und ihren Problemen siehe Zabell (2016b).

⁶³ Strevens (1998, 238-240 und 2013) versucht auf ähnliche Weise über physische Symmetrien zu motivieren, wie wir auf konstante Verhältnisse und damit das Vorliegen objektiver Wahrscheinlichkeiten in wiederholten Zufallsexperimenten schließen; allerdings bleiben für ihn für das tatsächliche Vorliegen von Wahrscheinlichkeiten weiterhin gutartige Anfangsverteilungen nötig.

Dabei werde ich in diesem Abschnitt zunächst den Fokus wie gehabt auf Glücksspiele und damit genuin physikalische Zufallsexperimente richten und erst im nächsten Abschnitt der Frage nachgehen, wie sich diese Überlegungen auf bspw. chemische oder biologische Zufallsexperimente übertragen lassen. Um die Rolle der ausgezeichneten physischen Symmetrien für die Zufallsexperimente deutlicher herausstellen zu können, werde ich zudem den Blick in diesem Abschnitt zunächst ausschließlich auf die Symmetrien von Zufallsgeräten richten, bevor ich im nächsten Abschnitt ihre Einbettung in Zufallsexperimente mit berücksichtige. Insofern die Symmetrien von Zufallsgeräten für eine physische Relevanz dabei die Konstitution der Zufallsgeräte berücksichtigen werden müssen, werde ich auch von den konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte sprechen. Um die nun folgende Charakterisierung der konstitutiven Symmetrien von Zufallsgeräten zu motivieren, möchte ich zunächst die Erkenntnisse der Spielraumtheorie noch einmal kurz rekapitulieren.

Eine erste Erkenntnis der Spielraumtheorie bestand darin, dass bereits kleine Veränderungen der relevanten Anfangsvariablenwerte zu verschiedenen Ergebnissen führen. Beispielsweise führt ein etwas höhere Dreh- oder Wurfgeschwindigkeit im Münzwurf zu 'Kopf' statt 'Zahl'. Dies legt aber nahe, dass die physisch relevanten Symmetrien der Zufallsgeräte nicht nur spezielle Symmetrien von Zufallsgeräten als Ganzem sein können, sondern bereits auf irgendeine Weise die Konstitution der Zufallsgeräte widerspiegeln müssen. Für den Münzwurf würde dies etwa bedeuten, dass die Münze nicht nur dem äußeren Anschein nach eine Symmetrie zwischen 'Kopf' und 'Zahl' aufweist, sondern dass sich diese Symmetrie auf bestimmte Weise in der Verteilung der Masse widerspiegelt. Die Frage, wie genau sich die speziellen Symmetrien in der Konstitution der Zufallsgeräte widerspiegeln, führt zur zweiten wichtigen Erkenntnis der Spielraumtheorie.

Denn die Spielraumtheorie erkannte nicht nur, dass kleine Veränderungen der Anfangsvariablen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, sondern auch dass die Verhältnisse von Anfangsvariablenwerten, die zu verschiedenen Ergebnissen führen, in kleinen Intervallen der Anfangsvariablen annähernd konstant sind. Dies legt nun wiederum nahe, dass ausgezeichnete physische Symmetrien von Zufallsgeräten, die für Wahrscheinlichkeiten in Zufallsexperimenten eine Rolle spielen können, dergestalt sein müssen, dass sie diese konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen implizieren. Die konstanten Verhältnisse ergeben sich aber – wie ich im nächsten Abschnitt noch explizit zeigen werde – nur, wenn die Konstitution der Zufallsgeräte selbst eine gewisse Regularität aufweist.

Im Münzwurf könnte bspw. die Masse über die ganze Münze gleichmäßig verteilt sein, damit die Münze ein konstantes Verhältnis von 1 zu 1 von 'Kopf'- zu 'Zahl'-ergebenden

anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten aufweist. Allerdings ist eine gleichmäßige Verteilung nicht zwingend nötig, bspw. könnte die Masse auch gleichmäßig zum Rand hin zunehmen, wie z. B. bei einer Münze, bei der der Rand der Münze aus einem deutlich schwereren Material als das Innere der Münze besteht. Wenn nun hingegen fast die komplette Masse gleichmäßig im Rand verteilt ist, könnte eine solche Masseverteilung aber dazu führen, dass die Münze nun auch auf ihrem Rand landen kann. Da eine solche Verteilung aber ebenfalls die Rotationssymmetrie der Münze berücksichtigt, würden sich auch hier konstante Verhältnisse in den Teilspielräumen ergeben, die nun allerdings in einem Verhältnis von 'Kopf'- zu 'Zahl'- zu 'Rand'-ergebenden Anfangsvariablenwerten bestehen würden, wobei das Verhältnis von 'Kopf'- zu 'Zahl'-ergebenden Anfangswertbereichen weiterhin 1 zu 1 wäre. Ein weiteres Beispiel einer von einer gleichmäßigen Verteilung abweichenden Münze wäre eine Münze, deren Zahlseite doppelt so schwer ist wie ihre Kopfseite, auch eine solche Masseverteilung spiegelt die Rotationssymmetrie der Münze wider, führt nun aber zu einem konstanten Verhältnis in den Teilspielräumen, das stärker auf Seite der 'Kopf'-ergebenden Anfangsvariablenwerte liegt. Während nun die speziellen Symmetrien sowohl im Fall der gleichmäßigen Masseverteilung als auch in den davon abweichenden Masseverteilungen zu epistemischen Wahrscheinlichkeiten von je $\frac{1}{2}$ für 'Kopf' und 'Zahl' geführt hätten, liefert erst die Berücksichtigung der Konstitution der Münze verschiedene konstante Verhältnisse in den Teilspielräumen und damit verschiedene Wahrscheinlichkeiten.

Falls hingegen die speziellen Symmetrien der Zufallsgeräte keinerlei Entsprechung in der Konstitution des Zufallsgeräts finden, gibt es keinen Grund anzunehmen, dass sich konstante Verhältnisse in Teilspielräumen ergeben. In solchen Fällen wäre noch nicht einmal sichergestellt, dass kleine Veränderungen der Anfangsvariablenwerte überhaupt im Allgemeinen zu verschiedenen Ergebnissen führen. Bei einer Münze mit einer völlig irregulären Masseverteilung ergeben sich bspw. in gleich großen Intervallen des Raums der anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten verschiedene Verhältnisse für 'Kopf'- und 'Zahl'-ergebende Anfangsvariablenwerte. Damit würde eine solche Münze im wiederholten Münzwurf aber, wenn überhaupt, nur zu komplizierten bzw. instabilen probabilistischen Mustern führen.

Folglich ergibt sich als Anforderung für Symmetrien von Zufallsgeräten, die eine Rolle für spezielle Wahrscheinlichkeiten spielen sollen, dass sie die Konstitution der Zufallsgeräte berücksichtigen müssen und nicht einfach den speziellen Symmetrien entsprechen können. Nur wenn die zugrundeliegenden physischen Eigenschaften selbst eine den speziellen Symmetrien entsprechende Symmetrie aufweisen, wie im Beispiel einer gleichmäßigen Masseverteilung, entsprechen die konstitutiven Symmetrien den speziellen Symmetrien. Ist dies hingegen nicht

der Fall, so müssen für das Vorliegen spezieller Wahrscheinlichkeiten die relevanten physischen Eigenschaften zumindest dergestalt sein, dass sie die speziellen Symmetrien auf bestimmte Art berücksichtigen, wie etwa die Münze deren Zahlseite doppelt so schwer ist wie die Kopfseite. Allgemein sind es also nicht die speziellen Symmetrien allein, sondern diese unter Berücksichtigung zugrundeliegender physischer Eigenschaften, die die für die speziellen Wahrscheinlichkeiten relevanten konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte darstellen. Fehlende Symmetrien sowie eine fehlende Entsprechung dieser Symmetrien in der Konstitution legen hingegen nahe, dass die betrachteten Gegenstände keine bzw. nur sehr komplizierte Wahrscheinlichkeiten liefern.

Die Bedeutung der Konstitution der Zufallsgeräte für die ausgezeichneten physischen Symmetrien bedeutet nun aber nicht, dass allein die speziellen Symmetrien und die ihnen zugrundeliegende physische Konstitutionsweise der Zufallsgeräte für die Wahrscheinlichkeiten in Zufallsexperimenten verantwortlich wären. Denn damit sich die Wahrscheinlichkeiten von Zufallsexperimenten auch tatsächlich auf diese konstitutiven Symmetrien zurückführen lassen, müssen nicht nur die Zufallsgeräte selbst, sondern auch das Verhältnis der Zufallsgeräte zu ihrer Umgebung in Zufallsexperimenten berücksichtigt werden. Denn erst im Zufallsexperiment werden die konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte durch entsprechende Symmetrietransformationen für spezielle Wahrscheinlichkeiten tatsächlich physisch relevant und erklären so die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen wiederholter Zufallsexperimente. Diese Einbettung spezieller Symmetrien in Zufallsexperimente möchte ich im nun folgenden Abschnitt diskutieren.

c) Konstitutive Symmetrien

Damit sich also die konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte als die physisch relevanten Symmetrien der Zufallsexperimente erweisen, müssen die den konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte entsprechenden Symmetrietransformationen im Zufallsexperiment auch tatsächlich dynamisch realisiert werden.⁶⁴ Denn nur wenn die konstitutiven Symmetrien eines

⁶⁴ Dies unterscheidet die in diesem Unterkapitel beschriebenen, den speziellen Wahrscheinlichkeiten zugrundeliegenden Symmetrien von den Symmetrien aus Abschn. 2.2.2, die der multiplen Konstitution zugrunde lagen. So war bei der multiplen Konstitution nur eine Konstitutionsweise tatsächlich physisch realisiert und die verschiedenen möglichen Konstitutionsweisen wurden nicht durch physische Transformationen regelmäßig ineinander überführt. Falls die der multiplen Konstitution zugrundeliegenden nicht-realisierten Symmetrietransformationen zwischen den verschiedenen multiplen Konstitutionsweisen entsprechend einfach sind, lassen sich diese allerdings prinzipiell auch durch Wahrscheinlichkeiten im mathematischen Sinne beschreiben. Diese Wahrscheinlichkeiten stellen allerdings keine speziellen Wahrscheinlichkeiten im Sinne des in diesem Kapitel beschriebenen objektiven Zufalls dar, sondern beschreiben lediglich die Wahrscheinlichkeit, dass einem Makrozustand ein bestimmter Mikrozustand zugrunde liegt. Die durch die multiple Konstitution implizierte Unabhängigkeit spezieller Ereignisse zeigt aber, dass diesen Wahrscheinlichkeiten sehr wohl auch eine ontologische Bedeutung zukommt. Inwiefern ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Arten von Wahrscheinlichkeiten besteht, werde ich dabei im Rahmen

Zufallsgeräts durch die Symmetrietransformationen eines entsprechenden Zufallsexperiments dynamisch aktiviert werden, lässt sich überhaupt erst erklären, wieso solche Symmetrien eine physische Bedeutung für spezielle Wahrscheinlichkeiten haben könnten.

Entsprechend muss z. B. eine faire Münze in einem Münzwurf rotierend geworfen werden, damit die speziellen Wahrscheinlichkeiten überhaupt auf die Rotationssymmetrie der Münze zurückgeführt werden können. Wird sie hingegen nicht rotierend in die Luft geschnippt, sondern einfach ohne Rotation in die Luft geworfen, so spielt die Rotationssymmetrie der Münze keine entscheidende Rolle für die Dynamik des Münzwurfs und der wiederholte Münzwurf wird entsprechend nicht die gewohnten stabilen relativen Häufigkeiten von $\frac{1}{2}$ liefern. Die physische Relevanz der konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte für die in den Zufallsexperimenten dynamisch realisierten Symmetrietransformationen ist dabei auch der Grund, wieso überhaupt die Rotationssymmetrie der Münze und nicht etwa ihre Spiegelsymmetrie für spezielle Wahrscheinlichkeiten eine Rolle spielt. Denn physikalisch lässt sich nur durch eine Rotation der Münze 'Kopf' in 'Zahl' bzw. 'Zahl' in 'Kopf' dynamisch überführen, nicht aber durch eine Spiegelung an der die Münze in eine Kopf- und eine Zahlseite halbierenden Ebene.

Diese durch die dynamisch realisierten Symmetrietransformationen aktivierten konstitutiven Symmetrien stellen nun die gesuchten physisch ausgezeichneten Symmetrien eines Zufallsexperiments dar. Im Folgenden werde ich bei diesen physisch ausgezeichneten Symmetrien auch von den 'konstitutiven Symmetrien des Zufallsexperiments' (oder auch kurz nur von 'konstitutiven Symmetrien' ohne Zusatz) sprechen,⁶⁵ da sie einzelne konstitutive Symmetrien von Zufallsgeräten aufgrund ihrer dynamischen Relevanz auszeichnen und ihnen so ihre physische Bedeutung für spezielle Wahrscheinlichkeiten zukommen lassen. Dabei können sich die konstitutiven Symmetrien eines Zufallsexperiments im Allgemeinen auch dadurch ergeben, dass das Zufallsexperiment die Freiheitsgrade eines Zufallsgeräts einschränkt. Wird ein fairer Würfel bspw. derart geworfen, dass er sich lediglich um die Achse, die durch die 'Eins'- und 'Sechs'-Fläche geht, dreht, d. h. sodass die möglichen Ergebnisse auf 'Zwei', 'Drei', 'Vier' und 'Fünf' eingeschränkt sind, so werden nicht alle konstitutiven Rotationssymmetrien des Würfels auch konstitutive Symmetrien des Würfelwurfs sein, sondern lediglich die Rotationssymmetrie bzgl. der 'Eins'-'Sechs'-Achse.

Durch die Berücksichtigung der tatsächlich dynamisch realisierten Symmetrietransformationen in den Zufallsexperimenten lässt sich nun insbesondere auch das Bertrand-sche Paradoxon vermeiden, da dadurch eine Unterscheidung verschiedener konstitutiver

dieser Arbeit nicht weiter erörtern können (vgl. Callender 2011).

⁶⁵ In Abschnitt 5.1.2 wird sich dabei noch zeigen, dass es sich bei diesen konstitutiven Symmetrien genau genommen um Eigenschaften der die Zufallsexperimente aktivierenden Ereignisse handelt.

Symmetrien vor dem Hintergrund verschiedener Symmetrietransformationen möglich wird. Das Bertrand'sche Paradoxon, wie ich es im Zusammenhang mit der klassischen Theorie in Abschnitt 3.2.1 diskutiert hatte, bestand darin, dass verschiedene scheinbar gleichwertige objektive Symmetrieüberlegungen zu verschiedenen objektiven Wahrscheinlichkeiten führten. Dies hatte ich an van Fraassens Kartonfabrik veranschaulicht, für die wir in Abhängigkeit verschiedener Indifferenzüberlegungen hinsichtlich Länge, Fläche und Volumen der zu produzierenden Kartons verschiedene Wahrscheinlichkeiten für die Produktion von Kartons derselben Art erhielten. Sollen diese Wahrscheinlichkeiten nun als die speziellen Wahrscheinlichkeiten für die Produktion eines gleichmäßigen Kartons einer bestimmten Größe verstanden werden, bedeuten die obigen Überlegungen, dass berücksichtigt werden muss, wie die Kartons tatsächlich produziert werden. Falls es bspw. durch den Produktionsprozess keinerlei Einschränkungen für die zu produzierenden Kartons gibt, wird eine gleichmäßige Verteilung über alle drei Raumdimensionen und damit über das Volumen die entscheidende Rolle spielen. Falls der Produktionsprozess jedoch bspw. nur die Länge der Kartons beeinflusst, werden die speziellen Wahrscheinlichkeiten den Wahrscheinlichkeiten der eindimensionalen Lösung entsprechen.⁶⁶ Betrachten wir das Problem hingegen unabhängig von den im Produktionsprozess tatsächlich dynamisch realisierten Symmetrietransformationen, werden wir es nicht mit physisch ausgezeichneten Symmetrien und damit Wahrscheinlichkeiten, sondern lediglich mit epistemischen Wahrscheinlichkeiten zu tun haben.

Die konstitutiven Symmetrien eines Zufallsexperiments ergeben sich dementsprechend letztlich aus der Konstitution und den Symmetrien der Zufallsgeräte sowie den Symmetrietransformationen des Zufallsexperiments, die die für die Wahrscheinlichkeiten dynamisch relevanten konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte bestimmen. Entscheidend dabei ist nun, dass die Symmetrietransformationen ebenfalls allein durch das einzelne Zufallsexperiment physisch bestimmt sind. Insbesondere müssen weder epistemische Indifferenzüberlegungen wie in der klassischen Theorie noch konkrete Anfangsverteilungen wie in den frequentistischen Ansätzen der Spielraumtheorie berücksichtigt werden. Die eigentlich zentralen Eigenschaften der Zufallsexperimente sind damit auch anders als in der Spielraumtheorie nicht die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen selbst, sondern die konstitutiven Symmetrien der einzelnen Zufallsexperimente.

Die konstanten Verhältnisse wiederholter Zufallsexperimente sind hingegen nichts weiter als das Ergebnis ihrer konstitutiven Symmetrien. Denn erst aufgrund der konstitutiven

⁶⁶ vgl. Strevens 1998, 235-236; auch Jaynes (1973) argumentiert, dass die Berücksichtigung von Symmetrietransformationen eindeutige Lösungen für das Bertrand'sche Paradoxon liefert (vgl. van Fraassen 1989, Kap. 12).

Symmetrien der einzelnen Zufallsexperimente stehen die zu verschiedenen Ergebnissen führenden Anfangsvariablenwerte in kleinen Intervallen der Anfangsvariablen der Zufallsexperimente in einem konstanten Verhältnis. Beispielsweise führt die konstitutive Symmetrie eines rotierenden Wurfs einer fairen Münze dazu, dass 'Kopf'- und 'Zahl'-erzeugende Wurf- und Drehgeschwindigkeiten in einem konstanten Verhältnis von 1:1 stehen. Denn so bewirkt die sich in einer gleichmäßigen Masseverteilung widerspiegelnde Rotationssymmetrie bspw., dass einerseits im normalen Münzwurf bei konstanten Umweltbedingungen eine wenig erhöhte Drehgeschwindigkeit zu 'Kopf' statt 'Zahl' (bzw. umgekehrt) führt, da sich die Münze einfach noch einmal weiterdreht. Andererseits führt die gleichmäßige Masseverteilung dazu, dass der Betrag, um im Flug von einem Zustand, in dem 'Kopf' nach oben zeigt (kurz 'Kopf oben'), auf einen Zustand, in dem 'Zahl' nach oben zeigt (kurz 'Zahl oben'), zu drehen, mit dem Betrag, um direkt daran anschließend wieder von 'Zahl oben' auf 'Kopf oben' weiterzudrehen, annähernd gleich ist. Da dies für alle entsprechenden Dreh- und Wurfgeschwindigkeitsintervalle gilt, ergibt sich so ein konstantes Verhältnis für beliebige Intervalle von Dreh- und Wurfgeschwindigkeiten.⁶⁷

Im Beispiel einer Münze, deren Zahlseite doppelt so schwer wie ihre Kopfseite ist und deren Masse ansonsten in den beiden Hälften jeweils gleichmäßig verteilt ist, führt nun zwar ebenfalls eine wenig erhöhte Drehgeschwindigkeiten dazu, dass die Münze noch einmal von 'Kopf oben' zu 'Zahl oben' bzw. umgekehrt weiterdreht. Allerdings ist der zusätzliche Betrag, um im Flug von 'Kopf oben' auf 'Zahl oben' zu drehen, nun entsprechend höher als der zusätzliche Betrag, um direkt wieder von 'Zahl oben' auf 'Kopf oben' weiterzudrehen. Da dies aber für alle entsprechend kleinen Drehgeschwindigkeitsintervalle gilt, ergibt sich so auch hier ein konstantes Verhältnis, das nun allerdings vom Verhältnis 1:1 der Münze mit gleichmäßig verteilter Masse abweicht.

Die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen werden also darauf zurückgeführt, dass Zufallsexperimente gewisse physische Symmetrien aufweisen, die für die möglichen Ergebnisse physisch relevant sind. Und genau diejenigen Anfangsvariablen sind für die probabilistischen Muster in wiederholten Zufallsexperimenten verantwortlich, die diese Symmetrien bedienen. Die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente bestimmen folglich die für das Zufallsexperiment relevanten Anfangsvariablen.⁶⁸ Da bspw. nicht verschwindende Wurf- und

⁶⁷ Die konstitutiven Symmetrien selbst bestimmen dabei wie groß die kleinen Intervalle bzw. Teilspielräume mindestens sein müssen, damit in ihnen konstante Verhältnisse vorliegen.

⁶⁸ Damit wird die Wahl der Standardvariablen implizit durch das Standardmaß räumlicher Symmetrien motiviert (vgl. Rosenthal 2016, 165-166). Bei Rosenthal (2012, 233-235, im Anschluss an North 2010) wie auch implizit bei Strevens (2003, 81-96) muss die Wahl der Standardvariablen und des Standardmaßes hingegen durch zusätzliche Einfachheitsüberlegungen begründet werden.

Drehgeschwindigkeiten überhaupt erst dazu führen, dass im Flug der Münze in der Luft die Rotationssymmetrie der Münze zu einer tatsächlichen regelmäßigen Transformation von 'Kopf oben' zu 'Zahl oben' und umgekehrt führt und die genaue Art dieser Transformation bestimmen, sind genau diese beiden Anfangsvariablen bei konstanten Umweltbedingungen für den Münzwurf physisch relevant.⁶⁹

Insgesamt ergeben sich also durch die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente in wiederholten Zufallsexperimenten auf dieselbe Art und Weise probabilistische Muster wie in der Spielraumtheorie. Den einzigen Unterschied bildet die Tatsache, dass die konstanten Verhältnisse wiederholter Zufallsexperimente über die konstitutiven Symmetrien in den einzelnen Zufallsexperimenten erklärt werden. Beim wiederholten Münzwurf führen die konstitutiven Symmetrien so bspw. zu konstanten Verhältnissen in kleinen Intervallen von Wurf- und Drehgeschwindigkeiten, diese wiederum führen gemäß der Spielraumtheorie (bei gutartigen Anfangsverteilungen) zu den stabilen relativen Häufigkeiten von 'Kopf' und 'Zahl'. Die konstitutiven Symmetrien der einzelnen Zufallsexperimente liefern also in wiederholten Zufallsexperimenten die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen, die sich schließlich (bei gutartigen Verteilungen) in den stabilen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente widerspiegeln. Auf die weiterhin bestehende Abhängigkeit der relativen Häufigkeiten von der Gutartigkeit der Anfangsverteilungen werde ich dabei im nächsten Abschnitt noch separat zu sprechen kommen. Zunächst möchte ich aber noch kurz diskutieren, wie sich dieser Ansatz auch auf nicht-physikalische Symmetrien und damit nicht-physikalische spezielle Wahrscheinlichkeiten ausweiten lässt.

Insofern spezielle Wahrscheinlichkeiten nicht nur genuin physikalischen makroskopischen Ereignissen zukommen, sondern darüber hinaus bspw. auch chemischen und biologischen Ereignissen, stellt sich die Frage, ob und wie sich ein solcher Ansatz auf nicht-physikalische Zufallsexperimente ausweiten lässt. Obwohl sich die bisherige Argumentation – wie auch in den spielraumtheoretischen Ansätzen üblich – im Wesentlichen auf Glücksspiele und damit physikalische Symmetrien konzentriert hat, bedeutet dies nicht, dass ein solcher Ansatz auf diese Beispiele beschränkt bleiben muss. Entsprechend wird auch in den verschiedenen spielraumtheoretischen Ansätzen bereits versucht eine Ausweitung auf alle speziellen Wahrscheinlichkeiten vorzunehmen, selbst wenn sich aufgrund der Komplexität der zugrundeliegenden Dynamiken keine konkreten konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen

⁶⁹ Die physische Relevanz der Wurfgeschwindigkeit neben der Drehgeschwindigkeit zeigt sich dabei insbesondere dadurch, dass bei konstanter Drehgeschwindigkeit kleine Veränderungen der Wurfgeschwindigkeit dazu führen, dass die Münze mehr bzw. weniger Zeit hat, nochmals von 'Zahl oben' zu 'Kopf oben' bzw. umgekehrt weiterzudrehen. Zusätzlich zur Rotationssymmetrie ist damit die Drehachse in Form einer Translationsbewegung selbst Gegenstand einer Symmetrietransformation.

angeben lassen.⁷⁰ Entsprechend werde ich eine Ausweitung der obigen Überlegungen auf nicht-physikalische Symmetrien ebenfalls nur kurz skizzieren. Inwiefern diese nicht-physikalischen Symmetrien mit zugrundeliegenden physikalischen Symmetrien und damit spezielle Wahrscheinlichkeiten verschiedener Konstitutionsstufen miteinander zusammenhängen, werde ich hingegen erst in Kapitel 5 diskutieren.

Zunächst zeigt sich bereits beim Übergang vom Münzwurf zum Wurf weiterer Gegenstände, wie die konstitutiven Symmetrien bei mehreren relevanten Symmetrietransformationen komplexer werden. So können neben einer einzigen Rotationsachse wie im Beispiel des Münzwurfs eine Vielzahl von Symmetrieachsen wie im Beispiel eines frei geworfenen Würfels eine Rolle spielen. Wie bereits gesehen, können den einzelnen konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte dabei in Abhängigkeit von den tatsächlich dynamisch realisierten Symmetrietransformationen des jeweiligen Zufallsexperiments eine unterschiedliche Bedeutung für die speziellen Wahrscheinlichkeiten zukommen. Bei unregelmäßig geformten Gegenständen hängt das Vorliegen konstitutiver Symmetrien nun zudem davon ab, ob es überhaupt Symmetrieachsen gibt, die im Zufallsexperiment als stabile Symmetrieachsen fungieren bzw. selbst regelmäßigen Symmetrietransformationen unterliegen können. Daneben können weitere Faktoren aus der unmittelbaren Umgebung des eigentlichen Zufallsgeräts für den probabilistischen Charakter des Zufallsexperiments mit verantwortlich sein, sodass Teile der Umgebung in gewissem Sinne einen Teil des Zufallsgeräts bilden und ihre speziellen Symmetrien für die speziellen Wahrscheinlichkeiten ebenfalls physisch relevant sind. Beispielsweise könnten im Münzwurf sich regelmäßig abwechselnde Winde in bzw. gegen die Rotationsrichtung der Münze auftreten, die es mit zu berücksichtigen gilt. Im Allgemeinen kann so auch eine Unterscheidung zwischen einem probabilistischen Zufallsgerät und einer nicht-probabilistischen Umgebung hinfällig werden.

Bei nicht-physikalischen Zufallsexperimenten müssen nun zudem die Symmetrien nicht länger genuin physikalisch sein. Wenngleich die Symmetrietransformationen ungleich komplexer als in den betrachteten einfachen Glücksspielen sein werden und sich die konstitutiven Symmetrien von Einzelfall zu Einzelfall stärker unterscheiden werden als im wiederholten Glücksspiel, lassen sich nun aber auch hier zugrundeliegende konstitutive Symmetrien vermuten. Die Konstitution solcher nicht-physikalischen Symmetrien wird dabei allerdings anders als im Fall der Glücksspiele nicht einfach durch die Verteilung der Masse gekennzeichnet sein, sondern durch die Verteilung von Konstituenten mit gewissen bspw. chemischen oder

⁷⁰ So argumentieren etwa Strevens (2003, Abschn. 4.9) und Sober (2010) für eine Anwendung der Spielraumtheorie auf Wahrscheinlichkeiten der Biologie. Für einen Überblick über verschiedene Ausweitungsversuche siehe Rosenthal (2016, 157-159).

biologischen Eigenschaften in den einzelnen Zufallsexperimenten. Die Konstituenten dieser Zufallsexperimente können dabei selbst auf verschiedene Weise konstituiert sein, solange sie dieselben relevanten Eigenschaften für die betrachteten Symmetrietransformationen aufweisen und folglich hinsichtlich dieser Symmetrietransformationen symmetrisch sind. Insbesondere sind die konstitutiven Symmetrien nicht länger bloße räumliche Symmetrien, sondern müssen allgemeiner als die Transformationsinvarianzen derjenigen Prozesse, die die nicht-physikalischen Zufallsexperimente ausmachen, verstanden werden. Beispielsweise lassen sich so zufällige Genmutationen aufgrund des Bindens falscher Basen während der DNA-Replikation so verstehen, dass jeder Replikationsschritt ein Zufallsexperiment darstellt, in dem die Symmetrien der Verteilung möglicher and die DNA bindender Basen sowie ihrer Bindungseigenschaften die spezielle Wahrscheinlichkeit für eine solche Mutation im einzelnen Replikationsschritt liefern.

Auch wenn wir in der Regel die konkreten konstitutiven Symmetrien solcher nicht-physikalischen Prozesse nicht unmittelbar in den einzelnen Zufallsexperimenten erkennen können, ändert dies also nichts daran, dass auch nicht-physikalische spezielle Wahrscheinlichkeiten sich im Prinzip auf eine Vielzahl konstitutiver Symmetrien, die durch die in den entsprechenden Zufallsexperimenten dynamisch realisierten Symmetrietransformationen physisch relevant werden, zurückführen lassen. Die Feststellung solcher speziellen Wahrscheinlichkeiten wird hingegen auch weiterhin im Wesentlichen über relative Häufigkeiten erfolgen, wie ich unter anderem in der nun folgenden Diskussion konstitutiver Symmetrien zeigen werde. Zunächst möchte ich allerdings untersuchen, wie sich die entwickelte Interpretation mittels konstitutiver Symmetrien vor dem Hintergrund der angegebenen Kriterien für Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit schlägt.

3.3.2 Diskussion konstitutiver Symmetrien

a) Kriterien für Wahrscheinlichkeitsinterpretationen

Deterministische Wahrscheinlichkeit

Das erste Kriterium für Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit bestand darin, dass sich die speziellen Wahrscheinlichkeiten mit den ihnen zugrundeliegenden deterministischen Dynamiken vereinbaren lassen müssen. Insofern die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente den Grund für die konstanten Verhältnisse in Teilspielräumen wiederholter Zufallsexperimente liefern, gilt nun für die Vereinbarkeit von Wahrscheinlichkeiten mit deterministischen Dynamiken im Prinzip dasselbe wie für die Spielraumtheorie selbst. So wird die Tatsache, dass Zufallsexperimente trotz zugrundeliegender deterministischer Dynamiken

ein probabilistisches Verhalten zeigen, auch weiterhin durch dieselben beiden Eigenschaften erklärt. Denn wie in der Spielraumtheorie selbst führen einerseits bereits kleine Veränderungen zu abweichenden Ergebnissen und sind andererseits die Anfangsvariablenwerte, die zu verschiedenen Ergebnissen führen, in kleinen Intervallen der Anfangsvariablen annähernd konstant. Anders als bisher werden diese Eigenschaften nun weiter auf die Konstitution der einzelnen Zufallsexperimente zurückgeführt. War in der Spielraumtheorie bspw. der wesentliche Punkt, dass im Münzwurf eine minimal erhöhte Dreh- oder Wurfgeschwindigkeit zu 'Kopf' statt 'Zahl' führt und dass kleine Dreh- und Wurfgeschwindigkeitsintervalle ein konstantes Verhältnis von 'Kopf'- und 'Zahl'-ergebenden Dreh- und Wurfgeschwindigkeiten aufweisen, so wird dies nun weiter auf die Konstitution der Münze und ihre Beziehung zu ihrer Umgebung im Zufallsexperiment zurückgeführt. An den zugrundeliegenden Dynamiken ändert sich durch die vorgeschalteten konstitutiven Symmetrien hingegen nichts.

Allerdings sind die konstitutiven Symmetrien nun nicht nur mit den deterministischen Dynamiken vereinbar, sondern beantworten zudem die Frage, wieso sich trotz zugrundeliegender deterministischer Dynamiken überhaupt konstante Verhältnisse in den Teilspielräumen wiederholter Zufallsexperimente ergeben. Darüber hinaus setzt die Vereinbarkeit von Wahrscheinlichkeiten und deterministischen Dynamiken auch nicht mehr voraus, dass bereits Anfangswahrscheinlichkeiten hineingesteckt werden. Denn durch die Rückführung der speziellen Wahrscheinlichkeiten auf die zugrundeliegenden konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente können die speziellen Wahrscheinlichkeiten ohne Bezug auf konkrete Anfangsverteilungen interpretiert werden. Insofern also die konstitutiven Symmetrien bereits im einzelnen Zufallsexperiment und damit insbesondere auch ohne Anfangsverteilungen vorliegen, können die speziellen Wahrscheinlichkeiten einfach auf diese zurückgeführt werden. Anders als bei einer bloßen Rückführung der speziellen Wahrscheinlichkeiten auf die konstanten Verhältnisse in Teilspielräumen, können nun zudem auch die speziellen Wahrscheinlichkeiten einzelner Zufallsexperimente erklärt werden, wie ich als nächstes zeigen werde.

Singuläre Wahrscheinlichkeit

Das zweite Kriterium für Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeiten war, dass sie auch auf Wahrscheinlichkeiten einmaliger Zufallsexperimente anwendbar sein sollten. Das Problem der Spielraumtheorie war hierbei, dass die Interpretation der Wahrscheinlichkeit über die konstanten Verhältnisse in Teilspielräumen führte. Werden diese konstanten Verhältnisse von Anfangswerten in kleinen Intervallen von Anfangsvariablen aber selbst als letzter Grund spezieller Wahrscheinlichkeiten herangezogen, führt dies zwangsläufig zu nicht-singulären

Wahrscheinlichkeiten. Da in einem einzelnen Zufallsexperiment nur ein einziger Anfangswert vorliegt, kann hier kein konstantes Verhältnis von Anfangswerten und folglich auch keine spezielle Wahrscheinlichkeit vorliegen. Dies gilt dabei unabhängig davon, ob zur Interpretation der Wahrscheinlichkeiten neben den konstanten Verhältnissen in Teilspielräumen auf etwaige Anfangsverteilungen zurückgegriffen wird. Im einzelnen Münzwurf gibt es bspw. kein Verhältnis von 'Kopf'- zu 'Zahl'-ergebenden Wurf- und Drehgeschwindigkeiten, da es nur genau eine Wurf- und Drehgeschwindigkeit gibt. Folglich ist die Spielraumtheorie auf den Einzelfall nicht unmittelbar anwendbar, sodass Wahrscheinlichkeiten einzelnen Zufallsexperimenten nur über ihre Zugehörigkeit zu bestimmten Referenzklassen von Zufallsexperimenten zugeschrieben werden können. Dies sollte jedoch auch für die Spielraumtheorie selbst unbefriedigend sein, da sie gerade versucht die Bedeutung der den Zufallsexperimenten zugrundeliegenden Dynamiken hervorzuheben und diese Dynamiken bereits im Einzelfall vorliegen.

Indem statt der Anfangsvariablen der Zufallsexperimente die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente in den Vordergrund rücken, kann dieser Konflikt nun gelöst werden. Die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen werden nicht länger als der eigentliche Grund für spezielle Wahrscheinlichkeiten verstanden, sondern als Folge der konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente. Die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente ergeben sich aber allein aus der Konstitution der Zufallsgeräte und der im einzelnen Zufallsexperiment dynamisch realisierten Symmetrietransformationen. Damit hängen sie weder von der Wiederholung einzelner Zufallsexperimente noch von den Symmetrien anderer Zufallsexperimente ab, sodass die konstitutiven Symmetrien einzelner Zufallsexperimente singuläre Wahrscheinlichkeiten liefern. Selbst wenn wir ein Zufallsexperiment nur ein einziges Mal durchführen und nicht auf Zufallsexperimente gleichen Typs zurückgreifen können, können demnach spezielle Wahrscheinlichkeiten vorliegen, die die konstitutiven Symmetrien genau dieses einen Zufallsexperiments widerspiegeln. So besitzen die Ereignisse 'Kopf' und 'Zahl' im fairen Münzwurf auch dann noch eine durch Aufbau und Form der Münze sowie durch die Art des Wurfs eindeutig bestimmte spezielle Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$, wenn es im ganzen Universum nur diese eine faire Münze gibt und sie in der gesamten Geschichte des Universums nur ein einziges Mal rotierend geworfen wird.

Auch wenn sich – wie ich in Abschnitt 3.3.2 b) noch diskutieren werde – in einem solchen Einzelfall die speziellen Wahrscheinlichkeiten womöglich nicht durch uns empirisch feststellen lassen, liegen sie dennoch auch solchen einmaligen Zufallsexperimenten zugrunde. Da wir spezielle Wahrscheinlichkeiten hingegen auch weiterhin vorrangig über relative Häufigkeiten empirisch feststellen werden, möchte ich nun als Letztes auch noch den Zusammenhang

zwischen derart verstandenen Wahrscheinlichkeiten einzelner Zufallsexperimente und den relativen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente diskutieren.

Wahrscheinlichkeit & Häufigkeit

Das dritte Kriterium für Wahrscheinlichkeitsinterpretationen bestand darin, dass die Wahrscheinlichkeiten die relativen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente als wichtigstes empirisches Indiz für das Vorliegen von Wahrscheinlichkeiten erklären können müssen. In dem in diesem Unterkapitel entwickelten Ansatz ergeben sich nun aber stabile Häufigkeiten durch die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente zunächst auf dieselbe Weise wie in der Spielraumtheorie selbst. Die Rotationssymmetrie des Münzwurfs impliziert bspw. die konstanten Verhältnisse in kleinen Intervallen von Wurf- und Drehgeschwindigkeiten. Diese wiederum führen gemäß der Spielraumtheorie bei gutartigen Verteilungen zu den wohl-bekannteren relativen Häufigkeiten von 'Kopf' und 'Zahl'. Die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente liefern also die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen, die sich schließlich in den stabilen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente widerspiegeln. Den genauen Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeiten in einzelnen Zufallsexperimenten und stabilen relativen Häufigkeiten in wiederholten Zufallsexperimenten stellt dabei das Gesetz der großen Zahl her. Die Frage, wie sich mit diesem mathematischen Gesetz, das genau genommen nur Aussagen über relative Häufigkeiten in unendlich oft wiederholten Zufallsexperimenten erlaubt, Aussagen über empirische relative Häufigkeiten endlicher Wiederholungen machen lassen, stellt dabei ein allgemeines Problem für singuläre Wahrscheinlichkeiten dar, das ich in Abschnitt 3.3.2 c) noch gesondert diskutieren werde.

Das der Spielraumtheorie eigene Problem war nun aber, dass sich die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen nicht immer in relativen Häufigkeiten widerspiegeln. Nur wenn die Anfangsverteilungen ausreichend glatt und aperiodisch sind, entsprechen die empirisch beobachtbaren relativen Häufigkeiten den konstanten Verhältnissen in den Teilspielräumen. Insofern nun die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen ausschließlich über die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente erklärt werden, ergibt sich nun aber dasselbe Problem wie für diejenigen spielraumtheoretischen Ansätze, die auf einen expliziten Bezug auf Anfangsverteilungen verzichten. Denn auch bei einer Interpretation von speziellen Wahrscheinlichkeiten als konstitutive Symmetrien von Zufallsexperimenten fehlt ein solcher Bezug auf Anfangsverteilungen. Im Folgenden werde ich daher versuchen zu zeigen, dass dies kein Problem für die Wahrscheinlichkeitsinterpretation selbst darstellt.

Zunächst legen gerade die stabilen relativen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente nahe, dass spezielle Wahrscheinlichkeiten unabhängig von konkreten Anfangsverteilungen sind. So liefert zwar eine tatsächliche exzentrische Anfangsverteilung in einem wiederholten Zufallsexperiment auch tatsächlich von den konstitutiven Symmetrien (und damit von den konstanten Verhältnissen) abweichende Häufigkeiten, allerdings ergeben sich genau diese Häufigkeiten in der Regel nur für genau eine bestimmte exzentrische Anfangsverteilung. Damit können aber die entsprechenden Häufigkeiten als Folge der zufälligerweise exzentrischen Anfangsverteilung einfach hingenommen werden. Stabile relative Häufigkeiten, die weitestgehend unabhängig von konkreten Verteilungen sind, ergeben sich hingegen nur bei gutartigen Anfangsverteilungen, da diese die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente und die dadurch implizierten konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen widerspiegeln. Folglich liegen selbst dann dieselben den konstitutiven Symmetrien des Zufallsexperiments entsprechenden speziellen Wahrscheinlichkeiten vor, wenn diese aufgrund einer einmaligen exzentrischen Anfangsverteilung zu von den konstitutiven Symmetrien abweichenden relativen Häufigkeiten führen.⁷¹ So bleiben im wiederholten Münzwurf die konstitutiven Symmetrien und damit die speziellen Wahrscheinlichkeiten für 'Kopf' und 'Zahl' dieselben, auch wenn die anfänglichen Wurf- und Drehgeschwindigkeiten derart exzentrisch verteilt sind, dass sich eine signifikant von $\frac{1}{2}$ abweichende relative Häufigkeit ergibt. Schließlich beinhalten die speziellen Wahrscheinlichkeiten des Münzwurfs ja gerade auch die Möglichkeit, dass eine exzentrische Anfangsverteilung zu einem solchen Ergebnis führt.

Liegen hingegen regelmäßig exzentrische Anfangsverteilungen vor, sodass die vermeintlich speziellen Wahrscheinlichkeiten im Sinne der konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente und die stabilen relativen Häufigkeiten regelmäßig auseinanderfallen, so wird dies nicht darauf zurückzuführen sein, dass die speziellen Wahrscheinlichkeiten des konkreten Zufallsexperiments von konkreten exzentrischen Anfangsverteilungen abhängen. Vielmehr legt ein solcher Sachverhalt nahe, dass wir das Zufallsexperiment unvollständig beschrieben haben und folglich die konstitutiven Symmetrien und damit die speziellen Wahrscheinlichkeiten falsch bestimmt haben. Insbesondere da verschiedene exzentrische Anfangsverteilungen zu verschiedenen relativen Häufigkeiten führen, ergeben sich stabile von den unterstellten konstitutiven Symmetrien abweichende relative Häufigkeiten nur, wenn ausschließlich ähnliche exzentrische Anfangsverteilungen vorliegen. Der Sachverhalt, dass genau immer eine bestimmte Art von exzentrischer Verteilung vorliegt, legt aber nahe, dass die Verteilung einen Teil der dem Zufallsexperiment zugrundeliegenden Dynamik beinhaltet.

⁷¹ Dabei sind es die konstitutiven Symmetrien selbst, die bestimmen welche Verteilungen ausreichend gutartig sind.

Entsprechend argumentiert auch Rosenthal (2012, 230-231), dass wir eine tatsächliche exzentrische Anfangsverteilung darauf zurückführen würden, dass wir einen wichtigen Faktor bei der Beschreibung des dem Zufallsexperiment zugrundeliegenden Mechanismus übersehen haben, der bei seiner Berücksichtigung eine gutartige Verteilung liefern würde. Beispielsweise würde eine regelmäßig gleiche exzentrische Verteilung von anfänglichen Wurf- oder Drehgeschwindigkeiten im Münzwurf, die eine signifikant von $\frac{1}{2}$ abweichende Häufigkeit von 'Kopf' zur Folge hätte, auf einen solchen übersehenen Faktor hinweisen. In so einem Fall würden wir entweder annehmen, dass wir einen entscheidenden Faktor in der Abfolge der Münzwürfe übersehen haben, oder dass die Münze unfair ist und keine gleichmäßige Masseverteilung aufweist. In beiden Fällen würden wir eher eine unvollständige oder falsche Beschreibung der zugrundeliegenden Dynamiken vermuten als einfach hinzunehmen, dass die speziellen Wahrscheinlichkeiten von einer bestimmten Art exzentrischer Anfangsverteilungen abhängen.⁷² Liegen hingegen regelmäßig verschiedenartige exzentrische Verteilungen vor, so ergeben sich gar keine stabilen relativen Häufigkeiten. Dies legt wiederum nahe, dass dem betrachteten Phänomen überhaupt keine konstitutiven Symmetrien und damit keine speziellen Wahrscheinlichkeiten zugrunde liegen und es sich folglich um kein Zufallsexperiment im Sinne solcher Wahrscheinlichkeiten handelt. Folglich stellen exzentrische Verteilungen vielmehr ein Problem für die Feststellbarkeit spezieller Wahrscheinlichkeiten dar als für die Frage nach der richtigen Interpretation dieser Wahrscheinlichkeiten. Die dadurch implizierte Frage, wie genau sich konstitutive Symmetrien und damit spezielle Wahrscheinlichkeiten empirisch feststellen lassen, möchte ich im Folgenden noch etwas ausführlicher behandeln.

b) Feststellbarkeit konstitutiver Symmetrien

Die Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeiten durch konstitutive Symmetrien von Zufallsexperimenten wirft die Frage auf, wie sich solche Symmetrien erkennen bzw. feststellen lassen. Allgemein bildet die Frage nach der Feststellbarkeit spezieller Wahrscheinlichkeiten dabei kein genuin neues Problem des in diesem Unterkapitel entwickelten Ansatzes, sondern stellt sich im Prinzip für alle Interpretationen, die eine implizite oder explizite Unterscheidung zwischen den der Wahrscheinlichkeit zugrundeliegenden ontologischen Strukturen bzw. Eigenschaften und den wahrnehmbaren probabilistischen Mustern vornehmen. Denn sofern angenommen wird, dass die beobachteten Muster nicht selbst primitiv und damit nicht selbst gleich den speziellen

⁷² Eine Berücksichtigung aller relevanten Faktoren impliziert dabei, dass eine Berücksichtigung weiterer Faktoren keine Veränderung der konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen mit sich bringt (vgl. Rosenthal 2012, 231-232 und 2016, 161-164). Dies findet sich bereits indirekt bei von Kries (1886, 34-35/43-47) als Forderung, dass die Teilspielräume „ursprünglich“ sein müssen, d.h. dass sie durch Berücksichtigung vorgelagerter Prozesse nicht weiter zerlegbar sind und sich folglich auch keine anderen Verhältnisse ergeben können.

Wahrscheinlichkeiten sind, werden die den probabilistischen Mustern zugrundeliegenden Strukturen nicht unmittelbar festgestellt. Eine solche Unterscheidung in einerseits die Eigenschaften der Natur, die den Grund für die probabilistischen Muster bilden, und andererseits die probabilistischen Muster selbst, die wir empirisch beobachten, verlangt nun aber nach einer Antwort darauf, wie sich die zugrundeliegenden speziellen Wahrscheinlichkeiten feststellen lassen und wie sich die beobachtbaren probabilistischen Muster aus diesen zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeiten ergeben.

Im Falle spezieller Wahrscheinlichkeiten sind es vor allem die oberflächlichen bzw. speziellen Symmetrien von Zufallsgeräten sowie die relativen Häufigkeiten in wiederholten Zufallsexperimenten, die uns ein probabilistisches Verhalten feststellen und zugrundeliegende spezielle Wahrscheinlichkeiten vermuten lassen. Im Münzwurf ziehen wir bspw. die spezielle Symmetrie der Münze von 'Kopf' und 'Zahl' oder das tatsächliche Auftreten von 'Kopf' und 'Zahl' in der Hälfte aller Würfe heran, um die Wahrscheinlichkeiten des Münzwurfs festzustellen. Anders als bspw. die klassische Theorie oder der endliche Frequentismus setzen aber die meisten Interpretationen – wie auch der in diesem Unterkapitel entwickelte Ansatz – diese phänomenologischen Muster eben nicht mit den zugrunde liegenden speziellen Wahrscheinlichkeiten gleich, sondern verstehen sie lediglich als deren Folge. Insofern dabei solche Wahrscheinlichkeitsinterpretationen bei der Feststellung von Wahrscheinlichkeiten auf spezielle Symmetrien und tatsächliche Häufigkeiten zurückgreifen, ergeben sich auch für sie die Probleme epistemischer Indifferenzüberlegungen sowie frequentistischer Referenzklassenbildungen. Anders als in der klassischen Theorie oder dem endlichen Frequentismus sind diese Probleme jedoch zunächst nur epistemologische Probleme, die nicht gezwungenermaßen die speziellen Wahrscheinlichkeiten selbst betreffen.

Die speziellen Wahrscheinlichkeiten selbst müssen sich vor dem Hintergrund einer solchen Unterscheidung in die den Wahrscheinlichkeiten zugrundeliegenden Eigenschaften der Natur und die empirisch beobachtbaren probabilistischen Muster auch nicht länger mit den speziellen Symmetrien und den tatsächlichen Häufigkeiten decken. Beispielsweise würde einerseits in der Propensitätstheorie, in der Beste-Systeme-Analyse wie auch im hypothetischen Frequentismus eine signifikante Abweichung der tatsächlichen relativen Häufigkeiten von 'Kopf' und 'Zahl' von $\frac{1}{2}$ dazu führen, dass sie dem Münzwurf trotz der speziellen Symmetrie von 'Kopf' und 'Zahl' eine von $\frac{1}{2}$ abweichende Wahrscheinlichkeit zuschreiben würden. Andererseits würden sie dem Münzwurf auch dann noch eine Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ zuschreiben, wenn die tatsächlichen Häufigkeiten im Münzwurf nur leicht von $\frac{1}{2}$ abweichen würden. Alle drei Interpretationen würden demnach eher tatsächliche Häufigkeiten

vergleichbarer Zufallsexperimente oder grundlegendere Eigenschaften der vorliegenden Zufallsexperimente berücksichtigen, um die zugrundeliegenden speziellen Wahrscheinlichkeiten im Münzwurf festzustellen, als einfach spezielle Wahrscheinlichkeiten als spezielle Symmetrien oder tatsächliche Häufigkeiten zu interpretieren.

Entsprechendes gilt nun auch für den in diesem Unterkapitel entwickelten Symmetrieansatz, der spezielle Wahrscheinlichkeiten statt mit unmittelbar beobachtbaren probabilistischen Mustern mit grundlegenden Eigenschaften in Form von ausgezeichneten physischen Symmetrien von Zufallsexperimenten gleichsetzt. Damit müssen sich die probabilistischen Muster, die wir empirisch beobachten, auch hier nicht zwangsläufig mit den speziellen Symmetrien und den tatsächlichen Häufigkeiten decken. Deshalb können wir die speziellen Wahrscheinlichkeiten in der Regel auch nicht über die einzelnen Zufallsexperimenten selbst feststellen. Dies liegt daran, dass wir aus einem einzelnen Zufallsexperiment in der Regel nicht schließen können, ob und wie die speziellen Symmetrien die konstitutiven Symmetrien des Zufallsexperiments widerspiegeln; selbst wenn dies durch eine gründliche Analyse des Zufallsgerätes und seiner dynamischen Transformation im Zufallsexperiment zumindest prinzipiell möglich wäre. Um die speziellen Wahrscheinlichkeiten eines Zufallsexperiments also tatsächlich festzustellen, hängen wir trotz der vorgeschlagenen Einzelfallinterpretation auch weiterhin von seiner Wiederholung ab, da nur wiederholte Zufallsexperimente uns eine zufriedenstellende Evidenz für die zugrundeliegenden konstitutiven Symmetrien liefern können.

Damit hängt die Feststellung spezieller Wahrscheinlichkeiten auch weiterhin von gutartigen, nicht-exzentrischen Anfangsverteilungen ab, die die konstitutiven Symmetrien der Zufallsexperimente offenlegen. Denn nur solche gutartigen Anfangsverteilungen führen die konstanten Verhältnisse in den Teilspielräumen und folglich auch die konstitutiven Symmetrien in entsprechende relative Häufigkeiten über. Auch wenn wir damit die speziellen Wahrscheinlichkeiten nur bei gutartigen Anfangsverteilungen empirisch feststellen können, ändern die empirisch beobachtbaren probabilistischen Muster jedoch nichts an den zugrundeliegenden konstitutiven Symmetrien und damit den speziellen Wahrscheinlichkeiten. Die probabilistischen Muster, die wir von exzentrischen Anfangsverteilungen erhalten, spiegeln folglich auch nicht die speziellen Wahrscheinlichkeiten wider, da sie die zugrundeliegende Wahrscheinlichkeitsstruktur der Zufallsexperimente nicht vollständig offenlegen. Bei gutartigen Anfangsverteilungen können wir aber nun die konstitutiven Symmetrien der einzelnen Zufallsexperimente über die stabilen relativen Häufigkeiten in langen Folgen gleicher Zufallsexperimente empirisch feststellen. Wie genau sich dabei solche Häufigkeiten aus singulären Wahrscheinlichkeiten ergeben, möchte ich nun noch abschließend im folgenden Abschnitt diskutieren.

c) Gesetz der großen Zahl

Aufgrund der Probleme frequentistischer Interpretationen hatte ich bei der Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeiten über konstitutive Symmetrien bewusst auf einen Bezug auf relative Häufigkeiten verzichtet. Da letztere aber wie gesehen dennoch die entscheidende Rolle bei der Feststellung von Wahrscheinlichkeiten spielen, möchte ich im Folgenden aufzeigen, wie genau sich solche singulären Wahrscheinlichkeiten in relativen Häufigkeiten widerspiegeln. Am naheliegendsten ist hierbei ein Rückgriff auf das Gesetz der großen Zahl, um von den einzelnen Zufallsexperimenten anhängenden singulären Wahrscheinlichkeiten zu den relativen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente zu gelangen. Schließlich besagt das Gesetz der großen Zahl im Kern, dass die unabhängige Wiederholung von Zufallsexperimenten mit gleichen singulären Wahrscheinlichkeiten zu einer den Wahrscheinlichkeiten entsprechenden relativen Häufigkeit führt. Die relative Häufigkeit von 'Kopf' und 'Zahl' im wiederholten Münzwurf gibt demnach die Wahrscheinlichkeiten für 'Kopf' und 'Zahl' in den einzelnen Münzwürfen wieder und ermöglicht so, dass wir die singulären Wahrscheinlichkeiten durch relative Häufigkeiten feststellen können. Allerdings ist eine solche Begründung durch das Gesetz der großen Zahl problematischer als sie auf den ersten Blick erscheint.⁷³ So stellen sich insbesondere die beiden Probleme, dass einerseits das Gesetz der großen Zahl nur eine Aussage über unendlich oft wiederholte Zufallsexperimente macht und dass es andererseits diese Aussage selbst wiederum nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit macht. Diese beiden Probleme möchte ich im Folgenden nacheinander diskutieren.

Das erste Problem besteht also darin, dass das Gesetz der großen Zahl keine Aussage über die relativen Häufigkeiten von endlichen Folgen von Zufallsexperimenten macht, sondern nur über den Grenzwert der relativen Häufigkeiten einer unendlichen Folge von Zufallsexperimenten. Das bedeutet aber, dass wir mit dem Gesetz der großen Zahl die Wahrscheinlichkeiten nicht aus den beobachteten Häufigkeiten ableiten können, da diese immer nur endlich viele Zufallsexperimente umfassen können. Dieses Problem stellt sich dabei nicht nur für Wahrscheinlichkeitsinterpretationen wie der Propensitätstheorie oder der in diesem Unterkapitel vorgeschlagenen Symmetrieinterpretation, die die Bedeutung einzelner Zufallsexperimente hervorheben, sondern auch für solche Interpretationen die Wahrscheinlichkeiten über hypothetische Häufigkeiten versuchen zu interpretieren. Denn auch diese Interpretationen müssen die

⁷³ Auf eine Unterscheidung der verschiedenen Gesetze der großen Zahl und ihrer jeweils zugrundeliegenden Konvergenzbegriffe verzichte ich an dieser Stelle, da sich die im Folgenden diskutierten zentralen philosophischen Probleme für die verschiedenen Formulierungen gleichermaßen stellen. Erstmals findet sich ein solches Gesetz dabei in Jacob Bernoullis *Ars coniectandi*, wo er mit diesem Gesetz selbst den Zusammenhang zwischen Symmetrien und Häufigkeiten herzustellen sucht (vgl. Hacking 1971b).

als hypothetische Häufigkeiten interpretierten Wahrscheinlichkeiten über endliche Folgen von Zufallsexperimenten und damit tatsächliche relative Häufigkeiten feststellen.

Damit lassen sich aber spezielle Wahrscheinlichkeiten unabhängig von der gewählten Wahrscheinlichkeitsinterpretation mit Hilfe des Gesetzes der großen Zahl nicht unmittelbar empirisch feststellen.⁷⁴ So bleiben für jede beliebig große endliche Folge von Zufallsexperimenten immer unendlich viele Wiederholungen, in denen sich die relativen Häufigkeiten noch beliebig verändern könnten, um gegen den Grenzwert des Gesetzes der großen Zahl zu konvergieren. Auch wenn wir bspw. im hundertfachen Münzwurf ausschließlich 'Kopf' erhalten, bleibt zumindest gemäß dem Gesetz der großen Zahl immer noch die Möglichkeit bestehen, dass es sich um eine faire Münze handelt. Damit ließen sich zunächst aber weder die endlichen relativen Häufigkeiten durch Wahrscheinlichkeiten erklären, noch könnten wir spezielle Wahrscheinlichkeiten überhaupt durch tatsächliche relative Häufigkeiten empirisch feststellen. Denn wie sollte sich ein unendlicher Grenzwert relativer Häufigkeiten durch Beobachtung feststellen lassen, wenn nicht durch eine hypothetische Fortführung endlicher relativer Häufigkeiten.

Allerdings zeigt nun die Erfahrung, dass sich auch bei endlich oft wiederholten Zufallsexperimenten bereits früh stabile relative Häufigkeiten bilden, die sich umso weniger ändern je öfter ein Zufallsexperiment wiederholt wird. So liegen bspw. im hundertmaligen Wurf einer fairen Münze die relativen Häufigkeiten von 'Kopf' und 'Zahl' erfahrungsgemäß bereits nahe bei $\frac{1}{2}$. Außerdem weichen die relativen Häufigkeiten von 'Kopf' und 'Zahl' immer weniger von diesem Wert ab, je öfter die Würfe wiederholt werden. Zwar könnten diese relativen Häufigkeiten theoretisch immer noch beliebig stark von den zugrundeliegenden speziellen Wahrscheinlichkeiten in den einzelnen Zufallsexperimenten abweichen, allerdings scheint die naheliegendste Erklärung für erfahrungsgemäß sich immer weiter stabilisierende relative Häufigkeiten darin zu liegen, dass diese auch tatsächlich den singulären Wahrscheinlichkeiten entsprechen. Diese Erklärung wird dabei nun wesentlich durch das Gesetz der großen Zahl gestützt. Denn dieses besagt ja gerade, dass im Fall einer unendlichen Wiederholung von Zufallsexperimenten die relativen Häufigkeiten gegen die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Zufallsexperimente konvergieren. Damit ist die naheliegendste Erklärung für eine sich erfahrungsgemäß immer weiter stabilisierende relative Häufigkeit aber, dass diese bereits auf den Grenzwert einer unendlichen Folge von Zufallsexperimenten zusteuert.⁷⁵

⁷⁴ Eine Ausnahme bildet der aktuelle bzw. endliche Frequentismus, der aber aufgrund anderer Probleme keine ernstzunehmende Alternative für eine Wahrscheinlichkeitsinterpretation darstellt (vgl. Abschn. 3.2.2).

⁷⁵ In ähnlicher Weise argumentiert bspw. auch Hacking (1971b, 229) für eine abduktive Erklärung von relativen Häufigkeiten durch das Gesetz der großen Zahl.

Das zweite zentrale Problem des Versuchs, den Zusammenhang zwischen speziellen Wahrscheinlichkeiten einzelner Zufallsexperimente und relativen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente mit Hilfe des Gesetzes der großen Zahl herzustellen, besteht nun darin, dass die Konvergenz der relativen Häufigkeiten gemäß dem Gesetz der großen Zahl selbst nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 erfolgt. Damit scheint sich nun aber die Frage zu stellen, wie diese im Folgenden als 'Metawahrscheinlichkeiten' bezeichneten Wahrscheinlichkeiten wiederum selbst zu interpretieren sind. Insbesondere frequentistische Ansätze scheinen dabei auf den ersten Blick gegen dieses Problem besser gerüstet zu sein als andere Interpretationsansätze, da sie diese Metawahrscheinlichkeiten wie die eigentlichen Wahrscheinlichkeiten frequentistisch interpretieren können und damit scheinbar keiner eigenständigen Interpretation für diese neuen Wahrscheinlichkeiten bedürfen.⁷⁶ Dabei wird jedoch zunächst übersehen, dass eine solche Übertragung der Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeiten auf Metawahrscheinlichkeiten auch für Symmetrieansätze prinzipiell denkbar ist, insofern so gut wie jede Symmetrietransformation der unendlichen Folge von Zufallsexperimenten zu einer gleichermaßen konvergierenden Folge führt.⁷⁷

Viel wichtiger ist nun aber, dass eine solche Übertragung von Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeiten allgemein wenig aussagekräftig zu sein scheint. Denn die Metawahrscheinlichkeit von 1 stellt weniger eine ontologisch zu interpretierende Wahrscheinlichkeit als vielmehr eine mathematische Eigenheit dar, die erst gar nicht ontologisch zu interpretieren versucht werden sollte. So hatte ich bereits bei der Diskussion des ersten Problems des Gesetzes der großen Zahl gezeigt, dass die unendlich langen Folgen von Zufallsexperimenten bereits keine empirischen Folgen mehr darstellen können und das Gesetz der großen Zahl folglich höchstens eine abduktiv erklärende Funktion hat. Damit macht aber insbesondere auch die Metawahrscheinlichkeit von 1 höchstens indirekt eine Aussage über die Wiederholung oder die Symmetrien tatsächlicher endlicher Folgen von Zufallsexperimenten. Aufgrund einer dadurch vermeintlich implizierten ontologischen Bedeutung der Metawahrscheinlichkeit diese ebenfalls wie spezielle Wahrscheinlichkeiten zu interpretieren, ist dabei insofern fraglich, als eine Wahrscheinlichkeit von 1 im Prinzip nichts anderes als Sicherheit bedeutet. Eine

⁷⁶ Die Konvergenz der relativen Häufigkeiten gegen die speziellen Wahrscheinlichkeiten mit einer Metawahrscheinlichkeit von 1 würde demnach besagen, dass die relative Häufigkeit derjenigen unendlich langen Folgen von Zufallsexperimenten, die gegen die speziellen Wahrscheinlichkeiten konvergieren, zu allen unendlich langen Folgen von Zufallsexperimenten bei unendlich vielen solcher unendlich langen Folgen gleich 1 ist.

⁷⁷ Die Konvergenz der relativen Häufigkeiten gegen die speziellen Wahrscheinlichkeiten mit einer Metawahrscheinlichkeit von 1 würde demnach hier besagen, dass Symmetrietransformationen von unendlich langen Folgen von Zufallsexperimenten, die in nichts anderem als der Symmetrietransformation jedes einzelnen Zufallsexperiments bestehen, wieder zu unendlich langen Folgen von Ergebnissen führen, die ebenfalls gegen die speziellen Wahrscheinlichkeiten konvergieren.

Wahrscheinlichkeit von 1 ist schlicht und einfach das beste Ergebnis, das sich mit der Anwendung wahrscheinlichkeitstheoretischer Überlegungen erzielen lässt. Da Wahrscheinlichkeitsmaße Ereignissen immer nur Messwerte zuordnen können, kann das wahrscheinlichkeitstheoretische Ereignis, dass die relativen Häufigkeiten unendlich langer Folgen gleicher Zufallsexperimente nicht gegen die zugrundeliegenden singulären Wahrscheinlichkeiten konvergieren, auch nur insofern ausgeschlossen werden, als ihm ein Messwert von 0 zugeordnet wird. Und entsprechend kann ein maßtheoretisches Gesetz wie das Gesetz der großen Zahl auch gar nicht anders als auch die Konvergenz von Folgen mit einer Wahrscheinlichkeit zu verstehen, die nun aber nichts weiter als die mathematischen Eigenheiten der Maßtheorie wiedergibt.

Insgesamt zeigt sich also, dass sich das Gesetz der großen Zahl sehr wohl heranziehen lässt, um zu erklären, wie sich die über die konstitutiven Symmetrien einzelner Zufallsexperimente interpretierten singulären Wahrscheinlichkeiten in den relativen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente widerspiegeln. Insgesamt liefert die in diesem Unterkapitel vorgeschlagene Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeiten damit nicht nur mit deterministischen Dynamiken vereinbare singuläre Wahrscheinlichkeiten, sondern ermöglicht zudem derart interpretierte Wahrscheinlichkeiten in den relativen Häufigkeiten wiederholter Zufallsexperimente empirisch festzustellen. Damit möchte ich die Diskussion spezieller Wahrscheinlichkeiten zunächst beschließen und mich im nächsten Kapitel stattdessen der Kausalität zuwenden und versuchen auch eine geeignete Interpretation bzw. Theorie spezieller Kausalität anzugeben. Schließlich werde ich in Kapitel 5 die Ergebnisse zur Wahrscheinlichkeit nochmals aufgreifen und versuchen, sie mit den Ergebnissen zur Kausalität in Verbindung zu bringen.

Kapitel 4: Spezielle Kausalität

Nach der Diskussion der Wahrscheinlichkeit im letzten Kapitel möchte ich in diesem Kapitel nun auch das Konzept der Kausalität zunächst unabhängig diskutieren und interpretieren, bevor ich dann in Kapitel 5 beide Interpretationen zusammenführen und so eine konsistente Interpretation von Wahrscheinlichkeit und Kausalität spezieller Ereignisse zu liefern versuchen werde. Der Aufbau dieses Kapitels folgt dabei weitestgehend dem Aufbau des Wahrscheinlichkeitskapitels. Entsprechend werde ich auch hier mit einer kurzen formalen und philosophischen Charakterisierung spezieller Kausalität in Unterkapitel 4.1 in das Kapitel einsteigen. Daran anschließend werde ich versuchen zentrale Kriterien für geeignete Theorien spezieller Kausalität zu formulieren, die in Unterkapitel 4.2 sodann den Rahmen für eine problemorientierte Diskussion bedeutender Kausalitätstheorien bilden sollen. Wie schon im Wahrscheinlichkeitskapitel werde ich die verschiedenen Theorien auch hier anhand ausgewählter Vertreter einführen und unter Berücksichtigung der neueren Literatur diskutieren. Dabei wird die Diskussion der Prozesstheorien, die den Abschluss des darstellenden Teils bildet, zugleich den Ausgangspunkt für eine verallgemeinerte Erhaltungstheorie der Kausalität bilden, die ich schließlich in Unterkapitel 4.3 zu entwickeln versuchen werde. Die vorgeschlagene Kausalitätstheorie soll sodann den zweiten Baustein für eine gemeinsame Interpretation von Wahrscheinlichkeit und Kausalität spezieller Ereignisse in Kapitel 5 bilden.

4.1 Allgemeine Charakterisierung der Kausalität

In diesem ersten Unterkapitel werde ich zunächst untersuchen, ob sich für die Kausalität eine mathematische Struktur angeben lässt, die vergleichbar zur Wahrscheinlichkeitsaxiomatik einen gemeinsamen formalen Rahmen für die Diskussion verschiedener Kausalitätstheorien bilden kann (4.1.1). Daran anschließend werde ich spezielle Kausalität als ein nicht-primitives ontologisches Konzept charakterisieren und den Fokus im Folgenden auf entsprechende Kausalitätstheorien einschränken (4.1.2). Schließlich werde ich noch drei zentrale Kriterien für die spätere Diskussion möglicher Theorien spezieller Kausalität angeben (4.1.3). Konkret werden diese Kriterien darin bestehen, dass eine geeignete Theorie spezieller Kausalität erstens die Vereinbarkeit von gerichteten Kausalbeziehungen mit zugrundeliegenden symmetrischen Dynamiken sicherstellt, zweitens singuläre Kausalbeziehungen ermöglicht und drittens den zentralen Unterschied von Kausalität und Korrelation erklärt.

4.1.1 Formale Charakterisierung der Kausalität

Wie für Wahrscheinlichkeit im letzten Kapitel lässt sich auch für Kausalität die Frage nach einem allgemeinen formalen Rahmen als gemeinsamen Ausgangspunkt verschiedener Kausalitätstheorien aufwerfen. Zunächst lässt sich hierzu feststellen, dass es – anders als für die Wahrscheinlichkeit – keine anerkannte 'Axiomatisierung' der Kausalität gibt, die die Grundlage einer eigenständigen mathematischen Disziplin im Sinne einer mathematischen Kausalitätstheorie bilden würde. Dies ist auch der Grund dafür, wieso anders als bei philosophischen Wahrscheinlichkeitstheorien in der Regel nicht von verschiedenen Interpretationen (einer mathematischen Theorie) sondern von verschiedenen Kausalitätstheorien die Rede ist.¹ Dies muss jedoch nicht heißen, dass es zwangsläufig keine gemeinsame formale Grundlage geben kann, die als interpretationsunabhängiger Rahmen für philosophische Kausalitätstheorien dienen könnte. Vielmehr scheint es der Fall zu sein, dass es für das Konzept der Kausalität aufgrund der Einfachheit ihrer zugrundeliegenden mathematischen Struktur zu keiner eigenständigen mathematischen Disziplin gereicht hat.² Dies bedeutet aber nicht, dass sich eine solche mathematische Kausalstruktur nicht in einer allgemeineren mathematischen Struktur und damit einer entsprechenden mathematischen Disziplin wiederfinden lassen würde. Als eine solche mathematische Disziplin haben Peter Spirtes, Clark Glymour und Richard Scheines (2000) sowie insbesondere Judea Pearl (2009) als Vorreiter der kausalen Modellierung die Graphentheorie ausgemacht.³ An eine solche graphentheoretische Formalisierung der Kausalität werde ich im Folgenden ebenfalls anknüpfen; zunächst möchte ich aber noch einige methodologische Vorüberlegungen vorausschicken.

Aufgrund der Einfachheit und Stärke der Wahrscheinlichkeitsaxiomatik möchte ich mich in dem Versuch, die allgemeine mathematische Struktur der Kausalität zu fassen, von der Erscheinungsform der Wahrscheinlichkeit als eigenständiger, absoluter und interpretationsunabhängiger mathematischer Struktur leiten lassen (vgl. Kap. 3.1.1). Dabei möchte ich mit den genannten drei Eigenschaften Folgendes beschrieben wissen: Erstens charakterisiert die Wahrscheinlichkeitsaxiomatik Wahrscheinlichkeit als eine eigenständige Struktur, insofern sie Wahrscheinlichkeit unabhängig von den formalen Charakterisierungen weiterer philosophischer Konzepte und damit insbesondere unabhängig vom Konzept der Kausalität charakterisiert.

¹ Dabei werde ich diesem Sprachgebrauch bei der Diskussion der verschiedenen Theorien zunächst folgen, bevor ich dann ab Unterkapitel 3.2 der Einfachheit halber mitunter auch von Kausalitätsinterpretationen (der in diesem Abschnitt vorgeschlagenen Formalisierung) sprechen werde, um später einheitlich von Wahrscheinlichkeits- und Kausalitätsinterpretationen sprechen zu können.

² Genau genommen handelt auch die Wahrscheinlichkeitstheorie nur von speziellen Maßräumen und stellt insofern ebenfalls lediglich einen Spezialfall der Maßtheorie dar.

³ Für einen groben Überblick über die verschiedenen Ansätze der kausalen Modellierung siehe z.B. Hitchcock (2009, 2018a).

Zweitens beschreibt die Wahrscheinlichkeitsaxiomatik Wahrscheinlichkeit als eine absolute Struktur, insofern sie Wahrscheinlichkeit nicht prinzipiell als eine bzgl. eines Hintergrundkontexts relativierte Struktur charakterisiert. Und schließlich drittens stellt die Wahrscheinlichkeitsaxiomatik eine interpretationsunabhängige formale Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit dar, insofern sie sich gleichermaßen auf singulär und frequentistisch verstandene Wahrscheinlichkeiten anwenden lässt.

Als Heuristik für eine formale Charakterisierung der Kausalität implizieren diese allgemeinen Eigenschaften der Wahrscheinlichkeitsaxiomatik nun, dass ebenso versucht werden sollte, Kausalität unabhängig von weiteren Konzepten als nicht-relativierte mathematische Struktur zu charakterisieren, die sich gleichermaßen auf singuläre und generelle Kausalbeziehungen anwenden lässt. Insbesondere werde ich also versuchen, zunächst die genuin kausale Struktur unabhängig von der Wahrscheinlichkeitsaxiomatik formal zu charakterisieren. Diese Vorgehensweise lässt sich dabei nicht zuletzt durch die bereits in der Einleitung motivierte grundsätzliche Verschiedenheit von Wahrscheinlichkeit und Kausalität sowie das Fehlschlagen aller wechselseitiger Reduktionsversuche rechtfertigen.⁴ Dies soll aber nicht heißen, dass nach einer solchen unabhängigen Charakterisierung Wahrscheinlichkeit und Kausalität nicht systematisch in Verbindung gebracht werden könnten, wie insbesondere die Literatur zur kausalen Modellierung beweist.⁵ Gleichermaßen bedeutet eine Charakterisierung als absolute Struktur nicht, dass von dieser keine relativierten mathematischen Strukturen etwa in Analogie zur bedingten Wahrscheinlichkeit abgeleitet werden könnten.⁶

Was Kausalität nun aber unabhängig von weiteren Konzepten, Relativierungen und Interpretationen in erster Linie formal auszeichnet ist eine gerichtete Beziehung zwischen zwei Ereignissen.⁷ Die Gerichtetheit spiegelt dabei in erster Linie die kausale Asymmetrie wider, also die Tatsache, dass Ursachen ihre Wirkungen verursachen und nicht umgekehrt.⁸ Eine solche

⁴ Trotz der zentralen Rolle des Wahrscheinlichkeitskalküls in der Literatur zur kausalen Modellierung, betont bspw. auch Pearl (2009, Abschn. 1.5 und 11.1) immer wieder die grundsätzliche Unabhängigkeit des Konzepts der Kausalität vom Konzept der Wahrscheinlichkeit und folglich die Notwendigkeit einer unabhängigen formalen Charakterisierung der Kausalität, die nicht auf dem Wahrscheinlichkeitskalkül aufbaut.

⁵ Insbesondere charakterisieren die im Rahmen der kausalen Modellierung vorgeschlagenen Axiomatisierungen in erster Linie eine solche Verbindung von Graphen und Wahrscheinlichkeitsräumen (sowie eventuellen Relativierungen bzgl. verschiedener Hintergrundkontexte), nicht aber die Graphenstruktur als eigentliche genuin kausale Struktur selbst (siehe z. B. Spirtes et al. (2000, Abschn. 3.4), Pearl (2009, Abschn. 7.3) und Schurz & Gebharder (2016)). In Abschnitt 5.1.1 werde ich auf eine solche formale Verbindung der mathematischen Strukturen der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität nochmals ausführlicher zu sprechen kommen.

⁶ Bspw. würden so auch kontrastierende oder relativierende Kausalitätsinterpretationen, die Kausalbeziehungen ausschließlich vor dem Hintergrund anderer möglicher Ursachen und Wirkungen respektive eines kausalen Kontexts verstehen, möglich. Für einen Überblick solcher Ansätze siehe z. B. Schaffer (2016, Abschn. 1.3).

⁷ Schaffer (2016, Abschn. 1.3) spricht hierbei von der Standardauffassung der Kausalität; diese Auffassung hat nicht zuletzt Davidson (1967) populär gemacht.

⁸ vgl. Abschn. 4.1.3 a)

gerichtete Beziehung zwischen zwei Ereignissen lässt sich nun tatsächlich am besten durch gerichtete Graphen formal wiedergeben. Ein gerichteter Graph $G = (V, E)$ ist dabei ein Paar aus einer endlichen Menge V von Knoten zusammen mit einer Menge E gerichteter Kanten, die aus geordneten Knotenpaaren besteht (d. h. $E \subseteq V \times V$). Während in der kausalen Modellierung die Graphen dabei in erster Linie generelle Kausalbeziehungen in Form von gerichteten funktionalen Abhängigkeiten zwischen Variablen repräsentieren, soll die Knotenmenge V hier einfach die Menge aller betrachteten Ereignisse abbilden, während die gerichteten Kanten die Kausalbeziehungen zwischen zwei solchen Ereignissen widerspiegeln. Die Ereignisse können dabei später je nach Interpretation als singuläre Ereignisse oder als Ereignisklassen bzw. -typen verstanden werden. Grafisch lassen sich gerichtete Graphen schließlich als Punkt-Pfeil-Diagramme darstellen, in denen die Knoten aus V Punkten und die gerichteten Kanten aus E Pfeilen zwischen den entsprechenden Punkten entsprechen.

Neben der Gerichtetheit ist die mathematische Struktur der Kausalität weiterhin wesentlich durch die Tatsache gekennzeichnet, dass Ereignisse keine Rolle in ihrer eigenen kausalen Historie spielen. Der Ausschluss von solchen kausalen Zyklen ergibt sich dabei durch die Anforderung, dass die formale Charakterisierung auch auf singuläre Kausalität anwendbar sein soll. Schließlich können in singulären Kausalbeziehungen Wirkungen nicht in ihren eigenen kausalen Geschichten auftauchen.⁹ Diese Eigenschaft lässt sich nun durch die Forderung der Zyklenfreiheit bzw. Azyklizität der Graphen formal formulieren. Ein gerichteter Zyklus ist dabei eine Teilmenge der Kantenmenge von der Form $\{(v_1, v_2), (v_2, v_3), \dots, (v_{n-1}, v_n), (v_n, v_{n+1})\}$ mit $v_{n+1} = v_1$. Grafisch bedeutet die Azyklizität damit, dass es keine Abfolge von Punkten und Pfeilen gibt, sodass ein Pfeil von einem ersten Punkt zu einem zweiten Punkt führt, von dort ein weiterer Pfeil zu einem nächsten Punkt führt usw. bis schließlich ein letzter Pfeil wieder zu dem ersten Punkt führt. Die Forderung nach Zyklenfreiheit beinhaltet dabei insbesondere als Spezialfall den Ausschluss von unmittelbarer Selbstverursachung, da die Forderung auch Zyklen der Länge $n = 1$ bzw. Schleifen (also Kanten der Form (v, v)) ausschließt. Weiterhin folgt streng genommen erst durch die Forderung der Azyklizität eine echte kausale Asymmetrie, insofern durch den Ausschluss von Zyklen der Länge $n = 2$ gegenläufige Kanten ausgeschlossen werden (d. h. $(v, w) \in E \rightarrow (w, v) \notin E$).

⁹ Zwar gibt es insbesondere im Rahmen der Physik durchaus Überlegungen zu geschlossenen lokal gerichteten Kurven (siehe z. B. Arntzenius & Maudlin 2009), allerdings spielen diese in der Regel für spezielle Kausalbeziehungen keine Rolle. Dies rechtfertigt es, diese Art von Kausalität zumindest vom Standardkonzept der Kausalität auszuschließen. Folglich deckt die obige formale Charakterisierung alle zyklenfreien Kausalbeziehungen ab und damit auch jede Form von spezieller Kausalität, mit der wir es in unserer Erfahrung zu tun haben. Auch wenn die kausale Asymmetrie dabei im Allgemeinen der zeitlichen Asymmetrie entsprechen wird (vgl. Abschn. 4.1.3 a), werden in die Vergangenheit gerichtete Kausalbeziehungen, bei denen Wirkungen ihren Ursachen zeitlich vorausgehen, hingegen durch die obige Charakterisierung nicht grundsätzlich ausgeschlossen (vgl. Faye 2018).

Folglich betrachte ich Kausalbeziehungen als formal durch gerichtete azyklische Graphen bzw. DAGs (kurz für *directed acyclic graphs*) charakterisiert, die es im weiteren Verlauf der Arbeit richtig zu interpretieren gilt. Wie für die formale Charakterisierung der Wahrscheinlichkeit durch Wahrscheinlichkeitsräume gilt dabei auch für die formale Charakterisierung der Kausalität durch DAGs, dass durch die Formalisierung allein noch keine Aussagen über die richtige Anwendung oder Interpretation dieser mathematischen Strukturen gemacht sind. Auch hier wird nicht gesagt, welcher DAG die Ereignisse und ihre Kausalbeziehungen richtig abbildet und was damit über die Natur ausgesagt wird. So können ganz in Analogie zur Wahrscheinlichkeit zunächst verschiedene Ereignisse als prinzipiell mögliche Relata einer Kausalbeziehung aufgefasst werden, als Nächstes verschiedene mögliche Kausalbeziehungen zwischen diesen Relata bestimmt werden und schließlich die durch die DAGs repräsentierten Kausalbeziehungen bspw. regularitätstheoretisch, kontrafaktisch, dispositional oder über physikalische Größen interpretiert werden.

Entsprechend können wir die Kausalbeziehungen im Beispiel einer durch einen Stein zerbrechenden Fensterscheibe auf verschiedene Weise repräsentieren. Zunächst können bspw. nicht nur das Werfen des Steins und das Zerbrechen der Fensterscheibe als Ereignisse aufgefasst werden, sondern im Prinzip auch der Flug des Steins. Sodann kann der kausale Zusammenhang zwischen diesen zwei oder drei Ereignissen unter Beachtung der Azyklizität auf verschiedene Weise hergestellt werden, d. h. es können verschiedene gerichtete Kanten zwischen den zwei oder drei Knoten gezogen werden solange sie keinen Zyklus bilden. Beispielsweise wäre es im Fall von drei Ereignissen mit der formalen Charakterisierung der Kausalität durch DAGs sowohl vereinbar nur einen einzigen Pfeil zwischen Steinwurf und Steinflug zu ziehen, als auch noch einen zusätzlichen Pfeil zwischen Steinflug und Zerbrechen der Fensterscheibe, je nachdem ob die Scheibe durch andere Ursachen oder durch den Steinflug selbst zerbrochen ist. Im Folgenden werde ich dabei das Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe immer so verstehen, dass es formal eine gerichtete Beziehung zwischen den zwei Ereignissen des Werfens des Steins und des Zerbrechens der Fensterscheibe darstellt. Schließlich kann ein so gewonnener kausaler Graph beliebig als ein wie auch immer gearteter Abhängigkeits- oder produktiver Zusammenhang interpretiert werden. Für das Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe bedeutet dies, dass der Pfeil vom Werfen des Steins zum Zerbrechen der Fensterscheibe sowohl so interpretiert werden kann, dass das Zerbrechen vom Werfen auf bestimmte Art abhängig ist, als auch dass das Werfen das Zerbrechen in gewisser Weise hervorbringt.

Dass sich Kausalbeziehungen formal als DAGs beschreiben lassen, bedeutet dabei nicht, dass jeder DAG auch eine Kausalbeziehung beschreibt. Genauso wie nicht jeder normierte

Maßraum ein genuin probabilistisches Phänomen beschreibt, beschreibt nicht jeder DAG eine kausale Beziehung.¹⁰ Darüber hinaus gelten auch für eine solche formale Charakterisierung der Kausalität als DAGs die Relativierungen, die ich bereits bzgl. der Axiomatisierung der Wahrscheinlichkeit aufgeführt hatte, insofern auch diese Charakterisierung bereits selbst das Produkt der Auseinandersetzung mit dem philosophischen Konzept der Kausalität ist. Dennoch bildet eine solche formale Charakterisierung auch für das Konzept der Kausalität einen sinnvollen Ausgangspunkt für die philosophische Auseinandersetzung. Entsprechend soll die vorgeschlagene formale Charakterisierung in Analogie zur Wahrscheinlichkeitsaxiomatik im letzten Kapitel auch den formalen Rahmen für eine philosophische Charakterisierung spezieller Kausalität im nächsten Abschnitt bilden.

4.1.2 Philosophische Charakterisierung der Kausalität

a) Kausalität als ontologisches Konzept

Anders als bei der Wahrscheinlichkeit, für die sich ein ontologisches von einem epistemologischen Konzept unterscheiden ließ, beschreibt Kausalität gemeinhin ein ontologisches Phänomen. Sofern folglich nicht versucht wird Kausalität als ontologisch bedeutungslos aus den empirischen Wissenschaften vollständig zu eliminieren, stellen Kausalbeziehungen ein Merkmal der erkenntnisunabhängigen Natur dar.¹¹ So beschreibt bspw. die Kausalbeziehung zwischen dem Werfen eines Steins und dem Zerschlagen einer Fensterscheibe eine erkenntnisunabhängige Beziehung zwischen diesen beiden Ereignissen in der Natur. Die Aufgabe philosophischer Kausalitätstheorien ist es dann, zu untersuchen, wie genau sich diese Beziehungen ontologisch charakterisieren lassen.

Gegen eine Elimination der Kausalität als Alternative zu einer solchen ontologischen Charakterisierung der Kausalität spricht dabei zunächst ihre Bedeutung für objektive Kausal-erklärungen und Vorhersagen sowie ein zielführendes Experimentieren als zentrale Grundlagen empirischer Wissenschaften. Wenn wir bspw. erklären, wieso die Fensterscheibe zerbrochen ist, bzw. vorhersagen, was das Werfen des Steins zur Folge haben wird, greifen wir bereits auf

¹⁰ So lassen sich durch DAGs insbesondere irreflexive, asymmetrische und transitive Beziehungen wie bspw. Grund-Folge-Beziehungen (*grounding*) repräsentieren.

¹¹ Dies soll nicht bedeuten, dass sich die zugrundeliegende DAG-Struktur nicht auch epistemologisch interpretieren ließe. Allerdings ist dann in der Regel nicht mehr vom philosophischen Konzept der Kausalität die Rede. Darüber hinaus bedeutet die Tatsache, dass Kausalität ein ontologisches Konzept darstellt, auch nicht, dass sich für das Konzept der Kausalität nicht auch begriffliche und epistemologische Fragestellungen ergeben. Entsprechend unterscheidet bspw. Mackie (1980, iix-ix) zwischen einem ontologischen bzw. die Tatsachen betreffenden (*factual*), einem begrifflichen (*conceptual*) und einem epistemologischen (*epistemic*) Projekt: „It is one thing to ask what causation is 'in the objects', as a feature of a world that is wholly objective and independent of our thoughts, another to ask what concept (or concepts) of causation we have, and yet another to ask what causation is in the objects so far as we know it and how we know what we do about it.“

kausales Vokabular zurück. Selbst wenn in den fundamentalen symmetrischen Naturgesetzen möglicherweise keine kausalen Strukturen unmittelbar enthalten sind, zeigt dies bereits die Bedeutung objektiver Kausalbeziehungen für die wissenschaftliche Praxis.

In den speziellen Wissenschaften kommt darüber hinaus der Kausalität in Form kausaler Gesetzmäßigkeiten eine unmittelbare Bedeutung für die Naturgesetze selbst zu. Sollen nun spezielle Gesetzmäßigkeiten ontologisch nicht einfach vollständig auf fundamental-physikalische Naturgesetze reduziert werden, muss eine philosophische Kausalitätstheorie also zeigen, wie sich den Argumenten für einen kausalen Eliminativismus begegnen lässt.¹² Entsprechend werden sich diese Argumente in den Kriterien für eine geeignete Theorie spezieller Kausalität in Abschnitt 4.1.3 wiederfinden. Zunächst möchte ich aber spezielle Kausalität weiter als nicht-primitives Konzept charakterisieren.

b) Kausalität als nicht-primitives Konzept

Prinzipiell lässt sich Kausalität nun entweder als ein primitives oder ein nicht-primitives Konzept verstehen. Während im ersten Fall sich Kausalbeziehungen nicht weiter auf andere Beziehungen zurückführen lassen, machen im zweiten Fall genau solche Beziehungen den eigentlichen Grund für das Auftreten von Kausalität aus. Ein primitives Kausalitätsverständnis, das bspw. nicht weiter reduzierbare kausale Kräfte annimmt,¹³ scheint dabei lediglich auf einer möglichen fundamentalen Ebene eine grundsätzliche Alternative zu einer Elimination von Kausalität darzustellen. Wenn es hingegen um die richtige ontologische Interpretation der Kausalität spezieller Ereignisse geht, sind auf jeder Konstitutionsstufe unabhängig von fundamentaleren kausalen Kräften von Neuem auftretende Kausalkräfte schwer vorstellbar. Dies soll dabei nicht bedeuten, dass die Ursache für das Zerschlagen eines makroskopischen Objekts wie dem einer Fensterscheibe nicht in den kausalen Kräften eines weiteren makroskopischen Ereignisses wie dem Werfen eines Steins liegen mag. Allerdings scheint es vor dem Hintergrund unseres Wissens, dass sich diese beiden Ereignisse weiter in fundamentalere Entitäten zerlegen lassen, wenig überzeugend, eine solche spezielle kausale Kraft als ontologisch primitiv aufzufassen.

¹² Einen möglichen Mittelweg zwischen einer Elimination der Kausalität und einem ontologischen Verständnis spezieller Kausalbeziehungen bilden dabei sogenannte neorussellsche Ansätze, wie sie sich z. B. bei Norton (2007) und Elga (2007) sowie allgemein in dem Sammelband von Price & Corry (2007) finden lassen. Diese Ansätze machen sich zwar den kausalen Antifundamentalismus von Bertrand Russell (1912/1913) zu eigen, folgern daraus aber nicht zwingend einen kausalen Eliminativismus. Demnach mögen zwar die Argumente Russells für die Unvereinbarkeit von Kausalität mit den fundamentalen Gesetzmäßigkeiten der Physik sprechen, gleichermaßen zeigt aber insbesondere die von Nancy Cartwright (1979) hervorgehobene Bedeutung der Unterscheidung von effektiven und ineffektiven Strategien, dass Kausalität nicht einfach komplett aus den Wissenschaften verbannt werden kann. Für einen Überblick neorussellscher Positionen siehe z. B. Blanchard (2016).

¹³ Für einen Überblick über mögliche Interpretationen von Kausalität als primitive Kräfte siehe z. B. Mumford (2009).

Entsprechend werden auch alle im weiteren Verlauf dieses Kapitels als mögliche Theorien spezieller Kausalität diskutierten Kausalitätstheorien versuchen, Kausalität auf weitere Beziehungen zurückzuführen. Soll Kausalität dabei weiterhin eine ontologische Bedeutung zukommen, muss diesen weiteren Beziehungen, auf die Kausalität reduziert werden soll, sowie der Reduktion selbst dann aber eine ebensolche ontologische Bedeutung zukommen. Die Beziehungen, auf die Kausalität reduziert werden soll, können dabei gleichermaßen Beziehungen zwischen Ereignistypen oder einzelnen Ereignissen darstellen. Weiter können diese Beziehungen sowohl Abhängigkeitsbeziehungen, die die Abhängigkeit der Wirkungen von den Ursachen in den Vordergrund rücken, als auch produktive Beziehungen, die das hervorbringende Element der Ursachen betonen, beschreiben.¹⁴ Entsprechend werden Kausalbeziehungen so wahlweise auf Regularitäts-, kontrafaktische oder Übertragungsbeziehungen reduziert. Bevor ich allerdings die entsprechenden Kausalitätstheorien als mögliche Theorien spezieller Kausalität im nächsten Unterkapitel im Detail einführen und diskutieren werde, möchte ich im folgenden Abschnitt zunächst noch die zentralen Kriterien für diese Diskussion angeben.

4.1.3 Kriterien für Kausalitätstheorien

a) Vereinbarkeit mit symmetrischen Naturgesetzen

Das erste Kriterium ergibt sich aus der Frage, wie sich spezielle Kausalität grundsätzlich in unser wissenschaftliches Weltbild einfügen lässt. In einem solchen Weltbild kommt der Physik als fundamentalster und zugleich universalster Naturwissenschaft eine Schlüsselrolle zu, insofern ihre Theorien den Anspruch erheben, gleichermaßen Antworten auf die Fragen nach den Fundamenten wie nach der Gesamtheit des Universums zu liefern. Folglich setzt eine mögliche ontologische Bedeutung von spezieller Kausalität insbesondere ihre Vereinbarkeit mit den Gesetzmäßigkeiten der Physik voraus. Da Kausalität nun aber selbst kein unmittelbarer Gegenstand dieser Gesetzmäßigkeiten ist und folglich nicht ohne Weiteres als genuin physikalische Beziehung aufgefasst werden kann, ist eine solche Vereinbarkeit nicht von vornherein gegeben.¹⁵ Vielmehr scheinen die zentralen Asymmetrien der Kausalität auf den ersten Blick im Widerspruch zu den Symmetrien der fundamentalen physikalischen Gleichungen zu stehen. Dieser vermeintliche Widerspruch wird sodann auch oftmals als ein Hauptargument für eine

¹⁴ Für die Unterscheidung zwischen einem Produktions- (production) und einem Abhängigkeitskonzept (difference making) der Kausalität argumentiert insbesondere Hall (2004). Allerdings bezweifelt er, dass diese beiden gleichermaßen bedeutsamen Komponenten der Kausalität sich durch eine gemeinsame Kausalitätstheorie abdecken lassen und argumentiert daher für ein dualistisches Kausalitätsverständnis.

¹⁵ Für einen allgemeinen Überblick über die Rolle der Kausalität in der Physik siehe Frisch (2020).

mögliche Elimination der Kausalität aus der Physik und darüber hinaus aus allen empirischen Wissenschaften angeführt.¹⁶ Im Folgenden möchte ich diese den zugrundeliegenden symmetrischen Dynamiken vermeintlich widersprechenden Asymmetrien der Kausalität etwas genauer ins Auge fassen.

Die offensichtlichste Asymmetrie, die dem Konzept der Kausalität zugrunde liegt, ist die zeitliche Asymmetrie. Während die fundamentalen physikalischen Gesetze insbesondere in ihren Zeitvariablen symmetrisch sind und sich damit auch vergangene Zustände aus zukünftigen bestimmen lassen, implizieren Kausalbeziehungen eine zeitliche Richtung, insofern Ursachen ihren Wirkungen in der Regel zeitlich vorausgehen. Damit ist aber einerseits die Berechnung physikalischer Zustände durch physikalische Gesetze gleichermaßen von vergangenen wie von zukünftigen Zeitpunkten ausgehend möglich.¹⁷ Während andererseits in Kausalbeziehungen Ursachen ihren Wirkungen immer zeitlich vorgelagert sind, sodass sich von Ursachen nur auf zukünftige Wirkungen schließen lässt.

Allerdings zeigt sich, dass die zeitliche Asymmetrie selbst nicht das eigentliche Problem der Vereinbarkeit der Kausalität mit der Physik darstellt. Denn auch in der Physik wird die Auszeichnung einer zeitlichen Richtung gemeinhin angenommen. Diese Auszeichnung kann zwar nicht aufgrund der zugrundeliegenden fundamentalen symmetrischen Naturgesetze selbst erfolgen, sondern muss auf weitere Zusatzannahmen zurückgreifen; letztere sind jedoch mit den symmetrischen Dynamiken nicht prinzipiell unvereinbar.¹⁸ Damit zeigt sich aber, dass die Auszeichnung einer zeitlichen Richtung eine eigene Problematik darstellt, die sich unabhängig von der zeitlichen Asymmetrie der Kausalität stellt. Entsprechend wird die zeitliche Asymmetrie der Kausalität, also die Tatsache, dass Ursachen ihren Wirkungen zeitlich vorausgehen, in den meisten Kausalitätstheorien ebenfalls implizit oder explizit als theorieunabhängige Zusatzannahme angenommen. Folglich werde ich die Frage nach der zeitlichen

¹⁶ So etwa an prominentester Stelle von Mach (1883) und Russell (1912-1913). Für eine aktuelle Diskussion von Russells Argumenten siehe z. B. Field (2003) und Hitchcock (2007). Anders als der Eliminativismus der Jahrhundertwende verknüpfen zeitgenössische Ansätze wie von Norton (2007) und Elga (2007) die negative These, dass Kausalität kein fundamentales Konzept der Wissenschaften darstellt, mitunter mit der positiven These, dass Kausalität dennoch als ein von den fundamentalen wissenschaftlichen Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten abgeleitetes Konzept in gewissen Bereichen ein abgeleiteter objektiver Status zukommt. Für Cartwright (1979) führt die Unvereinbarkeit von fundamentaler Physik und Kausalität hingegen dazu, dass die fundamentale Physik unvollständig sein muss. Ney (2009) wiederum nimmt diesen Widerspruch zum Anlass für ein auf fundamentaler Ebene symmetrisches Kausalitätskonzept zu argumentieren.

¹⁷ In diesem Sinne schreibt Russell (1912-1913, 15): „the future ‚determines‘ the past in exactly the same sense in which the past ‚determines‘ the future“. Farr und Reutlinger (2013) machen dabei deutlich, dass die von Russell implizierte Zeitsymmetrie als bidirektionale nomologische Abhängigkeit und nicht als Zeitumkehrinvarianz verstanden werden muss.

¹⁸ So argumentiert bspw. Frisch (2012, 315-324 und 2014, Kap. 5), dass sich die symmetrischen Dynamiken mit asymmetrischen kausalen Modellen vereinbaren lassen. Demnach können wir neben den dynamischen Gleichungen kausale Repräsentationen als weiteren integralen Bestandteil physikalischer Theorien verstehen, sofern es gute Gründe für eine entsprechende Asymmetrie gibt.

Gerichtetheit der Kausalität im Rahmen dieser Arbeit auch nicht explizit zu beantworten versuchen.¹⁹

Unabhängig von dieser zeitlichen Asymmetrie stellt nun aber eine zunächst davon zu unterscheidende zweite Asymmetrie, die in der asymmetrischen Hervorbringung bzw. Abhängigkeit der Wirkungen durch bzw. von Ursachen besteht, das eigentlich genuin kausale Problem für die Vereinbarkeit der Kausalität mit der Physik dar. Denn diese im Folgenden als 'kausale Asymmetrie' bezeichnete zweite Asymmetrie, dass Ursachen ihre Wirkungen verursachen und nicht Wirkungen ihre Ursachen, steht nun im Widerspruch dazu, dass die fundamentalen physikalischen Gesetzmäßigkeiten als funktionale Abhängigkeiten in Form von Differenzialgleichungen formuliert werden können. Solche Gleichungen besitzen nämlich keine ausgezeichneten Eingabe- oder Ausgabevariablen, die durch die Gleichungen selbst und damit durch die physikalischen Gesetzmäßigkeiten als solche ausgezeichnet werden würden. Vielmehr lassen sich diese Gleichungen beliebig nach vermeintlichen Eingabevariablen umformen, sodass im Allgemeinen Eingabe- und Ausgabevariablen miteinander vertauschen (vgl. Russell 1912-1913, 13-14). Ein solches Auflösen von Gleichungen nach Eingabevariablen steht nun allerdings in einem scheinbaren Widerspruch zu einer asymmetrischen Verursachung von Wirkungen durch ihre Ursachen, also zu der Tatsache, dass Ursachen ihre Wirkungen hervorbringen bzw. Wirkungen von ihren Ursachen abhängen und nicht umgekehrt. Eine mit den Gesetzmäßigkeiten der Physik vereinbare Kausalitätstheorie muss es folglich schaffen zu zeigen, wie sich diese kausale Asymmetrie entweder trotz der beschriebenen Problematik mit den symmetrischen Gesetzmäßigkeiten der Physik vereinbaren lässt oder wie sie sich ansonsten auf die oben diskutierte zeitliche Asymmetrie zurückführen lässt.

b) Ermöglichung singulärer Kausalbeziehungen

Neben der Vereinbarkeit mit symmetrischen Naturgesetzen liegt das zweite Kriterium für Kausalitätstheorien in der Bedeutung singulärer Kausalbeziehungen begründet. Unter singulären

¹⁹ In der Literatur finden sich dabei verschiedene Antwortmöglichkeiten auf diese Frage. Zunächst legt Maudlin (2007) eine nicht weiter reduzierbare zeitliche Asymmetrie als intrinsische Eigenschaft der Raumzeit nahe (siehe auch Earman 1974). Darüber hinausgehend versuchen etwa Castagnino et al. (2003) diese intrinsische Eigenschaft der Raumzeit weiter darauf zurückzuführen, dass die Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen bei wenigen einfachen Grundannahmen zeitlich gerichtete Raumzeiten liefern (siehe auch Bartels & Wohlfahrt 2014a, b). Albert (2000) und Loewer (2007) hingegen versuchen die zeitliche Asymmetrie über explizite Annahmen über den Anfangszustand des Universums und daraus folgende weitere Asymmetrien zu beantworten (siehe auch Horwich 1987, Kap. 4). Price (1996, Kap. 6 & 7 und 2007) wiederum argumentiert, dass die zeitliche Asymmetrie allein der menschlichen Perspektive und der Tatsache, dass wir uns in einer bestimmten Region der Raumzeit befinden, geschuldet ist. Frisch (2012, 324-334 und 2014, Kap. 5) schließlich versucht die zeitliche Asymmetrie aus der explanatorischen und inferenziellen Praxis der Physik und einem entsprechend epistemologisch motivierten Prinzip der gemeinsamen Verursachung, das dieser Praxis zugrunde liegt, zu begründen (vgl. Abschn. 5.3.1). Für einen Überblick über die verschiedenen Ansätze siehe z. B. Bartels (2015, Kap. 4).

Kausalbeziehungen verstehe ich hierbei in Abgrenzung zu generellen Kausalbeziehungen, dass die Kausalbeziehungen bereits den einzelnen Ereignispaaren und nicht nur entsprechenden Paaren von Ereignisklassen, die neben den einzelnen Ereignissen eine Vielzahl weiterer gleicher Ereignisse umfassen, zukommen. Das entsprechende Kriterium für Kausalitätstheorien besteht nun darin, auch solche singulären Kausalbeziehungen zuzulassen bzw. zu charakterisieren.

Ähnlich wie für Wahrscheinlichkeiten legt dabei auch für Kausalbeziehungen bereits die formale Charakterisierung der Kausalität als gerichtete azyklische Graphen (DAGs) eine solche singuläre Interpretation der Kausalität nahe.²⁰ Dabei mag dieses Argument im Fall von Kausalbeziehungen auf den ersten Blick zirkulär erscheinen, da – anders als im Fall der Wahrscheinlichkeit – die Forderung, dass eine geeignete Formalisierung auch auf singuläre Kausalbeziehungen anwendbar sein muss, in Abschnitt 4.1.1 überhaupt erst zu der angegebenen Formalisierung führte. Nun zeigt sich aber, dass sich die formale Charakterisierung der Kausalität als DAGs überhaupt nur durch die Anwendbarkeit auf singuläre Kausalbeziehungen begründen lässt. Denn insbesondere lässt sich ohne einen Bezug auf singuläre Kausalbeziehungen nicht motivieren, wieso generelle Kausalbeziehungen zwischen Ereignistypen Schleifen und Zyklen ausschließen sollten, da Selbstregulierungen und Feedback-Mechanismen zwischen Ereignistypen durchaus denkbar sind. Damit ist aber auch der große Erfolg von DAGs hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit und der Ableitbarkeit mathematischer Theoreme nur für ein solches singuläres Kausalitätsverständnis erklärbar. Wenn also bereits dieser Erfolg allein für eine formale Charakterisierung der Kausalität durch DAGs spricht, so legt diese Formalisierung ebenfalls bereits eine singuläre Interpretierbarkeit der Kausalität nahe.²¹

Neben dem Argument der formalen Charakterisierung liegt aber auch für die Kausalität der Hauptgrund für eine Vorrangstellung singulärer Kausalbeziehungen vor allem in unserem Fragen nach konkreten Ursachen und Wirkungen im Einzelfall. Die Suche nach kausalen Erklärungen und Vorhersagen von Wirkungen einzelner Ereignisse deutet darauf hin, dass die Ursachen und Wirkungen von einzelnen Ereignissen bereits im Einzelfall vorliegen müssen. Beispielsweise wollen wir nicht nur wissen, worin generell die Ursache für zerbrechende Fensterscheiben liegt, sondern auch worin konkret die Ursache des Zerbrechens einer bestimmten einzelnen Fensterscheibe lag. Insbesondere vermuten wir auch dann, dass es eine Ursache für eine einzelne zerbrochene Fensterscheibe gibt, wenn es gar keine weiteren Ereignisse

²⁰ vgl. Abschn. 3.1.3 b)

²¹ Interessanterweise konzentriert sich die Literatur zur kausalen Modellierung trotz ihres Fokus auf die Modellierung genereller Kausalbeziehungen aufgrund des Erfolges von azyklischen Graphen von Anfang an fast ausschließlich auf solche DAGs (siehe Pearl (2009, Kap. 1.2 und 2.2) und Spirtes et al. (2000, Kap. 2.1 und 2.3)).

desselben Typs gibt, die als Relata einer generellen Kausalbeziehung fungieren könnten. Diese Intuition wird nicht zuletzt durch die Forderung gestützt, spezielle Kausalität mit den zugrundeliegenden symmetrischen Dynamiken in Einklang zu bringen. Insofern einem einzelnen Ereignispaar dieselben Dynamiken zugrunde liegen, die ihm auch als Teil einer bestimmten Referenzklasse von Ereignispaaren zugrunde gelegen wären, sollte es auch entsprechend unabhängig von einer solchen Referenzklasse kausal sein oder nicht. Wenn also bspw. das Werfen eines Steins auch nur ein einziges Mal in der Geschichte eines Universums durchgeführt wird und zum Zerschlagen einer Fensterscheibe führt, so legen dieselben zugrundeliegenden Dynamiken wie im Falle von Ereignispaaren, die Teil einer entsprechenden Referenzklasse sind, auch eine Kausalbeziehung in diesem einmaligen Vorgang nahe.

Insbesondere in historisch arbeitenden wissenschaftlichen Disziplinen lässt sich damit anders als bei einem ausschließlich generellen Kausalitätskonzept auch für Ereignisse, die durch ihre Einmaligkeit bzw. Nichtwiederholbarkeit gekennzeichnet sind, die Frage nach ihren Ursachen stellen. Durch ein solches singuläres Verständnis von Kausalbeziehungen lässt sich dabei auch einem weiteren im Rahmen des kausalen Eliminativismus vorgebrachten Argument begegnen. Dieses Argument besteht darin, dass das Universum nur einmal da sei und es folglich schon aufgrund fehlender Ereignisklassen keine Kausalbeziehungen geben könne.²² Kann Kausalität nun aber auch den einzelnen Ereignispaaren zukommen, so sind Kausalbeziehungen nicht länger davon abhängig, ob die entsprechenden Ereignisse auch ein weiteres Mal auftreten. Während ein vorrangig generelles Kausalitätskonzept es also in gewissen Fällen unmöglich macht von genereller und damit auch von singulärer Kausalität zu sprechen, lässt sich ein singuläres Kausalitätskonzept durch eine entsprechende Klassenbildung auf generelle Kausalbeziehungen ausweiten und so auch den generellen Kausalbeziehungen kausaler Gesetzmäßigkeiten Rechnung tragen.²³

c) Unterscheidung von Kausalität und Korrelation

Das dritte und letzte Kriterium für Theorien spezieller Kausalität besteht nun darin, dass sie es schaffen müssen, zwischen Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft und damit letztlich auch zwischen Kausalität und bloßer Korrelation zu unterscheiden. Denn lässt sich die Kausalbeziehung eines einzelnen Ereignispaars nicht von der bloßen raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehung der beiden Ereignisse unterscheiden, so lassen sich die entsprechenden generellen Kausalbeziehungen auch nicht von bloßen Korrelationsbeziehungen der entsprechenden

²² vgl. Mach (1883, 496) und Russell (1912-1913, 7-9)

²³ Für den Übergang von singulären zu generellen Kausalbeziehungen siehe Abschn. 4.3.2 c).

Ereignistypen unterscheiden. Insbesondere die von Nancy Cartwright (1979, 432-433) hervorgehobene Abgrenzung von effektiven und ineffektiven Strategien zeigt aber die Notwendigkeit eines solchen von bloßer Korrelation unabhängigen Kausalitätskonzepts. Schließlich würde durch die Gleichsetzung von Kausalität mit bloßer Korrelation Kausalität ihre erklärende und vorhersagende Bedeutung verlieren und für jede Art wissenschaftlichen Experimentierens nutzlos werden. Folglich lässt sich erst durch eine Abgrenzung von Kausalbeziehungen von bloßen raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehungen ein eigenständiges Konzept der Kausalität überhaupt rechtfertigen. Eine fehlende zielführende Unterscheidung von Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft ist dabei auch der Grund für zwei viel diskutierte Probleme von Kausalitätstheorien. Diese beiden Probleme möchte ich im Folgenden als Grundlage für die spätere Diskussion kurz einführen.

Zunächst müssen es Kausalitätstheorien schaffen, diejenigen Ereignisse als Ursachen zu identifizieren, die tatsächlich in Kausalbeziehungen stehen, ohne dabei auch weitere zeitlich vorgelagerte Ereignisse aufgrund bloßer statistischer Korrelation ebenso als Ursachen auszuzeichnen. Insbesondere die gemeinsame Verursachung von Ereignissen kann hierbei Probleme bereiten, wenn ein Ereignis A zwei Ereignisse B und C verursacht, die selbst in keiner Kausalbeziehung stehen. Bei einer fehlenden hinreichenden Abgrenzung von Kausalität und Korrelation kann so eine solche Situation zu einer fälschlichen Auszeichnung von aufgrund der gemeinsamen Ursache korrelierten Ereignissen als weiteren Ursachen führen, wie ich anhand eines Standardbeispiels veranschaulichen möchte.²⁴ Gewitter haben ihre Ursache in Tiefdruckgebieten. Bevor es aber zu regnen und zu stürmen beginnt, fällt aufgrund des fallenden Luftdrucks zunächst das Barometer. Die Ursache für das Gewitter selbst liegt aber zweifelsohne einzig und allein im Abfallen des Luftdrucks, obwohl das Barometer ebenso immer fällt, bevor es zu regnen beginnt. Eine fehlende Unterscheidung von Kausalität und Korrelation könnte folglich dazu führen, dass auch das mit dem Gewitter korrelierte Fallen des Barometers als eine weitere Ursache des Gewitters identifiziert werden könnte.

Ein zweites viel zitiertes Problem, das eng mit einer fehlenden hinreichenden Unterscheidung von Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft zusammenhängt, ist das Problem der frustrierten Ursachen.²⁵ Dabei bedeutet die Frustration von Ursachen, dass eine Ursache unwirksam bzw. ausgeschaltet wird, sodass die eigentliche Wirkung, die von der Ursache herbeigeführt worden wäre, nicht mehr auftritt. Eine zielführende Kausalitätstheorie

²⁴ Die in diesem Abschnitt aufgeführten Standardbeispiele finden eine so weite Rezeption in der Literatur zur Kausalität, dass eine genaue erste Zuschreibung oftmals schwierig ist. Entsprechend verzichte ich hier – wie weithin üblich – ebenso auf eine solche Zitation.

²⁵ Für verschiedene Fälle von Frustration anhand einer Vielzahl verschiedener paradigmatischer Beispiele (inklusive dem weiter unten angeführten) siehe z. B. Paul & Hall (2013, Kap. 3).

muss es in solchen Fällen schaffen diejenigen Ereignisse, die im vorliegenden Einzelfall tatsächlich noch wirken, von denjenigen, die aufgrund ihrer Frustration nicht mehr zum Zuge kommen und denen folglich im betrachteten Fall ein rein korrelativer Charakter zukommt, zu unterscheiden. Insbesondere in Fällen, wo andere Ereignisse oder gar die Frustration selbst dieselbe Wirkung herbeiführen, die die frustrierte Ursache ebenso herbeigeführt hätte, kann eine fehlende Unterscheidung von Kausalität und bloßer raumzeitlichen Nachbarschaft zu einer fälschlichen Auszeichnung der frustrierten Ursache als eigentlicher Ursache führen, da die frustrierte Ursache weiterhin mit der Wirkung korreliert ist.

Zur Veranschaulichung dieser Problematik möchte ich das Beispiel des doppelten Steinwurfs betrachten: Kurz nachdem ein erster Stein auf ein Fenster geworfen wird, wird ein zweiter Stein so geworfen, dass er noch vor dem ersten Stein am Fenster ankommt und die Fensterscheibe zerbricht. Zwar wäre, wenn der zweite Stein nicht geworfen worden wäre, die Fensterscheibe auch aufgrund des ersten Steinwurfs zerbrochen, dennoch ist es offensichtlich, dass die Ursache der zerbrochenen Fensterscheibe im zweiten und nicht im ersten Steinwurf liegt. Schaffen es Kausalitätstheorien nun nicht Kausalität hinreichend von bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft abzugrenzen, kann es sein, dass sie in dem beschriebenen Beispiel den ersten Steinwurf dennoch als Ursache auszeichnen, da auch ein frustrierter Steinwurf mit einer daraufhin zerbrechenden Fensterscheibe weiterhin raumzeitlich benachbart ist.

Wie diese beiden Problemfälle zeigen, muss eine zufriedenstellende Kausalitätstheorie es also schaffen, eine Verursachung von einer bloßen raumzeitlichen Nachbarschaft abzugrenzen. Diese Abgrenzung muss dabei unabhängig davon erfolgen, ob die Beziehung zwischen zwei Ereignissen eine allgemeine korrelative Beziehung wie im Fall der gemeinsamen Verursachung darstellt oder ob sie wie im Falle der Frustration von Ursachen nur im konkreten Einzelfall eine bloße raumzeitliche Nachbarschaftsbeziehung darstellt.

Diese drei Kriterien der Vereinbarkeit der kausalen Asymmetrie mit symmetrischen Gesetzmäßigkeiten, der Ermöglichung singulärer Kausalbeziehungen sowie der Unterscheidung von Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft sollen nun im nächsten Unterkapitel als allgemeiner Rahmen einer problemorientierten Diskussion verschiedener Theorien spezieller Kausalität dienen.

4.2 Darstellung zentraler Kausalitätstheorien

Nachdem ich im letzten Unterkapitel spezielle Kausalität allgemein charakterisiert und geeignete Kriterien für eine entsprechende Theorie angegeben habe, möchte ich in diesem Unterkapitel nun verschiedene Kausalitätstheorien systematisch einführen und ihre Eignung als Theorien spezieller Kausalität anhand der genannten Kriterien diskutieren. Diese Diskussion werde ich ausgehend von der Regularitätstheorie im Wesentlichen chronologisch anhand ausgewählter Vertreter führen und dabei zeigen, wie die jeweils neuen Theorien versuchen, Antworten auf die Probleme der je vorherrschenden Theorien zu geben.²⁶ Lediglich die Prozesstheorie, die ihre Anfänge bereits vor der Hochphase der interventionistischen Theorie hat, werde ich erst nach letzterer diskutieren, damit die Überlegungen zur Prozesstheorie so den Ausgangspunkt für eine im darauffolgenden Unterkapitel zu entwickelnde eigene Kausalitätstheorie bilden können.

Wie in der Wahrscheinlichkeitsliteratur lässt sich in der zeitgenössischen Kausalitätsliteratur ebenfalls ein erster gemeinsamer historischer Ausgangspunkt in Gestalt der Regularitätstheorie David Humes angeben (4.2.1). Die Regularitätstheorie führt Kausalität, wie ihr Name bereits verrät, auf bloße Regularitäten zurück. Eine vermeintliche Notwendigkeit, mit der Ursachen ihre Wirkungen hervorbringen, lässt sich hingegen auf die Gewöhnung des Geistes, bei wiederholten raumzeitlich benachbarten Ereignispaaren vom ersten Ereignis automatisch auf das zweite zu schließen, zurückführen. Wenngleich dadurch Kausalität ein über bloße Regularitäten hinausgehender ontologischer Status abgesprochen wird, werde ich die Regularitätstheorie Humes aufgrund ihrer zentralen Stellung in der Kausalitätsdebatte als eine mögliche Theorie von spezieller Kausalität dennoch mit berücksichtigen.

Als ersten genuin neuen Ansatz des 20. Jahrhunderts werde ich dann die in der Mitte des 20. Jahrhunderts vorherrschende probabilistische Theorie, die versucht Kausalität auf Wahrscheinlichkeiten zurückzuführen und in Patrick Suppes einen ihrer Hauptvertreter findet, diskutieren (4.2.2). Die probabilistische Theorie bestimmt dabei die Ursachen eines Ereignisses im Wesentlichen als diejenigen Ereignisse, die die Wahrscheinlichkeit des betrachteten Ereignisses erhöhen. Daran anschließend werde ich die kontrafaktische Theorie, die in den letzten beiden Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts die Kausalitätsdebatte zunehmend dominierte und eng mit dem Namen David Lewis' verbunden ist, einführen (4.2.3). Die kontrafaktische Theorie stellt die unterschiedsmachende Rolle von Ursachen in den Vordergrund und versucht Kausalität über kontrafaktische Konditionale zu bestimmen und so auch noch die letzten

²⁶ Für analoge Unterteilungen der zentralen Kausalitätstheorien mit ausführlicheren Diskussionen siehe z. B. den Sammelband von Beebe et al. (2009, Teil II) sowie Hüttemann (2013, Teil II). Darüber hinaus liefert bspw. Schaffer (2016) einen Überblick über die Metaphysik der Kausalität und ihre verschiedenen Theorien.

regularitätstheoretischen Probleme, die auch die probabilistische Theorie noch birgt, abzuschütteln. Als vierte mögliche Theorie spezieller Kausalität werde ich sodann als nächstes die interventionistische Theorie von James Woodward besprechen (4.2.4). Auf der Idee der kontrafaktischen Theorie aufbauend versucht die interventionistische Theorie Lewis' komplizierte Semantik kontrafaktischer Konditionale zu vermeiden, indem sie Kausalität über ein stärker an der wissenschaftlichen Praxis orientiertes formalisiertes Eingreifen bestimmt. Auch wenn die interventionistische Theorie dabei aufgrund des zugrundeliegenden Interventionsbegriffs scheinbar bereits kausales Vokabular voraussetzen muss, möchte ich sie aufgrund ihrer zentralen Rolle, die sie seit der Jahrtausendwende einnimmt, dennoch nicht unberücksichtigt lassen.

Im letzten Abschnitt dieses Unterkapitels werde ich schließlich noch die Prozesstheorien als bedeutendste Alternative zu den beiden zuvor diskutierten kontrafaktischen Ansätzen diskutieren (4.2.5). Dabei werde ich den Fokus insbesondere auf die Überlegungen von Phil Dowe und dem späten Wesley Salmon legen. Die Prozesstheorie hebt die Bedeutung kausaler Prozesse, die die Ursachen mit ihren Wirkungen verbinden, für die Charakterisierung von Kausalität hervor. Der vielversprechendste Ansatzpunkt, solche kausalen Prozesse auszuzeichnen, erfolgt dabei über Erhaltungsgrößen. Obwohl ein solcher Ansatzpunkt insbesondere für spezielle Kausalbeziehungen zu scheitern scheint, werde ich seine Grundidee aufgrund seiner Stärken hinsichtlich einer zielführenden Unterscheidung von Kausalität und Korrelation schließlich zur Grundlage der weiteren Überlegungen in Unterkapitel 4.3 nehmen.

4.2.1 Regularitätstheorie

Die bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts alles dominierende Kausalitätstheorie stellt die Regularitätstheorie dar, die in ihren Grundzügen bis auf David Hume (1739-1740, Teil III, Abschn. 14) zurückgeht.²⁷ Der Kerngedanke der Regularitätstheorie besteht darin, dass es eine wie auch immer geartete notwendige Verknüpfung zwischen Ursachen und Wirkungen nicht gibt und dass der Eindruck einer solchen Verknüpfung lediglich aus der regelmäßigen Abfolge von Ereignispaaren resultiert.²⁸ Damit findet aber die vermeintlich so zentrale Unterscheidung zwischen Kausalität und bloßer Korrelation keine ontologische Entsprechung, sodass sich Ursache-Wirkungs-Beziehungen folglich ontologisch vollständig auf Regularitäten reduzieren lassen.

²⁷ Weitere bedeutende Vertreter der Regularitätstheorie finden sich in John Stuart Mill (1872) und John L. Mackie (1980).

²⁸ Gerade die Skepsis gegenüber einer solchen Notwendigkeit als zentralem Bestandteil des Kausalitätsbegriffs der frühen Neuzeit stellte für Hume einen der Hauptgründe für die Leugnung einer ontologischen Auszeichnung der Kausalität, die über bloße Korrelationsbeziehungen hinausgeht, dar (vgl. Hüttemann 2013, 26-29).

Der Eindruck, dass Ursachen ihre Wirkungen notwendigerweise hervorbringen und sich entsprechend kausale Beziehungen durch eine vermeintlich kausale Kraft von rein regulatorischen Beziehungen abheben, entsteht demnach erst in unserem Geist. Erst die Gewohnheit des Geistes, im Falle regelmäßig raumzeitlich benachbarter und zeitlich geordneter Ereignispaare bereits beim Vorliegen des ersten Ereignisses zum zweiten überzugehen, lässt den Eindruck der Notwendigkeit entstehen. Ontologisch handelt es sich bei Kausalbeziehungen aber um nicht mehr als den diesem Eindruck zugrundeliegenden regelmäßig raumzeitlich benachbarten Ereignispaaren, bei denen der eine Ereignistyp immer dem anderen Ereignistyp zeitlich vorgelagert auftritt. Der Anschein einer vermeintlichen Sonderrolle von kausalen Regularitätsbeziehungen in Form einer kausalen Kraft, mit der die Ursachen ihre Wirkungen notwendigerweise hervorbringen, entsteht folglich gerade durch dieses wiederholte Auftreten solcher geordneter Paare selber Ereignistypen. Dementsprechend charakterisiert Hume eine Ursache auch wie folgt:

„An object precedent and contiguous to another, and where all the objects resembling the former are plac'd in like relations of precedency and contiguity to those objects, that resemble the latter.“ (Hume 1739-1740, Teil III, Abschn. 14)

Für das Beispiel einer durch einen geworfenen Stein zerbrechenden Fensterscheibe bedeutet dies, dass das Werfen des Steins und das Zerbrechen der Fensterscheibe nur insofern in einer kausalen Beziehung stehen, als die entsprechenden Ereignistypen in einer regelmäßigen Beziehung zueinander stehen.²⁹ Allein weil auf Fenster geworfene Bälle regelmäßig in raumzeitlicher Nähe zu zerbrechenden Fensterscheiben stehen und die Ballwürfe dabei immer den zerbrechenden Fensterscheiben zeitlich vorausgehen, liegt gemäß der Regularitätstheorie eine Ursache-Wirkungs-Beziehung vor. Im Folgenden möchte ich nun die offensichtlichsten Probleme einer solchen Regularitätstheorie vor dem Hintergrund der im letzten Unterkapitel eingeführten Kriterien diskutieren.

Kausale Asymmetrie

Dadurch dass die Regularitätstheorie Kausalität auf die Regularität raumzeitlich benachbarter und zeitlich geordneter Paare von Ereignissen zurückführt, stellt zunächst eine vermeintlich genuin kausale Asymmetrie kein Problem für die Regularitätstheorie dar. Eine über die zeitliche Gerichtetheit hinausgehende kausale Gerichtetheit gibt es schlicht nicht, insofern letztere

²⁹ Hume selbst spricht dabei genau genommen von Gegenständen (objects) als Ursachen und Wirkungen.

definitiv auf die zeitliche Gerichtetheit zurückgeführt wird. Weder bringen demnach Ursachen ihre Wirkungen auf gewisse Art hervor, noch hängen Wirkungen in irgendeiner Weise von ihren Ursachen ab, die eine zusätzliche ausgezeichnete Gerichtetheit von Kausalbeziehungen jenseits der zeitlichen implizieren würde. So wird bspw. das Werfen des Steins neben der regelmäßigen raumzeitlichen Nachbarschaft von Steinwürfen und zerbrechenden Fensterscheiben ausschließlich dadurch als Ursache der zerbrechenden Fensterscheibe ausgezeichnet, dass die Steinwürfe den zerbrechenden Fensterscheiben zeitlich vorgelagert sind. Jenseits dieser zeitlichen Ordnung bringt aber weder der Steinwurf die zerbrechende Fensterscheibe hervor, noch hängt die zerbrechende Fensterscheibe von dem geworfenen Stein ab. Insbesondere besitzt das Werfen des Steins bzw. der Stein selbst keine kausale Kraft, mit der er die zerbrechende Fensterscheibe notwendigerweise hervorbringt und die damit den Steinwurf als der zerbrechenden Fensterscheibe auch kausal vorausgehend auszeichnen würde.

Zwar wurde von den frühen Vertretern eines kausalen Eliminativismus, der sich seinerzeit gerade vor dem Hintergrund der Regularitätstheorie entwickelte, neben der vermeintlich kausalen Asymmetrie auch insbesondere die zeitliche Asymmetrie selbst als unphysikalisch kritisiert (vgl. Russell 1912-1913, 15). Allerdings habe ich bereits weiter oben argumentiert, dass die Idee einer zeitlichen Asymmetrie sich durchaus in der Physik selbst wiederfinden lässt und eine von der kausalen Asymmetrie unabhängige Problematik darstellt, die ich im Rahmen dieser Arbeit nicht zu beantworten suche.

Singuläre Kausalität

Problematischer stellt sich hingegen der ebenfalls im Rahmen des kausalen Eliminativismus gegen die Regularitätstheorie vorgebrachte Kritikpunkt dar, dass die Welt nur einmal da sei und sich entsprechend gar keine strikten Regularitäten in der Natur vorfinden lassen. Da ein einzelnes Ereignispaar selbst aber keine Regularitäten ausbilden kann, die zur Gewöhnung unseres Geistes führen könnten, setzt die Rückführung von Kausalität auf Regularitäten voraus, dass sich Ereignisse auch wiederholen können. Die Einmaligkeit der Welt lässt es aber fraglich erscheinen, ob sich ein bestimmtes Ereignis auch nur ein zweites Mal im Weltverlauf wiederfinden lässt. Die mögliche Lösung, statt exakt gleicher Ereignisse nur ähnliche Ereignisse zu betrachten, birgt hingegen die Gefahr, dass Kausalbeziehungen vom jeweils betrachteten Kontext abhängen. So führt die Anforderung an die Zugehörigkeit ähnlicher Ereignisse zu gemeinsamen Ereignistypen insbesondere zu Referenzklassenproblemen, wie ich sie bereits für den Frequentismus im letzten Kapitel ausführlich diskutiert habe.³⁰

³⁰ vgl. Abschn. 3.1.3 b) und 3.2.2

Selbst wenn es nun anders als im kausalen Eliminativismus behauptet, doch gelingen sollte erkenntnisunabhängige Ereignistypen zu bestimmen, bilden die Kausalbeziehungen der Regularitätstheorie damit ohne Frage zunächst generelle Kausalbeziehungen ab. Zwar lässt sich von solchen generellen Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu singulären Kausalbeziehungen einzelner Ereignispaare übergehen; allerdings erfolgt dies aufgrund fehlender Regularitäten im konkreten Einzelfall ausschließlich über diesen Umweg über generelle Kausalbeziehungen. Damit lässt sich aber bei singulären Kausalbeziehungen mit fehlenden vergleichbaren Ereignispaaren nicht mehr von Kausalität sprechen. Gemäß der Regularitätstheorie liegt so die Ursache für eine zerbrechende Fensterscheibe genau dann in einem geworfenen Stein, wenn geworfene Steine und zerbrechende Fensterscheiben in derselben zeitlichen Abfolge und in raumzeitlicher Nähe regelmäßig auftreten, d. h. wenn auf gegen Fenster geworfene Steine regelmäßig zerbrechende Scheiben folgen. Eine singuläre Kausalbeziehung zwischen einem einzelnen Steinwurf und einer einzelnen zerbrechenden Fensterscheibe kann folglich nur dann vorliegen, wenn es tatsächlich weitere solche Ereignispaare von Steinwürfen und zerbrechenden Fensterscheiben gibt. In einem Universum, in dem in der gesamten Geschichte dieses Universums nur ein einziges Mal ein Stein auf ein Fenster geworfen wird, könnte demnach aber das Werfen des Steins nicht die Ursache für das Zerbrechen der Fensterscheibe sein.

Das zentrale Problem solcher fehlenden Kausalbeziehungen im Einzelfall ist dabei, dass durch die Definition von Kausalität über Regularitäten die Kausalbeziehungen ihren genuin singulären Charakter verlieren. In der Regularitätstheorie bringt eben weder die singuläre Ursache in irgendeiner Weise ihre Wirkungen hervor noch hängt die singuläre Wirkung in irgendeiner Weise von ihren Ursachen ab. Die im Einzelfall vorliegenden Ursachen und Wirkungen bilden lediglich ein zeitlich geordnetes und raumzeitlich benachbartes Ereignispaar, das seinen kausalen Status erst durch das regelmäßige Auftreten dieses Paares erhält.

Kausalität vs. Korrelation

Während die Rückführung von Kausalbeziehungen auf Regularitäten die wahrscheinlich ontologisch sparsamste Möglichkeit darstellt, Kausalität nicht vollständig zu eliminieren, bildet der damit einhergehende Verlust des zentralen Unterschieds zwischen einer bloßen zeitlich geordneten, raumzeitlichen Nachbarschaft und einer tatsächlichen Kausalbeziehung zugleich den größten Kritikpunkt für die Regularitätstheorie. So führt die fehlende Spezifikation kausaler Regularitäten dazu, dass auch zufällige Regelmäßigkeiten als Kausalbeziehungen klassifiziert werden und somit eine Unterscheidung zwischen Kausalität und Korrelation unmöglich wird. Zwar gibt es bedeutende Versuche, diesem Problem durch eine Abgrenzung

kausaler Regularitäten von allgemeinen Regularitäten zu begegnen, allerdings bedienen sich diese Versuche zumeist modaler Komponenten, die der ursprünglichen Idee der Regularitätstheorie eigentlich entgegenstehen.³¹

Mit einer fehlenden Unterscheidung von Kausalität und Korrelation können aber auch die Fälle der gemeinsamen Verursachung und der Frustration nicht richtig klassifiziert werden. So wird erstens im Beispiel des Druckabfalls ein fallendes Barometer als Ursache eines aufziehenden Sturms ausgezeichnet, weil es Unwettern regelmäßig zeitlich vorausgeht. Zweitens wird im Beispiel des doppelten Steinwurfs fälschlicherweise auch der erste Steinwurf als Ursache für die zerbrochene Fensterscheibe eingeordnet, weil ein solcher Steinwurf ebenfalls regelmäßig zerbrechenden Fensterscheiben zeitlich vorausgeht. Da die Regularitätstheorie Kausalität ausschließlich auf Regularitäten zurückführt, kann sie folglich durch gemeinsame Ursachen auftretende Regelmäßigkeiten sowie trotz Frustration weiterhin bestehende Regelmäßigkeiten nicht als solche erkennen und interpretiert sie aufgrund der regulären Beziehung fälschlicherweise als Kausalbeziehungen.

4.2.2 Probabilistische Theorie

Aufgrund der Probleme der Regularitätstheorie und der zunehmenden Bedeutung von Wahrscheinlichkeiten in den empirischen Wissenschaften setzten sich schließlich zur Mitte des letzten Jahrhunderts vermehrt probabilistische Kausalitätstheorien durch. Während solche probabilistischen Theorien zwar auch weiterhin stark regularitätstheoretische Züge tragen, versuchen sie darüber hinaus das Besondere der Kausalität in bestimmten Wahrscheinlichkeitszusammenhängen zu finden. Entsprechend ist die Kernidee probabilistischer Kausalitätstheorien durch den Bezug auf bedingte Wahrscheinlichkeiten eine zielführende Abgrenzung von Kausalität und bloßer Korrelation zu erreichen. Konkret identifizieren probabilistische Theorien die Ursachen eines Ereignisses *B* als diejenigen Ereignisse *A*, die die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses *B* erhöhen. Im Unterschied zur Regularitätstheorie, in der Wahrscheinlichkeiten ebenso herangezogen werden können, um Kausalbeziehungen zu erkennen, lassen sich in der probabilistischen Theorie die Kausalbeziehungen nun auch ontologisch durch

³¹ So unterscheidet bspw. John Stuart Mill (1872, Buch 3, Kap. 5) gesetzmäßige von zufälligen Regularitäten. Dabei liegt Mills Naturgesetzbegriff allerdings eine Vorstellung von Notwendigkeit zu Grunde, die sich entsprechend auf Kausalbeziehungen überträgt (vgl. Psillos 2009, 139-144). Einen weiteren bedeutenden Versuch, kausale Regularitäten zu spezifizieren, liefert John L. Mackie (1965 und 1980, Kap. 3), indem er eine modale Charakterisierung von Ursachen als „insufficient but necessary part of a condition which is itself unnecessary but sufficient for the result“ vornimmt. Für Mackie (1980, ix-x/86-87) stellt diese Charakterisierung aber im Wesentlichen eine Antwort auf die Frage nach der Erkenntnis von Kausalbeziehungen dar, während singuläre Kausalbeziehungen ontologisch darüber hinaus durch eine nicht weiter spezifizierte Art der Übertragung gekennzeichnet sind.

Wahrscheinlichkeitsbeziehungen charakterisieren.

Federführend findet sich ein solches probabilistisches Kausalitätsverständnis in den Arbeiten Hans Reichenbachs (1956) und Patrick Suppes (1970).³² So charakterisiert bspw. Suppes Kausalbeziehungen wie folgt:

„one event is the cause of another if the appearance of the first event is followed with a high probability by the appearance of the second.“ (Suppes 1970, 10)

Die Erhöhung der Wahrscheinlichkeit der Wirkungen lässt sich dabei durch bedingte Wahrscheinlichkeiten beschreiben. Folglich ist gemäß Suppes (1970, 12) ein Ereignis A die Ursache eines weiteren Ereignisses B , wenn zum einen das Ereignis A dem Ereignis B zeitlich vorgelagert ist und zum anderen die durch das Ereignis A bedingte Wahrscheinlichkeit von B größer ist als die ursprüngliche, unbedingte Wahrscheinlichkeit von B (d. h. $P(B|A) > P(B)$).³³ Im Beispiel eines auf ein Fenster geworfenen Steins ist folglich das Werfen des Steins die Ursache der zerbrechenden Fensterscheibe, da es dem Zerschlagen der Fensterscheibe zeitlich vorgelagert ist und die Wahrscheinlichkeit, dass die Fensterscheibe zerbricht, erhöht. Die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass eine Fensterscheibe unter der Bedingung eines Steinwurfs zerbricht, ist also höher als die unbedingte Wahrscheinlichkeit, dass ein Fenster unabhängig von einem möglichen Steinwurf zerbricht.

Eine solche Charakterisierung von Ursachen ist nun aber im Hinblick auf eine zielführende Unterscheidung von Kausalität und Korrelation noch nicht hinreichend. Insbesondere bei einer gemeinsamen Verursachung mehrerer Ereignisse durch dasselbe Ereignis werden durch die angegebene Charakterisierung Wirkungen, die anderen Wirkungen zeitlich vorgelagert sind, fälschlicherweise als Ursachen charakterisiert. So erhöht bspw. das Fallen des Barometers die Wahrscheinlichkeit eines Gewitters und ist diesem zudem zeitlich vorgelagert. Gemäß der angegebenen Charakterisierung würde das Fallen des Barometers folglich eine Ursache für das Gewitter darstellen. Nach allgemeinem Verständnis liegt die Ursache des Gewitters aber nicht im fallenden Barometer, sondern ausschließlich im fallenden Luftdruck selbst. Das Problem besteht folglich darin, dass der fallende Luftdruck sowohl die Wahrscheinlichkeit, dass das Barometer fällt, als auch die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gewitter aufzieht, erhöht.

³² In der zeitgenössischen Kausalitätsliteratur verfolgt z. B. Glynn (2011) einen solchen probabilistischen Ansatz. Für einen Überblick über probabilistische Kausalitätstheorien siehe Williamson (2009) und Hitchcock (2018b).

³³ Aus Gründen der Einheitlichkeit sind hier die Rollen der Buchstaben A und B im Vergleich zu Suppes eigener Notation vertauscht.

Um diesem Problem der gemeinsamen Verursachung zu begegnen, fordert Suppes, dass die wahrscheinlichkeitserhöhende Beziehung zwischen Ursache und Wirkung gegenüber weiteren zwischengelagerten Ereignissen abgeschirmt werden muss:³⁴

„there is no third event that we can use to factor out the probability relationship between the first and second events“ (Suppes 1970, 10)

Insbesondere darf es nach Suppes (1970, 28) kein drittes Ereignis A' geben, das dem als Wirkung ausgemachten Ereignis B ebenfalls zeitlich vorgelagert ist und das bereits allein für die erhöhte Wahrscheinlichkeit des Ereignisses B unter der Bedingung des Ereignisses A verantwortlich ist (d.h. $P(B|A \wedge A') \neq P(B|A')$). Damit soll ausgeschlossen werden, dass die erhöhte Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses unter der Bedingung eines früheren Ereignisses ausschließlich auf ein drittes, den beiden Ereignissen zeitlich vorgelagertes Ereignis und damit also auf eine gemeinsame Ursache zurückzuführen ist. Für das Beispiel des Barometers bedeutet dies, dass das fallende Barometer zwar die Wahrscheinlichkeit eines Gewitters erhöht, allerdings diese erhöhte bedingte Wahrscheinlichkeit dieselbe gewesen wäre, wenn nur der Luftdruck unabhängig vom Barometer gefallen wäre. Folglich ist das fallende Barometer keine echte Ursache, da es die zusätzliche Abschirmbedingung hinsichtlich des fallenden Luftdrucks nicht erfüllt. Diese zusätzliche Bedingung ermöglicht also im Falle einer gemeinsamen Verursachung Kausalität von bloßer Korrelation zu unterscheiden. Ob dies allgemein der Fall ist und wie sich die probabilistische Theorie hinsichtlich der anderen Kriterien verhält, möchte ich nun im Folgenden untersuchen.

Kausale Asymmetrie

Grundsätzlich kommen als mögliche Grundlage probabilistischer Kausalitätstheorien alle in Unterkapitel 3.2 diskutierten Wahrscheinlichkeitsinterpretationen in Frage. Je nach Interpretation vererben sich damit zunächst auch die entsprechenden Probleme dieser Interpretationen auf eine probabilistische Kausalitätstheorie, sodass sich die Frage nach der Vereinbarkeit dieser Kausalitätstheorie mit den Gesetzmäßigkeiten der Physik teilweise auf die zugrundeliegende Wahrscheinlichkeitsinterpretation verlagert. Da die verschiedenen Wahrscheinlichkeitsinterpretationen nun selbst keine asymmetrische Struktur vorgeben, fordert die probabilistische Kausalitätstheorie zusätzlich zur Wahrscheinlichkeitserhöhung wie schon in der Regularitätstheorie explizit eine zeitliche Asymmetrie. Jenseits dieser explizit in die Definition eingehenden

³⁴ Die Idee der Abschirmung geht dabei auf Reichenbach (1956, 189) zurück.

zeitlichen Asymmetrie gibt es hingegen auch hier keine genuin kausale Asymmetrie. Die vermeintlich kausale Asymmetrie, dass Ursachen ihre Wirkungen hervorbringen bzw. Wirkungen von ihren Ursachen abhängen und nicht umgekehrt, wird also auch hier vollständig auf die zeitliche Asymmetrie, dass Ursachen ihren Wirkungen zeitlich vorausgehen, zurückgeführt.³⁵

Singuläre Kausalität

Was nun entscheidend von der zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeitsinterpretation abhängt, ist die Frage, ob eine probabilistische Kausalitätstheorie auch Kausalbeziehungen im Einzelfall abdecken kann. Denn nur wenn die zugrundeliegende Wahrscheinlichkeitsinterpretation selbst – etwa in Form von Propensitäten oder physischen Symmetrien – eine Interpretation von Wahrscheinlichkeiten im Einzelfall zulässt, lassen sich genuin singuläre Kausalbeziehungen prinzipiell abdecken. Wird Wahrscheinlichkeit hingegen wie in probabilistischen Kausalitätstheorien üblich frequentistisch interpretiert, überträgt sich die fehlende Interpretierbarkeit genuin singulärer Wahrscheinlichkeiten unmittelbar auf singuläre Kausalbeziehungen. Singuläre Kausalbeziehungen gibt es dann aber wie in der Regularitätstheorie nur unter Einbezug geeigneter Referenzklassen, die es überhaupt erst möglich machen, einzelnen Ereignissen Wahrscheinlichkeiten zuzuschreiben und damit ihre singulären Beziehungen als kausal zu charakterisieren.

Kausalität vs. Korrelation

Was schließlich die Unterscheidung von Kausalität und Korrelation anbelangt, habe ich bereits gezeigt, dass die probabilistische Theorie das Problem der gemeinsamen Verursachung dadurch zu beheben versucht, dass sie eine zusätzliche Abschirmbedingung einführt. Die Abschirmung von probabilistisch irrelevanten Ereignissen soll gerade vermeiden, dass Ereignisse aufgrund einer gemeinsamen Verursachung fälschlicherweise als Ursachen klassifiziert werden. Dass diese Abschirmbedingung allerdings nicht hinreichend ist, um allgemein Kausalität von bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft zielführend abzugrenzen, zeigt sich an der Frustration von Ursachen als dem zweiten Standardproblem in diesem Zusammenhang. Hier hilft die Abschirmbedingung nicht dabei, eine frustrierte Ursache als Ursache im Sinne der probabilistischen Theorie auszuschließen.

Im Beispiel des doppelten Steinwurfs geht der erste Steinwurf dem Zerschlagen der Fensterscheibe zeitlich voraus und erhöht zudem unabhängig von der zugrundeliegenden

³⁵ Was die Interpretation der zugrundeliegenden zeitlichen Asymmetrie wiederum anbelangt, ist es für eine probabilistische Kausalitätstheorie naheliegend zu versuchen, die zeitliche und die kausale Asymmetrie gemeinsam auf asymmetrische Wahrscheinlichkeitszusammenhänge zurückzuführen (vgl. Reichenbach 1956).

Wahrscheinlichkeitsinterpretation die Wahrscheinlichkeit für ein solches Ereignis. Daran ändert auch die zusätzliche Abschirmbedingung nichts. Die Wahrscheinlichkeit $P(B|A)$ für das Zerschlagen des Fensters (B) unter der Bedingung des ersten Wurfs (A) ist nicht gleich der Wahrscheinlichkeit $P(B|A \wedge A')$ für das Zerschlagen des Fensters (B) unter der Bedingung des ersten (A) und zweiten Wurfs (A'), da es bei zwei Steinwürfen wahrscheinlicher ist, dass ein Fenster zerbricht. Demnach wäre aber das Werfen des ersten Steins auch dann noch im Sinne der probabilistischen Theorie eine Ursache für das Zerschlagen der Fensterscheibe, wenn der erste Stein aufgrund des geworfenen zweiten Steins die Fensterscheibe gar nicht mehr zerbrechen kann. Das Beispiel verdeutlicht, dass auch eine probabilistische Interpretation der Kausalität es damit letztlich nicht schafft, Kausalbeziehungen hinreichend von bloßen raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehungen abzugrenzen.

4.2.3 Kontrafaktische Theorie

Um den Schwächen einer Gleichsetzung von Kausalität mit (probabilistischen) Regularitäten entgegenzuwirken, begründete David Lewis (1986b) ausgehend von der Tatsache, dass Ursachen in der Regel einen Unterschied für ihre Wirkungen machen, die kontrafaktische Kausalitätstheorie.³⁶ Die Kernidee der kontrafaktischen Theorie ist dabei, dass sich Kausalbeziehungen durch kontrafaktische Konditionalaussagen charakterisieren lassen und dass entsprechend eine geeignete Semantik für solche kontrafaktischen Konditionale eine Antwort auf die Frage nach der ontologischen Charakterisierung der Kausalität gleich mitliefert. Kontrafaktische Konditionalaussagen sind dabei Aussagen der Form „Wenn Ereignis A nicht stattgefunden hätte, hätte auch Ereignis B nicht stattgefunden“. Allgemein spielen solche kontrafaktischen Beziehungen eine zentrale Rolle bei der Feststellung von Kausalbeziehungen. Die kontrafaktische Theorie versucht nun aber durch die kontrafaktische Beziehung zwischen Ursache und Wirkung darüber hinausgehend, eine ontologische Charakterisierung der Kausalität zu liefern.

Eine geeignete Semantik für die kontrafaktischen Konditionale sieht Lewis (1986b, 163-165) nun in einer durch die Ähnlichkeit möglicher Welten charakterisierten kontrafaktischen Abhängigkeit. Dabei definiert Lewis die kontrafaktische Abhängigkeit zunächst

³⁶ Kontrafaktische Charakterisierungen der Kausalität sind dabei so alt wie die neuzeitliche Kausalitätsdebatte selbst. Bereits bei Hume (1748, Abschn. VII, Teil II) findet sich so eine kontrafaktische Definition der Kausalität, die der regularitätstheoretischen Definition vermeintlich gleichwertig ist: „we may define a cause to be an object, followed by another, and [...] where, if the first object had not been, the second never had existed“. Während die kontrafaktische Charakterisierung allerdings lange Zeit nahezu keine Rolle spielte, wurde sie schließlich durch die Arbeiten Lewis (1986b) zu einer eigenständigen Theorie ausgebaut, die die Kausalitätsdebatte des ausgehenden 20. Jahrhunderts maßgeblich dominierte. Für eine detailliertere Darstellung der kontrafaktischen Theorie unter Berücksichtigung ihrer historischen Entwicklung siehe z. B. Collins et al. (2004a) und Menzies & Beebe (2019).

allgemein als Beziehung zwischen zwei beliebigen Propositionen. Demnach ist ein Proposition b von einer weiteren Proposition a genau dann kontrafaktisch abhängig (in Zeichen: $a \square \rightarrow b$),³⁷ wenn es eine mögliche Welt W gibt, in der die Propositionen a und b gelten und die der aktuellen Welt ähnlicher ist als jede weitere mögliche Welt W' , in der die Proposition a , nicht aber die Proposition b gilt. Mit dieser Interpretation von kontrafaktischer Abhängigkeit lassen sich nun auch kausale Abhängigkeitsbeziehungen und damit wie gewünscht Ursache-Wirkungs-Beziehungen charakterisieren.

Zwei Ereignisse A und B heißen nun kausal abhängig, falls für die entsprechenden Propositionen a für „Ereignis A findet statt“ und b für „Ereignis B findet statt“ die beiden kontrafaktischen Implikationen (i) $a \square \rightarrow b$ und (ii) $\neg a \square \rightarrow \neg b$ gelten (Lewis 1986b, 166-167).³⁸ Gemäß der von Lewis gegebenen Definition der kontrafaktischen Abhängigkeit besagt damit zunächst die erste Implikation, dass es eine mögliche Welt W gibt, in der die Ereignisse A und B stattfinden und die der aktuellen Welt ähnlicher ist als jede Welt W' , in der nur Ereignis A stattfindet, nicht aber Ereignis B . Finden beide Ereignisse in der aktuellen Welt statt, ist diese Bedingung automatisch erfüllt, da die aktuelle Welt sich selbst ähnlicher ist als jede andere mögliche Welt W' . Im Beispiel der durch einen Stein zerbrechenden Fensterscheibe erfüllt die aktuelle Welt also bereits die Anforderung an eine möglichst ähnliche Welt, wenn die beiden Ereignisse des Werfens des Steins und des Zerbrechens der Fensterscheibe in unserer Welt tatsächlich stattgefunden haben.

Weiter besagt die zweite Implikation, dass es eine mögliche Welt W gibt, in der die Ereignisse A und B nicht stattfinden und die der aktuellen Welt ähnlicher ist als jede weitere mögliche Welt W' , in der Ereignis B stattfindet, nicht aber Ereignis A . Ist die erste Implikation erfüllt, folgt damit aus der zweiten Implikation, dass wenn Ereignis A nicht stattgefunden hätte, auch Ereignis B nicht stattgefunden hätte. Im Beispiel der durch einen Stein zerbrechenden Fensterscheibe wäre in jeder möglichen Welt, in der der Stein nicht geworfen worden wäre und die bis auf das Werfen des Steins unserer Welt maximal ähnlich ist, auch die Fensterscheibe nicht zerbrochen. Anders ausgedrückt lässt sich zu jeder möglichen Welt, in der der Stein nicht geworfen wurde, die Fensterscheibe aber trotzdem zerbrochen ist, eine zu unserer Welt ähnlichere Welt finden, in der der Stein ebenfalls nicht geworfen wurde, die Fensterscheibe aber noch ganz ist.

Gemäß der kontrafaktischen Theorie beschreibt die kausale Abhängigkeit zwischen zwei Ereignissen also eine kontrafaktische Abhängigkeit zwischen den entsprechenden

³⁷ Ich weiche hier aus Gründen der Einheitlichkeit von Lewis eigener Notation ab; insbesondere benutzt Lewis im Unterschied zur obigen Darstellung Großbuchstaben für Propositionen und Kleinbuchstaben für Ereignisse.

³⁸ Lewis selbst notiert die zu einem Ereignis c gehörige Proposition „ c findet statt“ mit $O(c)$.

Propositionen, sodass zwei tatsächlich auftretende Ereignisse genau dann kausal voneinander abhängig sind, wenn das Ausbleiben des ersten Ereignisses zum Ausbleiben des zweiten Ereignisses geführt hätte:

„But if c and e are actual events, then it is the first counterfactual that is automatically true. Then e depends causally on c iff, if c had not been, e never had existed.“ (Lewis 1986b, 167)

Mit der Definition der kausalen Abhängigkeit lassen sich schließlich auch noch Ursachen charakterisieren. Eine Ursache eines Ereignisses B ist demnach ein Ereignis A , das mit dem Ereignis B über eine endliche Abfolge von Ereignissen so verbunden ist, dass jedes Ereignis jeweils von seinem unmittelbaren Vorgänger gemäß obiger Definition kausal abhängt.³⁹

Schließlich gilt es aufgrund des Bezugs auf die Ähnlichkeit möglicher Welten noch zu spezifizieren, welche möglichen Welten einander ähnlicher sind als andere. Lewis (1986c, 43-48) gibt hierzu eine konkrete Hierarchie von Ähnlichkeitskriterien an. Demnach sind solche möglichen Welten der aktualen Welt am ähnlichsten, die an erster Stelle keine Naturgesetze der aktualen Welt grob verletzen (1), die darüber hinaus einen möglichst große raumzeitliche Übereinstimmung mit der aktualen Welt haben (2), die weiterhin auch keine kleineren Verletzungen von Naturgesetzen mit sich bringen (3), und die schließlich auch in einzelnen Sachverhalten mit der aktualen Welt übereinstimmen (4).⁴⁰ Trotz eines solchen Kriterienkatalogs bleiben aber, wie sich in der folgenden Diskussion der angegebenen Kriterien zeigen wird, dennoch zentrale Probleme eines Abgleichs möglicher Welten bestehen.⁴¹

Kausale Asymmetrie

Grundsätzlich stellt die Definition der kontrafaktischen und damit der kausalen Abhängigkeit über die Ähnlichkeit möglicher Welten eines der Hauptprobleme der kontrafaktischen Theorie dar. Insbesondere die Vagheit dieser Ähnlichkeitsrelation lässt es fraglich erscheinen, ob ein solcher Abgleich möglicher Welten objektiv möglich ist. So ist es – ohne hier ins Detail zu gehen – weder gegeben, dass sich vor dem Hintergrund der angegebenen (wie auch sonstiger) Kriterien alle möglichen Welten überhaupt miteinander vergleichen lassen, noch dass dieser

³⁹ Die Tatsache, dass Lewis (1986b, 167) nicht einfach kausale Abhängigkeit mit Kausalität gleichsetzt, hat mit seiner Vorstellung zu tun, dass Kausalität anders als kausale Abhängigkeit eine transitive Relation ist. Für eine ausführliche Diskussion einer möglichen Transitivität der Kausalität siehe z. B. Paul & Hall (2013, Kap. 5).

⁴⁰ Lewis (1986c, 48-49) selbst spricht bei Abweichungen von Naturgesetzen auch von Wundern (*miracles*).

⁴¹ Für ähnliche Diskussionen der kontrafaktischen Theorie und ihrer Probleme siehe z.B. Hüttemann (2013, Kap. 6) und Menzies & Beebe (2019).

Vergleich eine eindeutige Ordnung liefert. Diese grundsätzliche Problematik überträgt sich nun unter anderem auch auf die Frage nach der kausalen Asymmetrie, insofern Lewis (1986c, 32-35/38) diese auf die Zeitasymmetrie der kontrafaktischen Abhängigkeit und damit letztlich wiederum auf die Ähnlichkeit möglicher Welten zurückzuführen versucht. So führen nach Lewis (1986c, 48-49) einerseits kleine Abweichungen von der aktuellen Welt im Zeitverlauf zu sehr unähnlichen Welten; andererseits bedarf es zugleich großer Abweichungen von dem eigentlichen Verlauf einer möglichen Welt, um im Zeitverlauf nach einer kleinen Abweichung von der aktuellen Welt dieser wieder ähnlicher zu werden. Demzufolge wären in der Zeit rückwärts gerichtete kontrafaktische Konditionale der Form „Wenn das spätere Ereignis *B* nicht stattgefunden hätte, dann hätte auch das frühere Ereignis *A* nicht stattgefunden.“ schlichtweg falsch.⁴²

Diese Überlegungen lassen sich am Beispiel des auf die Fensterscheibe geworfenen Steins, in dem in der aktuellen Welt sowohl der Stein geworfen wird als auch die Fensterscheibe zu Bruch geht, verdeutlichen. Wenn nun die Scheibe nicht zerbrochen wäre, dann würde es eine größere Abweichung von der aktuellen Welt bedeuten, wenn auch der Stein nicht geworfen worden wäre, als wenn nur die Fensterscheibe nicht zu Bruch gegangen wäre, der Stein aber trotzdem geworfen worden wäre. Denn gemäß obigen Annahmen würde die kleine Veränderung in Form eines ausbleibenden Steinwurfs zunächst zu einem komplett anderen Weltverlauf führen, in dem nicht nur die Fensterscheibe nicht zerbricht, sondern auch viele andere Ereignisse ausbleiben bzw. eintreten würden. Damit bedürfte es dann aber großer Abweichungen von diesem neuen Weltverlauf, um alle neu ausbleibenden bzw. eintretenden Ereignisse wieder zu kompensieren und zum ursprünglichen Weltverlauf zurückzukehren. Folglich gibt es zu unserer Welt ähnlichere Welten, in denen die Scheibe nicht zerbrochen ist, der Stein aber trotzdem geworfen wurde, sodass folglich das Werfen des Steins nicht kontrafaktisch vom Zerschlagen der Fensterscheibe abhängt.

Singuläre Kausalität

Was nun die kontrafaktische Theorie von regularitätstheoretischen bzw. von frequentistisch interpretierten probabilistischen Ansätzen wesentlich unterscheidet, ist, dass sie erstmals echte singuläre Kausalbeziehungen ohne den Umweg über generelle Kausalbeziehungen ermöglicht.

⁴² Die Vereinbarkeit einer solchen Zeitasymmetrie der kontrafaktischen Abhängigkeit mit den symmetrischen Gesetzmäßigkeiten der Physik, die auf den ersten Blick ebenso symmetrische Weltverläufe und Abweichungen zu implizieren scheinen, versuchen insbesondere Albert (2000, Kap. 6) und Loewer (2007) durch Annahmen über den Anfangszustand des Universums zu beantworten, der eine solche kontrafaktische Asymmetrie womöglich impliziert (siehe auch Kutach 2007). Für eine Diskussion dieser Ansätze siehe z. B. Blanchard (2016), Frisch (2007 und 2014, Kap. 8) und Price & Weslake (2009).

Dies ist allerdings nur so lange zutreffend, wie die Semantik der kontrafaktischen Konditionale nicht selbst mittels Regularitäten bzw. Häufigkeiten spezifiziert wird. Eine Interpretation kontrafaktischer Konditionale über die Ähnlichkeit möglicher Welten, wie sie Lewis vorschlägt, scheint diesem Anspruch grundsätzlich gerecht zu werden. Insofern nun aber in der kontrafaktischen Theorie die Abhängigkeit von Referenzklassen durch einen Bezug auf mögliche Welten ersetzt wird, sind Kausalbeziehungen auch weiterhin von weiteren nicht-aktualen Beziehungen abhängig. Damit stellt sich aber die Frage, wieviel durch solche singulären Kausalbeziehungen überhaupt gewonnen ist, wenn diese nur durch den Bezug auf eine Vielzahl möglicher Welten ermöglicht werden. Denn in gewissem Sinne verlagern sich so die Probleme und Vagheiten der Referenzklassenbildung der regularitätstheoretischen und probabilistischen Ansätze lediglich auf die Probleme und Vagheiten einer Hierarchisierung möglicher Welten entlang ihrer Ähnlichkeit. Insbesondere vor dem Hintergrund eines empirischen Grundverständnisses von Kausalität als einer durch die Erfahrung zugänglichen Beziehung zwischen aktuellen Ereignissen scheint damit aber sogar wieder ein Bezug auf die Regularitäten und Häufigkeiten der aktuellen Welt weniger problematisch.

Kausalität vs. Korrelation

Der große Vorteil der kontrafaktischen Theorie gegenüber den Regularitäts- und probabilistischen Theorien wird schließlich zumeist darin gesehen, dass durch die Rückführung der kausalen auf die kontrafaktische Abhängigkeit eine tatsächliche Abgrenzung von Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft gelingen kann.⁴³ Der Unterschied der Kausalität zu einer bloßen raumzeitlichen Nachbarschaft besteht demnach in der kontrafaktischen Abhängigkeit von Ursache und Wirkung, die sich wiederum durch die Ähnlichkeit möglicher Welten bestimmen lässt. Damit dadurch aber Kausalität tatsächlich zirkelfrei auf Kontrafaktizität reduziert wird, ist es notwendig, dass die Charakterisierung der Ähnlichkeit möglicher Welten nicht selbst bereits voraussetzt, welche Beziehungen kausaler und welche bloß korrelativer Natur sind. Eine kontrafaktische Analyse, die die Kausalbeziehungen der aktuellen Welt voraussetzt, würde hingegen ins Leere laufen.

Sofern die Charakterisierung der Ähnlichkeit möglicher Welten tatsächlich ohne Rückgriff auf die zu bestimmenden Kausalbeziehungen erfolgt, lässt sich sodann auch das Problem der gemeinsamen Verursachung beheben. Denn wäre im Beispiel eines aufziehenden Gewitters das

⁴³ Als weiterer vermeintlich wichtiger Vorteil der kontrafaktischen Theorie wird dabei oftmals auch aufgeführt, dass die kontrafaktischen Konditionale darüber hinaus keinen Unterschied zu Verursachungen durch bzw. von ausbleibenden Ereignissen machen. Die damit verbundene Problematik der negativen Kausalität werde ich noch gesondert in Abschn. 4.3.2 c) diskutieren.

Barometer nicht gefallen, so wäre in einer zur aktuellen Welt möglichst ähnlichen Welt aufgrund gleicher Naturgesetze und weitestgehender raumzeitlicher Übereinstimmung der Luftdruck dennoch abgefallen und folglich auch ein Gewitter aufgezogen. Nach dieser kontrafaktischen Analyse kann der Abfall des Barometers also nicht die Ursache des aufziehenden Sturms gewesen sein.

Beim Problem der Frustration erfolgt die Unterscheidung zwischen kausalen Beziehungen und bloßen raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehungen hingegen weniger unmittelbar. So war im Beispiel des doppelten Steinwurfs das Werfen des zweiten Steins die Ursache für die zerbrechende Fensterscheibe. Eine kontrafaktische Analyse ergibt nun allerdings auf den ersten Blick, dass wenn der zweite Stein nicht geworfen worden wäre, die Fensterscheibe durch das Werfen des ersten Steins trotzdem zerbrochen wäre. Nach einer solchen naiven kontrafaktischen Analyse könnte damit aber der zweite Steinwurf nicht die Ursache der zerbrechenden Fensterscheibe sein. Das Problem liegt dabei darin, dass die kontrafaktische Annahme der Abwesenheit der tatsächlichen Ursache nicht zum Ausbleiben der Wirkung in den ähnlichsten möglichen Welten führt, da die in der aktuellen Welt nicht zum Zuge gekommenen, frustrierten Ursachen aufgrund der Ähnlichkeit der betrachteten möglichen Welten in diesen doch noch zum Zuge kommen. Ohne an dieser Stelle auf die genauen Details einzugehen, sei dabei darauf verwiesen, dass Lewis (1986b, 171-172) selbst dieses Problem einer naiven kontrafaktischen Analyse durch die Betrachtung zwischengelagerter Ereignisse und der bereits diskutierten Zeitasymmetrie der kontrafaktischen Abhängigkeit zu beheben versucht.⁴⁴

4.2.4 Interventionistische Theorie

An die Idee von Kontrafaktizität als dem zentralen Charakteristikum von Kausalität schließt nun als Nächstes auch die interventionistische Theorie als weitere bedeutende Kausalitätstheorie an. Allerdings bestimmt sie diese – anders als die kontrafaktische Theorie Lewis' – über ein mögliches Eingreifen in Kausalbeziehungen und damit über einen der Hauptbeweggründe für die Frage nach Ursachen überhaupt. Dadurch versucht der interventionistische Ansatz gleichermaßen die stark spekulative Komponente der Lewisschen Semantik kontrafaktischer

⁴⁴ Konkret gibt es laut Lewis zwischen der eigentlichen Ursache und der Wirkung immer ein letztes zwischengelagertes Ereignis, von dem die Wirkung kontrafaktisch abhängt. Wäre dieses letzte zwischengelagerte Ereignis nicht aufgetreten, so wäre zwar einerseits auch die Wirkung nicht aufgetreten, allerdings wäre andererseits aufgrund der Zeitasymmetrie der kontrafaktischen Abhängigkeit das ursprünglich ursächliche Ereignis trotzdem aufgetreten. Die ursprüngliche Ursache hätte so zwar nicht das letzte zwischengelagerte Ereignis und damit die Wirkung hervorgebracht, hätte aber dennoch auch weiterhin verhindert, dass die ursprünglich frustrierte Ursache die Wirkung anstatt ihrer hervorbringt. Wenn folglich das letzte zwischengelagerte Ereignis nicht aufgetreten wäre, wäre auch die Wirkung tatsächlich nicht aufgetreten, sodass aufgrund der Transitivität der kausalen Abhängigkeit, die eigentliche Ursache auch gemäß der kontrafaktischen Theorie die Ursache ist.

Konditionale hinter sich zu lassen sowie die Praxis der empirischen Wissenschaften, in der tatsächliche und hypothetische Interventionen eine zentrale Rolle bei der Feststellung von Kausalbeziehungen spielen, stärker zu berücksichtigen. Während eine mögliche Intervenierbarkeit auch für andere Kausalitätstheorien ein wichtiges Kriterium darstellt, um das Vorliegen von Kausalbeziehungen nachzuprüfen, bildet dieses Kriterium für die interventionistische Theorie folglich zugleich das zentrale Charakteristikum der Kausalbeziehungen selbst. Der interventionistische Ansatz erfreut sich dabei vor allem in jüngster Zeit maßgeblich bedingt durch die Arbeiten James Woodwards (2003, 2007) einer großen Beliebtheit in der philosophischen Kausalitätsdebatte.⁴⁵

Gemäß der interventionistischen Theorie ist ein Ereignis A die Ursache eines weiteren Ereignisses B genau dann, wenn durch das Herbeiführen des Ereignisses A durch eine mögliche Intervention I auch das Ereignis B herbeigeführt würde. Das Werfen eines Steins wäre demnach bspw. deshalb eine Ursache für das Zerschlagen einer Fensterscheibe, da eine Intervention, die dazu führt, dass der Stein geworfen oder nicht geworfen wird, darüber entscheidet, ob die Scheibe zerbricht oder nicht. So hat etwa einerseits eine Intervention auf eine Wurfvorrichtung, die den Steinwurf auslöst, das Zerschlagen der Fensterscheibe zur Folge, andererseits eine Intervention, die das Auslösen des Steinwurfs verhindert, hingegen das gegenteilige Ergebnis zur Folge.

Interventionistische Theorien selbst handeln dabei aufgrund ihres Fokus auf die kausale Modellierung weniger von Interventionen auf Ereignisse als von Interventionen auf Variablen, die ihre Variablenwerte ändern. Die Variablenwerte, die diese Variablen annehmen, lassen sich aber als entsprechende Ereignisse interpretieren.⁴⁶ Demnach ist eine Variable X genau dann eine Ursache einer Variable Y , wenn eine durch eine Intervention I herbeigeführte Veränderung von X eine Veränderung von Y zur Folge hat:⁴⁷

⁴⁵ Vergleichbare interventionistische Interpretationsansätze finden sich insbesondere auch in der Literatur zur kausalen Modellierung, an die Woodward selbst auch anknüpft (siehe z. B. Pearl 2009).

⁴⁶ In diesem Abschnitt werde ich der Literatur der kausalen Modellierung folgend Variablen mit den Großbuchstaben X und Y , Interventionen mit dem Großbuchstaben I und einzelne Variablenwerte mit entsprechenden Kleinbuchstaben bezeichnen. Genau genommen entspricht dann ein Ereignis einer Variable X mit einem bestimmten Variablenwert x (d. h. $X = x$) und stellt auch dann zunächst nur einen Ereignistyp dar (nämlich den Typ der Ereignisse, in denen die Variable X den Wert x annimmt).

⁴⁷ Für Woodward sind dabei die betrachteten Ursachen- und Wirkungsvariablen immer relativ zu einer Variablenmenge V , die den Hintergrundkontext abbildet, zu verstehen. Vor dem Hintergrund solcher Variablenmengen unterscheidet Woodward (2003, Abschn. 2.3) auch weiter zwischen direkten und beitragenden Ursachen: „A necessary and sufficient condition for X to be a direct cause of Y with respect to some variable set V is that there be a possible intervention on X that will change Y (or the probability distribution of Y) when all other variables in V besides X and Y are held fixed at some value by interventions“ (Woodward 2003, 55).

„ X is a total cause of Y if and only if under an intervention that changes the value of X (with no other intervention occurring) there is an associated change in the value of Y .“ (Woodward 2007, 73)

Dementsprechend lässt sich auch das Beispiel der durch einen geworfenen Stein zerbrechenden Fensterscheibe durch zwei zweiwertige Variablen modellieren. Zunächst ist X die Variable, die das Werfen des Steins beschreibt, diese nimmt den Wert 1 an, wenn der Stein geworfen wird, und den Wert 0, wenn der Stein nicht geworfen wird. Weiter beschreibt die Variable Y das Zerbrechen der Fensterscheibe, diese kann ebenfalls die Werte 1 oder 0 annehmen, je nachdem ob die Scheibe zerbricht oder nicht. Eine Intervention I auf die Variable X , die dazu führt, dass X den Wert von 0 zu 1 (bzw. umgekehrt von 1 zu 0) ändert, hat dabei zur Folge, dass auch die Variable Y den Wert von 0 zu 1 (bzw. umgekehrt von 1 zu 0) ändert. Entsprechend wäre X die Ursache von Y und damit das Werfen des Steins ($X = 1$) die Ursache der zerbrechenden Fensterscheibe ($Y = 1$).

Um den Vagheiten eines alltäglichen Interventionsbegriffs und seiner Abhängigkeit von tatsächlichen menschlichen Eingriffen zu begegnen, versucht Woodward (2003, Abschn. 3.1) dabei den Interventionsbegriff objektiv zu spezifizieren.⁴⁸ Eine Intervention I auf eine Variable X bzgl. einer zweiten Variable Y verursacht demnach eine Veränderung von X , sodass jede Veränderung von Y ausschließlich die Folge der durch I verursachten Veränderung von X ist. Dazu muss unter anderem sichergestellt werden, dass die Intervention I die Veränderung von X herbeiführt und weitere mögliche Interventionen I' , die dieselbe Veränderung von X herbeiführen könnten, durch die Experimentiersituation ausgeschlossen sind. Außerdem darf die Intervention I nicht auf Variablen, die der Variable X zeitlich nachgelagert sind und die ebenso die Veränderung von Y hervorbringen könnten, wirken und auch nicht die Veränderung von Y direkt hervorbringen. Wird bspw. die Variable X im obigen Beispiel durch eine Intervention auf 0 gesetzt und damit verhindert, dass der Stein geworfen wird, darf die Variable X durch eine weitere Intervention I' nicht doch noch auf 1 gesetzt und der Stein somit nicht doch noch geworfen werden. Außerdem darf eine Intervention auf X , die dazu führt, dass der Stein geworfen bzw. X auf 1 gesetzt wird, nicht selbst direkt dazu führen, dass die Fensterscheibe zerbricht bzw. Y auf 1 gesetzt wird.

Eine solches interventionistisches Kausalitätsverständnis liefert nun allerdings zunächst nur generelle Kausalbeziehungen zwischen zwei Variablen X und Y . Für eine Antwort auf die

⁴⁸ Eine Rückführung von Kausalität auf Eingriffe im Sinne menschlicher Handlungen verfolgen hingegen bspw. von Wright (1974, Kap. 2) und Menzies & Price (1993). Für eine Diskussion der Probleme dieser Theorien und ihrer Weiterentwicklung in der interventionistischen Theorie siehe z. B. Woodward (2016).

Frage, was bei einer möglichen Intervention im konkreten Einzelfall passiert wäre, bedarf es hingegen wiederum der Hilfe kontrafaktischer Konditionale. Denn nach Woodward (2003, Abschn. 2.7) ist der Wert x einer Variable X in einem konkret vorliegenden Einzelfall die Ursache eines konkreten Wertes y einer Variable Y , falls X die generelle Ursache von Y ist.⁴⁹ Dieser Bezug auf generelle Ursache-Wirkungs-Beziehungen bedeutet nun aber nichts anderes, als dass ein kontrafaktischer Zusammenhang zwischen den Variablenwerten x und y bzw. den entsprechenden Ereignissen hergestellt wird: Wäre auf die Variable X mit konkretem Variablenwert x interveniert worden, hätte die Variable Y im betrachteten Einzelfall einen anderen Variablenwert als y angenommen. Oder anders ausgedrückt: Wäre ein entsprechendes Ereignis A (bzw. $X = x$) aufgrund der Intervention I nicht eingetreten, so wäre auch das Ereignis B (bzw. $Y = y$) nicht eingetreten. Durch diesen kontrafaktischen Bezug treten nun allerdings auch einige altbekannte Probleme der kontrafaktischen Theorie erneut in Erscheinung, wie ich in der nun folgenden Diskussion zeigen möchte.

Kausale Asymmetrie

Anders als die kontrafaktische Theorie der Kausalität interpretiert die interventionistische Theorie ihre kontrafaktischen Konditionale über generelle Interventionsbeziehungen. Die Tatsache, dass solche Interventionsbeziehungen die wissenschaftliche Praxis relativ gut widerspiegeln, bedeutet dabei aber nicht, dass eine solche Theorie auch unmittelbar eine zufriedenstellende ontologische Charakterisierung der Kausalität liefert. Insbesondere würde eine ontologische Interpretation der interventionistischen Theorie ein instrumentalistisches Verständnis wissenschaftlicher Theorien nahelegen. Woodward (2003, Abschn. 1.2 und 2007, 98-102) ist sich dessen durchaus bewusst und betont daher selbst, dass die interventionistische Theorie vordergründig epistemologische Fragestellungen der Kausalität zu beantworten sucht.⁵⁰ Gemäß einer solchen epistemologischen Lesart ist die interventionistische Theorie auch problemlos mit den symmetrischen Naturgesetzen der Physik vereinbar und liefert zudem mit der Asymmetrie von Interventionen eine Erklärung für die Asymmetrie der Kausalrelation. Die kausale Asymmetrie liegt demnach im Kern darin begründet, dass Interventionen als abstrahierte menschliche Eingriffe wie alle menschlichen Handlungen einer zeitlichen Gerichtetheit unterliegen.⁵¹

⁴⁹ Für die Diskussion singulärer Kausalität vor dem Hintergrund der Ansätze der kausalen Modellierung siehe auch Halpern & Pearl (2005) und Halpern (2016).

⁵⁰ Strevens (2008, 182-185) kritisiert an dieser Einordnung, dass Woodwards interventionistischer Ansatz sehr wohl ontologische Ansprüche stellt. Insbesondere entwirft Woodward bspw. seine Theorie als Alternative zu kontrafaktischen und handlungstheoretischen Ansätzen.

⁵¹ Interventionistische Ansätze gehen dabei oftmals mit einem neorussellschen kausalen Antifundamentalismus einher, gemäß dem Kausalität ausschließlich eine Bedeutung als abgeleitetes Konzept der speziellen Wissenschaften zukommt.

Singuläre Kausalität

Während nun der Verzicht auf eine Semantik möglicher Welten einer möglichen kontrafaktischen Charakterisierung der Kausalität ihre spekulative Komponente nimmt, ergeben sich durch den Bezug auf Variablen und Interventionen auch neue Probleme. Denn anders als die kontrafaktische Theorie der Kausalität liefert die interventionistische Theorie durch diesen Bezug in erster Linie eine Charakterisierung genereller Kausalität. Schließlich bilden die Beziehungen zwischen den Variablen an erster Stelle generelle Kausalbeziehungen ab. Singuläre Kausalbeziehungen erhalten hingegen erst durch den kontrafaktischen Bezug auf diese generellen Kausalbeziehungen und damit durch den Bezug auf kontrafaktische Interventionen eine entsprechende Bedeutung. Durch einen solchen Rückgriff auf generelle Kausalbeziehungen treten nun aber die bereits diskutierten Probleme der regularitätstheoretischen und frequentistisch interpretierten probabilistischen Ansätze von Neuem in Erscheinung. Die singulären Kausalbeziehungen ergeben sich zwar anders als in diesen Ansätzen nicht aufgrund ihrer Zugehörigkeit zu einer regelmäßigen bzw. statistischen Beziehung zwischen verschiedenen Ereignisklassen, sondern aufgrund bestehender genereller Interventionsbeziehungen zwischen Variablen. Dies ändert allerdings nichts daran, dass sich auch für diese generellen Interventionsbeziehungen die aus den regularitätstheoretischen Ansätzen bekannten Referenzklassenprobleme implizit bei der Bestimmung der geeigneten Variablen für den jeweiligen Einzelfall stellen.

Kausalität vs. Korrelation

Schließlich scheint auch die interventionistische Theorie aufgrund ihrer kontrafaktischen Komponente zunächst ein zielführendes Unterscheidungsmerkmal für Kausalität von bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft zu liefern. Während bei Kausalbeziehungen mögliche Interventionen auf die Ursachenvariablen eine Veränderung der Wirkungsvariablen zur Folge haben, können bei bloßen raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehungen keine solchen Veränderungen durch mögliche Interventionen herbeigeführt werden. Insofern nun aber Interventionen selbst in Kausalbeziehungen mit den Variablen, auf die interveniert wird, stehen, setzt ein solches Unterscheidungsmerkmal bereits die Abgrenzung weiterer Kausalbeziehungen voraus. Entsprechend lassen sich zwar die Probleme einer Unterscheidung von Kausalität und einer bloßen raumzeitlichen Nachbarschaft in den Fällen der gemeinsamen Verursachung und der Frustration zunächst lösen. Allerdings bilden die Lösungen zugleich je den Beginn eines unendlichen Regresses, sodass unklar bleibt, ob eine Unterscheidung von Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft letztlich tatsächlich gelingt.

So scheint zunächst das Problem der gemeinsamen Verursachung durch die interventionistische Theorie gelöst. Während eine Intervention auf das Barometer keine Auswirkungen auf ein mögliches Gewitter gehabt hätte, hätte eine nicht notwendigerweise anthropogene Intervention, die einen Anstieg des Luftdrucks zur Folge gehabt hätte, dazu geführt, dass das Gewitter nicht aufgezogen wäre. Folglich ist der Druckabfall, nicht aber die veränderte Anzeige des Barometers eine Ursache für das Gewitter. Ebenso scheint die interventionistische Theorie auch die Frustration von Ursachen zunächst zu lösen. Eine Intervention, die den zweiten Steinwurf verhindert hätte, hätte zwar im konkreten Einzelfall aufgrund des ersten Steinwurfs trotzdem zu einer zerbrechenden Fensterscheibe geführt; allerdings setzt eine ideale Intervention voraus, dass die verschiedenen Variablen unabhängig voneinander manipuliert werden.⁵² Wird nun die Variable 'Werfen des ersten Steins' entsprechend auf 0 gesetzt und damit angenommen, dass der erste Stein nicht geworfen wurde, lässt sich damit feststellen, dass eine Intervention auf den zweiten Steinwurf zu einer nicht-zerbrechenden Fensterscheibe geführt hätte und folglich die Ursache der zerbrechenden Fensterscheibe ist. Gerade die Forderung nach einer unabhängigen Manipulierbarkeit schafft es also zunächst, Kausalität von einer bloßen raumzeitlichen Nachbarschaft zu unterscheiden.

Allerdings zeigt sich an diesen beiden Beispielen nun eben auch, dass die Rückführung von Kausalbeziehungen auf Interventionsbeziehungen bereits weitere Kausalbeziehungen voraussetzt. Die kausale Beziehung zwischen Luftdruck und Gewitter liegt bspw. darin, dass Eingriffe auf den Luftdruck regelmäßig zu Veränderungen des Wetters führen, während Eingriffe auf Barometer keine solchen Veränderungen zur Folge haben. Da die Interventionsbeziehungen nun aber selbst Kausalbeziehungen zwischen den Interventionsvariablen und den ursprünglichen Ursachenvariablen darstellen,⁵³ gilt es auch diese von ausschließlich raumzeitlich benachbarten Eingriffen zu unterscheiden. Denn auch die Beziehung zwischen den Interventionen und den Veränderungen der Ursachenvariablen könnte eine bloße raumzeitliche Nachbarschaftsbeziehung darstellen. Der kausale Charakter dieser Beziehung würde sich im Sinne der interventionistischen Theorie nun aber nur durch die Berücksichtigung weiterer Interventionen auf die ursprünglichen Interventionsvariablen und darauf folgende Veränderungen der ursprünglichen Ursachenvariablen feststellen lassen.⁵⁴ Diese Verlagerung stellt nun aber entweder den Beginn eines unendlichen Regresses dar oder mündet in einem Zirkel.⁵⁵

⁵² Dies stellt eine hier nicht weiter diskutierte Forderung Woodward's (2003, 81-84) dar, die genau solche Probleme beheben soll.

⁵³ Es stellt sich sogar die Frage, inwiefern sich ein vom Handlungsbegriff losgelöster theoretischer Interventionsbegriff prinzipieller kausaler Eingriffsmöglichkeiten überhaupt noch vom Kausalitätsbegriff unterscheidet.

⁵⁴ Gleiches gilt auch für die unabhängigen Manipulationen der Variablen im Beispiel der Frustration.

⁵⁵ Woodward (2003, 7-9) ist sich dieser Art der Rückführung von Kausalbeziehungen zwischen Ereignisvariablen

4.2.5 Prozesstheorie

Anders als die bisher diskutierten Kausalitätstheorien, deren Augenmerk von Anfang an auf der genauen Beziehung zwischen Ursache und Wirkung lag, versuchen Prozesstheorien hingegen zunächst Prozesse als das verbindende Element von Ursachen und Wirkungen in den Vordergrund zu rücken. Die Motivation für eine damit verbundene Verlagerung des Fokus von disjunkten Ereignissen hin zu kontinuierlichen Prozessen liegt dabei darin, eine physische Verknüpfung der Ursachen und Wirkungen zu gewährleisten. Durch eine solche physische Verknüpfung erhoffen sich Prozesstheorien, insbesondere den Problemen einer ungenügenden Abgrenzung von Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft zuvorzukommen. Damit verlagert sich nun aber auch die Frage, wann ein Ereignis Ursache eines weiteren zeitlich disjunkten Ereignisses ist, auf die Frage, wann ein Prozess ein kausaler Prozess ist. Schließlich lässt sich von diesen kausalen Prozessen auf zweierlei Weise wieder zur klassischen Ursache-Wirkungs-Unterscheidung übergehen. Zunächst lässt sich ein früherer Zustand eines Prozesses als Ursache eines späteren Zustands desselben Prozesses begreifen. Darüber hinaus stellt eine kausale Interaktion in Form von sich kreuzenden kausalen Prozessen eine Ursache einer zweiten solchen kausalen Interaktion dar, sofern sie durch einen kausalen Prozess miteinander verbunden sind. Insofern sich solche kausale Interaktionen als Ereignisse verstehen lassen, lässt sich damit auch ein Zusammenhang zur ursprünglichen Vorstellung von Kausalität als Relation zwischen zwei Ereignissen herstellen.

Im Beispiel der durch einen geworfenen Stein zerbrechenden Fensterscheibe bilden demnach nicht die beiden disjunkten Ereignisse des Werfens des Steins und des Zerbrechens der Fensterscheibe die wesentlichen kausalen Komponenten, sondern die Prozesse des Fliegens des Steins und des Verharrens des Fensters vor dem Zerbrechen. Sodann lassen sich zunächst bspw. die früheren Zustände des Steinflugs als Ursachen der späteren Zustände des Steinflugs begreifen. Kreuzen sich nun die beiden Prozesse im Zerbrechen der Fensterscheibe, so stellt dies insofern eine kausale Interaktion dar, als die beiden Prozesse des Steinflugs und des verharrenden Fensters kausale Prozesse sind. Letztlich lässt sich durch den kausalen Prozess des Steinflugs und der kausalen Interaktion von Stein und Fensterscheibe das Werfen des Steins als Ursache der zerbrechenden Fensterscheibe ausmachen. Die entscheidende Frage, die eine Prozesstheorie folglich beantworten muss, ist, wodurch der Flug des Steins und das Verharren des Fensters als kausale Prozesse ausgezeichnet sind.

X und Y auf Kausalbeziehungen zwischen Interventionsvariablen I und Ereignisvariablen X durchaus bewusst, hält aber Reduktionsversuche, die Kausalität nicht auf weitere Kausalbeziehungen zurückführen, für prinzipiell nicht durchführbar.

Allgemein stellen Prozesse dabei zunächst kontinuierliche und raumzeitlich ausgedehnte Entitäten dar, die durch die zeitliche Konstanz einer charakteristischen Struktur gekennzeichnet sind (vgl. Salmon 1984, 144). Beispielsweise ist der in der Luft fliegende Stein deshalb ein Prozess, weil er die kontinuierliche Bahn des Steins mit seiner konstanten (Grob-)Struktur in der Luft beschreibt. Allerdings deckt ein solcher allgemeiner Prozessbegriff nicht ausschließlich kausale Prozesse ab. Denn wie für den Flug des Steins in der Luft lässt sich auch für dessen auf den Boden geworfenen Schatten mit seiner relativ konstanten Form und einer konstanten Verdunkelung als charakteristischer Struktur eine solche kontinuierliche Bahn nachzeichnen. Intuitiv würden wir aber den Schatten zu einem früheren Zeitpunkt nicht als ursächlich für den Schatten zu einem späteren Zeitpunkt betrachten. Entsprechend gilt es für eine Prozesstheorie der Kausalität zu spezifizieren, wie sich kausale Prozesse von akausalen Prozessen abheben.⁵⁶

Den prozesstheoretisch bedeutendsten Ansatz stellt dabei eine Charakterisierung kausaler Prozesse über Erhaltungsgrößen dar, wie sie an prominentester Stelle von Phil Dowe (1992, 1995, 2000) und mit ihm auch vom späten Wesley Salmon (1994, 1997) vorgenommen wird.⁵⁷ Konkret bestimmen sie kausale Prozesse als Weltlinien von Objekten, die Erhaltungsgrößen erhalten, und kausale Interaktionen als die Kreuzung zweier Weltlinien unter Austausch von Erhaltungsgrößen. Dowe und Salmon kommen dabei über die Jahre hinsichtlich kausaler Interaktionen auf einen gemeinsamen Nenner und definieren diese schließlich folgendermaßen:

„A causal interaction is an intersection of world-lines that involves exchange of a conserved quantity.“ (Salmon 1997, 468 und Dowe 2000, 90)

Erhaltungsgrößen und Weltlinien sind dabei rein physikalisch zu verstehen (Dowe 1992, 210). Erstens sind Erhaltungsgrößen genau diejenigen physikalischen Größen, die universellen Erhaltungsgesetzen unterliegen, also insbesondere Impuls, Energie und elektrische Ladung. Zweitens sind Weltlinien zeitartige Linien in Minkowski-Diagrammen und beschreiben folglich die Geschichte von dreidimensionalen Objekten. Anders als in der anfänglichen intuitiven Charakterisierung von (beliebigen) Prozessen kommen Weltlinien dabei ohne zusätzliche

⁵⁶ In der Literatur werden solche akausalen Prozesse dabei auch als 'Pseudoprozesse' bezeichnet.

⁵⁷ In früheren Jahren argumentiert Salmon (1977, 1980 und 1984, Kap. 5) noch für die Übertragbarkeit von Markierungen als Abgrenzungsmerkmal für kausale Prozesse. Allerdings verwirft er diese Idee später zugunsten von Doves Ansatz, da die Charakterisierung kausaler Prozesse über die Übertragbarkeit möglicher Markierungen zu vergleichbaren Problemen wie bei einer Charakterisierung über kontrafaktische Interventionen führt und er ihr folglich lediglich eine epistemologische Rolle zuschreibt (vgl. Salmon 1994, 301-303 und Dowe 2009, 217-218). Für eine Diskussion von Salmons früher Prozesstheorie siehe z. B. Carrier (1998) und Hüttemann (2013, 121-129). Darüber hinaus findet sich ein Vorläufer von Prozesstheorien bereits in Russells (1948, Teil VI, Kap. V) Kausallinien und die Idee der Rückführung von Kausalität auf Erhaltungsgrößen bspw. bereits bei Fair (1979). Für eine Übersicht über verschiedene Vorläufer und Formen von Prozesstheorien siehe z. B. Dowe (2009).

Anforderungen an eine zu erhaltende Struktur aus. Eine solche Anforderung tritt erst in der darauffolgenden Charakterisierung kausaler Prozesse durch Erhaltungsgrößen auf.

Bei der genauen Charakterisierung von kausalen Prozessen durch Erhaltungsgrößen bleiben die beiden nun jedoch in einem entscheidenden Detail unterschiedlicher Meinung. Während Dowe (1995, 2000) kausale Prozesse durch den bloßen Besitz von Erhaltungsgrößen definiert, definiert sie Salmon (1994, 1997) durch deren Übertragung. Aufgrund der Probleme der vermeintlich einfacheren Definition eines bloßen Besitzes von Erhaltungsgrößen möchte ich im Folgenden die Salmonsche Variante weiter diskutieren.⁵⁸ Salmon charakterisiert also kausale Prozesse als Weltlinien, die eine Erhaltungsgröße übertragen:

„A causal process is the world-line of an object that transmits a nonzero amount of a conserved quantity at each moment of its history (each spacetime point of its trajectory).“ (Salmon 1997, 468)

Um einer bloßen begrifflichen Rückführung des Begriffs des Hervorbringens auf einen vermeintlich ebenso kausal beladenen Begriff der Übertragung vorzubeugen, spezifiziert Salmon weiter, was er genau unter der Übertragung von Erhaltungsgrößen versteht. Dazu greift Salmon auf die bereits charakterisierten kausalen Interaktionen zurück. Dabei ist entscheidend, dass sowohl Dowe als auch Salmon trotz der anfangs beschriebenen Grundintuition von kausalen Interaktionen als dem Kreuzen kausaler Prozesse dennoch kausale Interaktionen unabhängig von kausalen Prozessen definierten. Dies macht sich Salmon (1994, 298-300) nun in seiner Charakterisierung der Übertragung von Erhaltungsgrößen zu Nutzen und setzt damit für die Charakterisierung kausaler Prozesse die Charakterisierung kausaler Interaktionen voraus:⁵⁹

⁵⁸ Das zentrale Problem einer Definition von kausalen Prozessen als den bloßen Besitz von Erhaltungsgrößen ist, dass sie einen Begriff der Genidentität, also der Identität von Objekten über die Zeit, voraussetzt, um eine Erhaltung von Größen im eigentlichen Sinne zu beschreiben. Allerdings zeigt sich, dass sich eine solche Begriffsbestimmung relativ schwierig gestaltet. Dowe (1995, 326-331) selbst versucht diese Probleme mit einem naiven Objektbegriff sowie der Primitivität der Genidentität zu umgehen. Jedoch führt eine solche primitive Genidentität zu zahlreichen weiteren Problemen, auf die ich hier nicht weiter eingehen werde. Die vielversprechendere Option der Charakterisierung von Genidentität über Kausalität ist bei Doves Ansatz hingegen aufgrund der drohenden Zirkularität ausgeschlossen (vgl. Kistler 1998, 8-12).

⁵⁹ Letztlich bedeutet eine solche Umkehrung gegenüber der zu Anfang beschriebenen prozesstheoretischen Intuition nichts anderes als eine Rückkehr zur klassischen Auffassung von Kausalität als Relation zwischen Ereignissen in Form kausaler Interaktionen und gewährleistet so auch die Vereinbarkeit mit der in Abschn. 4.1.1 vorgeschlagenen formalen Charakterisierung der Kausalität. Kistler (1998 und 2006, Kap. 1) schlägt aufbauend auf ähnlichen Überlegungen eine Übertragungstheorie der Kausalität vor, die direkt von Ereignissen (im Sinne von Inhalten von Raumzeitregionen) als kausalen Relata ausgehend Kausalität als die Übertragung von Erhaltungsgrößen zwischen diesen Relata zu bestimmen versucht.

„A process transmits a conserved quantity between A and B ($A \neq B$) if and only if it possesses [a fixed amount of] this quantity at A and at B and at every stage of the process between A and B without any interactions in the open interval (A, B) that involve an exchange of that particular conserved quantity.“

(Salmon 1997, 462)

Eine Erhaltungsgröße wird demnach übertragen, wenn sie zu jedem Zeitpunkt in Abwesenheit kausaler Interaktionen, d.h. ohne Austausch von Erhaltungsgrößen, vorhanden ist.⁶⁰ Der entscheidende Unterschied zum bloßen Besitz zu jedem Zeitpunkt ist dabei, dass es sich aufgrund der fehlenden weiteren Austausche von Erhaltungsgrößen in gewissem Sinne um dieselben Erhaltungsgrößen handelt und damit eben tatsächlich um einen Erhalt dieser Größen.⁶¹

Im Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe erhalten etwa der Flug des Steins sowie das Verharren des Fensters die Erhaltungsgrößen Energie und Impuls, ohne dafür mit der Umgebung Erhaltungsgrößen austauschen zu müssen. Schließlich kreuzen sich diese beiden Weltlinien unter Austausch dieser Erhaltungsgrößen, insofern der Stein die Scheibe des Fensters zerbricht. Der Flug des Steins und das Verharren des Fensters stellen folglich kausale Prozesse dar und das Zerbrechen der Fensterscheibe eine kausale Interaktion. Anders verhält es sich bspw. für die Schatten von Stein und Fenster. Hier werden keine Erhaltungsgrößen während des Flugs bzw. des Verharrens übertragen und auch im Kreuzen der Schatten keine Erhaltungsgrößen ausgetauscht.

Mit dieser Charakterisierung sind nun Kausalbeziehungen unter ausschließlichem Rückgriff auf aktuelle physikalische Größen im konkreten Einzelfall bestimmt. Insbesondere wird durch eine solche Charakterisierung ein Rückgriff auf kontrafaktische Konditionale und Referenzklassen vermieden.⁶² Allerdings birgt der Versuch, Kausalität auf den Erhalt und den Austausch von Erhaltungsgrößen zurückzuführen, auch neue eigene Probleme, die ich nun vor dem Hintergrund der angegebenen Kriterien diskutieren möchte.

⁶⁰ Die Grundvorstellung eines solchen Übertragungsbegriffs entwickelt Salmon (1977) dabei bereits im Rahmen seiner Markierungstheorie.

⁶¹ Vergleichbar argumentiert Kistler (1998, 8-12 und 2006, 53-57), dass die Erhaltungssätze es erlauben von denselben Erhaltungsgrößen im Sinne einer Flussidentität zu sprechen. Damit wird die in Fußnote 58 beschriebene Voraussetzung der Genidentität der Objekte überflüssig, da die Erhaltungsgrößen selbst das verbindende Element zwischen den verschiedenen Zeitpunkten darstellen (vgl. Salmon 1997, 466-469). Folglich muss auch der Objektbegriff in Salmons Definition lediglich beinhalten, dass es sich um zeitartige Weltlinien handelt.

⁶² Die Vermeidung kontrafaktischer Abhängigkeiten war für Salmon (1994, 301-303) auch ein entscheidender Punkt, seine frühere Markierungstheorie zugunsten der Erhaltungsgrößentheorie zu verwerfen.

Kausale Asymmetrie

Da Erhaltungsgrößen bereits in der Physik selbst eine zentrale Rolle spielen, ist durch eine Charakterisierung von Kausalität als Übertragung und Austausch von Erhaltungsgrößen die Vereinbarkeit einer solchen Prozesstheorie mit den Gesetzmäßigkeiten der Physik unmittelbar gewährleistet. Insofern die Übertragung von Erhaltungsgrößen im Sinne eines Besitzes ohne Wechselwirkung selbst symmetrisch ist, gibt es insbesondere keine kausale Asymmetrie jenseits einer möglichen zeitlichen Asymmetrie, die es gesondert zu erklären gilt. Denn wenn kausale Prozesse durch die Übertragung von Erhaltungsgrößen charakterisiert sind und weiterhin diese Übertragung nichts anderes als den Besitz von Erhaltungsgrößen in Abwesenheit eines Austauschs von Erhaltungsgrößen darstellt, gibt es keine Möglichkeit die zwei möglichen Übertragungsrichtungen in eine hervorbringende und eine nicht-hervorbringende Richtung zu unterscheiden. Beispielsweise ist der Steinflug durch die Übertragung von Energie und Impuls zwischen dem Werfen des Steins und dem Zerschlagen der Fensterscheibe charakterisiert. Diese Übertragung besteht aber in nichts anderem, als dass der Stein fortlaufend dieselben Energie- und Impulsbeiträge besitzt, ohne dafür mit der Umgebung wechselwirken zu müssen. Damit werden aber in demselben Sinne Energie und Impuls vom Zerschlagen der Fensterscheibe zum Werfen des Steins übertragen wie umgekehrt vom Werfen des Steins zum Zerschlagen der Fensterscheibe.

Die Kausalität selbst ist damit letztlich unabhängig davon, welche Asymmetrie nun tatsächlich der zeitlichen Asymmetrie zugrunde liegt und wie die im Kern symmetrische Übertragung von Erhaltungsgrößen so ihren asymmetrischen Anschein erhält.⁶³ Der entscheidende Punkt ist jedenfalls, dass die Kausalbeziehungen in den beschriebenen Prozesstheorien aufgrund der Symmetrie kausaler Prozesse selbst symmetrisch sind und folglich problemlos mit symmetrischen Naturgesetzen vereinbar sind. Ob eine zeitliche Asymmetrie mit den ansonsten symmetrischen Naturgesetzen vereinbar ist, wird zwar damit auch hier nicht beantwortet; zumindest zeigt sich so aber, dass asymmetrischen Beziehungen keine kausale Sonderrolle zukommt, die es explizit innerhalb der Kausalitätsdebatte zu klären gelte.

Singuläre Kausalität

Was nun singuläre Kausalbeziehungen anbelangt, ist ein wesentlicher Vorteil eines solchen prozessualen Ansatzpunktes, dass Kausalität unmittelbar singulären Prozessen und damit

⁶³ So versucht bspw. Dowe (2000, Kap. 8) die zeitliche Asymmetrie mit Hilfe von Gabelungsasymmetrien zu erklären, während Kistler (1998, 3-6 und 2006, 29-39) die zeitliche Asymmetrie auf die Irreversibilität der Mehrzahl aller Prozesse zurückzuführen versucht.

einzelnen Ereignispaaren zukommt. Insofern Prozesstheorien Kausalität durch den Erhalt und den Austausch von Erhaltungsgrößen im Einzelfall charakterisieren, bedarf es für Kausalbeziehungen zwischen einzelnen Ereignissen keinerlei Bezüge auf generelle Kausalbeziehungen und Referenzklassen.⁶⁴ Beispielsweise werden so bereits vom einmaligen Werfen eines Steins Impuls und Energie hin zum Zerschlagen der Fensterscheibe erhalten, ohne dabei auf weitere Steinwürfe zurückgreifen zu müssen.

Kausalität vs. Korrelation

Schließlich wirkt die vorgestellte Prozesstheorie auch hinsichtlich der Unterscheidung von Kausalität und Korrelation auf den ersten Blick überzeugend. Anders als die bisher diskutierten Ansätze, die den Abhängigkeitsaspekt der Kausalität in den Vordergrund stellten, schafft es die Prozesstheorie durch die Betonung des produktiven Aspekts der Kausalität problemlos zwischen Kausalität und Korrelation zu unterscheiden. Während bei Ursache-Wirkungs-Beziehungen tatsächlich etwas erhalten und ausgetauscht wird, ist dies bei ausschließlich raumzeitlich benachbarten Ereignispaaren nicht der Fall. Folglich schafft es die Prozesstheorie auch, die Probleme der gemeinsamen Verursachung und der frustrierten Ursachen zunächst zufriedenstellend zu lösen.

Im Beispiel des abfallenden Luftdrucks, der gleichermaßen dazu führt, dass das Barometer fällt und es zu regnen beginnt, lassen sich keine kausalen Prozesse vom Abfall der Barometeranzeige zum aufziehenden Gewitter, die Erhaltungsgrößen erhalten würden, nachzeichnen. Folglich kann die Veränderung der Barometeranzeige in keiner kausalen Beziehung mit dem aufziehenden Gewitter stehen, sondern ist diesem lediglich korrelativ vorgelagert. Für das Beispiel des doppelten Steinwurfs hingegen gilt, dass aufgrund des zweiten Steinwurfs keine Erhaltungsgrößen vom Werfen des ersten Steins bis zum Zerschlagen der Fensterscheibe erhalten werden, da der erste Stein einfach durch das bereits kaputte Fenster hindurchfliegt. Folglich kann der erste Steinwurf keine Ursache der zerschlagenden Fensterscheibe sein. Auch hier stehen das Werfen des ersten Steins und das Zerschlagen der Fensterscheibe in einer ausschließlich raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehung.

Allerdings verdeutlichen diese beiden Beispiele nun auch die zentrale Problematik, die eine Charakterisierung kausaler Prozesse durch die Übertragung exakter Erhaltungsgrößenbeträge mit sich bringt. Denn eine solche Charakterisierung wirft die Frage nach der

⁶⁴ Die Kehrseite eines solchen singulären prozessualen Kausalitätsverständnisses ist allerdings, dass für ausbleibende Ereignisse keine solchen physikalischen Übertragungen vorliegen und die Erhaltungsgrößentheorien folglich negative Kausalität scheinbar nicht abdecken können. Das Problem der negativen Kausalität werde ich dabei in Abschn. 4.3.2 c) in Zusammenhang mit der Selektion von Ursachen noch gesondert diskutieren.

physikalischen Möglichkeit makroskopischer Kausalprozesse auf, insofern makroskopische Prozesse durch eine permanente Wechselwirkung unter Austausch von Erhaltungsgrößen mit ihrer Umwelt gekennzeichnet sind. Wenn aber so gut wie alles mit allem, was raumzeitlich benachbart ist, Erhaltungsgrößen austauscht und folglich kausal interagiert, dann wird auch die Unterscheidung zwischen Kausalität und raumzeitlicher Nachbarschaft wieder hinfällig.⁶⁵ So stellt sich für das obige Beispiel etwa die Frage, ob einerseits vom Fallen des Barometers nicht doch kleinste Erhaltungsgrößenbeträge bis zum Gewitter erhalten werden und ob sich andererseits vom Abfall des Luftdrucks bis zum Gewitter überhaupt Erhaltungsgrößen finden lassen, die exakt erhalten werden. Diese Problematik offenbart sich auch bereits am Beispiel des Steinwurfs. Hier wird nicht erst beim Kreuzen des fliegenden Steins mit dem verharrenden Fenster Energie ausgetauscht, sondern bereits im Flug verliert der Stein laufend Energie durch die Reibung an Luftmolekülen. Demzufolge wäre aber erstens der Flug des Steins kein kausaler Prozess, da er keine Erhaltungsgrößen exakt erhält, und zweitens würde aufgrund des Austauschs kleinster Erhaltungsgrößenbeträge der Stein mit so gut wie allem in seiner raumzeitlichen Nachbarschaft kausal interagieren.

Das zugrundeliegende Problem ist dabei die Charakterisierung von kausalen Interaktionen als beliebigen Austausch von Erhaltungsgrößen und die dadurch implizierte Charakterisierung von kausalen Prozessen als Erhalt von exakten Erhaltungsgrößenbeträgen. Die Forderung, dass Erhaltungsgrößen exakt erhalten werden, führt aber dazu, dass Wechselwirkungen, die für makroskopische Prozesse vernachlässigbar klein sind, ebenfalls berücksichtigt werden müssen und dass folglich Kausalität aufgrund der Allgegenwart von Wechselwirkungen auf mikroskopischer Ebene für makroskopische Prozesse bedeutungslos wird. Um dem entgegenzuwirken, argumentiert Salmon (1997, 463-464) nun, dass bei makroskopischen Prozessen von exakten Erhaltungsgrößenbeträgen abstrahiert werden muss.⁶⁶ Schließlich sehen wir auch bei der physikalischen Beschreibung eines makroskopischen Phänomens, wie z. B. eines fliegenden Steins, in der Regel von kleineren Veränderungen, die für den makroskopischen Prozess vernachlässigbar sind, ab, um auch dann noch von der Energie- und Impulserhaltung eines makroskopischen physikalischen Prozesses sprechen zu können, wenn diese aus mikroskopischer Perspektive nicht exakt erfüllt sein sollten. Entsprechend könnte nach

⁶⁵ Die Tatsache, dass aufgrund des Erhalts verschiedener Erhaltungsgrößen womöglich für bestimmte Aspekte von Ereignissen nur einige Erhaltungsgrößen kausal relevant, andere aber bloß raumzeitlich benachbart sein könnten, scheint hingegen weniger ein Problem der ontologischen Charakterisierung der Kausalität, als vielmehr ein Problem der kausalen Erklärung darzustellen (vgl. Salmon 1997, 474-476 und Woodward 2003, 356-357). Ontologisch sind Ereignisse und Prozesse hingegen durch den Austausch und Erhalt aller Erhaltungsgrößen gekennzeichnet. Auf diesen Punkt werde ich in Abschnitt 4.3.1 b) noch etwas ausführlicher eingehen.

⁶⁶ Dowe (1995, 331) hingegen nimmt diese Problematik zum Anlass seine Definition kausaler Prozesse so abzuschwächen, dass ganz auf die Forderung eines Erhalts exakter Erhaltungsgrößenbeträge verzichtet wird.

Salmon auch der Flug des Steins trotz zahlloser Wechselwirkungen mit Luftmolekülen einen kausalen Prozess darstellen, da er zumindest der Größenordnung nach Impuls und Energie erhält und ein entsprechend signifikanter Austausch von Erhaltungsgrößenbeträgen erst im Kreuzen mit dem Fenster stattfindet. Allerdings betrifft diese Abstraktion von exakten Erhaltungsgrößenbeträgen nun nicht mehr die ontologische Charakterisierung der Kausalität, sondern erfolgt nach pragmatischen Gesichtspunkten zur Beschreibung makroskopischer Prozesse.

Selbst wenn nun diese pragmatische Charakterisierung makroskopischer Prozesse eine ontologische Entsprechung finden sollte und sich damit ontologisch spezifizieren lassen sollte, wann genau ein Austausch von Erhaltungsgrößen für einen makroskopischen Prozess relevant ist,⁶⁷ ändert dies nichts daran, dass nicht-physikalische Prozesse auch weiterhin von einer solchen Prozesstheorie nicht abgedeckt werden. Dabei verstehe ich unter nicht-physikalischen Prozessen solche Prozesse, die sich durch Gesetzmäßigkeiten spezieller Wissenschaften jenseits der Physik beschreiben lassen. Insofern es bspw. für biologische Prozesse keine genuin biologischen universellen Erhaltungsgrößen gibt, müssen diese erst auf physikalische Prozesse reduziert werden, um überhaupt als Kausalbeziehungen in Frage zu kommen. Dieses Problem einer fehlenden Anwendbarkeit auf spezielle Kausalität jenseits der Physik stellt damit aber eines der Hauptprobleme von Erhaltungsgrößentheorien dar und soll im nächsten Unterkapitel den Ausgangspunkt für eine eigene Theorie spezieller Kausalität bilden.

4.3 Vorschlag einer Erhaltungstheorie der Kausalität

Nach der Diskussion der wichtigsten Kausalitätstheorien werde ich in diesem Unterkapitel ausgehend von den prozesstheoretischen Überlegungen des letzten Abschnitts einen auf spezielle Ereignisse verallgemeinerten Erhaltungsansatz zur Interpretation spezieller Kausalbeziehungen vorschlagen und diskutieren. Damit möchte ich einerseits den Stärken der Prozesstheorien hinsichtlich einer zielführenden Unterscheidung von Kausalität und Korrelation durch eine physische Verknüpfung von Ursachen und Wirkungen Rechnung tragen. Andererseits möchte ich durch eine Verallgemeinerung auf spezielle Ereignisse versuchen, einer drohenden vollständigen Reduktion spezieller Kausalbeziehungen auf physikalische Kausalbeziehungen

⁶⁷ Insofern Salmon nicht weiter spezifiziert, wann genau ein bestimmter Austausch von Erhaltungsgrößen von derselben Größenordnung und damit für einen makroskopischen Prozess relevant ist, bleibt es dabei insbesondere fraglich, ob eine mögliche ontologische Entsprechung einer solchen Abstraktion von exakten Erhaltungsgrößenbeträgen zu relevanten Größenordnungen von Erhaltungsgrößen ohne einen neuerlichen Bezug auf kontrafaktische Konditionale erfolgen kann.

entgegenzuwirken. Zunächst werde ich dazu ausgehend von den Problemen einer möglichen mechanistischen Ergänzung der Erhaltungsgrößentheorie zeigen, wie eine Ausweitung von Salmons Grundidee, Kausalität über den Austausch und die Übertragung von Erhaltungsgrößen zu charakterisieren, eigentlich auf spezielle Ereignisse ausgeweitet aussehen müsste (4.3.1). Dabei werde ich das Pendant eines Austauschs von Erhaltungsgrößen in Veränderungen höherer Konstitutionsstufen suchen und sodann spezielle kausale Prozesse als spezielle Übertragungen im Sinne eines Erhalts dieser Veränderungen in Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen versuchen zu charakterisieren. Schließlich werde ich die dadurch implizierte allgemeine Charakterisierung von Kausalbeziehungen als Abfolge von speziellen Veränderungen und Erhalten hinsichtlich verschiedener Gesichtspunkte diskutieren (4.3.2). Unter anderem werde ich dabei versuchen zu zeigen, wie sich derart charakterisierte Kausalbeziehungen empirisch feststellen lassen und wie sich vor dem Hintergrund einer solchen Kausalitätstheorie verstehen lässt, wieso wir in kausalen Erklärungen darüber hinaus zwischen kausal relevanten und irrelevanten Ursachen unterscheiden.

4.3.1 Kausalbeziehungen als produktive Erhalte

a) Mechanismen

Wie bereits angedeutet sind in der Prozesstheorie durch ihren Bezug auf universelle Erhaltungsgrößen kausale Prozesse jenseits physikalischer Prozesse de facto ausgeschlossen. So sind bspw. biologische Mechanismen zunächst weniger durch den Erhalt und den Austausch gewisser Größen gekennzeichnet als vielmehr durch die Aktivitäten biologischer Entitäten (vgl. Machamer et al. 2000). Das Problem solcher biologischen Entitäten ist nun aber, dass sie keinen genuin biologischen Erhaltungsgesetzen unterliegen. Damit können ihre Aktivitäten erst gar nicht in einem Austausch bzw. Erhalt universeller Erhaltungsgrößen, die bspw. biologische Prozesse als kausal auszeichnen könnten, bestehen. Eine ausschließliche Charakterisierung von Kausalität über universelle Erhaltungsgrößen würde damit aber eine vollständige ontologische Reduktion aller speziellen Kausalbeziehungen und darüber hinaus der entsprechenden kausalen Gesetzmäßigkeiten auf physikalische Kausalbeziehungen und Gesetzmäßigkeiten implizieren.

Während nun in den entsprechenden Prozesstheorien selbst die reduktionistischen Konsequenzen weitestgehend akzeptiert zu werden scheinen,⁶⁸ wird in mechanistischen Kausalitätstheorien versucht, ausgehend von einer solchen prozesstheoretischen Charakterisierung physikalischer Kausalbeziehungen eine ergänzende mechanistische Charakterisierung

⁶⁸ vgl. bspw. Dowe (1992, 214-215)

nicht-physikalischer Kausalbeziehungen vorzunehmen.⁶⁹ Demnach ist Kausalität höchstens für physikalische Prozesse durch den Erhalt universeller Erhaltungsgrößen charakterisiert. Für nicht-physikalische Prozesse hingegen versuchen etwa Stuart Glennan (1996 und 2017, Kap. 6 & 7) und Peter Machamer et al. (2000) Kausalbeziehungen über Mechanismen zu charakterisieren. Unter einem Mechanismus ist dabei im Wesentlichen die raumzeitliche Anordnung von Entitäten und Aktivitäten zu verstehen, die für ein bestimmtes Phänomen verantwortlich ist.⁷⁰ Um den Zusammenhang zu den bisherigen Kausalitätstheorien deutlicher zu sehen, werde ich dabei anstatt aktiver Entitäten im Folgenden Glennan folgend auch hier Ereignisse als Relata der Kausalbeziehung betrachten. Zwei Ereignisse (bzw. aktive Entitäten) stehen nun gemäß einer mechanistischen Kausalitätstheorie in einer Kausalbeziehung, wenn sie in einem gemeinsamen Mechanismus enthalten sind und somit über diesen miteinander verbunden sind (vgl. Glennan 1996, 63-64 und Machamer et al. 2000, 6-7).⁷¹

Die mechanistische Charakterisierung der Kausalität lässt sich am von Machamer et al. (2000, 3) diskutierten Beispiel der DNA-Replikation veranschaulichen: Im Replikationsmechanismus entwindet sich in einem ersten Schritt die DNA und legt dabei ihre Basen offen; an diese Basen können nun in einem nächsten Schritt komplementäre Basen binden, sodass sich nach weiteren Schritten schließlich zwei Doppelhelices bilden. Insofern die beiden Replikationsschritte bzw. Ereignisse der Entwindung der DNA-Helix und des Bindens der komplementären Basen Teil eines gemeinsamen Replikationsmechanismus sind, stehen sie damit in einer kausalen Beziehung zueinander. Allgemein soll dabei mittels einer mechanistischen Kausalitätstheorie durch die Vielzahl verschiedener Mechanismen der Diversität und der Spezifität kausaler Prozesse spezieller Organisationsformen Rechnung getragen werden.⁷²

Das Hauptproblem einer solchen mechanistischen Kausalitätstheorie wird nun allerdings durch die Frage deutlich, ob die Mechanismen, die zur Charakterisierung der Kausalbeziehungen herangezogen werden, nicht bereits die zu charakterisierenden Kausalbeziehungen selbst als solche voraussetzen. So erfolgt einerseits die Charakterisierung von speziellen Kausalbeziehungen über die Mechanismen, in denen die entsprechenden Ereignisse enthalten sind, und setzt diese damit voraus. Beispielsweise können die einzelnen Schritte der DNA-

⁶⁹ Für einen Überblick über solche mechanistischen Ansätze siehe z. B. Glennan (2009) und Williamson (2011).

⁷⁰ Wenngleich die genaue Definition von Mechanismen selbst Teil der mechanistischen Debatte ist, liefert die angegebene Definition noch am ehesten eine konsensfähige Minimaldefinition (vgl. Illari & Williamson 2012 und Glennan 2016).

⁷¹ Bei Glennan (1996, 56) findet sich diese Charakterisierung explizit: „a relation between two events (...) is causal when and only when these events are connected in the appropriate way by a mechanism“; bei Machamer et al. (2000, 3/6) ergibt sie sich über ihre Mechanismusdefinition: „An entity acts as a cause when it engages in a productive activity“ wobei „Mechanisms are entities and activities organized such that they are productive of regular changes“.

⁷² vgl. Machamer et. al (2000) und Glennan (2016)

Replikation nur deshalb in einer kausalen Beziehung stehen, weil sie Teil eines gemeinsamen Replikationsmechanismus sind. Andererseits sind aber die Mechanismen selbst nichts anderes als das Ergebnis solcher Kausalbeziehungen. So konstituiert die Kausalbeziehung zwischen dem Entwinden der DNA und dem Binden der Basen zusammen mit weiteren Kausalbeziehungen überhaupt erst den Replikationsmechanismus und wird nicht erst durch diesen zu einer kausalen Beziehung. Damit würde aber eine Charakterisierung von Kausalbeziehungen über Mechanismen, die selbst nichts weiter als das Ergebnis dieser Kausalbeziehungen sind, einen Zirkel zur Folge haben. Im Folgenden werde ich daher versuchen die den mechanistischen Ansätzen implizit zugrundeliegende Idee, physikalische Prozesse durch spezielle Prozesse zu ergänzen, ohne einen solchen Rückgriff auf Mechanismen, in denen diese Prozesse enthalten sind, zu verwirklichen.

Dazu möchte ich zunächst noch einmal Salmons zentrale Überlegung, Kausalität als den Austausch und den Erhalt von bestimmten Größen zu charakterisieren, rekapitulieren und sehen, ob sich diese nicht doch auch auf spezielle Kausalbeziehungen ausweiten lässt. Denn anders als die mechanistischen Erweiterungsversuche setzte die Erhaltungsgrößentheorie keine Einbettung kausaler Interaktionen und Prozesse in höhere (mechanistische) Konstitutionsformen voraus, sondern bestimmte diese direkt über Austausch und Erhalt von Erhaltungsgrößen. Gelänge es also die grundsätzliche Form der Salmonschen Erhaltungsgrößentheorie auf spezielle Kausalbeziehungen auszuweiten, könnte entsprechend auch für spezielle Kausalbeziehungen ein Zirkel vermieden werden. Das Problem einer unmittelbaren Ausweitung eines solchen Erhaltungsgrößenansatzes auf spezielle Ereignisse und Prozesse war jedoch, dass es für nicht-physikalische Interaktionen und Prozesse keine eigenen universellen Erhaltungsgesetze und folglich keine entsprechenden Erhaltungsgrößen gibt. Damit lässt sich für spezielle Prozesse zumindest nicht einfach durch den Bezug auf universell ausgezeichnete Größen angeben, wann ein solcher Prozess kausal ist.

Allerdings ist die Salmonsche Erhaltungsgrößentheorie als Kausalitätstheorie nun nicht allein dadurch gekennzeichnet, dass sie konkret angibt, was ausgetauscht bzw. übertragen werden muss, damit Interaktionen und Prozesse kausal sind. Vielmehr ist das wesentliche Merkmal dieser Theorie, dass sie überhaupt versucht Kausalität über eine Veränderungskomponente (in Form des Austauschs von Erhaltungsgrößen) und eine Erhaltungskomponente (in Form der Übertragung von Erhaltungsgrößen) zu bestimmen und dabei diese beiden Komponenten auf eine genau bestimmte Art und Weise miteinander in Verbindung bringt.⁷³ So war eine

⁷³ Die Idee, dass es zweier solcher Komponenten bedarf, stellte auch seinerzeit den Ausgangspunkt für Salmons (1977, 1980) erste prozesstheoretische Überlegungen dar.

Erkenntnis der Diskussion der Erhaltungsgrößentheorie, dass die Definition der kausalen Interaktionen als Austausch von Erhaltungsgrößen sowohl bei Salmon (1997) als auch bei Dowe (2000) – entgegen der heuristischen Einführung von kausalen Interaktionen als dem Kreuzen kausaler Prozesse – ohne Rückgriff auf die Definition der kausalen Prozesse erfolgte. Anders als Dowe machte sich Salmon dies sodann in seiner Definition kausaler Prozesse zunutze, insofern er unter Rückgriff auf kausale Interaktionen kausale Prozesse als Übertragungen im Sinne eines Besitzes von Erhaltungsgrößen in Abwesenheit weiterer kausaler Interaktionen definierte. Entsprechend sind kausale Interaktionen Veränderungen in Form eines Austauschs von Erhaltungsgrößen, die den Ausgangspunkt von Erhalten in Form eines andauernden Besitzes dieser Veränderungen in Abwesenheit weiterer Veränderungen darstellen.

Die Idee, die ich im Weiteren verfolgen möchte, besteht nun darin, eine solche Unterscheidung zwischen einer Veränderungs- und einer Erhaltungskomponente sowie ihre Beziehung zueinander auf spezielle Kausalbeziehungen zu übertragen. Die entsprechende Vorrangstellung der Veränderungskomponente gegenüber der Erhaltungskomponente soll es dabei ermöglichen, auch spezielle kausale Prozesse als Erhalte spezieller Veränderungen im Sinne eines Fortbestehens der Veränderungen in Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen definieren zu können. Eine entsprechende vorläufige Charakterisierung von Kausalbeziehungen als Abfolge von Veränderungen und Erhalten höherer Konstitutionsformen lässt sich dabei, wie ich im Folgenden zeigen werde, durchaus auch ohne den Bezug auf universelle Erhaltungsgrößen und damit für spezielle Prozesse formulieren. Allerdings wird sich dabei ebenfalls zeigen, dass eine solche vorläufige Charakterisierung darüber hinaus einer Antwort auf die Frage bedarf, wie die speziellen Veränderungen und speziellen Erhalte selbst wiederum miteinander verbunden sind, um tatsächlich das Fortbestehen von speziellen Veränderungen zu beschreiben. Folglich werde ich im nächsten Abschnitt zunächst Kausalbeziehungen vorläufig als bloße Abfolgen von speziellen Veränderungen und speziellen Erhalten charakterisieren und erst im darauffolgenden Abschnitt die genaue Verbindung zwischen speziellen Veränderungen und speziellen Erhalten angeben und damit Kausalbeziehungen abschließend über das Fortbestehen spezieller Veränderungen charakterisieren.

b) Spezielle Veränderungen und Erhalte

In diesem Abschnitt werde ich also versuchen, spezielle Kausalbeziehungen als Abfolgen von speziellen Veränderungen und speziellen Erhalten vorläufig zu charakterisieren. Dazu möchte ich zunächst den bereits in Abschn. 2.2.1 eingeführten Begriff spezieller Veränderungen nochmals aufgreifen. Dass allgemein nicht einfache Veränderungen beliebiger Art eine Rolle für

spezielle Kausalbeziehungen spielen können, zeigte bereits das in Zusammenhang mit der Erhaltungsgrößentheorie diskutierte Problem, dass bei makroskopischen physikalischen Prozessen aufgrund der Vielzahl von mikroskopischen Interaktionen bzw. Veränderungen die Erhaltungsgrößen höchstens der Größenordnung nach in den betrachteten Prozessen erhalten werden können. Um folglich das Problem der Erhaltungsgrößentheorie, dass letztlich alle Kausalbeziehungen auf fundamental-physikalische Prozesse reduziert werden müssen, zu vermeiden, dürfen für eine Charakterisierung spezieller Kausalbeziehungen folglich auch nur die für die jeweilige Konstitutionsstufe relevanten Veränderungen berücksichtigt werden. Genau solche für eine bestimmte Konstitutionsstufe relevanten Veränderungen habe ich bereits in Abschn. 2.2.1 mit dem Begriff spezieller Veränderungen bezeichnet und mit speziellen Ereignissen identifiziert. Spezielle Ereignisse waren dabei die Inhalte von Raumzeitgebieten zu bestimmten Konstitutionsstufen, die durch die intrinsische Stabilität der in ihnen enthaltenen Entitäten, die als Ganze in diesen Raumzeitgebieten eine Veränderung erfahren, ausgezeichnet sind.⁷⁴

Im Beispiel des Steinwurfs stellen etwa das Werfen des Steins sowie das Zerschlagen der Fensterscheibe solche speziellen Veränderungen dar, wohingegen die Veränderungen des Steins, während der Stein durch die Luft fliegt, keine solchen speziellen Veränderungen bilden. Dies liegt daran, dass sich im Werfen des Steins und im Zerschlagen der Fensterscheibe der Stein bzw. in zweiterem Ereignis auch das Fenster in einer für den Stein und das Fenster als makroskopische Ganze relevanten Art und Weise verändern, während dies im Flug des Steins nicht der Fall ist. Im Beispiel der DNA-Replikation stellen in ähnlicher Weise die Entwindung der DNA und das Binden komplementärer Basen an die offengelegten Basen solche speziellen Veränderungen dar, während kleinste Veränderungen der DNA und der Basen, die zeitlich zwischen diesen beiden Ereignissen liegen, keine solchen speziellen Veränderungen darstellen.

Aufbauend auf einem solchen Konzept spezieller Veränderungen lassen sich nun auch spezielle kausale Prozesse in Analogie zur Salmonschen Erhaltungsgrößentheorie als spezielle Erhalte bestimmen. Salmon hatte dabei kausale Prozesse als Weltlinien, die Erhaltungsgrößen in Abwesenheit kausaler Interaktionen besitzen, definiert. Damit garantierte er, dass die Erhaltungsgrößen, die ein kausaler Prozess im Anschluss an einen Austausch von Erhaltungsgrößen zu jedem Zeitpunkt besitzt, in gewissem Sinne während des Prozesses dieselben bleiben. Unter speziellen Erhalten möchte ich nun in Analogie dazu Raumzeitgebiete, die eine gewisse

⁷⁴ Insbesondere waren spezielle Veränderungen damit intrinsisch charakterisiert, sodass ein etwaiger kontrafaktischer Bezug auf einen Normalzustand und damit verbundene Probleme ausgespart bleiben sollten. Genau eine solche Abweichung von der Normalität als zentralem Charakteristikum von Kausalität findet sich hingegen bspw. bei Maudlin (2004) und Hüttemann (2020), die Kausalität als Abweichung bzw. Störung von Inertialgesetzen resp. -prozessen beschreiben. Zur Diskussion der Probleme eines solchen Normalitätsbezugs siehe Abschn. 4.3.2 c).

höhere Konstitutionsform in Abwesenheit spezieller Veränderungen besitzen, verstehen. Die Idee ist dabei, dass auch hier die durch spezielle Veränderungen veränderte höhere Konstitutionsform während eines speziellen kausalen Prozesses ebenso gewissermaßen dieselbe bleibt bzw. fortbesteht. Im Folgenden werde ich dabei der Einfachheit halber bei solchen speziellen Erhalten nur von 'speziellen Prozessen' anstatt von 'speziellen kausalen Prozessen' sprechen.

Insofern spezielle Ereignisse bzw. Veränderungen – wie in Abschn. 2.2.2 argumentiert – aus fundamentalen Ereignissen multipel konstituiert sind, gilt dies nun auch für die über die Abwesenheit solcher Veränderungen bestimmten speziellen Prozesse. Dabei bleibt nun in speziellen Prozessen aufgrund ihrer multiplen Konstitution aus fundamentalen Veränderungen die höhere Konstitutionsform trotz fortlaufender fundamentalerer Veränderungen aufgrund der Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen bestehen. Im Beispiel des geworfenen Steins stellt so der Flug des Steins in der Luft einen speziellen Erhalt dar, da hier die spezielle Konstitutionsform des Steins, die das Ergebnis des Werfens darstellt, unabhängig von der dem Flug tatsächlich zugrundeliegenden Konstitution aus fundamentalen Ereignissen aufgrund der Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen aus makroskopischer Perspektive erhalten bleibt. Insbesondere ändern fundamentalere Veränderungen durch Luftmoleküle nichts an diesem speziellen Erhalt, sondern bedeuten nur eine veränderte tatsächlich zugrundeliegende Konstitution aus der Vielzahl der möglichen Konstitutionsweisen, die die multiple Konstitution des speziellen Prozesses des Steinflugs ausmachen. Der spezielle Erhalt selbst ist folglich durch eine Vielzahl von in fundamentalen Veränderungen bestehenden fundamentalen Ereignissen konstituiert.⁷⁵

Damit lassen sich nun spezielle Kausalbeziehungen in Analogie zur Salmonschen Erhaltungsgrößentheorie zunächst vorläufig als die Abfolge von speziellen Ereignissen und Prozessen in Form der Abfolge von speziellen Veränderungen und Erhalten ontologisch charakterisieren. Insofern Kausalbeziehungen nun ontologisch als die Abfolge von speziellen Ereignissen, die über spezielle Prozesse miteinander verbunden sind, charakterisiert sind, stellen aus ontologischer Perspektive auch immer die jeweiligen Gesamtheiten an Veränderungen eines bestimmten Raumzeitgebiets zu einer bestimmten Konstitutionsstufe, die die jeweiligen speziellen Ereignisse ausmachen, die Relata der Kausalbeziehungen dar. Inwiefern dabei einzelne Aspekte der Ursachenereignisse für bestimmte Aspekte der Wirkungseignisse kausal relevant sind, stellt hingegen weniger eine Frage der ontologischen als der explanatorischen Charakterisierung von Ursachen dar. In einem solchen explanatorischen

⁷⁵ Ob fundamentalere Ereignisse einer bestimmten Art eine spezielle Veränderung oder einen speziellen Erhalt konstituieren, hängt dabei davon ab, ob sie ein multipel konstituiertes Ereignis ausbilden.

Zusammenhang ist es dabei durchaus auch möglich, dass nicht unbedingt die Aspekte derjenigen Ereignisse, die einer Wirkung unmittelbar kausal vorgelagert sind, die für die Wirkung explanatorisch relevanten Aspekte darstellen. Diese Überlegungen möchte ich im Folgenden anhand eines abgewandelten Beispiels des Steinwurfs kurz veranschaulichen.

Anders als bisher soll der Stein im Beispiel des Steinwurfs nun durch einen starken Luftzug auf einmal so stark abgebremst werden, dass er die Fensterscheibe doch nicht zerbricht. Ontologisch würde es sich damit um zwei aufeinanderfolgende Kausalbeziehungen zwischen den drei Ereignissen 'Werfen des Steins', 'Abbremsen des Steins' und 'Abprallen des Steins an der Fensterscheibe' handeln.⁷⁶ Dennoch können nun den beiden ersteren speziellen Ereignissen bzw. ihren Aspekten eine unterschiedliche explanatorische Bedeutung für verschiedene Aspekte des dritten speziellen Ereignisses zukommen. Aus ontologischer Perspektive ist im beschriebenen Beispiel zunächst das Ereignis des Abbremsens die Ursache des Ereignisses des Abpralls, weil das Abbremsen eine spezielle Veränderung des Steins darstellt und diese spezielle Veränderung bis zum Abprall erhalten wird. Fragen wir nun aber nach einer Erklärung bestimmter Aspekte, so werden wir nur unter Bezug auf zu spezifizierende kontrafaktische Annahmen zwischen verschiedenen kausal vorgelagerten Ereignissen und deren Aspekten in explanatorischer Hinsicht unterscheiden können. Fragen wir z. B. nach dem Aspekt des Nicht-Zerbrechens des Fensters, so wird je nach angenommenen Hintergrundkontext die Antwort lauten, dass der Stein entweder nicht fest genug geworfen wurde oder zu stark abgebremst wurde.⁷⁷ Fragen wir andererseits danach, wieso das Fenster überhaupt getroffen wurde, so wird die Antwort je nach Hintergrundkontext darin zu finden sein, dass der Stein fest genug geworfen wurde bzw. nicht stark genug abgebremst wurde. In beiden Fällen wird also jeweils die kausale Erklärung für einen bestimmten Aspekt in einem Aspekt des Werfens des Steins oder des Abbremsens durch die Luft gesucht. Dies zeigt zugleich, dass aus explanatorischer Perspektive auch nicht die Ereignisse als Ganze als kausal relevant betrachtet werden, sondern wiederum nur Aspekte von ihnen. Beispielsweise liefert nicht das gesamte Ereignis des Werfens eine kausale Erklärung, sondern allein der Aspekt, dass der Stein fest genug geworfen wurde, um anzukommen. Ontologisch besteht die Kausalität aber unabhängig davon allein darin, dass vom Ereignis des Werfens bis zum Ereignis des Abbremsens und von dort bis zum Ereignis des Abpralls spezielle Erhalte führen.

⁷⁶ Dabei stellen auch hier nicht die mikroskopischen Interaktionen einzelner Konstituenten des Steins mit einzelnen Luftmolekülen eine makroskopische Veränderung dar, sondern nur die aus diesen mikroskopischen Interaktionen konstituierte makroskopische Interaktion des Steins als makroskopisches Ganzes mit der Luft als makroskopischer Entität.

⁷⁷ Inwiefern überhaupt ausbleibende Ereignisse wie das Nicht-Zerbrechen einer Fensterscheibe als Relata der Kausalrelation verstanden werden können, werde ich dabei noch gesondert in Abschn. 4.3.2 c) diskutieren.

Allgemein ist damit also die Frage, welcher Aspekt einer ersten speziellen Veränderung für einen bestimmten Aspekt einer zweiten speziellen Veränderung kausal relevant ist, wie schon in der Erhaltungsgrößentheorie eine Frage der kausalen Erklärung und nicht der ontologischen Charakterisierung von Kausalbeziehungen.⁷⁸ Denn auch hier ist der spezielle Erhalt durch die Abwesenheit von speziellen Veränderungen jeglicher Art und damit den Fortbestand aller Aspekte der höheren Konstitutionsform bestimmt. Die angedeutete Unterscheidung zwischen einem ontologischen und einem explanatorischen Kausalitätsbegriff, werde ich dabei in Abschnitt 4.3.2 c) nochmals im Zusammenhang mit der Frage aufgreifen, wie sich für explanatorische Bedürfnisse vor dem Hintergrund des in diesem Kapitel spezifizierten Kausalitätsbegriffs allgemein zwischen verschiedenen Ursachen bzw. deren Aspekten selektieren lässt. Insbesondere werden sich dabei durch eine solche explanatorische Selektion auch Verursachungen durch ausbleibende Ereignisse sowie die Unterscheidung zwischen Ursachen und bloßen Hintergrundbedingungen verstehen lassen.

Für die ontologische Charakterisierung der Kausalität hingegen entscheidend ist nun aber, dass die Auszeichnung von speziellen Veränderungen bzw. Ereignissen weder über die speziellen Kausalbeziehungen, in denen sie stehen, noch über die Veränderung universeller Erhaltungsgrößen erfolgt. Denn ersteres hätte einen Zirkel wie in den mechanistischen Erweiterungsversuchen bedeutet und für zweiteres fehlten die entsprechenden universellen Erhaltungsgesetze. Ersteres ist dabei durch den in Anlehnung an Salmons Überlegungen angegebenen Zusammenhang von speziellen Veränderungen und Erhalten gegeben. Zweiteres spiegelt sich nun hingegen insofern in der angegebenen Charakterisierung spezieller Kausalbeziehungen wider, als eine allgemeine Auszeichnung spezieller Veränderungen anders als in der Erhaltungsgrößentheorie nicht explizit und einheitlich vorgenommen wird. Während die Erhaltungsgrößentheorie als Antwort auf die Frage nach einer Auszeichnung von Veränderungen den Austausch von Erhaltungsgrößen lieferte, führt die Annahme der Existenz spezieller Kausalbeziehungen neben ausschließlich (fundamental-)physikalischen Kausalbeziehungen zwangsläufig zum Verzicht auf eine solche allgemeine Auszeichnung von Veränderungen.

Auch wenn Veränderungen und Erhalte damit nicht länger ausschließlich durch Erhaltungsgrößen charakterisiert sind, können veränderte Erhaltungsgrößenbeträge für makroskopische physikalische Prozesse natürlich auch weiterhin solche speziellen Veränderungen

⁷⁸ vgl. Fn. 65. Ähnlich versucht auch Hüttemann (2020, 1498-1502) im Rahmen seiner Prozesstheorie kausale Relevanz über kontrafaktische Überlegungen bzgl. der kausalen Wechselwirkungen, die den Kausalbeziehungen im Sinne der Prozesstheorie tatsächlich zugrunde liegen, zu charakterisieren.

ausmachen. So stellt im ursprünglichen Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe das Werfen des Steins zunächst ein erstes in einer speziellen Veränderung bestehendes spezielles Ereignis dar. Diese spezielle Veränderung besteht dabei tatsächlich im Wesentlichen darin, dass sich die Erhaltungsgrößen des Steins in einer für den Stein als Ganzes relevanten Größenordnung ändern. Sodann stellt der Steinflug einen speziellen Prozess dar, insofern die spezielle Konstitutionsform, die das Ergebnis dieser Veränderung darstellt, erhalten wird, also sie in Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen fortbesteht. Dieser spezielle Erhalt besteht dabei nicht nur darin, dass die Erhaltungsgrößen des Steins im Flug der Größenordnung nach erhalten werden, sondern auch darin, dass Material und Form des Steins selbst in einem für den Stein als Ganzes relevanten Maße erhalten werden. Insofern diese Eigenschaften des Steins in der Luft in Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen durch die Umgebung durchgehend bestehen, handelt es sich dabei tatsächlich um einen speziellen Erhalt. Insbesondere stellen Veränderungen kleinster Erhaltungsgrößenbeträge sowie kleinste materielle Veränderungen, die dem Stein im Flug durch die Luftmoleküle zugefügt werden und für den Stein als Ganzes vernachlässigbar klein sind, keine speziellen Veränderungen für den Stein als makroskopischen Gegenstand dar. Im speziellen Ereignis des Zerbrechens der Fensterscheibe findet nun hingegen wieder eine solche spezielle Veränderung statt; so ändern sich sowohl die Erhaltungsgrößenbeträge des Steins als auch der materielle Aufbau des Fensters in einem für Stein und Fenster als Ganze relevanten Maße.

Insgesamt bleibt also das Ergebnis der ersten speziellen Veränderung, die in dem speziellen Ereignis des Werfens des Steins besteht, im Prozess des Steinflugs solange erhalten, bis er in einem zweiten speziellen Ereignis erneut verändert wird. Die in speziellen Veränderungen bestehenden speziellen Ereignisse sind dabei die eigentlichen kausalen Relata, die den dazwischenliegenden speziellen Prozess in Form eines speziellen Erhalts als kausal auszeichnen.⁷⁹ Insbesondere setzt die Veränderung des Werfens des Steins oder des Zerbrechens der Fensterscheibe nicht schon den Erhalt des Steins zwischen diesen beiden Ereignissen und damit nicht schon die zu bestimmende Kausalbeziehung voraus.

Während sich nun makroskopische physikalische Prozesse wie der eben beschriebene Steinwurf womöglich bereits durch eine Abstraktion von exakten Erhaltungsgrößenbeträgen

⁷⁹ Anders als in Salmon's ursprünglicher Markierungstheorie handelt es sich bei den speziellen Veränderungen nicht um kontrafaktische Markierungen, sondern um die tatsächlichen Ereignisse selbst. Entsprechend sind auch kausale Prozesse keine Prozesse, die kontrafaktische Markierungen erhalten würden, sondern beschreiben den tatsächlichen Erhalt einer veränderten Struktur. Die Erkenntnis, dass es nicht der Erhalt einer möglichen Markierung einer Struktur ist, die einen Prozess als kausal auszeichnet, sondern der Erhalt der Struktur selbst, war im Prinzip der Grund dafür, dass Salmon (1994, 301-303) seine Markierungstheorie zu Gunsten seiner Erhaltungsgrößentheorie aufgegeben hatte.

durch die eigentliche Erhaltungsgrößentheorie Salmons abdecken ließen, zeigt sich nun der Vorteil eines solchen von Erhaltungsgrößen losgelösten, verallgemeinerten Veränderungs- und Erhaltungsverständnisses vor allem für nicht-physikalische Prozesse. Denn anders als in der Erhaltungsgrößentheorie lassen sich nun auch bspw. biologische Prozesse wie die der DNA-Replikation durch dieses allgemeine Schema als kausale Prozesse charakterisieren. So stellt im Beispiel der DNA-Replikation die Entwindung der DNA zunächst eine spezielle Veränderung dar, insofern die DNA als Ganzes verändert wird, die entwundene DNA wird sodann aus Perspektive der DNA als Ganzes erhalten, d.h. sie besteht in Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen fort, bis sie schließlich durch das Binden komplementärer Basen an die offengelegten Basen erneut eine spezielle Veränderung erfährt. Folglich stehen die speziellen Ereignisse der Entwindung der DNA und der Ankopplung von Basen in einer speziellen Kausalbeziehung miteinander. Wiederum ist entscheidend, dass das Entwinden der DNA und das Binden komplementärer Basen nicht durch den speziellen Erhalt der DNA bzw. der Basen charakterisiert ist, und damit die zu charakterisierende Kausalbeziehung nicht bereits als Kausalbeziehung zirkulär vorausgesetzt wird.

Insofern spezielle Erhalte über spezielle Veränderungen und damit spezielle Prozesse über spezielle Ereignisse charakterisiert werden, stellt der hier entwickelte Ansatz dabei insgesamt eher eine Transfer- als eine Prozesstheorie dar. Eine spezielle Veränderung zieht eine speziellen Erhalt nach sich, der wiederum mit einer weiteren speziellen Veränderung enden kann. Insofern spezielle Ereignisse in speziellen Veränderungen bestehen, bedeutet dies aber nichts anderes, als dass ausgehend von einem ersten speziellen Ereignis ein spezieller Prozess zu einem zweiten speziellen Ereignis führt. Eine spezielle Kausalbeziehung stellt demnach eine Beziehung zwischen zwei speziellen Ereignissen dar, die darin besteht, dass sie über einen speziellen Erhalt verbunden sind. Zwar lässt sich auch hier der spezielle Erhalt als ein spezieller Kausalprozess begreifen, anders als in einer echten Prozesstheorie sind diese aber nicht grundlegender als die speziellen Ereignisse. Dieser transfertheoretische Charakter ist dabei keine Neuerscheinung der hier vorgenommenen Ausweitungen auf spezielle Ereignisse, sondern zeichnete sich bereits in der Erhaltungsgrößentheorie Salmonscher Prägung in Form der Vorrangstellung des Austauschs von Erhaltungsgrößen gegenüber ihrer Übertragung ab.

Mit der Charakterisierung von speziellen Kausalbeziehungen als Abfolge von speziellen Veränderungen, die über spezielle Erhalte miteinander verbundenen sind, stellt sich nun als entscheidende Frage, wie die speziellen Veränderungen und Erhalte selbst miteinander verbunden sind. Ohne eine solche Verbindung wären gemäß der obigen vorläufigen Charakterisierung beliebige raumzeitlich benachbarte Abfolgen von speziellen Ereignissen, zwischen denen

auch nur irgendeine Form speziellen Erhalts liegt, kausal miteinander verbunden. Es muss also in gewissem Sinne sichergestellt werden, dass der spezielle Erhalt aus den entsprechenden speziellen Veränderungen hervorgeht bzw. in diese übergeht, sodass tatsächlich das Ergebnis einer ersten speziellen Veränderung im speziellen Erhalt fortbesteht und zu einer zweiten speziellen Veränderung führt. Allerdings kann die Verbindung des speziellen Erhalts mit den speziellen Veränderungen nicht in demselben Sinne kausal sein wie die Kausalbeziehung zwischen den entsprechenden speziellen Ereignissen. Denn zum einen ist Kausalität im Sinne der hier eingeführten Charakterisierung eine Beziehung zwischen Ereignissen bzw. Veränderungen und zum anderen müssten ansonsten Kausalbeziehungen derselben speziellen Ereignisse, deren Kausalbeziehungen charakterisiert werden sollen, letztlich doch bereits vorausgesetzt werden. Im nächsten Abschnitt möchte ich folglich dieser Frage nachgehen und versuchen durch einen konstitutiven Blickwinkel auf spezielle Veränderungen und Erhalte, eine nicht-zirkuläre Antwort darauf zu geben.

c) Produktive Erhalte

In diesem letzten Abschnitt möchte ich also der Frage nachgehen, wie spezielle Veränderungen und spezielle Erhalte selbst miteinander verbunden sind und damit wann ein spezieller Erhalt aus einer speziellen Veränderung hervorgeht bzw. in eine solche übergeht. Dass die bloße raumzeitliche Abfolge einer speziellen Veränderung, eines speziellen Erhalts und einer weiteren speziellen Veränderung für eine Charakterisierung spezieller Kausalbeziehungen allein nicht hinreichend sein kann, zeigt sich daran, dass damit bereits eine jede beliebige raumzeitlich benachbarte Abfolge von speziellen Veränderungen und Erhalten bereits eine Kausalbeziehung darstellen würde.

Dies lässt sich durch eine Abänderung des Beispiels der zerbrechenden Fensterscheibe, in der der Stein nun nicht länger in Richtung des Fensters, sondern in eine beliebige andere Richtung geworfen wird, veranschaulichen. Fliegt nun in diesem Fall in dem Moment, in dem der Stein geworfen wird, ein weiterer sich in einem speziellen Erhalt befindender Gegenstand – etwa ein Ball – an dem Stein in Richtung des Fensters vorbei und zerbricht sodann die Fensterscheibe, so liegt auch hier eine entsprechende Abfolge vor. Denn auch hier findet zunächst eine spezielle Veränderung in Form des Werfens des Steins statt, sodann ein spezieller Erhalt in Form des vorbeifliegenden Balls und schließlich eine zweite spezielle Veränderung in Form des Zerbrechens der Fensterscheibe. Demnach ständen das Werfen des Steins und das Zerbrechen der Fensterscheibe weiterhin in einer Kausalbeziehung, obwohl nicht der Stein sondern der Ball die

Fensterscheibe zerbricht.⁸⁰

Um solche Fälle auszuschließen, müssen in tatsächlichen Kausalbeziehungen die speziellen Veränderungen nun zusätzlich auf eine bestimmte Weise mit den speziellen Erhalten verbunden sein, sodass im speziellen Erhalt auch tatsächlich die durch die spezielle Veränderung veränderte höhere Konstitutionsform fortbesteht. Solche speziellen Erhalte, die aus den speziellen Veränderungen hervorgehen bzw. in diese münden und die somit die speziellen Kausalbeziehungen ausmachen, werde ich dabei im Weiteren zur Unterscheidung von beliebigen speziellen Erhalten als produktive Erhalte bezeichnen. Anders als in der ursprünglichen Erhaltungsgrößentheorie werden dabei nicht Erhaltungsgrößen das verbindende Element darstellen können. Die Antwort auf die Frage, wann ein spezieller Erhalt ein produktiver Erhalt ist, wird hingegen ein konstitutiver Blickwinkel auf spezielle Veränderungen und Erhalte liefern, wie ich im Folgenden zeigen möchte.

Zunächst hatte ich bereits in Abschnitt 2.2.2 argumentiert, dass ein spezielles Ereignis, das in speziellen Veränderungen besteht, sich selbst wiederum aus fundamentalen Ereignissen konstituiert. Diese zugrundeliegenden fundamentalen Ereignisse sind nun selbst wiederum über fundamentalere Prozesse im Sinne fundamentalerer Erhalte miteinander verbunden. Darüber hinaus werden nun, wie ich im letzten Abschnitt 4.3.1 b) argumentiert habe, gleichermaßen auch die speziellen Erhalte aus fundamentalen Ereignissen konstituiert, die ebenso über fundamentalere Prozesse miteinander verbunden sind. Denn ein spezieller Erhalt bedeutet ja gerade nicht, dass auf einer niedrigeren Konstitutionsstufe des Prozesses keine Veränderungen stattfinden würden, sondern ganz im Gegenteil werden spezielle Erhalte von einer Vielzahl fundamentalerer Veränderungen, die selbst durch fundamentalere Erhalte miteinander verbunden sind begleitet. Während also spezielle Veränderungen und Erhalte auf einer höheren Konstitutionsstufe verschiedene Komponenten von Kausalbeziehungen darstellen, sind sie auf der nächstniedrigeren Konstitutionsstufe gleichermaßen jeweils aus fundamentalen Veränderungen und Erhalten und damit letztlich im Sinne der angegebenen vorläufigen Charakterisierung aus fundamentalen Kausalbeziehungen konstituiert.

Beispielsweise sind das Werfen des Steins und das Zerschlagen der Fensterscheibe durch eine Vielzahl von molekularen Ereignissen und Prozessen und damit Veränderungen und Erhalten einer niedrigeren Konstitutionsstufe konstituiert. In gleicher Weise ist aber auch der Flug des Steins in der Luft aus einer Vielzahl solcher molekularen Ereignisse und Prozesse auf einer niedrigeren Konstitutionsstufe konstituiert. Gleiches gilt schließlich auch im Beispiel der

⁸⁰ Mit einem einfachen Verweis darauf, dass der Ball sich im Moment des Werfens des Steins bereits in einem speziellen Erhalt befindet, ist es dabei nicht getan, da sich das Beispiel so abändern lässt, dass das Werfen des Balls unmittelbar raumzeitlich benachbart zum Werfen des Steins stattfindet.

DNA-Replikation für das Entwinden der DNA und das Binden komplementärer Basen sowie den zwischengelagerten Erhalt der veränderten speziellen Konstitutionsform.

Im Unterschied zu beliebigen Abfolgen von speziellen Veränderungen und Erhalten sind nun aber in eigentlichen Kausalbeziehungen die betrachteten speziellen Veränderungen und Erhalte genau auf einer solchen niedrigeren Konstitutionsstufe miteinander verbunden und die speziellen Erhalte hierdurch als produktive Erhalte ausgezeichnet. Denn die fundamentaleren Ereignisse, die die speziellen Ereignisse konstituieren, sind nun nicht nur untereinander über fundamentalere Erhalte miteinander verbunden, sondern zudem auch über eine Vielzahl fundamentalerer produktiver Erhalte mit den fundamentaleren Ereignissen, die die speziellen Erhalte konstituieren. Konkret gibt es in einer Kausalbeziehung eine Vielzahl fundamentalerer produktiver Erhalte zwischen den fundamentaleren Ereignissen, die dem Ende des ersten speziellen Ereignisses und dem Anfang des speziellen Erhalts zugrunde liegen, sowie gleichermaßen zwischen den fundamentaleren Ereignissen, die dem Ende des speziellen Erhalts und dem Anfang des zweiten speziellen Ereignisses zugrunde liegen. Damit gibt die niedrigere Konstitutionsstufe, die Antwort darauf, wann ein spezieller Erhalt aus einer speziellen Veränderung hervorgeht bzw. in eine solche übergeht, und bestimmt somit, inwiefern in einem kausalen Prozess das Ergebnis einer speziellen Veränderung erhalten wird.

Beispielsweise ist im ursprünglichen Beispiel der durch einen geworfenen Stein zerbrechenden Fensterscheibe der makroskopische Prozess des Steinflugs in gleicher Weise wie die makroskopischen Ereignisse des Werfens des Steins und des Zerbrechens der Fensterscheibe aus einer Vielzahl von Ereignissen und Prozessen auf einer molekularen Konstitutionsstufe konstituiert. Während nun aus Perspektive der ursprünglich betrachteten makroskopischen Konstitutionsstufe die Kausalbeziehung tatsächlich nur in der Abfolge zweier makroskopischer Ereignisse, die durch den makroskopischen Prozess des Steinflugs miteinander verbunden sind, besteht, stellt die molekulare Konstitutionsstufe nun auch eine Verbindung zwischen den makroskopischen Ereignissen und Prozessen her und zeichnet die ursprünglich betrachtete Abfolge als eine eigentliche Kausalbeziehung aus. Denn auf der molekularen Konstitutionsstufe sind nun bspw. der Prozess des Steinflugs und das Ereignis des Zerbrechens der Fensterscheibe insofern miteinander verbunden, als eine Vielzahl der dem Ende des Steinflugs konstitutiv zugrundeliegenden molekularen Ereignisse mit solchen der zerbrechenden Fensterscheibe kausal – d.h. über einen mikroskopischen produktiven Erhalt – verbunden sind. Zwischen dem Werfen des Steins und dem Flug des Balls im Fall des abgeänderten Beispiels besteht eine solche Verbindung auf fundamentalerer Konstitutionsstufe

hingegen nicht.⁸¹ Folglich erhält nur der Steinflug die durch den Steinwurf zugefügten makroskopischen Veränderungen.

Ein solcher Bezug auf fundamentalere Kausalbeziehungen scheint dabei nun allerdings auf den ersten Blick zwei Probleme zu bergen. Das erste Problem besteht darin, dass die speziellen Kausalbeziehungen scheinbar wie schon in der Erhaltungsgrößentheorie auf fundamentalere Kausalbeziehungen reduziert werden. Allerdings wird zunächst nur die Verbindung zwischen den speziellen Ereignissen und den speziellen Erhalten über die fundamentalere Konstitutionsstufe hergestellt, nicht aber die speziellen Kausalbeziehungen als Ganze auf fundamentalere Kausalbeziehungen reduziert. Insbesondere wenn Ereignisse und Prozesse – wie in Abschn. 2.2.2 argumentiert – multipel konstituiert sind, bedeutet dies nicht zwangsläufig eine vollständige Reduktion spezieller Kausalbeziehungen auf fundamentalere. So liegen zwar den speziellen Ereignissen genauso wie den sie verbindenden speziellen Erhalten fundamentalere Kausalbeziehungen zugrunde. Insofern die Konstitutionsbeziehung keine Identitätsrelation darstellt, ergeben sich damit aber, wie ich in Abschnitt 5.3.2 noch ausführlich zu zeigen versuchen werde, die Kausalbeziehungen zwischen den speziellen Ereignissen nicht zwangsläufig einfach als die Menge der fundamentaleren Kausalbeziehungen.

Das zweite augenscheinliche Problem eines solchen Bezugs auf fundamentalere Kausalbeziehungen besteht nun darin, dass die fundamentaleren Kausalbeziehungen selbst wiederum einer Analyse über eine nächstniedrigere Konstitutionsstufe bedürfen. Schließlich waren die ursprünglich betrachteten speziellen Veränderungen und Erhalte über produktive Erhalte auf einer niedrigeren Konstitutionsstufe miteinander verbunden. Die Auszeichnung dieser fundamentaleren Erhalte als produktive Erhalte kann aber wiederum nur über eine noch niedrigere Konstitutionsstufe erfolgen. Dies bedeutet nun aber den Beginn einer immer weiter absteigenden Folge, die – wenn überhaupt –⁸² erst in einer untersten Konstitutionsstufe ein Ende findet. Unter der Annahme einer solchen untersten Konstitutionsstufe stellt sich damit aber die Frage, wie sich Kausalität nun auf einer solchen Konstitutionsstufe charakterisieren lässt.

⁸¹ Dass die fundamentaleren Ereignisse, die den speziellen Veränderungen und Erhalten zugrunde liegen, dabei auch mit anderen fundamentaleren Ereignissen ihrer Umgebung über fundamentalere produktive Erhalte verbunden sind, spielt dabei für die speziellen Ereignisse und Veränderungen keine Rolle, solange sie nicht über eine vergleichbare Anzahl fundamentaler produktiver Erhalte damit verbunden sind.

⁸² Schaffer (2003) und Block (2003) diskutieren in diesem Zusammenhang die Möglichkeit einer unendlich absteigenden Folge von Ebenen als eine oftmals zu Unrecht unberücksichtigte Alternative zur Existenz einer untersten Ebene. Eine solche Folge immer weiter absteigender Ebenen bzw. Konstitutionsstufen wirft aber die Frage auf, was dann die Natur der Kausalität letzten Endes tatsächlich ausmacht. Schaffer (2003, 512-513) argumentiert dabei, dass eine immer weiter absteigende Folge von Ebenen die Gleichwirklichkeit von Kausalität auf allen Ebenen impliziert. Eine mögliche Antwort auf dieses Problem könnte in diesem Sinne für die vorgeschlagene Kausalitätstheorie entsprechend so aussehen, dass die Kausalbeziehungen einer Konstitutionsstufe bereits durch die nächstniedrigere Konstitutionsstufe vollständig charakterisiert sind und folglich spezielle Veränderungen und Erhalte auf der nächstniedrigeren Konstitutionsstufe lediglich über fundamentalere Erhalte (und nicht über fundamentalere produktive Erhalte) miteinander verbunden sind.

Schließlich ist ein Bezug auf eine nächstniedrigere Konstitutionsstufe zur Auszeichnung produktiver Erhalte hier nicht mehr möglich.

Insofern der Fokus dieser Arbeit auf spezieller Kausalität liegt und folglich für die betrachteten Kausalbeziehungen immer nächstniedrigere Konstitutionsstufen vorliegen, möchte ich an dieser Stelle nur kurz andeuten, wie eine mögliche Lösung dieser Problematik aussehen könnte. Eine Antwort könnte u. a. darin zu finden sein, dass es für eine unterste Konstitutionsstufe im Unterschied zu höheren Konstitutionsstufen vermutlich universelle Erhaltungsgesetze gibt. Die ursprüngliche Erhaltungsgrößentheorie zeigt nun aber, wie auf einer durch solche universelle Erhaltungsgesetze ausgezeichneten Konstitutionsstufe durch den Bezug auf universelle Erhaltungsgrößen eine Charakterisierung der Kausalität innerhalb dieser Konstitutionsstufe zumindest prinzipiell möglich wird. Folglich könnten auf einer entsprechenden untersten Konstitutionsstufe Veränderungen und produktive Erhalte schlicht über den Austausch und den Erhalt (im Sinne von Besitz ohne Austausch) dieser universellen Größen und damit ohne Bezug auf fundamentalere Kausalbeziehungen charakterisiert sein. Auch wenn also der in diesem Unterkapitel entwickelte Ansatz auf einer untersten Konstitutionsstufe keine Anwendung finden kann, muss dies nicht bedeuten, dass sich dort Kausalbeziehungen nicht anderweitig charakterisieren ließen. Damit möchte ich die Charakterisierung spezieller Kausalbeziehungen durch produktive Erhalte beschließen und mich im folgenden Abschnitt nun der Diskussion dieser Charakterisierung vor dem Hintergrund der in Abschnitt 4.1.3 angegebenen Kriterien und darüber hinausgehender epistemologischer Fragestellungen zuwenden.

4.3.2 Diskussion produktiver Erhalte

a) Kriterien für Kausalitätstheorien

Kausale Asymmetrie

Das erste Kriterium für eine geeignete Theorie spezieller Kausalität bildete die Vereinbarkeit der kausalen Asymmetrie mit symmetrischen Naturgesetzen, die insbesondere als ein zentrales Problem für ein mit der Physik vereinbares Kausalitätskonzept vorgebracht wird. Das Problem bestand darin, dass die kausale Asymmetrie, also die Tatsache, dass Ursachen ihre Wirkungen verursachen, aber nicht Wirkungen ihre Ursachen, im scheinbaren Widerspruch zur Symmetrie der fundamentalen Gesetzmäßigkeiten der Physik steht. Die Erhaltungsgrößentheorien Doves und Salmons beantworteten diesen scheinbaren Widerspruch dabei mit der grundsätzlichen Symmetrie der Kausalrelation bzw. der ihr zugrundeliegenden kausalen Prozesse, sodass es neben einer möglichen zeitlichen Asymmetrie keine gesonderte kausale Asymmetrie gab.

Für die in diesem Unterkapitel vorgeschlagene Ausweitung der Ideen der Erhaltungsgrößentheorie auf spezielle Ereignisse ergibt sich nun zunächst dieselbe Situation. Spezielle Kausalbeziehungen bestehen gemäß diesem Ansatz zunächst darin, dass spezielle Ereignisse bzw. Veränderungen durch spezielle Erhalte miteinander verbunden sind. Während die Prozesse der Erhaltungsgrößentheorie durch den Besitz von Erhaltungsgrößenbeträgen ohne den Austausch von Erhaltungsgrößen charakterisiert waren, charakterisierte ich in Anlehnung daran spezielle Erhalte als den Erhalt von höheren Konstitutionsformen in Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen. Damit sind aber die speziellen Erhalte zunächst ebenso ungerichtet wie die Übertragungen von Erhaltungsgrößen. Daran ändert nun auch ein Übergang zu produktiven Erhalten nichts. Denn produktive Erhalte waren nichts anderes als spezielle Erhalte, die über die nächstniedrigere Konstitutionsstufe über ebensolche ungerichteten fundamentaleren Erhalte miteinander verbunden waren.

Beispielsweise werden im Steinflug Erhaltungsgrößen sowie materieller Aufbau und Form in einem für den Stein als Ganzes relevantem Maße gleichermaßen vom Werfen des Steins zum Zerschlagen der Fensterscheibe erhalten wie umgekehrt. Schließlich bestehen diese Eigenschaften im Flug des Steins in beide Richtungen fort, ohne dass der Stein dazu aus seiner Umgebung in nennenswerter Weise weitere Veränderungen erfahren muss. Gleichermäßen besteht auch im Beispiel der DNA-Replikation aus Perspektive der betrachteten höheren Konstitutionsstufe keine Asymmetrie hinsichtlich der beiden Richtungen des produktiven Erhalts zwischen dem Entwinden der DNA und dem Binden komplementärer Basen.

Damit gibt es auch gemäß dem in diesem Unterkapitel entwickelten verallgemeinerten Erhaltungsansatz keine genuin kausale Asymmetrie in dem Sinne, dass nur Ursachen ihre Wirkungen hervorbringen und nicht umgekehrt. Dennoch lässt sich nun auch hier eine zeitliche Asymmetrie der Kausalrelation in dem Sinne, dass Ursachen ihren Wirkungen zeitlich vorausgehen, durch eine fundamentalere zeitliche Asymmetrie herstellen. Während also produktive Erhalte tatsächlich (zumindest aus Perspektive der betrachteten Konstitutionsstufe) vollkommen symmetrisch sind, lassen sie sich durch eine fundamentalere zeitliche Asymmetrie zeitlich ausrichten. Damit wird auch hier – wie in allen anderen bisher diskutierten Kausalitätstheorien – eine mögliche kausale Asymmetrie im oben genannten Sinne letzten Endes vollständig auf eine zeitliche Asymmetrie, die sich auf die Kausalbeziehungen übertragen lässt, zurückgeführt.

Zuletzt sei dabei noch angemerkt, dass für eine solche zeitliche Ausrichtung spezieller Kausalbeziehungen durch eine fundamentalere zeitliche Asymmetrie grundsätzlich bereits die Ausrichtung auf einer beliebigen Konstitutionsstufe ausreichend ist. Denn sobald eine Kausal-

beziehung auf einer beliebigen Konstitutionsstufe gerichtet ist, sind die Kausalbeziehungen aller niedrigeren und höheren Konstitutionsstufen, die mit dieser Kausalbeziehung in einer konstitutiven Beziehung stehen, mit gerichtet. Ist bspw. die Kausalbeziehung vom Werfen des Steins zum Zerschlagen der Fensterscheibe hin gerichtet, so lässt sich diese Gerichtetheit auch auf die molekularen Kausalbeziehungen, die das Werfen des Steins, den Steinflug und das Zerschlagen der Fensterscheibe konstituieren, übertragen. Eine von der Kausalität unabhängige Erklärung der zeitlichen Asymmetrie auf einer beliebigen Konstitutionsstufe würde damit eine zeitliche Ausrichtung der Kausalbeziehungen aller Konstitutionsstufen bedeuten. Worin eine solche fundamentalere zeitliche Asymmetrie letztlich besteht und ob diese wiederum selbst im Einklang mit symmetrischen fundamental-physikalischen Gesetzmäßigkeiten steht, ist dabei eine andere Frage, die ich im Rahmen dieser Arbeit nicht zu beantworten suche. Jedenfalls zeigt sich so, wieso eine fundamentalere zeitliche Asymmetrie ein zeitlich gerichtetes Verständnis von Kausalbeziehungen ermöglicht und so auch letztlich zur Vorstellung einer vermeintlich genuin kausalen Asymmetrie führen kann.

Singuläre Kausalität

Was das zweite Kriterium der Ermöglichung genuin singulärer Kausalbeziehungen ohne den Bezug auf generelle Kausalbeziehungen anbelangt, verhält sich die in diesem Unterkapitel vorgeschlagene Ausweitung der Salmonschen Ideen auf spezielle Kausalbeziehungen im Wesentlichen wie die ursprünglichen Erhaltungsgrößentheorien selbst. Genauso wie der Austausch und die Übertragung von Erhaltungsgrößen zunächst einzelnen (fundamental-)physikalischen Kausalbeziehungen zukommen, kommen auch spezielle Veränderungen und Erhalte unmittelbar singulären speziellen Kausalbeziehungen zu. Folglich bedarf es hier ebenfalls keines Bezugs auf generelle Kausalbeziehungen, sodass die damit einhergehenden Probleme möglicher Referenzklassenbildungen auch hier ausgespart werden können. Allerdings gilt dies nur, sofern sich spezielle Veränderungen bzw. Ereignisse tatsächlich – wie in Abschnitt 2.2.1 argumentiert – intrinsisch und nicht erst über den Bezug auf mögliche Ereignisklassen charakterisieren lassen. Ein Bezug auf generelle Kausalbeziehungen spielt hingegen erst bei der Frage nach den Ursachen verschiedener Aspekte eines Wirkungsereignisses sowie bei der Selektion zwischen verschiedenen Ursachen und Aspekten in Form eines kontrafaktischen Bezugs auf einen durch solche generellen Kausalbeziehungen generierten Normalitätskontext eine Rolle, wie ich in Abschnitt 4.3.2 c) noch ausführlicher argumentieren werde.

Kausalität vs. Korrelation

Wie sich schließlich bereits bei der Erhaltungsgrößentheorie zeigte, ist der große Vorteil von Kausalitätstheorien, die das produktive Element der Kausalität in den Vordergrund rücken, dass sie es mit Blick auf das dritte und letzte Kriterium besser schaffen, Kausalität von bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft und damit letztlich auch von bloßer Korrelation zu unterscheiden. In Analogie zur Erhaltungsgrößentheorie lassen sich nun auch in dem in diesem Unterkapitel entwickelten Ansatz produktive Erhalte als Abgrenzungsmerkmal zwischen speziellen Kausalbeziehungen und bloßen raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehungen angeben. Während also in speziellen Kausalbeziehungen spezielle Veränderungen produktiv erhalten werden, ist dies bei bloßen raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehungen nicht der Fall. Damit stellen auch gemeinsame Verursachungen und Frustrationen von Ursachen hier ebenfalls kein Problem dar.

Im Beispiel des abfallenden Luftdrucks, der gleichermaßen dazu führt, dass das Barometer fällt und ein Gewitter aufzieht, ist der Abfall der Barometeranzeige über keinen makroskopischen produktiven Erhalt mit dem Gewitter verbunden. Selbst wenn sich der Prozess zwischen fallender Barometeranzeige und aufziehendem Gewitter womöglich als spezieller Erhalt beschreiben lassen sollte, zeigt ein konstitutiver Blickwinkel, dass dieser spezielle Erhalt nicht aus den entsprechenden Ereignissen hervorgeht bzw. in diese übergeht. Damit steht das Fallen der Barometeranzeige in keiner kausalen Beziehung mit dem aufziehenden Gewitter, sondern ist diesem aufgrund der gemeinsamen Verursachung lediglich korrelativ vorgelagert. Darüber hinaus ist im Beispiel des doppelten Steinwurfs das Werfen des ersten Steins aufgrund des Werfens des zweiten Steins nicht mit dem Zerschlagen der Fensterscheibe über einen produktiven Erhalt verbunden, da der erste Stein einfach durch das durch den zweiten Stein bereits zerbrochene Fenster hindurch fliegt. Folglich kann das Werfen des ersten Steins auch nicht die Ursache des Zerschlagens der Fensterscheibe sein. Auch hier stehen das Werfen des ersten Steins und das Zerschlagen der Fensterscheibe in einer ausschließlich raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehung.

Wie bei einer Erhaltungsgrößentheorie, die auch Erhalte von nicht-exakten Erhaltungsgrößenbeträgen zulässt, werden zudem auch in dem in diesem Unterkapitel vorgestellten Ansatz kleinste Veränderungen als für spezielle Erhalte irrelevant ausgeschlossen. Damit lässt sich zunächst auch hier dem Problem, dass aufgrund der allseitigen fundamental-physikalischen Veränderungen eine zielführende Unterscheidung zwischen Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft doch nicht möglich sein könnte, begegnen. Denn so finden zwar auch bei speziellen Erhalten permanent fundamentalere Veränderungen statt; diese sind aber für die Charakterisierung von Kausalbeziehungen durch produktive Erhalte ohne Belang.

Darüber hinaus müssen durch die Einbeziehung allgemeiner spezieller Veränderungen nun anders als in der Erhaltungsgrößentheorie nicht alle Kausalbeziehungen auf genuin physikalische Erhalte von Erhaltungsgrößen zurückgeführt werden. Folglich lassen sich so nicht nur Kausalbeziehungen und bloße raumzeitliche Nachbarschaftsbeziehungen spezieller Ereignisse zielführend unterscheiden, sondern spezielle Kausalbeziehungen jenseits der Physik werden so auch überhaupt erst möglich. Insbesondere lassen sich so bspw. biologische Mechanismen als Abfolgen einer Vielzahl von Kausalbeziehungen charakterisieren, ohne dabei auf eine reine Übertragung von Erhaltungsgrößen reduziert zu werden oder sich in einem Zirkel zu verfangen.

Nach der Diskussion der Kriterien für eine geeignete Theorie spezieller Kausalität möchte ich im Folgenden nun auch noch darüber hinausgehende epistemologische Fragestellungen in den Blick nehmen und hierbei zunächst untersuchen, ob und wie sich solche speziellen Kausalbeziehungen empirisch feststellen lassen.

b) Feststellbarkeit produktiver Erhalte

Nach der ontologischen Charakterisierung spezieller Kausalbeziehungen als Paare spezieller Veränderungen, die über produktive Erhalte miteinander verbunden sind, stellt sich nun die Frage, wie sich derart charakterisierte Kausalbeziehungen auch empirisch feststellen lassen. Dazu lässt sich zunächst bemerken, dass wir wie bei der Wahrscheinlichkeit, wo wir die konstitutiven Symmetrien im einzelnen Zufallsexperiment mittels probabilistischer Muster feststellten, auch die produktiven Erhalte der Kausalbeziehungen in der Regel nicht anhand singulärer Beziehungen von Ereignissen feststellen können. Entsprechend spielen Regularitäten und offensichtliche kontrafaktische Abhängigkeiten von Ereignissen eine ähnlich zentrale Rolle bei der Feststellung singulärer Kausalbeziehungen wie Häufigkeiten und offensichtliche Symmetrien bei der Feststellung von Wahrscheinlichkeiten. Die erkannten Regularitäten und kontrafaktischen Abhängigkeiten müssen sich im Allgemeinen aber nicht mit den tatsächlich im Einzelfall vorliegenden produktiven Erhalten decken. Dies verdeutlichen insbesondere die Probleme der entsprechenden Kausalitätstheorien hinsichtlich einer zielführenden Unterscheidung von Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft. Wie schon bei der Wahrscheinlichkeit können folglich auch für singuläre Kausalbeziehungen Regularitäten und kontrafaktische Abhängigkeiten lediglich ein Indiz für die ontologisch zugrundeliegenden, eigentlichen Kausalbeziehungen sein.

Dies möchte ich am Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe veranschaulichen. In diesem Beispiel besteht die Kausalbeziehung darin, dass die speziellen Ereignisse des Werfens

des Steins und des Zerbrechens der Fensterscheibe über einen produktiven Erhalt in Form des Steinflugs miteinander verbunden sind. Darüber hinaus sei nun angenommen, dass wir in einem konkreten Fall dieses Beispiels die Abfolge aus einer ersten speziellen Veränderung, einem produktiven Erhalt und einer zweiten speziellen Veränderung nicht unmittelbar feststellen können bzw. uns unsicher sind, ob der spezielle Erhalt tatsächlich aus der ersten speziellen Veränderung hervorgeht bzw. in die zweite spezielle Veränderung übergeht. In einem solchen Fall würden wir entweder die regelmäßige Abfolge von geworfenen Steinen und zerbrochenen Fensterscheiben heranziehen oder aber aufgrund unserer bisherigen Kenntnisse über die Natur eine kontrafaktische Abhängigkeit zwischen diesen beiden Ereignissen abzuleiten versuchen.

Ontologisch entscheidend für das Vorliegen einer derart festgestellten Kausalbeziehung ist aber allein, dass die beiden speziellen Ereignisse über einen produktiven Erhalt miteinander verbunden sind. Dies wird deutlich, sobald das Beispiel entsprechend den Problemen der Regularitäts- und kontrafaktischen Theorien hinsichtlich der Unterscheidung von Kausalität und bloßer raumzeitlicher Nachbarschaft abgeändert wird. So könnte sich bspw. die Fensterscheibe schon im Zerschlagen befunden haben, kurz bevor der Stein die Fensterscheibe berührte. Der Bezug auf Regularitäten und kontrafaktische Abhängigkeiten könnte dann weiterhin eine Kausalbeziehung zwischen dem Werfen des Steins und dem Zerschlagen der Fensterscheibe vermuten lassen, obwohl keine solche Kausalbeziehung mehr vorliegt, da die dem speziellen Prozess des Steinflugs zugrundeliegenden fundamentalen Ereignisse nicht in nennenswerter Weise mit den dem Zerschlagen der Fensterscheibe zugrundeliegenden fundamentalen Ereignissen über fundamentalere produktive Erhalte verbunden sind.

Selbst wenn wir Kausalbeziehungen also nicht unmittelbar als Abfolge von speziellen Veränderungen, die über produktive Erhalte miteinander verbunden sind, feststellen können, dürfen wir sie nicht einfach ontologisch mit regulären oder kontrafaktischen Beziehungen gleichsetzen, da diese falsche Kausalbeziehungen implizieren können. Folglich kommt in dem in diesem Unterkapitel vorgeschlagenen Ansatz den Regularitäten und kontrafaktischen Abhängigkeiten und damit auch ihren Problemen lediglich eine rein epistemologische aber eben keine ontologische Bedeutung zu. Als letztes möchte ich nun nach der bereits angedeuteten Bedeutung genereller Kausalbeziehungen bei der Feststellung von singulären Kausalbeziehungen auch noch einen Blick auf ihre Bedeutung für die bisher ausgesparten Probleme der negativen Ursachen und der Unterscheidung zwischen Ursachen und bloßen Hintergrundbedingungen werfen.

c) Selektion von Ursachen

In der bisherigen Diskussion über die richtige ontologische Charakterisierung der Kausalität habe ich zwei klassische Probleme der Kausalitätsdebatte weitestgehend ausgespart. Das erste dieser Probleme ist die Selektion zwischen verschiedenen Ursachen verbunden mit der Frage, ob und wie sich einzelne Ursachen von bloßen Hintergrundbedingungen unterscheiden lassen. Das zweite Problem stellt die negative Kausalität dar und betrifft die Frage, wie das Ausbleiben eines Ereignisses ein anderes Ereignis verursachen kann bzw. durch ein anderes Ereignis verursacht werden kann. Der bisherige Aufschub dieser beiden Probleme ist dabei neben dem Fokus auf singuläre Kausalbeziehungen darauf zurückzuführen, dass sich diese Probleme im Wesentlichen für alle hier diskutierten Kausalitätstheorien gleichermaßen stellen. Da diese Probleme allerdings oftmals insbesondere als Probleme produktiver Ansätze explizit angeführt werden, möchte ich sie nun doch zumindest kurz besprechen. Entsprechend werde ich im Folgenden versuchen zu zeigen, wie sich diese beiden Probleme in einem Übergang zu generellen Kausalbeziehungen vor dem Hintergrund des in diesem Unterkapitel vorgeschlagenen Ansatzes verstehen lassen.

Das Problem der Selektion von Ursachen besteht zunächst darin, dass wir für gewöhnlich gleichermaßen im Alltag wie in der Wissenschaft zwischen Ursachen und bloßen Hintergrundbedingungen unterscheiden. So bezeichnen wir zwar das Werfen des Steins gemeinhin als die Ursache für das Zerschlagen der Fensterscheibe, nicht aber den vorherigen stationären Zustand des Fensters bzw. seine Errichtung. Dennoch schaffen es weder Abhängigkeits- noch Produktionsansätze dieser Unterscheidung unmittelbar gerecht zu werden. Denn einerseits wäre die Fensterscheibe nicht zerbrochen, wenn das Fenster nicht zuvor schon dagewesen wäre, und andererseits werden gleichermaßen Erhaltungsgrößen oder spezielle Veränderungen zwischen der Errichtung des Fensters und dem Zerschlagen der Scheibe übertragen bzw. erhalten. Das Fehlschlagen einer zielführenden Abgrenzung von Ursachen und Hintergrundbedingungen im Rahmen der gängigen Kausalitätstheorien führt so zu der weithin vertretenen Position, dass sich zumindest in ontologischer Hinsicht nicht zwischen Ursachen und bloßen Hintergrundbedingungen unterscheiden lässt.⁸³

Das Problem der negativen Kausalität hingegen besteht nun darin, dass wir im Alltag wie auch in den speziellen Wissenschaften oftmals von ausbleibenden Ereignissen als Ursachen oder Wirkungen sprechen, es aber unklar bleibt, wie ein solches Ausbleiben von Ereignissen etwas hervorbringen kann bzw. hervorgebracht werden kann. Da für gewöhnlich nur einige ausbleibende Ereignisse als negative Ursachen bzw. Wirkungen in Betracht gezogen werden,

⁸³ vgl. Schaffer (2016)

stellt sich zudem die Frage, wie sich zwischen kausal relevanten und kausal irrelevanten ausbleibenden Ereignissen unterscheiden lässt. So wird bspw., wenn jemand von einem Tag auf den anderen aufhört die eigene Pflanze zu gießen, dies als negative Ursache dafür aufgeführt, dass diese Pflanze eingeht. Unabhängig von der grundsätzlichen Frage, wie das Nichtgießen überhaupt etwas verursachen kann, stellt sich nun aber insbesondere die Frage, wieso wir ausschließlich das Nichtgießen derjenigen Person, die die Pflanze bisher gegossen hatte, als negative Ursache ansehen und nicht auch die Tatsache, dass auch niemand anderes die Pflanze goss. Denn genauso gut ließe sich argumentieren, dass niemand aus der Nachbarschaft, die Pflanze goss und sie deshalb einging. Auch bei diesem Problem versagen Abhängigkeits- und Produktionsansätze zunächst gleichermaßen. Während erstere alle potenziellen negativen Ursachen einschließen, schließen letztere alle aus. Denn einerseits wäre die Pflanze nicht eingegangen, wenn jemand aus der Nachbarschaft sie gegossen hätte, und andererseits übertragen sich weder vom Nichtgießen der Person, die die Pflanze bisher gegossen hatte, noch vom Nichtgießen der Nachbarschaft irgendwelche Erhaltungsgrößen oder spezielle Veränderungen auf die Pflanze. Entsprechend ist es auch bei negativer Kausalität scheinbar naheliegend ihr höchstens eine explanatorische Bedeutung zuzuschreiben, die keine unmittelbare ontologische Entsprechung findet.

Aufgrund der Trennschärfe, mit der wir gemeinhin zwischen Ursachen und Hintergrundbedingungen unterscheiden sowie gezielt einzelne ausbleibende Ereignisse als negative Ursachen bzw. Wirkungen herausgreifen, gibt es vereinzelt Versuche gegen ein solches ontologisch egalitäres Kausalitätsverständnis, das gleichermaßen alle Hintergrundbedingungen einschließt und alle ausbleibenden Ereignisse ausschließt, vorzugehen. Der bedeutendste Ansatz zwischen Ursachen und Hintergrundbedingung sowie zwischen negativen Ursachen und kausal irrelevanten ausbleibenden Ereignissen zu unterscheiden ist dabei die Abnormalitätsbedingung von Herbert L. A. Hart und Tony Honoré (1959, Teil I, Kap. 2), die ihre Kausalitätstheorie im Rahmen der Rechtstheorie entwickeln und daher stark am Alltagsdenken ausrichten.⁸⁴ Beide Probleme betreffen dabei die Selektion zwischen kausal relevanten und kausal irrelevanten Ereignissen. Im einen Fall findet die Selektion zwischen eintretenden Ereignissen statt, die wir nicht alle als Ursachen zählen lassen wollen, im anderen Fall findet die Selektion zwischen ausbleibenden Ereignissen statt, von denen wir einige in die kausale Geschichte eines Ereignisses aufnehmen wollen.

⁸⁴ Einen weiteren bedeutenden Versuch, Ursachen von Hintergrundbedingungen abzugrenzen, stellen Mackies (1965 und 1980, Kap. 3) INUS-Bedingungen dar, die Ursachen als nicht-hinreichenden, aber notwendigen Teil einer Bedingung, die selbst für die Wirkung nur hinreichend, nicht aber notwendig ist, charakterisieren. Was notwendig ist und was nicht, lässt sich dabei nach Mackie nur vor dem Hintergrund eines kausalen Felds (causal field), das den Hintergrundkontext beschreibt, bestimmen.

Die prinzipielle Idee von Hart und Honoré (1959, 33-35) ist nun, dass sich nur vor dem Hintergrund von Normalität diese Selektionen zielführend durchführen lassen.⁸⁵ Vor einem solchen Hintergrund lassen sich schließlich gleichermaßen eintretende wie ausbleibende abnormale Ereignisse als Ursachen von Hintergrundbedingungen respektive kausal irrelevanten ausbleibenden Ereignissen abgrenzen. Demnach unterscheiden wir zwischen normalen Hintergrundbedingungen, die für eine Wirkung zwar vorliegen müssen, dies aber sowieso tun, und solchen Bedingungen, die normalerweise nicht vorliegen und folglich durch ihr Vorliegen die Wirkungen in einem engeren Sinne verursachen. Weiter wird eine Unterscheidung zwischen verschiedenen ausbleibenden Ereignissen möglich, insofern nur solche ausbleibenden Ereignisse als negative Ursachen verstanden werden, die normalerweise eingetreten wären bzw. eintreten hätten sollen.

Das Problem eines solchen Lösungsversuchs ist allerdings die Kontextabhängigkeit des Normalitätsbegriffs, wie Hart und Honoré (1959, 35-38) selbst bereits bemerken.⁸⁶ Eine solche Kontextabhängigkeit macht aber eine ontologische Abgrenzung von Ursachen und Hintergrundbedingungen sowie von negativen Ursachen und kausal irrelevanten ausbleibenden Ereignissen schwierig. Wieso wir dennoch eine relativ starke Grundintuition hinsichtlich eines Unterschieds von Ursachen und Hintergrundbedingungen sowie von negativen Ursachen und kausal irrelevanten ausbleibenden Ereignissen haben und wieso diesen Unterscheidungen entsprechend dennoch eine explanatorische Bedeutung zukommen kann, möchte ich nun zumindest in solchen Fällen, in denen Normalität auf objektiv feststellbaren Kriterien beruht, vor dem Hintergrund des in diesem Unterkapitel vorgeschlagenen allgemeinen Erhaltungsansatzes versuchen zu plausibilisieren. Zwar werden den Hintergrundbedingungen bzw. den negativen Ursachen und Wirkungen dabei auch weiterhin eigentliche Ursachen und Wirkungen im Sinne von produktiven Erhalten zugrunde liegen; allerdings wird sich so zumindest das Auseinanderfallen zwischen unseren Intuitionen bzgl. dieser Unterscheidungen und der vorgeschlagenen zugrundeliegenden ontologischen Charakterisierung erklären lassen. Insofern sich dabei zeigen wird, dass sich die Selektion von Ursachen über einen verallgemeinerten Begriff von Veränderungen und Erhalten verstehen lässt, möchte ich damit insbesondere auch dem Vorwurf begegnen, dass sich unsere Intuitionen diesbezüglich vor dem Hintergrund von produktiven

⁸⁵ Die Grundidee von Kausalität als Abweichung von der Normalität lässt sich dabei zu einer eigenständigen Störungstheorie der Kausalität ausbauen, die Kausalität als Abweichung bzw. Störung von Inertialgesetzen oder -prozessen beschreibt, siehe insbesondere Maudlin (2004) und Hüttemann (2020).

⁸⁶ Auch bei Mackie (1980, 34-36) erfolgt die Bestimmung seines kausalen Feldes nach pragmatischen Gesichtspunkten. Beebe (2004) verweist zudem darauf, dass was als normal gilt oftmals von subjektiven Überzeugungen und Moralvorstellungen abhängig ist und argumentiert daher für eine ausschließliche Bedeutung negativer Kausalität für die kausale Erklärung (vgl. auch Davidson 1967).

Kausalitätstheorien grundsätzlich nicht verstehen lassen.⁸⁷ Dazu möchte ich nun die beiden obigen Beispiele nochmals vor dem Hintergrund des in diesem Unterkapitel entwickelten Ansatzes etwas näher betrachten.

Im ersten Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe bezeichnen wir gemeinhin die letzte wesentliche Instandsetzung (oder gar die Errichtung) des Fensters nicht als Ursache des Zerbrechens der Fensterscheibe, dennoch ist diese über einen produktiven Erhalt in Form des stationären Zustands des Fensters mit dem Zerbrechen der Fensterscheibe verbunden und folglich zunächst in gleicher Weise wie das Werfen des Steins eine Ursache für das Zerbrechen der Fensterscheibe. Wieso wir dennoch gemeinhin nur das Werfen des Steins als Ursache betrachten, liegt nun daran, dass das Fenster sich zum Zeitpunkt des speziellen Ereignisses des Werfens des Steins bereits seit langem in einem produktiven Erhalt befand. Wenn nun Kausalbeziehungen allgemein als Paare spezieller Ereignisse, die über produktive Erhalte miteinander verbunden sind, charakterisiert sind und die letzte spezielle Veränderung in Form der Instandsetzung des Fensters bereits weit zurück liegt, betrachten wir oftmals nur die spätere spezielle Veränderung in Form des Werfens des Steins als Ursache, während wir die weit zurückliegende spezielle Veränderung der letzten Instandsetzung des Fensters als Normalzustand und somit als Hintergrundbedingung einordnen.⁸⁸

Im Fall der negativen Kausalität sind es hingegen generelle Kausalbeziehungen bzw. stabile Kausalmechanismen, die uns einer Lösung des Problems näherbringen.⁸⁹ Stabile Kausalmechanismen sind durch regelmäßig auftretende spezielle Veränderungen und produktive Erhalte desselben Typs gekennzeichnet. Beispielweise hat das Gießen durch eine Person immer zum Weiterleben der Pflanze geführt. Durch dieses regelmäßige Gießen rückt es in den Hintergrund, dass das Gießen jedes Mal wieder eine spezielle Veränderung darstellt, von der ein produktiver Erhalt ausgeht. Stattdessen begreifen wir diese speziellen Veränderungen oftmals selbst als Teil eines speziellen Erhalts, der erst durch das Ausbleiben des Gießens in einer speziellen Veränderung mündet. Durch die regelmäßig auftretenden Kausalbeziehungen betrachten wir also die eigentlichen speziellen Veränderungen als normal und schreiben stattdessen ihrem Ausbleiben eine vermeintlich kausale Bedeutung im Sinne einer negativen

⁸⁷ In ähnlicher Weise interpretiert auch Dowe (2004) negative Kausalität aufgrund der damit einhergehenden Probleme für produktive Ansätze als ein über die eigentliche Kausalität hinausgehendes 'quasi-kausales' Konzept, das eine kontrafaktische Beziehung zwischen singulären Ereignissen beschreibt. Im Gegensatz dazu argumentiert hingegen Schaffer (2000), dass zur Lösung der Fälle negativer Kausalität produktive Beziehungen ontologisch um Abhängigkeitsbeziehungen ergänzt werden müssen.

⁸⁸ Und selbst wenn in einem konkreten Fall das Fenster kurz zuvor instandgesetzt wurde, würden wir unter Bezug auf entsprechende Referenzklassen, in denen letzte Instandsetzungen von Fenstern üblicherweise lange Zeit vor Steinwürfen auf die Fenster stattfinden, die Instandsetzung dennoch als Hintergrundbedingung einordnen.

⁸⁹ Wolff (2016) argumentiert in ähnlicher Weise, dass sich vor dem Hintergrund eines Standardverhaltens stabiler Prozesse negative Kausalität objektiv interpretieren lässt.

Ursache zu. Dies erklärt allerdings zunächst nur, warum wir ausbleibenden Ereignissen überhaupt eine kausale Bedeutung beimessen können. Um nun aber nicht willkürlich einzelne ausbleibende Ereignisse in die kausale Geschichte eines Ereignisses einzuschließen und andere davon auszuschließen, müssen die stabilen Kausalmechanismen möglichst spezifisch sein. Also nur wenn das Gießen durch eine bestimmte Person regelmäßig zum Weiterleben der betrachteten Pflanze führte, ist ausschließlich das konkrete Nichtgießen durch diese Person als negative Ursache auszumachen. Wenn hingegen auch andere Personen die Pflanze regelmäßig gossen und so zu ihrem Weiterleben führten, kann das Nichtgießen der einzelnen Person zumindest nach objektiven Maßstäben nicht mehr die alleinige negative Ursache sein.

Wenngleich also eine Unterscheidung zwischen Ursachen und Hintergrundbedingungen sowie zwischen negativen Ursachen und kausal irrelevanten ausbleibenden Ereignissen mitunter durch objektiv feststellbare Kriterien erfolgen kann, ändert dies nichts an der ontologischen Charakterisierung der Kausalität. Denn auch weiterhin liegen den entsprechend beschriebenen Kausalbeziehungen produktive Erhalte und damit eigentliche Kausalbeziehungen zugrunde. Allerdings erklärt ein solcher Normalitätsbegriff zumindest, wieso wir gemeinhin Hintergrundbedingungen ausschließen und einzelne negative Ursachen mit einschließen, wenn wir von Ursachen sprechen bzw. etwas kausal erklären.⁹⁰

Damit möchte ich die eigenständige Diskussion der speziellen Kausalität beschließen. Im nächsten Kapitel werde ich nun hingegen versuchen zu klären, in welchem Verhältnis die durch produktive Erhalte charakterisierten Kausalbeziehungen zu den im letzten Kapitel durch konstitutive Symmetrien charakterisierten Wahrscheinlichkeiten stehen.

⁹⁰ Eng verbunden mit einem solchen Normalitätsbegriff ist auch die Frage nach der Transitivität der Kausalrelation. Zunächst lassen wir aufgrund derselben Normalität, aufgrund derer wir Hintergrundbedingungen unberücksichtigt lassen, oftmals auch normale Zwischenereignisse bei aufeinanderfolgenden produktiven Erhalten weg und erhalten so etwas wie eine objektive Transitivität von Kausalbeziehungen. Allerdings besteht eine solche Transitivität nur, wenn alle Zwischenereignisse, die mit denselben Ereignissen verbunden sind, weggelassen werden und wenn ausschließlich eintretende Ereignisse weggelassen werden. Berücksichtigen wir hingegen auch ausbleibende Ereignisse in singulären Kausalketten als Zwischenereignisse und lassen ein solches Ereignis einfach weg, führt dies zu entsprechenden Paradoxien, wenn durch das Weglassen eines ausbleibenden Zwischenereignisses auch der Normalitätsbezug verloren geht, der das ausbleibende Ereignis überhaupt erst als ein negative Ursache in Abgrenzung zu beliebigen ausbleibenden Ereignissen auszeichnete. Analoges gilt für das Weglassen von selektierten Ursachen bei sich verändernden Hintergrundbedingungen.

Kapitel 5: Zusammenhang von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität

In diesem Kapitel möchte ich nun zeigen, wie sich die in Kapitel 3 vorgeschlagene Wahrscheinlichkeitsinterpretation mit der in Kapitel 4 entwickelten Kausalitätstheorie verbinden lässt und wie entsprechend Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen spezieller Ereignisse zusammenhängen. Die dieser Zusammenführung zugrundeliegende Kernidee wird dabei sein, dass einerseits spezielle Wahrscheinlichkeit eine konstitutive Eigenschaft darstellt, während andererseits spezielle Kausalität eine produktive Beziehung beschreibt (5.1). Durch diese voneinander unterschiedenen Rollen von Wahrscheinlichkeit und Kausalität spezieller Ereignisse lassen sich sodann zunächst die Probleme von kausal interpretierten bedingten Wahrscheinlichkeiten sowie von Kausalbeziehungen zwischen Ereignissen verschiedener Konstitutionsstufen vermeiden (5.2). Weiter lässt sich durch eine klare Rollenverteilung auch der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeiten, die in einer produktiven Beziehung zueinander stehen, wie auch zwischen Kausalbeziehungen, die in einer konstitutiven Beziehung zueinander stehen, verstehen (5.3).

5.1 Verbindung von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität

In diesem ersten Unterkapitel werde ich zunächst zeigen, wie sich die der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität zugrundeliegenden mathematischen Strukturen in Form sogenannter Bayesscher Netze formal verbinden lassen (5.1.1). Daran anschließend werde ich die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Interpretationen von Wahrscheinlichkeit und Kausalität spezieller Ereignisse als konstitutive Symmetrien respektive produktive Erhalte rekapitulieren und zeigen wie auch diese beiden Interpretationen zusammengehen (5.1.2). Dabei werde ich insbesondere den genauen Zusammenhang von Wahrscheinlichkeit und Kausalität in Zufallsexperimenten herausarbeiten und damit versuchen zu zeigen, wie Wahrscheinlichkeit und Kausalität sich einander ergänzend zusammenhängen.

5.1.1 Formale Verbindung von Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen

In den Abschnitten 3.1.1 und 4.1.1 hatte ich bereits gezeigt, dass sich Wahrscheinlichkeit und Kausalität unabhängig voneinander über Wahrscheinlichkeitsräume bzw. gerichtete azyklische Graphen (DAGs) formal charakterisieren lassen. Insofern nun aber gerichtete azyklische Graphen mit gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsverteilungen versehen werden können, lassen sich auch die entsprechenden Kausalbeziehungen und Wahrscheinlichkeiten formal miteinander verbinden. Demnach können Ereignisse nicht nur in Kausalbeziehungen stehen, sondern ihnen können zugleich Wahrscheinlichkeiten zukommen. Solche formale Verbindungen von

Kausalitäts- und Wahrscheinlichkeitsstrukturen werden dabei oftmals als 'Bayessche Netze' bezeichnet und sind weitestgehend unabhängig von der jeweils zugrundeliegenden Interpretation von Kausalität und Wahrscheinlichkeit.¹ Dabei bleiben Kausalität und Wahrscheinlichkeit auch weiterhin durch die Graphenstruktur respektive die Maßraumstruktur formal charakterisiert, sodass bei der in dieser Arbeit verfolgten singulären Interpretation von Kausalität und Wahrscheinlichkeit die Kausalbeziehungen auch weiterhin azyklische gerichtete Beziehungen zwischen einzelnen Ereignissen und die Wahrscheinlichkeiten auch weiterhin Messwerte für einzelne Ereignisse darstellen.

Insofern die einzelnen Ereignisse mit Wahrscheinlichkeiten versehen werden, werden die entsprechenden Knoten nun allerdings nicht mehr ausschließlich die tatsächlich eintretenden singulären Ereignisse repräsentieren, sondern auch ihre probabilistischen Alternativereignisse mit einschließen. Dies ändert jedoch nichts daran, dass die Bayesschen Netze bei einer singulären Wahrscheinlichkeits- und Kausalitätsinterpretation auch weiterhin singuläre Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen beschreiben können. Im Falle eines einzelnen Münzwurfs mit dem Ergebnis 'Kopf' würde etwa der Knoten, der dieses Ergebnis repräsentiert, nicht nur das tatsächliche Ergebnis 'Kopf', sondern auch die alternative Möglichkeit 'Zahl' sowie die singulären Wahrscheinlichkeiten der beiden möglichen Ergebnisse beinhalten. Folglich repräsentiert der Knoten in diesem Fall eher das Ereignis des Landens der Münze als das konkrete Ergebnis 'Kopf'.²

In Abschnitt 3.3.1 c) hatte ich dabei bereits gezeigt, dass Ereignissen nur insofern eindeutig bestimmte spezielle Wahrscheinlichkeiten zukommen können, als sie das Ergebnis von Zufallsexperimenten sind. Folglich kommen die Wahrscheinlichkeiten den Knoten, die die Ereignisse repräsentieren, nur insofern zu, als diese Knoten Teil von Kanten, die Zufallsexperimente repräsentieren, sind. Im Beispiel des Münzwurfs würde sich etwa ein Graph mit zwei Knoten für das Werfen der Münze und das Landen der Münze ergeben, die durch eine sie miteinander verbindende Kante das Zufallsexperiment des Münzwurfs repräsentieren.³ Dabei werden erst durch das Werfen der Münze die speziellen Wahrscheinlichkeiten des Landens eindeutig bestimmt. Den Ereignissen 'Kopf' und 'Zahl' kommen folglich nur dann eindeutige spezielle Wahrscheinlichkeiten zu, wenn das Landen der Münze Teil eines Zufallsexperiments

¹ Bayessche Netze bilden dabei auch ein zentrales Kernstück der kausalen Modellierung, wo sie zumeist interventionistisch interpretiert werden (vgl. Abschn. 4.1.1 & 4.2.4).

² Insofern lassen sich Knoten nun tatsächlich als Variablen verstehen; allerdings bilden diese Variablen gemäß der in dieser Arbeit verfolgten singulären Interpretation eben nur die möglichen Alternativen singulärer Zufallsexperimente ab (vgl. Abschn. 4.1.1).

³ Die Kante selbst können wir dabei im Sinne der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Interpretation auch als eine Repräsentation des Flugs der Münze in der Luft verstehen, wie noch aus den Überlegungen im nächsten Abschnitt deutlicher hervorgehen wird (vgl. Abschn. 5.1.2).

ist. Folglich beinhalten die Wahrscheinlichkeiten der Ereignisse bereits die Information über die in sie einlaufenden Kanten bzw. kommen implizit den gerichteten Kanten selbst zu, insofern diese nichts anderes als die geordneten Paare der entsprechenden Knoten sind. Dieser durch die Graphenstruktur wiedergegebene Bezug der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses auf seine im Zufallsexperiment liegenden Ursachen wird dabei im folgenden Abschnitt ermöglichen, dass sich in Zufallsexperimenten genuin probabilistische und genuin kausale Aspekte voneinander unterscheiden lassen und sich Wahrscheinlichkeiten ontologisch im Wesentlichen als konstitutive Eigenschaft der speziellen Ereignisse, die den produktiven Erhalten vorausgehen, interpretieren lassen.⁴

Allgemein verdeutlichen die zunächst unabhängigen formalen Charakterisierungen der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität über Maßräume respektive Graphen, dass Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen nicht aufeinander reduziert werden können. Denn sofern die zugrundeliegenden mathematischen Strukturen dieser beiden Konzepte tatsächlich die jeweils angegebenen sind, schließt die strukturelle Verschiedenheit dieser beiden Strukturen bereits eine wie auch immer geartete Reduktion der entsprechenden philosophischen Konzepte aufeinander aus. Diese strukturelle Verschiedenheit liegt dabei konkret darin, dass sich weder Graphen durch Maßräume noch Maßräume durch Graphen formal definieren lassen. Darüber hinaus zeigt nun aber die soeben vorgenommene formale Verbindung dieser beiden mathematischen Strukturen, dass die durch diese Strukturen repräsentierten philosophischen Konzepte sehr wohl miteinander vereinbar sind. Dies rechtfertigt nun zunächst aus rein formaler Perspektive auch eine mögliche ontologische Verbindung der Konzepte der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität, die ich im nächsten Abschnitt entsprechend explizit vornehmen möchte.

5.1.2 Ontologische Verbindung von konstitutiven Symmetrien und produktiven Erhalten

Nachdem ich gezeigt habe, dass die mathematischen Strukturen, die der Wahrscheinlichkeit und der Kausalität zugrunde liegen, sich formal verbinden lassen, möchte ich nun auch untersuchen, wie die in den Kapiteln 3 und 4 erarbeiteten Interpretationen spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität zusammenhängen. Zunächst kam ich dabei ausgehend von Überlegungen der Spielraumtheorie in Kapitel 3 zu einer Rückführung spezieller Wahrscheinlichkeiten auf konstitutive Symmetrien. Unter konstitutiven Symmetrien von Zufallsexperimenten fasste ich dabei diejenigen konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte auf, deren zugehörige Symmetrietransformationen in den Zufallsexperimenten auch tatsächlich dynamisch realisiert wurden.

⁴ Dabei stellt der Bezug der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses auf seine Ursachen keine Bedingung im Sinne bedingter Wahrscheinlichkeiten dar, wie ich im nächsten Unterkapitel noch zeigen werde (vgl. Abschn. 5.2.1).

Anders als bei epistemologischen Indifferenzüberlegungen spielten dabei nicht die oberflächlichen bzw. speziellen Symmetrien selbst die entscheidende Rolle, sondern die Tatsache, wie diese Symmetrien tatsächlich physisch konstituiert waren und welche dieser Symmetrien tatsächlich dynamisch aktiviert wurden. Im diskutierten Fall des Münzwurfs entsprach diese Konstitution bspw. einer bestimmten Masseverteilung bzgl. der durch das Werfen der Münze aktivierten Rotationssymmetrie der Münze. Spezielle Wahrscheinlichkeiten waren demnach nichts anderes als die Folge dieser Symmetrien und stellten im Wesentlichen eine konstitutive Eigenschaft dar, die die Zufallsexperimente auslösenden Ereignisse dar, wenngleich diese Eigenschaft, wie ich in diesem Abschnitt noch zeigen werde, im Zufallsexperiment in einen kausalen Rahmen eingebettet ist.

Daran anschließend führten Überlegungen zur Erhaltungsgrößentheorie in Kapitel 4 zu einer Interpretation von spezieller Kausalität als produktive Erhalte zwischen speziellen Ereignissen. Als produktive Erhalte bezeichnete ich dabei solche speziellen Erhalte, die auf einer fundamentaleren Konstitutionsstufe mit den speziellen Ereignissen verbunden sind. Spezielle Erhalte wiederum bezeichneten Raumzeitgebiete, die eine gewisse höhere Konstitutionsform in Abwesenheit spezieller Veränderungen besitzen. Produktive Erhalte beschreiben damit letztlich das Fortbestehen einer durch spezielle Veränderungen veränderten höheren Konstitutionsform. Anders als in Prozesstheorien teils üblich wurden dabei die speziellen Veränderungen nicht über die speziellen Erhalte definiert, sondern umgekehrt die speziellen Erhalte über die speziellen Veränderungen. Im paradigmatischen Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe lagen die entscheidenden makroskopischen Veränderungen im Werfen des Steins und dem Zerschlagen der Scheibe, während der entscheidende makroskopische produktive Erhalt der Flug des Steins in der Luft war, der durch ein Fortbestehen der durch das Werfen des Steins zugefügten Veränderungen in Abwesenheit weiterer makroskopischer Veränderungen charakterisiert war. Eine Kausalbeziehung zwischen zwei speziellen Ereignissen stellte folglich eine Abfolge eines ersten Ereignisses in Form einer speziellen Veränderung, eines speziellen Prozesses in Form eines produktiven Erhalts und eines zweiten Ereignisses in Form einer weiteren speziellen Veränderung dar. Anders als Wahrscheinlichkeit stellt Kausalität damit im Wesentlichen eine produktive Eigenschaft dar, wenngleich die genaue Konstitution spezieller Ereignisse und Prozesse, wie ich in Abschnitt 5.3.2 noch zeigen werde, spezielle Kausalbeziehungen überhaupt erst ermöglicht.

Während also Kausalbeziehungen in der produktiven Abfolge von speziellen Veränderungen und Erhalten bestehen, spiegeln Wahrscheinlichkeiten die konstitutiven Symmetrien von Zufallsexperimenten wider. Allerdings stellt dies nun keine strikte Abgrenzung

von Kausalbeziehungen und Zufallsexperimenten dar, da in Zufallsexperimenten selbst Kausalbeziehungen im Sinne des vorgeschlagenen Kausalitätsverständnisses auftreten. Daher möchte ich im Folgenden untersuchen, ob sich der genuin probabilistische Aspekt eines Zufallsexperiments, also dasjenige, was in einem Zufallsexperiment neben der bloßen Kausalbeziehung neu hinzukommt, vom kausalen Aspekt des Zufallsexperiments isolieren lässt. Dazu werde ich zunächst noch einmal den Münzwurf, den ich bisher ausschließlich als ein rein probabilistisches Phänomen betrachtet habe, der aber in Analogie zum Steinwurf auch eine Kausalbeziehung darstellt, etwas genauer betrachten. Entsprechend werde ich versuchen den Zusammenhang zwischen dem probabilistischen Symmetrieaspekt und dem kausalen Erhaltungsaspekt des Münzwurfs herauszuarbeiten. Hierzu möchte ich zunächst noch einmal kurz rekapitulieren, wie ich die Wahrscheinlichkeiten des Münzwurfs sowie die Kausalbeziehung des Steinwurfs bereits charakterisiert hatte.

Zunächst hatte ich die Wahrscheinlichkeiten im Münzwurf auf die konstitutiven Symmetrien des Zufallsexperiments des Münzwurfs zurückgeführt. Dies waren diejenigen die Konstitution der Münze widerspiegelnden Symmetrien der Münze und ihrer Umgebung, die den im Zufallsexperiment tatsächlich dynamisch realisierten Symmetrietransformationen entsprachen, also bspw. eine gleichmäßige, rotationssymmetrische Masseverteilung bezüglich der tatsächlichen Rotationsachse des Münzflugs. Weiter hatte ich die Kausalität im Fall der zerbrechenden Fensterscheibe auf eine produktiv erhaltene Veränderung zurückgeführt. Der Stein erfuhr durch das Werfen eine makroskopische Veränderung, die im Flug im Wesentlichen erhalten wurde, bis im Ereignis des Zerbrechens der Fensterscheibe der Stein eine zweite makroskopische Veränderung erfuhr. Dabei war die Abfolge der speziellen Veränderungen und des speziellen Erhalts auf einer fundamentalen Konstitutionsstufe miteinander verbunden, sodass es sich folglich tatsächlich um einen produktiven Erhalt handelte und das Werfen des Steins die Ursache für das Zerbrechen der Fensterscheibe war. Um nun die Analogie des Münzwurfs zum Steinwurf besser zu sehen, werde ich im Folgenden anders als im Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe, ausschließlich den Stein selbst betrachten und das Fenster ausklammern. Wie bereits in Kapitel 4 im Rahmen des Beispiels der zerbrechenden Fensterscheibe gesehen, liegt die Kausalität des Steinwurfs unabhängig vom Fenster in der Abfolge von zwei durch einen produktiven Erhalt miteinander verbundenen speziellen Veränderungen. Konkret bedeutet zunächst das Werfen des Steins eine spezielle Veränderung; diese Veränderung wird sodann im Flug erhalten, d.h. die Veränderungen am Stein bleiben in Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen im Wesentlichen bestehen, bis der Erhalt im Aufprall des Steins durch eine erneute spezielle Veränderung endet.

Wenn nun der probabilistische und der kausale Aspekt des Münzwurfs herausgearbeitet werden sollen, ist es entscheidend sich darüber klar zu werden, wann genau im Münzwurf Wahrscheinlichkeiten vorliegen. Da die Wahrscheinlichkeiten im Sinne der konstitutiven Symmetrien des Münzwurfs nicht ausschließlich auf die speziellen Symmetrien der Münze zurückzuführen sind, sondern davon abhängen, dass diese Symmetrien durch Symmetrietransformationen auch tatsächlich physisch relevant werden, ergibt es wenig Sinn vor dem Wurf von einer bloßen Wahrscheinlichkeit der Münze zu sprechen. Genau so wenig ist es sinnvoll der Münze selbst, nachdem sie zum Liegen gekommen ist, noch eine Wahrscheinlichkeit zuzuschreiben. Dies wird insbesondere am bereits diskutierten Beispiel des Würfels deutlich, der einmal ohne Einschränkung geworfen wird und einmal lediglich entlang der Achse zwischen der Einser- und der Sechser-Fläche abgerollt wird. Nur während des Würfelwurfs (bzw. genauer: nur nachdem der Würfel geworfen wurde und noch rollt bzw. rotiert) liegt eine ontologisch ausgezeichnete Wahrscheinlichkeit im Sinne konstitutiver Symmetrien vor; vor und nach dem Würfelwurf hingegen liegt kein Zufallsexperiment und damit auch keine solche Wahrscheinlichkeit vor. Folglich lässt sich dem Münzwurf eine eindeutig bestimmbare spezielle Wahrscheinlichkeit nur unter der Annahme zuschreiben, dass die Münze auf eine bestimmte Weise geworfen wird, sodass gewisse Symmetrietransformationen, die gewissen konstitutiven Symmetrien der Münze und ihrer Umwelt entsprechen, tatsächlich dynamisch realisiert sind.

Wenn nun dieser probabilistische Aspekt des Münzwurfs ausgeblendet wird, lässt sich andererseits der kausale Aspekt des Münzwurfs offenlegen. Dies lässt sich sehen, wenn man sich vorstellt, dass die Münze so geworfen wird, dass sie überhaupt nicht rotiert. Damit gleicht der Münzwurf nun aber dem Steinwurf. Zunächst wird die Münze durch das Ereignis des Werfens makroskopisch verändert, diese Veränderung wird im Flug produktiv erhalten, d.h. die Veränderung bleibt in Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen im Wesentlichen bestehen, bis schließlich das Ereignis des Aufpralls der Münze zu einer erneuten speziellen Veränderung führt. An dieser grundsätzlichen Kausalstruktur ändert sich jedoch auch dann nichts, wenn eine ausschließlich vom speziellen Ereignis des Wurfs abhängige Rotation der Münze wieder hinzugenommen wird. Zunächst wird die Struktur der Münze durch das Ereignis des Werfens makroskopisch verändert, diese Veränderung wird im regelmäßig rotierenden Flug im Wesentlichen erhalten, bis schließlich das Ereignis des Aufpralls der Münze zu einer erneuten makroskopischen Veränderung führt. Denn wie im Steinwurf werden auch hier im Flug Form und Material im Wesentlichen erhalten, sowie auch die zugefügte Rotationsgeschwindigkeit dem Betrag nach. Der Unterschied eines (nicht-trivialen) Zufallsexperiments zu einer bloßen

Kausalbeziehung besteht also nur darin, dass das erste spezielle Ereignis gewisse konstitutive Symmetrien aktiviert, sodass der produktive Erhalt durch dynamisch realisierte regelmäßige Symmetrietransformationen ausgezeichnet ist.

Insgesamt zeigt sich damit, wie Kausalität und Wahrscheinlichkeit in Zufallsexperimenten zusammenhängen. Die Kausalität gründet in der Abfolge von zwei speziellen Veränderungen (Wurf und Aufprall), die durch einen produktiven Erhalt (Flug), also einem Fortbestehen der Veränderung in Abwesenheit weiterer spezieller Veränderungen, miteinander verbunden sind. Die Wahrscheinlichkeit hingegen gründet in den als konstitutiven Symmetrien des Zufallsexperiments bezeichneten Symmetrien bei denen es sich, wie sich gezeigt hat, genau genommen um die konstitutiven Symmetrien des den probabilistischen produktiven Erhalt (rotierender Flug) auslösenden speziellen Ereignisses handelt. Die konstitutiven Symmetrien des Zufallsexperiments waren dabei diejenigen konstitutiven Symmetrien der Zufallsgeräte, die für die tatsächlich dynamisch realisierten Symmetrietransformationen physisch relevant sind. Spezielle Wahrscheinlichkeiten stellen damit nichts weiter als eine konstitutive Eigenschaft der die produktiven Erhalte auslösenden Ereignisse und damit letztlich auch der produktiven Erhalte von Zufallsexperimenten selbst dar. Im konkreten Beispiel des Münzwurfs ergeben sich demnach die Wahrscheinlichkeiten aus den konstitutiven Symmetrien der Münze, die den durch das Werfen der Münze im Flug dynamisch realisierten Rotationen entsprechen. Dabei sind die möglichen Ergebnisse für das Landen der Münze über den probabilistischen produktiven Erhalt des rotierenden Flugs mit dem Werfen der Münze kausal verbunden. Im nächsten Unterkapitel möchte ich nun zeigen, wie eine klare Unterscheidung dieser beiden Aspekte dabei hilft, zwei zentralen Problemen einer fehlenden solchen Unterscheidung vorzubeugen.

5.2 Einordnung von produktiver Wahrscheinlichkeit und konstitutiver Kausalität

In diesem Unterkapitel möchte ich zeigen, wie sich durch eine klare Unterscheidung zwischen der produktiven Rolle der Kausalität und der konstitutiven Rolle der Wahrscheinlichkeit Unklarheiten und Probleme, die sich aus einer Vermischung dieser Rollen ergeben, beseitigen bzw. lösen lassen. Einerseits wirft eine kausale Interpretation bedingter Wahrscheinlichkeiten, die insbesondere im Rahmen von Propensitätstheorien nahegelegt wird, die Frage auf, wie sich aufgrund der Gerichtetheit der Kausalbeziehungen mathematisch ableitbare inverse Wahrscheinlichkeiten interpretieren lassen (5.2.1). Hierzu werde ich zeigen, wie die vorgeschlagene Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeiten durch die konstitutiven Symmetrien von Zufallsexperimenten solche produktiven Wahrscheinlichkeiten ausschließt und wie sich vor dem

Hintergrund dieser Interpretation inverse Wahrscheinlichkeiten verstehen lassen. Andererseits lässt sich auf Seiten der Kausalität durch eine klare Trennung von Konstitution und Produktion die Frage negativ beantworten, ob es Kausalität zwischen den verschiedenen Konstitutionsstufen desselben Raumzeitgebiets gibt, also ob spezielle Ereignisse auf die ihnen konstitutiv zugrundeliegenden fundamentalere Ereignisse wirken können und umgekehrt (5.2.2). Hier werde ich zeigen, dass Kausalität zwischen verschiedenen Ebenen (Interlevel-Kausalität) lediglich in einem unproblematischen Sinne von Kausalbeziehungen zwischen Ereignissen, die in keiner Konstitutionsbeziehung zueinander stehen, möglich ist.

5.2.1 Produktive Wahrscheinlichkeiten: Humphreys' Paradoxon

Ein erstes Problem einer Vermischung von konstitutiven und produktiven Konzepten beschreibt Humphreys' Paradoxon. Dieses Problem wird in der Wahrscheinlichkeitsliteratur in erster Linie als ein Problem der Propensitätstheorie diskutiert.⁵ Entsprechend möchte ich es auch zunächst vor dem Hintergrund dispositionaler Wahrscheinlichkeitsinterpretationen einführen und erst daran anschließend diskutieren, wie sich diesem Problem durch eine Unterscheidung von Konstitution und Produktion mit der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Wahrscheinlichkeitsinterpretation begegnen lässt. Zunächst besteht nun Paul Humphreys' (1985) eigentliches Paradoxon darin, dass sich inverse Wahrscheinlichkeiten zwar aus bedingten Wahrscheinlichkeiten mathematisch ableiten lassen, sich aber im Rahmen der Propensitätstheorie scheinbar nicht interpretieren lassen. Formal war die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(B|A)$ eines Ereignisses B unter der Bedingung eines weiteren Ereignisses A der Quotient aus der gemeinsamen Wahrscheinlichkeit $P(A \cap B)$ der beiden Ereignisse A und B und der Wahrscheinlichkeit $P(A)$ des bedingenden Ereignisses A (also $P(B|A) = P(A \cap B)/P(A)$). Diese Definition der bedingten Wahrscheinlichkeit ermöglicht es nun mittels des sogenannten Satz von Bayes aus der Wahrscheinlichkeit $P(B|A)$ eines Ereignisses B unter der Bedingung eines Ereignisses A die inverse Wahrscheinlichkeit $P(A|B)$ des Ereignisses A unter der Bedingung des Ereignisses B abzuleiten.⁶

Im Rahmen der Propensitätstheorie lässt sich die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(B|A)$ dabei als die Propensität oder Tendenz der Erzeugungsbedingungen A , das Ereignis B zu realisieren, verstehen. Dabei kann A wahlweise für die allgemeinen Erzeugungsbedingungen von B oder für ein spezielles Ereignis, das diese allgemeinen Erzeugungsbedingungen einschränkt, stehen.⁷ Da diese bedingten Wahrscheinlichkeiten im Rahmen der Propensitäts-

⁵ vgl. Abschn. 3.2.3

⁶ Der Satz von Bayes lautet $P(A|B) = P(B|A) \cdot P(A) / P(B)$ und ergibt sich unmittelbar durch Umformen und Einsetzen der Definition von $P(B|A) = P(A \cap B) / P(A)$ in die entsprechende Definition von $P(A|B) = P(A \cap B) / P(B)$.

⁷ Für eine Diskussion bedingter Dispositionen siehe Eagle (2004, 390-391).

theorie zumeist kausal verstanden werden, werde ich im Folgenden auch von produktiven Wahrscheinlichkeiten sprechen.⁸ Im Beispiel des Münzwurfs lässt sich so etwa die Wahrscheinlichkeit von 'Kopf' (Ereignis B) unter der Bedingung eines gewöhnlichen oder eingeschränkten Wurfs (Ereignis A) betrachten. Die entsprechende produktive Wahrscheinlichkeit für 'Kopf' ist demnach als die Disposition der (eingeschränkten) Erzeugungsbedingungen, das Ereignis 'Kopf' zu realisieren, zu verstehen. Allerdings lässt sich nun eine solche Interpretation trotz ihrer mathematischen Ableitbarkeit nicht auf die entsprechenden inversen Wahrscheinlichkeiten ausweiten. Im Beispiel des Münzwurfs kann das Ereignis 'Kopf' keine Disposition dafür darstellen, dass die Münze unter gewissen Erzeugungsbedingungen geworfen wird, da die Erzeugungsbedingungen dem Ereignis 'Kopf' kausal vorausgehen.

Das zugrundeliegende Problem ist dabei, dass die durch den Satz von Bayes implizierte Symmetrie bedingter Wahrscheinlichkeiten bei einer entsprechenden Interpretation der kausalen Asymmetrie entgegensteht. Da die Propensitätstheorie die kausale Gerichtetheit durch die Interpretation von bedingten Wahrscheinlichkeiten als Dispositionen der (eingeschränkten) Erzeugungsbedingungen aber implizit berücksichtigt, stellt sich damit die Frage nach der Interpretation der inversen Wahrscheinlichkeit $P(A|B)$, die sich zwar einerseits nach dem Satz von Bayes aus der bedingten Wahrscheinlichkeit $P(B|A)$ ableiten lässt, die aber andererseits die kausale Gerichtetheit missachtet. Weil also zeitlich vorgelagerte Erzeugungsbedingungen A ein Ereignis B kausal beeinflussen können, kann die Propensitätstheorie die produktive Wahrscheinlichkeit von B unter der Bedingung von A als Tendenz der (eingeschränkten) Erzeugungsbedingungen A , das Ereignis B zu realisieren, interpretieren. Für die inverse Wahrscheinlichkeit ist dies nun aber nicht möglich, da ein Ereignis B seine eigenen Erzeugungsbedingungen A bzw. ein zeitlich vorgelagertes Ereignis A , das diese Erzeugungsbedingungen einschränkt, nicht rückwirkend kausal beeinflussen kann.⁹ Damit muss aber die Wahrscheinlichkeit $P(A|B)$ trotz ihrer wahrscheinlichkeitstheoretischen Ableitbarkeit zumindest in der Propensitätstheorie uninterpretiert bleiben.¹⁰

Der entscheidende Punkt ist also, dass die Propensitätstheorie die speziellen Wahrscheinlichkeiten in Zufallsexperimenten immer schon als die bedingten Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen unter der Bedingung ihrer kausalen Erzeugungsbedingungen versteht. Dadurch

⁸ Insbesondere bei Popper (1990, 20) selbst, der von Propensitäten als verallgemeinerten (indeterministischen) Ursachen spricht, wird diese kausale Konnotation deutlich.

⁹ Zwar gibt es durchaus vereinzelte Kausalitätstheorien, die eine gegen die zeitliche Gerichtetheit laufende Kausalität in Ausnahmefällen als Möglichkeit in Betracht ziehen; mit einer Interpretation inverser Wahrscheinlichkeiten unter Rückgriff auf eine solche Form der Kausalität würde diese aber zur Regel werden (vgl. Kap. 4.1.3 a).

¹⁰ Für eine Diskussion möglicher Lösungen des Problems inverser Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Propensitätstheorien siehe Gillies (2000, 825-833).

misst die Propensitätstheorie aber Wahrscheinlichkeit eine grundsätzlich kausale Konnotation bei, wenngleich – wie im letzten Unterkapitel argumentiert – Wahrscheinlichkeit für sich genommen ein von der Kausalität zu unterscheidendes Konzept darstellt. Damit zeichnet sich nun aber auch bereits ab, wie dieses Problem der Propensitätstheorie durch den in dieser Arbeit vorgeschlagenen Ansatz trotz einer möglichen singulären Interpretation von Wahrscheinlichkeiten vermieden werden kann. Denn wird nun – wie in dem in dieser Arbeit vorgeschlagenen Ansatz – in den Zufallsexperimenten der probabilistische vom kausalen Aspekt klar voneinander unterschieden, so geben die vermeintlich produktiven Wahrscheinlichkeiten lediglich die speziellen Wahrscheinlichkeiten wieder und stellen damit im ontologischen Sinne schlicht unbedingte Wahrscheinlichkeiten dar.

Diese Einordnung der produktiven Wahrscheinlichkeiten der Propensitätstheorie durch die in dieser Arbeit vorgeschlagene Wahrscheinlichkeits- und Kausalitätsinterpretation soll dabei nicht implizieren, dass es keine kausalen Einschränkungen gibt oder sich nicht sinnvoll von bedingten Wahrscheinlichkeiten sprechen lässt. Vielmehr bedeuten obige Überlegungen zweierlei. Einerseits bringen kausale Einschränkungen immer schon eine veränderte Kausalstruktur mit sich, in der ontologisch wiederum alle speziellen Wahrscheinlichkeiten unbedingten Wahrscheinlichkeiten entsprechen. Diese unbedingten Wahrscheinlichkeiten sind es folglich, die ontologisch interpretiert werden müssen. Andererseits stellen bedingte Wahrscheinlichkeiten vielmehr logische Wahrscheinlichkeiten als spezielle Wahrscheinlichkeiten, die es ontologisch zu interpretieren gelte, dar. Die dabei implizierte Unterscheidung zwischen unbedingten speziellen Wahrscheinlichkeiten und bedingten logischen Wahrscheinlichkeiten möchte ich im Folgenden kurz veranschaulichen.

Zunächst könnte ein Ereignis C tatsächlich die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis B , das ansonsten allein durch ein Ereignis A verursacht worden wäre, kausal beeinflussen. Als Beispiel soll im zweimal hintereinander ausgeführten Münzwurf die Wahrscheinlichkeiten für 'Kopf' und 'Zahl' im zweiten Münzwurf vom Ergebnis des ersten Münzwurfs abhängen. Sei also bspw. A der zweite Wurf einer Münze und B das Ereignis 'Kopf' im zweiten Münzwurf. Zusätzlich sei C das Ergebnis des ersten Münzwurfs, das das Ergebnis des zweiten Münzwurfs beeinflusst. Dies bedeutet nun aber nichts anderes, als dass zwischen C und B ebenfalls eine Kausalbeziehung besteht (und damit im Bayesschen Netz ein Pfeil von C nach B führt). Eine vermeintliche kausale Bedingung bedeutet also ontologisch nichts anderes als eine veränderte Kausalstruktur, die in der speziellen Wahrscheinlichkeit von B bzw. den Erhalten von C und A nach B bereits enthalten ist und keiner bedingten Wahrscheinlichkeit von B bedarf.

Dahingegen stellen nun bedingte Wahrscheinlichkeiten, die keine ontologische Entsprechung in unbedingten Wahrscheinlichkeiten finden, keine speziellen sondern rein logische Wahrscheinlichkeiten dar. Um dies zu veranschaulichen, seien wiederum zwei Münzen nacheinander geworfen, wobei die Ergebnisse der beiden Münzwürfe dieses Mal kausal unabhängig voneinander sind. In diesem Fall lässt sich nun bspw. nach der bedingten Wahrscheinlichkeit von 'zweimal Kopf' unter der Bedingung, dass die erste Münze mit 'Kopf' landete, fragen. Diese Wahrscheinlichkeit beschreibt nun aber lediglich die logische Zusammensetzung des doppelten Münzwurfs aus den zwei einfachen Münzwürfen. Ontologisch liegt hingegen im zweiten Münzwurf, unabhängig davon, ob das Ergebnis im ersten Münzwurf 'Kopf' war oder nicht, nur die spezielle Wahrscheinlichkeit für den zweiten 'Kopf'-Wurf vor. Analog verhält es sich nun mit den inversen Wahrscheinlichkeiten. Die inverse Wahrscheinlichkeit im ersten Münzwurf 'Kopf' zu werfen unter der Bedingung zweimal 'Kopf' zu werfen, ist ebenso wenig ontologisch als vielmehr logisch zu verstehen. Unter der Annahme von zwei Würfeln lässt sich nach den möglichen logischen Kombinationen für das Ereignis von 'zweimal Kopf' fragen und daraus ableiten, dass dafür das Ergebnis 'Kopf' im ersten Münzwurf logisch notwendige Voraussetzung und damit seine bedingte Wahrscheinlichkeit 1 ist. Unabhängig von dieser logischen Wahrscheinlichkeit ist die spezielle Wahrscheinlichkeit für 'Kopf' im ersten Münzwurf aber weiterhin $\frac{1}{2}$. Insofern bedingte Wahrscheinlichkeiten und ihre inversen Wahrscheinlichkeiten aber gleichermaßen rein logisch interpretiert werden, stellen letztere für einen ontologischen Begriff spezieller Wahrscheinlichkeiten also kein Problem dar.

Insgesamt zeigt sich damit also, dass Humphreys' Paradoxon allein auf die kausale Interpretation der bedingten Wahrscheinlichkeiten in der Propensitätstheorie zurückzuführen ist, sich dieses Paradoxon aber bei einer klaren Trennung der kausalen und der probabilistischen Aspekte von Zufallsexperimenten, wie es der in dieser Arbeit vorgeschlagene Ansatz nahelegt, auflösen lässt und damit auch kein generelles Problem für singuläre Wahrscheinlichkeitsinterpretationen darstellt. Im nächsten Unterkapitel (5.3.1) werde ich darüber hinaus zeigen, wie die in diesem Kapitel vorgenommene Einordnung von vermeintlich kausal bedingten bzw. produktiven Wahrscheinlichkeiten als unbedingte Wahrscheinlichkeiten auch eine Rechtfertigung für die Unabhängigkeit von speziellen Wahrscheinlichkeiten von nicht unmittelbar kausal vorausgehenden Ereignissen liefert. Zunächst möchte ich aber in Analogie zur Einordnung vermeintlich produktiver Wahrscheinlichkeiten auch vermeintlich konstitutive Kausalbeziehungen, d.h. Kausalbeziehungen, deren Relata in einer Konstitutionsbeziehung zueinander stehen, vor dem Hintergrund der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Kausalitätstheorie einordnen.

5.2.2 Konstitutive Kausalbeziehungen: Interlevel-Kausalität

Ein weiteres Problem einer möglichen Vermischung von konstitutiven und produktiven Konzepten spiegelt sich in der Frage nach der Möglichkeit von sogenannter Interlevel-Kausalität wider. Dazu möchte ich zunächst spezifizieren, inwiefern Ereignisse verschiedener Ebenen miteinander in Kausalbeziehungen stehen können und damit was genau unter Interlevel-Kausalität zu verstehen ist. Einerseits kann mit Interlevel-Kausalität einfach eine Kausalbeziehung zwischen zwei disjunkten Ereignissen von Entitäten verschiedener Strukturebenen bezeichnet sein. Eine solche Art von Kausalität zwischen den Ebenen stellt nun aber insofern kein Problem dar, als ich bereits in Unterkapitel 2.1 ausführlich dargelegt habe, dass Struktur- und Interaktionsebenen nicht zusammenfallen müssen und folglich verschieden organisierte wie auch verschieden große Entitäten durchaus miteinander interagieren können. Folglich hatte ich auch die Vorstellung, dass den Kausalbeziehungen Interaktionsebenen zugrunde liegen müssen, verworfen und argumentiert, dass solche Interaktionsebenen – wenn überhaupt – nur aufgrund zugrundeliegender Kausalbeziehungen charakterisiert werden können. Demnach ist aber Interlevel-Kausalität im Sinne von Kausalbeziehungen zwischen verschiedenen Strukturebenen problemlos möglich, während sie im Sinne von Kausalbeziehungen zwischen verschiedenen Interaktionsebenen per definitionem ausgeschlossen ist.¹¹

Damit bleibt als eigentliches Problem von Interlevel-Kausalität die Frage nach der Möglichkeit von Kausalbeziehungen zwischen verschiedenen Konstitutionsstufen ein und desselben Raumzeitgebiets bestehen. Diese Art von Kausalbeziehungen werde ich im Folgenden als konstitutive Kausalbeziehungen bezeichnen. Es stellt sich also die Frage, ob und wie die einem speziellen Ereignis konstitutiv zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse das spezielle Ereignis kausal beeinflussen können und umgekehrt. Im Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe ließe sich etwa fragen, ob die mikroskopischen Ereignisse, die der zerbrechenden Fensterscheibe konstitutiv zugrunde liegen, in irgendeiner Weise mit dem makroskopischen Ereignis des Zerbrechens der Fensterscheibe kausal verbunden sind. Eine solche Art von Interlevel-Kausalität lässt sich nun aber vor dem Hintergrund der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Interpretation von Kausalität und ihrem Verhältnis zur Konstitution spezieller Ereignisse ausschließen.

Insofern ich die Kausalbeziehungen zwischen zwei Ereignissen ausschließlich als die Abfolge von speziellen Veränderungen und produktiven Erhalten bestimmt hatte, können

¹¹ Entsprechend ergeben sich viele Probleme der Interlevel-Kausalität auch erst dadurch, dass das Konzept der Ebene in der Literatur zur Interlevel-Kausalität oftmals unreflektiert bleibt. Gleichzeitig liefert Interlevel-Kausalität aber auch eine Hauptmotivation, um sich überhaupt mit Naturebenen auseinanderzusetzen (vgl. Eronen 2015, 41-43).

zunächst die durch einen produktiven Erhalt miteinander verbundenen speziellen Veränderungen beliebig konstituiert sein. Die Beziehung zwischen einem speziellen Ereignis und den zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen ist nun aber nicht kausaler Natur, da fundamentalere und spezielle Veränderungen über keinen produktiven Erhalt miteinander verbunden sind. Auch wenn die Ausbildung spezieller Ereignisse auf die Kausalbeziehungen fundamentalere Ereignisse zurückzuführen ist, stehen die speziellen Veränderungen mit den zugrundeliegenden fundamentaleren Veränderungen ausschließlich in einer Konstitutionsbeziehung, die synchroner Natur ist.¹² Zwar konstituieren im Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe die mikroskopischen Ereignisse, die dem Zerschlagen der Fensterscheibe konstitutiv zugrunde liegen, das makroskopische Ereignis des Zerschlagens der Fensterscheibe, allerdings sind die verschiedenen Konstitutionsstufen nicht über einen produktiven Erhalt miteinander verbunden und stehen folglich in keiner konstitutiven Kausalbeziehung zueinander.

Insgesamt ist Interlevel-Kausalität also nur im unproblematischen Sinne von Kausalbeziehungen zwischen disjunkten Ereignissen von Entitäten verschiedener Organisations- und Größenebenen möglich, nicht aber im Sinne von konstitutiven Kausalbeziehungen zwischen einem speziellen Ereignis und seinen ihm konstitutiv zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen.

5.3 Produktiv vorgelagerte Wahrscheinlichkeit und konstitutiv zugrundeliegende Kausalität

Nachdem ich im letzten Unterkapitel gezeigt habe, wie sich die Probleme produktiver Wahrscheinlichkeiten und konstitutiver Kausalbeziehungen durch die in dieser Arbeit vorgeschlagene Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität vermeiden lassen, möchte ich in diesem letzten Unterkapitel noch untersuchen, welcher Zusammenhang nun zwischen verschiedenen Wahrscheinlichkeiten bzw. zwischen verschiedenen Kausalbeziehungen besteht. Konkret geht es einerseits um das Verhältnis von Wahrscheinlichkeiten

¹² Vergleichbar argumentieren bspw. auch Craver und Bechtel (2007) und Kistler (2009). So entpuppen sich in Craver und Bechtels (2007) mechanistischen Ansatz vermeintlich kausale Interaktionen zwischen Mechanismen und ihren Konstituenten als Abfolge von Kausalbeziehungen zwischen disjunkten Entitäten und Konstitutionsbeziehungen zwischen Entitäten und den Mechanismen, in die sie eingebettet sind. Kistler (2009) führt darüber hinaus für die vermeintliche Verursachung von fundamentaleren durch nicht-disjunkte spezielle Ereignisse neben multiplen Konstitutionen noch Beschränkungen (constraints) ein, die die möglichen Entwicklungen der zugrundeliegenden Konstituenten einschränken. Wenngleich natürlich spezielle Ereignisse die möglichen sie konstituierenden Ereignisse nur einschränken und nicht kausal beeinflussen, sind diese Einschränkungen aber nach dem in Abschn. 2.2.2 dargelegten Verständnis von multipler Konstitution bereits in dieser als gewissermaßen ihre Kehrseite enthalten.

von Ereignissen, die kausal miteinander verbunden sind und damit in einer produktiven Beziehung stehen, und andererseits um das Verhältnis von Kausalbeziehungen, die in einer konstitutiven Beziehung zueinander stehen. Als erstes werde ich mich dabei wieder der Wahrscheinlichkeit zuwenden und untersuchen, wie die Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen mit den Wahrscheinlichkeiten der ihnen produktiv vorgelagerten Ereignisse zusammenhängen (5.3.1). Hierzu werde ich die kausale Markov-Bedingung, die eine Aussage über die Unabhängigkeit solcher Ereignisse macht, zunächst einführen und sie vor dem Hintergrund der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität zu motivieren versuchen. Sodann werde ich mich der Kausalität zuwenden und untersuchen, wie die Kausalbeziehungen zwischen speziellen Ereignissen mit den Kausalbeziehungen zwischen den fundamentalen Ereignissen, die diesen speziellen Ereignissen konstitutiv zugrunde liegen, zusammenhängen (5.3.2). Hierzu werde ich das insbesondere in der Philosophie des Geistes ausführlich diskutierte Exklusionsargument in einer verallgemeinerten Form, die eine vermeintlich grundsätzliche Identität von speziellen und ihnen konstitutiv zugrundeliegenden fundamentalen Kausalbeziehungen nahelegt, diskutieren und versuchen zurückzuweisen.

5.3.1 Produktiv vorgelagerte Wahrscheinlichkeiten: Die kausale Markov-Bedingung

Mithilfe der Abgrenzung der konstitutiven Rolle der Wahrscheinlichkeit von der produktiven Rolle der Kausalität möchte ich in diesem Abschnitt eine Motivation für die sogenannte kausale Markov-Bedingung geben. Allgemein beschreibt die kausale Markov-Bedingung, wie unabhängige Wahrscheinlichkeiten von kausal aufeinanderfolgenden Ereignissen möglich sind, dadurch dass sie einen Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen herstellt. Eine solche Unabhängigkeit ist u. a. deshalb erstrebenswert, weil sie erklärt, wieso die Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen nicht von der gesamten kausalen Historie eines Ereignisses abhängen, sondern nur von ihren unmittelbaren Ursachen. Um die kausale Markov-Bedingung einfacher formulieren zu können, werde ich in diesem Abschnitt bei Ursachen explizit von direkten Ursachen sprechen, um diese von indirekten Ursachen abzugrenzen. Unter letzteren verstehe ich dabei im Folgenden die Ursachen von Ursachen, die Ursachen von Ursachen von Ursachen, usw.¹³ Konkret besagt die kausale Markov-Bedingung dann, dass die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses gegeben alle direkten Ursachen dieses Ereignisses nicht von indirekten Ursachen und damit nicht von weiter zurückliegenden Ereignissen abhängt bzw. von diesen probabilistisch unabhängig ist. Die kausale Markov-Bedingung spielt dabei

¹³ Gemäß der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Kausalitätstheorie – wie auch allgemein für nicht-transitive Kausalitätstheorien – handelt es sich bei den Ursachen im eigentlichen Sinne immer um die Ereignisse, die direkt (etwa durch einen produktiven Erhalt) mit der Wirkung verbunden sind, und damit um die direkten Ursachen.

insbesondere in der kausalen Modellierung eine zentrale Rolle und wird dort entsprechend als eine Bedingung, die generelle Kausalbeziehungen zwischen Variablen charakterisiert, verstanden.¹⁴ Allerdings lässt sich diese Bedingung vor dem Hintergrund der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität nun auch für singuläre Kausalbeziehungen zwischen Ereignissen motivieren bzw. interpretieren.

Um die kausale Markov-Bedingung nun zunächst formal charakterisieren zu können, lohnt es sich für gerichtete azyklische Graphen (DAGs) zunächst die Begriffe der 'Eltern' und der 'Nachfahren' von Knoten zu definieren. In einem DAG $G = (V, E)$ sind die Eltern eines Knotens w alle Knoten v , von denen eine gerichtete Kante bzw. ein Pfeil zu dem Knoten w führt (d.h. $(v, w) \in E$). Die Eltern stellen also in einem kausal interpretierten DAG die direkten Ursachen eines Knotens bzw. Ereignisses dar.¹⁵ Ein Nachfahre eines Knotens v ist hingegen ein Knoten w , der sich von v über einen gerichteten Pfad beliebiger Länge erreichen lässt (d.h. für w gibt es $v_1, v_2, \dots, v_n \in V$, sodass $(v, v_1), (v_1, v_2), \dots, (v_{n-1}, v_n), (v_n, w) \in E$). Unter einer singulären kausalen Interpretation eines DAGs sind die Nachfahren eines Knotens folglich das durch den Knoten repräsentierte Ereignis selbst sowie alle Ereignisse, die das Ergebnis beliebig vieler zwischengelagerter Kausalbeziehungen sind. Werden nun die Knoten der DAGs – wie in Abschnitt 5.1.1 beschrieben – mit gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsverteilungen versehen, dann besagt die kausale Markov-Bedingung, dass in einem DAG die Eltern eines Ereignisses dieses Ereignis von allen anderen Ereignissen ausgenommen seinen Nachfahren abschirmen, d. h. dass die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses unter der Bedingung seiner Eltern sich unter der zusätzlichen Bedingung beliebig vieler weiterer Ereignisse, die keine Nachfahren dieses Ereignisses sind, nicht verändert.¹⁶ Die kausale Markov-Bedingung stellt damit einen Zusammenhang zwischen einer kausalen Graphenstruktur und den probabilistischen Unabhängigkeiten ihrer Ereignisse her.¹⁷

¹⁴ Siehe Spirtes et al. (2000) und Pearl (2009), für einen Überblick siehe Hitchcock (2018a) (vgl. Abschn. 4.1.1).

¹⁵ Zur Erinnerung: In dieser Arbeit repräsentieren Knoten Ereignisse; alles Gesagte lässt sich aber auf eine Repräsentation von Variablen übertragen.

¹⁶ Für weitere gleichwertige Formulierungen siehe z. B. Hitchcock (2018a, Abschn. 4.2). Die kausale Markov-Bedingung stellt dabei eine Verallgemeinerung von Reichenbachs (1956) Prinzip der gemeinsamen Ursache dar. Dieses besagt, dass bei zwei korrelierten Ereignissen entweder eines das andere verursacht oder aber die beiden Ereignisse eine gemeinsame Ursache haben (vgl. z. B. Hitchcock & Rédei 2020).

¹⁷ Dieser Zusammenhang ist allerdings nur einseitiger Natur, da umgekehrt probabilistisch unabhängige Ereignisse nicht zwangsläufig mögliche Kausalbeziehungen zwischen diesen Ereignissen ausschließen. Somit stellt die Markov-Bedingung nur eine hinreichende und keine notwendige Bedingung für eine probabilistische Unabhängigkeit dar. Ihre Umkehrung wird bisweilen im Rahmen der kausalen Modellierung unter dem Stichwort 'Faithfulness', was sich etwa mit 'Genauigkeit' oder 'Treue' übersetzen ließe, ebenfalls gefordert (so etwa bei Spirtes et al. 2000). Allerdings wird diese in der Regel als eine epistemologische und keine ontologische Forderung verstanden und wird folglich auch hier nicht weiter von Interesse sein. Für Details siehe z.B. Hitchcock (2018a, Abschn. 4.1-4.5).

Ich möchte nun mithilfe der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität versuchen zu erklären, inwiefern sich diese Bedingung ontologisch begründen lässt. Bereits in Abschnitt 5.1.2 habe ich Zufallsexperimente, in denen ein spezielles Ereignis zu einem anderen speziellen Ereignis mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit führt, in einen probabilistischen und einen kausalen Aspekt zerlegt. Dabei zeigte sich, dass Zufallsexperimente sich lediglich insofern von nicht-probabilistischen Kausalbeziehungen unterscheiden, als ihre produktiven Erhalte durch regelmäßigen Symmetrietransformationen ausgezeichnet waren. Während im erhaltenden Prozess die verschiedenen möglichen Ergebnisse in Form von speziellen Wahrscheinlichkeiten vorliegen, liegen zum Zeitpunkt der zweiten speziellen Veränderung keine speziellen Wahrscheinlichkeiten mehr vor. Bildet das Ereignis dieser zweiten speziellen Veränderung nun selbst den Ausgangspunkt eines zweiten Zufallsexperiments, so ist die Wahrscheinlichkeit eines dritten Ereignisses folglich auch nicht länger von dem ersten Ereignis abhängig, da die Symmetrietransformationen, die von dem ersten Ereignis ausgehen, keine Rolle mehr spielen. So ist das zweite Ereignis, wenngleich Ergebnis eines (ersten) Zufallsexperiments, zum Zeitpunkt des zweiten Zufallsexperiments nicht länger probabilistischer Natur, sondern stellt ein tatsächlich vorliegendes spezielles Ereignis dar, das den Ausgangspunkt neuer Symmetrietransformationen bildet. Damit ist aber auch die bedingte Wahrscheinlichkeit eines dritten Ereignisses unter der Bedingung der möglichen zweiten Ereignisse nur von den möglichen konstitutiven Symmetrien des ersten Zufallsexperiments und damit den Wahrscheinlichkeiten der möglichen zweiten Ereignisse abhängig, nicht aber von den Wahrscheinlichkeiten des ersten sowie weiter zurückliegender Ereignisse. Die weiter zurückliegenden Ereignisse wären hingegen nur dann relevant, wenn von ihnen ein direkter produktiver Erhalt zu dem dritten Ereignis führt, d.h. wenn sie zugleich auch selbst Eltern des dritten Ereignisses wären.

Dies möchte ich wiederum am Beispiel des zweimaligen Münzwurfs veranschaulichen, das nun dahingehend modifiziert sei, dass die erste Landung der Münze mit einer Art zweiten Wurf zusammenfällt. Beispielsweise könnte die Münze nach dem ersten Münzwurf mit einem eindeutig bestimmten Ergebnis von 'Kopf' oder 'Zahl' nur für einen Augenblick auf einer Tischkante landen (1. Zufallsexperiment), sodann aber noch weiter auf den Boden fallen und dort ein zweites Ergebnis aufweisen (2. Zufallsexperiment). Ist der eigentliche Wurf der Münze (1. Ereignis) nur über die Zwischenlandung (2. Ereignis) mit dem Landen auf dem Boden (3. Ereignis) verbunden, sind die bedingten Wahrscheinlichkeiten der möglichen Ergebnisse für das Landen auf dem Boden unter der Bedingung möglicher Ergebnisse der Zwischenlandung auch nur von den Wahrscheinlichkeiten der möglichen Ergebnisse der Zwischenlandung

abhängig. Weitere Bedingungen in Form weiter zurückliegender Ereignisse wie z. B. dem, dass bzw. wie die Münze überhaupt zum ersten Mal geworfen wurde, ändern folglich nichts an dieser bedingten Wahrscheinlichkeit des Landens auf dem Boden unter der Bedingung der Zwischenlandung.

Die Eltern eines Ereignisses schirmen es folglich gegen weiter zurückliegende Ereignisse ab, sodass die entsprechenden bedingten Wahrscheinlichkeiten sich unter der Bedingung weiterer indirekter kausaler Vorfahren nicht verändern.¹⁸ Dies bedeutet nun aber nichts anderes, als dass ein Graph, der spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen repräsentiert, die kausale Markov-Bedingung erfüllt. Demnach stellt die kausale Markov-Bedingung gemäß der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Interpretation auch kein separat zu motivierendes Postulat dar, sondern ergibt sich unmittelbar aus der Verbindung von speziellen Wahrscheinlichkeiten mit speziellen Kausalbeziehungen in Form von konstitutiven Symmetrien und produktiven Erhalten.¹⁹ Die empirische Adäquatheit der kausalen Markov-Bedingung und ihre Bedeutung für die kausale Modellierung liefern damit eine weitere indirekte Motivation für die in dieser Arbeit vorgeschlagene Interpretation von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität.²⁰

5.3.2 Konstitutiv zugrundeliegende Kausalbeziehungen: Das Exklusionsargument

Nachdem ich im letzten Abschnitt vor dem Hintergrund der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität gezeigt habe, wie spezielle Ereignisse, die in einem produktiven Zusammenhang stehen, probabilistisch voneinander unabhängig sein können, möchte ich nun in diesem letzten Abschnitt versuchen zu zeigen, wie in Analogie dazu eigenständige spezielle Kausalbeziehungen trotz konstitutiv zugrundeliegender Kausalbeziehungen ontologisch möglich sind. Dabei hatte ich bereits in Abschnitt 4.3.1 gezeigt, dass sich die Kernideen von Prozess- bzw. genauer von Transfertheorien trotz Fehlens spezieller universeller Erhaltungsgesetze sehr wohl auch auf nicht-physikalische Prozesse übertragen lassen. Damit war aber noch nicht gezeigt, dass dadurch zugleich eine ontologische Reduktion von speziellen Kausalbeziehungen auf zugrundeliegende fundamentalere Kausalbeziehungen ausgeschlossen wird.

¹⁸Die bedingten Wahrscheinlichkeiten selbst, finden dabei ontologisch wiederum keine unmittelbare Entsprechung (vgl. Abschn. 5.2.1).

¹⁹ Anders verhält es sich bspw. bei den generelle Kausalbeziehungen repräsentierenden Bayesschen Netzen der kausalen Modellierung, wo bspw. bei Pearl (2009) die kausale Markov-Bedingung aus Annahmen über eine probabilistische Unabhängigkeit von Störungen folgt, während sie bei Spirtes et al. (2000) eine unmittelbar einsehbare empirische Tatsache darstellt (vgl. auch Hitchcock 2018a, Abschn. 4.2)

²⁰ Dabei gilt es zu beachten, dass sich eine derart motivierte kausale Markov-Bedingung nicht dazu eignet, die zeitliche Asymmetrie auf sie zurückzuführen, da letztere hierfür von Anfang an vorausgesetzt wurde.

So stellt insbesondere das sogenannte Exklusionsargument die ontologische Bedeutung spezieller Kausalbeziehungen insgesamt in Frage. Während das Exklusionsargument dabei vor allem in der Philosophie des Geistes in Form der Frage, wie unabhängige mentale Ursachen neben den zugrundeliegenden physischen Ursachen möglich sind, diskutiert wird, lässt es sich in verallgemeinerter Form auf spezielle Ereignisse beliebiger Konstitutionsformen ausweiten. Als ein solches verallgemeinertes Argument werde ich es in diesem Abschnitt diskutieren und eventuelle Eigenheiten mentaler Ereignisse bzw. Kausalbeziehungen wie bisher ausklammern. Dennoch möchte ich das Exklusionsargument zunächst in seiner in der Philosophie des Geistes üblichen Form einführen, um daran anschließend das verallgemeinerte Exklusionsargument daraus ableiten zu können. Dabei werde ich mich in der Darstellung im Wesentlichen an den Arbeiten von Jaegwon Kim (1998, Kap. 2), die den zentralen Ausgangspunkt der zeitgenössischen Debatte bilden, orientieren.

Die Hintergrundannahme des mentalen Exklusionsarguments bildet zunächst ein physikalistisches Grundverständnis, wonach insbesondere mentalen Veränderungen immer schon physische Veränderungen zugrunde liegen. Insofern ich mentale und physische Ereignisse als mentale respektive physische Veränderungen charakterisiert hatte, kann ein mentales Ereignis demnach nur dann auftreten, wenn zugleich ihm zugrundeliegende physische Ereignisse auftreten.²¹ Neben dieser Physikalismusannahme sind die zentralen Annahmen des Exklusionsarguments, dass einerseits die physische Welt kausal abgeschlossen ist und dass es andererseits keine systematische kausale Überdetermination gibt. Hierbei bedeutet die Annahme der kausalen Abgeschlossenheit des Physischen, dass jedes physische Ereignis, das eine hinreichende Ursache hat, bereits eine hinreichende physische Ursache hat.²² Dahingegen bedeutet der Ausschluss einer systematischen kausalen Überdetermination, dass es zwar prinzipiell möglich sein kann, dass ein einzelnes Ereignis kausal überbestimmt ist, dass eine solche Überbestimmtheit aber nicht bei bestimmten Ereignistypen grundsätzlich auftritt. Ein Ereignis ist dabei kausal überbestimmt, wenn es mehrere Ursachen hat, die je für sich genommen für das Ereignis schon hinreichend gewesen wären. Insbesondere wäre eine solche systematische Überbestimmtheit also gegeben, wenn gewisse physische Ereignisse immer gleichermaßen hinreichende physische und mentale Ursachen hätten.

Vor dem Hintergrund dieser Annahmen lässt sich das eigentliche Exklusionsargument für eine Kausalbeziehung zwischen zwei mentalen Ereignissen M_1 und M_2 nun wie folgt formulieren: (1) Gemäß der Physikalismusannahme geht zunächst ein verursachtes mentales

²¹ Anstatt für physische und mentale Ereignisse wird das Exklusionsargument oftmals für physische und mentale Eigenschaften oder Zustände formuliert.

²² vgl. z. B. Papineau (2020)

Ereignis M_2 immer mit physischen Ereignissen P_2 , die dem verursachten mentalen Ereignis M_2 zugrunde liegen, einher. (2) Dadurch impliziert eine mögliche Kausalbeziehung zwischen zwei mentalen Ereignissen M_1 und M_2 aber nun immer auch zugleich eine Kausalbeziehung zwischen dem verursachenden mentalen Ereignis M_1 und den physischen Ereignissen P_2 , die dem verursachten mentalen Ereignis M_2 zugrunde liegen. (3) Mit der Annahme der kausalen Abgeschlossenheit der physischen Welt haben die verursachten physischen Ereignisse P_2 nun aber auch die physischen Ereignisse P_1 , die dem ersten mentalen Ereignis M_1 zugrunde liegen, als hinreichende physische Ursache.²³ (4) Wenn nun aber alle von einer mentalen Ursache M_1 verursachten physischen Ereignisse P_2 immer auch zugleich hinreichende physische Ursachen P_1 hätten, wären die physischen Ereignisse P_2 , die der mentalen Wirkung M_2 zugrunde liegen, systematisch kausal überbestimmt. (5) Aufgrund der Annahme, dass es keine solche systematische kausale Überdetermination gibt, können demnach aber mentale Ereignisse keine wirkenden Ursachen, sondern müssen reine Epiphänomene sein, d.h. Ereignisse, die zwar zusammen mit anderen kausal wirksamen Ereignissen auftreten, die aber darüber hinaus nicht selbst kausal wirksam sind.

Indem nun die Beziehung zwischen mentalen und physischen Ereignissen durch eine allgemeine Konstitutionsbeziehung ersetzt wird, lässt sich die Form des Arguments auf Kausalbeziehungen zwischen beliebigen speziellen Ereignissen S_1 und S_2 übertragen. Damit könnte das Exklusionsargument nun aber ein prinzipielles Problem für eine eigenständige ontologische Bedeutung spezieller Kausalbeziehungen jeglicher Art darstellen:²⁴ (1') So ist ein jedes spezielles Ereignis S_2 zunächst aus fundamentalen Ereignissen F_2 konstituiert. (2') Damit impliziert eine mögliche Kausalbeziehung zwischen zwei speziellen Ereignissen S_1 und S_2 aber immer auch eine Kausalbeziehung zwischen dem ersten speziellen Ereignis S_1 und den fundamentalen Ereignissen F_2 , die dem zweiten speziellen Ereignis S_2 zugrunde liegen. (3') Diese fundamentalen Ereignisse F_2 besitzen nun neben dem ersten speziellen Ereignis S_1 zusätzlich die fundamentalen Ereignisse F_1 , die das Ereignis S_1 konstituieren, als hinreichende Ursache. (4') Damit würden aber allgemein spezielle Kausalbeziehungen zu einer systematischen kausalen Überdetermination führen. (5') Schließlich lässt sich diese Überdetermination wiederum nur durch einen Epiphänomenalismus, der den speziellen Ereignissen

²³ Die Annahme, dass die hinreichende physische Ursache, die es nach dem Prinzip der kausalen Abgeschlossenheit des Physischen gibt, den physischen Ereignissen P_1 , die dem verursachenden mentalen Ereignis M_1 zugrunde liegen, entspricht, stellt dabei genau genommen eine separate Annahme dar, die in der Diskussion des Exklusionsarguments zumeist nur implizit angenommen wird, die aber die Darstellung entscheidend vereinfacht.

²⁴ Für das Argument ist es dabei ausreichend, dass das verursachende und das verursachte Ereignis spezielle Ereignisse sind; nicht vorausgesetzt werden muss hingegen, dass Ursache und Wirkung bzw. deren Konstituenten je dieselbe Organisationsform bzw. Größenordnung aufweisen und damit in gewissem Sinne von derselben Ebene sein müssen.

eine eigenständige kausale Bedeutung abspricht, vermeiden.

Beispielsweise geht das makroskopische Ereignis des Zerschneidens der Fensterscheibe mit einer Vielzahl von molekularen Ereignissen einher. Diese molekularen Ereignisse sind nun scheinbar sowohl durch das makroskopische Ereignis des Werfens des Steins als auch durch die molekularen Ereignisse, die dem Ereignis des Werfens zugrunde liegen, hinreichend verursacht und folglich nur dann nicht systematisch kausal überbestimmt, wenn das Werfen des Steins als makroskopische Ursache ein bloßes Epiphänomen der ihm zugrundeliegenden molekularen Ereignisse darstellt. Würde das verallgemeinerte Exklusionsargument also stimmen, würde dies bedeuten, dass es keine genuin speziellen Kausalbeziehungen geben kann, die über die Kausalbeziehungen der fundamentaleren Ereignisse, die den speziellen Ereignissen zugrunde liegen, hinausgehen. Spezielle Kausalbeziehungen wären demnach nichts weiter als die Epiphänomene der eigentlichen Kausalbeziehungen zwischen den fundamentaleren Ereignissen, die die speziellen Ereignisse konstituieren. Letzten Endes würde dies zu einer ontologischen Reduktion von Kausalität auf eine fundamentale Ebene bzw. – falls es eine solche nicht gibt – womöglich sogar zu einem kausalen Eliminativismus führen.²⁵

Diesem prinzipiellen Einwand gegen eine mögliche eigenständige ontologische Bedeutung spezieller Kausalbeziehungen möchte ich nun mit der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Interpretation spezieller Kausalität und dem ihr zugrunde gelegten Konzept der multiplen Konstitution spezieller Ereignisse begegnen und so zeigen, dass dadurch bereits der erste Argumentationsschritt von (1') nach (2') entkräftet werden kann. So hatte ich zwar bereits in Abschnitt 4.3.1 gezeigt, dass den speziellen Ereignissen und Prozessen tatsächlich eine Vielzahl fundamentalerer Ereignisse und Prozesse und damit eine Vielzahl fundamentalerer Kausalbeziehungen zugrunde liegt. Allerdings implizierte dies keine unmittelbare Gleichsetzung der Kausalbeziehungen der verschiedenen Konstitutionsstufen. Um nun zu zeigen, dass den speziellen Kausalbeziehungen tatsächlich eine eigenständige ontologische Bedeutung zukommt, möchte ich zunächst noch einmal die multiple Konstitution spezieller Ereignisse und Prozesse, für die ich in den Abschnitten 2.2.2 und 4.3.1 b) argumentiert hatte, rekapitulieren.

Allgemein bilden nach der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Kausalitätstheorie spezielle Kausalbeziehungen Abfolgen von speziellen Ereignissen und Prozessen in Form von speziellen Veränderungen, die über produktive Erhalte miteinander verbunden sind. Dabei sind nun zunächst die speziellen Ereignisse als Ereignistoken aus fundamentaleren Ereignissen und Prozessen multipel konstituiert, insofern eine mögliche Transformation der tatsächlich

²⁵ So argumentiert insbesondere Block (2003, 138-140), dass immer weiter absteigende Ebenen aufgrund des Exklusionsarguments zu einem Entschwinden (*draining away*) der Kausalität führen würden (vgl. Abschn. 4.3.1 c).

zugrundeliegenden Konstitutionsweise eines speziellen Ereignisses auf weitere mögliche Konstitutionsweisen dasselbe spezielle Ereignis impliziert. Folglich ist ein spezielles Ereignis nicht nur durch die tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse und Prozesse ontologisch charakterisiert, sondern in Form von Transformationsinvarianzen implizit auch durch die Vielzahl möglicher Konstitutionsweisen aus anderen fundamentaleren Ereignissen und Prozessen, die alle dasselbe spezielle Ereignis zur Folge haben.

Die multiple Konstitution des Werfens eines Steins bedeutet bspw., dass das einzelne makroskopische Ereignis ontologisch nicht nur durch die tatsächlich zugrundeliegenden molekularen Ereignisse und Prozesse charakterisiert ist, sondern in Form von Transformationsinvarianzen auch durch die Vielzahl verschiedener molekularer Konstitutionsweisen, die alle denselben Steinwurf als makroskopisches Ereignis zur Folge hätten. Insofern spezielle Prozesse über spezielle Ereignisse charakterisiert sind, überträgt sich diese multiple Konstitution nun auch auf die entsprechenden speziellen Erhalte, sodass diese neben den tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen und Prozessen ebenfalls ontologisch durch weitere mögliche Konstitutionsweisen in Form von Transformationsinvarianzen mit charakterisiert sind. So ist der makroskopische Prozess des Steinflugs nicht nur durch die tatsächlich zugrundeliegenden molekularen Ereignisse und Prozesse charakterisiert, sondern in Form von Transformationsinvarianzen auch durch eine Vielzahl weiterer möglicher Konstitutionsweisen, die denselben Steinflug als makroskopischen Prozess zur Folge hätten.

Entscheidend dabei ist nun, dass die multiple Konstitution spezieller Ereignisse und Prozesse eine Tokeneigenschaft darstellt. Insbesondere ist damit ein einzelnes spezielles Ereignis nicht mit den tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen und Prozessen identisch. Erst durch die multiple Konstitution kommt speziellen Ereignissen damit eine eigenständige ontologische Bedeutung zu, die sich nicht einfach auf die tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse und Prozesse zurückführen lässt. Beispielsweise folgt erst aus der multiplen Konstitution des einzelnen Steinwurfs, dass das Werfen des Steins eine eigenständige spezielle Veränderung, die über seine ihm tatsächlich zugrundeliegenden molekularen Ereignisse und Prozesse hinausgeht, und damit ein spezielles Ereignis darstellt.

Das Problem für den ersten Argumentationsschritt des Exklusionsarguments von (1') nach (2') besteht nun aber genau darin, dass er diese multiple Konstitutionsbeziehung unberücksichtigt lässt.²⁶ Denn in diesem ersten Schritt wurde aufgrund der Konstitution spezieller Ereignisse aus fundamentaleren Ereignissen von einer möglichen Kausalbeziehung zwischen

²⁶ Vergleichbare Argumente gegen das Exklusionsargument, die ebenfalls die Autonomie spezieller Ursachen betonen, finden sich vor dem Hintergrund kontrafaktischer bzw. interventionistischer Kausalitätstheorien insbesondere bei List & Menzies (2009), Raatikainen (2010) und Zhong (2014).

zwei speziellen Ereignissen S_1 und S_2 unmittelbar auf eine Kausalbeziehung zwischen dem ersten speziellen Ereignis S_1 und den fundamentaleren Ereignissen F_2 , die dem zweiten speziellen Ereignis S_2 tatsächlich konstitutiv zugrunde liegen, geschlossen. Aufgrund der multiplen Konstitution des zweiten speziellen Ereignisses S_2 folgt nun aber aus einer Kausalbeziehung zwischen zwei speziellen Ereignissen S_1 und S_2 gerade keine solche Kausalbeziehung zwischen dem ersten speziellen Ereignis S_1 und den fundamentaleren Ereignissen F_2 .

Zwar sind die fundamentaleren Ereignisse F_2 , die dem zweiten speziellen Ereignis S_2 tatsächlich zugrunde liegen, durchaus mit den fundamentaleren Ereignissen F_1 , die dem ersten speziellen Ereignis S_1 tatsächlich zugrunde liegen, über eine Vielzahl fundamentalerer Veränderungen und produktiver Erhalte kausal verbunden, nicht aber mit dem ersten speziellen Ereignis S_1 selbst.²⁷ Denn das erste spezielle Ereignis S_1 ist neben den ihm tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen F_1 aufgrund seiner multiplen Konstitution durch eine Vielzahl weiterer Konstitutionsweisen charakterisiert, die in keinerlei Weise mit den fundamentaleren Ereignissen F_2 , die dem zweiten speziellen Ereignis S_2 tatsächlich zugrunde liegen, kausal verbunden sind. Wenngleich also die ersten fundamentaleren Ereignisse F_1 über eine Abfolge fundamentalerer Veränderungen und produktiver Erhalte mit den zweiten fundamentaleren Ereignissen F_2 verbunden sind, verursacht das erste spezielle Ereignis S_1 allein das zweite spezielle Ereignis S_2 . Denn allein dieses zweite spezielle Ereignis S_2 berücksichtigt aufgrund seiner multiplen Konstitution neben den Wirkungen der fundamentaleren Ereignisse F_1 , die dem ersten speziellen Ereignis S_1 tatsächlich zugrunde liegen, auch die Wirkungen derjenigen Konstitutionsweisen, durch die das erste spezielle Ereignis S_1 in Form von Transformationsinvarianzen mit charakterisiert ist. Gleichmaßen wird das zweite spezielle Ereignis S_2 nur von dem ersten speziellen Ereignis S_1 verursacht und nicht von den ihm tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen F_1 , da letztere eben nur eine konkrete Konstitutionsweise des zweiten speziellen Ereignisses S_2 verursachen, nicht aber alle weiteren Konstitutionsweisen, durch die das zweite spezielle Ereignis S_2 in Form von Transformationsinvarianzen mit charakterisiert ist.

Für das Beispiel der zerbrechenden Fensterscheibe bedeuten obige Überlegungen zunächst, dass das Werfen des Steins nur das makroskopische Ereignis des Zerbrechens der Fensterscheibe verursacht, nicht aber die mikroskopischen Ereignisse, die dem Zerbrechen der Fensterscheibe tatsächlich zugrunde liegen. Allein die mikroskopischen Ereignisse, die dem Werfen des Steins tatsächlich zugrunde liegen, sind mit den mikroskopischen Ereignissen, die

²⁷ Aus Gründen der Lesbarkeit verzichte ich dabei an dieser Stelle darauf, herauszustellen, dass es sich bei den fundamentaleren Ursachen je um indirekte Ursachen und damit bei den fundamentaleren Kausalbeziehungen eigentlich um Abfolgen von Kausalbeziehungen handelt.

dem Zerschlagen der Scheibe tatsächlich zugrunde liegen, über eine Vielzahl weiterer mikroskopischer Ereignisse, die dem Flug des Steins tatsächlich zugrunde liegen, kausal verbunden. Das Werfen des Steins selbst als makroskopisches Ereignis ist hingegen nicht mit den mikroskopischen Ereignissen, die dem Zerschlagen der Scheibe tatsächlich zugrunde liegen, kausal verbunden, da die multiple Konstitution des Werfens des Steins für die Verursachung der mikroskopischen Ereignisse, die dem einzelnen Zerschlagen der Scheibe tatsächlich zugrunde liegen, keine Rolle spielt. Darüber hinaus verursacht allein das Werfen des Steins das makroskopische Ereignis des Zerschlagens der Fensterscheibe, nicht aber die mikroskopischen Ereignisse, die dem Werfen des Steins tatsächlich zugrunde liegen. Denn allein das makroskopische Ereignis des Werfens des Steins ist in Form von Transformationsinvarianzen durch eine Vielzahl weiterer Konstitutionsweisen charakterisiert, die das Zerschlagen der Fensterscheibe als multipel konstituiertes makroskopisches Ereignis verursachen kann. Die mikroskopischen Ereignisse, die dem Werfen des Steins tatsächlich zugrunde liegen, sind wiederum über weitere mikroskopische Ereignisse, die dem Flug des Steins tatsächlich zugrunde liegen, ausschließlich mit den mikroskopischen Ereignissen, die dem Zerschlagen der Fensterscheibe tatsächlich zugrunde liegen, kausal verbunden, nicht aber mit allen weiteren Konstitutionsweisen, durch die das Zerschlagen der Fensterscheibe als multipel konstituiertes makroskopisches Ereignis in Form von Transformationsinvarianzen mit charakterisiert ist, und damit nicht mit dem makroskopischen Ereignis des Zerschlagens der Fensterscheibe.²⁸

Während also die zugrundeliegenden fundamentalen Kausalbeziehungen eine konkrete Abfolge von tatsächlich zugrundeliegenden Ereignissen beschreiben, sind die speziellen Kausalbeziehungen nicht nur durch die ihnen tatsächlich zugrundeliegenden fundamentalen Kausalbeziehungen charakterisiert, sondern auch durch alle weiteren möglichen fundamentalen Kausalbeziehungen, durch die die multipel konstituierten speziellen Ereignisse und Prozesse in Form von Transformationsinvarianzen mit charakterisiert sind. Nachdem damit nun die Möglichkeit eigenständiger spezieller Kausalbeziehungen trotz zugrundeliegender fundamentalerer Kausalbeziehungen sichergestellt ist, möchte ich im Folgenden noch kurz zeigen, wie sich dies auf die Möglichkeit eigenständiger spezieller Wahrscheinlichkeiten überträgt.

²⁸ Eine unmittelbare Übertragung dieser Argumentation auf das klassische Exklusionsargument der Philosophie des Geistes ist dabei nur unter der Annahme einer der multiplen Konstitution vergleichbaren Tokenbeziehung zwischen mentalen und physischen Ereignissen möglich. Eine multiple Realisation, die wie gewöhnlich eine reine Beziehung zwischen mentalen und physischen Ereignistypen darstellt, würde dafür hingegen nicht ausreichen. Grundsätzlich würde dabei eine entsprechende Tokenbeziehung nicht ausschließen, dass ein mentales Ereignis womöglich ein physisches Ereignis verursacht, sondern nur, dass dieses mentale Ereignis dann kein mentales Ereignis, das aus dem verursachten physischen Ereignis multipel konstituiert ist, mehr verursachen könnte (vgl. Fn. 24).

Aufgrund der multiplen Konstitution spezieller Ereignisse und Prozesse sind also eigenständige spezielle Kausalbeziehungen, die nicht einfach der Gesamtheit der ihnen tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Kausalbeziehungen entsprechen, möglich. Damit folgt nun aber zusammen mit der in Abschnitt 5.1.2 nahegelegten Auflösung von Zufallsexperimenten in einen kausalen und einen genuin probabilistischen Aspekt und der zugrundeliegenden Interpretation von speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen, dass auch eigenständige Wahrscheinlichkeiten spezieller Ereignisse neben den Wahrscheinlichkeiten der ihnen tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse möglich sind. Denn insofern Zufallsexperimente allein dadurch ausgezeichnet sind, dass der produktive Erhalt der entsprechenden Kausalbeziehungen durch dynamisch realisierte regelmäßige Symmetrietransformationen ausgezeichnet ist, können auch die fundamentaleren Ereignisse und Prozesse, die den speziellen Ereignissen zugrunde liegen, selbst entsprechend ausgezeichnet sein und folglich fundamentalere Zufallsexperimente darstellen. Aufgrund der beschriebenen Eigenständigkeit der speziellen produktiven Erhalte gegenüber den ihnen tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren produktiven Erhalten, sind damit aber auch eigenständige spezielle Wahrscheinlichkeiten möglich.²⁹ Insofern also tatsächlich zugrundeliegende fundamentalere Ereignisse selbst Teil von Zufallsexperimenten sein können, ergeben sich für unterschiedliche Konstitutionsstufen eigenständige Wahrscheinlichkeiten. Entsprechend können bspw. dem Landen der Münze als makroskopischem Ereignis und den ihm tatsächlich zugrundeliegenden molekularen Ereignissen aufgrund eigenständiger makroskopischer respektive molekularer Rotationssymmetrien eigenständige Wahrscheinlichkeiten zukommen.

Dabei impliziert die ontologische Bedeutung der multiplen Konstitution spezieller Ereignisse nun auch eine ontologische Bedeutung spezieller Wahrscheinlichkeiten. Denn so ist ein spezielles Ereignis aufgrund seiner multiplen Konstitution neben den tatsächlich zugrundeliegenden Konstitutionsweise auch durch solche Konstitutionsweisen mit charakterisiert, die einerseits ein ontologisch gleichwertiges spezielles Ereignis und damit einen ontologisch gleichwertigen daran anschließenden produktiven Erhalt zur Folge haben, die aber andererseits zu einem anderen im probabilistischen Erhalt als Wahrscheinlichkeit mit enthaltenen Ergebnis als zweitem speziellen Ereignis führen kann. So ist das einzelne Werfen einer Münze auch durch solche Konstitutionsweisen und damit daran anschließende spezielle Erhalte ontologisch charakterisiert, die zu 'Zahl' statt 'Kopf' führen würden, auch wenn das makroskopische Ereignis

²⁹ In vergleichbarer Weise argumentieren List & Pivato (2015, 133-136) vor dem Hintergrund einer Beste-Systeme-Analyse für die Möglichkeit eigenständiger spezieller Wahrscheinlichkeiten (vgl. auch Glynn 2010). List & Pivato (2015, 148-150) verweisen zudem darauf, dass damit die Interpretation von speziellen Wahrscheinlichkeiten insbesondere auch unabhängig von einer deterministischen oder indeterministischen Interpretation der fundamentaleren Wahrscheinlichkeiten ist (vgl. auch Werndl 2009).

und der makroskopische Münzflug als spezielles Ereignis bzw. als spezieller Prozess aufgrund ihrer multiplen Konstitution dieselben bleiben. Insofern speziellen Ereignissen durch ihre multiple Konstitution eine eigenständige ontologische Bedeutung zukommt, ist dies also auch für die speziellen Wahrscheinlichkeiten entsprechender Zufallsexperimente der Fall. Die multiple Konstitution spezieller Ereignisse ermöglicht folglich gleichermaßen spezielle Kausalbeziehungen wie durch darüber hinausgehende dynamisch realisierte Symmetrietransformationen spezielle Wahrscheinlichkeiten.

Insgesamt zeigt sich also, dass speziellen Kausalbeziehungen und Wahrscheinlichkeiten aufgrund ihrer multiplen Konstitution eine ontologische Bedeutung, die über die ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Kausalbeziehungen und Wahrscheinlichkeiten hinaus geht, zukommt und sie keine bloßen Epiphänomene darstellen. Damit möchte ich dieses Kapitel beschließen und zum Abschluss noch einmal über die zentralen Erkenntnisse der angestellten Untersuchungen resümieren.

Kapitel 6: Resümee

Den Ausgangspunkt für diese Arbeit bildete die Frage, wie sich die Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen spezieller Wissenschaften ontologisch charakterisieren lassen. Dazu zeigte ich in Kapitel 2 zunächst, dass eine solche Bestimmung nicht über globale Interaktionsebenen erfolgen kann, sondern – sofern überhaupt möglich – über die lokale Konstitution spezieller Ereignisse führen muss. Letztere bestimmte ich sodann als die für eine Konstitutionsstufe relevanten Veränderungen intrinsisch ausgezeichneter Raumzeitgebiete. Darüber hinaus versuchte ich bereits an dieser Stelle, eine geeignete Konstitutionsbeziehung zwischen speziellen Ereignissen und den ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen anzugeben, die später eine echte Eigenständigkeit spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen als Wahrscheinlichkeiten von bzw. als Kausalbeziehungen zwischen derart charakterisierten speziellen Ereignissen ermöglichen sollte und die es zugleich erlauben sollte, so den Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen derselben wie auch verschiedener Konstitutionsstufen zu klären.

Um zu einer solchen Klärung zu gelangen, begann ich in den Kapiteln 3 und 4 zunächst separat einer geeigneten Interpretation von spezieller Wahrscheinlichkeit bzw. Kausalität nachzugehen. Entsprechend versuchte ich in Kapitel 3 ausgehend von Überlegungen der Spielraumtheorie spezielle Wahrscheinlichkeiten über in Zufallsexperimenten dynamisch realisierte Symmetrietransformationen zu interpretieren. Spezielle Wahrscheinlichkeiten sind demnach ontologisch durch die Symmetrietransformationen, die in den einzelnen Zufallsexperimenten tatsächlich stattfinden, unter Berücksichtigung der Konstitution der in den Zufallsexperimenten involvierten Zufallsgeräte charakterisiert. Daran anschließend bestimmte ich in Kapitel 4 im Anschluss an die zuvor angestellten prozesstheoretischen und mechanistischen Überlegungen spezielle Kausalbeziehungen als die Abfolge von speziellen Veränderungen, die über produktive Erhalte miteinander verbunden sind. Hierzu charakterisierte ich zunächst spezielle Erhalte durch den bloßen Besitz einer bestimmten höheren Konstitutionsform in Abwesenheit spezieller Veränderungen. Die Frage nach der Produktivität dieser Erhalte bzw. die Frage, inwiefern diese speziellen Erhalte tatsächlich das Fortbestehen einer durch spezielle Veränderungen veränderten höheren Konstitutionsform, die zu weiteren speziellen Veränderungen führt, beschreiben, versuchte ich sodann über entsprechend charakterisierte Kausalbeziehungen nächstniedrigerer Konstitutionsstufen zu beantworten.

Ziel dieser getrennt voneinander entwickelten Interpretationen von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität war dabei zunächst, den bereits zu Anfang formulierten Anforderungen an geeignete Interpretationen gerecht zu werden. So stellte ich mit den

angegebenen Interpretationen zunächst sicher, dass sich spezielle Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen mit den ihnen zugrundeliegenden deterministischen und symmetrischen Gesetzmäßigkeiten bzw. Dynamiken vereinbaren lassen. Darüber hinaus ermöglichten die angegebenen Interpretationen eine Interpretation spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität als genuin singuläre Konzepte, die bereits einzelne Zufallsexperimente bzw. Ereignispaare unabhängig von einem Bezug auf entsprechende Referenzklassen abdecken. Schließlich erlaubten diese Interpretationen je für sich genommen eine Erklärung der zentralen Bedeutung dieser beiden Konzepte für die Wissenschaften. So verdeutlichte einerseits die angegebene Symmetrieinterpretation der Wahrscheinlichkeit, wie sich unter Zuhilfenahme des Gesetzes der großen Zahl Häufigkeiten in wiederholten Zufallsexperimenten ergeben. Andererseits erklärte die angegebene Erhaltungsinterpretation der Kausalität, weshalb sich Kausalbeziehungen von bloßen raumzeitlichen Nachbarschaftsbeziehungen und damit letztlich generelle Kausalität von bloßer Korrelation unterscheiden lassen.

Neben diesen separaten Ergebnissen bestand nun aber der eigentliche Vorteil dieser beiden Interpretationen darin, dass sie eine Klärung des genauen Zusammenhangs zwischen speziellen Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen in Kapitel 5 erlaubten. Denn während spezielle Kausalbeziehungen grundsätzlich in einer Abfolge spezieller Veränderungen und Erhalte bestehen, können letztere insofern probabilistischer Natur sein, als sie regelmäßige Symmetrietransformationen darstellen können. Damit konnte ich jedoch nicht nur das Verhältnis zwischen spezieller Kausalität und Wahrscheinlichkeit bestimmen, sondern auch zeigen, dass sich die ontologischen Rollen der Kausalität und der Wahrscheinlichkeit klar voneinander trennen und nicht wechselseitig aufeinander zurückführen lassen. Insbesondere wurde es dadurch auch möglich, den mit dem Fehlen einer solchen Trennung verbundenen Paradoxien bzw. Problemen zu begegnen.

Schließlich versuchte ich nach der Klärung des Zusammenhangs von spezieller Wahrscheinlichkeit und Kausalität auch noch das Verhältnis zwischen Wahrscheinlichkeiten derselben sowie zwischen Kausalbeziehungen verschiedener Konstitutionsstufen zu klären. So zeigte ich zunächst, wie die Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen probabilistisch unabhängig von produktiv vorgelagerten Ereignissen sein können. Darüber hinaus ließ sich unter Hinzunahme der zu Anfang angestellten Überlegungen zur multiplen Konstitution spezieller Ereignisse aus fundamentalen Ereignissen auch die genaue Beziehung zwischen Kausalbeziehungen und damit letztlich auch zwischen Wahrscheinlichkeiten verschiedener Konstitutionsstufen herausarbeiten. Dies sicherte endlich die Eigenständigkeit spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen trotz produktiv vorgelagerter bzw. konstitutiv

zugrundeliegender Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen.

Insgesamt ergibt sich damit also das folgende Bild: Fundamentalere Kausalbeziehungen konstituieren spezielle Ereignisse, die neben den tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignissen und Prozessen durch eine Vielzahl weiterer möglicher Konstitutionsweisen in Form von Transformationsinvarianzen charakterisiert sind. Insofern die derart konstituierten speziellen Ereignisse mehr als die ihnen tatsächlich zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse sind, können sie Teil eigenständiger spezieller Kausalbeziehungen sein, die entsprechend ebenfalls nicht mit den ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Kausalbeziehungen identisch sind. Spezielle Kausalbeziehungen stellen dabei Abfolgen von speziellen Veränderungen, die die speziellen Ereignisse auszeichnen, und speziellen Erhalten, die die speziellen Prozesse auszeichnen, dar. Die speziellen Ereignisse und Prozesse selbst sind dabei über eine fundamentalere Konstitutionsstufe miteinander verbunden. Insofern die speziellen Ereignisse eine Aktivierung spezieller Symmetrien darstellen können, können die produktiven Erhalte regelmäßige Symmetrietransformationen mit einschließen und damit den Wirkungseignissen eigenständige spezielle Wahrscheinlichkeiten zukommen.

Folglich kommt den Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen spezieller Ereignisse damit eine ontologische Bedeutung zu, die über die Bedeutung der Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen der ihnen zugrundeliegenden fundamentaleren Ereignisse hinausgeht. Letztlich bildet diese ontologische Eigenständigkeit spezieller Wahrscheinlichkeiten und Kausalbeziehungen die Grundlage für nicht-reduzierbare spezielle Gesetzmäßigkeiten und damit für die speziellen Wissenschaften selbst, während die Konstitutionsbeziehung zugleich den Zusammenhang zwischen den Ereignissen verschiedener Konstitutionsstufen herstellt und damit die Einheit der Natur wahrt.

Literaturverzeichnis

- Abrams, Marshall (2012): Mechanistic probability. *Synthese*, 187, 343-375.
- Albert, David (2000): *Time and Chance*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Arntzenius, Frank & Tim Maudlin(2009): Time Travel and Modern Physics. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter 2013 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/win2013/entries/time-travel-phys/>>.
- Bartels, Andreas & Daniel Wohlfahrt (2014a): How Fundamental Physics Represents Causality. In M. Galavotti et al. (Eds.), *New Directions in the Philosophy of Science*, Vol. 5, 485-500. Cham: Springer.
- Bartels, Andreas & Daniel Wohlfarth (2014b): The Directedness of Time in Classical Cosmology. In G. Guo & C. Liu (Eds.), *Scientific Explanation and Methodology of Science*, 1-15. Singapore: World Scientific.
- Bartels, Andreas (2015): *Naturgesetze in einer kausalen Welt*. Münster: mentis.
- Bechtel, William (2008): *Mental Mechanisms. Philosophical perspectives on cognitive neuroscience*. New York, NY: Routledge.
- Beebe, Helen (2004): Causing and Nothingness. In Collins, Hall & Paul (2004), 291-308.
- Beebe, Helen, Christopher Hitchcock & Peter Menzies (Eds.) (2009): *The Oxford Handbook of Causation*. Oxford: Oxford University Press.
- Blanchard, Thomas (2016): Physics and Causation. *Philosophy Compass*, 11, 256-266.
- Block, Ned (2003): Do Causal Powers Drain Away? *Philosophy and Phenomenological Research*, 67, 133-150.
- Brooks, Daniel S. (2017): In Defense of Levels: Layer-cakes and Guilt by Association. *Biological Theory*, 12, 142-156.
- Bunge, Mario (1982): The revival of causality. In G. Fløistad (Ed.), *Contemporary philosophy. A new survey*, Vol. 2, 133-155. The Hague: Martinus Nijhoff Publishers.
- Callender, Craig (2011): The Past Histories of Molecules. In C. Beisbart & S. Hartmann (Eds.), *Probabilities in Physics*, 83-114. Oxford: Oxford University Press.
- Canson, Chloé de (2020): Objectivity and the Method of Arbitrary Functions. *British Journal for the Philosophy of Science*, URL = <<https://doi.org/10.1093/bjps/axaa001>>.
- Carnap, Rudolf (1950): *Logical Foundations of Probability*. Chicago: The University of Chicago Press, 1967.
- Carrier, Martin (1998): Salmon 1 versus Salmon 2. Das Prozeßmodell der Kausalität in seiner Entwicklung. *Dialektik*, 2, 49-70.
- Cartwright, Nancy (1979): Causal Laws and Effective Strategies. *Noûs*, 13, 419-437.

- Casati, Roberto & Achille Varzi (2020): Events. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Summer 2020 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/events/>>.
- Castagnino, Mario, Olimpia Lombardi & Luis Lara (2003): The Global Arrow of Time as a Geometrical Property of the Universe. *Foundations of Physics*, 33, 877-912.
- Cohen, Jonathan & Craig Callender (2009): A better best system account of lawhood. *Philosophical Studies*, 145, 1-34.
- Collins, John, Edward J. Hall & Laurie A. Paul (Eds.) (2004): *Causation and Counterfactuals*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Collins, John, Edward J. Hall & Laurie A. Paul (2004a): Counterfactuals and Causation: History, Problems, and Prospects. In Collins, Hall & Paul (2004), 1-57.
- Craver, Carl F. (2007): *Explaining the Brain. Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*. Oxford: Clarendon Press.
- Craver, Carl F. & William Bechtel (2007): Top-down causation without top-down causes. *Biology & Philosophy*, 22, 547-563.
- Davidson, Donald (1967): Causal Relations. *Journal of Philosophy*, 64, 691-703.
- Davidson, Donald (1969): The Individuation of Events. In N. Rescher (Ed.), *Essays in Honor of Carl G. Hempel*, 216-234.
- de Finetti, Bruno (1937): La prévision: Ses lois logiques, ses sources subjectives. *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, 7, 1-68.
- Dowe, Phil (1992): Wesley Salmon's Process Theory of Causality and the Conserved Quantity Theory. *Philosophy of Science*, 59, 195-216.
- Dowe, Phil (1995): Causality and Conserved Quantities: A Reply to Salmon. *Philosophy of Science*, 62, 321-333.
- Dowe, Phil (2000): *Physical Causation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dowe, Phil (2004): Causes are Physically Connected to their Effects: Why Preventers and Omissions are not Causes. In C. Hitchcock (Ed.), *Contemporary Debates in Philosophy of Science*, 189-196. Oxford: Blackwell.
- Dowe, Phil (2009): Causal Process Theories. In Beebe, Hitchcock & Menzies (2009), 213-233.
- Dürr, Detlef (1992): Quantum Equilibrium and the Origin of Absolute Uncertainty. *Journal of Statistical Physics*, 67, 843-907.
- Eagle, Antony (2004): Twenty-One Arguments Against Propensity Analyses of Probability. *Erkenntnis*, 60, 371-416.

- Earman, John (1974): An attempt to add a little direction to the “The Problem of the Direction of Time”. *Philosophy of Science*, 41, 15-47.
- Elga, Adam (2007): Isolation and Folk Physics. In Price & Corry (2007), 106-119.
- Eronen, Markus I. (2013): No Levels, No Problems: Downward Causation in Neuroscience. *Philosophy of Science*, 80, 1042-1052.
- Eronen, Markus I. (2015): Levels of organization: a deflationary account. *Biology & Philosophy*, 30, 39-58.
- Eronen, Markus I. (2018): Levels of Organization in Biology. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Spring 2018 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/levels-org-biology/>>.
- Fair, David (1979): Causation and the Flow of Energy. *Erkenntnis*, 14, 219-250.
- Farr, Matt & Alexander Reutlinger (2013): A Relic of a Bygone Age? Causation, Time Symmetry and the Directionality Argument. *Erkenntnis*, 78, 215-235.
- Faye, Jan (2018): Backward Causation. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Summer 2018 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/causation-backward/>>.
- Fetzer, James (1982): Probabilistic Explanations. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 2, 194-207.
- Field, Hartry (2003): Causation in a Physical World. In M. Loux & D. Zimmerman (Eds.), *The Oxford Handbook of Metaphysics*, 435-460. Oxford: Oxford University Press.
- Frigg, Roman & Carl Hoefer (2015): The Best Humean System for Statistical Mechanics. *Erkenntnis*, 80, 551-574.
- Frisch, Mathias (2007): Causation, Counterfactuals and Entropy. In Price & Corry (2007), 351-395.
- Frisch, Mathias (2012): No place for causes? Causal skepticism in physics. *European Journal for Philosophy of Science*, 2, 313-336.
- Frisch, Mathias (2014): *Causal Reasoning in Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Frisch, Mathias (2020): Causation in Physics. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Fall 2020 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2020/entries/causation-physics/>>.
- Gallow, Dmitri (2021): A Subjectivist's Guide to Deterministic Chance. *Synthese*, 198, 4339-4372.
- Gillies, Donald (2000): Varieties of Propensity. *British Journal for the Philosophy of Science*, 51, 807-835.
- Gillies, Donald (2001): Judea Pearl. Causality: Models, Reasoning, and Inference. *British Journal for the Philosophy of Science*, 52, 613-622.

- Glynn, Luke (2010): Deterministic Chance. *British Journal of Philosophy of Science*, 61, 51-80.
- Glennan, Stuart S. (1996): Mechanisms and the Nature of Causation. *Erkenntnis*, 44, 49-71.
- Glennan, Stuart S. (2009): Mechanisms. In Beebe, Hitchcock & Menzies (2009), 315-325.
- Glennan, Stuart S. (2016): Mechanisms and Mechanical Philosophy. In P. Humphreys (Ed.): *The Oxford Handbook of Philosophy of Science*, 796-816. New York, NY: Oxford University Press.
- Glennan, Stuart S., (2017): *The New Mechanical Philosophy*. New York, NY: Oxford University Press.
- Glynn, Luke (2011): A Probabilistic Analysis of Causation. *British Journal for the Philosophy of Science*, 62, 343-392.
- Giere, Ronald N. (1973): Objective Single-Case Probabilities and the Foundations of Statistics. *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, 74, 467-483.
- Gillies, Donald (2000): Varieties of Propensity. *British Journal for the Philosophy of Science*, 51, 807-835.
- Hacking, Ian (1971a): Equipossibility Theories of Probability. *British Journal for the Philosophy of Science*, 22, 339-355.
- Hacking, Ian (1971b): Jacques Bernoulli's Art of Conjecturing. *British Journal for the Philosophy of Science*, 22, 209-229.
- Hájek, Alan (1997): "Mises Redux" – Redux: Fifteen Arguments Against Finite Frequentism. *Erkenntnis*, 45, 209-227.
- Hájek, Alan (2007): The reference class problem is your problem too. *Synthese*, 156, 563-585.
- Hájek, Alan (2009): Fifteen Arguments Against Hypothetical Frequentism. *Erkenntnis*, 70, 211-235.
- Hájek, Alan (2019): Interpretations of Probability. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Fall 2019 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2019/entries/probability-interpret/>>.
- Hájek, Alan & Christopher Hitchcock (Eds.) (2016): *The Oxford Handbook of Probability and Philosophy*. Oxford: Oxford University Press.
- Hall, Edward J. (2004): Two Concepts of Causation. In Collins, Hall & Paul (2004), 225-276.
- Halpern, Joseph Y. & Judea Pearl (2005): Causes and Explanations: A Structural-Model Approach. Part I: Causes. *British Journal of Philosophy of Science*, 56, 843-887.
- Halpern, Joseph Y. (2016): *Actual Causality*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Hart, H. L. A. & Tony Honoré (1959): *Causation in the Law*. Oxford: Oxford University Press, 2¹⁹⁸⁵.
- Heidelberger, Michael (2001): Origins of the logical theory of probability: von Kries, Wittgenstein, Waismann. *International Studies in the Philosophy of Science*, 15, 177-188.
- Hitchcock, Christopher (2007): What Russell Got Right. In Price & Corry (2007), 45-65.
- Hitchcock, Christopher (2009): Causal Modelling. In Beebe, Hitchcock & Menzies (2009), 299-314.
- Hitchcock, Christopher (2018a): Causal Models. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Summer 2020 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/causal-models/>>.
- Hitchcock, Christopher (2018b): Probabilistic Causation. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Fall 2018 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/causation-probabilistic/>>.
- Hitchcock, Christopher & Miklós Rédei (2020): Reichenbach's Common Cause Principle. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Spring 2020 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/physics-Rpcc/>>.
- Hofer, Carl (2007): The Third Way on Objective Probability: A Sceptic's Guide to Objective Chance. *Mind*, 116, 549-596.
- Horwich, Paul (1987): *Asymmetries in Time*. Cambridge: MIT Press.
- Hume, David (1739-1740): *A Treatise of Human Nature*, hrsg. von D. und M. Norton. Oxford: Oxford University Press, 2009.
- Hume, David (1748): *An Enquiry Concerning Human Understanding*, hrsg. von T. Beauchamp. Oxford: Oxford University Press, 2009.
- Humphreys, Paul (1985): Why Propensities Cannot be Probabilities. *The Philosophical Review*, 94, 557-570.
- Hüttemann, Andreas (2004): *What's Wrong With Microphysicalism?* London: Routledge.
- Hüttemann, Andreas (2013): *Ursachen*. Berlin: De Gruyter.
- Hüttemann, Andreas (2020): Processes, pre-emption and further problems. *Synthese*, 197, 1487-1509.
- Illari, Phyllis M. & Jon Williamson (2012): What is a mechanism? Thinking about mechanisms across the sciences. *European Journal for Philosophy of Science*, 2, 119-135.
- Jaynes, Edwin T. (1973): The well-posed problem. *Foundation of Physics*, 3, 477-493.
- Jones, Nicholas (2015): Multiple Constitution. In K. Bennett & D. Zimmer (Eds.), *Oxford Studies in Metaphysics*, Vol. 9, 217-261. Oxford: Oxford University Press.

- Kamlah, Andreas (1983): Probability as a Quasi-Theoretical Concept – J. V. Kries' Sophisticated Account after a Century. *Erkenntnis*, 19, 239-251.
- Keller, Joseph B. (1986): The Probability of Heads. *The American Mathematical Monthly*, 93, 191-197.
- Keynes, John M. (1921): *A Treatise on Probability*. London: Macmillan.
- Kim, Jaegwon (1998): *Mind in a Physical World: An Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kim, Jaegwon (2002): The Layered Model: Metaphysical Considerations. *Philosophical Explorations*, 5, 2-20.
- Kistler, Max (1998): Reducing Causality to Transmission. *Erkenntnis*, 48, 1-24.
- Kistler, Max (2006): *Causation and Laws of Nature*. London: Routledge.
- Kistler, Max (2009): Mechanisms and Downward Causation. *Philosophical Psychology*, 22, 595-609.
- Kolmogorow, Andrei N. (1933): *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung*. Berlin: Springer.
- Kutach, Douglas (2007): The Physical Foundations of Causation. In Price & Corry (2007), 327-350.
- La Caze, Adam (2016): Frequentism. In Hájek & Hitchcock (2016), 341-359.
- Laplace, Pierre S. (1814): *Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit*, hrsg. von R. von Mises. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1932.
- Lewis, David K. (1986): *Philosophical Papers*, Vol. 2. Oxford: Oxford University Press.
- Lewis, David K. (1986a): A Subjectivist's Guide to Objective Chance. In Lewis (1986), 83-132.
- Lewis, David K. (1986b): Causation. In Lewis (1986), 159-213.
- Lewis, David K. (1986c): Counterfactual Dependence and Time's Arrow. In Lewis (1986), 32-66.
- Lewis, David K. (1994): Humean Supervenience Debugged. *Mind*, 103, 473-490.
- List, Christian & Peter Menzies (2009): Non-reductive Physicalism and the Limits of the Exclusion Principle. *Journal of Philosophy*, 106, 475-502.
- List, Christian & Marcus Pivato (2015): Emergent Chance. *The Philosophical Review*, 124, 119-152.
- Loewer, Barry (2001): Determinism and Chance. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 32, 609-620.
- Loewer, Barry (2004): David Lewis's Humean Theory of Objective Chance. *Philosophy of Science*, 71, 1115-1125.

- Loewer, Barry (2007): Counterfactuals and the Second Law. In Price & Corry (2007), 293-326.
- Lowe, Edward J. (1982): The paradox of the 1,001 cats. *Analysis*, 42, 27-30.
- Lowe, Edward J. (1995): The problem of the many and the vagueness of constitution. *Analysis*, 55, 179-182.
- Lyon, Aidan (2016): Kolmogorov's Axiomatization and Its Discontents. In Hájek & Hitchcock (2016), 155-166.
- Mach, Ernst (1883): *Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch dargestellt*. Berlin: Akademie-Verlag, 1988.
- Machamer, Peter, Lindley Darden & Carl F. Craver (2000): Thinking About Mechanisms. *Philosophy of Science*, 67, 1-25.
- Mackie, John L. (1965): Causes and Conditions. *American Philosophical Quarterly*, 2, 245-264.
- Mackie, John L. (1974): *The Cement of the Universe. A Study of Causation*. Oxford: Oxford University Press, ²1980.
- Maudlin, Tim (2004): Causation, Counterfactuals, and the Third Factor. In Collins, Hall & Paul (2004), 419-443.
- Maudlin, Tim (2007): On the Passing of Time. In T. Maudlin, *The Metaphysics Within Physics*, 104-142, Oxford: Oxford University Press.
- Menzies, Peter & Huw Price (1993): Causation as a Secondary Quality. *British Journal for the Philosophy of Science*, 44, 187-203.
- Menzies, Peter & Helen Beebe (2019): Counterfactual Theories of Causation. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter 2019 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/causation-counterfactual/>>.
- Mill, John S. (1843): *A System of Logic. Ratiocinative and Inductive*. London: Longmans, Green Reader, and Dyer, ⁸1872.
- Mumford, Stephen (2009): Causal Powers and Capacities. In Beebe, Hitchcock & Menzies (2009), 265-278.
- Myrvold, Wayne C. (2012): Deterministic laws and epistemic chances. In Y. Ben-Menahem & M. Hemmo (Eds.), *Probability in physics*, 73-85. Berlin: Springer.
- Ney, Alyssa (2009): Physical Causation and Difference-Making. *British Journal for the Philosophy of Science*, 60, 737-764.
- North, Jill (2010): An Empirical Approach to Symmetry and Probability. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 41, 27-40.
- Norton, John (2007): Causation as folk science. In Price & Corry (2007), 327-350.

- Oppenheim, Paul & Hilary Putnam (1958): Unity of Science as a Working Hypothesis. In H. Feigl et al. (Eds.), *Concepts, Theories and the Mind-Body Problem*, 3-36. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Papineau, David (2020): Naturalism. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Summer 2021 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2021/entries/naturalism/>>.
- Paul, L. A. & Edward T. Hall (2013): *Causation. A User's Guide*. Oxford: Oxford University Press.
- Pearl, Judea (2000): *Causality: models, reasoning, and inference*. Cambridge: Cambridge University Press, ²2009.
- Peirce, Charles Sanders (1910): Notes on the Doctrine of Chances. In J. Buchler (Ed.), *Philosophical Writings of Peirce*, 164-173.
- Pettit, Philip (1994): Microphysicalism without Contingent Micro-macro Laws. *Analysis*, 54, 253-257.
- Poincaré, Henri (1896): *Calcul des Probabilités*. Paris: Gauthier-Villars.
- Popper, Karl R. (1935): *Logik der Forschung*. Wien: Springer.
- Popper, Karl R. (1957): The Propensity Interpretation of the Calculus of Probability and the Quantum Theory. In S. Körner (Ed.), *Observation and Interpretation, Proceedings of the Ninth Symposium of the Colston Research Society*, 65-70/88-89.
- Popper, Karl R. (1959): The Propensity Interpretation of Probability. *British Journal for the Philosophy of Science*, 10, 25-42.
- Popper, Karl R. (1990): *A World of Propensities*. Bristol: Thoemmes.
- Potochnik, Angela & Brian McGill (2012): The Limitations of Hierarchical Organization. *Philosophy of Science*, 79, 120-140.
- Price, Huw (1996): *Time's Arrow & Archimedes' Point*. Oxford: Oxford University Press.
- Price, Huw (2007): Causal Perspectivalism. In Price & Corry (2007), 250-292.
- Price, Huw & Richard Corry (Eds.) (2007): *Causation, Physics, and the Constitution of Reality: Russell's Republic Revisited*. Oxford: Clarendon Press.
- Price, Huw & Brad Weslake (2009): The Time-Asymmetry of Causation. In Beebe, Hitchcock & Menzies (2009), 414-443.
- Psillos, Stathis (2009): Regularity Theories. In Beebe, Hitchcock & Menzies (2009), 131-157.
- Raatikainen, Panu (2010): Causation, Exclusion, and the Special Sciences. *Erkenntnis*, 73, 349-363.
- Ramsey, Frank P. (1931): Truth and Probability. In R. B. Braithwaite (Ed.), *The Foundations of Mathematics and other Logical Essays*, 156-198. London: Routledge & Kegan Paul Ltd.

- Reichenbach, Hans (1935): *Wahrscheinlichkeitslehre. Eine Untersuchung über die logischen und mathematischen Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung*. Leiden: Sijthoff.
- Reichenbach, Hans (1956): *The Direction of Time*. Berkeley: University of California Press.
- Roberts, John T. (2016): The Range Conception of Probability and the Input Problem. *Journal for General Philosophy of Science*, 47, 171-188.
- Rosenthal, Jacob (2004): *Wahrscheinlichkeiten als Tendenzen. Eine Untersuchung objektiver Wahrscheinlichkeitsbegriffe*, Paderborn: mentis.
- Rosenthal, Jacob (2010): The natural-range conception of probability. In G. Ernst & A. Hüttemann (Eds.), *Time, Chance and Reduction*, 71-91. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenthal, Jacob (2012): Probabilities as Ratios of Ranges in Initial-State Spaces. *Journal of Logic, Language and Information*, 21, 217-236.
- Rosenthal, Jacob (2016): Johannes von Kries's Range Conception, the Method of Arbitrary Functions, and Related Modern Approaches to Probability. *Journal for General Philosophy of Science*, 47, 151-170.
- Rueger, Alexander & Patrick McGivern (2010): Hierarchies and levels of reality. *Synthese*, 176, 379-397.
- Russell, Bertrand (1912-1913): On the Notion of Cause. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 13, 1-26.
- Salmon, Wesley C. (1977): An "At-At"-Theory of Causal Influence. *Philosophy of Science*, 44, 215-224.
- Salmon, Wesley C. (1980): Causality: Production and Propagation. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 2, 49-69.
- Salmon, Wesley C. (1984): *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Salmon, Wesley C. (1994): Causality without Counterfactuals. *Philosophy of Science*, 61, 297-312.
- Salmon, Wesley C. (1997): Causality and Explanation: A Reply to Two Critiques. *Philosophy of Science*, 64, 461-477.
- Savage, Leonard J. (1973): Probability in Science: A Personalistic Account. *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, 74, 417-428.
- Schaffer, Jonathan (2000): Causation by Disconnection. *Philosophy of Science*, 67, 285-300.
- Schaffer, Jonathan (2003): Is There a Fundamental Level? *Noûs*, 37, 498-517.

- Schaffer, Jonathan (2007): Deterministic chance? *British Journal for the Philosophy of Science*, 58, 113-140.
- Schaffer, Jonathan (2010): Monism: The Priority of the Whole. *Philosophical Review*, 119, 31-76.
- Schaffer, Jonathan (2016): The Metaphysics of Causation. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Fall 2016 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2016/entries/causation-metaphysics/>>.
- Schurz, Gerhard & Alexander Gebharter (2016): Causality as a theoretical concept: explanatory warrant and empirical content of the theory of causal nets. *Synthese*, 193, 1073-1103.
- Schwarz, Wolfgang (2016): Best System Approaches to Chance. In Hájek & Hitchcock (2016), 423-439.
- Sober, Elliot (2010): Evolutionary Theory and the Reality of Macro-Probabilities. In E. Eells & J. Fetzer (Eds.), *The Place of Probability in Science*, 133-161. Dordrecht: Springer.
- Spirtes, Peter, Clark Glymour & Richard Scheines (1993): *Causation, Prediction, and Search*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.
- Strevens, Michael (1998): Inferring Probabilities from Symmetries. *Noûs*, 32, 231-246.
- Strevens, Michael (2003): *Bigger than Chaos*. Cambridge: Harvard University Press.
- Strevens, Michael (2008): Comments on Woodward, Making Things Happen. *Philosophy and Phenomenological Research*, 77, 171-192.
- Strevens, Michael (2011): Probability Out Of Determinism. In C. Beisbart & S. Hartmann (Eds.), *Probabilities in Physics*, 339-364. New York: Oxford University Press.
- Strevens, Michael (2013): *Tychomancy*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Suppes, Patrick (1970): *A Probabilistic Theory of Causality*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- van Fraassen, Bas (1989): *Laws and Symmetry*. Oxford: Oxford University Press.
- von Kries, Johannes (1886): *Die Principien der Wahrscheinlichkeitsrechnung*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- von Mises, Richard (1928): *Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit*. Wien: Springer.
- von Plato, Jan (1983): The Method of Arbitrary Functions. *British Journal for the Philosophy of Science*, 34, 37-47.
- von Plato, Jan (1994): *Creating modern probability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- von Wright, Georg Henrik (1974): *Erklären und Verstehen*. Frankfurt am Main: Athenäum-Fischer-Taschenbuch-Verlag.

- Werndl, Charlotte (2009): Are deterministic descriptions and indeterministic descriptions observationally equivalent? *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 40, 232-242.
- Williamson, Jon (2009): Probabilistic Theories. In Beebe, Hitchcock & Menzies (2009), 185-212.
- Williamson, Jon (2011): Mechanistic Theories of Causality Part I. *Philosophy Compass*, 6, 421-432.
- Wimsatt, William C. (2007): *Re-Engineering Philosophy for Limited Beings*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wolff, Johanna E. (2016): Using defaults to understand token causation. *Journal of Philosophy*, 113, 5-26.
- Woodward, James (2003): *Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation*. Oxford: Oxford University Press.
- Woodward, James (2007): Causation with a Human Face. In Price & Corry (2007), 66-105.
- Woodward, James (2016): Causation and Manipulability. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter 2016 Ed., <<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/causation-mani/>>.
- Zabell, Sandy (2016a): Johannes von Kries's Principien: A Brief Guide for the Perplexed. *Journal for General Philosophy of Science*, 47, 131-150.
- Zabell, Sandy (2016b): Symmetry Arguments in Probability. In Hájek & Hitchcock (2016), 315-340.
- Zhong, Lei (2014): Sophisticated Exclusion and Sophisticated Causation. *The Journal of Philosophy*, 111, 341-360.