

6. Thaumázein

Platons *Menon* (79e–86c) fragt, wie folgender Satz wahr sein kann:

»Der Satz nämlich, dass es also einem Menschen weder möglich ist, zu suchen, was er weiß, noch, was er nicht weiß; denn er würde ja wohl nicht suchen, was er weiß, – denn er weiß es ja, und für so jemanden ist eine Suche überflüssig – noch, was er nicht weiß, – denn er weiß ja nicht, wonach er suchen soll.« (Platon, *Menon*, 80d-e, 2018, 19)

Das vermeintliche Paradoxon verweist auf das grundsätzliche Problem der wissenschaftlichen Neugier. Neugier ermöglicht uns Erkenntnis. Wie ist es aber zu begründen, dass Neugier uns Erkenntnis verschafft, die wir als wahr, universell und objektiv gültig erachten? Welches Kriterium leitet unsere Suche nach Wissen? Menons Satz macht dieses Dilemma deutlich: Eine Person, die Wissen sucht, muss bereits wissen, wonach sie fragt, da sie nur so in der Lage ist, die Antwort zu überprüfen und zu beurteilen. Ohne ein solches Kriterium würde jede beliebige Antwort als Antwort genügen.

Für Platons Sokrates ergibt sich das Kriterium aus angeborenen logisch-geometrischen Prinzipien. Setzt man jedoch ein »implizites Wissen« (Polanyi, 1983) voraus, stößt man auf das Problem, dass auch die logisch-geometrischen Prinzipien einem neugiergetriebenen Entdeckungsprozess unterliegen:

That certainly can never be thought innate, which we have need of Reason to discover, unless as I have said, we will have all the certain

Truths, that Reason ever teaches us, to be innate.« (Locke, 1690, I, II, § 9/1975, 52)

Da nicht alle sicheren Wahrheiten angeboren sein können, schließt Locke, dass der Verstand allein durch die sinnliche Erfahrung angeregt wird und die logisch-geometrischen Prinzipien ebenfalls der Erfahrung entstammen müssen. Jedoch auch hier entsteht das Problem, das sowohl Leibniz (1765, I, 1, §19/1999, 45–47 und II, 9/1999, 102–109) als auch Piaget (1974, 77) herausstellen: Lockes Auffassung in Bezug auf das Urteilen ist zu passiv. Sie kann die aktive Rolle des Verstandes nicht erklären. Die Information der Sinnesdaten reicht nicht aus, um Sinn und Bedeutung unserer abstrakten Begriffe zu erklären, wenn der Verstand einfach als Rezeptor aufgefasst wird (Piaget, 1973a, 101).

Eine weitere Möglichkeit, dem Problem der wissenschaftlichen Neugier zu begegnen, ist der Ansatz Piagets, nach der sich die Erkenntnisfähigkeit stufenweise aus der Anpassung des Organismus an seine Umwelt entwickelt. Die Neugier ist dann Ausdruck eines Ungleichgewichts zwischen den internen Schemata und der äußeren Erfahrung, welches der Organismus wieder auszugleichen sucht, indem er neue Informationen als Hinweise nimmt, um seine inneren Repräsentationen zu akkommodieren (Piaget, 1967/1992a, 175–176).

Piagets Stufentheorie hat jedoch zur Folge, dass die objektiven Kriterien logisch-empirischer Rechtfertigung verschwinden, wenn sie allein in der biologisch bedingten Psychologie des Individuums verortet werden. Nicht nur – wie Hempel betont – brauchen wir aber für die objektive Wissenschaftsdisziplinen objektive Begriffe des Beweises und der Erklärung, sondern wir brauchen auch einen objektiven Begriff der Neugier: einen Begriff des Warums, mit dem sinnvoll zu sagen ist, warum wir Menschen von früher Kindheit nach Erklärungen suchen, die eine Erkenntnis gesetzmäßiger Zusammenhänge versprechen.

In den vorangegangenen Kapiteln habe ich argumentiert, dass eine explizierte Warum-Frage ein objektives Kriterium vermittelt, welcher Typ von Erklärung für das jeweilige Warum angemessen ist. Wenn aber eine Frage nach einer deduktiv-nomologischen Erklärung gestellt wird, was genau hat die fragenstellende Person dazu veranlasst, diesen Typ

von Frage zu stellen? Warum fragt sie mit Interesse jenes wissenschaftliche Warum? Welche *objektive* Motivation hat die wissenschaftliche Neugier?

Das Problem der Neugier stand in der Erkenntnistheorie selten im Vordergrund (Inan, 2017). Dabei weist die menschliche Neugier eine Besonderheit aus, die sie für die Erkenntnistheorie besonders betrachtenswert macht:

»Human curiosity is perhaps the only kind of curiosity that finds its expression in language in the form of a question.« (Inan, 2017, 40)

Erst die Psychologie des 20. Jahrhunderts stellt die Neugier explizit in den Fokus. Berlyne (1954) formuliert in seiner *Theory of Human Curiosity* dazu grundlegende Gedanken, die von folgenden Metafragen ausgehen:

»The first question is why human beings devote so much time and effort to the acquisition of knowledge. [...] The second question [...] is why, out of the infinite range of knowable items in the universe, certain pieces of knowledge are more ardently sought and more readily retained than others.« (Berlyne, 1954, 180)

Berlyne führt dazu den Begriff der *epistemic curiosity* ein. Die epistemische Neugier ist abgegrenzt von der *perceptual curiosity*, die sich mehr auf die Neuheit eines Stimulus bezieht. Epistemische Neugier dagegen zeichnet sich durch gedankliche Konflikte bzw. durch seltsame oder überraschende Sachverhalte aus. Sie ist darauf aus, *meaning responses* hervorzurufen, d.h. sie manifestiert sich in Fragen (Berlyne & Frommer, 1966; Berlyne, 1954).

Um den Begriff der epistemischen Neugier zu explizieren, rücken kognitive Emotionen wie Überraschung, Verwunderung, *puzzlement* in den Vordergrund. Sie stehen für Zustände, die auch immer wieder mit der Warum-Frage in Verbindung gebracht wurden. Für Aristoteles kommt die Motivation, Erklärungen zu finden und dadurch Wissenschaft zu betreiben, aus dem mentalen Zustand des *thaumázein* – der Verwunderung (*Metaphysik*, II 2, 982b17-22). Sully (1896), Piaget (1923)

und Isaacs (1930) greifen dies auf und argumentieren, dass Kinder ihre Warum-Fragen aus einem Zustand der Verwunderung heraus stellen.

Im Folgenden möchte ich den mentalen Zustand der Verwunderung oder der epistemischen Neugier genauer untersuchen und Überlegungen anstellen, wie sich erklären lässt, dass der eigentlich subjektive Zustand der epistemischen Neugier oder der Verwunderung zu Warum-Fragen und schließlich zu abstrakten Erklärungen führt. Ausgangspunkt ist der Begriff des *thaumázein*. Ich verstehe den mentalen Zustand des epistemischen Warums als ein Gefühl aus einem Spektrum kognitiver Gefühle, zu denen auch Glaubensgrade oder Grade von Überraschung gezählt werden können. Diese kognitiven Gefühle wurden mit dem bayesianischen Wahrscheinlichkeits- und dem shannonschen Informationsbegriff mathematisch beschrieben. In der kognitiven Psychologie können damit induktive Schlussformen modelliert werden. So beschreibt etwa die Informationstheorie, wie das »Gefühl« der subjektiven Überraschungserwartung durch informationsermittelndes Fragenstellen verringert wird (Ruggeri & Feufel, 2015; Ruggeri & Lombrozo, 2015).

Für die Warum-Frage haben sich die bisherigen Formalisierungen aber als unzureichend erwiesen. Das in der Warum-Frage ausgedrückte »vague puzzlement« (Belnap & Steel, 1976) fällt nicht in jene Kategorie Überraschungszuständen und Überzeugungszuständen, wie sie sich in nicht-explanatorischen Fragen ausdrücken. Es stellt sich daher die Frage, wie jener Zustand des *thaumázein* gefasst werden kann und unter welchen Bedingungen er ausgelöst wird.

6.1 Kognitive Gefühle

Der Begriff des kognitiven Gefühls stammt von Scheffler (1981). Gopnik (1998) sieht ebenfalls die Freude an der Verifikation oder das Gefühl der Überraschung als grundlegende Antriebe für die Bildung von Theorien an. Erklärungen lösen eine Spannung und hinterlassen ein Gefühl von Befriedigung:

»My hypothesis will be that explanation is to theory-formation as orgasm is to reproduction.« (Gopnik, 1998, 102)

Gopnik (1998) zitiert eingangs Hobbes' Leviathan, in dem die epistemische Neugier als menschliche Leidenschaft und zugleich als Distinktionsmerkmal zu den Tieren bestimmt wird:

»Desire to know why, and how, CURIOSITY; such as is in no living creature but Man: so that Man is distinguished, not only by his Reason; but also by this singular Passion from other Animals; in whom the appetite of food, and other pleasures of Sense, by predominance, take away the care of knowing causes; which is a Lust of the mind, that by a perseverance of delight in the continual and indefatigable generation of Knowledge, exceedeth the short vehemence of any carnal pleasure.« (Hobbes, 1651/1929, 44)

Die evolutionspsychologische Auffassung, nach der die Neugier ein funktionaler Trieb sei, der unser Überleben sichert, ist biologistisch, unterscheidet sich aber von der Auffassung Piagets, die differenzierter und auch erklärender ist. Denn die von Piaget beobachteten Prozesse von Assimilation und Akkommodation werfen ein Licht auf die kognitiv-affektiven Vorgänge, die zum Warumfragen führen. Wird die intellektuelle Neugier hingegen nur als eine *Passion* oder als ein Trieb beschrieben, mit dem der Organismus etwa Unsicherheit in seiner Umgebung verringert, dann bleibt unerklärt, wie die logischen Schemata eigentlich zustande kommen. Für Piaget liegt der Ursprung der operativen Schemata in der Bewegungsaktivität. Diese Auffassung lässt sich jedoch kritisieren, weil die sprachliche Dimension herausfällt (Rotman, 1977). Schon die kindliche Neugier drückt sich in Sprache aus und Fragen gehören zu den frühesten sprachlichen Äußerungen. Es scheint daher vielversprechender zu sein, die kognitiven Gefühle verschiedener Fragetypen zu differenzieren und in Verbindung mit der dialogischen Situation zu untersuchen.

Bromberger (1992) liefert im Hinblick auf die Dialogsituation und das kognitive Gefühl eine interessante Überlegung zur Etymologie des Wortes Erklärung bzw. *explanation*:

»People who contemplate a question with regard to which they are in a p-predicament are prone to frown their foreheads, to screw up their faces, to knit their brows, and they usually shed most of these folds and wrinkles and present a smoother countenance upon being told the answer. We know that one who remedies a p-predicament often explains in this sense which, if original, is now obsolete. Is this account correct? Perhaps not. (And yet ... the first quotation under ›to explain‹ in the O. E. D. is: ›He must caulk and explain his forehead,‹ 1569; and the second reads ›Their faces are explained and flattered by art.‹ 1650.).« (Bromberger, 1992, 34)

Die etymologische Spekulation zu den Begriffen Explanation oder Explikation ist gerade vor dem Hintergrund der interpersonellen Situation nachvollziehbar, in welcher Warum-Fragen gestellt und Erklärungen gesucht bzw. gegeben werden. Der Gesichtsausdruck, mit dem das epistemische Gefühl des *p-predicaments* in der Konversation vermittelt oder aufgelöst wird, korrespondiert mit Lautäußerungen (wie »Hm«, »Ah!«, »Aha« usw.). Es wäre durchaus passend, wenn die Bezeichnungen »Erklären« oder »Ex-Planation« auf das Glätten der Stirn verweist. Bromberger sieht diesen epistemischen Zustand ebenfalls im Kontext wissenschaftlicher Entdeckung:

»The search for and discovery of scientific explanations, we think, is essentially the search for and discovery of answers to questions that are unanswerable relative to prevailing beliefs and concepts. It is not, therefore, merely a quest for evidence to settle which available answer is correct, it is a quest for the unthought-of.« (Bromberger, 1966, 91)

Ausgehend von Bromberger kann man nun aber eine Unterscheidung vornehmen, die bereits an Isaacs (1930) Differenzierung verschiedener Typen der Abweichungserfahrung deutlich wurde und die auch den

Unterschied zwischen dem problematischen und dem apodiktischen Modus des Urteils in der Warum-Frage markierte, nämlich den Unterschied zwischen einer Verwunderung oder Irritation aufgrund einer Normverletzung einerseits und einer Verwunderung andererseits, die ohne Normverletzung auskommt und die sich nahezu anlasslos mit einem Phänomen beschäftigt. Es ist der Unterschied zwischen einer psychologischen Verwunderung, die eher als eine ›Irritation‹ oder ›Anomalieerfahrung‹ zu charakterisieren ist, und einer epistemischen Verwunderung, die mehr ein scharfsinniges, fragendes Nachdenken über die Beziehung verschiedener Größen ist.

Bei der ersten läuft ein beobachteter Fakt einer Theorie oder einem Konzept unerwartet und grundsätzlich zuwider. Bei der zweiten besteht jedoch zwischen vorhandenen Konzepten oder Theorien eine Unvereinbarkeit, deren Zusammenhang und Passung aber durch einen Ordnungsrahmen hergestellt werden kann. Phänomene, die in diesem Sinne verwundern, verlieren ihre verwunderungsauslösende Wirkung auch durch Kenntnis einer Erklärung nicht. Sie sind bei genauerer Betrachtung immer wieder interessant (*kinda curious*). Sie sind ›an sich‹ und allgemein erstaunlich. Die erste Art der Verwunderung ist individuell psychologisch und subjektiv, d.h. sie kann für eine Person gänzlich seltsam und widersprüchlich sein, einer anderen aber vollkommen normal erscheinen. Die zweite Art der Verwunderung ist objektiv und universell. Jeder Mensch empfindet sie bei genauerer Betrachtung interessant und bedenkenswert.

Hempels (1965, 427) Beispiel für die psychologisch-subjektiven *how-possibly*-Fragen veranschaulicht die normverletzende Irritation an einem Scherzartikellöffel, der zu schmelzen beginnt, sobald er in heißen Tee getaucht wird, der aber nicht mehr seltsam erscheint, wenn wir erfahren, dass er aus Gallium besteht, und wissen, dass Gallium schon bei knapp 30 °Celsius zu schmelzen beginnt. Ein Beispiel für die epistemische Verwunderung hingegen wäre die Verwunderung darüber, dass Metalle und generell Stoffe verschiedene Schmelzpunkte haben, verbunden mit der Neugier, wie dies zu erklären sei. Auch und gerade wenn wir die Erklärung kennen, erscheint das Phänomen der verschiedenen Eigenschaften von Materie doch immer wieder erstaunlich.

Die kognitiven Gefühle sind in der jeweiligen Situation aber durchaus verschieden.

Dennoch werden die beiden Zustände der Verwunderung oft miteinander gleichgesetzt. Wenn wir im Alltag etwa von Verwunderung sprechen, dann tun wir dies meist im Sinne von ›starker Befremdung‹. Wir bezeichnen solche Erkenntnissituationen als ›Anomalien‹ und meinen damit ›Abweichungen von der Norm‹, ›Unregelmäßigkeiten‹ oder ›Merkwürdigkeiten‹. Susan Carey (1985) etwa charakterisiert das natürliche Lernen in der Kindheit als einen *conceptual change*, der durch ›Anomalien‹ ausgelöst wird – analog zum Theoriewandel in der Wissenschaftsgeschichte (Kuhn, 1962/2012). Jedoch kann die Erfahrung von Anomalien den wissenschaftlichen Fortschritt kaum allein begründen. Anomalien tauchen erst dann auf, wenn bereits Normen und Gesetze etabliert sind.

Kahneman und Miller (1986) zielen mit ihrer Normtheorie ebenfalls auf die Anomalieerfahrung. Nach der Normtheorie wird die Warum-Frage ausgelöst, wenn wir eine Information erhalten, die im Konflikt zu dem steht, was wir als normal erwarten:

»The why question implies that a norm has been violated.« (Kahnemann & Miller, 1986, 148)

Auch Kahnemann und Miller differenzieren nicht ausdrücklich zwischen verschiedenen Typen der Verwunderung. Sie machen aber darauf aufmerksam, dass die Normverletzung (und das gilt für beide Typen der Verwunderung) nicht rein privat, sondern erst in der kommunikativen Interaktion zweier Personen zutage tritt, d.h. in der Dynamik von Frage und Antwort.

Linguistische Evidenz dafür, dass die Normverletzung der Warum-Frage immer relativ zum epistemischen Zustand einer anderen Person erfahren wird, ergibt sich für Kahnemann und Miller (1986) daraus, dass eine Warum-Frage mit einer Warum-sollte-nicht-Frage bzw. Warum-sollte-Frage beantwortet werden kann. Zwar bedürfen nicht alle Warum-Fragen einer solchen Gegenfrage (meines Erachtens gilt dies insbesondere für die Fragen aus universeller Neugier), dennoch verweist die

Möglichkeit des Gegenfragens auf die dialogische Situation. Diese kann als Hinweis dienen, dass eine Erklärung sich primär nicht auf ein in der Frage angesprochenes Ereignis oder einen Sachverhalt bezieht, sondern auf den epistemischen Zustand des Fragenden:

»We suggest that why questions (at least those of the deniable variety, for which ›why not?‹ is a sensible answer) are not requests for the explanation of the occurrence or nonoccurrence of an event. A why question indicates that a particular event is surprising and requests the explanation of an effect, defined as a contrast between an observation and a more normal alternative. A successful explanation will eliminate the state of surprise.« (Kahnemann & Miller, 1986, 148)

Dass das kognitive Gefühl der Überraschung bei Erklärungen eine Rolle spielt, war auch schon von Scheffler (1981) bemerkt worden. Es lässt sich jedoch leicht einwenden, dass ein überraschendes oder seltenes Ereignis nicht notwendigerweise erklärungsbedürftig ist. Gerade jene Warum-Fragen, die nach nomologischen Erklärungen suchen, beschäftigen sich mit Dingen, die uns vertraut (wie etwa die Erfahrung der Gravitation oder das Blau des Himmels) und die gerade deswegen nicht überraschend sind. Das Erklärungsbedürfnis nach *type*-Erklärungen kann daher nicht allein aus Überraschung erfolgen.

6.2 Der mentale Zustand des *thaumázein*

Ein ähnlicher Ansatz, wie der mentale Zustand der Neugier nach Erklärungen auch psychologisch-mental gefasst werden kann, findet sich bei Gärdenfors (1988). Unter Bezugnahme auf Sintonen (1984) wird dort der Erklärungsbegriff ebenfalls relativ zum epistemischen Zustand des Fragenden bestimmt.

Das kognitive Gefühl der Überraschung spielt in Gärdenfors' Beschreibung eine zentrale Rolle:

»The cognitive dissonance is here measured by the surprise value of the explanandum, and the degree of ›cognitive relief‹ corresponds to the reduction in this surprise value provided by the explanans.« (Gärdenfors, 1988, 169)

Gärdenfors' Überlegung enthält zwei wichtige Elemente. Das erste Element ist das probabilistische Erklärungskriterium, nach dem die subjektive Wahrscheinlichkeit von *E*, verstanden als Evidenz oder Effekt, geringer sein muss als die subjektive Wahrscheinlichkeit von *E*, gegeben einer Erklärungshypothese bzw. einer Ursache *H* (Carnap, 1962, § 60; Good, 1960; Suppes, 1970). Das bedeutet nichts anderes, als dass eine Beobachtung genau dann weniger überraschend ist, wenn wir ihre Erklärungshypothese kennen. Das zweite Element ist Gärdenfors' Idee, den kognitiv-affektiven Zustand des Warums als eine »kognitive Dissonanz« (Festinger, 1957) aufzufassen.

Der Begriff der Dissonanz geht über den Begriff der Überraschung hinaus und ist deshalb hier von besonderem Interesse. Eine Dissonanz in der Musik ist zum einen auflösungsbedürftig (Bharucha, 1984). Sie unbeantwortet zu lassen, führt zu einem wachsenden Gefühl von Instabilität und Vergänglichkeit, wie es etwa in Charles Ives' *The Unanswered Question* (Bernstein, 1981; Ives, 1908/1998) zu hören ist, oder zu einem Gefühl wachsender Spannung und Erregung. Eine musikalische Dissonanz vermittelt auch ein kreatives Moment. Ihre Spannung weckt eine bestimmte Erwartung, ein Wissen darüber, dass sie in einer bestimmten Weise aufgelöst werden muss, aber auch, dass eine gewisse Freiheit besteht, wie dies geschehen kann. Der Gegensatz von Konsonanz und Dissonanz ist essentielles Element einer musikalischen Semantik (Bernstein, 1981). Analog dazu vermittelt die epistemische Warum-Frage eine Erwartung auf eine Erkenntnis oder Einsicht, die verblüfft oder fasziniert, und die zu weiteren Fragen anregt. Die Warum-Frage vermittelt aber ebenfalls eine schöpferische Freiheit innerhalb bestimmter Grenzen.

Für Aristoteles bedeutet, Erkenntnis von etwas zu haben, das Warum einer Sache zu erfassen. Die Motivation, Erklärungen zu finden und da-

durch Wissenschaft zu betreiben, kommt aus der Verwunderung (*thaumázein*):

»Denn Verwunderung (*thaumázein*) veranlaßte zuerst wie noch jetzt die Menschen zum Philosophieren, indem man anfangs über die unmittelbar sich darbietenden unerklärlichen Erscheinungen sich verwunderte, dann allmählich fortschritt und auch über Größeres sich in Zweifel einließ, z.B. über die Erscheinungen an dem Monde und der Sonne und den Gestirnen und über die Entstehung des All. Wer aber in Zweifel und Verwunderung über eine Sache ist, der glaubt sie nicht zu kennen.« (*Metaphysik* II 2, 982b17-22/Aristoteles, 2010, 42)

Der Begriff der Verwunderung – *thaumázein* –, der auch für Platon (*Theätet*, 155c) den Anfang der Philosophie markiert, hat eine geometrisch-musikalische Bedeutung, auf die Aristoteles explizit hinweist: Was Verwunderung auslöst, so Aristoteles, ist etwa die Inkommensurabilität und Irrationalität der Diagonale (*Metaphysik* II 2, 983a15). Hat das Seitenmaß eines Quadrats die Länge 1, so ist die Diagonale gleich der Quadratwurzel aus 2. Misst man aber die Diagonale mit dem Maß 1, dann ist die Seite des Quadrats irrational, nämlich gleich $1/\sqrt{2}$. Diagonale und Seite eines Quadrats sind also nicht beide mit einer ganzen oder gebrochen rationalen Zahl messbar. Der Begriff der Inkommensurabilität ist in seinem Ursprung identisch mit dem Begriff der Asymmetrie:

»The adjective ›commensurable‹ is the Anglicized form of the Latin *commensurabilis*, which is itself a loan-translation of the Greek σύμμετρος. The corresponding Greek abstract noun *συμμετρία* comes to us as ›symmetry‹ via the Latin transliteration *symmetria*. Thus, though having different meanings today, ›commensurability‹ and ›symmetry‹ are cognate words, even doublets, in the sense of deriving from the same Greek source.« (Pierce, 2017, 6)

Der Begriff der kognitiven Dissonanz erhält im Hinblick auf die antike Auffassung zur Warum-Frage noch größere Bedeutung als motivierenden des Gefühl der Warum-Frage, denn die Irrationalität der Diagonale mit

ihrem Verhältnis $1/\sqrt{2}$ entspricht in der Musik dem Tritonus. Dieses dissonante Intervall strebt wie kein anderes nach Auflösung und ist gleichzeitig ein Spielplatz schöpferischer Möglichkeiten:

»And the Dissonances will be extremely harsh, in case the Times of the Vibrations are incommensurable. And of such this is one; When one of two Strings, Unisons, is sounded with such a Part of another, as is the Side of a Square of its Diagonal; which Dissonance is like to the *Tritone* or *Semi-diapente*. « (Galilei Galileo, 1638/1734, 151)

Für Aristoteles besteht das Wissen des Geometriekundigen nun gerade darin, sich nicht mehr über diese Inkommensurabilität zu wundern, sondern die Erklärung zu kennen. Ein einfacher geometrische Beweis, auf den Aristoteles vermutlich anspielt, stützt auf jene geometrische Figur, die in Platons Menon dazu dient, die Falschheit von Menons eristischer Schlussfolgerung zu beweisen (Corry, 2015, 52–55; Knorr, 1975, 26–28). Es stellt sich nun weiterhin die Frage, wie sich aus diesen beiden Elementen – Überraschung und Dissonanz – für die fragenstellende Person eine Warum-Frage ergibt. Um hierfür einen möglichen Ansatz zu entwickeln, ist es nötig, zuerst den Zusammenhang zwischen dem Gefühl von Überraschung und unseren Schlussweisen herauszustellen.

6.3 Logik der Entdeckung

Platons Auffassung im Menon, nach der wir, sobald wir uns aus Neugier die Frage stellen, auch schon den Schlüssel zur Lösung gefunden haben, kann dahingehend weitergeführt werden, dass der Prozess des Verwunderns selbst schon eine Art des Schließens ist. Dieses Schließen wäre als eine Operation zu verstehen, welche das Suchen objektiv-wissenschaftlicher Erkenntnisse durch das Aufwerfen von Fragen erst ermöglicht. Versteht man den Verwunderungszustand des epistemischen Warums als eine Schlussweise, ergibt sich ein Zusammenhang mit der Schlussweise der Abduktion:

»Of course, the most obvious case where abduction is explicitly called for are ›Why‹ questions, inviting the other person to provide a reason or cause.« (Aliseda, 2006, 44)

Der Begriff der Abduktion ist eng verbunden mit der Unterscheidung, den Begriff ›Erklärung‹ – statt aus einem deduktiven Schema heraus – aus der Dynamik des Fragenstellens zu explizieren: Es ist ein Unterschied, ob die wahre und direkte Antwort auf eine Warum-Frage von einer anderen, wissenden Person unmittelbar gegeben werden kann oder ob die Erklärung durch ständiges Fragen neu gedacht wird. Diesen Unterschied zwischen allgemeinem Wissen und kreativer Entdeckung lässt sich mit dem Begriffspaar der Erklärung als ›Produkt‹ und der Erklärung als ›Prozess‹ (Chin-Parker & Bradner, 2010; Lombrozo, 2012; Sintonen, 1993) beschreiben. Bei der Erklärung als Produkt steht die Antwort gewissermaßen schon fest und die antwortende Person kann sie potenziell in einem Lehrbuch nachlesen. Bei der Erklärung als Prozess muss die Erklärungsantwort durch das wiederholte Stellen und Neudenken der Frage erst entwickelt oder gefunden werden. Bevor der Inhalt einer Warum-Frage aus dem menschlichen Wissensbestand – aus dem Explanans – deduziert werden kann, braucht es also vorher schon einen Gedankenprozess, in welchem die Frage immer wieder aufgeworfen und schließlich als Explanandum herausgestellt wird.

In der Wissenschaftstheorie wurde das abduktive Vorgehen auch als Logik der Entdeckung bezeichnet, die im Gegensatz zu einer Logik der Rechtfertigung stehe (Paavola, 2004). Popper (1935, 4–5) etwa hat die Möglichkeit einer Logik der Entdeckung (das »Zustandekommen des Einfalls«, Popper, 1935, 4) zurückgewiesen, da sie logisch nicht analysierbar und die Beschäftigung mit ihr eine Aufgabe der Psychologie sei. Ähnlich argumentiert auch Reichenbach (1938, 7 und 382).

Wie schon beim D-N-Modell gesehen, führt jedoch das Heraushalten der psychologischen Aspekte zu Problemen, schon deshalb, weil auch die kognitive Psychologie auf exakte Modelle angewiesen ist, aber auch umgekehrt, weil die Psychologie als subjektiver Zustand des Fragenden, die Differenzierung von Erklärungstypen ermöglicht, was gerade die objektiven Ansätze stärkt. Bei den subjektiven Schlussweisen

Induktion und Abduktion lässt sich dann auch genau zeigen, wie sich durch richtiges Schließen der subjektive Zustand der Überraschung verändert. Bereits in Peirce (1935) bekanntem Schema der Abduktion nimmt der Überraschungsbegriff eine zentrale Rolle ein:

»The surprising fact, *E*, is observed; But if *H* were true, *E* would be a matter of course, Hence, there is reason to suspect that *H* is true.«
(Peirce, 1935, 117; CP 5.189, Variablenbuchstaben ausgetauscht – A. S., McGrew, 2003)

Eine andere Bezeichnung für Abduktion ist der Begriff *Inference to the Best Explanation* (IBE) nach Harman (1965). Bei der IBE schließt eine Person aus dem Fakt, dass eine bestimmte Hypothese die Evidenz am besten erklären würde, auf die Wahrheit einer Hypothese. Die IBE lässt sich an der Logik aus typischen Detektivgeschichten veranschaulichen (Eco, 1983; Hintikka & Hintikka, 1983). In einer Krimigeschichte muss die ermittelnde Person jede noch so kleine Spur berücksichtigen. Die Spannung des Krimis entsteht dadurch, dass kleinste Auffälligkeiten – Indizien – schließlich zur Lösung des Kriminalfalls führen. In *Der Name der Rose* (Eco, 1983/2004) etwa schließt der ehemalige Inquisitor William von Baskerville allein aus wenigen Spuren, Indizien oder Zeichen auf das Aussehen und den Namen eines Pferdes. Da eindeutige Informationen nur spärlich zur Verfügung stehen, kann jede kleinste Spur der Schlüssel zum Auffinden der wahren Hypothese sein.

»Adso, William said, ›solving a mystery is not the same as deducing from first principles. Nor does it amount simply to collecting a number of particular data from which to infer a general law. It means, rather, facing one or two or three particular data apparently with nothing in common, and trying to imagine whether they could represent so many instances of a general law you don't yet know, and which perhaps has never been pronounced.« (Eco, 1983/2004, 295)

Die Beschreibung aus Eco (1983) ist die Beschreibung einer IBE. Die Inferenzen, zu denen William von Baskerville in der Lage ist, sind nur

aufgrund seines immensen Vorwissens möglich. Weitere Voraussetzung für solche Schlüsse ist sicher eine verwundert fragende Haltung. Jedoch muss es sich bei der detektivischen Logik der IBE um eine andere Art der Erklärungssuche handeln als die im kreativen Erklärungsprozess, bei dem ein gesetzesmäßiger Zusammenhang verschiedener Größen durch das Aufwerfen einer Warum-Frage neu entdeckt wird. Bei der IBE wird die wahre Hypothese aus einem Set bereits bekannter Hypothesen aufgrund ihrer subjektiven Wahrscheinlichkeit herausgepickt. Das bedeutet, dass die Hypothesen im Sinne von Möglichkeiten bereits der fragenden Person implizit bekannt sind. Die Entdeckung gesetzesmäßiger Zusammenhänge aber ist weniger ein Vorstellen von Hypothesen, aus denen dann die wahrscheinlichste heraussticht. Sie ist mehr ein Konstruieren mathematisch-geometrischer Zusammenhänge, die einer logischen Ordnung entsprechen müssen.

Dennoch ist die IBE keine Vorhersage auf das nächste Ereignis. Harman (1965) grenzt die IBE daher von der enumerativen Induktion ab, also etwa dem Schluss von der Zugehörigkeit eines Individuums zu einer Klasse auf eine Eigenschaft des Individuums. Die enumerative Induktion ist also jener Schluss, bei dem zum Beispiel aus der Beobachtung einer bestimmten Anzahl von schwarzen Raben induktiv geschlossen wird, dass der nächste Rabe, den wir beobachten, schwarz ist, oder gar, dass alle Raben schwarz sind (in den Worten Ecos, 1983/2004, 295: »collecting a number of particular data from which to infer a general law«).

Die enumerative Induktion, die eine Vorhersage ist, entspricht so dem Schluss von der Hypothese auf die Evidenz (etwa ›Wenn x ein Rabe ist, dann ist x mit ziemlicher Sicherheit schwarz.«). Der Schluss auf die beste Erklärung entspricht hingegen dem umgekehrten Schluss von der Evidenz auf die Hypothese (›Wenn x schwarz ist, dann ist es vielleicht ein Rabe.«), was sie streng genommen zu einer Retroduktion macht (siehe für die abweichende Verwendung von *retroduction* bei Peirce: Pietarinen & Bellucci, 2014).

Der Unterschied zwischen den beiden induktiven Schlussweisen – IBE und enumerative Induktion – spiegelt sich meines Erachtens in einer Unterscheidung der juristischen Beweislehre wieder, nämlich

als Unterschied zwischen Konjektur und Präsumption (Scholz, 2011). Bei der Konjektur werden verschiedene Anhaltspunkte gegeneinander abgewogen, bis eine Hypothese wahrscheinlicher wird. Das entspräche genau dem Vorgehen im Kriminalfall und damit dem Schluss auf die beste Erklärung: Aufgrund einer Vielzahl von Spuren oder Indizien steigt die Überzeugung in eine Erklärungshypothese immer weiter an. Die Präsumption hingegen erlaubt ein vorläufiges Fürwahrhalten bis zum Beweis des Gegenteils. Aufgrund einer Hypothese kann eine relativ sichere Vorhersage gemacht werden. Die Präsumption entspräche daher dem vorläufigen Ergebnis einer enumerativen Induktion.

In der neuzeitlichen Erkenntnistheorie begegnet einem diese Unterscheidung in Leibniz' (1765, IV, 14, § 3/1999, 494) Entgegnung auf Locke. Leibniz kritisiert dort Lockes Verwendung des Urteilsbegriffs:

»Judgement is the presuming things to be so without perceiving it.«
(Locke, 1690, 4, XIV, § 4/1975, 653)

Locke erweitert hier seine Definition, nach der Urteilen das Verbinden oder Trennen verschiedener Ideen durch Bejahen oder Verneinen eines Satzes ist. Da der Urteilsbegriff bereits die Wahrheit oder Falschheit einer Proposition voraussetzt, kann hier jedoch, so Leibniz' Einwand, kaum von einer Präsumption gesprochen werden, da unter Präsumption ein vorläufiges Fürwahrhalten zu verstehen ist. Statt Urteil sei der Ausdruck ›Glaube‹ (*belief*) hier angemessener. Leibniz' Einwand ist auch für die moderne Unterscheidung hilfreich: Denn durch sie kann man klar zwischen einer propositionalen Einstellung (›Ich glaube, dass p wahr ist‹) und einem logischen Urteil (› p ist wahr‹) unterscheiden.

Wie Locke in dieser Terminologie fortfährt, äußert die antwortende Person einen *belief*, wenn sie in Bezug auf die Antwort unsicher ist. Diese Unsicherheit in eine Überzeugung kann nach Locke unterschiedliche Grade einnehmen, von fast sicher bis zur Sicherheit, dass ein Ereignis unmöglich ist (Locke, 1690, 4, XV, § 2/1975, 655).

In unserer Alltagssprache werden diese Überzeugungsgrade hinsichtlich einer propositionalen Einstellung durch epistemische Kennzeichnungen ausgedrückt, wie etwa ›bestimmt‹, ›so gut wie sicher‹,

›vielleicht‹ oder ›ich vermute, dass ...‹, ›ich glaube, dass ...‹ usw. Die Idee unterschiedlicher Grade von epistemischer Unsicherheit steht dann auch am Anfang der neuzeitlichen Wahrscheinlichkeitstheorie (Scholz, 2011). Mithilfe der induktiven Logik der Wahrscheinlichkeit lässt sich nun zeigen, wie unterschiedliche Grade von Überzeugung und Überraschung mit unseren Schlussweisen zusammenhängen. Mit dem Bayes-Theorem haben wir so ein formales Instrumentarium an der Hand, mit dessen Hilfe sich die induktiven Schlussweisen präziser beschreiben lassen.

6.4 Glaubensgrade

Der Begriff der Wahrscheinlichkeit wird zum einen als ein subjektiver Glaubensgrad interpretiert, zum anderen im Sinne der relativen Häufigkeit von Ereignissen oder Elementen, die zu einer Klasse gehören. Letztere Auffassung lässt sich nach Russell (1948) folgendermaßen präzisieren: Gegeben eine endliche Klasse B mit n Elementen und gegeben, dass m von diesen zu einer Klasse A gehören, dann ist bei der zufälligen Wahl eines Elements von B die Wahrscheinlichkeit, dass es zu A gehört, m/n . Dieses Verhältnis kann aber auch subjektiv als Glaubensgrad oder als Gefühl verstanden werden. Es handelt sich dann um das Gefühl, etwas mit einem bestimmten Grad an Überzeugung zu wissen. Eine Hypothese zu kennen, bedeutet demnach, ihr einen Glaubensgrad zuzuordnen.

Nach diesem Prinzip entspricht der Grad der Überzeugung der Mächtigkeit des Hypothesenraums, der als Menge der möglichen Hypothesen definiert ist:

10) Menge der Hypothesen = $\{H_1, H_2, \dots, H_n\}$.

Gibt es n -viele Hypothesen, dann hat der Überzeugungsgrad den Wert $1/n$, sofern kein zusätzliches Wissen vorhanden ist. Die Gleichwahrscheinlichkeit aller Hypothesen ergibt sich aus dem Indifferenzprinzip (auch Prinzip vom mangelnden zureichenden Grunde genannt):

»Wenn keine Gründe dafür bekannt sind, um eines von verschiedenen möglichen Ereignissen zu begünstigen, dann sind die Ereignisse als gleich wahrscheinlich anzusehen.« (Stegmüller, 1959, 3)

Der Grad der Unsicherheit des Glaubens wird als subjektive Wahrscheinlichkeitsfunktion P notiert, deren Wertebereich von 0 bis 1 reicht, wobei der Wert 1 für größtmögliche Sicherheit und 0 für den Nicht-Glauben (*disbelief*) steht (Eriksson & Hájek, 2007). Ein sicherer Glaube in die Hypothese H lässt sich dann notieren mit

$$11) \quad P(H) = 1,$$

was nichts anderes bedeutet, als dass ein beliebiger epistemischer Akteur sicher glaubt, dass die Proposition H wahr ist. Die Komplementärhypothese wird dann entsprechend nicht geglaubt, d.h., sie wird für unmöglich gehalten:

$$12) \quad P(H^c) = 0.$$

Entsprechend kann eine Person auch unentschieden zwischen zwei oder mehreren Hypothesen sein, wie es das Indifferenzprinzip vorgibt. Bei genau zwei Hypothesen ist dann

$$13) \quad P(H) = \frac{1}{2}$$

und

$$14) \quad P(H^c) = \frac{1}{2}.$$

Der Glaubensgrad in eine Hypothese H nach Berücksichtigung einer Evidenz E , die als beobachtetes Ereignis, Messung oder Wirkung interpretiert wird, wird durch die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(H|E)$ beschrieben. Dabei wird der Strich | einfach als »gegeben« oder »unter Bedingung von« gelesen (Jaynes, 2003). Alltagssprachlich wird dieser symbolische Ausdruck verständlich als Satz wiedergegeben: »Ich glaube

mit einem bestimmten Grad, dass die Hypothese H unter der Bedingung von Evidenz E wahr ist. Jede beliebige Hypothese lässt sich so als Annahme vor dem Hintergrund einer Evidenz mit einem bestimmten Glaubensgrad notieren.

Um ein möglichst einfaches Beispiel zu erhalten, kann man sich eine Situation vorstellen, in der Person A vor einem Vorhang steht und einen einzelnen Gegenstand erraten muss, der sich hinter dem Vorhang befindet und der von einer weiteren Person B willkürlich herausgepickt wurde. Diese Person B stellt als glaubwürdige Informantin der Person A Informationen bereit, damit Person A den Gegenstand irgendwann richtig errät. Die epistemische Situation ist die gleiche wie bei dem bekannten Kinderspiel, das auch als *Game of 20 Questions* bekannt ist. Dabei handelt es sich um das Spiel, bei dem eine Person einen Gegenstand erraten muss, den eine andere mitspielende Person ausgewählt hat. Die ratende Person darf dabei nur Satzfragen stellen, wobei das Ziel ist, nicht mehr als 20 Fragen zu brauchen, um den Gegenstand zu erraten. Den Raum der Hypothesen muss also durch möglichst geschicktes Fragen verkleinert werden, bis schließlich die letzte Frage mit Ja beantwortet bzw. der Gegenstand präsentiert wird (Bennaim, 2015).

Hat diese Informantin etwa gerade bestätigt, »es ist schwarz«, dann kann die Person A mit einem bestimmten Maß an Unsicherheit annehmen, »es ist ein Rabe«, sofern die Hypothese »Rabe« Element des Hypothesenraums ist und sie über die Theorie verfügt, dass Raben schwarz sind. Sicher wissen, dass die Proposition wahr ist, kann sie jedoch erst, wenn ihre letzte Frage »Ist es ein Rabe?« wahrheitsgemäß mit Ja beantwortet wurde.

Die Situation, in der etwas nicht direkt und vollständig der Wahrnehmung zugänglich ist, entspricht genau dem Begriff *belief* in der Verwendung von Locke, wobei man mit Leibniz (1765, IV, 14, § 3/1999, 494) präzisieren kann, dass es sich um eine Konjektur handelt. Die Präsump-tion drückt sich in dem *belief* aus, bei dem die Evidenz durch die Hypothese bedingt ist, was durch die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(E|H)$ ausgedrückt wird.

Alltagssprachlich wird hier der Grad der Überzeugung ausgedrückt, mit dem die Evidenz eintritt, wenn die Hypothese wahr ist. Am Raben-

beispiel würde die ratende Person A sagen: ›Ich bin mir mit einem bestimmten Grad an Überzeugung sicher, dass x schwarz ist, unter der Bedingung der Hypothese, dass x ein Rabe ist.‹ Eine starke Überzeugung in diesen Satz liefert nun den Grund nach, warum die ratende Person annehmen konnte, dass es sich um einen Raben handelt, sofern die gegebene Information lautete, dass der Gegenstand schwarz ist.

Die starke Überzeugung in $P(E|H)$ macht den ausgedrückten Glauben zu einer Präsumption. Der damit ausgedrückte Satz ›Wenn es ein Rabe ist, dann ist es schwarz‹ kann zwar potenziell widerlegt oder abgeschwächt werden, aber er kann bis zum Beweis des Gegenteils für wahr gehalten werden. Der Überzeugungsgrad ist dabei das Ergebnis der Erfahrung. Jede Sichtung eines schwarzen Raben bestätigt, dass die Theorie vorläufig wahr ist.

Das Bayes-Theorem ermöglicht die Lösung des inversen Problems, die *Konjektur* der Hypothese:

$$15) \quad P(H|E) = P(H) P(E|H)/P(E).$$

In der sogenannten hierarchischen Form

$$16) \quad P(H|E, T) = P(H|T) (E|H, T)/P(E)$$

wird mit T eine Theorie, ein generisches Konzept oder das Welt- oder Domänenwissen explizit macht. T kann aber auch für ein höherstufiges Wissen über die jeweilige Domäne stehen. Man spricht bei dieser Darstellung des Bayes-Theorem auch von der hierarchischen Bayes-Regel (Tenenbaum et al., 2011).

In jüngerer Zeit hat das Bayes-Theorem sowohl in der Erkenntnistheorie als auch in der kognitiven Psychologie der Kindheit eine zentrale Rolle gespielt, bei letzterer vor allem im Kontext der Theorie-Theorie (Gopnik et al., 2001, 2004b). Hierarchische Bayes-Netze werden in diesem Ansatz als kausale Karten interpretiert, mit deren Hilfe etwa *common-cause*- von *causal-chain*-Strukturen unterschieden werden (Glymour, 2001; Pearl, 2009; Spirtes, Glymour & Scheines, 1993). In Experimenten mit zwei- bis vierjährigen Kindern wurde etwa gezeigt,

dass jüngere Kinder intuitiv den kausalen Faktor identifizieren konnten, der für einen bestimmten Effekt bei einem unbekannten Spielzeug verantwortlich war (Sobel, Tenenbaum, & Gopnik, 2004). Jedoch löst diese Modellierung frühkindlichen Kausallernens mithilfe hierarchischer Bayes-Netze nicht das Problem, wie jüngere Kinder abstrakte Theorien lernen:

»The conceptual changes that children go through are still more profound than any the computational models can currently explain. Even hierarchical Bayes nets are still primarily concerned with testing hypotheses against evidence, and searching through a space of hypotheses. It is still not clear exactly how children generate what appear to be radically new hypotheses from the data.« (Gopnik & Wellman, 2012, 31)

An Gopniks Formulierung wird deutlich, dass die Modellierung bestimmter Schlüsse mit Hilfe bayesianischer Überzeugungsgrade nicht die ganze Vielfalt unserer Schlussweisen abdecken kann. Wie das epistemische Warumfragen nach abstrakten Erklärungen genau beschrieben werden soll, bleibt unklar. IBE und die Präsumption enumerativer Induktion können mithilfe des Bayes-Theorem modelliert werden, aber wie die *Erklärung als Prozess* vonstattengeht, ist eine offene Frage. Es lässt sich aber vermuten, dass die Logik der Entdeckung vor allem dadurch motiviert ist, dass etwas als ein Problem wahrgenommen wird, das dann wiederum in irgendeiner Form aufgelöst werden muss. Im folgenden Abschnitt möchte ich zeigen, wie Problemstellungen und Überraschungswerte sich in Fragen ausdrücken.

6.5 Information und Überraschung

Es ist interessant zu bemerken, dass Jeffreys (1936, 333), ein Wegbereiter der bayesianischen Methode, schon früh auf den Zusammenhang der bayesianischen Auffassung mit jenem *epistemophilic instinct* oder »Wissenstrieb« (Klein, 1932) in der Kindheit hingewiesen hat:

»It appears that inductive inference comes before the notion of reality or of the external world. An object is held to exist because it enables us to co-ordinate certain sensations and to infer others from them.«
(Jeffreys, 1936, 325)

Der emotionale Faktor, so Jeffreys, bestimme das Interesse und zeige das Problem an, welches untersucht werden soll. Ein Problem hingegen, das keine Emotion erzeuge, sei keines (Jeffreys, 1936, 333). Harris (2012) berichtet eine Episode, die die kognitive Emotionalität beim Stellen einer Frage veranschaulicht:

»A brief example will illustrate how children managed – via a combination of word and gesture – to pose their question. A mother was unloading her groceries. Her daughter picked up an unfamiliar item, a kiwi fruit, held it toward her mother with a puzzled expression, and said: ›Uh?‹ – apparently seeking to know more about this mystery fruit.« (Harris, 2012, 262)

Die *puzzled expression* des Kindes lässt sich gut mit dem Überraschungsgrad erklären, den die Begegnung mit der unbekannten Frucht auslöst. Nach der Erklärung der Mutter ist die Beobachtung weniger überraschend. Eine Beobachtung verliert an Überraschung, sobald sie mit einem Begriff erfasst ist.

Diesen Zusammenhang von Überraschung und dem Stellen von Fragen in der dialogischen Situation kann man sich wieder am *Game of 20 Questions* klar machen. Es lässt sich nämlich zeigen, dass wir unsere Art und Weise des Fragens je nach Problemstellung anpassen.

In der psychologischen Literatur (Angela, Swaboda & Ruggeri, 2020; Mosher & Hornsby, 1966; Ruggeri & Feufel, 2015; Ruggeri & Lombrozo, 2015) unterscheidet man beim *Game of 20 Questions* zwei verschiedene Typen von Satzfragen. Beim *hypothesis-scanning* wird geprüft, ob eine bestimmte Eigenschaft durch die Gattung erklärt wird. In diesem Fall würde die ratende Person direkt fragen: ›Ist der gesuchte Gegenstand ein Rabe?‹. Beim *constraint-seeking*, der Frage nach der Eigenschaft, lautet die Frage hingegen: ›Ist es schwarz?‹

Es ist klar, dass im Spiel die Methode des *hypothesis-scanning* nur dann angebracht ist, wenn durch eine Reihe von *constraint-seeking*-Fragen der Hypothesenraum verkleinert wurde, sodass die Geltung einer anderen Hypothese nahezu ausgeschlossen ist. Das *constraint-seeking* ermöglicht die Konjektur. Die ratende Person setzt bei der Auswahl der Frage implizit voraus: »Ich habe H_1, H_2, \dots, H_n als Möglichkeiten. Welche Evidenzen verkleinern den Hypothesenraum bestmöglich?«. Das *hypothesis-scanning* entspringt dagegen einer Präsumption. Die Person sagt sich dann etwa: »Ich nehme diejenige Hypothese in der Frage an, bei der das richtige Raten am wenigsten überraschend ist.«

Das kognitive Gefühl der Überraschung lässt sich quantifizieren (Baldi & Itti, 2010; Shannon, 1948):

$$17) \text{ Überraschung } (E) = \log_2 (1/P(E)).$$

Demnach ist eine Beobachtung von E (hier gleichbedeutend mit Evidenz) zu einem bestimmten Grad überraschend, wobei der Input dieser Funktion ein bestimmter Glaubensgrad ist. Kann ein Ereignis mit der Wahrscheinlichkeit von 1 sicher erwartet werden, ist die Überraschung entsprechend gleich 0. Mit Hilfe der Shannon-Überraschung kann man nun auch darstellen, wie sich die Überraschung verringert, sobald H bekannt ist. Die folgende Darstellung macht diese Interpretation explizit:

$$18) \text{ Überraschung } (E, H) = \log_2 (P(E|H)/P(E))$$

Diese Darstellung entspricht auch Gärdenfors' (1988) Erklärungskriterium, nach welchem die subjektive Wahrscheinlichkeit von E kleiner ist als die subjektive Wahrscheinlichkeit von E , gegeben einer Erklärungshypothese bzw. einer Ursache H (Carnap, 1962, § 60; Good, 1960; Suppes, 1970). Zu beachten ist allerdings, dass dieses Kriterium nur gilt, solange die wahre Hypothese noch nicht gefunden ist. Ist die wahre Hypothese gefunden, ändert die Evidenz nichts mehr am Überzeugungsgrad in die Hypothese.

Macht man sich nun bewusst, dass die ratende Person die gegebene Evidenz durch Fragen einfordern kann, dann lässt sich anhand dieses epistemischen Gefühls der Intuition quantifizieren, wie viele Fragen zu stellen sind und welche Strategie des Fragens jeweils am besten ist. Das ist die Idee von Claude Shannons Entropie-Begriff. Die Shannon-Entropie (Shannon, 1948) liefert ein Maß für die durchschnittliche Anzahl der Fragen, um eine wahre Hypothese H zu bestimmen. Besteht der Hypothesenraum nur aus zwei Elementen H und H° , dann können wir mithilfe der Funktion

$$19) \text{ Entropie}(H) = P(H) \log_2 (1/P(H)) + P(H^\circ) \log_2 (1/P(H^\circ))$$

ermitteln, dass genau eine Frage (›Ist es schwarz?‹) gestellt werden muss, um die wahre Hypothese zu bestimmen (sofern die Überzeugung in beide Hypothesen gleich groß ist). Mit der darauffolgenden Frage (›Ist es ein Rabe?‹) gewinnen wir dann das Spiel sicher. Die Ja-Antwort trägt dann nichts mehr zur Veränderung des Glaubensgrades bei. Bei einem größeren Hypothesenraum vergrößert sich die Entropie entsprechend, sodass etwa bei vier Hypothesen zwei Fragen gestellt werden müssen usw.

Die Stärke des Informationsgewinns durch die Auswahl einer Klasse von Eigenschaften wird durch das Maß des *information gain* (IG) bestimmt:

$$20) IG(H, E) = \text{Entropie}(H) - \text{Entropie}(H|E).$$

Als Regel formuliert: Wähle den Oberbegriff bzw. die Eigenschaften immer unter der Bedingung, dass der *information gain* maximal ist (Oaksford & Chater, 1994; Ruggeri & Feufel, 2015). Die Strategie des *constraint-seeking* ist dann die beste Strategie, wenn die ratende Person zu Anfang davon ausgehen muss, dass alle Hypothesen gleichwahrscheinlich sind. Das ist auch der übliche Beginn des Spiels: Es muss eine Eigenschaft gewählt werden, die möglichst vielen individuellen Gegenständen zukommt, aber wiederum auch nicht zu vielen, da sich dann wieder die Zahl der Fragen unnötig erhöht. Erfüllt man dieses Kriterium, verkleinert sich der Hypothesenraum in der optimalen Wei-

se, sodass man schließlich den Einzelgegenstand durch einen Begriff identifizieren kann. Ist es jedoch wahrscheinlicher, dass der Gegenstand unter einen bestimmten Begriff fällt, dann ist es strategisch klüger, gleich nach der Hypothese zu fragen, indem die ratende Person das *hypothesis-scanning* anwendet (Ruggeri & Lombrozo, 2015). Dieser Typ des Fragens enthält dann die Aufforderung, die Präsumption der Zugehörigkeit zu einer Klasse zu bestätigen.

6.6 Neugier und Überraschungsgefühl

Wir bereits oben erwähnt, liefern die Bayesianische Statistik und die Informationstheorie mathematische Werkzeuge, um kausale Denkprozesse zu modellieren (Gopnik et al., 2001, 2004a). Kognitive Gefühle, die sich als Überzeugungsgrade und Überraschungswerte beschreiben lassen, sind daher auch für die theoretische Rahmung der menschlichen Neugier naheliegend (Jeffreys, 1936, 333). Das empirisch beobachtbare Neugieverhalten jüngerer Kinder sollte dann mit diesen Modellen übereinstimmen. Es sollte also beobachtet werden, dass jüngere Kinder sensibel für statistische Regelmäßigkeiten und Irregularitäten sind. Ferner sollte sich ihre Aufmerksamkeit in Bezug auf Objekte informationstheoretisch beschreiben lassen.

Derartige Vorhersagen stehen in deutlichem Gegensatz zu Piagets Hypothese von der frühkindlichen Präkausalität, die sich darin ausdrückte, dass Kinder kein Konzept vom Zufall hätten und dass es ihnen an der Fähigkeit fehle, Objekte als permanent zu repräsentieren. Tatsächlich hat die Entwicklungspsychologie diese theoretische Auffassungen Piagets aufgrund experimenteller Befunde verworfen. Bower, Broughton & Moore (1971) präsentierten viermonatigen Babys einen Zug, der sich entlang einer Strecke bewegte, wobei die Kinder in der Lage waren, das Objekt mit ihren Augen zu verfolgen. Fuhr der Zug hinter eine Abdeckung, die die Sicht versperrte, richteten die Kinder ihren Blick auf die andere Seite der Abdeckung. Erschien statt des Zugs ein anderes Objekt, zeigten die Babys Anzeichen von Neugier und Interesse.

Maß für das Interesse war die Blickdauer der Kinder. Bei den abweichenden Ereignissen (vertauschtes Objekt, Erscheinen des Objekts an einer anderen Stelle) schauten die Kinder signifikant länger hin. Weitere Studien (Baillargeon, Spelke & Wasserman, 1985) demonstrieren, ebenfalls konträr zu Piagets Auffassung, dass Kinder im Alter von fünf Monaten im Experiment länger hinschauten, wenn der Eindruck erweckt wurde, dass feste Gegenstände durch andere feste Gegenstände hindurchgleiten können. Innerhalb dieses *violation-of-expectation*-Paradigmas werden die Befunde so interpretiert, dass Kinder genau dann länger hinschauen, wenn das Beobachtete ihren Vorkonzepten widerspricht. Nimmt die Blickdauer bei normverletzenden Ereignissen zu, so die Schlussfolgerung, dann weil Vorwissen über die Welt verletzt wird (Baillargeon, 1987, 2008). Spelke und andere (1992) nehmen ausgehend vom *violation-of-expectation*-Paradigma eine innatistische Position ein: Babys hätten schon von Geburt an über ein angeborenes Wissen in Bezug auf die Räumlichkeit und Solidität von Objekten oder die Kontinuität von Bewegungen. Auch Befunde neuerer Studien werden in diese Richtung interpretiert: Stahl und Feigenson (2015, 2017) ließen elf Monate alte Kinder zwischen Spielzeugen auswählen, die in einer vorhergehenden Demonstration entweder ein erwartungsverletzendes Verhalten gezeigt oder nicht gezeigt hatten, wie etwa ein Spielzeug, das in der Luft zu schweben scheint, wenn es über die Tischkante geschoben wird, im Gegensatz zu einem Spielzeug, das erwartungsgemäß herunterfällt. Die Kinder wählten eher die Gegenstände, die sich anomal verhielten und erkundeten diese eher.

Das *violation-of-expectation*-Paradigma hat auch eine Reihe kritischer Entgegnungen provoziert (Haith, 1998; Munakata, 2000; Schöner & Thelen, 2006). Ein wichtiger Einwand ist, dass eine längere Blickdauer nicht den Schluss rechtfertigt, dass Kinder über angeborene Vorkonzepte verfügen. Die Befunde könnten auch so interpretiert werden, dass die Kinder rein perzeptuelle Unterschiede bemerken und deshalb mit längeren Blickzeiten reagieren.

Ohne auf die Details dieser paradigmatischen Debatte einzugehen, lässt sich hier argumentieren, dass gerade der Ausdruck ›rein perzeptuell‹ einen Hinweis liefert, was tatsächlich zu passieren scheint. Denn

man muss die Abweichung oder die Erwartungsverletzung nicht als einen Verstoß gegen ein angeborenes Konzept interpretieren, sondern kann sie auch als gefühlsmäßige, d.h. überraschungsgeleitete Veränderung der *beliefs* ansehen, die eine bestimmte Schwelle überschreitet. Die längere Blickdauer in den entsprechenden Experimenten würde bedeuten, dass Kinder dann etwas bewusst wahrnehmen, wenn es aus der Masse der übrigen Perzeptionen herausragt, d.h. wenn es für sie ein Problem oder einen Gegenstand darstellt, die eine Lösung bzw. einen Begriff verlangen.

Ein Experiment von Xu und Garcia (2008) etwa zeigt, wie der enge Zusammenhang von statistischer Intuition und Veränderung des *beliefs* die Aufmerksamkeit von Kindern steuert. Darin wurde acht Monate alten Kindern eine Schachtel mit weißen und roten Tischtennisbällen in einem Verhältnis von 80 zu 20 vorgestellt. Die Experimentatorin zeigte den Kindern anschließend eine Stichprobenziehung, wobei die gezogenen Tischtennisbälle neben der Schachtel abgelegt wurden. Statistisch zu erwarten wäre, dass die Verteilung der Kugeln in der Stichprobe ungefähr der Verteilung der Kugeln in der Schachtel entspricht. Tatsächlich sahen die Kinder länger hin, wenn – entgegen dieser statistischen Erwartung – eine Stichprobe mit überwiegend roten Kugeln aus einer Schachtel mit überwiegend weißen Kugeln entnommen wurde. Im Gegensatz dazu waren die Blickzeiten der Kinder kürzer, wenn – entsprechend der statistischen Erwartung – eine Stichprobe mit überwiegend weißen Kugeln entnommen worden war.

Es gibt weitere Studien, die zu ähnlichen Befunden gelangen (Denison & Xu, 2010; Kushnir, Xu & Wellman, 2010; Yeung, Denison & Johnson, 2016). Bemerkenswert ist auch, dass Kinder bestimmte sozial-interaktionale Aspekte bei der Beurteilung statistischer Anomalien einbeziehen. Hat die Experimentatorin etwa die Augen geöffnet und blickt während der Stichprobenziehung in die Schachtel, dann sind die Blickzeiten der Kinder nicht signifikant länger – es scheint, dass die Anomalie dann unmittelbar durch die absichtsvolle Handlung der Experimentatorin für die Kinder erklärt wird. Sobald jüngere Kinder (genau wie ältere Kinder oder Erwachsene) also irgendwo länger hinblicken bzw. bestimmte Regionen in ihrem Gesichtsfeld bevorzugen, muss dies nicht bedeuten,

dass die Beobachtung in Konflikt mit einem angeborenen Vor-Konzept steht. Vielmehr könnten bestimmte statistische Muster der über die Sinne vermittelten Eindrücke auch objektiv überraschend im Sinne einer Veränderung der Glaubensgrade sein, die diese Perzepte zum Inhalt haben.

Die statistischen Intuitionen, die schon sehr junge Kinder zeigen, und auch die Fähigkeit, Gegenstände mit ihrem Blick zu verfolgen, ihre Neugier und ihr explorierendes und fragendes Verhalten, lassen sich also durchaus erklären, wenn man diese als Ausdruck eines Überraschungsgefühls deutet, jedoch nicht in der herkömmlichen Auffassung von seltenen Ereignissen, sondern als sprunghafte Veränderungen von Glaubensgraden. In diesem Zusammenhang möchte ich noch einmal auf Berlynes (1954) Begriff der epistemischen Neugier verweisen. Zwei zentrale Aspekte bei Berlyne sind dabei wichtig: Erstens, dass sich die Neugier bei seltsamen oder überraschenden (>puzzling<) Situationen einstellt, die sich als Fragen ausdrücken (Berlyne, 1954, 13). Und zweitens, dass für Berlyne die größte Aufmerksamkeit an jenem neutralen Punkt zu finden ist, wo eine Erfahrung hinreichend überraschend, aber auch nicht zu überraschend ist.

Beide Aspekte sind für die menschliche Erkenntnisfähigkeit zentral. Die menschliche Besonderheit, Neugier in Form von Fragen dialogisch auszudrücken, wird vor dem Hintergrund der Theorie ostensiv-inferentieller Kommunikation relevant (Kap 4.1): Zeigegesten, die Kinder ab etwa einem Jahr anwenden, können als Protofragen interpretiert werden, mit der auf saliente, erklärungsbedürftige Phänomene verwiesen oder ein Gefühl von Überraschung ausgedrückt wird (Southgate, Van Maanen & Csibra, 2007). Diese Beziehung von kognitiven Gefühlen, kognitiver Empathie und Triangulierung im Dialog scheint es zu ermöglichen, dass wir anderen Überzeugungen und propositionale Einstellungen zuschreiben und Abweichungen und Übereinstimmungen feststellen. Letztlich dürften hier unsere normativen Urteile begründet sein, die darüber entscheiden, was korrekt, angemessen oder wünschenswert ist (Baghramian, 2016, 27). Kognitive Gefühle in Verbindung mit Referenzialität und epistemischer Empathie haben so durchaus

Erklärungskraft für die Frage, wie die menschliche Erkenntnisfähigkeit begründet werden kann.

Der zweite Aspekt ist ebenfalls bedeutend: Eine Erfahrung muss hinreichend neu sein, um mit einer bisherigen Erfahrung im Konflikt zu stehen, aber sie darf auch nicht zu seltsam sein, da ihre Problembewältigung dann als zu schwierig erscheint. Die Analyse der unterschiedlichen Relevanzrelationen der Warum-Frage hat bereits über die Modalität des Urteils psychologisch auf ein Spektrum kognitiver Gefühle verwiesen. Dieses Spektrum reicht von geringer Verwunderung (assertorisch) hin zu einer starken Verwunderung (problematisch) und zu einer moderaten, epistemischen Verwunderung bei den apodiktischen Urteilen. Tatsächlich lässt sich ein solcher Punkt in der Aufmerksamkeitsökonomie von Kindern feststellen. Untersuchungen zum sogenannten Goldilocks-Effekt (Kidd, Piantadosi & Aslin, 2012; Kidd & Hayden, 2015) zeigen, dass Kinder im Alter von sieben bis acht Monaten visuelle Stimuli bevorzugen (d.h. sie schauen mit geringer Wahrscheinlichkeit weg), wenn der Informationsgehalt, d.h. der Informationsgehalt oder die Überraschung (*Negative Log Probability* nach Shannon, 1948) weder zu niedrig noch zu hoch, sondern gerade richtig ist.

Gerade richtig bedeutet, dass die Aufmerksamkeit genau dort maximal ist, wo die Shannon-Überraschung gemessen an den jeweiligen Wahrscheinlichkeiten ihren mittleren Wert hat. Der Goldilocks-Effekt könnte daher theoretisch eine Begründung dafür liefern, dass Kinder in der Warum-Phase zwischen den unterschiedlichen Typen des Warums unterscheiden und warum sie den Zustand der epistemischen Verwunderung bevorzugen. Denn wenn der Punkt, der die größte Aufmerksamkeit verdient, genau dort liegt, wo die Dinge weder zu vorhersehbar noch zu überraschend sind, dann sollte sich auch die epistemische Verwunderung genau dort befinden, wo ein Konzept (oder eine Proposition) weder zu allgemein noch zu individuell bzw. wo die Abweichung zwischen einer Erfahrung und einem Konzept weder zu gering noch zu groß ist.

6.7 Das epistemische Warum

Die zentrale Frage bleibt aber, wie der mentale Zustand einer Warum-Frage aus epistemischer Neugier modelliert werden kann. Mithilfe von Informations- und Wahrscheinlichkeitstheorie lassen sich induktive und abduktive Schlüsse darstellen. An ihnen wird deutlich, wie diese mit dem Überraschungsgefühl zusammenhängen. Dennoch wird bei genauer Betrachtung auch klar, dass die Verwunderung in der Beschreibung des Erklärungsbedürfnisses als ein Gefühl der Überraschung nicht aufgeht. Beim Warum aus assertorischen Urteilen, bei dem jede Proposition als Warum-Frage markiert werden kann, und beim Warum aus problematischen Urteilen, bei denen ein Sachverhalt so verwunderlich ist, dass er ohne Erklärung nicht sein kann, erscheint die Beschreibung einfacher: Sie stellen Extrempunkte dar, die sich dadurch auszeichnen, dass sie entweder überhaupt nicht mit dem Gewöhnlichen im Widerspruch stehen oder – im Gegensatz dazu – sich der absoluten Absurdität beliebig weit annähern.

Diese Extreme verweisen aber auf einen mittleren Bereich des epistemischen Gefühls, in welchem etwas zwar komplex und unvorhersagbar erscheint, darin dennoch eine bestimmte Ordnung erkannt wird, sodass sich die intellektuelle Beschäftigung damit lohnt. Tatsächlich entspricht eine solche Beschreibung genau Berlynes (1954) Anforderung an die epistemische Neugier. Epistemische Neugier muss sich an jenem Punkt finden lassen, wo eine Erfahrung als hinreichend konflikthaft, aber auch nicht als unlösbar erscheinen darf. Auch Berlyne (1954, 186) verwendet Beschreibungen wie ›überraschend‹, ›unerwartet‹, oder ›fremd‹. Das Problem mit dem Überraschungsbegriff jedoch ist, dass darin eine Ordnung oder Regelmäßigkeit nicht vorausgesetzt werden muss. Man sollte daher besser argumentieren, dass man es beim epistemischen Warum mit Sachverhalten zu tun hat, bei denen die Überraschungswerte bzw. Überzeugungsgrade veränderlich sind und immer in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen. An Dels Fragen, die Piaget (1923/1975, 202) dokumentiert, lässt sich das erläutern: »Es gibt Wellen nur am Rande (des Sees). Warum?«, »Warum wird es immer kälter, wenn man hinaufgeht (wenn man nach Norden geht)?«,

»Warum sieht man nachts den Blitz besser?« Gemein ist diesen Fragen, dass das Phänomen unter bestimmten Bedingungen vorhersagbar, also nicht überraschend ist, während es unter anderen Bedingungen abweicht. Das Phänomen erscheint daher nicht ereignishaft, sondern trotz einer darin erlebten Abweichungserfahrung regelhaft.

Ein weiterer Grund, warum der Überraschungsbegriff nicht ausreichend zu sein scheint, zeigt sich daran, dass sich die Warum-Fragen (alle explanatorischen Fragen) von den herkömmlichen informationsermittelnden Fragen unterscheiden. Wie Belnap und Steel (1976) klarmachen, lassen sich informationsermittelnde Fragen als Satzfragen oder Welches-Fragen modellieren. Genau in diesem Sinne sind auch die Einzelfragen des *Game of 20 Questions* Satzfragen, die den Hypothesenraum verringern. Die Welches-Frage wird einfach in einen Entscheidungsbaum aus Satzfragen zerlegt und der *information gain* misst die steigende Vorhersagbarkeit.

Im Hinblick auf das Spiel *20 Questions* und den Prozess des Informationsgewinns bzw. der Überraschungsverringerung unterscheiden sich die Fragen dieses Spiels von den Warum-Fragen jedoch hinsichtlich der Art der Informationsverarbeitung. Beim Spiel wird jede Frage genutzt, um aus einer Liste möglicher Antworten die wahrscheinlichste auszuwählen, was eine zunehmend engere Annäherung an die wahre Antwort ermöglicht. Der Informationsgewinn ist quantitativ und direkt messbar, da jede beantwortete Frage die Unsicherheit über das gesuchte Objekt reduziert. Auch die Warum-Fragen des *token*-Typs folgen dieser Struktur, wobei Warum-Fragen sowohl nach den Merkmalen eines Gegenstands als auch nach dessen kausaler Geschichte oder seinen Funktionen möglich sind (»Warum kannst du erkennen, dass dies ein Rabe ist?« oder »Warum hat ein Rabe diese und jene Eigenschaften?«). Dennoch gehen die Warum-Fragen über einfache Satzfragen und Welches-Fragen hinaus, da sie nicht nur die bloße Identifikation eines Objekts betreffen, sondern vielmehr eine Erklärung und das Verständnis der zugrunde liegenden Merkmale, Ursachen und Funktionen fordern. Sie sind dadurch Fragen höherer Ordnung und von ihrem Anspruch her komplexer.

An den Fragerichtungen des *token*-Warums – im Gegensatz zu den reinen Satzfragen oder den Welches-Fragen – wird deutlich, dass das Warum uns eine sprachliche Welt abgegrenzter Dinge ermöglicht, die wir mit Oberbegriffen fassen. Intension und Extension eines Begriffs scheinen genau diese Fragerichtungen zu markieren: Einerseits als Vorhersagen, was alles unter diesen Begriff zu fallen hat. Andererseits aber auch als Rückschlüsse, warum etwas als das erscheint, was es ist. Die semantischen Ausdrücke Extension und Intension (oder Komprehension) und lassen sich diesen beiden Richtungen des gedanklichen Prozesses zuordnen. Die Extension ist das Abstrakte, nämlich die Klasse, unter die eine bestimmte Zahl von Gegenständen fällt oder nicht fällt; die Intension ist das Konkrete, nämlich das, was alle Attribute des Gegenstands vereint. Nach der Logik von Port-Royal (1662/1861, 171) ist das Verhältnis von Extension und Intension invers. Baynes (Port Royal, 1662/1861, 387) verdeutlicht diesen inversen Zusammenhang in seiner Anmerkung zum entsprechenden Abschnitt in der Port-Royal-Logik: Ist die Extension an ihrem Maximum und die Intension an ihrem Minimum, dann fällt dieser Extrempunkt mit dem Begriff des *Seins* zusammen. Ist die Intension an ihrem Maximum und die Extension an ihrem Minimum, dann fällt dieser Extrempunkt mit dem Begriff des *Individuums* oder des Einzeldings zusammen.

Die *type*-Warum-Fragen, die aus dem Gefühl der Verwunderung und nicht aus dem Bedürfnis einer Überraschungsreduktion resultieren, können jedoch als Fragen interpretiert werden, die einer noch höheren Komplexitätsstufe entspringen. Denn sie haben selbst genau derartige inverse Verhältnisse oder generell Zusammenhänge verschiedener Größen zum Gegenstand. Sie suchen nach Proportionalitäten oder nach inversen Beziehungen zwischen den Variablen. Das Turm-Schatten-Beispiel führt dies direkt vor Augen: Die Fragen ›Warum hat der Schatten notwendig die Länge x ?‹ und ›Warum ist die Höhe des Turms notwendig x (gegeben der Schattenlänge y)?‹ werden durch einen Erklärungsrahmen beantwortet, der auf trigonometrische Funktionen verweist. Irrationale Größen, d.h. solche, die inkommensurabel oder asymmetrisch zu rationalen Größen sind, spielen in diesen Zusammenhängen eine zentrale Rolle, gerade weil sie in den grundlegenden

mathematischen Konstanten und Verhältnissen vorkommen. Das wäre etwa der Fall, wenn der Informationsgehalt oder die Überraschung (*Negative Log Probability* nach Shannon, 1948) bei zwei möglichen Ereignissen genau bei $\frac{1}{2}$ liegt. Eines der Ereignisse tritt dann mit einer Wahrscheinlichkeit von $P = 1/\sqrt{2}$ ein. Für eine fragende Person könnte dies als implizites Wissen gedeutet werden, das sie dazu veranlasst, durch das Warum nach Hypothesen zu fragen.

Der Begriff der kognitiven Dissonanz wäre in diesem Kontext also buchstäblich zu verstehen: Was Verwunderung auslöst, so Aristoteles (*Metaphysik* II 2, 983a15-21/Aristoteles, 2010, 43), ist die Inkommensurabilität und Irrationalität der Diagonale. Diagonale und Seite eines Quadrats sind nicht mit einer ganzen oder gebrochen rationalen Zahl messbar. Fragt man nach der Natur der Sachverhalte, die uns in das *thauma* bringen, dann die, die uns derart in eine kognitive Dissonanz versetzen. Ein Ansatz zur genauen Beschreibung des kognitiven Zustands des epistemischen Warum könnte daher darin bestehen, irrationale numerische Werte in die Modellierung einzubeziehen, um die komplexe Natur des *thaumázein* abzubilden. In der Modellierung kognitiver Zustände in der Psychologie werden Wahrscheinlichkeitswerte verwendet, die zwischen 0 und 1 liegen. Die verwendeten Werte sind jedoch immer rational. Sie lassen sich als Bruch zweier ganzer Zahlen darstellen. Theoretisch könnten jedoch auch irrationale Zahlen als Wahrscheinlichkeiten dienen und so Möglichkeiten eröffnen, komplexe epistemische Zustände zu erklären.

Betrachtet man die epistemischen Warums von Kindern, dann zeigt sich eine Struktur, die auf derartige Zusammenhänge hindeuten. Im Dialog von Beth mit ihrer Mutter (siehe Abschnitt 2.4) etwa stehen zwei Begriffe dissonant gegenüber: das Spitzdach und das Flachdach. Dem Problem wohnt eine Notwendigkeit inne, die wie auch Piaget erkennt, von einer geordneten Welt ausgeht. Es muss daher auch ein Modell oder eine übergeordnete Gesetzmäßigkeit geben, die die Ordnung wiederherstellt. Ebenso Jamies Frage (siehe die Einleitung): Warum ist der Beton *in the mix* flüssig? Die beiden Konzepte *concrete* und *mud* stehen dissonant zueinander. Sie weisen aber eine Symmetrie auf, da sie Eigenschaften teilen, aber sie sind dennoch inkommensurabel, weil

sie unterschiedliche Auswirkungen in der Welt haben. Die Erklärung liefert dann wieder einen Ordnungsrahmen, innerhalb dessen beide Beobachtungen wahr sein können.

Das Vorgehen, anhand inkommensurabler Phänomene Ordnungsstrukturen zu schaffen, die eine erklärende Funktion für möglichst viele von verwunderungsauslösenden Sachverhalten hat, scheint jedoch nie vollständig oder abgeschlossen. Im Gegenteil erzeugt es immer weiter Fragen und Unklarheiten. Über diese kognitiven Dissonanzen nicht hinwegzugehen oder sie zu vermeiden, ist kognitive Arbeit. Diese Arbeit vollzieht sich jedoch nach bestimmten Regeln. Letztlich ergeben sich diese Regeln aus der Struktur von Frage und Antwort. Das Gefühl der Verwunderung ist nicht nur ein privates, sondern auch geteiltes, ein mitgeteiltes Gefühl. Die Ordnungsstruktur, innerhalb derer sich wissenschaftliche Theorien entwickeln können, ist aber nicht der Diskurs oder eine Übereinkunft usw. auch nicht eine Sprache oder Kultur, sondern die abstrakten Begriffe, die sich in der Struktur von Frage und Antwort wiederfinden. Wahrheitswerte, Relationen und Funktionen, die Auswahl aus Mengen anhand von Eigenschaften, Objekte und Zahlen sind direkte Auswirkungen der Struktur von Frage und Antwort. Das epistemische Warum erweitert diese zu abstrakten wissenschaftlichen Theorien.

6.8 Einsteins Beispiel

In Albert Einsteins (1949/1970) autobiografischen Notizen findet sich eine bekannte Stelle, die den Zusammenhang von Verwunderung im Sinne des *thaumázeîn* und wissenschaftlicher Erkenntnis anschaulich beschreibt und die er direkt mit den Erfahrungen seiner Kindheit verbindet:

»For me it is not dubious that our thinking goes on for the most part without use of signs (words) and beyond that to a considerable degree unconsciously. For how, otherwise, should it happen that sometimes we ›wonder‹ quite spontaneously about some experience? This

›wondering‹ seems to occur when an experience comes into conflict with a world of concepts already sufficiently fixed within us. Whenever such a conflict is experienced hard and intensely it reacts back upon our thought world in a decisive way. The development of this world of thought is in a certain sense a continuous flight from ›wonder.‹

A wonder of this kind I experienced as a child of 4 or 5 years, when my father showed me a compass. That this needle behaved in such a determined way did not at all fit into nature of events, which could find a place in the unconscious world of concepts (effect connected with direct ›touch‹). I can still remember – or at least believe I can remember – that this experience made a deep and lasting impression upon me. Something deeply hidden had to be behind things. What man sees before him from infancy causes no reaction of this kind; he is not surprised over the falling of bodies, concerning wind and rain, nor concerning the moon or about the fact that the moon does not fall down, nor concerning the differences between living and non-living matter.

At the age of 12 I experienced a second wonder of a totally different nature: in a little book dealing with Euclidean plane geometry, which came into my hands at the beginning of a schoolyear. Here were assertions, as for example the intersection of the three altitudes of a triangle in one point, which – though by no means evident – could nevertheless be proved with such certainty that any doubt appeared to be out of the question. This lucidity and certainty made an indescribable impression upon me. That the axioms could not be proved did not disturb me. In any case it was quite sufficient for me. If I could peg proofs upon propositions the validity of which did not seem to be dubious. For example I remember that an uncle told me the Pythagorean theorem before the holy geometry booklet had come into my hands. After much effort I succeeded in ›proving‹ this theorem on the basis of the similarity of triangles; in doing so it seemed to me ›evident‹ that the relations of the sides of the right-angled triangles would have to be completely determined by one of the acute angles. Only something which did not in a similar fashion seem to be ›evident‹ appeared to me to be in need of any proof at all. Also, the objects with which geometry deals seemed to be of no different type than the objects of

sensory perception, ›which can be seen and touched‹. This primitive idea, which probably also lies at the bottom of the well known Kantian problematic concerning the possibility of ›synthetic judgements a priori,‹ rests obviously on the fact that the relation of geometrical concepts to objects of direct experience (rigid rod, finite interval etc.) was unconsciously present.

If thus it appeared that it was possible to get certain knowledge of the objects of experience by means of pure thinking, this ›wonder‹ rested upon error. Nevertheless, for anyone who experiences it for the first time, it is marvelous enough that man is capable at all to reach such a degree of certainty and purity in pure thinking as the Greeks showed us for the first time to be possible in geometry.« (Einstein, 1949/1970, 9–11)

Zu Beginn der Reflexion scheint auch Einstein eher an die psychologische Abweichungserfahrung zu denken, die er als Konflikt einer neuen Erfahrung mit einem bereits vorhandenen Konzept interpretiert. Der weitere Text macht jedoch die Lesart wahrscheinlicher, dass Einstein die epistemische Abweichungserfahrung im Sinn hat. Der mentale Konflikt, den Einstein als Kind angesichts des Verhaltens der Kompassnadel empfindet, existiert nicht innerhalb der ›unbewussten Begriffswelt‹, sondern das ›Erlebnis‹ passt nicht in das Geschehen, das sich sonst den Sinnen präsentiert. Es verweist vielmehr in die Welt ›hinter den gewöhnlichen Dingen‹. Wird der Gedankenprozess, den dieses Warum auslöst, aber weiter verfolgt, entsteht eine wissenschaftliche Gedankenwelt, die das Warum erklärt, indem sie – etwa mit dem Begriff des elektromagnetischen Feldes – der verborgenen Wirklichkeit Gestalt und Anschauung gibt.

Verwundert ist der jugendliche Einstein auch beim Lernen der euklidischen Geometrie. Das Erstaunliche oder Verblüffende liegt dort in der Klarheit und Sicherheit, mit der ein geometrischer Satz bewiesen wird. Es stelle sich sofort die Frage ein, wie diese Sicherheit und Klarheit begründet werden kann. Einstein findet eine erste Antwort bei Kant. Für Kant sind die logisch-formalen Grundsätze – Euklids »Axiome« – »zwar wirklich analytisch und beruhen auf dem Satze des Widerspruchs«

(KrV B16/1998, 67). Sie sind daher von jeder Erfahrung unabhängig. Sie müssen und können auch nicht begründet werden. Ein geometrischer Grundsatz aber – Euklids »Definitionen« –, wie dass die gerade Linie zwischen zwei Punkten die kürzeste sei, kommt für Kant aus der Anschauung, die sich unmittelbar aus der räumlichen Vorstellung ergibt, die *a priori* gegeben sei. Es handele sich daher bei dem Grundsatz um ein synthetisches Urteil *a priori*. Dass die geometrischen Sätze »apodiktisch, d. i. mit dem Bewußtsein ihrer Notwendigkeit verbunden« (KrV B 41/1998, 100) sind, ist für Kant eine Folge der ursprünglichen Anschauung des Raumes. Der Mensch könne gar nicht anders denken, als dass die geometrischen Sätze notwendig sind, sie stammen aber nicht aus der Erfahrung oder können aus ihr geschlossen werden.

Wie Einstein anmerkt, wird dieses Denken jedoch empirisch bestätigt, da sich feste Körper in der beobachteten Wirklichkeit bezüglich ihrer Lageverhältnisse wie Körper der euklidischen Geometrie verhalten (Einstein, 1921, 6). Der »Fehler« Kants liegt nach Einstein aber darin, dass ein geometrischer Grundsatz auch ohne Zuhilfenahme der Anschauung, nämlich rein logisch-formal abgeleitet werden kann. Der obige Grundsatz erscheint dann gar nicht mehr als notwendig, er gilt in der sphärischen Geometrie nicht allgemein. Nach der modernen Mathematik handelt es sich dabei vielmehr um eine kreative Setzung oder freie Konvention (Poincaré, 1904, 51). Die geometrischen Grundsätze seien nach dieser Auffassung »freie Schöpfungen des menschlichen Geistes« (Einstein, 1921, 5).

Die Bedeutung der euklidischen Geometrie liegt für Einstein jedoch in ihrem praktischen Aspekt, in ihrer Entsprechung zu den natürlichen Gegenständen der Erfahrung. Das ist ein Unterschied zu der logisch-formalen, d.h. der axiomatisch-deduktiven Geometrie, in der ein Satz genau dann wahr ist, »wenn er in der anerkannten Weise aus den Axiomen hergeleitet ist« (Einstein, 1917/1988, 1). In der »praktischen Geometrie« (Einstein, 1921, 6) hingegen beurteilen wir Sätze als wahr, weil sie mit der Erfahrung der erlebten Welt übereinstimmen. So nehmen wir es als wahr, dass die Strecke zwischen zwei Punkten auf »einem praktisch starren Körper« (Einstein, 1917/1988, 2) immer die gleiche Entfernung hat. Eine solche Strecke verwenden wir dann als Maßstab, mit

dem wir alle Längenmessungen durchführen. Nur aufgrund dieser Voraussetzung, nämlich dass wenn zwei Strecken einmal und irgendwo als gleich befunden sind, sie stets und überall gleich sind, können wir erst, so Einstein, sinnvoll von einer Metrik mit Bezug auf die raumzeitliche Struktur sprechen (Einstein, 1921, 9–10).

Einsteins Überlegungen zu einer praktischen Geometrie der Erfahrung liefern nun einen Ansatz, das *thaumázein* als ein epistemisches Gefühl von einer normverletzenden Anomalieerfahrung abzugrenzen. Zentrale Kriterien wissenschaftlicher Messinstrumente – Objektivität, Validität und Reliabilität – basieren letztlich auf der Voraussetzung praktisch starrer Körper. Ein Messstab etwa muss unabhängig von der Person, die ihn verwendet, zuverlässig die Länge eines Objekts messen. Wann immer also ein Gegenstand (wie der praktisch starre Körper) als Messinstrument dient, vermittelt er uns die Erfahrung einer begrifflich zugänglichen, vorhersehbaren und objektiven Wirklichkeit. Natürlich kann es bei solchen Gegenständen zu individuellen Abweichungen kommen, nämlich dann, wenn ein Einzelgegenstand, der als Messinstrumente eingesetzt wird, die genannten Kriterien nicht erfüllt. Allgemein betrachtet ist eine Abweichung oder Nicht-Übereinstimmung in einem solchen Fall aber noch kein Grund zur Verwunderung, sondern nur ein partikulärer Fakt, der durch die zufällige oder willkürliche Anordnung der Dinge der jeweiligen Welt *token*-artig erklärt wird. Im speziellen Fall aber, d.h. im individuell-subjektiven Fall, kann eine solche Abweichung trotzdem zu starker Verwunderung führen, nämlich wenn die Person weiterhin ihren fehlerhaften Instrumenten und Messmethoden vertraut.

Eine andere Art von Abweichungserfahrung aber liegt dann vor, wenn Messfehler ausgeschlossen sind, die Erfahrung aber trotzdem der praktischen Geometrie auf den ersten Blick zu widersprechen scheinen, sodass der Eindruck entsteht, dass ebenjene Voraussetzung, nach der etwa zwei Strecken, die einmal und irgendwo gleich sind, immer und überall gleich sind, unter Umständen nicht gelten könnte. Der Grund für diese Abweichung liegt dann nicht in der zufälligen Anordnung der Dinge, sondern in der Asymmetrie oder Inkommensurabilität zwischen einer oder mehrerer in der Erfahrung festgestellten geometrischen

Wahrheiten und einer abstrakten, rein logischen Widerspruchsfreiheit. Die Erklärung dieser Asymmetrie, die Auflösung der Verwunderung, besteht dann darin, deren logische Möglichkeit in Übereinstimmung mit der Erfahrung beweiskräftig aufzuzeigen.

Am Beispiel des Turmes lässt sich das geometrische Verständnis der Verwunderung erläutern. Der Turm ist ein Gegenstand der geometrischen Erfahrung. Wir können seinen zwei Endpunkten einen Abstand auf einem weiteren starren Körper zuordnen und voraussetzen, dass dieser Abstand immer gleich bleibt, auch wenn wir uns mit unserem Messstab vom Turm entfernen. Die visuelle Erfahrung des Turms vermittelt jedoch den Eindruck, dass sich dieser Abstand verändert: Je weiter wir uns von dem Turm entfernen, umso kürzer erscheint der Turm. Wenn wir dabei aber voraussetzen, dass der Turm trotz der beobachteten Veränderlichkeit seinen gemessenen Abstand beibehält, dann entsteht unmittelbar jene Asymmetrie oder Inkommensurabilität zwischen der in der Erfahrung festgestellten geometrischen Wahrheit und der rein logischen Widerspruchsfreiheit. Eine solche geometrische Abweichungserfahrung entspricht nun der eines epistemischen Warums. Es handelt sich nicht um eine rein zufällige Abweichung etwa durch falsche Messungen oder singuläre Situationen, sondern um ein gedankliches Problem, bei dem wir wissen, dass es eine Lösung geben muss, die für all ihre Fälle gilt. Die Erklärung schließlich besteht darin, sich eines Ordnungsrahmens zu bedienen, innerhalb dessen die Asymmetrie wahr sein kann. Im konkreten Fall erklärt dann die Veränderlichkeit des Winkels, der durch die zwei Geraden gebildet wird, die jeweils von den zwei Endpunkten des Turms zum Auge gehen. Diese Erklärung bestätigt dann sowohl die Wahrheit der praktischen Erfahrung als auch die Widerspruchsfreiheit der Erklärung. Betrachtet man die Verwunderung im Sinne der epistemischen Neugier als ein Phänomen, das sich aus der praktischen Geometrie der Erfahrung und den normativen Ansprüchen des logischen Denkens ergibt, stellt sie sich nicht mehr nur als ein subjektiv-psychologisches Phänomen dar, sondern als die Basis der objektiv-wissenschaftlichen Denkweise.

6.9 Geometrie der Neugier

Die Grundfrage dieses Kapitels ist das Neugierproblem: Wie lässt sich das menschliche Fragen nach dem Warum erklären, ohne etwa einfach auf den Zweck zu verweisen, dass die Neugier der Suche nach Wissen dient? Aus psychologischer Perspektive besteht ein Ansatz zur Lösung des Neugierproblems darin, den Grund der Frage als einen Zustand der Verwunderung aufzufassen. Dieser Zustand ist dann gleichbedeutend mit einem Bedürfnis nach Erklärung, sodass die Beantwortung der Warum-Frage die Verwunderung auflöst. Es stellt sich dann aber immer noch die Frage, wieso gerade ein bestimmter psychologischer Zustand zu den abstrakten Gesetzen wissenschaftlicher Erklärungen führen soll. Warum befindet sich eine fragende Person, die eine epistemische Warum-Frage stellt, in einem Zustand, der nur durch eine ganz bestimmte Erklärung aufgelöst werden kann?

Der antike Begriff des *thaumázein* lässt vermuten, dass es sich bei der Verwunderung um ein geometrisches Phänomen handelt. Der kognitiv-affektive Zustand der Verwunderung der epistemischen Neugier ist das Gefühl einer Asymmetrie oder Inkommensurabilität im Hinblick auf eine zu generierende Hypothese. Eine Erklärung kann dadurch in einem kreativen Nachdenkprozess entwickelt werden. Sie muss aber begründbar sein und der empirischen Erfahrung entsprechen. Das weitergehende Problem ist dann, wie die Verwunderung, verstanden als ein geometrisches Phänomen, als psychologischer Zustand zu beschreiben ist. Oder anders ausgedrückt: Wie lässt sich diese Geometrie innerhalb eines Systems von Glaubensgraden darstellen? Diese Frage ist gerade im Hinblick auf das epistemische Interesse bei Kindern von Bedeutung. Denn um die frühkindliche Neugier zu erklären, reicht es nicht aus, auf die von den Dingen vermittelten Sinnesdaten zu verweisen. Der menschliche Geist bringt mit dem Stellen von Fragen vielmehr selbst eine Eigenschaft mit, durch die er die Dinge als Dinge wahrnimmt und sich logischer Prinzipien bewusst wird. Eine Erklärung dieser Eigenschaft ist aber nur zu den Bedingungen zu haben, die einem Menschen auch schon in der Kindheit zur Verfügung stehen. Denn wenn man den Wissenschaftsprozess nur von seinen Produkten – d.h.

von den erwachsenen Antworten auf die Warum-Fragen – ausgehend erklärt, dann bleibt die andere und ebenso spannende Frage offen, wie nämlich die Menschen jene Produkte kollaborativ durch eine kreative Denkleistung entdecken konnten.

Was man deshalb nicht voraussetzen braucht, ist ein angeborenes Wissen. Die Ausgangsbedingungen für den Entdeckungsprozess in der Kindheit sind spärlich. Jedoch lassen sich zwei wesentliche Elemente bestimmen, die man voraussetzen kann: Erstens das Gefühl der Neugier – Verwunderung oder *thaumázein* –, das uns in bestimmten Situationen Fragen auferlegt, die wir nur auf eine einzigartige Weise beantworten können. Zweitens die Situation des Dialogs, die durch das Hin und Her von Warum-Frage und Erklärung bestimmte logische Strukturen vorgibt.

Diese Ausgangsbedingungen sind meiner Ansicht nach hinreichend, um kommunikative Situationen zu schaffen, in der die rationale menschliche Kognition entstehen kann. Die epistemische Neugier ist vor allem in der frühen Kindheit zu beobachten. Um ihr epistemisches Potenzial zu entfalten, brauchen Kinder den Dialog und die gegenseitige Bezugnahme auf die gemeinsame Erfahrung spezifischer epistemischer Zustände. Durch das Hin und Her sozialer Interaktion wird die Warum-Frage so Anlass für ein *shared scientific thinking*, das im Verlauf der Zeit immer wieder neue Begriffe und Theorien hervorbringt. Was Carnap im Hinblick auf die skeptische Haltung zum Warum der logischen Empiristen schreibt, trifft daher auf die Warum-Fragen von jüngeren Kindern zu:

»As a result, we are no longer worried by why-questions. We do not have to say, ›Don't ask why‹, because now, when someone asks why, we assume that he means it in a scientific, nonmetaphysical sense. He is simply asking us to explain something by placing it in a framework of empirical laws.« (Carnap, 1966/1995, 12).

