philosophia naturalis

Journal for the Philosophy of Nature

Herausgeber / Editors
Andreas Bartels
Olaf L. Müller
Manfred Stöckler
Marcel Weber

Friedel Weinert — EPR and the 'Passage' of Time

Michael Drieschner — A Note on the Quantum Mechanical Measurement Process

Alexander Ehmann — Messung und Invarianz – ein Beitrag zum Metrologischen Strukturenrealismus

Lukas Nickel / Tobias Jung — Messung und Unschärfe in der klassischen Physik

Matias Slavov — Newton's Law of Universal Gravitation and Hume's Conception of Causality

Anne C. Thaeder — John Herschel und der Newton des Grashalms

Ladislav Kvasz — Heidegger's Interpretation of Mathematical Science in the Light of Husserl's Concept of Mathematization in the *Krisis*

Andrej Krause — Bolzano über Inbegriffe von Substanzen

David Hommen — Negative Properties, Real and Irreducible

KLOSTERMANN Band/Volume 50/2013 Heft/Issue 2

Journal for the Philosophy of Nature

philosophia naturalis

50 / 2013 / 2

Herausgeber / Editors
Andreas Bartels
Olaf L. Müller
Manfred Stöckler
Marcel Weber

Beirat / Editorial Board
Werner Diederich (Hamburg)
Michael Esfeld (Lausanne)
Don Howard (Notre Dame)
Andreas Hüttemann (Köln)
Bernulf Kanitscheider (Gießen)
James Lennox (Pittsburgh)
Holger Lyre (Magdeburg)
Felix Mühlhölzer (Göttingen)
Friedrich Steinle (Berlin)
Eckart Voland (Gießen)
Gerhard Vollmer (Braunschweig)

KLOSTERMANN

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Jahresinhalt 2013

Heft 1

Oliver R. Scholz	Wissenschaftstheorie, Erkenntnistheorie und Metaphysik – Klärungen zu einem ungeklärten Verhältnis	5
Frank Hofmann/ Ferdinand Pöhlmann	Seeing oneself through the eyes of others. Beckermann on self-consciousness	25
Olaf L. Müller	Verschmierte Spuren der Unfreiheit: Wissenschaftsphilosophische Klarstellung zu angeblichen Artefakten bei Benjamin Libet	45
Simon Friederich	Interpreting Heisenberg interpreting quantum states	85
Marco Giovanelli	Leibniz-Äquivalenz vs. Einstein-Äquivalenz. Was man von der Logisch-Empiristischen (Fehl-)Interpretation des Punkt-Koinzidenz-Arguments lernen kann	115

Heft 2

Friedel Weinert	EPR and the 'Passage' of Time	173
Michael Drieschner	A Note on the Quantum Mechanical Measurement Process	201
Alexander Ehmann	Messung und Invarianz – ein Beitrag zum Metrologischen Strukturenrealismus	215
Lukas Nickel/ Tobias Jung	Messung und Unschärfe in der klassischen Physik	253

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Matias Slavov	Newton's Law of Universal Gravitation and Hume's Conception of Causality	277
Anne C. Thaeder	John Herschel und der Newton des Grashalms	307
Ladislav Kvasz	Heidegger's Interpretation of Mathematical Science in the Light of Husserl's Concept of Mathematization in the *Krisis*	337
Andrej Krause	Bolzano über Inbegriffe von Substanzen	365
David Hommen	Negative Properties, Real and Irreducible	383

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Inhalt

Friedel Weinert	EPR and the 'Passage' of Time	173
Michael Drieschner	A Note on the Quantum Mechanical Measurement Process	201
Alexander Ehmann	Messung und Invarianz – ein Beitrag zum Metrologischen Strukturenrealismus	215
Lukas Nickel / Tobias Jung	Messung und Unschärfe in der klassischen Physik	253
Matias Slavov	Newton's Law of Universal Gravitation and Hume's Conception of Causality	277
Anne C. Thaeder	John Herschel und der Newton des Grashalms	307
Ladislav Kvasz	Heidegger's Interpretation of Mathematical Science in the Light of Husserl's Concept of Mathematization in the *Krisis*	337
Andrej Krause	Bolzano über Inbegriffe von Substanzen	365
David Hommen	Negative Properties, Real and Irreducible	383
	Verzeichnis der Autoren	407
	Richtlinien zur Manuskriptgestaltung	408

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

The articles are indexed in *The Philosopher's Index* and *Mathematical Reviews.*

Zurückliegende Jahrgänge sind mit einer Sperrfrist von fünf Jahren für die Abonnenten von *www.digizeitschriften.de* zugänglich.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main 2015

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Satz: Mirjam Loch, Frankfurt am Main / Druck: KM-Druck, Groß-Umstadt.
Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier ∞ ISO 9706.

ISSN 0031-8027

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Friedel Weinert

EPR and the 'Passage' of Time

> Temporality does not come from mechanics but statistical mechanics …
>
> C. Rovelli[1]

Abstract

The essay revisits the puzzle of the 'passage' of time in relation to EPR-type measurements and asks what philosophical consequences can be drawn from them. Some argue that the lack of invariance of temporal order in the measurement of a space-like related EPR pair, under relativistic motion, casts serious doubts on the 'reality' of the lapse of time. Others argue that certain features of quantum mechanics establish a tensed theory of time – understood here as Possibilism or the growing block universe. The paper analyzes the employment of frame-invariant entropic clocks in a relativistic setting and argues that tenselessness does not imply timelessness. But this conclusion does not support a tensed theory of time, which requires a preferred foliation. It is argued that the only reliable inference from the EPR example and the use of entropic clocks is an inference not just to a Leibnizian order of the succession of events but a frame-invariant order according to some selected clocks.

Zusammenfassung

Der vorliegende Aufsatz fragt, welche Konsequenzen für das Rätsel des Zeitpfeils aus der Betrachtung von relativistischen EPR-Paaren gezogen werden können. Die fehlende Invarianz der Zeitordnung bei raumartig getrennten relativistischen EPR-Paaren scheint einerseits Zweifel an der ‚Realität' des Zeitablaufs aufkommen zu lassen. Andererseits scheinen gewisse Merkmale der Quantenmechanik, wie der Kollaps der Wellenfunktion, eine temporale Zeittheorie – hier im Sinne des Possibilismus oder des wachsenden Blockuniversums – zu erlauben. Der Aufsatz untersucht den Einsatz von bezugssystem-unabhängigen entropischen Uhren, bei relativistischen Geschwindigkeiten, und zeigt, dass das Fehlen von temporalen Formen keinen Schluss auf Zeitlosigkeit bedeutet. Der Schluss unterstützt jedoch keine temporale Zeittheorie, die eine ausgezeichnete Schichtung der Ebenen der Raum-Zeit erfordert. Der Einsatz von entropischen Uhren bei relativistischen EPR-Paaren erlaubt als einzige Folgerung eine (Leibnizsche) bezugssystem-unabhängige Zeitordnung, gemäß ausgewählter Uhren.

philosophia naturalis 50 / 2013 / 2

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

I. Introduction

Over the years researchers have proposed a number of physical criteria to characterize temporal asymmetry in a physical sense, e.g. statistical-mechanical entropy, quantum measurements, the collapse of the wave-function, decoherence and the expansion of the universe. At the same time a debate in the metaphysics of time between Eternalism (Block Universe), Presentism (Moving Now) and Possibilism (fixed past, open future) has tried to muster the results of scientific theories (quantum mechanics, theory of relativity, thermodynamics) in support of these rival conceptions. According to Eternalism, past, present and future equally exist, while Presentism will accord existence only to the momentary moving Now. Possibilism requires the past to be fixed, the present moment to be distinguished and the future to be open (Savitt, 2001). The motion of the present Now constitutes temporal becoming. The significance of the present seems to imply that there must be a unique Now, on which all observers can agree. In the language of space-time physics this claim amounts to the demand of a 'unique hyperplane' or 'preferred foliation'. These requirements also mean that the 'passage' of time cannot simply be a psychological affair – an impression of flow confined to the minds of individual observers. As space-time does not depend on the existence of observers, the impression of 'flow' must correspond to some passage of physical events in the real world, from which the 'passage' of time is inferred. The question to be considered is whether Possibilism is compatible with the measurement of relativistic EPR-pairs.[2]

Whilst these discussions seem to have reached a certain stalemate, there is nevertheless some agreement between the opposite views. Firstly, it is agreed that philosophical positions should be sensitive to scientific development (cf. Dieks, 1988; Callender, 2007; Dorato, 2006). Secondly, the opponents seem to share the assumption that these divergent and incompatible metaphysical positions are *deductive* consequences of the respective scientific theories. In the present paper 'deductive consequences' means that they can be deduced from the principles of the respective theories. For instance, it follows from the principles of relativity that coordinate systems in relative motion with respect to each other may not agree on the simultaneity of events but it does not follow from these principles that the world is a four-dimensional static

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

block universe. Notions like stasis or flux, Eternalism and Possibilism are philosophical implications of these principles. However, the very fact that these opposite standpoints can be inferred from scientific theories suggests that it may be more appropriate to regard metaphysical positions as *philosophical* consequences of scientific theories. Such a viewpoint means that they are at best compatible or incompatible with scientific results – and hence more or less plausible in the light of scientific theories.

Whilst the above-mentioned physical criteria have been well explored in the literature with respect to the 'passage' of time, the Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) correlations in a relativistic context have received less attention but are equally puzzling in the quest for the anisotropy of time (see Aharonov *et al.,* 1964; 1981; 1980; Callender, 2007; Penrose, 1989; 1994; 2004). The EPR correlations are a further example, as discussed in this paper, of how mutually incompatible philosophical consequences are inferred from relevant scientific theories.

The measurement of entangled spin-½ particles from the point of view of relativistically moving observers encounters the well-known problem of the relativity of simultaneity, a phenomenon, from which a long list of physicists had already inferred either the 'unreality' of time or at least the 'flow' of time along a world line, i.e. proper time (cf. Dieks 1988; Harrington, 2008; Rakić, 1997). However, such inferences are often drawn without due care to *all* the factors, which should be taken into account to make reasonable statements about the 'nature' of time. It is not immediately obvious why the non-coincidence of the simultaneity hyperplanes of two observers, moving at relativistic speeds with respect to each other, should lead to the often-reached Parmenidean conclusion that time is unreal. If it is correct that these philosophical positions are to be inferred from scientific theories, then the argument should focus on physical parameters – like the behaviour of clocks or the measurement of spin-½ particles – without presupposing such notions as 'becoming', 'stasis' or Heraclitean 'flux' – and draw plausible conclusions regarding the nature of time from such results (cf. Dorato, 2006). If metaphysical positions, like Eternalism and Presentism, Parmenidean stasis and Heraclitean flux, are merely philosophical (rather than deductive) consequences of scientific theories, then the relevant questions should be: a) Given observers, attached to inertial systems in relativistic motion with respect to each other, how do they register, say,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

the EPR correlations and b) what plausible consequences regarding the 'passage' of time would they be allowed to infer? The aim of the present paper is to re-examine the question of the 'passage' of time with respect to the EPR correlations in a relativistic setting and to take both physical and philosophical criteria into consideration; and in particular to draw attention to covariant and invariant relationships. The question, then, is what philosophical consequences regarding the lapse of time follow from this approach. The analysis in this paper results in the view that the EPR correlations, if considered from the point of view of the use of frame-invariant entropic clocks, support an inference to a tenseless 'passage' of time but that even an invariant 'passage' of time, as indicated by a pair of entropic clocks, falls short of the required criteria for a tensed theory of time.

II. Quantum measurement and the 'passage' of time

Consider, first then, the ordinary non-relativistic case of a measurement process on an EPR pair (cf. Penrose, 2004, p. 606; 1994, p. 294). In such a case only one coordinate system is relevant – the one in which the measurement occurs. The temporal ordering of events poses no problem. When the spin state of one member of the EPR pair, say +½, is measured the other instantaneously 'collapses' to -½ and a later measurement on the second member unambiguously finds a reduced or unentangled state. This reduction occurs irrespective of the distance between them. Let two observers be space-like separated.[3] Experimenter *A* performs a measurement on an EPR pair, which reduces the entangled state to an unentangled state. Experimenter *B* may be so far away from *A*'s laboratory that some time, *t*, elapses before *B* can be informed of the measurement result. *B* is space-like separated from *A*. *A* may perform a subsequent measurement on the unentangled state but *B* will not be confused about the temporal ordering of these events, as *A* and *B* are taken to be at rest with respect to each other. A third observer, *C*, also at rest with respect to *A* and *B* will regard *A*'s measurement of the spin states of the EPR pair as effecting the disentanglement, while *A*, according to *C*, may perform a later measurement with a disentangled component of the pair (Figure I).

If relativistically moving frames are brought into consideration, the agreement on the unique temporal succession of events is upset and

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

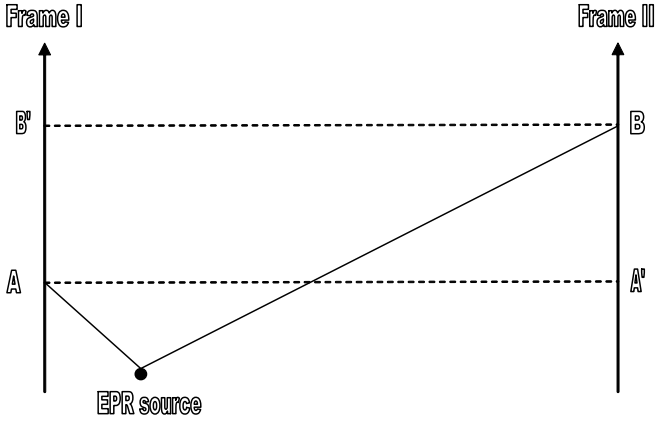

Figure I: From the point of view of an inertial frame, the detector A registers first, which simultaneously reduces the state at A', which lies outside of A's light cone. The reduced state is detected later, at B, in frame II, a point, which is simultaneous with B' in frame I.

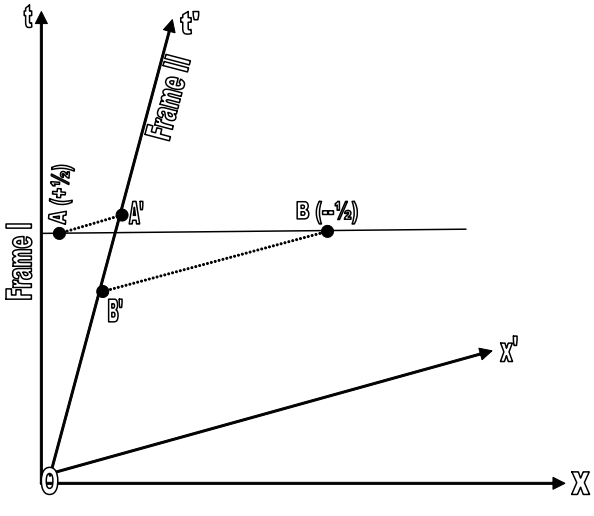

Figure II: According to the Special theory of relativity the two observers, in frames I and II respectively, in relativistic motion with respect to each other, disagree about the temporal order of events. According to frame I, when the photon is measured at A (+½) its sister jumps instantaneously to -½ at B. The act of measurement, A, corresponds to A' in frame II. According to frame II A' is simultaneous with A so that B', simultaneous with B, occurs prior to A. According to frame II, the jump occurs (at B') before the measurement act at A.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

encounters the 'relative simultaneity' problem. Let one experimenter, *B*, move at relativistic speeds, with respect to another experimenter, *A* (Figure II). If the two experimenters are in relativistic motion with respect to each other, there will be disagreement about the moments of measurement and detection. In frame I measuring event A (measuring +½) is simultaneous with B (the jump to ½) but in frame II A is simultaneous with A' and B is simultaneous with B', so that a detector in frame II will experience the reduced, unentangled state at B', which is prior to A, the measurement act, in frame I. This situation is often labelled a 'paradox' in the literature (Aharonov/Albert, 1981; Penrose, 2004; Callender, 2007). What seems paradoxical is that, if the 'collapse' of the wave function is 'real' or at least if the detection event is real then it seems that it is not possible for both observers in their respective frames to be correct about the temporal order of events. These observers may reasonably ask themselves what implication this paradoxical situation has for the understanding of the lapse of time. What inferences regarding the nature of time are to be drawn from this version of relative simultaneity? It will be convenient to start with a brief review of the physics literature before addressing Callender's argument, in terms of relativistic EPR pairs, against a tensed theory of time. This review shows that the problem is essentially due to the 'relativity of simultaneity', which also affects the EPR-correlations, but does not depend on any particular interpretation of the measurement process in quantum mechanics.

III. What physics says

According to the physics literature several conclusions can be drawn from this situation.

1. It is a requirement of relativistic quantum field theory that the temporal ordering of space-like related events is irrelevant, which means that the two measurements commute, and that the invariant features are the joint probabilities.

The local observables of any relativistic quantum field theory are required to commute at spacelike separations, and therefore the results of two spacelike-separated local experiments will not depend upon the order in which these experiments are carried out. (…) If (…) each observer applies the postulate of

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

instantaneous reduction to his *own* frame, all will nonetheless derive identical (i.e., covariant) experimental predictions for *local* observables. (Aharonov/Albert, 1981, p. 369; italics in original)

Similarly, Penrose states that

(...) this kind of symmetry is a necessary feature of EPR measurements in order that they be consistent with the observational consequences of special relativity. Measurements that are performed at space-like separated events (i.e. events lying outside each other's light cones (...) must necessarily commute and it is indeed immaterial which measurement is considered to occur 'first' – according to the firm principles of special relativity. (Penrose, 1994, p. 294 f.)

2. A consequence of the requirement that 'local measurements must commute at space-like separations' (Aharonov/Albert, 1980, p. 3322) is that, whilst 'collapse' along equal time hypersurfaces is not covariant – as the EPR case shows –, the probability distributions are Lorentz-covariant (Aharonov/Albert, 1980, p. 3323; Aharonov/Albert, 1981, p. 361).

3. A further consequence, according to Aharonov and Albert, is the non-covariance of the state history in relativistic quantum field theories. Whilst in the non-relativistic case, a unique state history results from the equations of motion and the measurement act, this is not the case in relativistic quantum field theories. The reason for this situation is that 'no relativistically satisfactory version of the collapse postulate can be found.' (Aharonov/Albert, 1980, p. 3316)

(...) it will turn out that *no* covariant succession of states at a given time can consistently be associated with the system, although the notion of a state will continue to make sense within a given Lorentz frame. (Aharonov/Albert, 1981, p. 361; italics in original)

That is, the history of a primed frame, which collapses at $t = t'$, will not be a Lorentz-transformed version of an unprimed frame (Aharonov/Albert, 1980, p. 3323). For instance, if a free particle is prepared in a momentum eigenstate at $t = -\infty$ in an unprimed frame, and if at $t = 0$ the location of the particle is measured by interaction with an appropriate device, the wave-function of the particle will change instantaneously from a momentum eigenfunction to a position eigenfunction. But this change of state will not occur instantaneously in any other primed frame moving relativistically with respect to the unprimed frame so that

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

'*no* covariant succession of states at a given time can consistently be associated with the system.'

According to Aharonov and Albert, observers derive covariant probabilities for both local and non-local observables (like total charge in a system) because the latter are 'ultimately' local ones; that is, measurements are carried out on them by '*local* observations on the measuring apparatus' (Aharonov/Albert, 1981, p. 369; 1980, p. 3322). Such claims are controversial[4] but they have no further implications for the argument in this paper.

In sum, relativistic field theories have the capacity to correctly predict probabilities but not to define covariantly the state history of relativistic systems, like the EPR case. A state history can be defined for the non-relativistic case but not for the relativistic case, although probabilities are covariant for both cases.

> If *A* monitors the succession of states at a given time in his own frame, this will with certainty confirm that the reduction process occurs along $t=0$, and will alter the state history as observed in *B*; and, conversely, if *B* monitors the state history in [frame] k', then this will with certainty confirm that the reduction occurs along $t'=0$, and will alter the history as observed by *A*. Either of these two conflicting accounts, therefore, can be confirmed by experiment, and in this sense each of them is correct; and this involves no contradiction, since the two different measuring procedures, whereby these two accounts can, respectively, be confirmed cannot *both* be carried out on the same system. (Aharonov/Albert, 1981, p. 365; Aharonov/Albert, 1980, p. 3321; italics in original)

Clearly the covariance of the probability distributions, accompanied by a lack of covariance of a state history, does not warrant an inference to the 'passage' of time. Nevertheless, the authors observe, with respect to the radiation arrow, that 'the nature of ensembles or beams actually occurring in nature (...) is determined by the same cause as all macroscopic irreversibility, conceivably by the expansion of the universe' (Aharonov *et al.*,1964, B1416) or, they add, the 'second law of thermodynamics' (*ibidem,* B1410). Thus, even though there is a covariance of the probability distribution but no 'covariant collapse along equal time hypersurfaces' (Aharonov/Albert, 1980, §iv), there is at least a *de facto* 'arrow' of time if appropriate criteria are taken into consideration. But this very point is often neglected in the philosophical literature, where the view prevails that metaphysical positions follow deductively from the principles of scientific theories.[5]

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Penrose also appeals both to the invariance of the observational results (covariant probabilities) and the symmetry of the temporal relation, which is a necessary feature of EPR measurements in order that they be consistent with the observational consequences of special relativity' (Penrose, 1994, p. 388). Penrose concludes from this situation that it requires a new understanding of 'reality' in the wake of the EPR correlations.

> The joint probabilities come out the same either way but O has a different picture of 'reality' from the one that I and my colleague had before. If we think of [the measurement] **R** as a real process then we seem to be in conflict with the principles of special relativity because there are two incompatible views as to which of us effected the reduction of the state and which of us observed the reduced state after reduction. (Penrose, 2005, p. 606 f.; bold in original)

Although Penrose is in agreement with Aharonov *et al.* that the 'arrow' of time has to be accounted for by some other criterion, like the second law of thermodynamics, these discussions nevertheless reveal a certain conflation between, on the one hand, the question of the 'reality' of wave-function collapse, and, on the other hand, the puzzle of the anisotropy of time. Callender's criticism of Possibilism also assumes that an understanding of the behaviour of the wave-function has a significant impact on the question of the lapse of time.

IV. What philosophy says

Craig Callender regards this mismatch of the observers' temporal ordering of relativistic EPR events as a fatal blow to the 'tensed theory of time' (characterized as a transient Now, connecting the fixed past to the open future). Callender's assessment is only the latest position in a long-running debate about Parmenidean *stasis* versus Heraclitean *flux*, which goes back to Einstein and Minkowski (cf. Dieks, 1988, Harrington, 2008; Dorato, 2006; Weinert, 2004; 2013). It follows from the relativity of simultaneity in the Special theory of relativity that there exists no universal Now, since different observers judge the simultaneity of events according to their respective coordinate systems, which are in inertial motion with respect to each other. Although the clocks are invariant in each coordinate system (proper time), they are not invari-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

ant across different coordinate systems (co-ordinate time) and hence there are as many Nows as there are co-ordinate systems. But if there is no universal Now, there is no unique simultaneity plane and hence no unique time axis, as in classical mechanics. These discussions usually revolve around the compatibility or incompatibility of the relativity of simultaneity with a dynamic, tenseless, view of time.[6] Whatever version of a tenseless view is adopted, Callender's case is an attack on the belief that quantum mechanics 'makes the world hospitable to a tensed theory of time' since 'tensers' may still take refuge in some peculiar features of quantum mechanics: 1) Popper (1982, p. 30) argued that quantum non-locality required a preferred foliation of space-time to explain the Bell correlations; for it seems that the 'action-at-a-distance' between a space-like separated EPR-pair requires the simultaneity of the effect of a measurement on one component on its distant cousin; and 2) wave-function collapse seems to rescue temporal becoming. Callender claims that it is impossible to address the apparent conflict of non-locality and relative simultaneity in the absence of any interpretation of quantum mechanics. 'The mechanism responsible for enforcing the space-like correlations varies with interpretation.' (Callender, 2007, p. 5) Although Callender refers to 'fundamental' physics, it is worth noting that the interpretation of what happens during 'collapse' is not at present part of an established agreed theory. The discussion in Section II has shown that this problem can be stated without any reference to interpretational issues of the quantum-mechanical measurement process. It arises because the space-like EPR-correlations are subject to the constraints of relativistic simultaneity. What matters is the detection of the measurement result, not the 'collapse' mechanism.

Against the first claim Callender develops a 'coordination problem' for tensers: The tensers must claim that one frame measures before the other frame but this may not be the preferred frame according to physics or interpretational frameworks. In other words, on various interpretations of the quantum measurement process (Bohm's view or the Ghirardi, Rimini and Weber model) the foliation does not correspond to the required metaphysics. The upshot is that no measurement will narrow down the preferred foliation (Callender, 2007, p. 15 f; cf. Maudlin, 1996). However, the question of foliation is independent of the question of quantum-mechanical interpretations, since it appears in all relativistic settings. It needs to be differentiated according to the rela-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

tivistic and non-relativistic case. As Maudlin (1996) reminds us notions like absolute simultaneity and absolute time order are a consequence of the non-relativistic case, since the underlying space-time is a Galilean (or neo-Newtonian) structure. In the non-relativistic case one could 'foliate the space-time with space-like hyperplanes, which may be used, in essence, to define a preferred synchronization between widely separated systems' (Maudlin, 1996, p. 294 f.). The real problem arises when the moment of detection becomes dependent on the hyperplane from which the event is observed; 'pairs, associated with *different* foliations, pose an entirely new, relativistic problem' (Maudlin, 1996, p. 301; italics in original).

With regard to the second claim, Callender also denies that 'real' collapse of the wave-function justifies a notion of quantum becoming. The open/fixed distinction does not map neatly onto the superposition/eigenstate distinction. One may add that if wave-function collapse happens, it happens in particular laboratory situations, which may present a poor criterion for the global distinction between the fixity of the past and the openness of the future. It may also be recalled that the computation of the probability outcomes in the above EPR case is time-symmetric.

One may have sympathy for Callender's view not to overload the scientific base structure with a metaphysical superstructure. Hence it is helpful to distinguish between the consequences, which follow deductively from the structure of scientific theories and mere philosophical consequences, which follow with more or less plausibility.

Nevertheless, tensers may not find Callender's arguments quite compelling:

a) Scientists and philosophers will no doubt agree that physics should explain our experience of the 'flow' of time, i. e. not only our psychological time sense but the intersubjective, objective lapse of time as revealed in many physical situations. Here it may be possible to refer to Stein's theorem, which defines a two-place relation, yRx, of y 'having become' with respect to space-time point, x, where R is both transitive (yRx and yRz) and reflexive (xRx) (Stein, 1968, p. 15; cf. Savitt, 2001, p. 16; Callender, 2000). In the literature such considerations lead to notions like 'relational becoming' (Dorato, 2006, § 4) or chronological becoming along a world line (Clifton/Hogart, 1996), but references to the invariance of proper time – the time shown by an appropriate clock along its world line – do

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

not capture the point at issue here, which is the effect of relative simultaneity in the EPR case, which presumably prevents tensers from locating 'passage' in the area of quantum mechanics. The tensers' notion of 'passage' requires some preferred foliation (or simultaneity hyperplane) so that a tensed theory of time should seek some covariant state history, as discussed below, to save the notion of (global) 'passage'.

b) Although Callender seems to agree with Maudlin's warning against 'the dangers of launching into investigations of Relativity before having settled basic interpretational problems' (Maudlin, 1996, p. 303 f.), a different conclusion may be drawn. Given the apparent dependence of the mechanism of collapse on the divergent interpretations of the quantum-mechanical measurement process and the difficulties this poses for the tensers, any inferences regarding the nature of time from the wave-function collapse picture becomes unreliable and calls for different criteria to assess the question of the 'passage' of time, either – for instance – in terms of the foliation of space-time by appropriate hyperplanes or in terms of the thermodynamic features of appropriate clocks, as discussed below. (Recall that the physics literature cited above makes no reference to interpretational problems; i. e. the problem can be stated in terms of the relativity of simultaneity and detection events.) A physical mechanism may eventually be found, which explains the 'reality' of collapse but such an explanation would not single out a preferred foliation nor would it help to determine the measurement of the objective 'passage' of time. The claim that 'there is a unique hyperplane advancing throughout the whole of the universe of collapse into eigen-ness' (Lucas 1999, quoted in Callender, 2007, p. 10) does not follow from EPR-like measurement situations, as will be discussed below.

c) Callender does not consider other aspects of scientific theories, which may shed further light on which plausible consequences could be drawn from the scientific problem situation, and which may be helpful to any theory, which wishes to save the notion of 'passage'. Although physics allows for the covariance of the probability distributions, which are time-symmetric, there may nevertheless be invariant processes, whose existence in nature and role in scientific theories may throw some light on the nature of time, as hinted at by Aharonov *et al.* (1964) and Penrose (2004).

d) In his analysis Callender does not sufficiently stress that the temporal ordering of the non-relativistic situation provokes no disagreement about the order of events. This point is, however, central in the

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

analysis given by Aharonov *et al.* (1980; 1981) and Penrose (1989; 1994). The measurement of one member of the EPR pair immediately reduces the state of the other member (over large distances). A later measurement than encounters a reduced (unentangled) state. There is no disagreement about temporal ordering because at sufficiently low velocities a relativistic space-time world approximates a Galilean space-time structure and a universal Now (Figure I). The disagreement arises from the introduction of an observer moving relativistically with respect to observers at rest, as discussed above. This discord, however, leads to a paradoxical consequence. When these observers move at speeds, relatively close to the speed of light (say 2/3 c), the disturbing effect arises. But when the same observers slow down to non-relativistic speeds and, to all appearances, to a classical world, the effect disappears! The same paradox affects the Aharonov/Albert view about the non-covariance of a pair's history of state. They claim that 'in contrast to the nonrelativistic case, it is not possible to define the quantum state of a system in relativistic quantum field theories, because in this latter case no consistent description of how the state changes as the result of a measurement can be developed' (Aharonov/Albert, 1980, p. 3316). But there is no precise boundary at which the non-covariance of the state histories arises. There is an even more dramatic illustration of this paradoxical situation. Penrose (1989, p. 260; cf. Savitt, 2001, p. 10; 15) imagines two people, walking past each other in the street, who come to different conclusions regarding the temporal ordering of some events on the Andromeda galaxy. Although only slow velocities are involved their disagreement concerns the question whether some event *A* occurs earlier or later than some event *B*. But if, on a different day, the two walkers meet for a chat they will find themselves in agreement as to the temporal ordering of events on the Andromeda galaxy. The problem is that the theory of relativity specifies no 'phase' transitions at which relativistic space-time becomes Galilean space-time; just as there is not precise scale at which the quantum level goes over to the classical world (cf. Penrose, 1994, p. 308). The tenser may well conclude that this paradox of reference frames blocks any inference to the unreality of the lapse of time.

It seems, so far, that questions of the temporal ordering of events, as well as the reality of collapse, depend on the velocity of the reference frames. Penrose, referring to the EPR-type experiments, concludes that 'there is

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

a definite conflict with the spirit of relativity in our picture of 'physical reality'' (Penrose, 1989, p. 370). Do these scenarios suggest, then, that the effects are merely perspectival? It would certainly be unwise for the two observers to jump to the conclusion that 'time is unreal', since they have not yet explored other physical criteria, which may throw light on the 'passage' of time.

For these reasons it will be assumed (in what follows) that the observers involved in the relativistic EPR experiment operate behind a 'veil of ignorance', i.e. that they neither have any predetermined metaphysical views of the 'reality' or 'unreality' of time, nor any firm philosophical commitment to a particular interpretation of the measurement process, which is conventionally taken to be responsible for the reduction of the state vector. Clearly, the 'reality' of wave-function collapse or the objective 'passage' of time cannot be a function of interpretational issues in quantum mechanics. If they were, it would only reinforce the call for other criteria to be taken into account. How would the observers reason from behind such a veil of ignorance?

V. From an invariant point of view

When the observers come across the non-invariance of temporal ordering in the EPR measurements, their initial reaction may well be a Gödelian-like argument from the relativity of simultaneity to a denial of the objective 'passage' of time (or an inference to the block universe). Gödel (1949) makes the assumption that time is real only if space-time admits of a global time function, which implies that there is an unambiguous order of temporal events. As there is no such unambiguous time order in the relativistic EPR events on the observational level (Maudlin, 1996), one possible inference may well be that there is no objective lapse of time in a relativistic universe. But it is not immediately obvious why a disagreement about simultaneity or temporal order should lead to such drastic steps as the endorsement of a block universe. Before such a radical step is taken the observers should investigate whether there exist other physical criteria, from which inferences about the 'passage' of time could be drawn.

As already mentioned the 'joint probabilities come out the same either way' (Penrose, 2004, p. 606) but this covariance of probability outcomes

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

cannot shed any light on the question of the anisotropy of time. Disagreement about the temporal order of space-like related events in either the relativistic or the non-relativistic case is a consequence of Minkowski space-time so that the 'question of which of these measurements actually comes *first* is not really physically meaningful but depends on the observer's state of motion' (Penrose, 1989, p. 371; italics in original). A general agreement on this perspectival conclusion seems to prevail.

> In the case of space-like connected events simultaneity between such events can only be of a conventional, not of a fundamental kind. (Joos, 1951, p. 241; Weingard, 1972, p. 119)

Why does the problem arise in the first place? The EPR pair is space-like separated at the time of detection but has a common origin (Figures I, II). What more, then, can be said about the disagreement about temporal order?

As Aharonov and Albert, as well as Penrose, indicate there are other important temporal indicators to which the observers may appeal. It is a well-known fact that a quantum measurement increases the entropy of the measured system (Schlosshauer, 2008, p. 41; Aharonov *et al.*, 1964, B1410; Penrose, 2004, p. 822; 845). Of particular importance is the fact that entropy is an invariant relation, hence one on which the two observers would agree, irrespective of their state of motion (Einstein, 1907; Planck, 1907; Eddington, 1932, p. 101). Even though the observers will disagree about the temporal order of events, they will agree on the increase of the entropy gradient in the measurement process at the point of detection.[7]

Furthermore, their observational disagreement can be made to disappear if, by reducing their speeds, their description of temporal order can be reformulated in Galilean space-time; hence by transformation to a different reference frame.

As the disagreement about the temporal ordering of the EPR measurement events seems to be perspectival – in the sense of being a function of their state of motion – the observers could contemplate other criteria for the lapse of time as more reliable than the perspectival temporal ordering in the EPR measurement process: for instance, the expansion of the universe or thermodynamic processes (cf. Aharonov *et al.*, 1964, B1410).

However, Callender dismisses the tensers' strategy to appeal to 'cosmic times' as a response to threats from the General theory of relativity:

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

> These cosmic times are defined in various ways, but usually they hang on various averaging procedures to determine the center of mass frame. The matter distribution picks out a preferred foliation. But why think that the psychological lapse of time or our perceived present marches in step with the foliation dictated by the center of mass frame? There is no reason to link the two. (Callender, 2007, p. 16)

Tensers will point out that the problem is not the coordination of the 'psychological lapse of time' with physical time. The problem is the objective measurement of the 'flow' of time or an objective distinction between past and future in time-orientable space-time (cf. Lehmkuhl, 2012). Callender rightly stresses that physical and psychological time are separate issues. For instance, psychological time has neither enough regularity nor sufficient invariance to serve as a reliable clock. What is required of the observers in the case under consideration is the adoption of physical criteria, from which they can draw inferences about the anisotropy of time. The appeal to cosmic time seems to suggest that the observers could refer to one unique reference frame, as defined by a co-moving patch (a time slice) in the history of the universe, to settle their disagreement about the temporal ordering of events in the EPR experiment. The standard FLRW (Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker) models of the universe are equipped with an upward-pointing time axis (starting from the Big Bang) and each model has a '1-parameter family of non-intersecting homogeneous space-like 3-surfaces T_t giving space at time t' (Penrose, 2004, p. 719). The co-moving patch, which follows the history of our observable universe, has an entropy today of approximately 10^{101}, which is much larger than at earlier times (cf. Penrose, 2004, p. 718; Carroll, 2010, p. 334). Such a comoving patch may help to define a universal Now – a cosmic time – but it would hardly be suitable to serve either as a criterion for the psychological lapse of time or as a clock in the present case, since the observers remain attached to their individual frames, which leads to the puzzle of the lack of agreement about the temporal ordering of events. The observers will be well advised to look for other criteria to establish the ordering of events.

Could our observers make any progress by using an entropic clock? Would it lead to a tensed theory of time? Entropy is frame-invariant by the principles of thermodynamics. As increases in entropy are invariant, they do not depend on the state of motion of a particular reference frame. Such entropic clocks would replace the reference to cosmic time

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

scales but would they give the tenser a preferred foliation of hyperplanes?

VI. Thermodynamic clocks

In a thermodynamic system, moving with a relative velocity, v, with respect to another system, considered at rest, several thermodynamic parameters remain invariant, i.e. the pressure p, the number of particles N and the entropy S (Einstein, 1907; Planck, 1907).

$$p = p_0; N = N_0; S = S_0.$$

The question whether temperature, T, is also invariant is still controversial and at an experimental stage (Weinert, 2010). If this were the case, then, to adopt Einstein's famous train thought experiment, a cup of coffee drunk by a passenger on a fast-moving train would get neither colder nor hotter; it would have the same temperature as a cup of coffee drunk by a waiting passenger on a platform. If temperature were invariant, a specially constructed thermometer could be used by inertially moving observers at relativistic speeds to objectively measure the 'passage' of time. But relativistic thermodynamics offers other invariant parameters: we shall concentrate here on pressure, p, and in particular on the entropy, S, of thermodynamic systems. It is important to note that the lapse of time need not be measured by mechanical clocks, whose ticking rates are affected by relativistic speeds and gravitational fields, both resulting in a time dilation effect. It is equally important to note, for the arguments that follow, that physical time is based on physical processes (Rugh/Zinknagel, 2009). Such physical processes must display mathematically describable regularities, which are often of a periodic nature, since this periodicity helps to determine finite intervals of time. One problem, which arises in the Special theory of relativity is that clocks tick regularly in inertially moving systems, but their ticking is not invariant across such systems, as is revealed by the difference between proper and coordinate time. But if the regularities are to be invariant across different reference systems, two observers must clearly agree on the length of a temporal interval and the ticking rate of clocks. This is a prerequisite for the objective measurement of time. As several physicists have pointed out (Eddington, 1932; Schlegel, 1968; 1977) these features

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

are satisfied by some of the thermodynamic parameters, mentioned above. Consider, for instance, two properties of a gas clock – its pressure and entropy – both of which are invariant according to relativistic thermodynamics. Such a clock could consist of a two-chamber system, connected by a valve, as used in thermodynamics, with gas molecules at $t = t_0$ being confined at first to, say, chamber A. When the valve is opened the gas molecules will, in accordance with thermodynamic laws, begin to fill chamber B until it reaches a final pressure, p_f. First, what does the invariance of p mean for the measurement of time in two inertial reference frames? As the relationship $p = p_0$ obtains, the pressure (force per unit area) is the same in these two systems, and independent of their respective velocities. In whichever way such clocks are built, the pressure measured will be the same for two observers. Hence the rate of change of pressure, $\Delta p = \Delta p_0$, is also the same (Schlegel, 1968, p. 137), with the result that the pressure of gas clocks could be used as primitive clocks for two observers to coordinate activities in relativistically moving systems. When the two observers are at rest, carrying identical gas clocks in their respective systems, they can agree to perform a certain action, like an EPR-type experiment, when the pressure gauge reaches a certain value, p. What is important from the present point of view is that they will perform their action according to invariant clocks, since the proper times of the two gas clocks will agree. However, this agreement does not constitute a violation of the principle of relativity and does not give rise to a notion of 'absolute' simultaneity. Firstly, the gas clocks do not show the 'correct' time. They are not cosmic master clocks. They are simply two particular systems, amongst other clocks. Secondly, there are still as many clock times as there are reference frames. Thirdly, the theory of relativity forbids the choice of one particular clock as a preferred frame of reference, but it does not prohibit the choice of a particular type of clock as a criterion to draw inferences about the 'nature' of time. The proposal simply exploits an invariant feature of relativistic thermodynamics, in the same way that 'c' is an invariant feature of Minkowski space-time. Furthermore, the pressure gauge can serve as an invariant clock in the two systems, and hence 'time' in the two gas clocks ticks at the same rate, although they are in inertial motion with respect to each other, and at velocities which are relativistically significant. Whilst the two systems may move at high velocities, the motion of the gas molecules will not be affected by these relativistic speeds of the

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

coordinate systems to which they are attached. And thus these observers will measure the 'passage' of time between their pre-arranged, coordinated actions, in an objective, frame-invariant manner. It may be called *thermal* time (Cf. Rovelli, 2009; Martinetti, 2013). A similar conclusion can be drawn from the consideration of entropy in relativistic systems. Boltzmann entropy is taken to be valid for all systems (Carroll, 2010, p. 284). The Lorentz-invariance of entropy in statistical mechanics follows from the equation $S = k \log N_0$. As $N = N_0$ – so that the number of microstates, N, does not depend on the velocity of the thermodynamic system – we also have $S = k \log N$, and hence $S = S_0$, where the spatial extension of the system in the x-direction must be kept small. It follows from this equation that, again, when the entropy reaches a certain state in one system, by the spreading of microstates into the available phase space, two observers can perform a prearranged action in their respective systems 'simultaneously' or in succession, according to their specific clocks. Note that the spreading of the microstates into the available phase space is a function of time, and this spreading of microstates into phase space occurs at the same rate. The spreading rate can therefore be used to define an entropy clock, Σ. Hence observers in two relativistically moving systems can use the rate of spreading of the microstates, which according to the equation, $S = S_0$, must be invariant, as a way of measuring the objective, frame-independent 'passage' of time, at least according to these clocks. Even the fact that one of the two systems, with an entropy clock Σ' attached to it, must be accelerated to reach its relativistic velocity does not change the invariant rate of entropy increment, δS, in the accelerated system. If we consider the velocity increase in the Σ'-clock as δS, then the invariance theorem can be written as $d/dv\,(\delta S) = 0$, and hence the change in velocity has no effect on δS.

> We must take it, then, that the Σ'-clock while being accelerated gains the same increments δS which comparable Σ clocks are gaining; if it were otherwise, entropy would not be independent of velocity. In the limiting case of zero velocity increments, we must also have the same entropy increments for the Σ and Σ' clocks, and hence also the same increases in clock readings. We conclude that similar entropy clocks, in relative uniform motion, will run at the same rate. (Schlegel, 1968, p. 148; cf. Schlegel, 1977)

Once again, then, two observers who use entropy clocks will know that the invariance of S ensures an objective measurement of the 'passage' of time in their respective systems. They are space-like separated at the

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

time of detection but their entropic clocks were synchronized at the origin. These considerations do not, of course, question the validity of the Lorentz transformations for entropy clocks provide no 'preferred' temporal frame or universal Now. But they show that, if relativistic thermodynamics is taken into account, new invariant relationships come to light, which can be exploited for the objective measurement of the lapse of time in relativistic systems. Hence they should turn out to be useful in the relativistic EPR case.

VII. Consequences for a theory of time

What consequences do these considerations have for a tensed theory of time? Would the EPR observers opt for Possibilism? Not if this view requires a universal advancing knife-edge or even saddle-back of Now since to make 'one plane of simultaneity as uniquely metaphysically important' (Savitt, 2001, p. 9) is incompatible with the relativity of simultaneity. But the EPR observers could argue that the entropic clocks nevertheless allow an inference to a 'passage' of time, in a (modified) Leibnizian sense of the order of succession of events. Let us assume that the usual Leibnizian notion of passage – as the order of succession of events – is adapted to the requirements of relative simultaneity, and the structure of Minkowski space-time. The EPR experimenters' conclusion is based on the ticking rate of various clocks:

– Their respective coordinate systems record proper time. The problem is, however, that one observer's proper time becomes another observer's co-ordinate time. And hence there are, in Pauli's words, as many Nows as there are reference frames.
– However the discovery of frame-invariant clocks shows that the relativistic observers do not need to conclude that 'the passage of time' is a human illusion, for entropic clocks constitute one physical system from which the 'passage' of time – the invariant succession of chosen events in Minkowski space-time – can be inferred. The frame-invariant clocks tick at the same rate in all coordinate systems, in which they are used, and may serve as a valuable criterion for a Leibnizian succession in these systems, as long as they have been synchronized. Their entropic time is measured along the trajectory of their respective observers.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Callender accepts that a minimalist conception of passage is compatible with Minkowski space-time but he does not find it philosophically interesting (Callender, 2000). However, it is the only reliable inference which can be made from the relativistic setting. But it is not as minimalist as Stein's relation *R*. It gives the tenser a partially covariant state history, at least according to the invariant entropic clocks. Yet, it still falls short of a universal or privileged present for all observers, since invariant entropic clocks cannot avoid the constraints of relative simultaneity.

Referring back to Figure II, assume that in frames I and II identical, synchronized entropic clocks are used to measure the respective proper times. In frame I *A* and *B* must have the same entropy value, whilst an earlier event, located at *B*', has a lower value in frame I. Frame II must judge the event at *B*' to have a lower entropy value than *A* (or *A*') even though *B* and *B*' are simultaneous for frame II. Thus the tenser can derive a frame-invariant succession of events for the space-like separated observers, but no frame-invariant Now. This result is already well established for time-like related events (Weinert, 2004, Ch. 4.4).

What the EPR observers can conclude, with some confidence, is that the usual identification of tenselessness with changelessness (cf. Callender, 2000, p. 587) is mistaken, since there is a Leibnizian order of the succession of events, which, at least according to the entropic clocks is invariant across their reference frames. However, as has been argued, the existence of such invariant entropic clocks does not justify an inference to a universal Now, which seems to be required by a tensed theory of time. They are not master clocks but the invariant ticking of some appropriate clocks, may, in the footsteps of Leibnizian relationism about time, be enough to infer that even in a relativistic universe there is a 'passage' of time; past, present and future are not equally real, contrary to the assertions of the Block theorist.

The EPR observers are free to go further and view the four-dimensional world dynamically as a series of branching events, in which the future consists of a history of many branches, which are equally possible but not equally probable, with the present moving stochastically up the branching tree. If they endorse this view they enter some well-rehearsed debates: whether the Special theory of relativity is (or is not) compatible with probabilism (cf. Maxwell, 1985; Dieks, 1988) and what prospects there exists for Presentism in space-time theories (cf. *Philoso-*

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

phy of Science 67, 2000, Supplement). For present purposes it must be concluded that the use of entropic clocks does not deliver the central item, which a tensed theory of time requires: a preferred foliation. It does, however, deliver one criterion to which the tenser may appeal to show that a frame-invariant succession of events is possible, at least as established by a pair of entropic clocks.

In the face of the difficulties which EPR seems to represent for the temporal ordering of events, R. Penrose calls for a new worldview (Penrose, 1994, § 7.12; Penrose, 1989, p. 480). Others seek refuge in the time-invariance of physical laws and seem to accept, as a consequence, the block universe. It seems to the present author that the EPR case does not justify such conclusions. The observers disagree about the simultaneity of the detection event to the extent that in one frame collapse appears to occur before measurement. But there is no disagreement about entropic gradients, due to the invariance of entropy, *S*. The use of entropic clocks can be compared to the idea of cosmic time – or an arrow of time – since the use of these clocks eschews the disagreement about the temporal order of events (at least between observers using entropic clocks). But in accordance with the principle of relativity it is to be expected that the employment of entropic clocks throws up a new puzzle about time: the observers now have to deal with different clocks whose clock times do not all agree. The observers' 'normal' clock would suffer the usual time dilation effects and lead to disagreement about the ordering of the EPR events. But the existence of entropic clocks will lead the observer to conclude that their disagreement, according to their mechanical clocks, may be due to perspectival effects, caused by their respective velocities just as the appearance of length-contracted objects in the Special theory of relativity has been interpreted as a perspectival effect (Weisskopf, 1960). Entropy clocks are not master clocks but they are frame-invariant and are not subject to the above-mentioned paradox of slow motion. They constitute a different criterion to make inferences about the dynamic 'nature' of time, rather than the block universe. The use of entropy clocks shows that observers do not need to conclude that the lapse of time is a human illusion. The 'passage' of time is a philosophical inference from given criteria. These criteria must be well-chosen but reliance on relativistic simultaneity may not be the best policy.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

VIII. Conclusion

Callender is right that tensers cannot draw their conclusions about the 'flow' of time from quantum mechanics, not because it has been shown that there is no physical 'passage' of time but because EPR-type experiments in a relativistic context pose the difficulties of temporal order. But an inference to a Putnam-style block universe is as little justified as the tenser's conclusion about a universal Now. From the consideration of entropic clocks the detenser can infer that a tenseless view is characterized by precedence and simultaneity but no privileged Now. The tenser may conclude that there is a 'passage' of time and that some appropriately chosen clocks, indicating entropic gradients, may deliver a covariant history of specific events.

Callender's attack on tensed theories of time, in the context of appropriate scientific theories, indirectly confirms the thesis at the beginning of this paper that metaphysical positions, like Eternalism and Possibilism, are merely philosophical consequences, with differential claims to plausibility. As the only reliable inference from a consideration of the EPR correlations is a modified Leibnizian sense of 'passage' – as the invariant order of specific successive events in space-time, according to appropriate clocks – further inferences to the Parmenidean block universe or Heraclitean flux are necessarily empirically underdetermined. A consequence of the considerations in this paper is that such debates will remain unresolved because of their empirical underdetermination.

On the other hand, the establishment of temporal 'passage' at which this paper arrived through a reflection on entropic clocks, shows that whilst certain features of physical theories do not support inferences about the 'flow' of time others decidedly do. But this situation need not end in deadlock. If all the temporally relevant features are taken into account – the laws of statistical mechanics, Liouville's theorem and the topology of phase space, the expansion of the universe, the preponderance of outgoing radiation, the measurement process and decoherence – the inference to the anisotropy of time is more plausible than the inference to the block universe. The observers should trust their entropic rather than their mechanical clocks.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Notes

1 C. Rovelli, The Disappearance of Space and Time. In: D. Dieks (ed.), *The Ontology of Space-time* (2006), § 3.

2 Callender's 2007 paper, which will be the focus of Section III, is concerned with 'tensed theories of time' by which he means the metaphysical positions of Presentism and Possibilism (or the growing block universe). Callender (2000, p. 587) describes Presentism as picturing the 'four-manifold as foliated via an equivalence relation, simultaneity, and time as the one-dimensional linearly ordered quotient set induced by simultaneity. Three-dimensional leaves of simultaneous events successively flash into and out of being …'.

3 'Space-like' separation means that the observers are close enough in time but too far apart in space for finite signals to connect them at the moment of detection.

4 Halvorson and Clifton argue that a relativistic quantum field theory (RQFT) does not permit an ontology of localizable particles. But RQFT 'has no trouble explaining the appearance of macroscopically well-localized objects, and shows that our talk of particles, though a *façon de parler*, has a legitimate role to play in empirically testing the theory.' (Halvorson and Clifton, 2002, p. 23; italics in original) In a later paper they show that Algebraic Quantum Field Theory imposes practical and theoretical limits on an experimenter's ability to 'destroy entanglement between her field system [A] and [environment] *B*' (Clifton/Halvorson, 2008, p. 5).

5 John Earman, for instance, has offered a reformulation of McTaggart's argument for the unreality of time in the General theory:

(P1') There must be physical change, if there is to be physical time.

(P2') Physical change occurs only if some genuine physical magnitude (a.k.a. "observable") takes on different values at different times.

(P3') No genuine physical magnitude countenanced in the General theory changes over time.

From (P2') and (P3') Earman arrives at his first conclusion:

(C') If the set of physical magnitudes countenanced in the General theory is complete, then there is no physical change.

And from (P1') and (C') he arrives at his second conclusion:

(C'') Physical time as described by the General theory is unreal (Earman, 2002, p. 5). According to Earman the frozen dynamic of the General theory implies the unreality of time; i.e. Earman 'derives' the unreality of time from the structure of the General theory but does not consider other criteria.

6 Callender seems to agree with Putnam (1967) and Rietdijk (1966) that the Special theory of relativity (STR) supports some sort of block universe: 'physics – and science itself – will always be against tenses because scientific methodology is always against superfluous pomp.' (Callender, 2007, p. 18; see also Callender, 2000) But in a later paper Callender (2008) characterizes the tenseless view as one whose fundamental properties are the relations of precedence and simultaneity between events. This characterization reveals a much more Leibnizian position, according to which time

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

is the order of succession of events. Hence tenselessness does not imply timelessness.

7 Whilst there are other conserved quantities like the total mass energy of a compound system or the angular momentum, entropy is particularly important because it is a criterion for the 'passage' of time.

References

Aharonov, Yakir and Peter G.Bergman and Joel L. Lebowitz, 1964: Time Symmetry in the Quantum Process of Measurement. In: *Physical Review* 134/6B, pp. 1410–1416.

Aharonov, Yakir and David Z. Albert, 1980: States and observables in relativistic quantum field theories. In: *Physical Review* D21/12, pp. 3316–3324.

Aharonov, Yakir and David Z. Albert, 1981: Can we make sense out of the measurement process in quantum mechanics? In: *Physical Review* D24/2, pp. 359–370.

Callender, Craig, 2000: Shedding Light on Time. In: *Philosophy of Science* 67 (Proceedings), pp. 587–599.

Callender, Craig, 2007: Finding "Real" Time in Quantum Mechanics. In: *PhilSci Archive* 00004262.

Callender, Craig, 2008: The Common Now. In: *Philosophical Issues* 18 (1), pp. 339–361.

Carroll, Sean, 2010: *From Eternity to Here*. Oxford: One World.

Clifton, Rob/Mark Hogart, 1996: The Definability of Objective Becoming in Minkowski Spacetime. In: *Synthese* 103, pp. 355–387.

Clifton, Rob and Hans Halvorson, 2008: Entanglement and Open Systems in Algebraic Quantum Field Theory. In: arXiv: quant-ph/0001107v1.

Dieks, Dennis, 1988: Special Relativity and the Flow of Time. In: *Philosophy of Science* 55/3, pp. 456–460.

Dorato, Mauro, 2006: Absolute becoming, rational becoming and the passage of time. In: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 37, pp. 559–576.

Earman, John, 2002: Thoroughly Modern McTaggart. In: *Philosophers' Imprint* 2/3.

Eddington, Arthur, 1932: *The Nature of the Physical Universe*. Cambridge: Cambridge University Press.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Einstein, Albert, 1907: Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen. In: *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* 4, pp. 411–462.

Gödel, Kurt, 1949: A Remark about the Relationship between Relativity Theory and Idealistic Philosophy. In: Paul A. Schilpp (ed.): *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. La Salle (Ill.): Open Court Volume II, pp. 557–562.

Halvorson, Hans and Rob Clifton, 2002: No Place for Particles in Relativistic Quantum Theories? In: *Philosophy of Science* 69, pp. 1–28.

Harrington, James, 2008: Special relativity and the future: A defense of the point present. In: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 39, pp. 82–101.

Hawking, Stephen and Roger Penrose, 1996: *The Nature of Time and Space*. Princeton: Princeton University Press.

Joos, Georg, 1951: *Theoretical Physics*. London/Glasgow: Blackie & Son.

Lehmkuhl, Dennis, 2012: On Time in Spacetime. In: *Philosophia Naturalis* 49/2, pp. 225–237.

Lucas, John R., 1999: A Century of Time. In: Jeremy Butterfield (ed.) 1999: *The Argument of Time*. Oxford: Oxford University Press, pp. 21–42.

Martinetti, Pierre, 2013: Emergence of time in Quantum Gravity. In: *KronoScope* 13/1, pp. 67–84.

Maudlin, Tim, 1996: Space-Time in the Quantum World. In: James T. Cushing and Arthur Fine and Sheldon Goldstein (eds.): *Bohmian Mechanics and Quantum Theory: An Appraisal*. Kluwer Academic Publishers, pp. 285–307.

Maxwell, Nicholas, 1985: Are Probabilism and Special Relativity Incompatible? In: *Philosophy of Science* 52, pp. 23–44.

Penrose, Roger, 1989: *The Emperor's New Mind*. Oxford: Oxford University Press.

Penrose, Roger, 1994: *Shadows of the Mind*. Oxford: Oxford University Press.

Penrose, Roger, 2005: *The Road to Reality*. Vintage Books.

Planck, Max, 1907: Zur Dynamik bewegter Systeme. In: *Sitzungsberichte der königlichen Preußischen Akademie der Wissenschaften*, pp. 542–570. Und in: *Annalen der Physik 26* (1908), pp. 1–34.

Popper, Karl. R., 1982: *Quantum Theory and the Schism in Physics*. London/New York: Routledge.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Putnam, Hilary, 1967: Time and Physical Geometry. In: *Journal of Philosophy* 64, pp. 240–247.

Rakić, Nataša, 1997: Present, Future, and Special Relativity. In: *British Journal for the Philosophy of Science 48/2*; pp. 257–280.

Rietdijk, Cornellis W., 1966: A Rigorous Proof of Determinism Derived from the Special Theory of Relativity. In: *Philosophy of Science* 33, pp. 341–344.

Rovelli, Carlo, 2009: Forget Time In: arXiv: 0903.3832.

Rugh, Svend E. and Henrik Zinkernagel, 2009: On the physical basis of cosmic time. In: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 40, pp. 1–19.

Savitt, Stephen, 2001: Being and Becoming in Modern Physics. In: Edward N. Zalta (ed.): *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2004 Edition)*. URL = http://plato.stanford.edu/archives/spr2004/entries/einstein-philscience/

Schlegel, Richard, 1968: *Time and the Physical World*. New York: Dover.

Schlegel, Richard, 1977: A Lorentz-Invariant Clock. In: *Foundations of Physics* 7, pp. 245–253.

Schlosshauer, Mathias, 2008: *Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition*. Berlin/Heidelberg: Springer.

Stein, Howard, 1968: On Einstein-Minkowski Space-Time. In: *Journal of Philosophy* 65, pp. 5–23.

Weinert, Friedel, 2004: *The Scientist as Philosopher*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.

Weinert, Friedel, 2010: Relativistic Thermodynamics and the Passage of Time. In: *Humana.Mente* 13, pp. 175–191.

Weinert, Friedel, 2013: *The March of Time*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.

Weingard, Robert, 1972: Relativity and the Reality of Past and Future Events. In: *British Journal for the Philosophy of Science* 23, pp. 119–121.

Weisskopf, Viktor, 1960: The Visual Appearance of Rapidly Moving Objects. In: *Physics Today* 13, pp. 24–27.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Michael Drieschner

A Note on the Quantum Mechanical Measurement Process

Dedicated to Peter Mittelstaedt (1929–2014)

Abstract

Traditionally one main emphasis of the quantum mechanical measurement theory is on the question how the pure state of the compound system 'measured system + measuring apparatus' is transformed into the 'mixture' of all possible results of that measurement, weighted with their probability: the so-called "disappearance of the interference terms". It is argued in this note that in reality there is no such transformation, so that there is no need to account for such a transformation theoretically.

Zusammenfassung

Gewöhnlich liegt ein Hauptgewicht der quantenmechanischen Messtheorie auf der Frage des Übergangs vom ‚reinen Fall' des Gesamtsystems ‚gemessenes System + Messgerät' in das ‚Gemenge' aus allen möglichen Messergebnissen, gewichtet mit ihren Wahrscheinlichkeiten: Das sog. „Verschwinden der Interferenzterme". In dieser Notiz wird die Meinung vertreten, dass es einen solchen Übergang faktisch nicht gibt, so dass es nicht notwendig ist, eine theoretische Erklärung für den Übergang zu geben.

The measurement process: connection of the mathematical theory with reality

Quantum mechanics contradicts many of the traditional prejudices of the (then so-called) classical physics, i.e. mainly mechanics and electrodynamics. From there a discussion originates about its foundations that has not ceased since the discovery of its mathematical structure in 1925/26. Much of that discussion centers on the description of the measurement. That is quite plausible because the measurement is the point

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

in physics where all those theoretical and mathematical constructs are tied to concrete reality. And that is what in the end should be described somehow by quantum mechanics [Mittelstaedt, 1998, 122: "The interface between object theory and metatheory is given by the measuring process"; cf. Lyre, 2010]. The problems arise because measuring instruments are large machines, in dimensions of our everyday life, whereas quantum mechanics is considered to apply mainly to very small objects, of the size of atoms or even smaller elementary particles. But quantum mechanics is supposed to be the universal theory of the change of any object whatsoever, thus also of measuring instruments; and since measuring instruments are composed of atoms, it is quite plausible, too, that the laws of their change could be derived from the laws of the change of atoms. So the subject in question is a quantum mechanical theory of measurement interactions (Bächtold, 2008).

The matter apparently is difficult. It is so difficult that some experts have given up the hope for a solution: Eugene Wigner[1] wrote already in 1963 that a new theory, in addition to quantum mechanics, would be necessary in order to solve the problems of the quantum mechanical measurement. Peter Mittelstaedt, who had dealt with those problems for decades, wrote in his (Mittelstaedt, 1998) that the theory of quantum mechanical measurement suffers from serious inconsistencies, which even his own proposal of 'unsharp measurements' cannot solve. Apparently, he had given up the hope for a solution.

In my opinion this shows that it is now necessary to step back and take quite a new view of the problem. I think this new view has to reconsider the foundations of probability on the one hand and to keep as close as possible to the facts that are characteristic for experiments in quantum mechanics, on the other. Since the formal properties are clear, the questions of interpretation cannot be solved by still more mathematical apparatus, but rather by stepping back for a while and taking a broader view.

In this note I will concentrate on the central point: the 'disappearance of the interference terms' or the 'objectification of the result'. I am proposing a rather simple solution, namely that this process is not necessary for the explanation of the quantum mechanical measurement.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

1. Indeterminist theory

QM is an indeterminist theory: For some measurements there is more than one possibility of outcomes. One of them will turn out to be the "real" result of the measurement.

Since this is a very important aspect I will expose it a bit further.

All classical theories (where 'classical' means all theories that are not quantum, including the Relativity Theories) are fundamentally determinist. This is true also of statistical thermodynamics, which draws heavily upon statistics and probability. But even in that theory one could assume that "really" the whole system (e.g. of molecules in a gas) is in a certain state, albeit unknown, which determines all past and future states. There is a classical formula by P. S. Laplace in his philosophical reflections on probability (Laplace, 1814, p. 2). There he states about a superhuman intelligence that has complete command of mechanics, "nothing would be uncertain for it and the future like the past were present before its eyes." Probability in those theories is considered to only represent the "ignorance" of the scientist.

This is different in quantum mechanics. For quantum mechanics, indeterminism is fundamental; the theory itself states that in general it is impossible to make predictions with certainty. Albert Einstein did not at all like this feature of quantum mechanics. He searched for a replacement theory that would in some way restore its 'classical' character, leaving for quantum mechanics something similar to thermodynamics, which would admit of an ignorance interpretation. But in 1964 J. S. Bell showed that any theory that has in that sense 'classical' properties cannot reproduce quantum mechanical probabilities if it is 'local', i.e. restricted to speeds of interaction that are not higher than the velocity of light. But 'locality' is a fundamental feature every theory has to have according to Special Relativity. The difference between the predictions of quantum mechanics and those of any classical local theory is in certain situations so large that it can be measured with not too much expense, and it has been measured as early as in 1976 (Clauser, 1976); and – as everybody expected – quantum mechanics was confirmed. Thus, as far as we keep within the speed limits of Special Relativity, it is confirmed that quantum mechanics is a really indeterministic theory.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

2. Two types of change

Indeterminacy is the reason for a feature of quantum mechanics that seems rather strange at first glance, namely that the transformations of the state of the system are described as two entirely different types[2]:

– The first type (according to the numbering by John von Neumann, 1932, p. 417–418) is the change caused by a measurement: Before the measurement the state of the system describes the probabilities of all possible outcomes of the measurement. After the measurement there is only the one result left that has become real, the other possibilities have disappeared. That is an instant change of state. In order to keep up a general description of the process, the standard account of the measuring process does not describe that single outcome but goes over to a statistical description of an ensemble of experiments: it describes a "statistical mixture" of all possible results, where every result is weighted with its probability. But we have to keep in mind that the actual measurement outcome is exactly one of the results that were possible before. The statistical mixture is only an abstract aggregation of all results that were possible. Already John von Neumann (1932, p. 417–418) jumps very quickly from the single measurement to the statistical mixture. He writes, after describing the "causal" change of state according to the Schrödinger equation (cf. here below): "On the other hand the state φ is transformed by a measurement – measuring, in this example, a quantity with all simple eigenvalues and the eigenfunctions $\varphi_1, \varphi_2 \ldots$ –, an acausal change that can produce any one of the states φ_1, φ_2, with probabilities $|(\varphi, \varphi_1)|^2$, $|(\varphi, \varphi_2)|^2$, … respectively. I.e. the mixture

$$U' = \sum_{n=1}^{\infty} |(\varphi, \varphi_1)|^2 \cdot P_{[\varphi_n]}$$

is produced. Since here states are transformed into mixtures, this process is not causal."[3] Thus, without further comment, just by "I.e.", Neumann jumps directly from a single result of a measurement to the weighted mixture of all possible results. So, for John von Neumann the first type of change is the transition from the state before the measurement to the mixture after the measurement, and, as far as I can see, all later discussions of the process of measurement do the same. My point in this note is that every measurement yields exactly

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

one of the possible results – impossible to predict, which one –, and not a mixture. We shall come back to that question. – In view of a single event, the name 'collapse of the wave function' has come into use for that first type of state change.

– The second type of change is the one described by the Schrödinger equation. It describes the change of the state (which determines the probabilities of measurement outcomes) according to the dynamics of the system. That change is determinist and reversible, just as in any classical field theory. That second type of change applies for all times when there is no measurement.

That there are two so entirely different types of change is a new feature in physics quantum mechanics has brought about. There have been attempts at unifying the theory again by giving the first type of change a "physical explanation" in terms of the second type: There must be, was the argument, some unusual interaction bringing about the 'collapse of the wave function', which should be describable in the framework of the Schrödinger equation. But imagine that this attempt had been successful. Then there would be a nice determinist description of the reduction of the wave packet, and the whole theory would not be indeterminist any more. Or, to put it the other way round: In an indeterminist theory there must necessarily be two entirely different types of change of state.

3. Probability

Quantum theory is an indeterminist theory. So in general, predictions with certainty are not possible. A weaker kind of predictions is still possible, namely predictions with probability. The probability value is a predicted relative frequency. Probability theory has some difficult points that show up in quantum mechanics as interpretation problems; but actually they are problems of probability. One of those problems is the question, what a probability propositions is about: Does it refer to a single event or does it refer in some way to a collection of events? – Since probability predicts a relative frequency, it is clear that it would not make much sense to attribute probability to a genuinely unique event. On the other hand, a probability proposition gives a predicted frequency that is valid for collections of *any* number of events. Gibbs, in his treatise

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

on statistical thermodynamics (Gibbs, 1902), coined the term "ensemble" for such a collection of collections. Thus a probability proposition applies to an ensemble of events. But how is such an ensemble defined? Which events belong to an ensemble? – The events must be 'equal' as far as the probability assignment is concerned. So, e.g., in throws of dice the conditions of throwing must be the 'same' for all throws, among others providing symmetry of the six sides as far as the throw is concerned. So actually, the ensemble is defined by certain properties of the events that can become elements of the ensemble. Thus there is also a good sense in stating that the probability proposition applies to a single event, namely as far as that event has the properties that include it into the ensemble the probability is about. The ensemble is *not* a definite collection of events; it is rather the aggregate of all possible (finite) sets of events. By the way: there is no use in defining probability as limiting relative frequency for infinite sets of events; for according to probability theory itself, there does not exist a mathematical limit for the relative frequency.

The co-called ensemble interpretation of quantum theory, on the other hand, is quite different: It was an interpretation that tried to approach quantum theory to thermodynamics, according to the pattern proposed by Einstein. Since J. S. Bell showed that theories with "hidden parameters", as far as they are local, cannot reproduce all quantum mechanical probabilities, this type of interpretations has practically disappeared. But in view of Gibbs' concept of ensemble discussed above, every probabilistic theory would have to be an ensemble theory in this Gibbs' sense. It is largely in this sense that the "ensemble interpretation" is presented in the excellent article in Wikipedia (2014). This is different from the "real ensemble interpretation" by Lee Smolin, which is rather in the Hidden-Variables tradition.

4. The usual description of the measurement process[4]

The description of the measurement process is rather intricate because of the universality of quantum mechanics: Since the measured object as well as the measuring apparatus is a physical object the right physical theory for both is quantum mechanics. Therefore the measuring process must be described as an interaction between two quantum mechanical objects – understanding that the measuring apparatus in

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

some sense has 'classical' properties such that the measurement ends up with a definite result (the 'pointer value') that can be read off the measuring apparatus. That this again poses serious difficulties is not the subject of this note.

The process begins with two separate objects, the system under consideration (S) and the measuring apparatus (M). They come into an interaction that results in M showing a "pointer value". If S was in an eigenstate of M before the measurement (i.e. in a state compatible with the measurement) then the pointer value will confirm the corresponding eigenvalue. This is the so-called 'calibration condition'. For all other cases the results will be distributed according to the probabilities of the possible outcomes that can be derived quantum mechanically from the state of S before the measurement. As mentioned above, that process is usually described as a transformation into a 'mixture' with the corresponding probability weights. This transformation, according to that description, is divided conceptually into three stages:

1. The pre-measurement, i.e. the phase when the interaction of the two systems S and M is active. Beginning and end of that phase naturally are approximative idealizations. At the end of the pre-measurement the compound system $S+M$ is in a state that cannot be described as separate states of its components S and M.
2. The 'objectification', i.e. the transformation of the quantum mechanical pure state into the result of a measurement. There the 'cut' between S and M plays an important role in the description by Süßmann because it seems to bring about the transformation from the 'pure state' of the compound System $S+M$ to the 'mixed state' that is supposed to describe the result of the measurement.
3. The 'reading' of the result.

I am not going to discuss all the details. All I am interested in here is the *objectification*, and there specifically the character of the result.

5. "Cut"

As mentioned above, the objectification is usually described as a transformation of the pure state of the compound system into the 'mixture' of the possible results weighted with their probabilities. The reason that

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

such a transformation seems necessary is a discrepancy met with in the description of the measuring process when it is described from two different points of view:

– The dynamics of the measurement interaction results in a pure state of the compound system.
– The description of the expected result of the measurement is a statistical mixture of the possible results, weighted with their probabilities.

There is no quantum mechanical process that could describe the transition from one to the other, because the pure state contains certain 'interference terms' that will never truly vanish by any quantum mechanical process.

In that situation it seemed very practical that those interference terms in the compound object S + M concern only correlations between the two parts S and M; they do disappear if you limit yourself to features the component systems S and M have separately. So the 'cut' between S and M was introduced. It seemed quite plausible that in the end we need a description of the system under consideration without further reference to the measuring apparatus.

The "cut" is an enticing knack to provide a transition form the pure state description to the mixture after the measurement. But that knack does not work, as P. Mittelstaedt has convincingly shown. Mittelstaedt (1998) gives a thorough discussion of all attempts at a solution – as, e.g., decoherence or the Many-Worlds proposal or even his own proposal with unsharp observables – and concludes that there is absolutely no way for an exact objectification of the measured values. One of the reasons a mixture resulting from the cut does not serve as a solution is the fact that this mixture cannot be decomposed into possible results in a unique way; and that would be necessary in order to have an 'ignorance interpretation', i.e. the interpretation that 'in fact' there is a certain result, it is only unknown which one.[5]

I did myself propose the solution[6] which every physicist would agree to, namely that physics can exist only when we accept approximations as part of its foundations. So it would actually not matter dropping those interference terms because they are smaller than the approximations we have to introduce anyway. – That argument is true, but it is still too superficial. I think I can now present a better solution:

The efforts at making disappear the interference terms have brought

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

about a lot of interesting mathematical insights. But to my mind they did not ask the right question. I mentioned above already that the physical process of a single measurement does not produce a mixture but only *one* of the possible results. There can be no mechanism that explains exactly this result, since indeterminism does not allow the existence of a unique mechanism, as mentioned above as well. So, all that can enter into the quantum mechanical description of the measuring process is the calibration condition: *If* the state of the system under consideration before the measurement is compatible with the measurement, then the measurement has to confirm that state.

Consider, as an example, the Stern-Gerlach Apparatus: The beam of silver atoms passes through an inhomogeneous magnetic field and is thereby separated into two beams, one of them with spin up, the other one with spin down. Then the two beams leave two black spots on a glass plate behind the magnet. For a single event, if the spin is 'up' already before the magnet, it will be 'up' after the magnet, too; the atom will end at the glass plate where the atoms with spin-up go; and similarly for spin-down. If the spin is neither 'up' nor 'down' before the magnet, the silver atom will go to either of the two places on the glass plate, the probability being determined by the initial state. *If* the experimentalist prepared a beam of atoms all in the same spin state, he might collect the results of all passages through the magnet in a statistical table and form a mixture of the whole sample; he will find, probably, that the relative frequencies of the results will correspond approximately to the quantum mechanical probabilities. One might as well take the prediction of the result to construct a mixture: every possible result would be represented in the mixture with the weight of its probability. But this is actually a bookkeeping process, not a physical transformation. – By the way, at least in this case there is no question of separating ("cutting") the system from the apparatus. Quite the reverse: The silver atom itself functions here as the pointer of the apparatus!

Put in the more formal terms of the usual description, one would have to turn around the order of the last steps: The first step after the interaction is the 'reading', i.e. the appearance of only *one* of the results that were possible before. Then comes as a second step, if the scientist decides so, the forming of the mixture: it is a formal collection of all possible results of the measurement into a statistical ensemble. This ensemble is the result of a bookkeeping process. It is an ensemble of

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

'classical' results; quantum mechanics must not be applied to that action of the scientist, so there can be no interference terms.

6. The mixture is a concept of classical theory

Thus, the mixture of the possible results is a classical collection: If one likes, one can describe the result of the measurement as a mixture of the different possible results, weighted with their actual frequencies or their probabilities. But beware! This is not a physical process. Physically, every measurement results in just one of the possible outcomes. The mixture as a result of the measurement is composed explicitly by the scientist from the single results he found or from the prediction of the frequencies of the possible results; it is an entirely classical affair. In that respect there is no structural difference between this mixture and the one that describes e.g. the possible results of throws of dice: For a good die the result can be described as a mixture of the six possible results with equal weights – even though every single throw results in exactly one number of points.

7. Objection: the possibility of restoration

Already Wigner writes in his paper of 1963:

[A]ttempts to modify the orthodox theory [...] presuppose that the result of the measurement is not a state vector $\Sigma\alpha_\nu[\alpha^{(\nu)} \times \sigma^{(\nu)}]$ (2), but a so-called mixture, namely *one* of the state vectors $\alpha^{(\nu)} \times \sigma^{(\nu)}$ (3), and that this particular state vector will emerge from the interaction between object and apparatus with the probability $|\alpha_\nu|^2$. If this were so, the state of the system would not be changed when one ascertains – in some unspecified way – which of the state vectors (3) corresponds to the actual state of the system, one would merely 'ascertain which of various possibilities has occurred.' [...] This is not true if the state vector, after interaction between object and apparatus, is given by (2) because *the state represented by the vector (2) has properties which neither of the states (3) has.* (Wigner, 1963, p. 1)

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Then Wigner proceeds to declare that the real difficulty of the theory of measurement is the description or explanation of the transformation from state (2) to state (3).

What Wigner presents as an alternative to the 'orthodox' theory sounds much like our proposal here. But he jumps immediately – like John von Neumann and Peter Mittelstaedt – to the mixture, where 'which of various possibilities has occurred' has to be ascertained later. Starting from there he finds, correctly, that the mixture is physically different from the pure state: the pure state can be restored after it is split into several beams according to the possible results of the measurement; with the mixture, one cannot do that. In the years since 1963 experiments have been performed which show that such restoration is practically possible.

But what does actually happen in an experiment? – Let us take Wigner's example of the Stern-Gerlach-Experiment we mentioned already above: The result of the interaction of the measuring instrument with the measured particle is a pure state, spatially divided into two branches, each one connected with one of the possible outcomes of the measurement ('spin-up' / 'spin-down'). Those two branches could be united again, as Wigner emphasizes, to restore the original (superposition) state as long as there is not interaction. The measurement is completed when that state-function meets the glass plate. Then only one single black spot is left – either in the spin-up or the spin-down position.

As discussed above, there can be no theory of how the state "decides" where to put that black spot, or else quantum theory would not be indeterminist. There is no need for an intermediate state, as e.g. a mixed state, in between; it would not contribute anything to understanding the measurement process.

8. Conclusion

In the discussion so far of the measurement process, the central problem seems to have been the transition from the pure state (Wigner's no. 2) to the mixture of measurement results (Wigner's no. 3). I do not propose a solution to the specific problems of that transition. But I give a solution to the corresponding problem of measurement theory: In the process of measurement there is no such transition!

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Notes

1 Wigner, 1963.
2 Wigner: „The assumption of two types of changes of the state vector is a strange dualism." (Wigner, 1963, p. 7)
3 Translation M.D.
4 The first rather thorough description of this type was given in Süßmann, 1958.
5 Busch et al, 1991, p.24: "This nonunique decomposability of mixed states in quantum mechanics constitutes a first indication that such states do not, in general, admit an ignorance interpretation."
6 Drieschner, 2002, p. 106; Drieschner, 2004, Ch. 8.

References

Bächtold, Manuel, 2008: Five Formulations of the Quantum Measurement Problem in the Frame of the Standard Interpretation. In: *Journal of General Philosophy of Science* 3, p. 17–33.

Bell, John S., 1964: On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox. In: *Physics* 1, p. 195–200.

Busch, Paul; Lahti, Pekka J.; Mittelstaedt, Peter, 1991: *The Quantum theory of Measurement*. Heidelberg etc.: Springer.

Clauser, John F., 1976: Experimental Investigation of a Polarization Correlation Anomaly. In: *Phys. Rev. Lett.* 36; p. 1223. – Better known is: Aspect, Alain; Grangier, P.; Roger, G., 1982: Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequality. In: *Physical Review Letters* 49, p. 91–94.

Drieschner, Michael, 2002: *Moderne Naturphilosophie*. Paderborn: mentis.

Drieschner, Michael, 2004: Die Quantenmechanik – eine Revolution der Naturphilosophie? In*: Philosophia Naturalis* 41, p. 187–225.

Gibbs, Josiah Willard, 1902: *Elementary Principles in Statistical Mechanics*. New York: C. Scribner's sons.

Laplace, Pierre Simon de, 1814: *Essai philosophique sur les probabilités*. Paris: Courcier.

Lyre, Holger, 2010: Why Quantum Theory is Possibly Wrong. In: *Found. Phys.* 40, p. 1429–1438.

Mittelstaedt, Peter, 1998: *The Interpretation of Quantum Mechanics and the Measurement Process*, Cambridge: UP.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Neumann, Johann von, 1932: *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin: Springer. = Mathematical foundations of quantum mechanics. Translated from the German, ed. by Robert T. Beyer. Princeton, N.J. (Princeton University Press) 1955.

Süßmann, Georg, 1958: *Über den Meßvorgang*. München: Beck. (P. Mittelstaedt summarizes Süßmann's account in his *Philosophical Problems of Modern Physics*, Heidelberg: Springer, 1975.)

Wigner, Eugene P., 1963: The problem of measurement in quantum theory. In*: American Journal of Physics* 31, p. 6–15.

Wikipedia, 2014: http://en.wikipedia.org/wiki/Ensemble_interpretation

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Alexander Ehmann

Messung und Invarianz – ein Beitrag zum Metrologischen Strukturenrealismus

Zusammenfassung

Der vorliegende Aufsatz ist ein Beitrag zur Entwicklung des Metrologischen Strukturenrealismus (MSR). Diese wissenschaftstheoretische Position geht auf Matthias Neuber zurück, der sie als dritte Spielart zwischen den großen Strukturenrealismen – dem Epistemischen Strukturenrealismus (ESR) und dem Ontischen Strukturenrealismus (OSR) – ansiedelt. Neuber versucht, die wissenschaftstheoretischen Probleme von ESR und OSR anzugehen, gleichzeitig aber ihre jeweiligen Stärken beizubehalten. Dabei sind die Konzepte der Invarianz, der Struktur und besonders der Messung von zentraler Bedeutung. Ausgehend von Eino Kailas „non-linguistic, realist account of logical empiricism" untersucht der vorliegende Aufsatz die Notwendigkeit einer weiteren strukturenrealistischen Position. Dazu werden die etablierten Strukturenrealismen auf ihre Stärken und Schwächen hin untersucht. Es folgt eine Ausformulierung der Forderungen an den MSR, die über die Darstellung bei Neuber hinaus geht. Diese Forderungen sind ontologischer, epistemischer und metrologischer Natur.

Abstract

The present article is a contribution to the development of metrological structural realism (MSR). This position of philosophy of science goes back to Matthias Neuber, who introduces it as a third variation of the main structural realisms: epistemic structural realism (ESR) and ontic structural realism (OSR). Here, Neuber attempts to tackle the problems of OSR and ESR while preserving their respective strengths. Of central importance to his approach, are the concepts of invariance, structure and, especially, measurement. Starting from Eino Kaila's „non-linguistic, realist account of logical empricism", the present article investigates the necessity of yet another position of structural realism. The established structural realisms are examined for their strengths and weaknesses. Afterwards, the requirements on MSR are formulated in a way that extends beyond Neuber's account. These requirements are of ontological, epistemological and metrological nature.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

1. Einleitung

Im Jahr 2012 hat Matthias Neuber am Ende seines Aufsatzes *Invariance, Structure, Measurement – Eino Kaila and the History of Logical Empiricism*[1] einen interessanten Vorschlag gemacht, diesen aber nicht besonders weit ausgeführt. Es geht dabei um eine weitere Form des Strukturenrealismus: den *Metrologischen Strukturenrealismus* (MSR).

Der MSR sucht seinen Platz als dritte Spielart zwischen den beiden großen Strukturenrealismen – dem Epistemischen Strukturenrealismus (ESR) einerseits und dem Ontischen Strukturenrealismus (OSR) andererseits – und versucht, deren jeweilige Probleme bei gleichzeitiger Beibehaltung ihrer Stärken zu umgehen. Dabei ist das Konzept der Messung und ihrer invarianzkonstituierenden Funktion von zentraler Bedeutung. Die Idee, das Konzept der Messung als invarianzkonstituierendes Moment in der wissenschaftlichen Theorienbildung zu begreifen, findet sich schon bei Eino Kaila. Auf dessen *Über den physikalischen Realitätsbegriff – Zweiter Beitrag zum Logischen Empirismus*[2] von 1941 nimmt Neubers Argumentation starken Bezug.

Zu Beginn des folgenden Abschnitts soll Neubers Darstellung von Kailas *non-linguistic, realist account of logical empiricism* nachgezeichnet werden. Ich werde dazu kurz auf Kailas Positionierung zum Realismusproblem eingehen. Anschließend daran sollen die Kernkonzepte *Invarianz, Struktur* und *Messung*, wie sie sich in Kailas Wissenschaftstheorie wiederfinden, genauer untersucht werden.[3] Es soll gezeigt werden, dass die Konzepte *Invarianz, Struktur* und *Messung* fast untrennbar miteinander verknüpft sind. Sie alle sind für die vorliegende Arbeit von großer Bedeutung.

Daran anschließend werden wir uns mit Neubers Entwurf des MSR befassen. Aufgrund der Tatsache, dass es sich hierbei eben um einen Entwurf handelt, der bis dato eher in Form einer Skizze vorliegt, entspricht die hier gegebene, ausführlichere Darstellung des MSR nicht notwendigerweise den Vorstellungen des Ideengebers. Wir werden ihn vielmehr so entwickeln, dass er als wissenschaftstheoretische Position fruchtbar sein kann. In der Präsentation der ersten Idee des MSR folgen wir aber zu weiten Teilen den Ausführungen Neubers. Da der Metrologische Strukturenrealismus sich zunächst als Abgrenzung zu den etablierten Strukturenrealismen zeigt, werden wir diesen Positionen einige Aufmerksamkeit widmen. Es sollen sowohl die jeweiligen Probleme,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

aber auch die Stärken der verschiedenen Spielarten des ESR und des OSR aufgezeigt und erläutert werden. Außerdem soll geklärt werden, inwiefern der MSR als eigenständige Position zwischen ESR und OSR formuliert werden kann, welche Anleihen er bei ihnen nimmt, worin er sich von ihnen unterscheidet und sogar über sie hinausgeht. Es werden einige Forderungen an den MSR formuliert, wobei die Implementierung von Kailas *non-linguisitic, realist account of logical empiricism* in den MSR eine zentrale Rolle spielen wird.

2. Kailas non-linguistic, realist account of logical empiricism

2.1 Das Realismusproblem bei Kaila

Im Wiener Kreis galt die vorherrschende Meinung, dass es sich bei der Realismusdebatte um die Diskussion eines Scheinproblems handle, dessen Lösung allenfalls im Bereich der Metaphysik zu suchen, und das dementsprechend in der Wissenschaft beziehungsweise der wissenschaftlichen Philosophie nicht zu verhandeln sei. Für Eino Kaila dagegen war das Realismusproblem eines der wichtigsten Probleme der Philosophie überhaupt. Folgt man Ilkka Niiniluoto und seiner Darstellung in *Eino Kaila and Scientific Realism*[4], so ergab sich daraus ein angespanntes Verhältnis zwischen Carnap, Schlick und Kaila:

> Throughout his philosophical career Eino Kaila regarded the choice between realism and anti-realism as an important and fascinating problem. This created a serious tension between him and the leaders of the Vienna Circle – Moritz Schlick and Rudolf Carnap – who wanted to banish the realism debate from science and place it within metaphysics. (Niiniluoto, 1992, S. 103)

Während Carnap und Schlick also auf die Behandlung des Realismusproblems ganz verzichten wollten, folgte Kaila der Intuition, dass zu dieser Frage eben doch etwas Substantielles zu sagen sei. Dabei begnügte er sich auch nicht damit, die Realismusdebatte in den Bereich des Sprachlichen zu verlagern. Der an den Logischen Empirismus des Wiener Kreises anschließende *Linguistic Turn* gestattete zwar die Diskussion des Realismusproblems, reduzierte es aber auf ein rein sprachliches. Kaila war das nicht genug. Als Naturphilosoph ging es ihm um die Frage, wie die Realität tatsächlich beschaffen sei und eben nicht nur

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

darum, wie wir die uns gegebene Wirklichkeit sprachlich beschreiben. Niiniluoto formuliert das wie folgt:

> Kaila had great respect for the exact philosophical method of the Vienna Circle. He consequently strived for a careful formulation of the realism issue, one that would satisfy the critical demands of the new logical empiricism. But it was clear that Kaila – the philosopher of nature who sought to solve the riddle of reality – could not follow the linguistic turn of analytical philosophy: for him the deepest problems of philosophy concern reality rather than language. (Niiniluoto, 1992, S. 103)

Kaila teilte also weder Carnaps Position, dass das Realismusproblem nur ein Scheinproblem und dementsprechend nicht ernsthaft zu verhandeln sei,[5] noch folgte er den Vertretern des Linguistic Turn wie etwa Reichenbach[6] und später Feigl[7] in ihrer Ansicht, dieses Problem sei im Grunde ein rein sprachliches und als eben solches zu behandeln. Für ihn sollte das Realismusproblem unabhängig von linguistischen Problemstellungen behandelbar sein. Dennoch hatte, wie Niiniluoto im eben zitierten Text bemerkt, Kaila große Hochachtung für die exakten Methoden des Wiener Kreises und des „neuen Logischen Empirismus".

Neuber (2012) fasst drei Thesen zusammen, die in Kaila (1941)[8] dem Logischen Empirismus zugeschrieben werden:

(1) There are no synthetic judgments *a priori*.[9]
(2) In order to count as scientific, statements must, in principle, be testable.[10]
(3) Statements about physical things must be translatable into statements about particular perceptions.[11]

Wie Neuber zeigt[12], verwirft Kaila die letzte dieser drei Thesen als unnötig. Kaila selbst schreibt:

> Für den in dieser Arbeit durchzuführenden Beweisgang ist freilich die Annahme der Übersetzbarkeit nicht notwendig; die Prüfbarkeit würde genügen. (Kaila, 1941, S. 31)

Gerade hierin, so Neuber, findet sich die Grundlage für Kailas Unterscheidung zwischen dem Logischen *Empirismus* einerseits und dem Logischen *Positivismus* andererseits. Der Logische Positivismus versuche, durch die Forderung der Übersetzbarkeit wissenschaftlicher Aussagen in Aussagen über Wahrnehmungen, erstere auf letztere zu reduzieren und begehe gerade darin einen Fehler. Folgt man dieser

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Unterscheidung, so bedeutet die Ablehnung der dritten These des Logischen Empirismus die Ablehnung des Logischen Positivismus insgesamt und stößt erst „die Tür zu einer realistischen Auffassung von Wissenschaft und Natur“ auf.[13]

These 3 und ihre Ablehnung soll an dieser Stelle noch etwas ausführlicher diskutiert werden, auch im Zusammenhang mit These 2, die Kaila und Neuber ja nicht verwerfen wollen. Zunächst sei die Bemerkung gestattet, dass die Ablehnung der These 3 im Rahmen der Entwicklung einer realistischen Position bezüglich der Naturwissenschaften kaum verwundern kann. Nicht bloß würden mit ihr Aussagen, etwa über Atome oder andere, in der Regel unbeobachtbare Gegenstände der Natur, als unwissenschaftlich ausgezeichnet. Auch die Aussagen einer bis dato noch nicht überprüften Theorie würden damit aus dem Bereich des Wissenschaftlichen verbannt. In der Folge wäre bereits die reine *Spekulation,* nicht nur über *prinzipiell Unbeobachtbares*, sondern auch über lediglich *de facto noch nicht Beobachtetes*, wissenschaftlich unredlich. Das allerdings entspricht in keinster Weise der gängigen wissenschaftlichen Praxis, und das tat es auch zu Zeiten Schlicks, Carnaps, Reichenbachs, Feigls und Kailas nicht.

Darüber hinaus könnte es für die später in dieser Arbeit anzustellenden Betrachtungen lohnenswert sein, noch einen kurzen Blick auf These 2 und ihr Verhältnis zu These 3 zu werfen. Mit These 2 wird eine Forderung an wissenschaftliche Aussagen gestellt, nämlich die, dass solche Aussagen prinzipiell überprüfbar sein sollen. Kaila übernimmt diese Forderung, ebenso Neuber in leicht abgewandelter Form bei der ersten Formulierung des Metrologischen Strukturenrealismus. Wenn man so möchte, ist These 2 eine schwächere Version der These 3, die, wie wir bereits festgestellt haben, vor dem Hintergrund tatsächlicher wissenschaftlicher Praxis so nicht haltbar ist. Während These 3 eine *unmittelbare Übersetzbarkeit* wissenschaftlicher Aussagen in Aussagen über Wahrnehmungen einfordert, verlangt These 2 lediglich die *Testbarkeit* solcher Aussagen. Nun muss man sich freilich die Frage gefallen lassen, was genau diese Testbarkeit denn eigentlich sein, worin sie zum Ausdruck kommen soll. Ohne Zweifel spielt bei allen Tests, die eine von Menschen aufgestellte These überprüfen sollen, irgendeine Form der Beobachtung eine Rolle, und wenn diese Beobachtung auch nur darin besteht, die Anzeige eines Messgeräts oder eines Bildschirms abzulesen. Insofern findet auch bei der Überprüfung wissenschaftlicher Aussagen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

im Sinne der These 2 irgendwann eine Übersetzung in Aussagen über Wahrnehmungen statt oder kann wenigstens prinzipiell stattfinden – man muss diese Aussagen über Wahrnehmungen ja nicht tatsächlich ausformulieren. Im ersten Moment könnte das den Positivisten freuen, scheint es doch so, als käme auch der nicht-positivistische Empirist nicht ohne die positivistische Übersetzbarkeitsforderung, also auch nicht ohne These 3, aus. Das allerdings stimmt nur zur Hälfte. Ja, in der Tat findet an irgendeiner Stelle eine Übersetzung in Aussagen über Wahrnehmungen statt oder kann im Prinzip stattfinden. Allerdings handelt es sich bei den Aussagen, die da potentiell übersetzt werden, in der Regel nicht um die zu überprüfenden wissenschaftlichen Hypothesen, sondern um *Hilfshypothesen*, die gerade zum Zwecke der Überprüfung der eigentlichen Hypothesen mit angegeben werden. Ein Beispiel: Wenn wir die Hypothese aufstellen, dass an einer Stromquelle eine Spannung anliegt, dann werden wir nicht die direkte Beobachtbarkeit dieser Spannung einfordern, wie wir es entsprechend These 3 müssten. Stattdessen werden wir eine Hilfshypothese aufstellen: Wenn eine Spannung an der Stromquelle anliegt, dann wird ein Spannungsmessgerät ausschlagen, sobald wir es anschließen. Diesen Ausschlag des Messgeräts können wir beobachten und prinzipiell in Aussagen über Wahrnehmungen übersetzen. Die Spannung als solche können wir nicht beobachten, was wir gemäß These 3 aber müssten, um unsere Aussage als eine Aussage über physikalische Dinge verstehen zu dürfen. Der strenge Positivist darf demnach nur Aussagen über direkt Beobachtbares treffen, während der nicht-positivistische Empirist auch Aussagen über lediglich indirekt Beobachtbares ernst nehmen kann. Das wird durch den Gebrauch von Hilfshypothesen als Werkzeuge der Überprüfung wissenschaftlicher Hypothesen ermöglicht. Zudem ist die Anerkennung der Rolle der Hilfshypothesen innerhalb des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses eine gute Grundlage zur Argumentation gegen die Behauptung, die empirische Wissenschaft sei von der menschlichen Erfahrungswirklichkeit vollständig abgetrennt und schon allein deshalb in Zweifel zu ziehen. Der Positivist kann, wenn er die Rolle der Hilfshypothesen anerkennt, also auch dieses Argument nicht mehr gegen den Empiristen stark machen.

Abgesehen davon, dass es sich bei der Forderung nach Überprüfbarkeit um eine Bedingung strenger Wissenschaftlichkeit handelt, mit der gewisse Theorien – etwa die Stringtheorie – durchaus hadern,[14] kann sie

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

auch ein wichtiges Prinzip bei der Wahl der „richtigen" Deutung quantenmechanischer Experimente sein. Je nachdem, ob These 2 auch dort gelten soll, scheinen gewisse, situationsspezifische Aussagen über die Eigenschaften der Objekte der Quantenmechanik zulässig oder nicht. Insofern scheint auch die Beantwortung der Frage, wann eine Deutung der Quantenmechanik eine realistische ist bzw. wann sie in den Bereich der metaphysischen Spekulation fällt, an die Annahme oder Ablehnung der These 2 geknüpft. Man könnte so argumentieren: Der Zustand eines quantenmechanischen Systems *vor der Messung* ist streng genommen nicht im Sinne der These 2 überprüfbar, da zu dieser Überprüfung ja die Überprüfung einer Hilfshypothese durch eine Messung notwendig ist. Nach der Messung befindet sich ein quantenmechanisches System in der Regel aber gerade nicht mehr im selben Zustand wie vor der Messung, ganz im Gegensatz zu klassischen Systemen, die von der Messung nicht oder nur in vernachlässigbarem Maße beeinflusst werden. Dementsprechend genügen konkrete Aussagen über den Zustand eines quantenmechanischen Systems, der nicht gemessen wurde oder vorher schon feststand, nicht der in These 2 formulierten Bedingung von Wissenschaftlichkeit und sollten folglich auch nicht realistisch gedeutet werden. Dem ist zu entgegnen: Eine realistische Deutung des Zustands eines noch nicht gemessenen, quantenmechanischen Systems ist eben *doch* möglich! Ganz recht: Ob ein Elektron in einer festgelegten Richtung X Spin up oder Spin down aufweist, steht erst nach der Messung fest. Wurde der Elektronspin zuvor in einer anderen Richtung Y gemessen – und damit festgelegt – können lediglich Wahrscheinlichkeiten für die Messung des Spins up oder down in X-Richtung angegeben werden. Diese Wahrscheinlichkeiten ergeben sich jedoch aus der häufigen Wiederholung eines solchen Experiments – Präparation des Systems mit Spin up in Y-Richtung, Messung des Spins in X-Richtung – und lassen sich auch mathematisch formulieren. Der Formalismus der Quantenmechanik enthält mit der Schrödingergleichung ja eine Möglichkeit zur Berechnung dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung. Gerade weil sie aber aus tatsächlich durchgeführten Messungen gewonnen und als Gesetz in den Formalismus der Quantenmechanik eingegangen ist, genügen *Aussagen über die Wahrscheinlichkeitsverteilung* von Spin up und down bezüglich eines quantenmechanischen Systems der in These 2 aufgestellten Forderung und dürfen durchaus realistisch gedeutet werden.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

2.2 Invarianz, Struktur, Messung

In Neubers Darstellung von Kailas *non-linguistic, realist account of logical empiricism* werden drei wesentliche Elemente hervorgehoben:

> [...] Kailas non-linguistic, realist account of logical empiricism (a) exploits the concept of invariance, (b) is built on an ontology of structures, and (c) is enhanced by Kailas theory of measurement. (Neuber, 2012, S. 5)

In den folgenden Abschnitten werde ich auf diese drei Punkte eingehen. Vor allem soll verdeutlicht werden, dass die drei genannten Konzepte *Invarianz*, *Struktur* und *Messung* keinesfalls für sich alleine stehen, sondern eng miteinander verknüpft sind.

2.2.1 Invarianz

Der Begriff der Invarianz bezeichnet bei Kaila ganz allgemein die Tatsache der Unveränderlichkeit eines Systems oder einer Eigenschaft eines System bei bestimmten Transformationen.[15] Neubers Beispiel hierfür ist eine Fläche, deren Größe bei einer Drehung im Raum unverändert bleibt. Die Drehung der Fläche ist hier die Transformation, gegenüber der die Größe der Fläche eine invariante Eigenschaft ist. Im Formalismus der Quantenmechanik wäre ein entsprechendes Beispiel die Anwendung eines Operators auf einen Zustandsvektor, so dass sich als Ergebnis dieser Operation derselbe Zustandsvektor ergibt. Messen wir etwa den Spin eines Elektrons in *X*-Richtung, haben dieses Elektron aber schon mit Spin *up* in *X*-Richtung präpariert, so ergibt diese Messung mit Sicherheit Spin *up* in *X*-Richtung. Die Eigenschaft des Elektrons, in *X*-Richtung Spin *up* aufzuweisen, ist gegenüber der durchgeführten Operation – die in anderen Fällen durchaus den Zustand des Systems ändern kann – invariant.

Von besonderer Bedeutung ist im Rahmen dieses Aufsatzes allerdings, dass Invarianz für Kaila „the defining feature of reality"[16] darstellt:

> There is knowledge only when some similarity, sameness, uniformity, analogy, in brief, some invariance is found and given a name. In knowledge, we are always concerned with invariances alone. The full significance of this fact will emerge gradually. (Kaila, 1979b [1942], S. 131)

Vor dem Hintergrund des eben Gesagten wird dann auch Kailas Zuordnung unterschiedlicher Realitätsebenen zu unterschiedlichen Graden von Invarianz verständlich.[17] Im Bereich der sinnlichen Wahrnehmung

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

sind die Beobachtungen, die wir anstellen, kaum invariant. Ein und dieselbe Erdbeere sieht nicht immer gleich aus. Schon ihre Farbe ändert sich, wenn wir sie unter verschiedenen Lichtbedingungen betrachten. Ebenso wird sie für einen Beobachter mit Rot-Grün-Sehschwäche anders aussehen als für jemanden ohne diese Symptomatik. Darüber hinaus ist es auch nicht ausgeschlossen, dass unterschiedliche Beobachter trotz gleicher Rahmenbedingungen unterschiedliche Farbeindrücke haben. Wer will schon mit Sicherheit behaupten, dass seine Qualia von Rot denen eines anderen exakt entsprechen. Die Farbe einer Erdbeere ist demnach gegenüber gewisser Transformationen wie der Änderung der Lichtverhältnisse, der Physiologie des Auges, wahrnehmungspsychologischer Dispositionen usw. veränderlich, also auch nicht objektivierbar. Daraus folgt, dass sie im Kailaschen Sinne nicht oder nur wenig *real* ist.

Betrachten wir dagegen die Frage, welche Bereiche des elektromagnetischen Spektrums von der Erdbeere in welchem Maße reflektiert werden. Diese Frage kann mit Hilfe eines Spektrometers beantwortet werden, indem wir das Reflexionsvermögen der Erdbeere für einen bestimmten Wellenlängenbereich vermessen. Die Ergebnisse dieser Messung sind unabhängig vom persönlichen Farbempfinden eines Beobachters, folglich invariant gegenüber der „Beobachtertransformation" und mithin objektivierbar. Dementsprechend korrespondiert die so gemessene Eigenschaft der Erdbeere einer höheren Realitätsebene als die subjektive Wahrnehmung eines Betrachters.[18]

An dieser Stelle ist noch nicht ganz klar, was genau es mit dem Konzept der Invarianz bei Kaila und dessen Bedeutung für sowohl Objektivitäts- als auch Realitätsbehauptungen auf sich hat. Dieser Umstand liegt in der Tatsache begründet, dass wir die mit diesem Konzept verquickten Begriffe Struktur und Messung wohl schon ein paar Mal angesprochen, jedoch noch nicht genau untersucht haben. Das soll in den folgenden Abschnitten geschehen.

2.2.2 Struktur

Wie oben bereits angedeutet gibt es bei Kaila ein hierarchisches System von Realitätsebenen, die entsprechend dem Grad der Invarianz, mit dem sie einhergehen, geordnet sind. Kaila unterscheidet dabei drei Ebenen:[19]

- Level 3: s-objects / physico-scientific objects (physikalische Gegenstände)
- Level 2: f-objects / physical objects (physische Gegenstände)
- Level 1: φ-objects / phenomenal objects

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Die Gegenstände der *phänomenalen Wahrnehmung*, die so genannten *φ-objects*, befinden sich in dieser Darstellung auf der untersten Ebene. Erinnern wir uns an unser Beispiel von oben. Was wir dort als die wahrgenommene Farbe der Erdbeere beschrieben haben gehört in diese Kategorie. Da solche Wahrnehmungen in hohem Maße von den Rahmenbedingungen und individuellen Dispositionen des wahrnehmenden Subjekts abhängig sind, sind die Gegenstände dieser Ebene kaum invariant und deshalb auch nur wenig real. Dennoch bilden sie die epistemologische Basis des Kailaschen Konstitutionssystems: sie sind zwar in hohem Maße subjektiv, im selben Moment aber auch gerade das, was uns direkt zugänglich ist.

Auf der zweiten Ebene befinden sich die *f-objects*, also physische Gegenstände. Damit sind Objekte unserer Alltagswelt gemeint, etwa Tische, Menschen oder die Erdbeere aus dem Beispiel von oben. Sie sind weniger subjektiv als *φ-objects*, in höherem Maße invariant und damit auch realer als jene: ob man die Erdbeere nun unter diesem oder jenem Licht betrachtet, ob man an einer Fehlsichtigkeit leidet oder nicht, es handelt sich doch immer um ein und dieselbe Erdbeere, die über persistierende phänomenale Wahrnehmungen und von verschiedenen Beobachtern konstituiert wird. Diese Persistenz über verschiedene Rahmenbedingungen und Beobachter macht die größere Invarianz, damit Objektivität und folglich Realität der Gegenstände der zweiten Ebene aus.

Hierarchisch an oberster Stelle befinden sich in diesem System die *s-objects*. Sie sind *physikalische Gegenstände*, etwa Atome oder elektromagnetische Felder, aber auch physikalische Gesetze. In unserem Beispiel wäre hier die Beschreibung des Lichts, das die Erdbeere reflektiert, einzuordnen, aber eben nicht im Sinne einer Wahrnehmungsbeschreibung des Roteindrucks, der beim Betrachten der Frucht entsteht, sondern vielmehr die mit Hilfe eines Spektrometers unter exakt festgelegten Bedingungen vermessene Lichtintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Reflexionsspektrums, mitunter auch im nicht sichtbaren Bereich. Diese Messung und die daraus resultierende Messkurve sind vom einzelnen Beobachter vollständig unabhängig. Ist das Verfahren genau spezifiziert und die benötigten Instrumente vorhanden und geeicht, kann die Messung von beliebigen Personen oder auch einer Maschine durchgeführt werden. Das Ergebnis bleibt dabei immer dasselbe. Aus diesem Grunde kommt den so gewonnenen Erkenntnissen das größte Maß an Invarianz, Objektivität und Realität zu.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Für das Verständnis von Kailas „system of the concepts of reality" ist von besonderer Wichtigkeit, dass die Gegenstände einer Ebene die Gegenstände der jeweils höheren Ebene als *Systeme von Relationen*[20] konstituieren, und zwar in dem Sinne, dass die *invarianten Anteile* der Objekte einer Ebene, beispielsweise die rote Farbe und der typische Geschmack mehrerer φ-objects, als konstitutiv für ein f-object der höheren Ebene angesehen werden. Hier gilt es zu beachten, dass ein Gegenstand einer höheren Ebene durchaus mehreren Gegenständen der darunterliegenden Ebene zugeordnet sein kann. So handelt es sich bei den Roteindrücken, die durch das Betrachten *einer* Erdbeere hervorgerufen werden, jeweils um *verschiedene* φ-objects, welche dann zueinander ins Verhältnis gesetzt – man könnte auch sagen: miteinander verglichen – werden. Die *Relation*, die hierbei zum Tragen kommt, ist freilich die der *Gleichheit* oder *Ähnlichkeit*, worin sich die Verwandtschaft zu Carnaps Konstitutionssystem[21] sehr deutlich zeigt.

Genauso vollzieht sich die Konstitution der s-objects als Systeme von Relationen zwischen f-objects. Diese werden miteinander verglichen, es wird von ihren unwesentlichen Eigenschaften abstrahiert, so dass am Ende jene Eigenschaften übrig bleiben, die für den Gegenstand und das aktuelle, wissenschaftliche Interesse von Bedeutung sind. Betrachtet man beispielsweise die Masse eines Gegenstandes, so spielt seine Form und Größe keine Rolle. Man kann so tun, als ob es sich um eine punktförmige Masse handle. Will man nun etwas über die Gravitationskraft in Erfahrung bringen, die idealisiert punktförmige Massen aufeinander ausüben, so beobachtet man die gegenseitige Einflussnahme verschiedener solcher Massen in verschiedenen Abständen zueinander und versucht, eine Gesetzmäßigkeit zu entdecken.

Hier wird deutlich, dass der Übergang von f-objects zu s-objects ein wesentlich größeres Maß an Abstraktion und Idealisierung erfordert, als das beim Übergang von φ-objects zu f-objects der Fall ist: Der Weg von konkreten Gegenständen zu punktförmigen Massen, von punktförmigen Massen zum Gravitationsgesetz ist bedeutend weiter als der vom roten Fleck im Gesichtsfeld zur Erdbeere. Nun handelt es sich bei den s-objects aber nicht – wie eben gezeigt – bloß um Abstraktionen von f-objects in dem Sinne, dass man sie gedanklich aller für die aktuelle Betrachtung unwichtiger Eigenschaften beraubt. Vielmehr sollen hierunter auch theoretische Terme wie Elektronen oder elektromagnetische Felder, außerdem andere theoretische Entitäten wie zum Bei-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

spiel Gleichungen, die Naturgesetze repräsentieren, fallen. Diese jedoch werden keinesfalls durch Abstraktion oder Idealisierung alltäglicher Gegenstände gewonnen. Sie sind zunächst Hypothesen, Schöpfungen des kreativen Geistes des Wissenschaftlers, von denen schließlich jene in den Kanon der aktuellen Theorien eingehen, die sich in der empirischen Überprüfung bewährt haben. Von einer direkten Konstitution der s-objects als Systeme von Relationen zwischen f-objects kann aus Sicht der wissenschaftlichen Praxis also nicht oder wenigstens nicht immer die Rede sein.

Überdies ist in Zweifel zu ziehen, ob es überhaupt einen fundamentalen Unterschied zwischen f-objects und nicht-gesetzesartigen s-objects gibt. Selbstverständlich unterscheiden sie sich in phänomenologischer Hinsicht: f-objects können mit Hilfe von φ-objects konstituiert werden, s-objects jedoch nicht. Das heißt jedoch nur, dass f-objects im Gegensatz zu s-objects direkt beobachtbar sind, und zwar in dem Sinne, dass sie in unserem Wahrnehmungsapparat in Form von φ-objects repräsentiert werden können. Gerade diese Unterscheidung zwischen direkt beobachtbaren und nicht direkt beobachtbaren Gegenständen aber ist hochgradig kontingent und deshalb voreilig. Dass nämlich bloß f-objects ab einer gewissen Größe unserer pseudodirekten Wahrnehmung vermittels φ-objects zugänglich sind, kleinere jedoch nicht, hängt – wie gesagt – mit unserem Wahrnehmungsapparat zusammen. Allein jedoch die Tatsache, dass Atome zu klein, dass elektromagnetische Felder im Infrarotbereich zu langwellig sind, um von uns als φ-objects repräsentiert und wahrgenommen zu werden, heißt nicht, dass sie einer anderen Ebene der Realität angehören. Die Grenzziehung zwischen den Ebenen scheint also recht willkürlich: Bakterien sind nicht direkt beobachtbar. Gehören sie deshalb zu den s-objects? Nun könnte man manche Hilfsmittel, beispielsweise Lichtmikroskope, zulassen. Alles, was damit beobachtbar ist, gehört noch in den Bereich der f-objects. Viren sind mit einfachen Lichtmikroskopen nicht zu beobachten, gehören demnach also zu den s-objects. Was aber, wenn man die Menge der zulässigen Hilfsmittel erweitert, etwa um leistungsstarke Elektronen- oder gar Rastertunnelmikroskope, die noch viel kleinere Strukturen bis hin zu einzelnen Atomen „sichtbar" machen, und so weiter? Letztlich – und das ist der springende Punkt – ist die Grenzziehung zwischen den Ebenen der f- und der nicht-gesetzesartigen s-objects willkürlich und, wenn überhaupt, dann eher eine Frage der technischen Realisierbarkeit

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

von Beobachtungsverfahren, weniger die verschiedener Realitäten oder sinnvoll zu unterscheidender Realitätskonzepte. Wenn es aber keinen Grund für die Unterscheidung von f- und s-objects gibt, so kann es auch keinen Grund für die Annahme geben, die einen würden mit Hilfe der anderen konstituiert, ganz gleich in welcher Weise dies geschehen soll.

Eine Unterscheidung zwischen f- und s-objects im Kailaschen Sinne wäre allenfalls zwischen gesetzesartigen und nicht-gesetzesartigen Entitäten sinnvoll. Die Gesetze der Newtonschen Mechanik oder die Schrödingergleichung wären dann s-objects, weil sie keine konkreten Gegenstände wie Planeten oder Photonen (in diesem Fall also f-objects), sondern lediglich deren Verhalten abstrakt und in allgemeiner Form beschreiben. Das entspräche auch dem, was Kaila in *Über den physikalischen Realitätsbegriff* zur Entdeckung von Gesetzen und der damit einhergehenden Generalisierung schreibt:

> Was dieses Beispiel[22] lehrt, gilt für alle Fälle, in denen die Entdeckung des allgemeinen Gesetzes eines Bereiches gelingt. Denn in demselben sind ja die diskreten Werte der Einzelbeobachtungen durch einen Wertverlauf gewisser Variablen ersetzt worden; eine Interpolation und Extrapolation, die weit über das bisher bekannte hinausführen, ist dadurch vorgenommen worden. Das Suchen nach den höheren Invarianzen führt dazu, dass Konstanten fortlaufend durch Variablen ersetzt werden, deren Werte durch gewisse Funktionen bestimmt sind – wie z.B. die Galileische Beschleunigungskonstante *g* in der Newtonschen Mechanik durch die Gravitationsvariable *P*, deren Werte Funktionen von Massen und Abständen sind, ersetzt wird. (Kaila, 1941, S. 46f.)

Kaila spricht hier eindeutig von gesetzesartigen s-objects. Aber auch in diesem Bereich tritt ein Problem auf: unter den so gewonnenen s-objects gibt es allgemeine und weniger allgemeine Gesetze und Theorien. Die Newtonsche Mechanik etwa geht inklusive ihrer Gesetze in die Einsteinsche Relativitätstheorie als Spezialfall ein. Wenn nun gefordert ist, dass die Gesetze beider Theorien als s-objects gelten, so muss innerhalb dieser Menge abermals differenziert werden.

Trotz dieser Probleme von Kailas „system of the concepts of reality" soll die Kritik daran nicht zu weit getrieben werden. Dem Grundsatz nach ist seine Idee, dass es – aus epistemologischer Perspektive – (Realitäts-)Konzepte mit größerer, andere mit geringerer Invarianz gibt, sicher richtig. Lediglich die Art und Weise der Konstitution dieser Konzepte und ihre Unterteilung in ausgerechnet drei Realitätsebenen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

scheint mir aus den genannten Gründen ein wenig aus der Luft gegriffen, zumindest für den Bereich der f- und s-objects. Nichts desto trotz gibt es in den Naturwissenschaften – gerade in der Physik – ohne Zweifel theoretische Entitäten, die in unserer Alltagserfahrung nicht auftauchen und in diesem Sinne rein wissenschaftlich sind. Darunter fallen insbesondere theoretisch formulierte Naturgesetze, aber auch – unter Vorbehalt der oben geäußerten Kritik – theoretisch etablierte, nichtgesetzesartige Gegenstände wie Felder oder Elementarteilchen. Diese sollen, weil sie ohnehin fast ausschließlich innerhalb physikalischer Theorien gebraucht werden, auch im Folgenden „s-objects" genannt werden.

Als (rein) theoretische Entitäten ist es den s-objects zu eigen, dass sie nicht von den gegebenen Wahrnehmungsdaten abgelesen werden und dementsprechend nicht aus φ-objects konstituiert werden können. In diesem Sinne verfügen sie nicht bloß über größere Invarianz, sondern stellen auch Idealisierungen und Generalisierungen tatsächlich beobachteter Gegenstände und Phänomene dar. Dazu Neuber:

> [...] for Kaila the search for higher invariances is intimately bound up with the process of idealization. According to Kaila, s-level objects cannot be read off directly from the given sensory basis. Rather, s-objects, like the mass points of classical mechanics or theoretical entities of modern microphysics, are constructed by a complicated procedure of smoothing, simplifying and even fictionalizing certain features of the objects in question. Nevertheless, s-objects are not thereby rendered any less relevant. (Neuber, 2012, S. 8)

Diese Feststellung trifft ganz besonders auf die gesetzesartigen s-objects zu. Naturgesetze sind keine konkreten Gegenstände der Alltagswelt. Sie liegen nicht auf Laborbänken herum. Ebenso wenig werden sie in Teilchenbeschleunigern erzeugt. Sie sind *mathematisierte* und *generalisierte* Beschreibungen[23] tatsächlich beobachteter Phänomene und als solche natürlich nicht bloß hochgradig invariant, sondern auch und vor allem *nicht direkt beobachtbar*.

Die Idealisierung und Generalisierung theoretischer Entitäten und die damit einhergehende Unbeobachtbarkeit derselben hat zur Folge, dass die oben genannte These 2 des Logischen Empirismus – „In order to count as scientific, statements must, in principle, be testable." – abgeschwächt werden muss – wenigstens dann, wenn jene Aussagen weiterhin als wissenschaftlich und von der realen Welt handelnd gelten, die dort behaupteten Entitäten selbst als *real* betrachtet werden sollen.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Gerade das ist ja die Kernthese von Kailas non-linguistic, *realist account of logical empiricism*. Im dritten Kapitel *Die Idealisierung* von *Über den physikalischen Realitätsbegriff* schreibt er gleich im dritten Absatz:

> Wenn wir jedoch [...] zu den „mathematisierenden" Theorien übergehen, wird das Verhältnis zwischen Theorie und Erfahrung wegen eines Verfahrens kompliziert, das in jeder, auch der einfachsten „mathematisierenden" Theorie enthalten ist, wegen der *Idealisierung*. Dieses Verfahren hat zur Folge, dass die strenge Prüfbarkeit durch eine „gelockerte" oder „abgeschwächte" Prüfbarkeit ersetzt werden muss ungefähr in gleichem Sinne wie die strenge Entscheidbarkeit durch eine „gelockerte" oder „abgeschwächte" Entscheidbarkeit ersetzt wurde. (Kaila, 1941, S. 60)

Diese Forderung ist nicht weiter verwunderlich. *Mathematisierte* Theorien treffen *generalisierte* Aussagen über *idealisiert* beschriebene Entitäten, und damit gerade nicht über direkt beobachtbare Phänomene der Alltagswelt. Das heißt aber nicht, dass diese Theorien und Entitäten nichts mit der Realität zu tun hätten, sondern bloß, dass die so beschriebene Realität uns nicht *unmittelbar* zugänglich ist. Wie oben bereits angedeutet gibt es jedoch ein Werkzeug, vermittels dessen auch Hypothesen über diesen Bereich der Realität durchaus überprüfbar werden: Hilfshypothesen. Sie geben an, was wir im Experiment beobachten sollten. Beobachten wir trotz korrekter Durchführung des Experiments etwas anderes, so gilt die entsprechende Hypothese als falsifiziert.[24]

Hier deutet sich abermals die zentrale Rolle des Konzepts der Messung, sowohl in Kailas Konstitutionssystem als auch in der wissenschaftlichen Praxis, an. Im folgenden Abschnitt soll dieses Konzept noch etwas näher beleuchtet werden, bevor wir uns dann der Darstellung und Einordnung des Metrologischen Strukturenrealismus widmen.

2.2.3 Messung

Wenn wir es, wie im letzten Abschnitt beschrieben, mit mathematisierten Theorien zu tun haben, treten Gleichungen oder Gleichungssystemen auf, die das Verhältnis mindestens zweier Terme, die als Konstante oder Variable vorkommen können, beschreiben. Ein einfaches Beispiel hierfür ist die Formalisierung des zweiten Newtonschen Gesetzes: $\vec{F} = m\vec{a}$. Diese Gleichung setzt die Änderung der Bewegung – also die Beschleunigung – einer Masse zu der auf dieselbe wirkenden Kraft in Relation. Bei der Betrachtung der Gleichung wird deutlich, dass

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

– bei konstanter Masse – mit einer größeren Kraft auch eine größere Beschleunigung einhergeht, oder dass für dieselbe Beschleunigung bei einer größeren Masse eine größere Kraft wirken muss. Die Terme der Gleichung sind Variablen. Sie beschreibt also nicht bloß eine einzelne Beobachtung – etwa: „Um eine Masse von 2,3 Kilogramm um 4,2 Meter pro Sekunde zum Quadrat zu beschleunigen, muss eine Kraft von 9,66 Newton aufgebracht werden" – sondern jede mögliche Beobachtung des wechselseitigen Verhältnisses von Kraft, Masse und Beschleunigung *gleichzeitig*. Hier drängt sich die Frage auf, wie es zur Aufstellung solcher Gleichungen kommt. Kaila stellt in seiner *Theorie des Messens*[25] zwei mögliche Sichtweisen in den Raum, die Neuber wie folgt zusammenfasst:

> Here, Kaila points out that two opposite views can be identified: conventionalism or positivism, on the one hand, and empiricism, or realism, on the other. Wherein lies the difference? According to Kaila, the conventionalist view implies that measurement consists in the mere imposition of numerals onto phenomena, whereas the empiricist account initially claims that the correlation between phenomena and numerals must be discovered by executing measurements. […] The conventionalist consequently aims at a convention-based economical description of measurable data, while the empiricist is looking for invariant and, at the same time, quantitatively expressible relationships among such data. The decisive contrast, then, is to be found between economy, on the one hand, and invariance, on the other. (Neuber, 2012, S. 10)

Auf die Unterschiede dieser beiden Positionen kann hier nicht im Detail eingegangen werden. Von besonderer Bedeutung ist für uns allerdings, dass, aus Kailas Sicht, Gleichungen und Theorien nicht bloß adäquate und ökonomische Beschreibungen der durch Messungen gewonnenen Daten sind, sondern auch und vor allem *invariante* Beschreibungen der Relationen dieser Daten zueinander. Gerade hierdurch zeichnen sich *generalisierte*, insbesondere aber auch *mathematisierte* Theorien aus.

Der Messung kommt dabei gleich in zweifacher Hinsicht eine entscheidende Rolle zu. Zum einen ist sie eine Tätigkeit, durch die das Aufstellen von Theorien und Gleichungen ermöglicht wird.[26] Dazu werden Messreihen durchgeführt, bei denen lediglich eine Variable verändert und die Änderung der abhängigen Variablen gemessen wird. Theoretisch lassen sich solche Messreihen beliebig genau und mit beliebig kleinen Unterschieden zwischen den Werten der veränderten Variablen durchführen. In der praktischen Durchführung ist dem freilich eine

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Grenze gesetzt, nicht zuletzt dadurch, dass eine Messreihe, die in einem gegebenen Wertebereich stattfindet, mit immer kleineren Differenzen zwischen den Werten der veränderten Variablen immer länger dauert. Dementsprechend ergibt sich in praxi kein Kontinuum an Zuordnungen zwischen Präparationen und Messergebnissen, sondern eine Reihe diskreter Einzelzuordnungen. Um nun von diesen Einzelergebnissen zu einem Kontinuum – welches in einer Gleichung wie der oben genannten ja zum Ausdruck kommt – zu gelangen, bedarf es eines *generalisierenden* Verfahrens: der Interpolation.

Ebenso kann der Wertebereich einer Messung nicht beliebig nach allen Seiten hin ausgedehnt werden. So können etwa weder beliebig kleine, noch beliebig große Kräfte experimentell erzeugt werden. Das ist aber auch nicht nötig. Liegen die Werte für einen hinreichend großen Bereich hinreichend genau fest, so kann von diesen extrapoliert – also auf die potentiellen Ergebnisse einer Messung außerhalb des tatsächlich überprüften Wertebereichs – geschlossen werden. Das ist es, was Kaila meint, wenn er schreibt:

> [I]n the law, the discrete values of the individual observations have been replaced by a continuous range of values of certain variables; an *interpolation* and *extrapolation* which goes far beyond what was previously known has thus been accomplished. (Kaila, 1979b [1942], S. 154. Hervorhebungen von mir.)

Was sich schon im Begriff der *Generalisierung* andeutet, kommt in den Konzepten der *Interpolation* und *Extrapolation* konkret zum Ausdruck: die Messung ist sicherlich notwendig, alleine aber keinesfalls hinreichend für die Entwicklung *generalisierter* und damit hoch *invarianter* Theorien und Gleichungen.[27]

Neben dieser theorienkonstituierenden Funktion der Messung spielt sie – wie bereits angedeutet – eine wichtige Rolle bei der Überprüfung mathematisierter Theorien und ihrer Gleichungen. Soll eine Theorie überprüft werden, so muss sie Hypothesen anbieten, die auch tatsächlich mit Hilfe von Messungen *reproduzierbar* überprüft werden können. Bloße innere Konsistenz der Theorie oder die Abwesenheit von Widersprüchen zu anderen, bereits etablierten Theorien genügen nicht. Ganz im Gegenteil: Wie am Verhältnis von Quantenmechanik und Allgemeiner Relativitätstheorie schön zu sehen ist, werden gewisse Ungereimtheiten zwischen verschiedenen Theorien durchaus von der Scientific Community in Kauf genommen, solange die einzelnen The-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

orien einer hinreichenden empirischen Überprüfung unterzogen und in diesem Rahmen bestätigt wurden. Dagegen haben „Mittlertheorien" wie die Stringtheorie oder die Theorie der Schleifenquantengravitation trotz ihrer vereinenden Kraft einen schweren Stand, wenn sie der geforderten Prüfbarkeitsbedingung nicht genügen. Das heißt freilich nicht, dass die genannten Ungereimtheiten auf Dauer akzeptiert werden, sondern lediglich, dass diese intertheoretischen Probleme eine geringere Rolle spielen als die empirische Bestätigung der Einzeltheorien, insbesondere dann, wenn die betreffenden Theorien unterschiedliche Phänomenbereiche beschreiben und immer wieder sehr gute Bestätigung erfahren haben.

Ebenso wie die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen eine wichtige Forderung der Wissenschaft an sich selbst ist, ergeben sich auch ständig neue Theorien und Gleichungen aus der rein intellektuellen Fortentwicklung bereits bestehender Theorien. Ein prominentes Beispiel hierfür ist die Einsteinsche Relativitätstheorie. Eines ihrer zwei Grundprinzipien – die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum – ist zwar gewissermaßen experimentell entstanden: Es wurde einfach nie etwas Abweichendes gemessen – selbst dann nicht, wenn die Messung einer Abweichung das ausgemachte Ziel eines Versuchs, wie etwa dem von Michelson und Morley, war.[28] Die sich daraus ergebenden Gleichungen aber waren zunächst rein theoretischer Natur, konnten also erst nach ihrer Aufstellung experimentell bestätigt werden.

Was die Funktion der Messung als Testinstrument für mathematisierte Theorien angeht, besteht allerdings ein Problem. Wie weiter oben schon besprochen fordert Kaila die Abschwächung der zweiten These des Logischen Empirismus. Die Forderung nach einer *strengen* Prüfbarkeit mathematisierter Theorien – so Kaila – kann nicht aufrecht erhalten werden. Sie muss „durch eine „gelockerte" oder „abgeschwächte" Prüfbarkeit ersetzt werden"[29]. Den Grund dafür expliziert Kaila wie folgt:

> Die Idealisierung kompliziert nun das Verhältnis zwischen Theorie und Erfahrung. Aus einer idealisierten Theorie können wir nicht streng logisch bestimmte singuläre Erfahrungssätze ableiten, die auf eine eindeutige Weise entweder für oder wider die Theorie sprechen. Um von Idealisierungen höherer Art – wie z. B. von Massenpunkten der theoretischen Mechanik – gar nicht zu sprechen, ist dies schon dann der Fall, wenn in der betreffenden Theorie überhaupt mit bestimmten Wahrscheinlichkeitszahlen oder genauen Masszahlen operiert wird. *Wie groß darf die Differenz zwischen der berechneten und der gefundenen Zahl sein, damit man sagen könnte, die Theorie sei durch*

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

die Erfahrung bekräftigt, bzw. entkräftet? (Kaila, 1941, S. 66f. Hervorhebung von mir.)

Kaila liefert sogleich auch die Antwort auf diese Frage:

Darüber entscheidet nicht irgendeine logisch fassbare Norm, sondern der „Wirklichkeitssinn" oder der „wissenschaftliche Instinkt" des Forschers. Zuweilen darf man gemäss dem Prinzip „lex de minimis non curat" auch von beträchtlichen Differenzen absehen; zuweilen dagegen – man denke etwa an den Versuch von Michelson – können auch die geringfügigsten „minima" die schwersten theoretischen Erschütterungen zustandebringen. Es kann sich mit der durch die Idealisierung bedingten „gelockerten" oder „abgeschwächten" Prüfbarkeit ebenso verhalten wie es sich mit der „gelockerten" oder „abgeschwächten" Entscheidbarkeit verhält: unter günstigen Umständen kann eine praktisch eindeutige Prüfbarkeit vorhanden sein. (Kaila, 1941, S. 67)

Unter weniger günstigen Umständen ist das allerdings nicht der Fall. Massenpunkte, Elektronen und so weiter – mit anderen Worten: Die nicht-gesetzesartigen s-objects – sind theoretische Entitäten, die sich zwar aus der Annahme einer Theorie ergeben, sich als solche aber unserem Zugang häufig – nicht nur im Alltag, sondern auch im Experiment – verweigern. Kaila formuliert das so:

Ein einzelner, etwa singulärer Satz einer mikrophysikalischen Theorie [...] braucht *für sich genommen* überhaupt keinen Realgehalt zu haben und als solcher überhaupt nicht prüfbar zu sein, obwohl er ein wesentlicher und unvermeidbarer Bestandteil der betreffenden Theorie sein kann. (Kaila, 1941, S. 67)

Und weiter:

Denn ein Satz wie „dies ist ein Tisch" ist – seinem Gehalt nach und als ein Satz der Alltagsphysik – nur eine verhältnismässig einfache generalisierende Zusammenfassung gewisser Regelmässigkeiten der Erfahrung. Aber ein Satz wie „hier ist ein Elektron" hat einen Gehalt nur im Rahmen einer weit ausgebauten, die höheren Invarianzen eines umfassenden physikalischen Erfahrungsbereichs darstellenden Theorie, die eine Reihe von kühnen *Idealisierungen* enthält. (Kaila, 1941, S. 68)

Konzepte wie beispielsweise das des Elektrons sind nach Kaila außerhalb einer entsprechenden Theorie also leer, innerhalb der Theorie aber von großer Bedeutung. Daraus folgt unter anderem, dass die Überprüfung einer Theorie nicht anhand der Beobachtbarkeit, Plausibilität oder auch nur Vorstellbarkeit ihrer Entitäten vonstattengehen kann, sondern anhand der mit ihrer Hilfe getroffenen Vorhersagen von Messergebnis-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

sen durchgeführt werden muss. Richtige Vorhersagen nämlich zeigen, dass die gefundenen und in den Gleichungen der Theorie festgehaltenen Invarianzen tatsächlich bestehen. Kailas Position sollte hier jedoch nicht mit einem Anti-Realismus verwechselt werden. Aus der Behauptung, dass wissenschaftliche Konzepte nur innerhalb ihrer jeweiligen Theorie einen Gehalt haben, folgt nicht, dass sie keinen Bezug zur Realität haben. Die Brücke zwischen der theoretischen und der physikalischen Entität namens Elektron wird vom Erfolg der Theorie bei der Vorhersage beobachtbarer Phänomene geschlagen – man erinnere sich der oben beschriebenen Funktion der Hilfshypothesen – zusammen mit der Tatsache, dass die theoretische Entität „ein wesentlicher und unvermeidbarer Bestandteil der betreffenden Theorie“[30] ist.

3. Der Metrologische Strukturenrealismus

Nach diesen eher historischen Betrachtungen, die uns das konzeptionelle Handwerkszeug zum Verständnis des Metrologischem Strukturenrealismus mitgeben, wollen wir uns nun demselben zuwenden. Dazu ist es nötig, zunächst einen Blick auf die beiden großen Strukturenrealismen – den Epistemischen sowie den Ontischen Strukturenrealismus – zu werfen. Der Metrologische Strukturenrealismus selbst bestimmt sich ja zunächst vor allem in der Abgrenzung zu jenen, und zwar durch die Thematisierung ihrer jeweiligen Schwächen.

Im Anschluss daran gilt es zu untersuchen, inwiefern der Metrologische Strukturenrealismus in der Lage ist, *Kailas non-linguistic, realist account of logical empiricism* wie oben dargestellt für sich selbst fruchtbar zu machen. Dabei sollte er freilich mehr leisten als diejenigen Positionen, in deren Konkurrenz er tritt, sowohl im Hinblick auf epistemologische als auch auf ontologische Kriterien. Genau an diesen Stellen setzt ja auch Neubers Kritik an.

3.1 Positionierung und Programm des Metrologischen Strukturenrealismus

3.1.1 Epistemischer Strukturenrealismus

Auf der einen Seite finden wir den Epistemischen Strukturenrealismus. Er nimmt seinen Ausgang in John Worralls Aufsatz *Structural Realism: The Best of Both Worlds?*[31] und enthält in all seinen Ausformu-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

lierungen die zentrale These, unser wissenschaftlicher Zugriff auf die Welt sei epistemisch beschränkt in dem Sinne, dass wir wohl Aussagen über die strukturelle Verfasstheit der Welt[32] treffen können, nicht aber über die Entitäten, die diesen Strukturen zu Grunde liegen. Der ursprüngliche Beweggrund für die Entwicklung dieser Position ist das Bedürfnis, sowohl das antirealistische Argument der Pessimistischen Metainduktion, als auch das entsprechende „Gegenargument"[33] der wissenschaftlichen Realisten, das No-Miracles-Argument, ernst zu nehmen. Obwohl diese Argumente hinlänglich bekannt sind, sollten wir sie der Vollständigkeit halber hier kurz paraphrasieren: Das No-Miracles-Argument behauptet, dass wir unsere besten wissenschaftlichen Theorien als annähernd wahre Beschreibungen der Welt anerkennen sollten. Täten wir das nicht, müssten wir ihren Erfolg sowohl bezüglich der Vorhersage von Beobachtungen, als auch im Hinblick auf die Realisierung von technischen Anwendungen für ein Wunder halten.

Das Argument der Pessimistischen Metainduktion dagegen verweist auf den historischen Umstand, dass auch die zu ihrer jeweiligen Zeit besten Theorien immer wieder verworfen und durch neue ersetzt wurden. Ladyman (2009) nennt in diesem Zusammenhang und unter Bezugnahme auf Worrall (1989) das Beispiel der Ablösung der Fresnelschen Äthertheorie durch die Maxwellsche Theorie elektromagnetischer Felder. Beide Theorien beschreiben denselben Phänomenbereich, verwenden jedoch vollkommen unterschiedliche theoretische Entitäten zur Erklärung der Phänomene. Folglich sollte den theoretischen Entitäten mindestens einer dieser Theorien keine physikalische Realität im strengen Sinne zugesprochen werden. Dies gilt – so die Pessimistische Metainduktion – auch für alle aktuell anerkannten Theorien. Auch sie werden irgendwann durch andere Theorien abgelöst werden. Folglich kann auch ihren theoretischen Entitäten keine physikalische Realität im strengen Sinne zukommen.

Die Gültigkeit dieses metainduktiven Schlusses kann natürlich in Frage gestellt werden. Wie der Name schon andeutet, handelt es sich hier ja gerade nicht um eine streng logische Deduktion: allein auf Grund der Tatsache, dass die bisherigen Theorien inklusive ihrer Entitäten irgendwann abgelöst wurden, lässt sich nicht mit Sicherheit folgern, dass dieses Schicksal auch den aktuell anerkannten Theorien zuteilwird. Trotzdem liegt dieser Schluss – historisch betrachtet – nahe. Er ist zwar nicht zwingend gültig, es spricht jedoch vieles für und nur wenig gegen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

die Vermutung, dass auch die aktuellen Theorien irgendwann abgelöst werden.

Nichtsdestoweniger behält auch das No-Miracles-Argument seine Brisanz. Die Behauptung – es käme einem Wunder gleich, wenn unsere Theorien so erfolgreich seien, wie sie es eben sind und immer wieder zeigen, gleichzeitig aber nicht die Welt wenigstens näherungsweise beschrieben – wird von der Pessimistischen Metainduktion nicht angegriffen: selbstverständlich beschreiben unsere Theorien die Welt, und zwar nachweislich immer besser. Nur eben nicht in jenem naivrealistischen Sinn, den die Pessimistische Metainduktion unterstellt. Im Rahmen des No-Miracles-Argument ist ja ausdrücklich von einer *näherungsweise* wahren Beschreibung der Welt die Rede, ein Theorienwandel also explizit mitgedacht. Dass sich Theorien ändern und abgelöst werden ist für die Verfechter dieser Position also keineswegs so problematisch, wie das Argument der Pessimistischen Metainduktion zunächst nahezulegen scheint.

Beide Argumente scheinen also einleuchtend zu sein und sollten bei der Entwicklung einer wissenschaftstheoretischen Position dementsprechend berücksichtigt werden. Worrals Strukturenrealismus trägt diesem Umstand Rechnung. Ladyman (2009) schreibt:

> Structural realism was introduced into contemporary philosophy of science by John Worrall in 1989 as a way to break the impasse that results from taking both arguments seriously, and have the best of both worlds in the debate about scientific realism. […] According to Worrall, we should not accept standard scientific realism, which asserts that the nature of the unobservable objects that cause the phenomena we observe is correctly described by our best theories. However, neither should we be antirealists about science. Rather, we should adopt structural realism and epistemically commit ourselves only to the *mathematical or structural content* of our theories. Since there is (says Worrall) retention of structure across theory change, structural realism both (a) avoids the force of the pessimistic meta-induction (by not committing us to belief in the theory's description of the furniture of the world) and (b) does not make the success of science (especially the novel predictions of mature physical theories) seem miraculous (by committing us to the claim that the theory's structure, over and above its empirical content, describes the world). (Ladyman, 2009, 1. Introduction. Hervorherbung von mir.)

Nimmt man Ladymans Darstellung des Worrallschen Strukturenrealismus beim Wort, dann erschöpft sich das realistische Moment wissenschaftlicher Theorien in ihrem mathematischen oder strukturellen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Gehalt, erstreckt sich gerade nicht auf die Entitäten, von denen diese Theorien Gebrauch machen. Im Gegensatz zu letzteren bleibe der mathematische oder strukturelle Gehalt auch über den Wandel der Theorien hinweg bestehen.[34] Im Sinne eines wissenschaftlichen Realismus sind diese Strukturen dann aber auch alles, worüber sinnvoll etwas gesagt werden kann. Was diesen Strukturen zu Grunde liegt, ihre ontologische Basis, bleibt epistemisch unzugänglich.

Diese Form des Strukturenrealismus genügt Neuber nicht; er kritisiert sie als ontologisch zu schwach. Der Epistemische Strukturenrealismus – so Neuber – läuft Gefahr, auf nichts weiter als eine Ausprägung des Instrumentalismus zusammenzufallen, wenn er den eigentlichen Gehalt einer Theorie auf ihre mathematischen Strukturen beschränkt und diese wiederum mit ihren mathematischen Gleichungen identifiziert. Es ist jedoch nicht klar, welcher Zusammenhang zwischen den mathematischen Gleichungen einer Theorie einerseits und der objektiven Struktur der physikalischen Welt andererseits besteht. Dementsprechend begnügt sich der Instrumentalist auch damit, jene Gleichungen als bloße Hilfsmittel zur Systematisierung von Beobachtungsdaten zu betrachten. Beschränkt sich nun aber der Epistemische Strukturenrealismus auf die Anerkennung bloß dieser Gleichungen als ausschließlichen Gehalt einer Theorie, so kann er in der Folge keine Aussagen treffen, die über einen Instrumentalismus hinausgehen. Dann ist er aber auch kein wissenschaftlicher Realismus mehr.[35]

Insofern man dem Epistemischen Strukturenrealismus genau diese Identifikation von Struktur und mathematischer Gleichung unterstellen kann, ist Neubers Beobachtung beizupflichten. Ob diese Identifikation allerdings in jeder Ausformulierung des Epistemischen Strukturenrealismus zum Tragen kommt, darüber kann hier kein abschließendes Urteil gefällt werden. Man könnte ja durchaus Strukturen in einer Theorie identifizieren, die keine mathematischen Gleichungen sind. Das gilt insbesondere dann, wenn der Epistemische Strukturenrealismus auch diejenigen Theorien umfassen soll, die überhaupt keine mathematischen Gleichungen enthalten, entweder, weil sie sie nicht benötigen, oder weil sie vorläufig rein qualitativ formuliert sind.[36] Worralls Strukturenrealismus jedoch handelt vor allem von mathematischen beziehungsweise mathematisierten Theorien, dementsprechend kommt hier die Identifikation von Struktur und Gleichung und damit auch Neubers Einwand zum Tragen. Für den Fortgang dieses Aufsatzes sollten wir diese Iden-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

tifikation – des Argumentes wegen und aus dem in der letzten Fußnote genannten Grund – als symptomatisch für jede Form des Epistemischen Strukturenrealismus annehmen, jedoch nicht, ohne gewisse Zweifel bezüglich der Richtigkeit dieser Annahme betont zu haben. Womöglich lässt sich der Epistemische Strukturenrealismus so erweitern – oder ist bereits so erweitert worden – dass das Argument von seiner ontologischen Schwäche an Gewicht einbüßt.[37]

3.1.2 Ontischer Strukturenrealismus

Eben haben wir das Argument der ontologischen Schwäche angesprochen, das auch Neuber gegen den Epistemischen Strukturenrealismus – in seiner einfachen Form – stark macht. Der Ontische Strukturenrealismus jedoch ist in der Lage, sich gegen dieses Argument zu immunisieren, indem er die Position des Epistemischen Strukturerealismus in gewisser Weise radikalisiert. Er behauptet nicht nur, dass die in naturwissenschaftlichen Theorien gebrauchten und über deren Wandel hinweg erhaltenen Strukturen das Einzige sind, das uns epistemisch zugänglich ist, sondern dass es sie darüber hinaus tatsächlich in der Welt gibt. Und mehr noch: diese Strukturen sollen in der Tat *das Einzige sein, das es in der Welt gibt*. Damit ist der Ontische Strukturenrealismus nicht nur eine Erweiterung des Epistemischen Strukturenrealismus im oben angesprochenen Sinne, sondern eine harte, ontologische Position, die in dieser Form freilich nicht unumstritten sein kann. Ladyman (2009) kondensiert den Unterschied zwischen Epistemischem und Ontischem Strukturenrealismus auf folgende Aussage:

> A crude statement of ESR is the claim that all we know is the structure of the relations between things and not the things themselves, and a corresponding crude statement of OSR is the claim that there are no things and that structure is all there is (this is called radical structuralism by van Fraassen, 2006). (Ladyman, 2009, 4. Ontic Structural Realism (OSR))

Dies ist – das betont Ladyman selbst gleich zweifach – freilich eine recht grobe Darstellung der beiden Positionen. Ich halte sie in dieser Form jedoch für nützlich, und zwar um auf einen wichtigen Punkt hinzuweisen, der bei einschlägigen Diskussionen um die Strukturenrealismen immer wieder eine große Rolle spielt und an dem Neubers Kritik des Ontischen Strukturenrealismus unter anderem ansetzt. Dieser impliziert nämlich, wenn man Ladymans Darstellung folgt, das Konzept der *Relationen ohne Relata*. Neuber schreibt dazu:

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

In the case of OSR, however, the problem lies in the resulting, and downright unintuitive, conception of relations without relata. The possibility to conceptualize relations without thereby attaching to them individual objects situated within those relations remains somewhat of an enigma. Moreover, what is completely unclear is how such an essentially metaphysical conception is to be justified in terms of epistemic access. (Neuber, 2012, S. 19f.)

Selbstverständlich weiß Neuber um die Tatsache, dass es alternative Formulierungen des Ontischen Strukturenrealismus gibt, die ohne das Konzept der Relationen ohne Relata auskommen, oder sie zumindest nicht zwingend erforderlich machen. Neuber rekurriert[38] auf eine Position, die bei Ladyman unter dem Titel „Eliminativism" firmiert: „there are no individuals (but there is relational structure)". (Ladyman, 2009, 4. Ontic Structural Realism). Es gebe, so Ladyman und Neuber, wenigstens zwei Möglichkeiten, Relationen ohne Relata im strengen Sinn – das heißt: *mit Relata*, aber *ohne Individuen* – zu konstruieren.[39] Eine dieser Möglichkeiten bestehe darin, dass die Relata der Relationen selbst auch Relationen sind, deren Relata wiederum Relationen sind und so weiter. Diese Option charakterisieren Neuber und Ladyman mit der Formulierung „structure all the way down" (bei Neuber) beziehungsweise „relations all the way down" (bei Ladyman) und zumindest Neuber hält sie epistemisch nicht für ausgeschlossen. Es könne aber auch sein, dass Relationen ohne Relata nicht-instantiierte Universalien sind, beispielsweise im Falle der Relation „größer als". Ladyman:

For example, when we refer to the relation referred to by larger than, it is because we have an interest in its formal properties that are independent of the contingencies of its instantiation. To say that all that there is are relations and no relata, is perhaps to follow Plato and say that the world of appearances is not properly thought of as part of the content of knowledge. (Ladyman, 2009, 4. Ontic Structural Realism (OSR))

Diese Möglichkeit lehnt Neuber jedoch – wie ich finde zu Recht – ab: „[…] this is too much metaphysics, both for logical empiricists and for philosophers of science in general."[40] Solche Relationen wären in der Tat, insofern sie dem Reich der platonischen Ideen angehören, ohnehin epistemisch unzugänglich und damit für jede ernstzunehmende Form des wissenschaftlichen Realismus irrelevant.

Im Hinblick auf den wissenschaftlichen Realismus – und ein solcher will der Ontische Strukturenrealismus ja sein – ergibt sich aber auch für die erste Möglichkeit, nämlich die, die oben mit „structure all the

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

way down" charakterisiert wurde, ein Problem: sie besteht spätestens dann nicht mehr, wenn wir Individuen finden, die selbst nicht wieder ausschließlich relational bestimmt sind. Aber auch wenn wir solche Individuen nicht finden, sondern immer bloß neue Strukturen, bleibt die Frage offen, ob sich hieraus nicht entweder (a) eine physikalische Form des infiniten Regress ergibt, was zu einer Ontologie mit unendlich vielen, aber physikalisch realen Relationen führen würde[41], oder ob sich womöglich (b) eine Art physikalische Zirkularität ergibt, die nicht nur, aber auch und besonders, epistemische Probleme aufwerfen würde, beispielsweise die Frage, von welcher *physikalischen* Relation als erste Erkenntnisquelle ausgegangen wird, und wie die Wahl genau dieser Relation als grundlegende zu rechtfertigen sei.[42]

Problem (a) ist freilich nur dann ein echtes Problem, wenn wir davon ausgehen, dass die physikalische Welt endlich ist, das heißt, keine unendlich große Ontologie aufweist. Diese Frage kann im Rahmen dieses Aufsatzes natürlich nicht beantwortet werden, und eine rein metaphysische Spekulation ohne Blick auf Physik und Kosmologie wäre im Rahmen eines wissenschaftlichen Realismus unangebracht. Dementsprechend wollen wir diesen Ansatz hier nicht weiter verfolgen, sondern lediglich auf ein mögliches Problem hinweisen.

Bei der Betrachtung von Problem (b) werden wir an Carnaps *Der Logische Aufbau der Welt*[43] erinnert, wo uns die Wahl der Ausgangsbasis und der grundlegenden Relation unseres epistemischen Zugangs freigestellt und dadurch die *begriffliche* Konstitution der Welt ja erst ermöglicht wird. Im Falle von Carnaps Konstitutionssystem haben wir diese Wahlmöglichkeit tatsächlich, da es sich hier um ein logisch-begriffliches System handelt. Andererseits verhindert sie aber – sowohl bei Carnaps *Aufbau* als auch im Fall des hier geschilderten Problems – von einer *realistischen* Position zu sprechen.[44] Hier ist nämlich weder die epistemische, noch die ontologische Grundlage für Erkenntnis und Konstitution der physikalischen Welt geklärt. Je nach Wahl der Ausgangsrelation ergeben sich unterschiedliche Erkenntnismöglichkeiten und dementsprechend unterschiedliche Ontologien.[45] Im Rahmen eines wissenschaftlichen Realismus in Bezug auf die Physik gehen wir aber von der Existenz einer einzigen Realität mit genau einer Ontologie aus, die wir mit unseren Theorien möglichst gut abzubilden versuchen. Täten wir das nicht, könnten wir unsere Versuche, die Allgemeine Relativitätstheorie und die Quantenmechanik miteinander zu vereinbaren,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

gerade so gut sein lassen. Wenn wir verschiedene Ontologien gleichberechtigt zulassen, also auch keine als fundamental auszeichnen, brauchen uns auch eventuelle Ungereimtheiten zwischen gut bestätigten Theorien nicht zu stören. Da der Ontische Strukturenrealismus aber, wie gesagt, ein wissenschaftlicher Realismus sein will, kann er dieses Problem nicht ignorieren.

Es gibt andere Autoren, wie etwa Michael Esfeld, die eine weitere Spielart des Ontischen Strukturenrealismus vertreten. Dort gibt es zwar echte Relata im strengen Sinne, jedoch haben diese keine intrinsischen Eigenschaften. Folglich sind sie nur durch die Relationen bestimmt, in denen sie stehen, haben mithin kein ontologisches Primat vor diesen. Dazu Esfeld:

> It seems that (a) relations require relata, that is, things which stand in the relations, and that (b) these things have to be something in themselves, that is, must have intrinsic properties over and above the relations in which they stand. However, a metaphysics of relations merely has to reject the second part of this claim: one can maintain that (a) relations require relata, that is, things which stand in the relations, but that (b*) these things do not have any intrinsic properties that underlie the relations in which they stand. (Esfeld, 2004, S. 2)

Diese Position ergibt sich bei Esfeld aus der Betrachtung eines besonderen Phänomens der Quantenmechanik: der Verschränkung. Quantenmechanisch verschränkte Systeme zeichnen sich insbesondere durch die Eigenschaft der Nichtseparabilität aus. Kurz zusammengefasst bedeutet das, dass der quantenmechanische Zustand eines Teilsystems in einem zusammengesetzten System nicht unabhängig vom Zustand der anderen Teilsysteme vorliegt, dass also der Zustand jedes Teilsystems durch den Zustand des Gesamtsystems bestimmt ist. Esfeld formuliert das so:

> The states of two or more systems are non-separable if and only if it is only the joint state of the whole that completely determines the state-dependent properties of each system and the correlations among these systems (to the extent that these are determined at all). (Esfeld, 2004, S. 7)

Durch die Annahme dieser Position gelingt es Esfeld, die oben genannten Schwierigkeiten, die sich aus der Annahme von Relationen ohne (echte) Relata ergeben, zu umgehen. Insbesondere die Möglichkeiten – und damit die Probleme – eines physikalischen infiniten Regresses (*Structure aaall the way dooown*) oder einer physikalischen Zirkularität

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

(*Structure aaall the way round*) kommen so nicht auf, denn es gibt hier Relata, deren Eigenschaften zwar ausschließlich relational bestimmt sind, die aber dennoch als echte Relata vorliegen. Der Regress beziehungsweise die Zirkularität beginnen erst gar nicht, da diese Relationen – gemeinsam mit ihren Relata – als fundamental betrachtet werden. Es ist also unnötig, auf der Suche nach der grundlegenden Relation immer noch einen Schritt weiter und so entweder unendlich lange oder immer im Kreis zu gehen.

Die Feinheiten dieser Position können hier nicht weiter diskutiert werden. Dennoch sollte sie nicht unerwähnt bleiben, da sie ein gelungenes Beispiel für eine Wissenschaftsphilosophie ist, die sich maßgeblich an den aktuellen physikalischen Theorien orientiert. Quantenmechanische Verschränkung ist ein tatsächlich beobachtetes Phänomen, keine rein metaphysische Spekulation, die sich lediglich an unseren Intuitionen misst, die wir aus der alltäglich erfahrbaren, klassischen Welt mitbringen.

3.1.3 Metrologischer Strukturenrealismus

In den letzten beiden Abschnitten haben wir uns mit dem Epistemischen und dem Ontischen Strukturenrealimus beschäftigt. In der Tat offenbaren beide in ihrer einfachsten und basalsten Form jene Probleme, die Neuber benennt. Wie oben gezeigt wurde, gibt es allerdings durchaus Möglichkeiten, den Epistemischen sowie den Ontischen Strukturenrealismus so zu erweitern, dass es nicht mehr unbedingt nötig ist, diese Positionen hinter sich zu lassen. Ersterer kann ontologisch stärker aufgefasst werden als es zunächst scheint, letzterer hat in der ein oder anderen Ausformulierung womöglich nicht mit so großen epistemologischen Problemen zu kämpfen wie ursprünglich gedacht.

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich aber, dass dadurch der Entwicklung des Metrologischen Strukturenrealismus keinesfalls die berechtigende Grundlage entzogen wird. Obgleich es durchaus möglich scheint, die Unzulänglichkeiten der bisherigen Strukturenrealismen durch alternative Formulierungen anzugehen oder sogar zu beseitigen, ist dadurch noch nicht sichergestellt, dass sie dann auch jeweils die Vorteile des anderen integrieren können. Es ist ja Neubers erklärtes Ziel, „the best of both structural worlds“ zu vereinen, wenn man so will, also die eine Spielart des Strukturenrealismus mit Hilfe der Vorteile der anderen zu erweitern und umgekehrt.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Es gibt darüber hinaus aber noch eine wichtige Eigenheit des Metrologischen Strukturenrealismus, die allen bisherigen Strukturenrealismen abgeht: das ist die Anerkennung und Hervorhebung der Funktion der Messung bei der Entwicklung einer realistischen Position bezüglich der Wissenschaften. Dazu Neuber:

> The pivotal idea is that insight into the invariance-constituting function of measurement provides the connecting link between the ontological and the epistemological component of a structural realist account of science and nature. […] In view of OSR, I am led to assume that the structures themselves exist independently of their being quantitatively captured. However, ESR demonstrates the fundamental importance of epistemic access. At this point, I argue that the analysis provided by Kaila invests us with an epistemologically equally transparent, but ontologically significantly stronger conception. The invariant systems of relations themselves are, in fact, epistemically accessible by carrying out measurements. Consequently, one may claim that MSR combines the epistemological transparency of ESR with the ontological explicitness of OSR. (Neuber, 2012, S. 20)

In der bisherigen Darstellung haben wir uns auf die Motivation des Metrologischen Strukturenrealismus konzentriert, also darauf, zu zeigen, warum es sinnvoll scheint eine solche Position zu entwickeln, wo sie im Reigen der bestehenden Positionen einzuordnen ist und welche Vorteile sie im Vergleich zu den anderen Strukturenrealismen mit sich bringt. Die positive Ausformulierung seiner Position bleibt Neuber zu weiten Teilen schuldig. Aus dem oben angeführten Zitat können wir jedoch die zentrale Idee von Neubers Konzept herauslesen, nämlich „[…] that insight into the invariance-constituting function of measurement provides the connecting link between the ontological and the epistemological component of a structural realist account of science and nature." Dementsprechend stellt sich nun die Frage, was – gemäß dieser zentralen Idee und im Hinblick auf die invarianzkonstituierende Funktion der Messung – vom Metrologischen Strukturenrealismus gefordert ist. Im Folgenden sollen drei wesentliche Punkte formuliert und anschließend begründet werden. Zunächst die Formulierung der Forderungen:

(1) Den Strukturen beziehungsweise Relationen (inklusive deren Relata), *die in naturwissenschaftlichen Theorien auftreten*, soll Realität im Sinne von „tatsächlich oder näherungsweise in der Welt objektiv vorhanden sein" zukommen. (*Ontologische Forderung*)[46]
(2) Die Strukturen beziehungsweise Relationen (inklusive deren Rela-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

ta), *die in der Welt vorhanden sind*, sollen epistemisch zugänglich sein. (*Epistemologische Forderung*)[47]

(3) Die Messung soll in ihrer invarianzkonstituierenden Funktion das verbindende Element zwischen der *Ontologischen Forderung* und der *Epistemologischen Forderung* sein. (*Metrologische Forderung*)[48]

Die *Ontologische Forderung* ergibt sich aus dem Umstand, dass der Metrologische Strukturenrealismus eine wissenschaftlich-*realistische* Position sein soll. Dementsprechend müssen die Relationen und Relata der Theorien, die er umfasst, auch als real vorhanden aufgefasst werden, wenigstens näherungsweise. Diese Forderung entspricht dem oben explizierten No-Miracles-Argument und ist in jedem wissenschaftlichen Realismus enthalten – gerade deshalb hat der Epistemische Strukturenrealismus in seiner einfachen Ausprägung ja mit dem Problem zu kämpfen, dass er womöglich kein echter Realismus sondern vielmehr ein Instrumentalismus ist. Für die prinzipielle Annahme eines wie auch immer gearteten wissenschaftlichen Realismus wird an dieser Stelle nicht und in der gesamten Arbeit so gut wie nicht argumentiert. Sie wird als Grundlage vorausgesetzt, ohne die es freilich keinen Sinn ergibt, eine besondere Spielart des wissenschaftlichen Realismus zu entwickeln.[49]

Die *Epistemologische Forderung* ist Ausdruck der Tatsache, dass der Metrologische Strukturenrealismus eine *wissenschaftlich*-realistische Position sein soll. Über prinzipiell Unzugängliches kann – wenigstens im *wissenschaftlichen* Kontext – nichts gesagt werden. Das prinzipiell Unzugängliche ist, ob existent oder nicht, ja per definitionem völlig ohne Wirkung, hat keinerlei Einfluss auf das prinzipiell Zugängliche. Wenn es ihn doch hätte, wäre es nicht prinzipiell unzugänglich, denn seine Existenz könnte an seiner Wirkung auf das prinzipiell Zugängliche erkannt werden. Folglich wäre es selbst nicht mehr prinzipiell unzugänglich, sondern zugänglich.[50] Es ist also nicht nur die Existenz des prinzipiell Unzugänglichen hochgradig zweifelhaft, sondern sein tatsächlicher ontologischer Status auch völlig unerheblich. Als sinnvoller Fluchtpunkt unseres wissenschaftlichen Erkenntnisstrebens bleibt nur das prinzipiell Zugängliche. Aus diesem Grund ist, wie oben schon angedeutet, auch die Konzeption eines Ontischen Strukturenrealismus mit Relationen ohne Relata im Sinne nicht-instantiierter Universalien als wissenschaftlicher Realismus völlig unbrauchbar.

Die *Metrologische Forderung* nun ist das eigentlich neue am Metro-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

logischen Strukturenrealismus. Sie soll die Brücke schlagen zwischen der *Ontologischen Forderung* einerseits und der *Epistemologischen Forderung* andererseits, und zwar mit Hilfe der Messung und ihrer invarianzkonstituierenden Funktion. Wie die Messung das leisten kann, ist leicht ersichtlich: Sie ist im Prinzip nichts anderes als die Beeinflussung des Zustands eines messenden Systems – für gewöhnlich ein Messgerät – durch den Zustand eines anderen, zu messenden Systems, sodass der Zustand des zu messenden Systems einem bestimmten Zustand des messenden Systems korreliert.[51] Daher ist, wenn etwas messbar ist, auch seine prinzipielle Zugänglichkeit gegeben. Da aber der Zustand des messenden Systems eine objektive Größe hoher Invarianz ist und mit dem Zustand des zu messenden Systems korreliert, ist auch der Zustand des letzteren in hohem Maße objektiv und damit real.

Hier finden wir einen Anknüpfungspunkt zu Kaila. Es gilt zu überprüfen, ob sein *non-linguistic, realist account of logical empiricism* für die Erfüllung der eben explizierten Forderungen fruchtbar gemacht werden kann. Die Idee der invarianzkonstituierenden Funktion der Messung geht ja auf diese Position zurück, und soll – insbesondere für die dritte Forderung – eine zentrale Rolle spielen.

Betrachten wir im Hinblick auf diese Überprüfung zunächst noch einmal die *Ontologische Forderung*. Als wissenschaftlich-*realistische* Forderung verlangt sie, dass den in naturwissenschaftlichen Theorien auftretenden Strukturen und Relationen Realität im Sinne von „tatsächlich oder näherungsweise in der Welt objektiv vorhanden sein" zukommen soll. Kailas Position erfüllt diese Forderung vollumfänglich: Theoretischen Strukturen kann mit Kaila der Status des real Vorhandenseins gerade deshalb zugesprochen werden, weil sie als Ergebnis generalisierender und abstrahierender Prozesse größere Invarianz – und damit größere Objektivität – aufweisen als Konzepte der Alltagswelt (f-objects) oder der phänomenalen Erfahrung (φ-objects). Die hier genannten Prozesse bestehen in der Interpolation und Extrapolation der in Messreihen gewonnenen Daten. Während beispielsweise die Messwerte eines Experiments als Anzeigewerte eines Zeigers oder Displays des Messinstruments in den Bereich der f-objects gehören und als solche aus φ-objects gewonnen werden, ergibt sich aus den generalisierenden Verfahren der Interpolation und Extrapolation in Anwendung auf diese Messwerte ein allgemeines Gesetz in Form einer mathematischen Gleichung, die die möglichen Messdaten relational zueinander

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

ins Verhältnis setzt. Gleichzeitig geht diese Formulierung der Realität als Gleichung über die Möglichkeiten tatsächlich durchführbarer Messungen hinaus, ist mithin nicht allein abhängig von der rein technischen Erfassung von Messdaten. Sie gehört folglich zum Bereich der s-objects und ist damit Teil der objektiv beschreibbaren, also realen Welt.

Kommen wir abermals auf die *Epistemologische Forderung* zu sprechen. Nach ihr sollen die Strukturen und Relationen wissenschaftlicher Theorien nicht nur real vorhanden, sondern auch zugänglich sein. Dass wir uns im Rahmen des wissenschaftlichen Erkenntnisstrebens ohnehin nur mit prinzipiell Zugänglichem befassen können, wurde bereits erläutert. Wir müssen uns aber fragen, ob Kailas Konzeption die Möglichkeit des epistemischen Zugriffs auf die prinzipiell zugänglichen Relationen und Relata der Welt überhaupt umfasst. Hier lautet die Antwort: ja, aber mit einer Einschränkung. Die Möglichkeit des epistemischen Zugriffs im wissenschaftlichen Sinn besteht in der und durch die Messung. Sie ist – dank ihrer invarianzkonstituierenden Funktion – die *wissenschaftlich*-realistische Methode des Zugriffs auf die Welt: Indem sie von *subjektiven* Beschreibungen der Erlebnis- oder Alltagswelt absieht, erlangt sie den Status einer *objektiven* Beschreibung. Gerade in dieser Ausklammerung des Subjektiven besteht aber die angesprochene Einschränkung. Nicht, dass es sich bei allem Subjektiven um prinzipiell Unzugängliches handeln würde – ganz im Gegenteil: Im phänomenologischen Sinn ist alles Zugängliche subjektiv. Allerdings sind die Gegenstände der phänomenalen Erfahrung, also die φ-objects, ja gerade nicht die Gegenstände naturwissenschaftlicher Theorien, sondern deren Ausgangspunkt im Bereich der sinnlichen Wahrnehmung. Sie sind notwendig für die wissenschaftliche Tätigkeit, aber nicht ihr Ziel.[52]

Nun noch einmal zur *Metrologischen Forderung.* Als verbindendes Element zwischen der *Ontologischen* und der *Epistemologischen Forderung* besteht die Rolle der Messung und ihrer invarianzkonstituierenden Funktion vor allem darin, den Übergang vom subjektiv Erfahrbaren zum objektiv Realen im Kailaschen Sinne zu ermöglichen. Die Messung als objektivierende Methode erfüllt dabei gleich zwei Funktionen: Sie kann einerseits *theoriekonstituierend* wirksam werden, indem sie die notwendigen Messdaten liefert, die im nächsten Schritt auf dem Weg zur Theorie den Prozess der Generalisierung durchlaufen. Sie kann andererseits *theorieüberprüfend* wirksam werden, indem sie die aus einer generalisierten und mathematisierten Theorie abgeleiteten

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Aussagen mit der Wirklichkeit im Sinne der Welt der f-objects – beispielsweise dem Zeiger eines Messgeräts – vergleichbar macht. Hierbei ist freilich zu beachten, dass eine *strenge* Überprüfbarkeit nicht gefordert werden darf.[53] Die Messung ermöglicht damit sowohl den epistemischen Zugang zu den Strukturen der Welt, als auch die Rede von der Realität theoretischer Strukturen. Insofern schlägt sie die Brücke zwischen Realität und Theorie, man könnte auch etwas pointierter sagen: zwischen Wirklichkeit und Wahrheit. Genau das war gefordert.

Anmerkungen

1 Neuber, 2012.
2 Kaila, 1941, bei Neuber, 2012 in der englischen Übersetzung: *On the Concept of Reality in Physical Science. Second Contribution to Logical Empiricism.* Kaila, 1979b [1942].
3 An dieser Stelle sei auf Robert Nozicks Buch *Invariances – The Structure of the Objective World* hingewiesen. Dort wird dem Konzept der Invarianz sehr viel Aufmerksamkeit gewidmet, auch weit über das hinaus, was in dieser Arbeit besprochen werden kann. Nozick, 2001.
4 Niiniluoto, 1992.
5 Vgl. Carnap, 1928a.
6 Vgl. Reichenbach, 1938.
7 Vgl. Feigl, 1950.
8 Bei Neuber, 2012, und hier zitiert nach Kaila, 1979b [1942].
9 Kaila, 1979b [1942], S. 129.
10 Kaila, 1979b [1942], S. 129 f.
11 Kaila, 1979b [1942], S. 143.
12 Vgl. Neuber, 2012, S. 4 f.
13 „[…] which opens the door to a realist account of science and nature." Neuber, 2012, S. 5.
14 Vgl. hierzu Dawid, 2013, der das Konzept der nicht-empirischen Evidenz stark macht.
15 Vgl. Neuber, 2012, S. 5 f.
16 Neuber, 2012, S. 5.
17 Vgl. Kaila, 1979a [1936], S. 102 und Kaila, 1979b [1942], S. 152.
18 Hier ist Vorsicht geboten. Es sollte nicht übersehen werden, dass es sich beim gemessenen Reflexionsvermögen eben nicht um die *Farbe* der Erdbeere handelt, die ja per se ein Gegenstand der individuellen Wahrnehmung ist, sondern lediglich um eine Eigenschaft, die dieser individuellen Farbwahrnehmung zugrunde liegt, sie aber – wie eben gezeigt – nicht vollständig bestimmt.
19 Diese Auflistung übernehme ich von Neuber, 2012, S. 7. Allerdings kehre ich die Reihenfolge der Ebenen um, um die angesprochene hierarchische Gliederung nach dem Grad der Realität auch formal darzustellen. Je realer

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

die Gegenstände einer Ebene, desto weiter oben befindet sie sich in der Liste. Diese Form der Auflistung entspricht auch einer *epistemologischen* Konstitution von unten nach oben: Wir beginnen auf der basalsten Ebene, den Phänomenen, und arbeiten auf dem Weg nach oben immer größere Invarianzen heraus. *Ontologisch* müssten wir im Sinne eines Physikalismus die Reihenfolge allerdings wieder umkehren: Das Fundament bilden hier die physikalischen Gegenstände, etwa Elektronen, aus denen die Gegenstände der Alltagswelt und letztlich auch wir Menschen inklusive unserer phänomenalen Wahrnehmungen zusammengesetzt sind und hervorgehen.

20 „Systems of relations", vgl. Neuber, 2012, S. 7.

21 Vgl. Carnap, 1928b.

22 Es geht zuvor um die Entdeckung des Snelliusschen Brechungsgesetzes.

23 Kaila spricht von „Interpolationen und Extrapolationen." Vgl. hierzu das oben angeführte Zitat. Kaila, 1941, S. 46f.

24 Natürlich handelt es sich bei dieser Beschreibung um eine verkürzte Darstellung der tatsächlichen Vorgehensweise. Kaum eine Hypothese wird nach nur einem Experiment mit gegenteiligem Ergebnis sofort verworfen. Ebensowenig gilt eine Hypothese als bestätigt, wenn bloß ein Experiment die erwarteten Ergebnisse liefert.

25 Vgl. Kaila, 1941, S. 53.

26 Nota bene: Eine, nicht die einzige Tätigkeit, die dies ermöglicht. Gleichungen, wie etwa $\vec{F} = m\vec{a}$, können z. B. auch erfunden werden.

27 Die Darstellung hier ist freilich etwas verkürzt. Für eine vornehmlich historische, aber auch systematische Diskussion der Rolle des Experiments in der Wissenschaft, des Unterschieds zwischen bloßer, passiver Beobachtung und aktivem Experimentieren, der verschiedenen Funktionen von Instrumenten im Experiment und der Theoriebeladenheit des Experiments siehe Heidelberger, 1998.

28 Man könnte an dieser Stelle einwerfen, dass die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit formal aus der Annahme der Anwendbarkeit der Lorentz-Transformationen folgt. Diese Annahme ist jedoch nur richtig, wenn man die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit schon voraussetzt. Das war – historisch betrachtet – bei Einsteins Herleitung der Lorentz-Transformationen auch so der Fall. Vgl. Einstein, 1905.

29 Kaila, 1941, S. 60.

30 Kaila, 1941, S. 67.

31 Worrall 1989. Worralls Strukturenrealismus wiederum speist sich aus Bertrand Russells formalem Strukturalisms („[…] only the structure, that is, the totality of formal, logico-mathematical properties, of the external world can be known […]" (Psillos, 2007, S. 238)) sowie Poincarés und Duhems Theorienstrukturalismus („[…] there is continuity at the level of the structural description of the world: the structure of the world could be revealed by structurally-convergent scientific theories." (Psillos, 2007, S. 238)).

32 Inwiefern es sich dabei tatsächlich um Aussagen über die Welt handelt, ist fraglich. Vgl. dazu weiter unten in diesem Abschnitt.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

33 In Anführungszeichen, da es sich bei diesen Argumenten eigentlich nicht um echte Gegenargumente handelt. Das wird im Folgenden deutlich.
34 Auch hier haben wir es mit einer Form des Invarianzkriteriums für die Zuschreibung von Realität zu tun, in diesem Fall über den Wandel der Theorien hinweg.
35 Vgl. Neuber, 2012, S. 19.
36 Für ernstzunehmende physikalische Theorien, um die es in dieser Arbeit ja vor allem geht, trifft dies allerhöchstens in ihrem frühesten Entwicklungsstadium zu. Aus diesem Grund werden wir diesen Ansatz hier nicht weiter verfolgen.
37 Vgl. hierzu abermals die Darstellung des Strukturalismus von Poincaré und Duhem in Psillos, 2007, S. 238:„[…] *the structure of the world* could be revealed by structurally-convergent scientific theories." Ebenso Ladyman, 2009, 1. Introduction:„[…] structural realism [is] committing us to the claim that the theory's structure, over and above its empirical content, *describes the world*" (Hervorhebungen in beiden Zitaten von mir.) Diese Position enthält – nimmt man sie beim Wort – eine ontologische Behauptung, die über die instrumentalistische Identifikation von theoretischer Struktur und mathematischer Gleichung hinausgeht.
38 Vgl. Neuber, 2012, S. 20, Fußnote 44.
39 „[…] eliminativism does not require that there be relations without relata, just that the relata not be individuals." Ladyman 2009, 4. Ontic Structural Realism (OSR).
40 Neuber, 2012, S. 20, Fußnote 44.
41 Ich erlaube mir, dieses Problem mit „Structure aaall the way dooown" zu bezeichnen.
42 Dieses Problem möchte ich „Structure aaall the way round" nennen.
43 Carnap, 1928b.
44 Für die Klärung einiger Fragen bezüglich der Interpretation von Carnaps *Aufbau* sei Daniel Bosse und Florian Grauer (Tübingen) gedankt!
45 Sofern wir bezüglich unserer Erkenntnisbasis diese Wahl überhaupt haben! Nicht ohne Grund wählt Carnap, trotz aller prinzipieller Freiheiten, die eigenpsychische Basis, und nicht ohne Grund befinden sich an der Basis von Kailas „Konstitutionssystem" die φ-objects. Unser erster und grundlegendster Zugang zur Welt besteht nun mal im sinnlich Erfahrbaren.
46 Dies ist die Forderung, die der Epistemische Strukturenrealismus in seiner einfachen Form gemeinhin nicht erfüllt.
47 Dies ist die Forderung, der der Ontische Strukturenrealismus in seiner einfachen Form nicht nachkommt.
48 Diese Forderung wird weder im Epistemischen, noch im Ontischen Strukturenrealismus berücksichtigt.
49 Analog: Wer die Idee der Existenz göttlicher Wesenheiten für sich prinzipiell ablehnt, braucht sich auch keine Gedanken darum zu machen, ob er nun Anhänger des Christentums, des Islam, des Hinduismus oder sonst einer Religion werden soll.
50 Man denke etwa an die sogenannte dunkle Energie. Der Name ist bis dato lediglich ein Platzhalter und bezeichnet die hypothetische Ursache für die

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

beschleunigte Ausdehnung des beobachtbaren Universums. Die Ursache selbst ist momentan noch Gegenstand von Spekulationen und experimentell (noch) nicht zugänglich, ihre Wirkung aber sehr wohl beobachtbar. Insofern handelt es sich hier *nicht* um etwas *prinzipiell* Unzugängliches. Auch *noch nicht* oder *nur eingeschränkt* Zugängliches ist *prinzipiell* zugänglich. Ein ähnlicher, aber doch etwas anders gelagerter Fall ist der Nachweis des Higgs-Feldes, der erst mit dem Bau eines entsprechenden Beschleunigers möglich wurde, also von der technischen, aber auch der politisch-gesellschaftlichen Machbarkeit eines solchen Großexperiments abhängig war. Sowohl unsere technischen, als auch unsere gesellschaftlichen Möglichkeiten unterliegen aber einer historischen Entwicklung, von deren aktuellem Stand die Frage nach dem, was *prinzipiell* zugänglich ist, nicht abhängen kann.

51 Das gilt in dieser simplen Form zumindest für die klassische Physik. Bei quantenmechanischen Messprozessen beeinflussen sich messendes und zu messendes System mitunter so stark, dass auch der Zustand des zu messenden Systems nach der Messung ein anderer ist als zuvor. Dennoch korrelieren beide Zustände nach der Messung.

52 Hier drängt sich natürlich die Frage auf, ob φ-objects selbst zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung werden können. Die Beantwortung dieser Frage hängt ganz vom Erkenntnisziel einer solchen Untersuchung ab. Die qualitativ-phänomenale Erfahrung, eine Erdbeere zu sehen oder zu schmecken, ist hochgradig subjektiv und kann nicht in einer objektiven Art und Weise beschrieben werden. Welche Hirnareale beim Anblick oder beim Genuss der Erdbeere aktiv sind, welche Neurotransmitter ausgeschüttet werden dagegen schon. Es ist nur fraglich, ob man mit solchen Methoden etwas über die Qualität der Erfahrung erfährt. Vermutlich eher nicht.

53 Für eine genauere Darstellung dieser Einschränkung und die weiteren Details dieser Position verweise ich abermals auf meine Ausführungen oben.

Literatur

Carnap, R., 1928a: *Scheinprobleme in der Philosophie*. Berlin: Bernary.

Carnap, R., 1928b: *Der Logische Aufbau der Welt*. Berlin: Bernary.

Dawid, R., 2013: *String Theory and the Scientific Method*. Cambridge: Cambridge University Press.

Einstein, A., 1905: Zur Elektrodynamik Bewegter Körper. In: *Annalen der Physik*, 322, S. 891–921.

Esfeld, M., 2004: Quantum Entanglement and a Metaphysics of Relations. In: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, no. 35B, S. 601–617.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Feigl, H., 1950: Existential Hypotheses: Realistic Versus Phenomenalistic Interpretations. In: *Philosophy of Science*, 17, Chicago: The University of Chicago Press, S. 35–62.

Heidelberger, M., 1998: Die Erweiterung Der Wirklichkeit Im Experiment. In: M. Heidelberger & Friedrich Steinle (Hg.): *Experimental Essays – Versuche zum Experiment*, Baden-Baden: Nomos, S. 71–92.

Kaila, E., 1941: Über den physikalischen Realitätsbegriff – Zweiter Beitrag zum Logischen Empirismus. In: *Acta Philosophica Fennica*, 4, Helsinki.

Kaila, E., 1979a [1936]: On the System of the Concepts of Reality. A Contribution to Logical Empiricism. In: R. S. Cohen (Hg.), *Reality and Experience: Four Philosophical Essays*, Dordrecht: Reidel, S. 59–125.

Kaila, E., 1979b [1942]: On the Concept of Reality in Physical Science. Second Contribution to Logical Empiricism. In: R. S. Cohen (Hg.), *Reality and Experience: Four Philosophical Essays*, Dordrecht: Reidel, S. 126–258.

Ladyman, J., 2009: Structural Realism. In: Edward N. Zalta (Hg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, http://plato.stanford.edu/archives/sum2009/entries/structural-realism/

Neuber, M., 2012: Invariance, Structure, Measurement – Eino Kaila and the History of Logical Empiricism. In: Sven Ove Hansson (Hg,), *Theoria*, 78, Hoboken: Wiley-Blackwell, S. 358–383.

Niiniluoto, I., 1992: Eino Kaila and Scientific Realism. In: Ilkka Niiniluoto, M. Sintonen, and G. H. von Wright (Hg.), Acta Philosophica Fennica, 52, *Eino Kaila and Logical Empiricism*, Helsinki, S. 102–116.

Nozick, R., 2001: *Invariances – The Structure of the Objective World*. Cambridge: Harvard University Press.

Psillos, S., 2007: *Philosophy of Science A–Z*. Edinburgh: Edinburgh University Press.

Reichenbach, H., 1938: *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.

Worrall, J., 1989: Structural Realism: The Best of Both Worlds? In: *Dialectica*, 43, S. 99–124.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Tobias Jung / Lukas Nickel

Messung und Unschärfe in der klassischen Physik

Zusammenfassung

Gemäß einer weit verbreiteten Sichtweise gibt es hinsichtlich der Messung in der Quantenphysik und in der klassischen Physik einen grundlegenden Unterschied. Um einer Klärung dieser Frage den Boden zu bereiten, versuchen wir für die klassische Physik die Folgen zu diskutieren, die sich ergeben, wenn man die Messung in die Theorie mit einbezieht. Zunächst wird dafür argumentiert, dass jede Messung auf eine Längen- bzw. Zählmessung zurückzuführen ist.

Wir führen zusätzlich zu den bekannten Arten von Messfehlern – statistischen und systematischen Fehlern – das Konzept der klassischen Messunschärfe ein, das abbildet, dass jede Messung einer Messgröße A mit einer endlichen Ungenauigkeit ΔA behaftet sein muss. Dies bedeutet insbesondere, dass die Angabe von nichtendlichen Dezimalzahlen für Messwerte transempirisch ist. Die Betrachtung der Messfehler führt zu der Folgerung, dass auch in der klassischen Physik nur mehr Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen werden können und Messungen an Ensembles zur empirischen Bestätigung theoretischer Vorhersagen nötig sind. Außerdem wird die Behauptung entkräftet, in der klassischen Physik seien im Prinzip Messungen möglich, die den Zustand eines Systems nicht stören. Abschließend stellen wir heraus, dass durch Einbeziehung der Messung in die Theorie die klassische Physik wie die Quantenphysik als indeterministischen Theorie formuliert werden kann, ebenso wie beide ohne Einbeziehung der Messung deterministisch formuliert werden können.

Abstract

There is the widely held view that quantum physics differs fundamentally from classical physics regarding measurements. In order to prepare the ground for settling this question we discuss the consequences it has for classical physics if one includes measurement in the theory. After explaining the terms measurement and error it is argued that every measurement can be reduced to a measurement of length and/or number. Additionally to the well-known statistical and systematical errors we introduce the concept of classical uncertainty which states that every measurement of a physical quantity A carries a finite inaccuracy ΔA. Hence it is transempirical to assign an infinite decimal number to a measurement. This implies that, also in classical physics,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

only probabilistic predictions are possible and that we need ensembles for the empirical testing of theoretical predictions. Furthermore we rebut the claim that in classical physics measurements can be performed without any disturbance of the system under investigation. Finally we state that by including measurements in the theory itself classical physics like quantum physics can be formulated as an indeterministic theory. Likewise both theories can be formulated deterministically if measurements are excluded from the theory.

1. Einführung

Das zentrale Anliegen von Naturwissenschaften wie der Physik ist ihrem Selbstverständnis nach die Formulierung von Theorien und Hypothesen, die einer empirischen Überprüfung standhalten und somit eine geeignete Beschreibung unserer Welt darstellen können.[1] Da die Physik in erster Linie eine quantitative Wissenschaft ist,[2] benötigt man an vorderster Stelle *Messungen*, um theoretische Behauptungen im Experiment nachprüfen zu können. Seit Messungen in Form des Messprozesses in vielen Formulierungen der Quantenphysik einen großen Stellenwert erhalten haben, sind sie auch in der theoretischen Physik ein allgegenwärtiges Thema geworden. Schlägt man ein übliches Lehrbuch der Quantenphysik auf, so trifft man dort fast mit Sicherheit auf die Ansicht, es gäbe einen grundlegenden Unterschied zwischen Messungen in der klassischen Physik und Messungen in der Quantenphysik. Beispielsweise konstatiert Ramamurti Shankar (geb. 1947) in seinen „Principles of Quantum Mechanics", dass bei einer Messung in der klassischen Mechanik der Zustand $(\mathbf{x}, \mathbf{p})$ des Systems unangetastet bleibt (vgl. Shankar, 1994, S. 115 ff.), wohingegen sich in der Quantenmechanik der Zustand des Systems, der durch die Wellenfunktion ψ – oder genauer durch einen Strahl $|\psi\rangle$ – beschrieben wird, ändert (vgl. Shankar, 1994, S. 115 ff.). Nach unserem Dafürhalten basiert diese *vermeintlich* fundamentale Unterscheidung hinsichtlich der Bedeutung der Messung auf einem fragwürdigen Vergleich zweier Theorien, denn während die Messung in der Quantenphysik einbezogen wird, kommt sie in der Standardformulierung der klassischen Physik gar nicht vor. Somit ist die Messung in der klassischen Physik üblicherweise kein Teil der Theorie, sondern die Theorie lässt sich auf den Vorgang der Messung anwenden.[3] In den üblichen Lehrbuchformulierungen der Quantenphysik hingegen (denen in der Regel eine etwas modernisierte Fassung dessen, was

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

man gemeinhin als Kopenhagener Deutung bezeichnet, zugrunde liegt) spielt die Messung eine fundamentale Rolle. Sie erscheint insbesondere in dem Postulat, dass der Zustand des Systems bei einer Messung in einen Eigenzustand der zugeordneten Observable kollabiert (vgl. z.B. Nolting, 2009, S. 188, und Scheck, 2006, S. 74). Werden diese zwei auf ungleicher Grundlage stehenden Formulierungen einer klassischen und einer quantalen Theorie – im einen Fall wird die Messung außen vor gelassen, im anderen Fall wird sie in die Theorie einbezogen – verglichen, so ist die Relevanz der Folgerungen, die aus den Unterschieden dieses Vergleichs gezogen werden, aus unserer Sicht zweifelhaft. Dennoch finden sich in vielen Werken – meist ohne weitere Erläuterung – derartige „Lehrsätze" zum Unterschied der klassischen Mechanik und der Quantenmechanik. Um mehr Klarheit über die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen Quantenphysik und klassischer Physik zu erhalten, gehen wir einen Schritt zurück und versuchen zu erörtern, wie sich die Sicht auf die klassische Physik verändert, wenn man versucht, die Messung einzubeziehen.

Im nächsten Abschnitt machen wir einige Bemerkungen über den Begriff der Messung, der für unsere Arbeit grundlegend ist. Dabei zeigen wir, dass sich unter Voraussetzung einer Zeitordnung alle Messungen letztlich auf die Bestimmung von Orten auf einer gegebenen Skala sowie Zählen als so genannte primitive Messungen zurückführen lassen. In Abschnitt 3 klassifizieren und charakterisieren wir verschiedene Arten von Messfehlern, unter ihnen insbesondere die von uns so bezeichnete *klassische Messunschärfe*, die zumeist außer Acht gelassen wird. Daran anknüpfend stellen wir in Abschnitt 4 Überlegungen zur Störung eines Systems infolge von Messungen an. Abschließend ziehen wir einige mögliche Folgerungen für den Vergleich zwischen einer klassischen Physik, die Messungen berücksichtigt, und üblichen Formulierungen der Quantenphysik.

2. Der Begriff der Messung und die Reduktion auf primitive Messungen

Der für unsere Betrachtungen zentrale Begriff der *Messung* wird in einer DIN-Norm, als „das Ausführen von geplanten Tätigkeiten zu einer quantitativen Aussage über eine Messgröße durch Vergleich mit

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

einer Einheit" (DIN 1319-1:1995, Nr. 2.1) definiert. Als Beispiel für eine *Messgröße* oder *physikalische Größe* betrachte man die Höhe der Oberkante einer Tischplatte über dem Fußboden. Der *Messwert* dieser Messgröße sei h. Eine Messung könnte für diesen Messwert beispielsweise das Resultat $h = 0{,}76\,\mathrm{m}$ ergeben. Der Messwert ist das Produkt aus einer *Maßzahl*, im Beispiel die Zahl 0,76, und einer *Einheit*, in unserem Fall die Einheit *Meter* abgekürzt durch m. Diese Einheit ist jeweils in geeigneter Weise festgelegt. In früheren Zeiten geschah dies für die Einheit *Meter* beispielsweise durch den in Paris aufbewahrten Urmeter. Seit 1975 wird die Einheit *Meter* als die Länge bestimmt, die Licht im Vakuum innerhalb des Zeitintervalls 1s/299792458 durchläuft. Nebenbei sei bemerkt, dass nur der Messwert eine definierte Bedeutung hat, wohingegen die Maßzahl alleine keinerlei Aussagekraft besitzt und nur in Verbindung mit einer Einheit *physikalisch* sinnvoll ist. Je nach gewählter Einheit verändert sich die Maßzahl; der Messwert ist dagegen invariant gegenüber einem solchen Maßstabswechsel. Da man im Prinzip beliebige Einheiten konstruieren und wählen kann, ist eine Maßzahl in jede erdenkliche Form zu bringen. So beträgt die Maßzahl der Länge des Urmeters in der Einheit *π-tel Meter* natürlich genau π, in vergleichbarer Weise könnte man durch Maßstabswechsel aus jeder ganzen Zahl *theoretisch* beliebige reelle Maßzahlen konstruieren.[4] Wir werden uns allerdings mit solchen Maßstabswechseln in der Folge nicht beschäftigen, sondern davon ausgehen, dass die Maßzahlen tatsächlich in den Einheiten vorliegen, die auch in der real durchgeführten Messung Verwendung finden. Das schließt in der Praxis aus, dass eine Maßzahl unendlich viele Dezimalstellen hat, wie wir in Abschnitt 3 näher ausführen werden.

Wie der oben genannte Vergleich einer Messgröße mit einer Einheit zum Erwerb einer quantitativen Aussage vonstatten zu gehen hat, ist jedoch eine schwierige Frage, was der Physiker und Wissenschaftsphilosoph Henry Margenau (1901–1997) wie folgt begründet (Margenau, 1958, S. 24, unsere Übersetzung):

> Denn das Gerät und der Messprozess alleine sagen uns nicht, dass die gemessene Zahl eine Länge oder eine Energie oder eine Frequenz repräsentiert; für diese Identifikation benötigt man bestimmte Regeln, die die Korrespondenz zu vorgefertigten theoretischen Konstrukten festlegen. Dies verkompliziert die Bedeutung von Messung erheblich.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Woher weiß man, wie eine Korrespondenz von theoretischen Begriffen, d.h. den Messgrößen, mit den realen Objekten, die bei der Messsituation vorliegen, herzustellen ist? Margenau erwähnt die bereits vor – und unabhängig von – der Messung konstruierten Theorien, die einen Aspekt der Lösung beinhalten. Nimmt man beispielsweise einmal an, das Messen einer Kraft **F**, die auf einen beliebigen Körper wirkt, und der Ladung q eines beliebigen Körpers seien etabliert und unstrittig. Dann kann man auch die elektrische Feldstärke **E** eines elektrischen Feldes messen, das in der Elektrostatik über die Gleichung $\mathbf{E} = \mathbf{F}/q$ definiert wird. Wir betonen, dass ohne die entsprechende Theorie des Elektromagnetismus, zum Beispiel die Maxwellsche Elektrodynamik oder die in ihr als Spezialfall enthaltene Elektrostatik, ein elektrisches Feld gar nicht messbar ist, da nur die Theorie die Verbindung dieses theoretischen Begriffes mit gemessenen Größen liefert. In einer anderen Theorie, die möglicherweise dieselben Phänomene beschreibt, mag der Begriff des elektrischen Feldes gar nicht auftauchen oder in einer anderen Weise gebraucht werden. Dass eine Theorie vorausgesetzt werden muss, um die Phänomene überhaupt in sinnvoller Weise untersuchen zu können, wird in der Wissenschaftstheorie gemeinhin als *Theoriebeladenheit der Messung* bezeichnet (vgl. hierzu z.B. Hacking, 1996, S. 285 ff.). Albert Einstein (1879–1955) hat dies folgendermaßen auf den Punkt gebracht (zitiert nach Werner Heisenberg: „Die Quantenmechanik und ein Gespräch mit Einstein (1925–1926)“ in Heisenberg, 1991, S. 80): „Erst die Theorie entscheidet darüber, was man beobachten kann.“ Tatsächlich existieren verschiedene Ansätze, die Phänomene des Elektromagnetismus durch eine Theorie mit direkter Fernwirkung zu beschreiben.[5] Unter Benutzung einer derartigen Theorie könnte die elektrische Feldstärke eines elektrischen Feldes nicht gemessen werden, weil es in ihr als Beschreibung der Phänomene überhaupt nicht vorkommt. Wenn wir nur eine solche Theorie kennen würden und den Begriff „elektrisches Feld“ niemals gehört hätten, könnten wir trotzdem die Ergebnisse unserer Messungen sinnvoll erklären.

Um Messungen durchführen zu können, benötigt man neben den Aussagen der Theorie über die entsprechenden Messgrößen noch eine Übereinkunft über primitive Konzepte, auf welche die Messung einer Messgröße bezogen werden kann. Im obigen Beispiel der Messung der elektrischen Feldstärke **E** im Rahmen der Maxwellschen Elektrodynamik konnte man die Messung dieser Größe auf die Messung ande-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

rer Größen, nämlich der Kraft **F** und der Ladung q, zurückführen. Ebenso könnte man die Messung einer Stromstärke I mit Hilfe eines Ampèremeters auf die Messung der Länge Δx reduzieren, die durch den Ausschlag des Zeigers repräsentiert wird und auf einer Skala abgelesen werden kann. Die Rückführung der Messung einer Messgröße auf die Messung anderer Messgrößen kann aber nicht in einen unendlichen Regress führen oder zirkulär sein. Folglich müssen alle diese Ketten des Zurückführens nach endlich vielen Schritten in eine oder mehrere *primitive Messungen*, wie wir sie bezeichnen wollen, münden. Wir vertreten die Ansicht, dass es zwei primitive Messungen gibt, die *Zählmessung* und die *Ortsmessung*, sofern man noch als *primitives Konzept der Zeit* eine Ordnungsrelation auf der Menge aller Zeitpunkte in Bezug auf das System, in dem das Messgerät ruht, voraussetzt. Als *Zählmessung* bezeichnen wir eine Messung, bei der durch Zählen eine Anzahl bestimmt wird. Dabei gehen wir vereinfachend im Folgenden davon aus, dass Zählen ohne Fehler möglich ist. Zählmessungen treten jedoch niemals isoliert auf, da in der Physik lediglich Aussagen über Messgrößen wie zum Beispiel die Anzahl der Teilchen *in einem Raumbereich* (Teilchendichte) oder die Teilchenzerfälle *in einer Zeitspanne* (Rate) sinnvoll sind. Alle Messungen setzen ein Messgerät voraus. Jedes Messgerät muss räumlich lokalisiert sein. Messgeräte, die keine Zählmessung vornehmen, werden letztlich in irgendeiner Form eine Skala aufweisen, auf welcher der Messwert der korrespondierenden Messgröße als Länge Δx abgelesen wird. Diese *Längenmessung* lässt sich im Ruhesystem des Messgeräts auf zwei sukzessive Ortsmessungen zurückführen: *vorher* stand der Zeiger auf der Skala am Ort x_1, jetzt, zu einem *späteren Zeitpunkt*, steht er am Ort x_2. Also ist die Länge $\Delta x = x_2 - x_1$. Als *Ortsmessung* bezeichnen wir die Feststellung der Position oder „des Ortes" x eines Zeigers zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die einzelne Ortsmessung liefert noch keine physikalisch relevante Information. Für die sinnvolle Verknüpfung zweier Ortsmessungen zu einer Längenmessung ist das primitive Konzept der Zeit, das uns ein *früher* und *später* liefert, nötig. Auch *Zeitmessungen* selbst lassen sich auf Längenmessungen oder Zählmessungen zurückführen.

Aus philosophischer Sicht stellt man Parallelen fest zwischen den hier eingeführten primitiven Messungen und der Untersuchung von Raum und Zeit, die Immanuel Kant (1724–1804) in seiner „Kritik der reinen Vernunft" (A: 1781, B: 1787) in dem als „Transzendentale Ästhetik"

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

bezeichneten Teil vorgelegt hat (vgl. Kant, *KrV*, B 33 – B 73). Wir wollen die Zusammenhänge kurz andeuten. Kant arbeitet heraus, wie Erfahrungserkenntnis möglich ist. Dazu müssen uns Gegenstände gegeben sein, d. h. wir müssen Anschauungen haben, die dann zum Beispiel auf Begriffe bezogen und miteinander verknüpft werden können (Kant, *KrV*, B 75):

> Ohne Sinnlichkeit [d.h. ohne Räumlichkeit und Zeitlichkeit] würde uns kein Gegenstand gegeben und ohne Verstand keiner gedacht werden. Gedanken ohne Inhalt sind leer, Anschauungen ohne Begriffe sind blind.

Kant hält fest, dass uns kein Gegenstand, d.h. physikalisch gesprochen kein Körper, gegeben werden kann, der nicht im Raum ist. Die Räumlichkeit ist eine Bedingung der Möglichkeit dafür, wie *uns*, d.h. dem endlichen Sinnen- und Vernunftwesen Mensch, Dinge *erscheinen* können. Dies korrespondiert unserer Feststellung, dass Ortsmessungen, also auf Räumlichkeit bezogene Messungen, eine der primitiven Messungen ausmachen. Bei Kant ist die Zeitlichkeit fundamentaler als die Räumlichkeit, weil jede Anschauung, ob sie in gegebenen Gegenständen oder zum Beispiel in Gefühlen, die wir nicht unter der Bedingung der Räumlichkeit anschauen, besteht, dem Nacheinander in der Zeitlichkeit unterworfen ist. Kant zeigt auf, dass die Räumlichkeit die Bedingung der Möglichkeit der Geometrie und die Zeitlichkeit die Bedingung der Möglichkeit der Arithmetik ist. Die Abfolge der Zahlen beruht also auf der Sukzession in der Zeitlichkeit. Entsprechend liegt das primitive Konzept von Zeit, das wir oben vorausgesetzt haben, den Zählmessungen als Bedingung ihrer Möglichkeit zugrunde. Dass Räumlichkeit und Zeitlichkeit die alleinigen reinen Formen der Anschauung sind, stimmt damit überein, dass es außer der Ortsmessung und der Zählmessung keine weiteren primitiven Messungen gibt.

Die Gewinnung eines Messwerts erfolgt also einerseits auf der Grundlage einer oder mehrerer vorausgesetzter physikalischer Theorien sowie andererseits auf der Basis einer impliziten Übereinkunft über primitive Messungen, nämlich Ortsmessungen und Zählmessungen. Da wir annehmen, dass Zählen ohne Fehler möglich ist, werden wir im Folgenden davon ausgehen, dass letztlich die Betrachtung der Ortsmessung ausreicht, um alle physikalischen Messverfahren abzudecken. Deshalb können wir uns in unseren Beispielen auf Ortsmessungen beschränken.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

3. Messfehler und klassische Messunschärfe

Wohl in fast jeder Einführungsvorlesung in Physik bekommen die Studentinnen und Studenten den Spruch „Wer misst, misst Mist" zu hören: Messungen sind nicht ohne so genannte *Messfehler* möglich. Geht man davon aus, dass eine Messgröße tatsächlich einen gewissen Wert besitzt, den so genannten *wahren Wert*[6], so kann man den Messfehler ΔA einer physikalischen Größe A als Differenz zwischen dem tatsächlich bestimmten Messwert A_m und dem wahren Wert A_0 definieren (vgl. z.B. Demtröder, 1998, S. 31): $\Delta A = A_m - A_0$. Im Folgenden untersuchen wir drei verschiedene Arten von Messfehlern. Üblicherweise unterteilt man Messfehler in *systematische Fehler* ΔA_{syst} und *statistische Fehler* oder *zufällige Fehler* ΔA_{stat}. Mit ersteren wollen wir uns nicht weiter beschäftigen, da sie im Prinzip kontrollierbare Einflüsse beschreiben, die „durch eine Verbesserung des Messverfahrens reduziert bzw. vermieden werden" (Tipler und Mosca, 2009, S. 13) können. Statistische Messfehler sind bei einer realen Messung unvermeidlich und werden in der Physik üblicherweise ausführlich diskutiert (vgl. z.B. Demtröder, 1998, S. 29f., oder Gobrecht, 1990, S. 7–9). Bevor wir diese in Abschnitt 3.2 näher betrachten, zeigen wir, dass es noch eine weitere Art Abweichung des Messwerts vom wahren Wert gibt. Diese Abweichung, die von der notwendigerweise endlichen Messgenauigkeit herrührt, wollen wir als *klassische Messunschärfe* ΔA_{kl} bezeichnen.[7]

Der Messfehler ΔA ergibt sich unter der Annahme, dass die einzelnen Arten von Messfehlern voneinander unabhängig sind, letztlich als Summe dieser drei verschiedenen Arten von Messfehlern:

$$\Delta A = \Delta A_{kl} + \Delta A_{syst} + \Delta A_{stat}.$$

3.1 Klassische Messunschärfe

Um die Herkunft der klassischen Messunschärfe zu beleuchten, betrachten wir eine *ideale Messung*. Darunter verstehen wir eine Messung, bei der weder systematische noch statistische Messfehler auftreten.

Wir stellen fest, dass es bei einer solchen idealen Messung dennoch eine Abweichung zwischen wahrem Wert und Messwert gibt, denn jede Messung einer physikalischen Größe mit der Maßzahl A in einer bestimmten Einheit weist eine begrenzte Messgenauigkeit ΔA_{kl} auf, die

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

durch die Einteilung der Skala des Messgeräts gegeben ist. Diese klassische Messunschärfe ist zwar keine *prinzipielle* Messunschärfe in dem Sinne, dass es eine unverrückbare untere Schranke gäbe, das heißt sie kann, zum Beispiel infolge der Einführung neuer Messmethoden, im Prinzip beliebig verkleinert werden. Aber entscheidend ist, dass sie *de facto* niemals völlig eliminiert werden kann, das heißt: $\Delta A_{\mathrm{kl}} > 0$. Wegen $\Delta A_{\mathrm{syst}} \geq 0$ und $\Delta A_{\mathrm{stat}} \geq 0$ folgt hieraus: $\Delta A > 0$.[8]

In Anlehnung an die Darstellung der kosmologischen Antinomien (vgl. insbesondere Kant, *KrV*, B 432–B 489) in der „Transzendentalen Dialektik" von Kants „Kritik der reinen Vernunft" könnte man von einer *Messantinomie* sprechen. In der zweiten kosmologischen Antinomie (vgl. hierzu auch Falkenburg, 1994) weist Kant nach, dass die Frage, ob Materie unendlich oft teilbar ist oder ob es letzte unteilbare Teilchen, so genannte Elementarteilchen, gibt, nicht beantwortet werden kann, weil diese Frage den Bereich möglicher Erfahrung übersteigt. Meinen wir nach einer endlichen Anzahl von Teilungsschritten die elementaren, d.h. nicht mehr weiter teilbaren, Teilchen gefunden zu haben, so ist das noch kein empirischer Nachweis, dass weitere Teilungsschritte nicht auf noch kleinere Teilchen führen würden.[9] Dass die Materie unendlich oft teilbar ist, können wir aber auch nicht nachweisen, da sich faktisch immer nur eine endliche Anzahl von Teilungsschritten durchführen lässt.[10] Von daher ist die Behauptung, bestimmte Teilchen seien tatsächlich Elementarteilchen, eine Anmaßung, die empirisch nicht eingelöst werden kann. Analog dazu muss ernst genommen werden, dass die vollständige Elimination des klassischen Messfehlers praktisch nicht realisiert werden kann. Mit jeder neuen Generation von Messgeräten mag sich eine Verkleinerung der klassischen Messunschärfe ergeben, sie wird aber dennoch nicht verschwinden.

Die klassische Messunschärfe ist eine fundamentale Messunschärfe in dem Sinne, dass sie jede Messung unabhängig von der zugrundeliegenden Theorie berührt. Egal wie eine Theorie geartet sein mag, zu ihrer empirischen Überprüfung müssen immer real existierende, endlich große Messapparate benutzt werden. Insofern ist die klassische Messunschärfe auch grundlegender als die *quantenmechanische Messunschärfe*, die in der *Heisenbergschen Unschärferelation* ihren Ausdruck findet. Somit stellt die klassische Messunschärfe in jeder Theorie eine Begrenzung der Möglichkeit dar, Vorhersagen empirisch zu überprüfen. Für eine Maßzahl kann gemäß der klassischen Messunschärfe nicht $A_{\mathrm{m}} \in \mathbb{R}$

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

gelten, sondern es ist vielmehr $A_m \in \mathbb{Q}_z$ mit $z \in \mathbb{Z}$, wobei $\mathbb{Q}_z$ für $z > 0$ die Menge aller rationalen Zahlen mit bis zu z Dezimalen bezeichnet und für $z \leq 0$ die Menge aller natürlichen Vielfachen der Zehnerpotenz mit Exponent $|z|$. Diese Mengendefinition berücksichtigt, dass die Maßzahl stets nur eine bestimmte endliche Anzahl an Stellen besitzen kann, die letztlich dem Abstand zwischen zwei Skalenstrichen des Messgeräts korrespondiert.

Es ist instruktiv, sich anhand des Beispiels einer einfachen Messung die Bedeutung der klassischen Messunschärfe klar zu machen. Dafür betrachten wir den folgenden Fall: Ein klassisches Punktteilchen soll sich entlang der x-Achse, also in einer Dimension, bewegen. Dabei soll sein Ort x gemessen werden. Wir nehmen an, dass die Messung gemäß obiger Definition ideal erfolgen kann, das heißt das Messgerät weist einen Skalenabstand von Δx auf, arbeitet ansonsten aber völlig fehlerfrei. Bei der Ortsmessung werde nun ein Wert x_m für den Ort gemessen.

Aufgrund des endlichen Skalenabstandes Δx ist die empirische Aussage dieser idealen Messung so zu verstehen, dass das Punktteilchen in einem Intervall um den Messwert x_m lokalisiert ist:

$$x_0 \in \left[-\frac{\Delta x}{2};\ \ x_m + \frac{\Delta x}{2} \right].$$

Der *wahre* Ort x_0 des Punktteilchens kann durch Messung nie exakt bestimmt werden. Es kann lediglich eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Orte angegeben werden. Diese Wahrscheinlichkeitsverteilung kann aber nicht empirisch bestimmt werden, sondern sie muss – in der Regel ohne weitere Begründung – vorausgesetzt werden. Üblicherweise wird für diese Wahrscheinlichkeitsverteilung die *Gleichverteilung* als die mit am wenigsten Vorurteilen belastete Annahme („natürliche Annahme") theoretisch postuliert. Das Ergebnis für unser Beispiel unter dieser Annahme ist in Abbildung 1 (a) dargestellt.

Aus den bisherigen Betrachtungen ergibt sich der Schluss: Die Angabe der Maßzahl einer Messgröße als reelle Zahl $A_m \in \mathbb{R}_z$ ist in jedem Fall *transempirisch*; ein Messwert mit unendlich vielen Dezimalen übersteigt alle mögliche Erfahrung. Die Vorhersagen einer Theorie lassen sich somit empirisch prinzipiell nur bis zu einer gewissen endlichen Genauigkeit überprüfen. Die *Vorhersagekraft* einer Theorie wird durch die klassische Messunschärfe begrenzt: Da die Anfangsbedingungen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

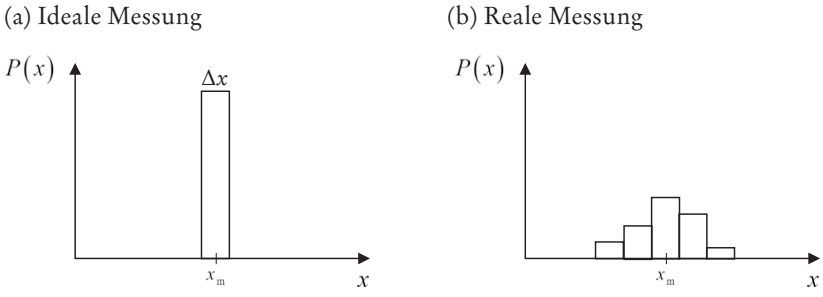

Abbildung 1: Wahrscheinlichkeit $P(x)$ dafür, dass sich ein Teilchen tatsächlich am Ort x befindet, wenn der Wert x_m gemessen wird.

nur innerhalb eines Intervalls bestimmter Länge festgelegt werden können, ergeben sich auch für die vorhergesagten Werte nur mehr Intervalle, deren Längen je nach Situation variieren können.

In seinem Aufsatz „Ist die klassische Mechanik tatsächlich deterministisch?" konstruiert Max Born (1882–1970) einen paradigmatischen Fall, in dem eine kleine Unsicherheit in den Anfangsbedingungen eines gegebenen Systems zu völlig instabilem Verhalten in der Zeitentwicklung des Systems führt (vgl. Born, 1955). Betrachtet man das System mit unterschiedlichen Anfangsbedingungen, die sich nur wenig unterscheiden (beispielsweise hinsichtlich des Ortes um eine Größe Δx), so differiert die Entwicklung des Systems nach einer hinreichend langen Zeitspanne so stark, dass die entsprechenden Endzustände weit auseinander liegen. Tatsächlich genügt zum Beispiel ein im Bereich der Ortsabweichung Δx stark fluktuierendes Potential, wie es durch eine elektromagnetische Welle mit hinreichend kurzer Wellenlänge λ realisiert werden könnte, damit die klassische Mechanik keine „Vorhersagekraft" mehr aufweist. Born schließt daraus, die klassische Mechanik sei in Wahrheit gar keine deterministische Theorie und die Behandlung einer physikalischen Größe als reelle Zahl sei obsolet. Wir werden darauf noch in Abschnitt 5 eingehen.

Festzuhalten ist in jedem Fall, dass die klassische Messunschärfe zu einer Einschränkung für empirische Voraussagen führt bzw. führen kann, von der letztlich *jede* physikalische Theorie betroffen ist. Auch in der klassischen Mechanik kann man daher im Allgemeinen nur noch Wahrscheinlichkeitsaussagen machen; in manchen Situationen lässt sich, wie Borns Beispiel lehrt, gar keine Aussage mehr treffen. Dieses

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Bild verstärkt sich noch, wenn wir im nächsten Schritt eine der Idealisierungen, mit denen wir bisher das Messgerät beschrieben haben, nämlich $\Delta A_{\text{stat}} = 0$, fallen lassen.

3.2 Statistische Fehler

Jedes existierende Messgerät hat nicht nur eine endliche Auflösung, die eine klassische Messunschärfe ΔA_{kl} nach sich zieht, sondern es ist darüber hinaus auch fehlerbehaftet im Sinne der oben genannten systematischen und statistischen Messfehler. Es kann nicht perfekt gebaut und geeicht werden und unterliegt, da eine völlige Vermeidung von Wechselwirkungen mit der Umgebung nicht erreicht werden kann, einer Vielzahl von unkontrollierbaren Umwelteinflüssen. Während man zumindest hoffen kann, dass Fehleichungen vermieden und damit systematische Fehler völlig unterdrückt werden können, ist die vollständige Eliminierung statistischer Messfehler prinzipiell unmöglich. Dies liegt daran, dass die übliche Annahme, das betrachtete physikalische System sei *abgeschlossen*, eine Idealisierung darstellt. Im besten Falle kann man davon ausgehen, dass das Weltall ein abgeschlossenes System ist, während jedes in ihm befindliche Teilsystem nicht abgeschlossen ist. Somit geht jedes Teilsystem unvermeidlich Wechselwirkungen mit seiner Umgebung ein, mögen diese auch noch so klein sein. Damit existiert aber in Bezug auf eine Ortsmessung immer eine Schranke für die klassische Messunschärfe ΔA_{kl}, unterhalb derer die Einflüsse der Umgebung relevant werden und statistische Messfehler in Betracht zu ziehen sind. Die oben gezeigte Kurve (vgl. Abbildung 1 (a)) für den Zusammenhang von Messwert und realem Teilchenort wird also in der Realität verbreitert sein. Abbildung 1 (b) zeigt eine mögliche Verteilung von Wahrscheinlichkeiten für den Teilchenort, wenn mit dem Messgerät für den Ort der Wert x_{m} bestimmt wurde. Praktisch kann diese Verteilung aber nie genau bekannt sein; man ist so gezwungen, sich zum Beispiel auf die Annahme zu berufen, dass der *Mittelwert* $\bar{x}$ der Verteilung gleich dem wahren Wert x_{w} ist: $\bar{x} = x_{\text{w}}$.[11]

Betrachten wir also erneut eine Ortsmessung, deren Ergebnis x_{m} ist, und fragen uns, welche Schlüsse wir aus diesem Messwert ziehen können. Würden wir die präzisen Eigenschaften des Messgeräts kennen, könnten wir eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Ort des Teil-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

chens angeben. Das würde aber voraussetzen, dass wir genau wissen können, wie die Umwelt das Messergebnis beeinflusst, welche Fehler das Messgerät hervorruft und so weiter – offenbar ein undurchführbares Unterfangen, denn man müsste diese Informationen mit Hilfe einer Messung der Eigenschaften des Messgerätes gewinnen und würde sich damit in einen unendlichen Regress begeben. In der Praxis arbeitet man deshalb häufig mit Fehlerabschätzungen; man gibt obere Schranken für Abweichungen an und gewinnt so Grenzen für die Ungenauigkeiten des Messapparats.

Wir wollen annehmen, dass wir über das Messgerät ausschließlich folgendes Wissen besitzen: Erstens sei das arithmetische Mittel der Messwerte bei Messung an einem Ensemble von gleichartigen Systemen der wahre Wert der Größe. Zweitens weiche der Messwert jeweils mit einer Wahrscheinlichkeit von $P(\Delta x)$ um mehr als Δx vom wahren Wert ab, wobei es einen Wert X gibt, für den gilt:[12] $P(\Delta x) = 0 \; \forall \; \Delta x > X$.

Folglich führt eine Messung nur mehr auf eine Wahrscheinlichkeit für den tatsächlichen Ort des Teilchens. Dadurch ist auch jede Prognose der Theorie mit einem Wahrscheinlichkeitscharakter behaftet. Eine exakte Vorhersage des Ergebnisses einer zweiten Messung derselben Messgröße ist im Allgemeinen nicht möglich. Wenn die Messgeräte relativ genau, die untersuchten Objekte eher groß und langsam und die Einflüsse der Umgebung hinreichend klein, können allenfalls fast sichere Voraussagen gemacht werden. Dies ist der Grund, wieso der von uns beschriebene Aspekt bei Betrachtungen des Unterschieds zwischen klassischer Physik und Quantenphysik häufig nicht berücksichtigt wird: Die klassische Physik macht, wie sich historisch gezeigt hat, im mikroskopischen Bereich falsche Vorhersagen. Ihr Anwendungsbereich liegt bei der Beschreibung von Körpern, deren typische Ausmaße deutlich größer als die Skalenabstände sind und deren Zustand bei den verbreiteten Messmethoden kaum gestört wird. Hierauf werden wir im nächsten Abschnitt noch ausführlicher zurückkommen.

Will man nun eine physikalische Theorie empirisch überprüfen, so führen die drei genannten Arten von Messfehlern dazu, dass dies mit Hilfe einer einzelnen Messung nicht möglich ist. In jeder physikalischen Theorie ist man somit gezwungen, Messungen an einem Ensemble gleichartiger Systeme oder hintereinander mehrere Messungen an ein und demselben System durchzuführen, um Mittelwerte für Messgrößen bilden zu können. Somit sind Ensemble-Messungen in der klassischen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Physik genauso wie in der von Born auf den Weg gebrachten statistischen Interpretation der Quantenmechanik[13] Voraussetzung für eine empirische Überprüfung theoretischer Voraussagen.

4. Störungen durch Messung

Im vorhergehenden Abschnitt haben wir die Frage nach der Genauigkeit eines Messwertes erörtert. In diesem Abschnitt werden wir uns der Frage zuwenden, wie stark der Zustand eines Systems bei der Messung gestört wird. Dazu werfen wir einen Blick zurück auf die in der Einführung genannte Aussage, dass sich in der klassischen Physik infolge einer Messung der Zustand des betrachteten Systems nicht ändere, wohingegen in der Quantenphysik eine Messung eine Änderung des Zustands des Systems nach sich ziehe (vgl. Shankar, 1994, S. 115 ff.). Diese Aussage ist offensichtlich falsch, denn, selbst wenn man von Messfehlern absieht, muss jede Messung eine Wechselwirkung mit dem System sein, an dem die Messung durchgeführt wird. In der uns bekannten Physik existieren keine *Einwirkungen* im Sinne einer „Einbahnstraßen-Wechselwirkung". Dies wird aus dem Wort *Wechsel*wirkung selbst ja schon deutlich. Jede Messung wird also nicht nur den Messapparat, sondern zwangsläufig auch den Zustand des zu messenden Systems verändern bzw. stören.

Häufig stützt sich die Behauptung, es gäbe einen fundamentalen Unterschied zwischen der klassischen Physik und der Quantenphysik, auf ein Argument der folgenden Art. Eine störungsfreie Messung sei zwar *praktisch* unmöglich, aber in der klassischen Physik sei sie im Unterschied zur Quantenphysik zumindest *prinzipiell* möglich (vgl. Demtröder, 2000, S. 109, und Meixner, 2009, S. 10). Niels Bohr (1885–1962) versuchte diesen Punkt folgendermaßen zu fassen (Bohr, 1985, S. 81):

> Der Hauptunterschied zwischen der Untersuchung von Phänomenen in der klassischen Physik und in der Quantenphysik ist […], daß in der ersteren die Wechselwirkung zwischen den Objekten und den Meßgeräten außer acht gelassen oder kompensiert werden kann, während in der letzteren diese Wechselwirkung einen integrierenden Bestandteil der Phänomene bildet.

Nach Bohr kann in der klassischen Physik im Gegensatz zur Quantenphysik der Grenzprozess betrachtet werden, bei dem die Störung

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

infolge der Messung beliebig klein gemacht wird. Die Annahme einer verschwindenden Störung kann demnach als ein sinnvoller Grenzfall gelten.

Unserer Ansicht nach lässt sich aber diese Behauptung entkräften. Zweifellos gibt es kein fundamentales Prinzip der klassischen Physik, dass die Vergrößerung der Genauigkeit einer Messung begrenzt oder verbietet. Doch wie bereits erwähnt kommt der Messprozess in der üblichen Formulierung der klassischen Physik gar nicht vor, sondern man muss ihn beschreiben, indem man die Situation der Messung theoretisch modelliert. Es hängt von den tatsächlich vorhandenen Wechselwirkungen und materiellen Objekten ab, mit welchen Methoden und wie genau man bestimmte Größen messen kann.

Ein einfaches Beispiel für eine nicht beliebig genau messbare Größe ist das elektrische Feld. In unseren Ausführungen in Abschnitt 3 haben wir vereinfachend die Formel $\mathbf{E} = \mathbf{F}/q$ für die elektrische Feldstärke angegeben, in vielen Lehrbüchern wird aber die genauere Definition (vgl. z.B. Fließbach, 1997, S. 50)

$$\mathrm{E} = \lim_{q \to 0} \frac{\mathbf{F}}{q}$$

angegeben. Damit wird exakt dem Aspekt Rechnung getragen, dass die zur „Messung" des Feldes eingebrachte Ladung q eine Störung auf das Feld ausübt, zum Beispiel, indem sie die das Feld erzeugenden Ladungen infolge der Coulomb-Kraft in Bewegung setzt und indem sich das von ihr erzeugte elektrische Feld mit dem zu messenden elektrischen Feld überlagert. Wenn wir aber letztlich nur über Elementarladungen vom Betrag $q_{\min} > 0$ verfügen[14], ist der Ausdruck „$\lim_{q \to 0}$" bedeutungslos: Es gibt keine nichtverschwindenden Ladungen, deren Betrag kleiner ist als $q_{\min}$. Wenden wir die klassische Physik auf Ladungen an, die beispielsweise millionenfach größer sind als die Elementarladung, so mag die Störung zwar im Vergleich vernachlässigbar klein sein – und auf solchen Gedanken fußen unserer Ansicht nach die irrigen Behauptungen über den vermeintlich fundamentalen Unterschied zwischen klassischer Physik und Quantenphysik –, aber beliebig klein kann sie dennoch nicht gemacht werden. Eine Übertragung dieses Arguments auf Messungen anderer Größen lässt sich leicht denken, in jedem Fall ist es die Existenz kleinster Teile der Materie, die eine kontinuierliche Verkleinerung der Störung verhindert. Wenngleich die Frage, ob solche

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

kleinsten Teile existieren, wie wir oben angedeutet haben, nach Kant nicht beantwortbar ist, folgt aus der Möglichkeit ihrer Existenz – die kontinuierliche Teilbarkeit der Materie ist ja ebensowenig beweisbar –, dass der Grenzwert verschwindender Störung nicht unbedingt existiert. Man könnte versucht sein einzuwenden, dass die klassische Physik üblicherweise nicht im Bereich von elementaren Teilchen angewendet wird und werden kann und deshalb unser Argument nicht stichhaltig ist. Um aber wissenschaftstheoretische Unterschiede hinsichtlich der klassischen Physik und der Quantenphysik konstatieren zu können, muss auch die klassische Physik einer konsequenten Analyse unterzogen werden, welche die Theorie selbst betrifft und nicht bei Anwendungsfällen stehen bleibt.

5. Ontologische Folgerungen

In den vorherigen Abschnitten haben wir gesehen, dass die Integration der Messung in die klassische Physik wegen der klassischen Messunschärfe und den bei realen Messgeräten auftretenden statistischen Messfehlern dazu führt, dass empirische Aussagen nur noch für Ensembles gleichartiger Systeme möglich sind. Diese Feststellung wirft die Frage auf, inwiefern im Rahmen der klassischen bzw. quantalen Theorien dann noch Aussagen bezüglich einzelner Objekte getroffen werden können. Gemäß den obigen Ausführungen ergibt sich als Antwort, dass quantitative physikalische Aussagen über ein einzelnes Objekt immer *transempirisch*, das heißt experimentell nicht überprüfbar sind. Eine Einzelmessung ergibt im Allgemeinen nicht den wahren Wert. Würde dieser wahre Wert dennoch bei einer Einzelmessung durch Zufall („in höchstem Grade") getroffen, so hätte man keinen Maßstab, mit dem man feststellen könnte, dass tatsächlich der wahre Wert gemessen wurde. Diese Situation erinnert an das folgende Fragment des Vorsokratikers Xenophanes von Kolophon (um 570 v. Chr. – um 475 v. Chr.) (DK, 21 B 34, hier zitiert nach der deutschen Übersetzung in Picht 1996, S. 134; die eckigen Klammern stammen von Georg Picht (1913–1982)):

> Das unmittelbar Klare hat nie ein Mensch gesehen, noch wird es je einen geben, der [als Augenzeuge] ein Wissen hätte über die Götter und über das, was ich über das All [das heißt, über die φύσις] sage; denn wenn es sich auch in höchstem Grade treffen sollte, daß einer gesagt hat, was sich erfüllt; er

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

selbst weiß es doch nicht aus eigener Anschauung, sondern ein Schein ist über Allem erzeugt.

Gerade im Rahmen der frühen Interpretation der Quantenphysik wurde aus der Unmöglichkeit, empirische Aussagen über einzelne Objekte zu treffen, auf deren Nichtexistenz geschlossen. Der *locus classicus* ist sicherlich die berühmte Arbeit zur Unschärferelation von Werner Heisenberg (1901–1976) aus dem Jahre 1927. In ihr heißt es (Heisenberg, 1927, S. 176):

> Gehen wir […] über zum Begriff ‚Bahn des Elektrons'. Unter Bahn verstehen wir eine Reihe von Raumpunkten (in einem gegebenen Bezugssystem), die das Elektron als ‚Orte' nacheinander annimmt. […] [Es] ist leicht einzusehen, daß z.B. der oft gebrauchte Ausdruck: die ‚1 *S*-Bahn des Elektrons im Wasserstoffatom' von unserem Gesichtspunkt aus keinen Sinn hat. Um diese 1 *S*-‚Bahn' zu messen, müßte nämlich das Atom mit Licht beleuchtet werden, dessen Wellenlänge jedenfalls erheblich kürzer als 10^{-8} cm ist. Von solchem Licht aber genügt ein winziges Lichtquant, um das Elektron völlig aus seiner ‚Bahn' zu werfen (weshalb von einer solchen Bahn immer nur ein einziger Raumpunkt definiert werden kann), das Wort ‚Bahn' hat hier also keinen vernünftigen Sinn. Dies kann ohne Kenntnis der neueren Theorien [also der Quantenmechanik z.B. in der Formulierung als Matrizenmechanik] schon einfach aus den experimentellen Möglichkeiten gefolgert werden.

Dieser Schluss ist aber nicht zwingend. Ebensowenig, wie man empirisch die Existenz oder bestimmte Eigenschaften der Bahnen aufweisen kann, kann man ihre Nichtexistenz belegen. Dies stellt erneut eine Parallele zu der erwähnten Antinomienlehre Kants dar.

Vor dem Hintergrund unserer obigen Überlegungen ergibt sich hieraus folgende Sichtweise. Wir haben gesehen, dass die klassische Messunschärfe schon völlig ohne Quantenmechanik als empirische Größen für Maßzahlen nur Elemente der Menge $\mathbb{Q}_z$ erlaubt; insofern war auch die übliche Definition des Ortes in der klassischen Mechanik schon nicht mehr empirisch aufweisbar. Verfolgte man die Argumentationslinie Heisenbergs und Bohrs also konsequent weiter, sollte auch in der klassischen Mechanik nicht mehr von der Bahn eines Teilchens gesprochen werden dürfen, da diese experimentell nicht zugänglich ist. Dies ist ein weiterer Hinweis darauf, dass auch in der Quantenmechanik ein Umdenken auf der ontologischen Ebene, wie es die Überlegungen von Heisenberg und Bohr nahelegen, nicht zwingend war. In der klassischen Physik hat sich die Sichtweise, dass nicht mehr von Bahnen gesprochen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

werden sollte, – den Ansätzen bei Born zum Trotz – nicht verbreiten können. Dagegen setzte sich die entsprechende Ansicht in der Quantentheorie und mit ihr eine bestimmte Deutung derselben und ihres Verhältnisses zur klassischen Physik durch (vgl. hierzu auch Cushing, 1994).

Wir haben bisher zu zeigen versucht, dass bei Berücksichtigung der Messung in der klassischen Physik aufgrund der klassischen Messunschärfe und der unvermeidlichen statistischen Messfehler vermeintliche Unterschiede zur Quantenphysik fallen gelassen werden müssen. Dabei bestehen diese Unterschiede nicht von vornherein bezüglich jeder möglichen Formulierung der Quantenphysik. Beispielsweise gibt es mehrere mögliche Formulierungen der Quantenmechanik, in denen Bahnen von Teilchen tatsächlich auftreten, aber praktisch nicht beobachtbar sind, zum Beispiel die Bohmsche Mechanik (vgl. z.B. Dürr, 2001, und Passon, 2010). Dies macht deutlich, dass die behaupteten Unterschiede zwischen klassischer Physik und Quantenphysik womöglich nur auf die Auswahl der jeweiligen Formulierung zurückzuführen sind. Folglich ist der oft behauptete fundamentale Unterschied zwischen klassischer Physik und Quantenmechanik auf der Ebene der Messung und der Vorhersagekraft mehr als fragwürdig. Dies trifft auch auf einen weiteren vermeintlichen Unterschied zu: die klassische Physik ist deterministisch, die Quantenmechanik ist indeterministisch.[15] Berücksichtigt man alternative Formulierungen, so lässt sich die Quantenmechanik genau wie üblicherweise die klassische Physik als deterministisch interpretieren[16] oder die klassische Physik durch Einbeziehung der Messung als indeterministisch deuten, wie es üblicherweise für die Quantenmechanik behauptet wird.

	Determinismus	*Indeterminismus*
Klassische Physik	Standardformulierung	Formulierung von Born
Quantenmechanik	Bohmsche Mechanik	Kopenhagener Deutung

Tabelle 1: Beispiele für deterministische und indeterministische Interpretationen der klassischen Physik wie der Quantenphysik

In der klassischen Physik wie in der Quantenphysik sind auf theoretischer Ebene Aussagen über einzelne Objekte im Prinzip möglich, aber experimentell prinzipiell nicht aufweisbar. Vor diesem Hintergrund ist es falsch zu meinen, die klassische Physik sei für einzelne Objekte

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

und die Quantenphysik für Ensembles gültig, und darin zeige sich ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Theorien. Vielmehr kann man von der klassischen Physik genauso wie von der Quantenphysik eine Ensemble-Formulierung geben. Die deterministisch formulierten Theorien mögen zwar auf der Ebene der Theorie deterministisch sein, auf der empirischen Ebene sind sie aber mitnichten deterministisch, denn durch die klassische Messunschärfe und statistische Messfehler wird es (vielleicht abgesehen von trivialen Ausnahmefällen) unmöglich sein, aus einem Messwert einen anderen Messwert vorherzusagen. Obige Tabelle 1 weist zusammenfassend auf Beispiele für die verschiedenen Formulierungen von klassischer und quantaler Theorie bezüglich Determinismus und Indeterminismus hin. Demgegenüber wird in Standardlehrbüchern Tabelle 2 zugrunde gelegt, und aus ihr folgen die vermeintlich fundamentalen Unterschiede zwischen klassischer Physik und Quantenphysik.

	Determinismus	*Indeterminismus*
Klassische Physik	Standardformulierung	–
Quantenmechanik	–	Kopenhagener Deutung

Tabelle 2: Sichtweise der Standardlehrbücher hinsichtlich Determinismus und Indeterminismus von klassischer Physik und Quantenphysik

Die Entscheidung, welche der jeweiligen Möglichkeiten vorzuziehen ist, sollte also in jedem Fall aus anderen Gründen fallen als auf Grundlage des weit verbreiteten Irrtums, die Quantenmechanik zwinge in diesem Punkt zu einem grundlegenden Umdenken.

Anmerkungen

1 Als ein Beispiel, das stellvertretend für zahllose ähnliche Aussagen in den Standardlehrwerken steht, zitieren wir Wolfgang Nolting (geb. 1944) (Nolting, 2011, S. 172):
„Der *höchste Richter* einer jeden physikalischen Theorie ist das Experiment. Der Wert einer Theorie wird gemessen am Grad der Übereinstimmungen ihrer Folgerungen mit den Erscheinungsformen der Natur."
Es geht uns in der vorliegenden Arbeit nicht darum, eine solche Sichtweise *wissenschaftstheoretisch* in Frage zu stellen.

2 Natürlich können auch qualitative Aussagen, zum Beispiel „Ein Proton besitzt mehr Masse als ein Elektron", physikalisch sinnvoll sein. Allerdings

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

wollen wir hier von derartigen Aussagen absehen, da sie letztlich immer eine Vergröberung quantitativer physikalischer Aussagen darstellen.

3 Will man beispielsweise durch Messung mit Hilfe eines Thermometers die Temperatur T von Wasser in einem Becher mit bekanntem Volumen V messen, dann verändert natürlich das Einbringen des Thermometers in den Becher die Temperatur des Wassers. Die dadurch entstehende Temperaturdifferenz ΔT kann aber abgeschätzt werden, wenn man zum Beispiel die Wärmekapazität und die anfängliche Temperatur T_0 des Thermometers kennt. Das Thermometer ist kein Bestandteil der thermodynamischen Theorie, sondern die Thermodynamik kann auf das Thermometer selbst angewendet werden. Auf diese Weise kann der Einfluss des Thermometers in die Rechnung mit einbezogen und dadurch im Prinzip quantitativ kontrolliert werden.

4 Aus praktischer Sicht muss die Länge des neuen Maßstabs mit Hilfe des alten Maßstabs durch Messung bestimmt werden. Für diese Messung gilt genau das, was unten für Messungen auf Grundlage eines vorgegebenen Maßstabes ausgeführt wird: es können nur rationale Verhältnisse gemessen werden. Insofern kommt durch Maßstabswechsel kein neuer Aspekt ins Spiel.

5 Beispielsweise haben Richard P. Feynman (1918–1988) und John Archibald Wheeler (1911–2008) eine solche Theorie vorgeschlagen; vgl. insbesondere Wheeler und Feynman, 1949.

6 Welche Spielart eines philosophischen Realismus hierfür angenommen werden müsste, wollen wir an dieser Stelle nicht diskutieren, sondern uns stattdessen pragmatisch auf den Konsens unter Physikern berufen, die Existenz wahrer Werte zumindest in der klassischen Physik vorauszusetzen.

7 Diese Begriffsbildung lehnt sich an diejenige im Rahmen der Quantenphysik an. Dort sind die Bezeichnungen *Unschärfe* und *Unbestimmtheit* gebräuchlich. Beide Begriffe sind als irreführend kritisiert worden. Die Bezeichnung „unscharf" suggeriere „verschwommen". Die einzelne Messung gibt aber, wenn man von der klassischen Messunschärfe absieht, keinen prinzipiell verschwommenen oder ungenauen Wert (vgl. Audretsch, 2008, S. 76). „Unbestimmt" impliziere dafür mangelnde Präzision, aber die als Unbestimmtheit bezeichneten Größen stellen ja gerade eine Quantifizierung von Abweichungen dar (vgl. Esfeld, 2002, S. 52). Von daher könnte man anstelle von *klassischer Messunschärfe* auch von *klassischer Messunbestimmtheit* sprechen.

8 Nun könnte man einwenden, dass diese klassische Messunschärfe nicht *ontisch* ist, sondern lediglich eine *epistemische* Begrenzung darstellt. Dieser Einwand mag zutreffend sein, jedoch lässt er sich aus unserer Sicht empirisch nicht entscheiden. Somit besteht neben der Möglichkeit einer epistemologischen Interpretation der klassischen Messunschärfe auch die Möglichkeit einer ontologischen Deutung. Letztlich findet sich eine Entsprechung zu dieser Auseinandersetzung in der Quantenphysik, zum Beispiel im Rahmen der Deutungsversuche der Heisenbergschen Unschärferelation.

9 Wie vermessen es ist, im eigentlichen Sinne des Wortes von Elementarteilchen zu sprechen, lehrt uns auch die wissenschaftsgeschichtliche Ent-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

wicklung unserer Theorien von der Materie vom 18. Jahrhundert bis in unsere Gegenwart (vgl. hierzu u. a. Close, 2007). Zunächst hat man Atome als Elementarteilchen gesehen, dann Neutronen, Protonen und Elektronen. Heute wissen wir, dass auch Neutronen und Protonen Substrukturen aufweisen, die als Quarks bezeichnet werden. Und es gibt bereits Theorien, dass sich die Quarks wiederum aus Preonen konstituieren.

10 Anders gesagt erfolgt in einem Beschleuniger die Untersuchung der Struktur von Teilchen mit einer bestimmten Energie, durch welche die Längenskala, bis zu der Substrukturen entdeckt werden können, festgelegt ist.

11 Dies entspricht der Annahme, systematische Fehler seien vollständig eliminiert worden.

12 Diese Aussage ergibt sich in jedem Fall schon aus der Endlichkeit des Messgeräts. Die getroffenen Annahmen erscheinen zwar schwach, sind aber immer noch Idealisierungen, die man in der Wirklichkeit nie streng rechtfertigen kann.

13 Man vgl. hierzu z. B. die erste Darstellung der Bornschen Regel in Born (1926).

14 Natürlich mag es auch ungeladene Teilchen wie Neutronen geben, zur Messung der elektrischen Feldstärke gemäß der angegebenen Formel benötigt man aber einen geladenen Körper.

15 Unter *Determinismus* verstehen wir hierbei, dass die physikalische Theorie eindeutige Aussagen über die Zeitentwicklung eines physikalischen Systems ermöglicht.

16 Im Rahmen der klassischen Physik wurde diese Sichtweise in unüberbietbarer Eindringlichkeit von Pierre Simon Laplace (1749–1827) im Jahre 1814 in seiner Schrift „Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit" („Essai philosophique sur les probabilité") ausgearbeitet (Laplace, 1996, S. 1 f.):
„Eine Intelligenz, welche für einen gegebenen Augenblick alle in der Natur wirkenden Kräfte sowie die gegenseitige Lage der sie zusammensetzenden Elemente kennte, und überdies umfassend genug wäre, um diese gegebenen Größen der Analysis zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegungen der größten Weltkörper wie des leichtesten Atoms umschließen; nichts würde ihr ungewiß sein und Zukunft wie Vergangenheit würden ihr offen vor Augen liegen."
Dieser Gedanke ist als *Laplacescher Dämon* bekannt.

Literatur

Audretsch, Jürgen, 2008: *Die sonderbare Welt der Quanten. Eine Einführung.* München: C. H. Beck.

Bohr, Niels, 1985: *Atomphysik und menschliche Erkenntnis. Aufsätze und Vorträge aus den Jahren 1930 bis 1961.* Facetten der Physik. Braunschweig: Vieweg.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Born, Max, 1926: Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge. In: *Zeitschrift für Physik* 37, S. 863–867.

Born, Max, 1955: Ist die klassische Mechanik tatsächlich deterministisch? In: *Physikalische Blätter* 11, Nr. 2, S. 49–54.

Close, Frank, 2007: *Cosmic Onion. Quarks and the Nature of the Universe*. New York: Taylor & Francis.

Cushing, James T., 1994: *Quantum Mechanics. Historical Contingency and the Copenhagen Hegemony*. Chicago: The University of Chicago Press.

Demtröder, Wolfgang, 1998: *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. Berlin: Springer.

Demtröder, Wolfgang, 2000: *Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper*. Berlin: Springer.

Dürr, Deltlef, 2001: *Bohmsche Mechanik als Grundlage der Quantenmechanik*. Berlin: Springer.

Esfeld, Michael, 2002: *Einführung in die Naturphilosophie*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Falkenburg, Brigitte, 1994: *Teilchenmetaphysik. Zur Realitätsauffassung in Wissenschaftsphilosophie und Mikrophysik*. Grundlagen der exakten Naturwissenschaften, Band 9. Mannheim: Bibliographisches Institut.

Fließbach, Torsten, 1997: *Lehrbuch zur Theoretischen Physik II: Elektrodynamik*. Heidelberg: Spektrum.

Gobrecht, Heinrich, 1990: Bergmann – Schaefer. *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band I: Mechanik. Akustik. Wärme*. Berlin: Walter de Gruyter.

Hacking, Ian, 1996: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*. Stuttgart: Reclam.

Heisenberg, Werner, 1927: Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. In: *Zeitschrift für Physik* 43, S. 172–198.

Heisenberg, Werner, 1991: *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.

Laplace, Pierre Simon, 1996: *Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit*. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Band 233. Hrsg. von Richard von Mises. Thun: Harri Deutsch.

Margenau, Henry, 1958: Philosophical Problems Concerning the

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Meaning of Measurement in Physics. In: *Philosophy of Science* 25, Nr. 1, S. 23–33.

Meixner, Uwe, 2009: *Philosophische Anfangsgründe der Quantenphysik*. Frankfurt am Main: Ontos.

Nolting, Wolfgang, 2011: *Grundkurs: Theoretische Physik 1. Klassische Mechanik*. Berlin: Springer.

Nolting, Wolfgang, 2009: *Grundkurs: Theoretische Physik 5/1. Quantenmechanik – Grundlagen*. Berlin: Springer.

Passon, Oliver, 2010: *Bohmsche Mechanik. Eine elementare Einführung in die deterministische Interpretation der Quantenmechanik*. Frankfurt am Main: Harri Deutsch.

Picht, Georg, 1996: *Die Fundamente der griechischen Ontologie. Vorlesungen und Schriften*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Scheck, Florian, 2006: *Theoretische Physik 2: Nichtrelativistische Quantentheorie. Vom Wasserstoffatom zu den Vielteilchensystemen*. Berlin: Springer.

Shankar, Ramamurti, 1994: *Principles of Quantum Mechanics*. New York: Springer.

Tipler, Paul A.; Mosca, Gene, 2009: *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*. Heidelberg: Spektrum.

Wheeler, John Archibald; Feynman, Richard Phillips, 1949: Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action. In: *Reviews of Modern Physics* 21, Nr. 3, S. 425–433.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Matias Slavov

Newton's Law of Universal Gravitation and Hume's Conception of Causality

Abstract

This article investigates the relationship between Hume's causal philosophy and Newton's philosophy of nature. I claim that Newton's experimentalist methodology in gravity research is an important background for understanding Hume's conception of causality: Hume sees the relation of cause and effect as not being founded on *a priori* reasoning, similar to the way that Newton criticized non-empirical hypotheses about the properties of gravity. However, according to Hume's criteria of causal inference, the law of universal gravitation is not a complete causal law, since it does not include a reference either to contiguity or to temporal priority. It is still argued that because of the empirical success of Newton's theory – the law is a statement of an exceptionless repetition – Hume gives his support to it in interpreting gravity force instrumentally as if it bore a causal relation to motion.

Zusammenfassung

Dieser Artikel untersucht die Beziehung zwischen Humes kausaler Philosophie und Newtons Naturphilosophie. Ich behaupte, dass Newtons experimentalistische Methodik der Gravitationsforschung eine wichtige Grundlage darstellt, um Humes Auffassung der Kausalität zu verstehen: Hume sieht die Beziehung von Ursache und Wirkung nicht in einem a priori Grund – ähnlich wie Newton, der nicht-empirische Hypothesen über die Eigenschaften der Schwerkraft kritisiert. Aufgrund Humes Kriterien der kausalen Inferenz jedoch kann Newtons Gravitationsgesetz nicht als vollständig kausales Gesetz bezeichnet werden, da es sich weder auf Kontiguität noch auf zeitliche Priorität beziehen lässt. Es wird dennoch argumentiert, dass Hume die Newton'sche Theorie aufgrund ihres empirischen Erfolges – das Gesetz ist ein Ausdruck ausnahmsloser Wiederholung – unterstützt, indem er die Schwerkraft als Instrument interpretiert, als ginge sie eine kausale Beziehung mit Bewegung ein.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Introduction

Studies concerning the relationship between David Hume's philosophy and Isaac Newton's natural philosophy have come out a variety of different ways. The more traditional line of interpretation sees Hume as a robust proponent of Newton's scientific methodology (e.g. Nicholas Capaldi (1975), James E. Force (1987), Harold W. Noonan (1999), Graciela De Pierris (2001, 2006, 2012), Peter Millican (2007), and Stephen Buckle (2011)). From this perspective, as Graciela De Pierris (2001, 351) puts it, Hume "consistently takes Newtonian science as a model for the proper employment of causal inferences in inquiries into matters of fact." The core of the traditional outlook can roundly be summarized by James Noxon's (1976, 104–15) words: "Hume's theories of causality and induction are philosophical formulations of the epistemological principles presupposed by Newtonian method." Against this reading, some dissident views have been proposed (e.g. Peter Jones (1982), Yoram Hazony (2009), Eric Schliesser (2009), Michael Barfoot (2010), and Hazony and Schliesser (forthcoming)). Roughly speaking, these portray Hume rather as a man of letters, as a humanist lacking the mathematical competence to be deeply interested in the philosophy of nature. In particular, this vantage point emphasizes the priority of Hume's psychological science of man: In the Introduction to *A Treatise of Human Nature*,[1] Hume insists that all branches of learning, including mathematics and natural philosophy, "lie under the cognizance of men, and are judged of by their powers and faculties" (T Intro 4; SBN xv). Eric Schliesser (2009, 167–68) has recently gone so far as to claim that Hume "attacks" the authority of Newton's natural philosophy, since Newton's physics would depose the epistemic supreme "Science of Human Nature" as Hume's "first philosophy," as his "true metaphysics."

In this paper, I defend a more traditional line of interpretation. In my view, Hume is a proponent of Newton's experimentalist methodology. Examining the methodological position Newton took regarding the topic of universal gravitation can increase our understanding of Hume's conception of causality and hence shed light on the epistemological conclusions he draws. After giving a detailed reading of the connection between Newton and Hume, I will take into account the work done by Schliesser (2002, 2007), which I regard as being astute

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

in limiting and contextualizing the influence of Newton's theory to Hume's causality.

The paper is structured in the following way. Section 1 discusses Newton's methodology and the philosophical ramifications of gravity law. I will focus to his experimentalism and the problem of causation in gravitation, since these themes are central to Hume's epistemology. In section 2, the investigatory focus is on Hume's conception of causality and its relation to Newton's theory of gravity. After presenting Hume's general advocacy of Newtonian experimentalism, section 2.1 illustrates how Hume sees the relation of cause and effect as not being founded on reason, similar to the way that Newton criticized non-empirical hypotheses about the properties of gravity. However, gravity force as a cause of motion is not sensible in the way Hume's Copy principle insists. But as gravity law is still a statement of an exceptionless repetition, it will be argued that Hume supports interpreting gravity instrumentally, as if this force were a cause of motion. Nevertheless, there are some caveats that I will take into account: Hume could not hold the law of gravity to be a complete causal law, since the law does not fulfill the criteria he imposes on causal explanation, namely, contiguity and temporal priority. The closing section 3 shows the upshot of Hume's Newtonian epistemology. Hume wanted, just like Newton, to eschew metaphysical theorizing about the unobservable causes or essences of observable phenomena. Since there is nothing in *a priori* reason – in the faculty of human understanding itself – that would inform us about the relations between causes and effects, repeated experience affords us the only possible assistance we can have for our causal inferences shaping our beliefs concerning nature or human action. Since the law of gravity is a statement of an exceptionless repetition, Hume gives a high epistemic status to the law, but he could not see it as a complete causal law, because the law does not ascribe either contiguity or temporal priority to the way gravity works.

I do not wish to state that Newton's and Hume's philosophies, in all their complexity, would be exactly alike. Not all of Hume's methodological commitments can be traced back to Newton. For instance, mathematics was drastically important to Newton's methodology while Hume more or less excluded it, generalizing from Newton's method so as to cover his science of human nature, for which mathematics is useless.[2] And though induction was important to both Newton and Hume,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

its status differs in the two.[3] But my investigatory focus in this paper is on the specific relationship concerning Newton's theory of gravity and Hume's conception of causality. As I wish to show, this enables us to see how Hume's epistemology is essentially Newtonian in spirit.

1. Universal gravitation, Newton's experimentalism and the problem of causal efficaciousness

In the General Scholium of the *Principia* (which appeared both in the second and the third edition of the *Principia*)[4] Newton acknowledges that gravity force operates according to the law of universal gravitation, $F \alpha Mm/r^2$,[5] being a branch of the third law of motion. The universal law proposes that every object in the universe attracts every other object with a force that is directly proportional to the product of the masses of the two bodies, and inversely proportional to the square of the distance between the two bodies. In justifying the law, Newton appeals to the third rule for the study of natural philosophy. Induction based on "universally established [...] experiments and astronomical observation" enables us to conclude that

> ... all bodies on or near the earth gravitate [lit. are heavy] toward the earth, and do so in proportion to the quantity of matter in each body, and that the moon gravitates [is heavy] toward the earth in proportion to the quantity of its matter, and that our sea in turn gravitates [is heavy] toward the moon, and that all planets gravitate [are heavy] toward one another, and that there is a similar gravity [heaviness] of comets toward the sun, it will have to be concluded by this third rule that all bodies gravitate toward one another. (Principia, Book 3, Rule 3)

Newton defines the concept of a force in causal terms. As he asserts in his unpublished pre-*Principia* writing *De Gravitatione*: "Force is the causal principle of motion and rest" (Newton, Janiak, 2004, 36). In the Scholium of the Definitions of the *Principia*, Newton (1999, 412) claims that "the causes which distinguish true motions from relative motions are the forces impressed upon bodies to generate motion," and that "true motion is neither generated nor changed except by forces impressed upon the moving body itself." From his second law of motion (see, *Principia*, Law 2, 416) it follows that impressed forces are the causes of "true motions," that is, accelerations (see DiSalle, 2004, 42). Centripetal force

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

is an impressed force, and "one force of this kind is gravity" (Newton 1999, 405). Without this force, planetary orbits and projectiles would "go off in straight lines with uniform motion" (*Ibid.*).

As Hylarie Kochiras (2011, 169) remarks, Newton is "confident that the gravitational force is causally efficacious," keeping "the celestial bodies in their orbits." On Andrew Janiak's (2007, 142) interpretation, Newton genuinely thinks that "a wide range of previously disparate phenomena," such as the free fall of bodies and parabolic trajectories near the surface of the Earth, the tides, the planetary and satellite orbits, and the orbits of distant comets from the Earth, "have the *same* cause." In this sense, he seems to indicate that gravity is a real force causing motion universally, effecting a wide range of (both terrestrial and celestial) phenomena on the scale of our solar system. As Janiak (2007, 81) argues, to measure the accelerations produced by gravity, the quantities of mass and distance, which are "perfectly uncontroversial," are required.

On the other hand, at the end of the General Scholium, Newton allows that he could not tell what "the reason for these properties of gravity" was. In particular, he asserts that these "motions do not have their origin in mechanical causes …" (*Principia*, General Scholium). In the paradigm of mechanical philosophy, such a lack of a causal background was not easy to accept. Its proponents such as René Descartes, Christiaan Huygens and Galileo Galilei, would have expected Newton's theory to produce a contact mechanism (Smith, 2004, 150), to offer an explanation that, more or less, as Katherine Dunlop (2012, 86) puts it, "takes as its model the working of machines." But the new theory did not encompass any physical contact; it did not account for any push or pull between the surfaces of bodies. A corollary of Newton's equation is that any two given bodies with mass, no matter how enormously great their distance from one another, have a mutual force as an interaction between them. This action is instantaneous. In addition, the force postulated by the theory is invisible, and it has to penetrate into the centers of hard, supposedly impenetrable bodies.[6] Leibniz, among other Early Modern philosophers, was dissatisfied with this kind of postulate. He could not find an intelligible mechanical explanation for such a force. He did not accept the fact that a body could be moved naturally if there was no other body that would touch and push it. The mechanical background assumption of the Early Modern period, as Ori Belkind (2012, 142) sums up the matter, "was that

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

all physical forces are reducible to mechanical forces of push-and-shove." To Leibniz (1717, § 35, § 118), "any other kind of operation on bodies is either miraculous or imaginary."[7]

Newton was puzzled that his law did not include a medium through which bodies separated by long-range would interact gravitationally. As he writes in his often quoted correspondence with Richard Bentley in 1693:

> It is inconceivable that inanimate brute matter should, without the mediation of something else which is not material, operate upon and affect other matter without mutual contact [...] That gravity should be innate, inherent, and essential to matter, so that one body may act upon another at a distance through vacuum, without the mediation of anything else, by and trough which their action and force may be conveyed from one to another, is to me so great an absurdity that I believe no man who has in philosophical matters a competent faculty of thinking can ever fall into it. Gravity must be caused by an agent acting constantly according to certain laws; but whether this agent be material or immaterial, I have left to the consideration of my readers (Newton, Janiak, 2004, 102–103).

To explain why Newton is so reluctant to accept action at a distance, it is noteworthy to expound on his conception of space. In the General Scholium, Newton makes the point that space is an empty Boylean vacuum (see also *Opticks*, Query 28). As he writes in *De Gravitatione*: "... in space there is no force of any kind that might impede, assist, or in any way change the motions of bodies" (Newton, Janiak, 2004, 26). There is nothing between two distant particles that could cause their motion. According to Newton's conception of space, it is just a place which physical objects fill (*Ibid.*, 13). As space is distinct from bodies, space and matter do not interact in any way that would cause the gravitational motion of bodies. Particles do not alter the space around them, so there is no altered space which functions as an agent to other particles' motions. Matter and space are distinctly separable.

In my opinion, this is a true dilemma that Newton faces. There clearly is tension in treating gravity as a real causally efficacious force, *and* finding action at a distance to be utterly unintelligible. Forces are the causes of change in state of motion (see Newton, Janiak, 2004, 36), but non-mediated action at a distance is "so great an absurdity that I believe no man who has in philosophical matters a competent faculty of thinking can ever fall into it" (*Ibid.* 102–03).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

In the quote above, Newton insists that "gravity must be caused by an agent," but what that agent is, as Ernan McMullin (2001, 297) puts it, "is left unspecified." Newton did not identify any physical medium, nor any physical cause or reason, nor any kind of agent that would cause the gravitational motions of objects. As Janiak (2006) argues, when writing the General Scholium, "there was no independent empirical evidence to support the relevant causal explanations of gravity, so they remained merely hypothetical."

But though Newton was puzzled by this dilemma – how to make the causal efficaciousness of gravity force and the unintelligibility of action at a distance compatible – his famous methodological answer to the critique posed by his interlocutors, in the very end of the General Scholium, was: "I do not feign hypotheses." According to my interpretation, what he means by this is that there is no burden of proof to innovate a supposedly intelligible explanation for certain phenomena, such as gravitational attraction. Newton continues in the General Scholium, asserting that:

> For whatever is not deduced from the phenomena must be called a hypothesis; and hypotheses, whether metaphysical or physical, or based on occult qualities, or mechanical, have no place in experimental philosophy. In this experimental philosophy, propositions are deduced from the phenomena and are made general by induction.

As in the *Principia*, according to the methodology that Newton sets down in letters to Henry Oldenburg and Roger Cotes, "experimental philosophy proceeds only upon phenomena and deduces general propositions from them only by induction. And such is the proof of mutual attraction." Hypotheses should only be used to the extent that they have testable implications: "For hypotheses ought to be applied only in the explanation of the properties of things, and not made use of in determining them; except in so far as they may furnish experiments" (Newton, 1974a, 1974b, 5–7).[8] In essence, Newton confines the domain of physics to explanatory statements that are deducible from the phenomena. Propositions that do not satisfy this criterion are mere hypotheses that are not acceptable in experimental science (Rutherford, 2007, 12).

Though Newton (1974b, 5–6) is highly critical towards "conjectures about the truth of things from the mere possibility of hypotheses," he is not saying that hypotheses should be altogether eluded.[9] In my opin-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

ion, Newton argues that we are in no position to *stipulate* that nature *is* intelligible. If the law of gravity implies seemingly unintelligible properties, this is not in itself a valid counter-argument against it. Newton thinks that we should not give conditions to nature in what she ought to be so that she would be intelligible for us. He insists that principles in natural philosophy "are deduced from phenomena and made general by induction, which is the highest evidence that a proposition can have in this philosophy" (Newton, 1974a, 6).

So, "the main business of natural philosophy," as Newton's famously points out in Query 28 of the *Opticks*, "is to argue from phenomena without feigning hypotheses." Nevertheless, in the Queries of the *Opticks*, Newton is willing to discuss hypotheses (in his definition, propositions that are not deduced from the phenomena) that prompt future study of nature. An essential purpose of the Queries, as he tells himself, is to propose provisional questions "in order to a further search to be made by others." In Query 21, Newton puzzles over the idea of there being an ether, a subtle fluid (something like, but less dense than air) which generates forces through the interaction of this medium's minute particles. Though Newton sympathizes with this provisional physical hypothesis (see, Jaakkola, 1996, 62), he explicitly denies of having knowledge about ether: "for I do not know what this aether is." Though this hypothesis would give an intelligible basis for the law, there were no observations made nor experiments carried out which would have confirmed its existence (see, Janiak (2006) chapter 5 "*Hypotheses non fingo*.") For Newton, the physical cause of gravitational motions is *yet* unknown, but the future study of nature may discover an explanation which, as Kochiras (2011, 173–174) remarks, "is amenable to empirical investigation." But given the current situation in which Newton did lack empirical evidence, he admits in the end of the Queries that he does not want "to propose the principles of motion" from unobservable qualities "as they supposed to lie hid in bodies," but to "leave their causes to be found out."

Though Newton's theory does not contain a contact mechanism that would produce gravitational motions – it did not, in his words, "unfold the mechanism of the world" (*Opticks*, Query 28) – the mathematically characterized proportions of the law can be *quam proxime* compared to phenomena (*Principia*, Scholium, Book 1, Section 11, and Smith, 2004, 150). According to Newtonian experimental philosophy, it is not

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

required to reveal the supposedly intelligible essence of nature, such as the *reason* of gravity.[10] Its objective is rather to describe mathematically gravity's operations and to justify the resultant theory with experiments and observations.

Next, I proceed to analyze Hume's conception of causality, keeping Newton's experimentalism in gravity research as a frame of reference. As I wish to show, Hume's conception of causality and his epistemological conclusions are essentially Newtonian in spirit.

2. Hume and causality

According to Peter Millican (2009, 651), "Humean science aims to systematize the causal laws that govern observed phenomena." The idea that empirical science is not looking and it does not have to look for the supposedly intelligible essence of nature, or human mind, is a crucial aspect of Hume's Newtonian epistemology. The epistemological consequence Hume draws is, as I will detail in what follows, that the acquisition of knowledge is to be organized along the lines of a fallible inductive empirical science, not according to reasoning *a priori*. I begin my analysis from the Introduction of the *Treatise*, where the premise of Newtonian experimentalism is loud and clear.

As Stephen Buckle puts it, in the Introduction of the *Treatise* Hume "takes up the prominent Newtonian theme that the philosopher must eschew 'hypotheses.'" Hume thinks that philosophical reasoning is to stay within the bounds of experience, that is, within the results of "careful and exact experiments, and the observation of those particular effects" (T Intro 8; SBN xvii). Buckle continues: "The improvement of philosophy depends on being experimental in this sense, and does so because the hidden properties of things can never be known."[11] For Hume, "the utmost extent" of human reason is when we acknowledge "our ignorance, and perceive that we can give no reason for our most general and most refined principles, beside our experience of their reality" (T Intro 9; SBN xviii). Like Newton, Hume also wants to be careful "in avoiding that error, into which so many have fallen, of imposing their conjectures and hypotheses on the world for the most certain principles" (T Intro 9; SBN xix). When it comes to questions of natural or human phenomena, even when dealing in the best theories – "ulti-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

mate principles" in his language – we cannot "go beyond experience, or establish any principles which are not founded on that authority" (T Intro 10; SBN xviii).

For Hume, "experience" enables us to "infer the existence of one object from that of another" (T 1.3.6.2; SBN 87). Heiner F. Klemme (2006, 378) expounds on Hume's term "experience": "We observe and recall that an object of class A always appears in contiguity with and in temporal sequence with an object of class B." Experience is our memory of objects related in a linear fashion contiguously and temporally. This renders *causality* essential to experience. Both in the *Treatise* and the first *Enquiry*, Hume holds all matter-of-fact beliefs to fall under the relation of cause and effect.[12] Importantly, he figures that this relation is *not* founded on *a priori* reasoning. As I will illustrate in the next section, this critical enterprise bears a striking similarity to Newton's critique of "hypotheses" as well as to his overall experimentalism.

2.1 The relation of cause and effect not founded on reasoning

In the first *Enquiry*, Hume repeatedly states that the relation between cause and effect is founded on experience, not on reasoning:

> I shall venture to affirm, as a general proposition, which admits of no exception, that the knowledge of this relation is not, in any instance, attained by reasonings *à priori*; but arises entirely from experience … (EHU 4.6; SBN 27)

> I say then, that, even after we have experience of the operations of cause and effect, our conclusions from that experience are *not* founded on reasoning, or any process of the understanding. (EHU 4.15; SBN 32)

> It is only experience, which teaches us the nature and bounds of cause and effect, and enables us to infer the existence of one object from that of another. (EHU 12.29; SBN 164)

In Hume's rigidly empiricist paradigm, the way of acquiring knowledge[13] is by repeated experience. Consider this reformulated example Hume presents in the first *Enquiry* (4.9; SBN 29). I hold a pen in my hand. When I let it go, I anticipate that it will fall straight on the ground. But if we look at the phenomenon from the point of view of *a priori* reason alone, what reasons do we have for this hypothesis? Why would it be more *reasonable* to assert that after my letting go of the pen, it should

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

fall straight down than rather than, say, rise up, stay at rest, or initiate motion horizontally? What reason do we have for picking a certain effect from an indefinite number of logical possibilities?[14]

In my view, the epistemologically relevant point Hume makes here is that he denies the independent authority of *a priori* reasoning in knowledge acquisition. *A priori* inferences that are supposed to extend to real existence, Hume thinks, are arbitrary:

> The existence, therefore, of any being can only be proved by arguments from its cause or its effect; and these arguments are founded entirely on experience. If we reason á priori, any thing may appear able to produce any thing. (EHU 12.29; SBN 164)[15]

Outside the scope of experience, there is no guarantee that causes and effects would be related in any intelligible way. As the quote (EHU 12.29; SBN 164) above continues: "The falling of a pebble may, for ought we know, extinguish the sun; or the wish of a man controul the planets in their orbits." The Humean standpoint is that from an *a priori* position, there is no reason for a certain phenomenon to be succeeded by another. To reiterate an earlier quote (T Intro 10; SBN xviii) with emphasis: "we can give *no reason* for our most general and most refined principles, beside our experience of their reality." And here we have our first clue towards understand Hume's Newtonian epistemology.

For Hume, the law of gravity is the "most general and refined" principle in accounting for the motion of bodies.[16] In section 6, "Of Probability," in the first *Enquiry*, he classifies the law of gravity as a "proof." As such, it belongs to a set of causes and effects which are supported by past uniform experience. As a high-order matter of fact, gravitation belongs to

> causes, which are entirely uniform and constant in producing a particular effect; and no instance has ever yet been found of any failure or irregularity in their operation. […] The production of motion by […] gravity is an universal law, which has hitherto admitted of no exception. (EHU 6.4; SBN 57)

However, because Hume stresses that all hypothetical relations between causes and effects are arbitrary within the domain of *a priori* reasoning, the only way for us to know gravity's effects, such as the free fall of objects near the surface of the Earth, is to have such beliefs justified *a posteriori*. A problem then arises, in that gravitational force as a cause of motion is not directly detectable. According to Hume's Copy Prin-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

ciple, all cognitive and meaningful ideas have to be originally derived from corresponding individual sensuous impressions.[17] Hume's point is that if knowledge is dependent upon ideas having a sensuous origin, associated with one another, then we plainly lack knowledge about the fundamental forces effecting motion in nature:

> The scenes of the universe are continually shifting, and one object follows another in an uninterrupted succession; but the power or force, which actuates the whole machine, is entirely concealed from us, and never discovers itself in any of the sensible qualities of body. (EHU 7.8; SBN 63–64)

But how can Hume be ready to admit a high epistemic status to the law of gravity? Gravity is a concept that should represent the cause of this force's effects, yet this cause cannot be sensed.

Hume refers to the concepts of power and force as the most "obscure and uncertain ideas to occur in metaphysics." In chapter 7 of the first *Enquiry* his intention is "to fix, if possible, the precise meaning of these terms" (EHU 7.3; SBN 61–62). How does, then, Hume fix "the precise meaning of these terms"? I suggest that the solution to the problem is this: Hume interprets forces, or powers, instrumentally. As Hume remarks in footnote 16 to the first *Enquiry*: "when we talk of gravity, we mean certain effects, without comprehending that active power."[18] He sees this physical concept instrumentally *as if* it provides a cause which refers to an effect: "… the idea of power is relative as much as that of cause; and both have a reference to an effect." (EHU 7.29; n. 17). As Millican (2002, 145) notes, "the ascription of powers to objects has considerable instrumental value," though Hume suggests that the concept force is "the *unknown* circumstance of an object." Forces are not perceivable, but they function as meaningful instruments in providing a phenomenal account for the laws of motion. The effect can be predicted by measuring the cause: "the effect is the measure of power" (*Ibid.*).[19]

Hume claims that the term force is a mathematical instrument which enables us to measure its effect, the change in state of motion: "The degree and quantity" of an effect "is fixed and determined" by a force or power (*Ibid.*). What is known about gravity force is what the mathematical proportions of the law say about it. Beside this we do not "comprehend" what that force is. This is largely consistent with Newton's view. He did not have sufficient evidence to characterize gravity physically: his theory did not refer to any observable mechanism which

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

relates gravity force to acceleration. Rather, as I. Bernard Cohen (1980, 28) argues, in Newton's approach to gravity force "a mathematically descriptive law of motion was shown by mathematics to be equivalent to a set of causal conditions of forces and motions." As Newton writes in the original Book II of the *Principia* (see, Westfall, 1993, 188), where he emphasizes the mathematical interpretation of gravity force:

> But our purpose is only to trace out the quantity and properties of this force from the phenomena, and to apply what we discover in some simple cases as principles, by which, in a mathematical way, we may estimate the effects thereof in more involved cases [...] We said, *in a mathematical way*, to avoid all questions about the nature or quality of this force, which we would not be understood to determine by any hypothesis.

I think Martin Bell (1997, 85) has it right, as he writes that Hume

> did not conclude that all talk of powers and forces in nature should be eliminated from science. Rather, he argued that Newton's caution about the real nature of these entities was justified precisely by the absence of any 'just' ideas of them, and that cautious empiricist scientist should follow Newton in recognizing that these terms are strictly definable only in terms of observable effects.

The so-called New Humeans (e.g. John P. Wright (1983), Janet Broughton (1987), Galen Strawson (1989, 2000), and Peter Kail (2007, 2011)) would certainly disagree with the notion that Hume interpreted powers and forces instrumentally. A central claim of the New Humeans is that causal powers which ground experiential regularities exist in nature, though these powers or forces are, due to Hume's Copy Principle, epistemically inaccessible to us. As Peter Kail (2011, 448) writes, "regular succession," which in this example can be interpreted to stand for Newton's law of gravity, "is all that is *available* to us, and the powers or forces underlying these regularities are secret or hidden."

In my instrumentalist interpretation, I do not claim that Hume would be denying the existence of forces. My contention is rather that Hume is agnostic about unobservable causes: he does not affirm nor deny the existence of such entities whose operations go beyond observed constant conjunctions. In Hume's view, we are justified to accept gravity law, as he remarks in EHU 6.4 (SBN 57), in as much it is supported by past uniform experience,[20] though an entity to which the law appeals is imperceptible.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Granted, as the New Humeans point out (see, Winkler, 2000, 54), Hume speaks about forces necessitating the effects of the material world in the first *Enquiry*. As he writes: "It is universally allowed, that matter, in all its operations, is actuated by a necessary force" (EHU 8.4; SBN 82). The previous claim seems to support the New Hume interpretation. But right in the next paragraph, Hume clarifies his position:

> … the memory and senses remain the only canals, by which the knowledge of any real existence could possibly have access to the mind. Our idea, therefore, of necessity and causation arises entirely from the uniformity, observable in the operations of nature … (EHU 8.5; SBN 82)

Here Hume suggests that after repeated experience of uniform operations of objects, the mind abstracts an idea of necessary connection. But the idea of necessary connection does not have its origin in any sensuous impression. Rather, this is brought to the mind by the principle of custom and habit (EHU 5.5; SBN 43). By a customary inference, we expect objects to behave in the future as they have behaved in the past. Accordingly, Hume supports the law of gravity not because he would support the thesis that non-observable causal powers necessitate observable effects, but because it operates in a regular, unexceptional manner. Experience, our memory of objects been related contiguously and temporally linearly in the past, sets limits to our knowledge of causal relations manifested in nature.

Having analyzed Hume's conception of causality in the preceding manner, I find it plausible to assert a connection between it and Newton's experimental methodology in gravity research. Both Newton and Hume would contend that metaphysical hypotheses about the unobservable causes of phenomena are neither legitimate nor required. As in Newton's (see 1974b, 5–6) methodology, in which this kind of hypothesizing is both unnecessary and an inappropriate way to proceed in experimental philosophy, so also in Hume's epistemology it plainly transcends the proper limits of *a priori* reasoning in an arbitrary manner.[21]

Consequently, Newton's method has a hold on Hume's epistemological conclusions. Since projecting conjectures and hypotheses onto the world is epistemologically ungrounded, the authority of knowledge acquisition should be, Hume thinks, granted to experience. If there were some way to have information about matters of fact or real existence, about the motion of bodies or the operations of human cognition,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

for instance, the only way left would be committing to "reflections of common life, methodized and corrected" (EHU 12.25; SBN 162). Day-to-day experience[22] and – as a continuation of it and a corrective to it – inductive empirical science[23] can offer us inferences from causes to effects.

Hume does advocate beliefs founded on constant observance from causes to effects. They give us a ground to generalize our beliefs, and evaluate their reliability.[24] But Hume does not see that we could find "a satisfactory reason, why we believe, after a thousand experiments, that a stone will fall ..." (EHU 12.25; SBN 162). Hume cannot produce any type of intuitively intelligible medium from causes to effects.[25] Analogously, this is the case with Newton, too. Neither could he present any type of intuitively intelligible medium in which gravitational attraction physically occurs. As Newton cannot give a *reason* for "the properties of gravity," Hume cannot give a *reason* for our "experience of the operations of cause and effect."

So, for Hume, as Alexander Rosenberg (1993, 73) explains, "the whole notion that causation rests on or reflects the intelligibility or rationality of sequences among events is a mistake [...] the aim of science cannot be to reveal the intelligible character of the universe, but simply to catalogue the regularities that causal sequences reflect." Millican (2007, xxx) pushes the issue further: "Intelligibility is not to be had, *but nor is it required*, and the proper ideal of science is rather to discover and simplify the laws that describe phenomena." As Hume writes:

> Hence we may discover the reason, why no philosopher, who is rational and modest, has ever pretended to assign the ultimate cause of any natural operation, or to show distinctly the action of that power, which produces any single effect in the universe. It is confessed, that the utmost effort of human reason is, to reduce the principles, productive of natural phenomena, to a greater simplicity, and to resolve the many particular effects into a few general causes, by means of reasonings from analogy, experience, and observations. (EHU 4.12; SBN 30)

For Hume as a Newtonian philosopher, it is consistent to say that Newton's laws do not "pretend to assign the ultimate cause of any natural operation."[26] Newton would agree with this, as he readily allows not being yet able to assign a cause to gravity in the end of General Scholium.

The way Hume understands scientific theorizing, it cannot, as Millican (2002, 126) expounds, "provide pure rational insight into why

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

things behave as they do." A particularly good example of this can be found in the *Dialogues*. In chapter 4, Philo argues that a search for a supersensible, intelligible principle of natural operations which would answer why things ultimately behave as they do, would lead to an infinite, never-ending quest. Even if some intelligible principle were posited, a question about *its* intelligible principle would remain open. For instance, if the origin and complexity of motion of celestial bodies in our solar system[27] is explained by positing an intelligent designer, what ultimately explains *it*? What is its origin? Why would postulation of any purely intelligible principle mark the end for a search for a cause to observable phenomena? As Philo argues: "But if we stop and go no farther [in positing an intelligible principle such as intelligent designer], why go so far?" (DNR 4.4). The Humean answer is that this kind of postulate, which clearly is neither observable nor empirically testable (yet supposedly remains intelligible), does not in fact offer a legitimate causal explanation – it just prompts further explanatory problems of its original cause. This is what Hume means by his famous slogan in the first *Enquiry* (EHU 4.12; SBN 31): "The most perfect philosophy of the natural kind only staves off our ignorance a little longer." Hume remains skeptic about ultimate rational explanations of natural phenomena, and insists that experience sets limits to acquisition of knowledge.

Again, an analogy between Hume and Newton can be seen, as Newton expresses his objection against "the mere possibility of hypotheses" in his letter to Oldenburg: "one or another set of hypotheses may always be devised which will appear to supply new difficulties" (Newton 1974a, 6). To avoid this kind of problem, one that inevitably follows from the *ex hypothesi* methodology (supported notably by Descartes and Leibniz),[28] both Newton and Hume maintain that causal explanation should be restricted to what can be inferred from the phenomena.[29] As Philo argues: "experience alone can point out [...] the true cause of any phenomenon" (DNR 2.13). If we remain confined only to the domain of *a priori* reasoning, all hypotheses are just guesswork. There is no guarantee that an effect would have a cause that is intelligible for human cognizers. If we stipulate that an intelligent designer, analogous to human reason, is responsible for the ultimate causes of the operations in nature, "we are," as Demea says, "guilty of the grossest and most narrow partiallity, and make ourselves the model of the whole universe" (DNR 3.12). Once more, Hume's thought here can be traced back to

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Newton, who, according to my interpretation, argues that we are in no position to *stipulate* that nature *is* intelligible.[30]

In natural philosophy, some observations may arise that are contrary to our intuitive reasoning. Such is the instantaneous long-range mutual action of gravity. But Hume proposes that as long as we report the relations of causes to effects, and resolve these "many particular effects into a few general causes," we are not making "obscure and uncertain speculations" (T 1.1.4.6; SBN 13) or empirically unsupported hypotheses "which," as Philo concludes his line in the *Dialogues* (4.11), "so far exceed the narrow bounds of human understanding." Calling gravity an occult force, which cannot be explained in an intelligible manner, would not be a valid counter-argument against Hume's Newtonian epistemology. The reason for this is that Hume shares the premise of Newton's experimentalism, as he comments on Newton in his *History* (LXXI) as being "cautious in admitting no principles but such as were founded on experiment; but resolute to adopt every such principle, however new or unusual." Hume does not require that causal inferences be intuitive comprehensible either in issues of common life or in natural philosophy. They are mere matters of fact, not rational constructions. Gravity does not need such an explanation either.

However, assimilating Hume's causal philosophy to Newton's law of gravity brings out some caveats that have to be taken into account. Newton did not explicate the philosophical background assumptions that follow from holding the law of gravity law to be a complete causal law. For his part, Hume does explicate some relevant assumptions. As Schliesser (2002, 12–13) notes, the rules by which one is to judge causes and effects according to the *Treatise,* section XV are not, however, consistent with the law of universal gravitation. Hume offers two essential requirements that are both incompatible with interpreting the law of gravity as a complete causal law.

First, Hume sees contiguity as being essential to causation (T 1.3.2.6; SBN 75). He seems to be rather uncomfortable with non-physical action at distance, since he speculates that

> 'tho' distant objects may sometimes seem productive of each other, they are commonly found upon examination to be link'd by a chain of causes, which are contiguous among themselves, and to the distant objects … (T 1.3.2.6; SBN 75)

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Evidently, as Schliesser points out, this could not be "made consistent with the universal nature of attraction" since Newton's law stipulates that "the most distant particles of the universe attract each other." Interestingly, after nearly a decade since the *Treatise's* publication in 1739–1740, the contiguity criterion disappears in the first *Enquiry*, published in 1748 (Schliesser, 2002, 12–13).

Second, Hume asserts that causes are prior in time. They come "before the effect" (T 1.3.2.7; SBN 75–76). But as Newton's gravity law is "a branch of the third law of motion" (Newton 1974a, 6), it must be that a force between objects is mutual, and that it appears instantaneously between any two given bodies with mass. Acceleration is simultaneous with an exercise of a force. The observable acceleration of an object does not emerge from a temporally preceding cause but from the mutual force between masses.

I find there to be a substantive detail in Hume's conception of causality that is not compatible with Newton's third law. For Hume, "every effect is a distinct event from its cause" (EHU 4.11; SBN 30). Again, this cannot readily be reconciled with the concept of force as Newton's third law describes it.[31] A force is not a distinct event which has an existence of its own. It is an *interaction* between two members of an action/reaction pair. "Force," as Max Jammer (1957, 127) comments on Newton's concept, "manifests itself invariably in a dual aspect." As Schliesser (2011, 93) points out, gravity is an "accidental quality of matter that arises through what Newton calls "the shared action" of two bodies."[32] It is hard to see how "force" is distinct from "opposite-force" in the sense that Hume understands the idea of cause to be distinctly separable from the idea of effect.[33]

To accept the fact that gravity produces motion causally in a way that Newton described it by his law, one has to challenge the intuitive assumption that motion is caused by a sequence of temporally linear physical contacts. But for Hume, as Todd Ryan's (2003) study confirms, giving up the criteria of contiguity and temporal priority would lead to a *reductio ad absurdum*, since these are exactly the features that ground causal judgments in Hume's theory. As he writes in the *Treatise* (1.3.2.7; SBN 76): "for if one cause were co-temporary with its effect, and this effect with *its* effect, and so on, 'tis plain there wou'd be no such thing as succession, and all objects must be co-existent." Since Hume's rules for causal inference stipulate cause and effect to be "entirely divided by

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

time and place" (T 1.3.14.18; SBN 164), he would not accept the law of gravity to be a complete causal law. Gravitational force and motion are not "*contiguous* in time and place" (T 1.3.14.1; SBN 155). Gravitational force as a cause does not precede motion as an effect.

Hume's criteria therefore expose pivotal problems concerning gravity's causal nature. For him, gravitational force as an instrumentally interpreted cause is not "an object precedent and contiguous to another, and so united with it" (T 1.3.14.31; SBN 170), which is the definition what it is to be a cause. Newton thought of gravity as a causally efficacious force. This is not entirely compatible with Hume's views.

However, it can be noted that one of Hume's rule for causal judgement is compatible with the law of gravity. It is the requirement of exceptionless repetition. As Hume writes: "The same cause always produces the same effect" (T 1.3.15.6; SBN 173). This criterion is similar to Newton's rule 2 in Rules for the study of natural philosophy in the *Principia*: "Therefore, the causes assigned to natural effects of the same kind must be, so far as possible, the same" (*Principia*, Book 3, Rule 3).

This analogy between Newton's and Hume's views clarifies, why Hume calls the law of gravity as a universal law, but still cannot take it to be a complete causal law. Though the causal relation between gravity force and acceleration is not known – it is not present to our senses – the law of gravity operates in a regular, unexceptional manner. The causal nature of the unperceived entity to which the law appeals is unknown, but essential to Hume's Newtonian epistemology is that the law-like succession of gravity and motion is known *a posteriori*, by repeated experience. It is not known *a priori*, since there is nothing in the faculty of human understanding, in the domain of pure reason, which would inform us about the motion of objects. Though Newton's and Hume's views about gravity's causal efficaciousness are not exactly alike, Newton's *methodology* is nevertheless compatible with Hume's theory of causality and indeed clearly at its intellectual background.

3. Conclusion

I have shown that Hume is a Newtonian philosopher: the experimentalist stance Newton assumed with respect to gravity inspired Hume's epistemological conclusions. The law of gravity, $F \propto Mm/r^2$, entails

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

seemingly unintelligible properties, but intelligibility is not a necessary requirement for human knowledge. For Hume, factual information is gained by repeated experience, not by putting forward supposedly intelligible *a priori* explanations. Both Newton and Hume suggest that human cognizers are not in a position to posit that nature is in fact intelligible. Nevertheless, although Newton's law of gravity does not reveal the ultimate nature of the force effecting motion on the scale of our solar system, it does give a phenomenal account of the motion of objects. Since the law is a statement of exceptionless repetition, Hume classifies it as "proof," as a high-order matter of fact.

However, Hume cannot maintain that the law of gravity would be a complete causal law, since it does not include a reference either to contiguity or to temporal priority. Though Newton saw gravity as a causally efficacious force, Hume could not take this literally: instantaneous action at a distance does not fulfill the requirements he imposes on causal explanation. Gravitational force as a cause is not contiguous, nor does it antedate motion as its effect. Still, given the success of Newton's theory, Hume supports it in interpreting gravity force instrumentally as if it bore a causal relation to motion.

Notes

1 References to Hume's *A Treatise of Human Nature* and *An Enquiry concerning Human Understanding* are in accordance with the Hume Society's exhortation. I employ the abbreviations T and EHU as well as the Selby-Bigge/Nidditch (SBN) numbering. Hume's *Dialogues concerning Natural Religion* is abbreviated as DNR, and his *The History of England from the Invasion of Julius Caesar to the Revolution in 1688* as *History*.

2 Whereas Newton named his major work *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, Hume largely excludes any "mathematical principles." See Buckle (2004, 79–80), Schliesser (2007), and De Pierris (2012, 259). However, Hume's treatment of "mixed mathematics" complicates the issue, since Hume stresses the importance of applied mathematics in assisting natural philosophy. See Millican (2002, 126) and Claudia Schmidt (2003, 64–65).

3 See footnote 23 of this paper.

4 When referring to Isaac Newton's work *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy* I shall use the abbreviation *Principia*; for the *Opticks or, a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light : also two treatises of the species and magnitude of curvilinear figures* I will use the abbreviation *Opticks*.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

5 This notation can be found in George E. Smith's article "The Methodology of the Principia" (2004, 150). Newton did not himself express the law of universal gravitation in a single quantitative formula.

6 Gravitational force does not act "in proportion to the quantity of the *surfaces* of the particles on which it acts (as mechanical causes are wont to do) but in proportion to the quantity of *solid* matter ..." (*Principia*, General Scholium), that is, in proportion to the whole matter that is in bodies (see, *Principia*, Book 3, Proposition 7, Theorem 7). Gravitational force acts between the centers of mass of bodies, not between the common boundaries of the contiguous parts of them (*Principia*, Definition 8, and Newton, Janiak, 2004, 22).

7 Though Leibniz did not accept the unintelligible long-range action of gravity he nevertheless sympathized with the inverse-square law, $1/r^2$. See Domenico Bertoli Meli (1993, 138) and Alfred Rupert Hall (2002, 210).

8 See also Smith (2004, 142). Newton's letter to Oldenburg was written in 1672, 15 years before the first edition of the *Principia* appeared in print, and his letter to Cotes was written the same year as the publication of the second edition of the *Principia*, that is to say, 1713. In spite of the vast amount of time that had lapsed between the two letters, one can still see the same methodological spirit in both. What is different is Newton's ability to use gravity as an example for arguing for his methodology, since the *Principia*, including the General Scholium attached to the second edition, was then published.

9 As Kochiras (2011, 173–74) informatively argues:
"His method prohibits mere hypotheses, including metaphysical principles, from acting as constraints upon physical theory. He does allow *physical* hypotheses a legitimate, though limited, role in natural philosophy. Physical hypotheses are those that, while currently lacking sufficient empirical support, are yet amenable to empirical investigation. Their proper role, accordingly, is to "furnish experiments". Metaphysical principles or hypotheses, however, cannot have even the limited role of furnishing experiments since, however great their appeal for making the world intelligible, they do not seem amenable to empirical investigation."
Cf. Janiak (2006) chapter 5 "*Hypotheses non fingo*."

10 I am not arguing that Newton was uninterested in finding the reason for gravity, nor that there would not be any reason for gravity's actions (on this point see Eugene Sapadin (2009, 80)). My point, rather, is that although Newton may have wished to discover the reason for gravity, the mere fact that he could not produce any reason for the universal attraction postulated by his theory did not confer legitimacy on the hypotheses portraying the theory as irrational.

11 See the *Treatise* (Intro 8; SBN xvii), and Buckle (2004, 27–28). As Buckle notes, Hume's Introduction (8; SBN xvii) closely resembles the methodological parts of Newton's *Opticks* (1979, 542–43).

12 Concerning the *Treatise* see (1.3.9.12; SBN 113), (1.4.2.14; SBN 193), (App. 2), and concerning the first *Enquiry*, see (4.4; SBN 26), (4.14; SBN 32), (7.29; SBN 76), (12.22; SBN 159).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

13 By "knowledge acquisition" I do not mean "knowledge" in the way that the term is used it both in the *Treatise* and the first *Enquiry*, where Hume indicates that it is certain (T 3.1.2; SBN 70) or demonstrative (EHU 12.27; SBN 163). Here as well as in this paper more in general I take the term "knowledge acquisition" to mean the generation of new information through inductive inferences concerning factual issues. Hume also uses the term "human knowledge" in this sense at the conclusion of the first *Enquiry* (12.29; SBN 164).
14 Cf. David Owen (1999, 101).
15 Cf. *Treatise* (1.4.5.30; SBN 247).
16 In no uncertain terms, Hume sees Newton to have "determined the laws and forces by which the revolutions of the planets are governed and directed" (EHU 1.15; SBN 14). See also Bell (1997, 70).
17 For Hume's own formulation of the Copy Principle see the *Treatise* (1.1.4–1.1.5; SBN 1–10) and sections 2 and 3 of the first *Enquiry*.
18 To a modern reader the term "power" may sound like a confusion between force *F* and power *P*, where power is defined as an amount of work done over a period of time. Colin Maclaurin, who was a professor in Edinburgh in the second quarter of the 18th century, clearly uses the expression "the power of gravity" in his *An account of Sir Isaac Newton's philosophical discoveries: in four books* (1750, 255), published two years after Hume's first *Enquiry*. What this indicates is that present-day terminology in physics is different from the terminology of the Early Modern period, not that Hume would have misunderstood the central concept of Newtonian dynamics.
19 See Ernan McMullin (1978, 82).
20 Notice that this does not exclude the fallibility of the law; "the production of motion [...] by gravity is an universal law, which has *hitherto* admitted of no exception" (*Ibid*., my emphasis), but it might be shown to be fallible in the future. See, De Pierris (2006, 298–99).
21 See the first *Enquiry* (12.27; SBN 163): "It seems to me, that the only objects of the abstract sciences or of demonstration are quantity and number, and that all attempts to extend this more perfects species of knowledge beyond these bounds are mere sophistry and illusion." However, the case of mixed mathematics may complicate the issue. In the first *Enquiry* (4.13; SBN 31) Hume clearly thinks that natural laws, such as the conservation of momentum, require employing "abstract reasoning," and "determining [...] precise degree of distance and quantity." But though Hume understands mathematical demonstrative reasoning to assist natural philosophy and the applications of the laws of nature, he still contends that "... the discovery of the law itself is owing merely to experience, and all the abstract reasonings in the world could never lead us one step towards the knowledge of it." (EHU 4.13; SBN 31) See Millican (2002, 126) and Schmidt (2002, 64–65).
22 For Newton's preference for day-to-day experience over hypothesizing see Ducheyne's (2012, 23), which is a study of Newton's (CUL Add. Ms. 9597.2.11 (ca. 1716–1718)).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

23 In the end, Hume's stance on induction may be slightly more skeptical than Newton's. Hume would not allow that principles or universal laws could be "deduced from the phenomena" in the sense that Newton understands his theories to be derived "from experiments concluding positively and directly" (Newton, 1974b, 7). As Millican (2002, 118) affirms, to Hume inductive inference is simply "extrapolation from what has been experienced to something which has not been experienced." Newton's position on induction would be closer to the Aristotelian account: as Antony Flew (1984, 171) defines it: "a method of reasoning by which a general law or principle is inferred from observed particular instances" (Millican, 2002, 119). On the other hand, Newton uses Humean induction in arguing for the universal impenetrability of matter in rule 3 for the study of natural philosophy of the *Principia*.

24 This is an essential point for Hume in discrediting the reliability of miracles. As Richard H. Popkin (1998, xix) affirms, to Hume, "as violations of the laws of nature, the reported miracles would be contrary to all of our experience, since the laws of nature are generalizations of our constant regular experiences." For instance, "the raising of a house or ship into the air is a visible miracle" (EHU 10.12; SBN 114–15, fn. 23) that would refute our belief that unsupported objects fall down toward the earth. Since such evidentially strong examples as motion produced by gravity have not "ever yet been found of any failure or irregularity in their operation" (EHU 64; SBN 57), believing a miracle which reports houses or ships as having been lifted up into the air is something so far-fetched that if we did believe it, we would have faith in something like gravitational force not operating in certain individual cases.

25 See the first *Enquiry* (4.16; SBN 34): "But if you insist, that the inference is made by a chain of reasoning, I desire you to produce that reasoning. The connexion between these propositions is not intuitive. There is required a medium, which may enable the mind to draw such an inference, if indeed it be drawn by reasoning and argument. What that medium is, I must confess, passes my comprehension; and it is incumbent on those to produce it, who assert, that it really exists, and is the origin of all our conclusions concerning matter of fact." According to Owen (1999, 84), for Hume "intuition requires no steps of reasoning: no intermediate ideas need be found." Yet with respect to causation Owen (1999, 84) writes: "the mere examination of two ideas present in our mind is not enough to tell whether or not they stand in the causal relation." This confirms that for Hume, there is no instantaneous intuition regarding causes and effects – our information concerning their relation is acquired *a posteriori,* observing their spatio-temporal relations.

26 Hume makes the exact same point in his *History*, chapter LXXI.

27 Or for that matter the origin of life on Earth: Philo in the *Dialogues* (7.5) presents a naturalistic hypothesis about the origin of life, and he rejects the possibility of explaining the origin of nature in a manner that would be empirically unsupported (DNR 7.11).

28 See chapter 5, "*Hypotheses non Fingo*" in Janiak (2006).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

29 See Newton's CUL Add. Ms 3965.9 (early 1710s) in Ducheyne (2012, 22). The original Cohen–Whitman translation can be found in Newton (1999, 53–54).
30 Surely, Newton and Hume have largely different opinions when it comes to theological matters. The General Scholium lends its support to the Abrahamic God, whereas the *Dialogues* can be characterized as a mitigated critique of religion and the theistic notion of God. My contention is merely that Newton's scientific methodology and Hume's conception of causality operate analogously on this issue.
31 Newton's third law is not a causal law in the sense that it would explain how force generates change in a state of motion. This is surely described by his second law. But since Newton holds gravity law to be "a branch of the third law of motion" (Newton 1974a, 6) I think it is relevant to discuss it in this context. If the law of gravity is given a realist interpretation in a sense that gravity causes motion, the problem of causal explanation emerges, since Hume understands causal explanation to require contiguity and temporal priority, neither of which is included by the law.
32 Newton may not always have held the idea that gravity is generated only between a pair of bodies. For instance, in his unpublished treatise *De Gravitatione*, written before the first edition of the *Principia* (1687), Newton defines gravity as "the force in a body impelling it to descend" (Definition 10). This implies that before the publication of the *Principia* Newton took gravity to be something *in a* body, not an interaction between two bodies.
33 See the *Treatise* (1.3.14.18; SBN 164).

References

Barfoot, Michael, 2010: Hume and The Culture of Science in The Early Eighteenth Century. In: Stewart, M.A. (ed.): *Studies in the Philosophy of Scottish Enlightenment*. Oxford: Oxford University Press, pp. 151–190.

Belkind, Ori, 2012: Newton's scientific method and the universal law of gravitation. In: Janiak, Andrew, Schliesser, Eric (eds.): *Interpreting Newton. Critical Essays*. Cambridge: Cambridge University Press, 138–168.

Bell, Martin, 1997: Hume and causal power: The influences of Malebranche and Newton. In: *British Journal for the History of Philosophy* 5, pp. 67–86.

Broughton, Janet, 1987: Hume's Ideas about Necessary Connection. In: *Hume Studies* 8, pp. 217–244.

Buckle, Stephen, 2004: *Hume's Enlightenment Tract*. New York: Oxford University Press.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Buckle, Stephen, 2011: Hume in the Enlightenment Tradition. In: Radcliffe, Elizabeth (ed.) *A Companion to Hume*. Malden, Oxford, West Sussex: Willey-Blackwell, pp. 21–37.

Capaldi, Nicholas, 1975: *David Hume: the Newtonian Philosopher*. Boston: Twayne Publishers.

Cohen, I. Bernard, 1980: *The Newtonian Revolution, with Illustrations of the Transformation of Scientific Ideas*. Cambridge: Cambridge University Press.

Cohen, I. Bernard, 1999: A Guide to Newton's Principia. In: Budenz, Julia, Cohen, I. Bernard, Whitman, Anne (eds.) *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy*, by Isaac Newton. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, pp. 1–370.

De Pierris, Graciela, 2001: Hume's Pyrrhonian Skepticism and the Belief in Causal Laws. In: *Journal of the History of Philosophy* 39, pp. 351–83.

De Pierris, Graciela, 2006: Hume and Locke on Scientific Methodology: The Newtonian Legacy. In: *Hume Studies* 32, pp. 277–330.

De Pierris, Graciela, 2012: Newton, Locke, and Hume. In: Janiak, Andrew, Schliesser, Eric (eds.): *Interpreting Newton. Critical Essays*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 257–79.

DiSalle, Robert, 2004: Newton's philosophical analysis of space and time. In: Cohen, I. Bernard, Smith, George E. (eds.): *The Cambridge Companion to Newton*. New York: Cambridge University Press, pp. 33–56.

Ducheyne, Steffen, 2012: *The Main Business of Natural Philosophy. Isaac Newton's Natural-Philosophical Methodology*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer.

Dunlop, Katherine, 2012 "What geometry postulates: Newton and Barrow on the relationship of mathematics to nature." In: Janiak, Andrew, Schliesser, Eric (eds.): *Interpreting Newton. Critical Essays*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 69–102.

Flew, Antony, 1984: *A Dictionary of Philosophy*. Second, revised edition. New York: St. Martin's Press.

Force, James E., 1987: Hume's Interest in Newton and Science. *Hume Studies* 8, pp. 166–216.

Hall, Alfred Rupert, 2002. *Philosophers at War: The Quarrel Between Newton and Leibniz*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hazony, Yoram, 2009: Hume's 'System of the Sciences' as a Challenge to Newtonian Science. Paper presented at "The Human Nature Tra-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

dition in Anglo Scottish Philosophy: It's History and Future Prospects" conference in the Shalem Center, Jerusalem, December 14–17, 2009.

Hazony, Yoram, Schliesser, Eric, forthcoming: Newton and Hume. In: Russell, Paul (ed.): *Oxford Handbook of Hume*. Oxford University Press.

Hume, David, 1983: *The History of England from the Invasion of Julius Caesar to the Revolution in 1688.* Indianapolis: Liberty Fund.

Hume, David, 1998: *Dialogues concerning Natural Religion*. Edited by Richard H. Popkin. Indianapolis, Cambridge: Hacket Publishing.

Hume, David, 2000: *An Enquiry concerning Human Understanding*. Edited by Tom L. Beauchamp. Oxford: Clarendon Press.

Hume, David, 2007: *A Treatise of Human Nature*. Edited by David Fate Norton and Mary J. Norton. Oxford: Clarendon Press.

Jaakkola, Toivo, 1996: Action-at-a-Distance and Local Action in Gravitation: Discussion and Possible Solution of the Dilemma. In: *Apeiron* 3, pp. 61–75.

Jammer, Max, 1957: Concepts of Force. A Study in the Foundations of Dynamics. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Janiak, Andrew, 2006: "Newton's Philosophy." *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2009 Edition)*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2009/entries/newton-philosophy/>.

Janiak, Andrew, 2007: Newton and the Reality of Force. In: *Journal of the History of Philosophy* 45, pp. 127–47.

Janiak, Andrew, 2008: *Newton as Philosopher.* New York: Cambridge University Press.

Jones, Peter, 1982: *Hume's Sentiments, Their Ciceronian and French Context.* Edinburgh: The University of Edinburgh Press.

Kail, Peter, 2007: *Projection and Realism in Hume's Philosophy.* New York: Oxford University Press.

Kail, Peter, 2011: Is Hume a Realist or an Anti-Realist? In: Radcliffe, Elizabeth (ed.): *A Companion to Hume*. Malden, Oxford, West Sussex: Willey-Blackwell, pp. 441–56.

Klemme, Heiner F., 2006: Causality. In: Haakonssen, Knud (ed.): *The Cambridge History of Eighteenth-Century Philosophy.* New York: Cambridge University Press, pp. 368–88.

Kochiras, Hylarie, 2011: Gravity's cause and substance counting: con-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

textualizing the problems. In: *Studies in the History and Philosophy of Science* 42, pp. 167–84.

Leibniz, Gottfried Wilhelm, Clarke, Samuel, 1717: *A Collection of Papers, Which passed between the late Learned Mr.Leibnitz, and Dr. Clarke, In the Years 1715 and 1716.* London: James Knapton.

Maclaurin, Colin, 1750. *An account of Sir Isaac Newton's philosophical discoveries: in four books.* London: Patrick Murdoch.

McMullin, Ernan, 1978: *Newton on Matter and Activity.* Notre Dame, London: Notre Dame University Press.

Meli, Domenico Bertoli, 1993: *Equivalence and Priority: Newton vs. Leibniz.* Oxford: Oxford University Press.

Millican, Peter, 2002: Hume's Sceptical Doubts concerning Induction. In: Millican, Peter (ed.): *Reading Hume on Human Understanding. Essays on the First* Enquiry. Oxford: Oxford University Press, pp. 107–74.

Millican, Peter, 2007: Introduction to *An Enquiry concerning Human Understanding* by Hume, David. New York: Oxford University Press, pp. ix–lvi.

Millican, Peter, 2009: Hume, Causal Realism, and Causal Science. *Mind* 118, pp. 647–712.

Newton, Isaac, 1974a: From a Letter to Cotes. In: Newton, Isaac, Thayer, H. S. (ed.): *Newton's Philosophy of Nature: Selections from his Writings*. New York: Hafner Press, pp. 5–6, 7–8.

Newton, Isaac, 1974b: From a Letter to Oldenburg. In: Newton, Isaac, Thayer, H. S. (ed.): *Newton's Philosophy of Nature: Selections from his Writings*. New York: Hafner Press, pp. 6–7.

Newton, Isaac, 1979: *Opticks*. Mineola: Dover Publications.

Newton, Isaac, 1999: *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Translated and edited by Cohen, I. Bernard, Whitman, Anne, and assisted by Budenz, Julia. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

Newton, Isaac, and Janiak, Andrew, 2004: *Newton. Philosophical Writings*. New York: Cambridge University Press.

Noonan, Harold W, 1999. *Hume on Knowledge*. London: Routledge.

Noxon, James, 1976: Review of *David Hume: The Newtonian Philosopher* by Nicolas Capaldi and *Hume* by Terence Penelhum. *Hume Studies* 2, pp. 104–15.

Owen, David, 1999: *Hume's Reason*. New York: Oxford University Press.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Popkin, Richard H, 1998: Introduction to *Dialogues Concerning Natural Religion,* by Hume, David. Indianapolis, Cambridge: Hacket Publishing, pp. vii–xx.

Rosenberg, Alexander, 1993: Hume and the philosophy of science. In: Norton, David Fate (ed.): *The Cambridge Companion to Hume*. New York: Cambridge University Press, pp. 64–89.

Rutherford, Donald, 2007: Innovation and orthodoxy in early modern philosophy. In: Rutherford, Donald (ed.): *Cambridge Companion to Early Modern Philosophy*. New York: Cambridge University Press, pp. 11–38.

Ryan, Todd, 2003: Hume's Argument for the Temporal Priority of Causes. In: *Hume Studies* 29, pp. 29–41.

Sapadin, Eugene, 2009: Newton, First Principles, and Reading Hume. In: *Archiv für Geschichte der Philosophie* 74, pp. 74–104.

Schliesser, Eric, 2002: *Indispensable Hume: From Isaac Newton's Natural Philosophy to Adam Smith's "Science of Man."* PhD diss., University of Chicago.

Schliesser, Eric, 2007: Hume's Newtonianism and Anti-Newtonianism. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2007 Edition). Edited by Edward N. Zalta. URL = <http://plato.stanford.edu/entries/hume-newton/>.

Schliesser, Eric, 2009: Hume's Attack on Newton's Philosophy. In: Snobelen, Stephen (ed.) *Enlightenment and Dissent. Isaac Newton in the Eighteenth Century*. Enlightenment and Dissent, pp. 167–203.

Schliesser, Eric, 2011. Without God: Newton's relational theory of attraction. In Anstey, Peter, Jalobeanu, Dana (eds.): *Vanishing matter and the laws of motion. Descartes and Beyond*. New York: Routledge, pp. 80–102.

Schmidt, Claudia, M., 2003: *David Hume: Reason in History*. The Pennsylvania State University Press.

Smith, George E., 2004: The Methodology of the Principia. In: Cohen, I. Bernard, Smith, George E. (eds.): *The Cambridge Companion to Newton*. New York: Cambridge University Press, pp. 138–73.

Strawson, Galen, 1989: *The Secret Connexion: Causation, Realism, and David Hume*. New York: Claredon Press.

Strawson, Galen, 2000: David Hume: Objects and Power. In: Read, Rupert, Richman, Kenneth (eds.): *The New Hume Debate*. London and New York: Routledge, pp. 31–51.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Westfall, Richard, 1993: *The Life of Isaac Newton*. New York: Cambridge University Press.
Wright, John P., 1983: *The Sceptical Realism of David Hume*. Manchester University Press.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Anne Christina Thaeder

John Herschel und der Newton des Grashalms

Zusammenfassung

In diesem Aufsatz möchte ich zeigen, dass sich Charles Darwin bei der Entwicklung seiner Theorie gewissenhaft an den wissenschaftstheoretischen Kriterien seiner Zeit orientierte, die maßgeblich von John Herschel geprägt wurden. Dazu werde ich zuerst die Methodologie Herschels vorstellen, um anschließend Darwins *Entstehung der Arten* auf diese wissenschaftstheoretischen Kriterien hin zu untersuchen. Abschließend soll an der Reaktion Herschels auf Darwins Theorie gezeigt werden, dass Herschel seine eigenen Kriterien nicht erfüllt hat, weil er sich nicht von seinem „Vorurteil der Meinung" befreien konnte.

Abstract

In this article I would like to show that Charles Darwin conscientiously developed his theory of natural selection conforming to criteria of John Herschel, one of the leading philosophers of science at his time. Therefor I will present Herschel's methodology and search for the criteria in Darwin's *Origin of Species*. I conclude with Herschel's negative reaction to Darwin's theory, showing that Herschel himself probably could not comply with his own criteria.

1. Einleitung

Evolution ist heute eine gesicherte Tatsache, für die moderne Biologie besteht daran heute kein Zweifel mehr. Doch Anfang des 19. Jahrhunderts, als Darwin an seiner Theorie arbeitete, herrschte ein kompliziertes Durcheinander von verschiedenen Anschauungen über die Adaptationen der Arten und ihre Entstehung. Verschiedene Auffassungen über Artenkonstanz und Transmutation konkurrierten miteinander und waren häufig weltanschaulich motiviert. In dieser Theorienlandschaft arbeitete Darwin lange und intensiv an der Begründung seiner Theorie zur Entstehung der Arten. Er wollte eine nachvollziehbare und zwin-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

gende Argumentation präsentieren und mit ihr ein Fundament für die Biologie als Wissenschaft legen. Dazu richtete er sein Vorgehen in der *Entstehung der Arten* nach den wissenschaftstheoretischen Kriterien seiner Zeit aus, die besonderes von John F. Herschel geprägt waren. Für diesen, wie für die Mehrheit der zeitgenössischen Wissenschaftler, galt Newtons Gravitationstheorie als Vorbild für gutes wissenschaftliches Vorgehen. Darwins Bemühungen waren schließlich von Erfolg gekrönt, sodass er im Nachhinein von Ernst Haeckel als „Newton des Grashalms" bezeichnet wurde. Doch stellte sich dieser Erfolg nicht sogleich ein, denn seine Theorie hatte nicht nur Konsequenzen für die Biologie als Wissenschaft, sondern sorgte anfangs besonders für weltanschaulichen Zündstoff, weil sie die teleologische Begründung für die Adaptationen der Arten überflüssig machte. Sie bot stattdessen eine naturalistische Alternative an, die ohne einen planenden Schöpfer die Phänomene der Flora und Fauna erklären konnte und löste damit die Verbindung von Weltanschauung[1] und Naturwissenschaft. Durch diese Trennung von theologisch-teleologischen und wissenschaftlichen Erklärungen legte Darwin die Grundlage für den methodologischen Naturalismus, der inzwischen als wissenschaftstheoretische Voraussetzung der Naturwissenschaften akzeptiert ist.[2] Doch ist die Trennung zwischen Weltanschauung und Wissenschaft bis heute nicht vollständig vollzogen. Noch immer werden wissenschaftliche Theorien, und besonderes die Evolutionstheorie Darwins, für weltanschauliche Auseinandersetzungen missbraucht (Ruse, 1989, S. 272), wenn beispielsweise der methodologische Naturalismus zum ontologischen ausgeweitet wird. Umgekehrt zeigt sich am Beispiel der Kreationisten, wie Weltanschauung die Theorienwahl beeinflussen kann.

Ich möchte in diesem Aufsatz zeigen, dass auch die Reaktion John Herschels auf Darwins Theorie weltanschaulich begründet ist. Dazu werde ich die wichtigsten Punkte der Wissenschaftstheorie Herschels darstellen, um die *Entstehung der Arten* auf diese Kriterien hin überprüfen zu können. Dabei werde ich auch untersuchen, inwiefern Darwins Theorie der damals gängigen physikotheologischen Erklärungsweise hinsichtlich dieser Kriterien überlegen ist. Anschließend werde ich die Kritik Herschels an Darwins Theorie vorstellen und bewerten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

2. Herschel und Darwin

2.1 Herschels Methodologie

Der Astronom John Frederick William Herschel[3] (1792-1871) veröffentlichte 1830 das umfassendste und ausgewogenste wissenschaftstheoretische Werk seiner Zeit: *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*. Seine darin enthaltenen Ausführungen über das Verhältnis von Hypothese, Theorie und Experiment wurden u.a. von Whewell, Mill und Darwin als einflussreich anerkannt (Losee, 1977, S. 111). „To be scientific, in the popular mind, was to be as much as possible like Herschel" (Ruse, 1979, S. 25). Herschel nennt fünf Phasen, die ein Wissenschaftler durchlaufen muss, um ein gute wissenschaftliche Theorie zu erhalten.[4]

2.1.1 Reinigung von Vorurteilen

Erfahrung ist für Herschel die Grundlage aller Wissenschaft. Bevor jedoch die Erfahrung für wissenschaftliche Zwecke genutzt werden kann, muss das Bewusstsein von Vorurteilen befreit werden. Er unterscheidet dabei zwei Arten von Vorurteil: Dem *Vorurteil der Meinung* und dem *Vorurteil der Sinne*. Unter dem *Vorurteil der Meinung* versteht er Meinungen, die von anderen übernommen werden, die durch oberflächliche Ansichten geprägt sind oder durch volkstümliche Beobachtungen entstehen. Als Beispiel für solche Meinungen führt er die Vorstellung an, dass die Erde der Mittelpunkt des Universums sei. Solche Vorstellungen halten sich hartnäckig und müssen von dem naturwissenschaftlichen Forscher mit aller Kraft bekämpft werden. Herschel erwartet allerdings nicht, dass Wissenschaftler sich von diesen Vorurteilen frei machen – das wäre naiv –, sondern, dass sie nicht fanatisch an ihnen festhalten. Sie sollen bereit sein, sie zu hinterfragen, ansonsten sind sie nicht für die Wissenschaft geeignet. Als Beispiel für das *Vorurteil der Sinne*, führt er die Farbwahrnehmung an. Wir neigen dazu, Farben den Dingen als inhärente Eigenschaften zuzuschreiben. Unter anderen Lichtverhältnissen zeigt sich jedoch, dass dies nicht der Fall sein kann. Die Beschaffenheit, Funktionsweise und Begrenztheit des eigenen Wahrnehmungsapparates soll dem Forscher ebenso bewusst sein wie die aufgeprägten Vorurteile in seinem Weltbild (Herschel, 1966, S. 80f.).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

2.1.2 Analyse der Phänomene

Phänomene sind für Herschel die wahrnehmbaren Folgen von Prozessen und Vorgängen an externen Gegenständen. Diese gilt es nun zu analysieren, indem gezeigt wird, dass sie sich aus anderen Phänomenen zusammensetzen, d.h. durch diese erklärbar sind. Vom Klang einer Saite kann beispielsweise gezeigt werden, dass er durch das Phänomen der Vibration entsteht, das über die Luft in das Ohr übertragen wird. Der Klang, den wir wahrnehmen, ist also nicht das letzte Phänomen, sondern lässt sich in andere Phänomene zerlegen. Ob ein Phänomen, das aktuell nicht weiter zerlegt werden kann, wirklich grundlegend ist, können wir nicht wissen (ebd., S. 85 f.). Für Herschel besteht wenig Aussicht, jemals zu den wirklichen letzten Ursachen zu gelangen, weswegen wir unsere Untersuchungen auf Gesetze und die Analyse komplexer Phänomene beschränken müssen. Diejenigen Phänomene, die nicht weiter zerlegt werden können, die „*ultimate phenomena*", sollen als letzte Ursachen[5] betrachtet werden (ebd., S. 88 ff.). Obwohl es für Herschel keine allgemeinen Regeln gibt, wie kausale Erklärungen auszusehen haben, sollen sich Wissenschaftler nur auf wirkliche Ursachen berufen, die wir aus Erfahrung kennen und nicht etwa auf bloße Hypothesen. Herschel beruft sich hier auf den Newtonschen Begriff der *vera causa* (ebd., S. 144). Wenn man beispielsweise einen Stein am Band um seine Hand kreisen lässt, kann man durch das Band direkt die Kraft (force)[6] wahrnehmen, die den Stein in seiner Umlaufbahn hält und so eine *vera causa* darstellt. Es ist also durch Erfahrung erkennbar, dass die eigene Kraft die Ursache ist, die nötig ist, um den beobachteten Effekt zu bewirken, ohne die also der Effekt nicht zustande kommen würde. Wird das Band losgelassen, endet der Effekt sogleich. Auch wenn wir die Kraft, welche die Planeten in ihrer Umlaufbahn hält, nicht in dieser Weise wahrnehmen können, so lässt sich doch durch Analogie darauf schließen, dass eine solche Kraft existiert (ebd., S. 149). Analoge Vorgänge zeichnen sich für Herschel nur dadurch aus, dass sie durch dieselbe Ursache erklärt werden können. Herschel macht deutlich, dass die beiden Phänomene ansonsten keinerlei Übereinstimmungen aufweisen müssen (Gildenhuys, 2004, S. 596).

Je weiter man ein Phänomen zergliedert, desto allgemeiner oder elementarer werden die Phänomene, die man erhält. Für das Beispiel des Klangs wären die nächsten und elementareren Phänomene, die weiter analysiert werden sollen, Anstoß und Verbreitung der Bewegung, sowie

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

die Entstehung der Wahrnehmung des Klanges. Es ist nicht möglich, die Gesetzmäßigkeiten zwischen den Phänomenen a priori zu untersuchen. Der Forscher muss in die Natur schauen und bei seiner Analyse vorgehen wie ein Chemiker. Dieser betrachtet eine Substanz als elementar, wenn er sie nicht weiter zerlegen kann.[7] „So, in natural philosophy, we must account every phenomenon an elementary or simple one till we can analyse it, and show that it is the result of others, which in their turn become elementary" (Herschel, 1966, S. 91 f.).

2.1.3 Verallgemeinerung zu Naturgesetzen

Nach dem Analyseprozess werden aus den Beobachtungen und Gesetzmäßigkeiten durch Verstandestätigkeit Naturgesetze und allgemeine Axiome extrahiert.

> However, we are to recollect that the analysis of phenomena, philosophically speaking, is principally useful, as it enables us to recognize, and mark for special investigation, those which appear to us simple; to set methodically about determining their laws, and thus to facilitate the work of raising up general axioms, or forms of words, which shall include the whole of them; which shall, as it were, transplant them out of the external into the intellectual world, render them creatures of pure thought, and enable us to reason them out à priori. (Herschel, 1966, S. 97)

Diese axiomatischen Naturgesetze können wiederum zur Vorhersage empirischer Fakten verwendet werden. Als Beispiel für das beschriebene Vorgehen führt Herschel Newtons Gravitationsgesetz an. Ein Naturgesetz[8] bedeutet für Herschel eine allgemeine Proposition, die in abstrakten Ausdrücken eine Gruppe von Phänomenen mit ihrem regelmäßigen Verhalten in bestimmten Umständen verbindet. Oder eine die aussagt, dass alle Individuen, die in einer Eigenschaft übereinstimmen, das auch in einer bestimmten anderen Eigenschaft tun. Oder eine Proposition, die einen regelmäßigen Zusammenhang zwischen zwei Klassen von Individuen behauptet (ebd., S. 100 f.). Quantitative Gesetze sind dabei für Herschel die von höchstem Erkenntniswert. Wieder dient die Gravitationstheorie als Beispiel: Sie behauptet nicht nur die gegenseitige Anziehung aller Materie oder dass bei zunehmender Entfernung der Einfluss schwindet, sondern sie gibt auch das genaue mathematische Verhältnis an, das zwischen Anziehung und Entfernung herrscht (ebd., S. 123).

Ein Phänomen zu erklären, bedeutet für Herschel, seine Ursache anzugeben. Wenn also ein Phänomen erklärt werden soll, versuchen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

wir es intuitiv zuerst mit Ursachen, die wir schon kennen. Die Erfolgswahrscheinlichkeit, auf diese Weise eine Erklärung zu finden, hängt nach Herschel zum einen von der Anzahl und Vielfalt der Ursachen ab, die wir schon durch Erfahrung kennen. Zum zweiten von unserer Gewohnheit, sie auf Naturphänomene anzuwenden und drittens von der Anzahl analoger, aber bereits erklärter Phänomene (Herschel, 1966, S. 148).

Auf der Suche nach der gemeinsamen Ursache einer großen Anzahl von Fakten muss man die Merkmale der Beziehung von Ursache und Wirkung bedenken. Er führt fünf auf:

1. Invariable Verbindung des Antezedens, der Ursache und des Konsequenz, der Wirkung.
2. Invariable Negation der Wirkung bei Abwesenheit der Ursache, es sei denn eine andere Ursache verursacht denselben Effekt.
3. Vermehrung oder Minderung der Intensität der Wirkung bei vermehrter oder verminderter Intensität der Ursache.
4. In allen ungehinderten Fällen strenge Proportionalität von Ursache und Wirkung.
5. Aufhebung der Wirkung bei Aufhebung der Ursache.

Daraus ergeben sich Folgerungen für die Ursachenerforschung: Wenn eine der potentiellen Ursachen diese Kriterien nicht erfüllt, kann es nicht die wirkliche Ursache sein. Wenn alle dieser Merkmale erfüllt sind, kann es auf die wahre Ursache hindeuten oder aber auf einen Seiteneffekt der gesuchten Ursache. Wenn nur einer der Punkte erfüllt ist, deutet das sicher auf einen Seiteneffekt hin und wenn mehrere erfüllt sind, kann es sich um konkurrierende Ursachen handeln (ebd., S. 151 f.).

2.1.4 Subduktion

> Complicated phenomena, in which several causes concurring, opposing, or quite independent of each other, operate at once, so as to produce a compound effect, may be simplified by subducting the effect of all the known causes, as well as the nature of the case permits, either by deductive reasoning or by appeal to experience, and thus leaving, as it were, a residual phenomenon to be explained. (Herschel, 1966, S. 156)

Die von Herschel so genannte Subduktion bezeichnet ein theoretisches Verfahren, bei dem alle bereits bekannten Ursachen exakt geschätzt und

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

von dem zu erklärenden Phänomen abgezogen werden, sodass die übrig bleibenden Fakten ein neues Phänomen bilden, das es zu erklären gilt. Als Beispiel für dieses Verfahren führt er die vorhergesagte Rückkehr eines Enckeschen Kometen an. Wenn der Effekt der Gravitation der Sonne und der Planeten von der beobachteten Bewegung subduziert wird, bleibt ein „residual phenomenon", in diesem Falle nämlich eine ständige Verkürzung der Umlaufzeit, die nicht der Gravitation zugerechnet werden kann und deren Ursache noch erforscht werden muss. Das Vorgehen der Subduktion dient also dazu, sicherzustellen, dass die bisher bekannten Ursachen für das zu erklärende Phänomen hinreichend sind. Sollte sich herausstellen, dass dies nicht der Fall ist, muss die fehlende Ursache erforscht werden. Subduktion ist nach Herschel in den Wissenschaften aufgrund der Komplexität der Natur häufig nötig und führt zu den wichtigsten Folgerungen (ebd., S. 156). Die Suche nach der möglichen Ursache muss laut Herschel entweder zur Entdeckung einer *vera causa* führen oder aber zur Einführung eines neuen abstrakten Naturgesetzes, das zwei Phänomene allgemeiner Art invariabel miteinander verbindet (ebd., S. 159).

2.1.5 Theorienbildung

Wie einzelne Gesetze des ersten Allgemeinheitsgrades induktiv durch Beobachtung einzelner Fakten gewonnen werden, folgen Theorien aus der Betrachtung dieser Gesetze. Diese sind eher theoretische als empirische Phänomene. Deshalb nimmt bei den von Herschel so genannten „Induktionen höheren Grades" das theoretische Denken mehr Raum ein als die Beobachtung. Ziel der Theoriebildung ist es, Wissen über die verborgenen Naturprozesse zu gewinnen, soweit wie dies eben möglich ist. „An important part of this knowledge consists in a discovery of the actual structure or mechanism of the universe and its parts, through which, and by which, these processes are executed" (Herschel, 1966, S. 191).

Hypothesen haben dabei wichtige heuristische Bedeutung. Um aus einer Hypothese eine gute naturwissenschaftliche Theorie zu bilden, muss man zuerst die Phänomene bedenken, auf welchen sie beruhen, bzw. die Ursachen, auf die sie letztlich zurückgeführt werden soll. Diese müssen eine *vera causa* sein (ebd., S. 196ff.). Als nächstes müssen die Gesetze betrachtet werden, welche die Phänomene leiten. Dies kann nur auf drei Wegen geschehen: 1. Durch induktives Schlussfolgern. 2. Durch

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

kühne Hypothesenbildung und dem Abgleich der daraus folgenden Vorhersagen mit den Fakten. 3. Durch einen Prozess, der sich aus beiden Vorgehensweisen zusammensetzt (ebd., S. 198 f.).

Eine gute Theorie zeichnet sich dadurch aus, dass sie möglichst alle Fakten und Gesetze vereinen kann, die durch Induktion gewonnen wurden (ebd., S. 204). Sie sollte dabei durch möglichst viele Fakten bestätigt werden, die bestenfalls auch unerwartet außerhalb ihres Entstehungsbereichs auftauchen.

> The surest and best characteristic of a well-founded and extensive induction, however, is when verifications of it spring up, as it were, spontaneously, into notice, from quarters where instances of that very kind which were at first considered hostile to them. Evidence of this kind is irresistible, and compels assent with a weight which scarcely any other possesses. (Herschel, 1966, S. 170)

Wenn eine Theorie in dieser Weise bestätigt wird, kommt es nicht mehr darauf an, auf welchem Wege sie entstanden ist (ebd., S. 208).

2.1.6 Zusammenfassung

Für Herschel besteht eine wissenschaftliche Untersuchung aus zwei Schritten: Der Erklärung der Phänomene durch die Aufdeckung der oft verborgenen Ursachen und der Verallgemeinerung dieser ursächlichen Prozesse zu formalen Naturgesetzen. Die ursächliche Erklärung beinhaltet, das zu erklärende Phänomen in die Teilursachen zu zerlegen. Diesen Prozess nennt Herschel „Analyse“ in Analogie zum Vorgehen der Chemiker bei der Zerlegung einer Substanz. Durch die Analyse werden komplexe Phänomene in einfachere aufgelöst, bis sie nicht mehr weiter zu analysieren sind. Diese müssen dann als Ursachen betrachtet werden. Die Suche nach Ursachen ist ein sich wiederholender Prozess, der nur dann aufhört, wenn keine weiteren Erklärungen mehr gefunden werden können. Dabei lässt Herschel offen, wie weit die Bemühungen um die Ursachen der Ursachen gehen sollen. Wenn mehrere Ursachen zusammenwirken, so sollen sie durch „Subduktion“ isoliert werden, so dass ihre Wirkung unabhängig voneinander abgeschätzt werden kann. Solange ein Phänomen noch nicht analysiert werden kann, wird es als elementar betrachtet. Was heute als Erklärung befriedigt, kann schon morgen unbefriedigend sein. Es gibt nicht *die* Ursache, sondern *eine* Ursache.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Durch Verallgemeinerung kommen Wissenschaftler zu allumfassenden Naturgesetzen und Theorien. Hier wird gezeigt, welche Wirkung die einzelne Ursache außerhalb des analysierten Phänomenbereichs hat. Auch hierbei handelt es sich um einen sich wiederholenden Prozess, mit dessen Hilfe man zu immer allgemeineren Gesetzen gelangen kann. Die allgemeinen Gesetze, die in diesem zweiten Schritt erzeugt werden, können genutzt werden, um Fakten daraus zu deduzieren, die durch Erfahrung überprüft werden können.

2.2 Darwins Theorie der Entstehung der Arten

Als Darwin von 1831–1836 auf der Beagle unterwegs war, hing er zu Beginn noch der konventionellen Auffassung von der Beständigkeit der Arten an. Doch die Phänomene, die er auf seiner Reise beobachtete, brachten ihn auf dem Hintergrund der Lektüre von Lyell und Malthus[9] dazu, seine Überzeugung zu ändern. Bekanntlich beeindruckten ihn besonders die Finken-Arten auf den Galapagos-Inseln, bei denen er trotz der gleichen geologischen Gegebenheiten starke Unterschiede beobachtete. Er musste mit seiner Theorie erklären können, wie in Zeit und Raum so eng zusammenhängende Arten so verschieden, andere dagegen, die geographisch und geologisch weit getrennt sind, einander so ähnlich sein können (Toulmin, 1970, S. 234). Darwins spezieller Ausbildungsweg verschaffte ihm dabei die passende Sicht auf die Dinge. Er war nicht vorbelastet durch die alten Paradigmen der speziellen Fachgebiete, aber hatte doch das nötige Wissen in verschiedenen Fächern gesammelt (Toulmin, 1970, S. 230f.). Lange und sorgfältig arbeitete er an seiner Theorie und rang sich erst zu einer Veröffentlichung seiner Ergebnisse durch, als ihm 1858 Alfred Russel Wallace im Wesentlichen die gleiche Theorie[10] unterbreitete.

Während der Entstehungsphase seiner Theorie las Darwin Herschels *Discourse* zweimal (1831 und 1838) und äußerte sich begeistert über dessen Arbeit (Darwin, 1993, S. 67f.). Herschel war es auch, der in ihm den Wunsch, etwas zum „Bauwerk der Naturwissenschaft beizutragen", entfachte (ebd., S. 72) und der *Discourse* beeinflusste ihn wie kaum ein anderes Buch. Darwin war also mit der Herschelschen Naturphilosophie und Wissenschaftstheorie bestens vertraut und der Einfluss auf seine Theorie der natürlichen Selektion lässt sich deutlich zeigen.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

2.2.1 Erfüllung wissenschaftstheoretischer Kriterien

Zu Beginn seines Werkes gibt Darwin einen geschichtlichen Überblick über die Entwicklung der Ansichten zur Entstehung der Arten. Darin würdigt er die Verdienste anderer Wissenschaftler und zeigt selbstreflektierte Bescheidenheit. Schon in der Einleitung zeigt sich, dass Darwin Tatsachen[11] große Bedeutung beimisst: Er ist besorgt, dass der kleine Ausschnitt an Beweisen, die er in der *Entstehung der Arten*[12] liefert, den Leser nicht überzeugen kann und hofft, noch mehr Beweise in späteren Werken nachzureichen (Darwin, 1976, S. 25). Es reicht schließlich nicht aus, zu behaupten, dass Arten irgendwie voneinander abstammen, es muss vielmehr gezeigt werden, wie die Abänderungen, durch die sie auseinander hervorgehen, zustande gekommen sind. „Es ist daher von größter Wichtigkeit, einen klaren Einblick in die Mittel zu gewinnen, durch welche solche Abänderungen und Anpassungen bewirkt worden sind" (ebd., S. 26 f.).

2.2.1.1 Reinigung von Vorurteilen

Darwin ist aufgrund seiner sorgsamen Studien und seines unbefangenen Urteils überzeugt, mit einem theoretischen Konzept und zahlreichen Beobachtungstatsachen die Abstammungslehre belegen zu können (ebd., S. 29). Diese feste Überzeugung hat er nicht aus der Tradition übernommen, sondern durch das Sammeln von empirischen Daten und aus reflektierter Theoriebildung gewonnen. Darwin betrachtet sein Werk als nichts anderes als eine lange Kette von Beweisen (ebd., S. 638) und es ist für ihn unvorstellbar, dass eine Theorie, die so viele Tatsachen erklären und auch voraussagen[13] kann, falsch sein könnte. Darwin rechnet aber dennoch mit Widerstand, weil es so leicht ist, sich hinter einem Schöpfungsplan zu verstecken, anstatt richtig zu erklären. Er prophezeit aber den physikotheologischen Begründungen, dass sie eines Tages als Beispiel für vorgefasste Meinungen herhalten müssen werden (ebd., S. 668 f.).

Er selbst war in seinen frühen Jahren sehr bibelgläubig und beeindruckt von Paleys Uhrmacher-Analogie (Darwin, 1993, S. 61 ff.), doch mit der Zeit kam er zu der Ansicht, dass alles in der Natur Ergebnis feststehender Gesetze sei und Paley verlor für ihn an Überzeugungskraft (ebd., S. 92). Seine Forschung blieb nicht ohne Folgen für seine Weltanschauung: Er startete als gläubiger Christ und schwankte später zwischen Deismus und Agnostizismus mit Hang zum letzteren (ebd.,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

S. 97f.). Dies lässt vermuten, dass er sich von dem, was Herschel als *Vorurteil der Meinung* bezeichnet, im Laufe seiner Forschung befreit hat. Auch von dem *Vorurteil der Sinne* musste sich Darwin frei gemacht haben, um zu seiner Theorie vorzudringen. Denn die Sinne sprechen auf den ersten Blick ja für die Konstanz der Arten. Erst durch lange Forschungsarbeit kam Darwin zu seiner Theorie und er analysierte die gesammelten empirischen Daten äußerst gründlich, bevor er zu seiner Überzeugung kam. Damit erfüllt Darwin in dieser Hinsicht die Kriterien, die Herschel an einen Naturforscher stellt.

2.2.1.2 Analyse der Phänomene und Subduktion

Im ersten Kapitel der *Origin* untersucht Darwin die *Ursachen* der Veränderlichkeit der Lebewesen in Domestikation. Diese weichen für gewöhnlich stärker voneinander ab als Varietäten im Naturzustande. Eine erste Ursache sind veränderte Lebensbedingungen. Auch wenn es schwer ist, ein Urteil über den Umfang der Veränderung zu fällen, die daraus resultieren, besteht kein Zweifel darüber, dass z.B. die Größe eines Organismus von der Ernährung, die Dicke des Felles vom Klima abhängt usw. Doch will Darwin den Lebensverhältnissen als Ursache für die Veränderungen nicht allzu große Bedeutung beimessen. „Jene hat vielleicht keine größere Bedeutung als die Beschaffenheit des Funkens für die Bestimmung der Flamme, wenn er einen Haufen brennbarer Stoffe entzündet" (Darwin, 1976, S. 36).

Als zweite Ursache der Veränderungen führt er Gebrauch und Nichtgebrauch bestimmter Organe an, die sich auf bestimmte Merkmale auswirken, die dann auch vererbt werden können. Er belegt seine Behauptungen durch zahlreiche Beispiele, die als Tatsachen[14] seine These unterstützen (ebd., S. 36f.). Als eine dritte Ursache nennt Darwin die korrelative Variation und als deren Ursache wiederum die Vererbung, deren Gesetze aber größtenteils unbekannt sind[15] (ebd., S. 39). Anschließend geht er auf die Merkmale gezüchteter Varietäten, sowie auf deren Abstammung ein und zeigt, dass die Unterscheidung von Arten und Varietäten sich schwierig gestaltet. Am Beispiel des Ursprungs der Haustauben-Rassen insistiert er wiederum mithilfe vieler Beispiele, dass sie von einer einzigen Art abstammen (ebd., S. 48–58). Wie sind aber die Hausrassen schrittweise von einer oder mehreren nahverwandten Arten erzeugt worden? Die von ihm angeführten Teilursachen (Lebensbedingungen und Gebrauch- oder Nichtgebrauch bestimmter Organe)

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

erklären seiner Ansicht nach noch keineswegs die Ausprägungen der verschiedenen Haustierrassen. Denn ihre Anpassungen geschehen ja nach dem Gefallen des Menschen. Einige nützliche Variationen mögen spontan entstanden sein, aber die heutigen Rassen sind nicht urplötzlich entstanden, sondern die Ursache ist in dem Vermögen des Menschen zu suchen, die nützlichen Variationen zur Zuchtwahl auszuwählen. Darwin nennt dies das akkumulative Wahlvermögen des Menschen. „Die Natur schafft allmähliche Veränderungen, und der Mensch gibt ihnen die für ihn nützliche Richtung" (ebd., S. 59). Dieses Prinzip nennt Darwin künstliche Zuchtwahl und betont, dass seine Kraft keineswegs hypothetisch ist, da es durch die Erfahrung unzähliger Züchter[16] belegen lässt. Hier zeigt sich deutlich die Betonung der Zuchtwahl als *vera causa*, da ihre Wirkung direkt beobachtbar ist. Am Schluss des ersten Kapitels betont er zusammenfassend, dass die Abänderung der Arten ein kompliziertes Phänomen ist und von mehreren Ursachen abhängt. Unter diesen hält er die akkumulative Wirkung der Zuchtwahl für die vorherrschende Kraft (ebd., S. 75).

In Herschelschen Begriffen lässt sich Darwins Vorgehen im ersten Kapitel folgendermaßen formulieren: Er beginnt mit der Analyse der potentiellen Ursachen für das Phänomen der Vielfalt innerhalb der Züchtungen und schätzt ihre Auswirkungen einzeln ein. Dabei diskutiert er zuerst die unzureichenden Ursachen, dann die gewichtigeren, die aber noch immer keine ausreichende Erklärungskraft besitzen. Durch das Verfahren der Subduktion stellt er fest, dass die herkömmlichen Ursachen noch nicht ausreichen, um die Unterschiede zwischen den Rassen zu erklären. Dies kann nur die Selektion der Züchter. Darüber hinaus überzeugt Darwin den Leser, dass die Zuchtwahl als eine *vera causa* betrachtet wird, so dass ihr Wirken als Ursache sichergestellt werden kann, weil sie direkt durch die Erfahrung der Züchter bestätigt wird (Gildenhuys, 2004, S. 595). Es ist also durch Erfahrung erkennbar, dass die Auswahl der Züchter bezüglich bestimmter Merkmale die Ursache darstellt, die nötig ist, um den beobachtbaren Effekt der Veränderung hinsichtlich dieser Merkmale zu bewirken, ohne die also der Effekt nicht zustande kommen würde. Wird die Auswahl der Züchter unterlassen, wird auch keine weitere Ausprägung der gewünschten Merkmale stattfinden.

Im zweiten Kapitel geht es dann um die Abänderung der Arten im Naturzustand und Darwin zeigt, dass Arten über lange Zeiträume

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

hinweg durch natürliche Zuchtwahl aus individuellen Unterschieden entstehen können, ebenso wie die einzelnen besonderen Rassen durch künstliche Zuchtwahl des Menschen über einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum entstehen: Individuelle Unterschiede liefern der *natürlichen* Zuchtwahl das Material zur Anhäufung der für die Organismen vorteilhaften Unterschiede, genau wie der *künstlichen* Zuchtwahl durch den Menschen. Durch zahlreiche Beobachtungen kann Darwin belegen, dass auch Organe, die in klassifikatorischer Hinsicht von Bedeutung sind, bei Individuen derselben Art variieren, was, so wie ihm scheint, von den meisten Naturforschern nicht beachtet wird (Darwin, 1976, S. 77ff.). Diese individuellen Unterschiede führen jedoch seiner Theorie zufolge in ununterbrochener Reihe zu Varietäten, die wiederum kontinuierlich zu deutlicheren Varietäten ausdifferenziert, schließlich zu Unterarten und in weiterer Folge zu Arten werden können. Die Schwierigkeiten, die sich bei der Klassifikation zweifelhafter Arten ergeben, bekräftigen Darwins Ansicht (ebd., S. 88). Er folgert daraus, dass die Bezeichnung „Art" willkürlich und eigentlich von „Varietät" nicht zu unterscheiden ist. Nicht weniger willkürlich ist dann der Begriff der „Varietät" im Vergleich mit „individuellen Unterschieden" (ebd., S. 89f.).

Auch Darwins Vorgehensweise im zweiten und dritten Kapitel lässt sich in Herschelschen Begriffen beschreiben. Zum einen geht es wieder um Ursachen-Analyse (Gildenhuys, 2004, S. 603). Er beschreibt verschiedene Phänomene und zeigt, dass ihre gemeinsame Ursache darin besteht, dass Arten im Grunde Varietäten sind. Damit schafft er die Grundlage für die Verallgemeinerung der Selektionstheorie. Zum anderen beschreibt er den Kampf ums Dasein und analysiert dessen Ursachen: Das Gesetz der Vermehrung und die Ressourcenknappheit. Mit der Integration der Malthusschen Theorie bringt er eine Art quantitatives Gesetz ins Spiel, also die Art von Gesetz, die bei Herschel ein besonderes Ansehen genießt (Ruse, 1979, S. 175).

2.2.1.3 Verallgemeinerung der Selektion durch Analogie

Im vierten Kapitel kommt Darwin dann ausführlich auf die natürliche Zuchtwahl zu sprechen. Er zeigt, dass das von ihm im ersten Kapitel aufgezeigte Prinzip der Zuchtwahl auch in der Natur[17] wirksam ist. Wie in der Züchtung sind auch die Lebewesen in der Natur einer Änderung der Lebensbedingungen ausgesetzt, bedingt durch die verwickelten Beziehungen zwischen den Komponenten eines Ökosystems. Während

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

der Mensch nur nach äußerlichen Kriterien auswählen kann, vermag die natürliche Zuchtwahl auch auf die inneren Organe zu wirken, auf jeden kleinsten Unterschied. Durch allmähliche Anhäufung dieser kleinsten vorteilhaften Unterschiede, entstehen dann Variationen, Arten und Gattungen. Diese Auseinanderentwicklung nennt Darwin „Divergenzprinzip", dem zufolge kaum bemerkbare Unterschiede langsam zunehmen. In der künstlichen Zuchtwahl geschieht die Ausdifferenzierung aufgrund der vielfältigen Vorlieben und Interessen des Menschen. In der Natur dagegen bewirken die unterschiedlichen Abweichungen die Besiedlung von verschiedenen ökologischen Nischen, die wiederum den Selektionsdruck auf die speziellen Merkmale noch verstärken (Darwin, 1976, S. 160).

> Man kann im bildlichen Sinne sagen, die natürliche Zuchtwahl sei täglich und stündlich dabei, überall in der Welt die geringsten Veränderungen aufzuspüren und sie zu verwerfen, sobald sie schlecht sind, zu erhalten und zu vermehren, sobald sie gut sind; still und unsichtbar wirkt sie, wann und wo immer sich die Gelegenheit bietet, an der Verbesserung der organischen Wesen. (Darwin, 1976, S. 126)

Eine besondere Form der natürlichen ist die geschlechtliche Zuchtwahl. Diese hängt nicht vom Kampf ums Dasein mit anderen Lebewesen, sondern mit dem anderer Individuen eines Geschlechts derselben Art um die Fortpflanzung mit dem anderen. Der Erfolglose wird wenig oder keine Nachkommen haben und kann seine Merkmale somit nicht in die nächste Generation bringen. Die geschlechtliche Zuchtwahl erklärt, weshalb Männchen und Weibchen einer Art, die im Allgemeinen dieselben Lebensbedingungen haben, in ihrer Erscheinung stark voneinander abweichen können (ebd., S. 131 ff.).

Nicht nur die Entstehung und Anpassung der Arten, sondern auch ihr Aussterben muss als Phänomen erklärt werden. Darwins zeigt, dass seine Theorie der natürlichen Zuchtwahl dies leisten kann. Wenn nämlich ein Gebiet infolge der geometrischen Vermehrung aller organischen Lebewesen voll besetzt ist, müssen die weniger gut angepassten Formen im gleichen Maße abnehmen, wie die begünstigten zunehmen und „Niedergang ist, wie die Geologie lehrt, der Vorläufer des Aussterbens" (ebd., S. 157).

Warum haben höher entwickelte Arten die niederen nicht verdrängt? Lamarck fand diese Frage so schwierig, dass er eine fortwährende *Generatio spontanea* angenommen hat, um die einfacheren Lebensformen zu

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

erklären. Nach Darwins Theorie bereitet die Koexistenz einfacher und spezialisierter Formen dagegen keine Schwierigkeiten. Die natürliche Zuchtwahl schließt nicht notwendigerweise einen Fortschritt der Entwicklung ein, denn sie fördert ja nur solche Veränderungen, die dem Individuum Vorteile in seinen verwickelten Lebensbeziehungen bringen. Funktioniert also eine einfache Art in ihrer speziellen Umgebung besser als andere Organismen, so wird kein Selektionsdruck auf sie wirken, der sie zu höherer Organisation entwickeln ließe. Höhere Organisation kann unter einfachen Lebensbedingungen vielleicht sogar schädlich sein, weil sie empfindlicher ist und leichter zerstört werden kann (ebd., S. 178 ff.).

Im Hinblick auf Herschels Kriterien argumentiert Gildenhuys gegen Ruse dafür, dass Darwin nicht für die natürliche Selektion als *vera causa* argumentiert, indem er eine Analogie zur künstlichen zieht. Vielmehr zeichnet er umgekehrt die künstliche Selektion selbst als *vera causa* aus, denn sie lässt sich direkt auf die Erfahrung der Züchter gründen. Anschließend generalisiert er dann ganz gemäß Herschel durch Analogie diese Ursache zu einem Naturgesetz: Der natürlichen Selektion (Gildenhuys, 2004, S. 595). Ein Naturgesetz bedeutet für Herschel eine allgemeine Proposition, die in abstrakten Ausdrücken eine Gruppe von Phänomenen mit ihrem regelmäßigen Verhalten in bestimmten Umständen verbindet. Genau dies tut Darwin, indem er darstellt, wie die natürliche Selektion die verschiedenen Phänomene erklärt, die er detailliert beschreibt. Dabei handelt es sich keineswegs nur um ein phänomenales Gesetz. Im fünften Kapitel geht Darwin verschiedene Faktoren durch, die bei der Abänderung von Arten beteiligt sein können und zeigt, dass sie durch natürliche Zuchtwahl beeinflusst oder sogar durch sie beherrscht werden (Darwin, 1976, S. 200). Beispielsweise glauben einige Naturforscher an ein Gesetz der Kompensation oder des Gleichgewichts des Wachstums. Es besagt, dass die Natur, wenn sie auf der einen Seite viel ausgibt, auf der anderen sparen muss. Eine Kuh, die viel Milch gibt, wird nicht gleichzeitig fett. Darwin hält es allerdings für schwierig, dieses Gesetz auf die Arten im Naturzustand anzuwenden. Stattdessen zeigt er, dass sich dieses phänomenale Gesetz durch das fundamentale der natürlichen Zuchtwahl erklären lässt, da diese in allen Teilen der Organisation zu sparen versucht (ebd., S. 206). Ein Organismus muss immer versuchen, aus den zur Verfügung stehenden Ressourcen das Optimum für seine Fitness im Kampf ums Dasein zu gewinnen.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Um seine Theorie zu stützen, führt er diverse Phänomene an und zeigt, wie sie durch die natürliche Zuchtwahl erklärt werden können. Rudimentäre Körperteile neigen z.B. stark zur Veränderung, was die Folge ihrer Nutzlosigkeit sein dürfte. Die natürliche Zuchtwahl kann in diesem Falle keine Abweichungen verhindern, da sie keine Auswirkungen auf die Fitness hätten (ebd., S. 207). Auch außergewöhnlich entwickelte Teile einer Art variieren mehr im Vergleich zu denselben Teilen verwandter Arten. Diese Regel ist auf sekundäre Geschlechtsmerkmale besonders gut anwendbar. Als Beispiel führt Darwin Cirripedien (Balaniden) der Gattung *Pyrgoma* an, deren Deckelklappen bei den verschiedenen Arten auffällige Vielfalt aufweist.

> Die homologen Klappen der verschiedenen Arten sind oft ganz ungleich in der Form, und die Summe der Abweichungen ist bei den Individuen derselben Art so groß, daß man ohne Übertreibung behaupten kann: die Varietäten derselben Art weichen in den Merkmalen dieses wichtigen Organs mehr voneinander ab, als Arten verschiedener Gattungen. (Ebd. S. 208)

Wenn bei einer Art ein Organ merkwürdig entwickelt ist, lässt sich schließen, dass es seit der Abzweigung der verschiedenen Arten von der gemeinsamen Stammesform zahlreichen Modifikationen unterworfen war. Es ist sozusagen gerade in der akuten Entwicklung und wird vermutlich noch solange Abänderungen erfahren, bis sich die Besonderheit des Organs als fester Bestandteil etabliert hat und sich neue Variationen bilden. Also wird sich „generative Veränderlichkeit", wie Darwin sie nennt, nur finden, wenn die Abänderungen verhältnismäßig jung und ungewöhnlich stark sind. Vom Standpunkt der unabhängigen Schöpfung der Arten aus wird es schwierig sein, dieses Phänomen zu erklären. Nimmt man dagegen an, dass Arten nur stark ausgeprägte Varietäten sind, so ist es verständlich, dass sie noch in den Teilen variieren, die erst in jüngerer Zeit eine wichtige Rolle im Kampf ums Dasein gespielt haben und daher noch veränderlich sind. Auf ähnliche Weise lässt sich erklären, weshalb Artmerkmale eher variieren als Gattungsmerkmale (ebd., S. 209–213). Bevor Darwin im sechsten und siebten Kapitel auf die Schwierigkeiten seiner Theorie zu sprechen kommt, behandelt er noch einige weitere Phänomene und belegt seine Ausführungen stets mit entsprechenden Beobachtungen (ebd., S. 214–226).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

2.2.1.4 Theorienbildung

Darwin hat in langjähriger Arbeit Gesetze aus seinen Beobachtungen gewonnen und diese zu seiner Theorie der Evolution der Arten zusammengefügt. Die Theorie ist nicht etwa eine bloße Hypothese, denn die Phänomene und ihre Ursachen sind sehr gründlich durchdacht. Er hat die natürliche Selektion aus der künstlichen durch Analogie zu einem Naturgesetz verallgemeinert und daraus Vorhersagen abgeleitet, die sich wiederum durch Beobachtungen bestätigt haben. Durch die Analogie von künstlicher und natürlicher Zuchtwahl gründet er seine Theorie auf eine *vera causa.* Damit hat er die Kriterien der Herschelschen Theoriebildung erfüllt.

Eine gute Theorie zeichnet sich für Herschel dadurch aus, dass sie möglichst alle Fakten und Gesetze vereinen kann, die durch Induktion gewonnen wurden (Herschel, 1966, S. 204). Sie sollte dabei durch möglichst viele Fakten bestätigt werden, die bestenfalls auch unerwartet außerhalb des Bereichs auftauchen, der zu ihrer Entstehung führte. Solche Indizien hält Herschel für unwiderstehlich (ebd., S. 170).

2.2.1.5 Zusammenfassung

Anhand der angeführten Auszüge der *Origin* lässt sich nachweisen, dass Darwin die wissenschaftstheoretischen Kriterien erfüllt, die von Herschel aufgestellt wurden. Als Naturwissenschaftler war er sich der *Vorurteile der Meinung* und *der Sinne* bewusst. Er gab nie vor, etwas zu beweisen, das er nicht beweisen konnte. Seine Entwicklung zeigt, dass er nicht zwanghaft an Überzeugungen festhielt und die Fakten in ihrem Lichte interpretierte, sondern seine Überzeugungen durch Beobachtung und langjährige Theoriebildung entstanden. Er analysiert das Phänomen der Veränderbarkeit der Arten sowie ihre Ursachen[18] und findet mithilfe der Subduktion die künstliche Zuchtwahl als *vera causa*. Durch die Analogie mit der natürlichen Zuchtwahl verallgemeinert er das Selektionsprinzip zu einem allgemeinen Naturgesetz. Aus ihr erklärt er wiederum zahlreiche Phänomene, die außerhalb des ursprünglichen Erklärungsbereichs liegen. Er vereinigt die Theorien von Geologie, Paläontologie und Zoologie und vermag mit seiner Theorie Phänomene in historischem Licht zu erklären, die bisher unvereinbar schienen (Toulmin, 1970, S. 247).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

2.2.2 *Die Überlegenheit gegenüber der physikotheologischen Erklärung*

Vor Darwin wurde die Beschaffenheit der Arten und deren Angepasstheit an ihre Umwelt durch die Physikotheologen erklärt, indem sie die vorfindlichen Phänomene als Absicht eines weisen und gütigen Schöpfers interpretierten. Allerdings lassen die Begründungen in einigen Bereichen sehr zu wünschen übrig. Ein Beispiel soll die Überlegenheit der Darwinschen Theorie veranschaulichen: Rudimente finden sich sehr häufig in der Natur. Bei den Säugetieren besitzen die Männchen rudimentäre Brustdrüsen, bei den Schlangen ist ein Lungenflügel verkümmert, bei Vögeln lässt sich der Afterflügel als rudimentärer Finger betrachten und bei zahlreichen Arten ist der Flügel insofern verkümmert, als dass er überhaupt nicht mehr zum Fliegen taugt. Walembryos haben Zähne, die ausgewachsene Wale nicht mehr aufweisen und bei Kälbern finden sich zusätzliche Zähne im Oberkiefer, die niemals durchbrechen. Man findet kaum Tiere, die keine Rudimente besitzen (Darwin, 1976, S. 628). Nun ist es aber fraglich, weshalb Gott Tiere mit unnötigen Organen ausstatten sollte. „In naturwissenschaftlichen Werken liest man gewöhnlich, rudimentäre Organe seien ‚der Symmetrie' wegen oder zur ‚Vervollständigung des Schöpfungsplanes' hervorgerufen worden. Das ist aber keine Erklärung, sondern nur eine Umschreibung einer Tatsache" (ebd., S. 632). Warum, so fragt Darwin, findet man dann den rudimentären Beckenknochen wie bei der *Boa constrictor* nicht auch bei anderen Schlangen? „Was würde man von einem Astronomen halten, der etwa behauptete, die Trabanten machten ‚der Symmetrie wegen' einen elliptischen Kreislauf um die Planeten, weil auch die Planeten sich derart um die Sonne bewegen" (ebd.)? Vermutlich würden die meisten Wissenschaftler eine solche Erklärung ablehnen, weil sie nicht wirklich etwas erklärt, bzw. weil bessere Erklärungen mithilfe von Naturgesetzen möglich sind. Ebenso verhält es sich mit Darwins im Vergleich zu physikotheologischen Erklärungen. Nach der Abstammungslehre unter der natürlichen Zuchtwahl können Rudimente nicht nur erklärt werden, sie müssen sogar erwartet werden, da durch Anpassungen an neue Lebensräume einmal wichtige Organe überflüssig werden können. Nach physikotheologischer Betrachtungsweise hingegen sollte man jedoch eigentlich erwarten, dass sich keine überflüssigen Organe in Lebewesen finden. Findet man sie doch, kann dies trotzdem als Willen Gottes erklärt werden. Doch weil auf diese Weise

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

alles erklärt werden kann, lassen sich auch keine Phänomene vorhersagen. Selbst wenn man also die Ausführungen der Physikotheologie als Erklärung gelten lässt, sind sie Darwins Theorie insofern unterlegen, als dass sie nicht falsifizierbar sind. Für Darwin bedeutet eine solche Sichtweise aber, „eine reale Ursache für eine unreale oder wenigstens unbekannte opfern" (ebd., S. 226).[19]

Herschels Kriterien lassen sich nur schwer auf die physikotheologische Vorgehensweise anwenden, weil diese nicht auf der Suche nach Ursachen ist, sondern die Ursache selbst schon dogmatisch voraussetzt und diese durch Beobachtungen bestätigen will. Da also die Erklärung von vornherein feststeht, ist eine Analyse der Ursachen mit anschließender Verallgemeinerung zu einem Naturgesetz gar nicht nötig.

2.3 Herschels Kritik und Darwins Antwort

Als Darwin seine *Origin* 1959 veröffentlichte, war er sehr gespannt auf die Meinung Herschels (Weber, 2009, S. 437), zumal dieser den Gegenstand von Darwins Abhandlung einmal als das Geheimnis aller Geheimnisse bezeichnet hatte (Darwin, 1976, S. 24). In einem Brief schrieb er am 11. November 1859 an Herschel:

> I have taken the liberty of directing Murray to send you a copy of my book on the Origin of species, with the hope that you may still retain some interest on this question. – I know that I ought to apologise for troubling you with the volume & with this note (which requires no acknowledgment) but I cannot resist the temptation of showing in this feeble manner my respect, & the deep obligation, which I owe to your Introduction to Natural Philosophy. Scarcely anything in my life made so deep an impression on me: it made me wish to try to add my mite to the accumulated store of natural knowledge. (Darwin, 1992, S. 368)

Auch wenn Darwin nicht auf eine persönliche Antwort[20] drängte, erfüllte die Reaktion Herschels seine Erwartungen keineswegs. In seinen Briefen an Lyell vom November und Dezember 1859 lässt sich Darwins Enttäuschung über die Reaktion Herschels ablesen: „I have heard by round about channel that Herschel says my Book ‚is the law of higgledy-pigglety'. What this exactly means I do not know, but it is evidently very contemptuous. If true this is a great blow & discouragement" (Darwin, 1992, S. 423).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Herschel, der zwar selbst Anhänger des Transmutationsgedankens war, akzeptierte den von Darwin vorgeschlagenen Selektionsmechanismus nicht, weil er glaubte, dass von Gott gelenkte Variation nötig sei, um Arten hervorzubringen, die zu ihrer Umwelt passen.[21] In seinem zwei Jahre später erschienenen Buch *Physical Geography* heißt es: „An intelligence, guided by a purpose, must be continually in action to bias the directions of the steps of change – to regulate their amount – to limit their divergence – and to continue them in definite course …" (Herschel, 1861, S. 12). In einer Fußnote merkt er an, dass dieser Abschnitt zwar vor Darwins *Origin* geschrieben war, die vertretene Sicht jedoch nicht durch diesen widerlegt worden sei. Mit Vorbehalt bezüglich der Abstammung des Menschen sei er aber weit davon entfernt, Darwins Theorie abzulehnen (ebd.). Dies war für Darwin Anlass genug, sich bei Herschel für die Zustimmung zu bedanken:

> You must permit me to have the pleasure to thank you for your kind present of your Physical Geography. I feel honoured by your gift, & shall prize this book with your autograph. I am pleased with your note on my book on species, though apparently you go but a little way with me. The point which you raise on intelligent design has perplexed me beyond measure; & has been ably discussed by Prof. Asa Gray, with whom I have had much correspondence on the subject. I am in a complete jumble on this point. One cannot look at the Universe with all living productions & man without believing that all has been intelligent designed; yet when I look to each individual organism, I can see no evidence for this. For, I am not prepared to admit that God designed the feathers in the tail of the rock-pigeon to vary in a high peculiar manner in order that man might select such variations & make a Fan-tail; & if this be not admitted (I know it would be admitted by many persons), then I cannot see design in the variations of structure in animals in a state of nature, – those variations which were useful to the animal being preserved & those useless or injurious being destroyed. But I ought to apologise for thus troubling you. (Darwin, 1994, S. 135)

Anschließend äußert er seine Gewissheit über den Erfolg seiner Theorie, die aus der Zustimmung zahlreicher junger Fachmänner aus verschiedenen Gebieten resultiert. Er bittet Herschel, ihm seine Prahlerei zu vergeben und erklärt sein Verhalten durch die große Wertschätzung, die er für ihn hat. Auch die *nur* partielle Zustimmung Herschels würdige er mehr, als die jedes anderen menschlichen Wesens (Darwin, 1994, S. 135 f.). Er sandte noch eine Kopie von Schriften über natürliche Selektion und Design von Asa Gray an Herschel und das war das letzte Wort[22] in dieser Angelegenheit (Warner, 2009, S. 438).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Für Darwin machte die Ansicht, dass jede Variation durch Gott geführt war, die natürliche Selektion als Kraft vollkommen überflüssig und nahm außerdem die Frage nach der Entstehung der Arten aus dem Bereich der Wissenschaft. Astronomen würden schließlich auch nicht annehmen, dass Gott die Bahn eines jeden Planeten lenke. Am 5. Juni 1861 schreibt Darwin an Gray:

> I have been led to think more on this subject of late, & grieve to say that I come to differ more from you. It is not that designed variations makes, as it seems to me, my Deity „Natural Selection" superfluous, but rather from studying lately domestic variations & seeing what an enormous field of undersigned variability there is ready for natural to appropriate for any purpose useful to each creature. (Darwin, 1994, S. 138)

Hieran zeigen sich zum einen wieder Darwins Bereitschaft, sich vor allem von beobachteten Tatsachen leiten zu lassen, und zum anderen seine reflektierte Trennung zwischen wissenschaftlicher und weltanschaulicher Erklärung. Dennoch unterschätzte er den weltanschaulichen Einfluss auf die Theorienwahl nicht. Er tolerierte und verbreitete sogar die Vereinheitlichungsversuche seines Freundes zu Design und Selektion, obwohl er aus guten wissenschaftlichen Gründen anderer Ansicht war.

Darwin hat Herschels Kriterien für wissenschaftliche Erklärungen in Bezug auf die Entstehung der Arten besser erfüllt, als jeder andere vor ihm.[23] Warum war Herschel trotzdem nicht überzeugt von Darwins Theorie? Weber vermutet, dass seine Ablehnung der Selektionstheorie Folge seines fortgeschrittenen Alters oder dem Einfluss seiner presbyterianischen Frau geschuldet war. Wie so viele, die in seiner Zeit ausgebildet wurden, glaubte Herschel daran, dass der Mensch eine Sonderstellung unter den Lebewesen inne hätte (Weber, 2009, S. 438). Die Selektionstheorie unterminiert jedoch einen solchen Glauben. Die lange Tradition der Physikotheologie und die Gewohnheit des teleologischen Denkens nährten das Gefühl, die Selektion allein, die durch blinde Gesetze wirkt, könne keineswegs als Erklärung für die komplexen organischen Anpassungen ausreichen. Darwins Theorie wurde für wissenschaftlich unzureichend gehalten und für weltanschaulich offensiv, weil sie die Grundlagen der natürlichen Theologie überflüssig machte. Hier zeigt sich deutlich, wie Weltanschauung die wissenschaftliche Theorienwahl beeinflusst.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Darwin hatte sich entsprechend der Anforderung Herschels von dem *Vorurteil der Meinung* befreit und nach einer wissenschaftlichen Erklärung gesucht, die sich am Ideal der Newtonschen Theorie orientierte. Dabei ist er über seinen Lehrer hinausgewachsen: „Darwin had learned from Herschel that the model for science is Newtonian astronomy. As many of the brightest students are wont to do, Darwin turned his teacher's words back on him" (Ruse, 1979, S. 250).

Das Beispiel Herschels zeigt, wie schwierig es ist, sich von dem *Vorurteil der Meinung* zu befreien. Es hat sich gezeigt, dass Darwin die Faktenlage besser erklären konnte und Herschels Kriterien besser erfüllte als physikotheologische Ansätze. Und dennoch reizt die naturalistische Erklärung, die ohne Teleologie und ohne Gottes Eingreifen auszukommen vermag, zum heftigen Widerspruch oder zumindest zum Bedürfnis der Ergänzung durch das Eingreifen Gottes wie im Falle Herschels, so dass bei ihm von einem dogmatischen Festhalten an weltanschaulichen Vorstellungen die Rede sein muss. Bei der Rezeption der Darwinschen Theorie spielen die weltanschaulichen Vorannahmen, sowie die Bereitschaft, sie zu hinterfragen, eine ausschlaggebende Rolle.

3. Schlussbemerkungen

In seinem *Discourse* bemerkt Herschel, dass die Organismen nach Regeln organisiert sind, die sich unseren Untersuchungen entziehen und damit jenseits der naturwissenschaftlichen Erklärbarkeit liegen (Herschel, 1966, S. 203). Bis zu Darwin war es nicht vorstellbar, wie die Zweckmäßigkeit der Lebewesen in der Natur ohne Gottes Absicht erklärt werden könnte. Kant schreibt in seiner Kritik der Urteilskraft:

> Es ist nämlich ganz gewiss, dass wir die organisierten Wesen und deren innere Möglichkeiten nach bloßen mechanischen Prinzipien der Natur nicht einmal zureichend kennen lernen, viel weniger uns erklären können, und zwar so gewiss, dass man dreist sagen kann, es sei für Menschen ungereimt, auch nur einen solchen Anschlag zu fassen oder zu hoffen, dass noch etwa dereinst ein Newton auferstehen könne, der auch nur die Erzeugung eines Grashalms nach Naturgesetzen, die keine Absicht geordnet hat, begreiflich machen werde …" (Kant, Kritik der Urteilskraft, A334)

Auf den vorhergehenden Seiten habe ich gezeigt, wie Darwin sich darum bemüht, eine solche Erklärung zu liefern und sich dabei an den wis-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

senschaftstheoretischen Kriterien Herschels orientiert. Sein methodisches Vorgehen in der *Origin* wurde von John Stuart Mill als vorbildlich bezeichnet, und es wurden sogar Vorlesungen zu Darwins argumentativem Vorgehen gehalten. Ich habe versucht zu zeigen, dass Darwins Theorie die Anforderungen Herschels tatsächlich weitestgehend[24] erfüllt. Dennoch hat Herschel sich nicht begeistert von ihr gezeigt, sondern sie durch Eingriffe Gottes ergänzt und damit im Grunde überflüssig gemacht. „Newtons Uhrwerk-Universum war mit Herschels Gottesvorstellung vereinbar, nicht aber Darwins Gott der ungerichteten Variation und natürlichen Selektion. Herschels Gott pflegte nicht so verschwenderisch zu sein" (Hull, 1995, S. 88). Es zeigt sich, dass Herschel seine eigene Anforderung nicht erfüllte, weil er sich nicht vom *Vorurteil der Meinung* befreien konnte. Ob diese Reaktion am Einfluss seiner presbyterianischen Frau lag oder an der Prägung durch die physikotheologische Denktradition, ist schwer auszumachen. Es lässt sich aber festhalten: Weltanschauliche Vorentscheidungen wirken unabhängig von den wissenschaftstheoretischen Kriterien auf die Theorienwahl ein und so kann trotz wissenschaftstheoretischer Reflexion der Einfluss der eigenen Weltanschauung auf die Theorienwahl in den Wissenschaften nicht ausgeschlossen werden. Das gilt aber nur, sofern die Theorie eine Veränderung des Weltbildes zur Folge hat. Während das Selektionsprinzip von theistischer Seite abgelehnt, weil es die teleologische Erklärungsweise unterminierte, und teilweise sogar heftig bekämpft wurde, hießen Agnostiker und Atheisten es freudig willkommen und machten sich sogleich ans Werk sie weltanschaulich und moralisch auszudeuten. Es ist interessant, dass es kaum eine rein wissenschaftlich-neutrale Position gegenüber Darwins Theorie gab, obwohl sie keine weltanschaulichen Aussagen beabsichtigte.

Diese Vermengung von Weltanschauung und Wissenschaft war maßgeblich daran beteiligt, dass sich der wissenschaftliche Erfolg der Darwinschen Theorie um Jahrzehnte verzögerte. Hätte Herschels Kriterium, sich vom *Vorurteil der Meinung* zu reinigen, bei den Wissenschaftlern mehr Beachtung gefunden, dann hätte sich die Evolutionstheorie sicherlich schneller fest in der Biologie etabliert und den wissenschaftlichen Fortschritt beschleunigt. Naturwissenschaft sollte also um weltanschauliche Neutralität bemüht sein, sich so gründlich wie möglich vom *Vorurteil der Meinung* reinigen. Nicht nur in dieser Hinsicht kann Darwin für jeden Naturwissenschaftler ein Vorbild sein.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Anmerkungen

1 Ich verwende Weltanschauung in diesem Aufsatz als Sammelname für die Positionen des Theismus, Agnostizismus oder Atheismus.

2 Denn in einem supra-naturalistischen Deutungsrahmen verlören streng genommen „alle empirisch gewonnenen Daten ihren Status als Belege [...]. Wer annimmt, ein Schöpfer habe den Kosmos, das Planetensystem, die erste lebende Zelle sowie alle wesentlichen Grundformen des Lebens auf wundersame Weise hervorgebracht und lasse hin und wieder mal ein Wunder geschehen, kann sich auf kein empirisch-wissenschaftliches Argument berufen, sondern muss sich auf den *Glaubensstandpunkt* zurückziehen, wenn er annimmt, der Schöpfer verzichte immer dann auf eine Intervention, wenn gerade ein Experiment durchgeführt wird" (Neukamm, 2007, S. 171). „If you invoke miracles every time you run into something you cannot readily explain, you will get nowhere. [...] The faith of scientists in methodical naturalism is not a function of some unacknowledged atheistic program but simply a reflection of the fact that toughing it out has worked in the past. It is sensible to assume that this strategy will work in the present and future also." (Ruse, 2005, S. 281)

3 Er war der Sohn von William Herschel, der den Planeten Uranus entdeckt hatte.

4 Die Begrifflichkeiten werden von Herschel häufig mehrdeutig verwendet, weshalb sich genaue Definitionen schwierig gestalten. Auf eine Kritik muss in diesem Aufsatz aber leider verzichtet werden. Eine kurze Kritik bietet das Vorwort zur 1966-Ausgabe von Michael Partridge.

5 Herschel vergleicht die letzten Ursachen, wenn sie denn gefunden werden könnten, mit den Axiomen der Geometrie. Der Unterschied ist aber, dass sich die Belege der Letzteren spontan und ohne Suchaufwand ergeben, einfach und wenige sind, während sie in der Natur unzählbar sind und mühevoll gesucht werden müssen (Herschel, 1966, S. 96).

6 Für Herschel ist Kraft das letzte Phänomen, hinter das nicht zurückgegangen werden kann. Darwin bezeichnet das Wirken der Selektion ebenfalls als Kraft (Darwin, 1979, 249). Er verstand dies metaphorisch, betonte aber auch, dass Newtons Anziehungskraft keine tiefere Bedeutung haben könne (Darwin, 1992, S. 99). Beide Kräfte sind nicht direkt beobachtbar.

7 Wenn ein Phänomen nicht weiter analysiert werden kann, dann entsteht eine neue Wissenschaft, die sich ihm widmet. Wenn es dann noch in mehreren Phänomenkomplexen auftaucht, ist es von noch höherem Interesse (Herschel, 1966, S. 93). Daraus resultieren nach Herschel auch die Ausfächerung der Wissenschaft und zugleich ihre Einheit.

8 Herschel unterscheidet zwischen nur phänomenalen und fundamentalen Gesetzen. Letztere können auf Kraft zurückgeführt werden. Alle Kraft ist für Herschel Willenskraft. Wenn nicht die des Menschen, dann die Gottes (Ruse, 1979, S. 57).

9 Darwin interessierte der im 1795 erschienenen *Essay on the Principal of Population* erwähnte Kampf ums Überleben, den Candolle und Lyell in

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Bezug auf die Pflanzen erwähnten. Durch Malthus eindringliche Argumentation wurde der Kampf ums Überleben zum „Brennpunkt" von Darwins Gedanken (Toulmin, 1970, S. 237). Nach Ruse war Darwin deshalb so besonders begeistert von Malthus, weil dieser seine Theorie in Form eines quantitativen Gesetzes präsentierte. Darwin konnte sie in seine eigene einbauen, weil sie den Herschelschen Anforderungen entsprach (Ruse, 1979, S. 175). Sehr interessant ist auch, dass Malthus seine Theorie auf dem Hintergrund der natürlichen Theologie und der Vorstellung einer idealen Schöpfung entstanden ist (Howard, 1996, S. 34).

10 In modernen Begriffen beschrieben, setzt sie sich zusammen aus der Deszendenztheorie, die davon ausgeht, dass alle existierenden Arten aus anderen und letztlich aus einer einzigen Art hervorgegangen sind und ihrem Mechanismus, der natürlichen Selektion, die besagt, dass sich phänotypische Merkmale, die dem Träger einen Vorteil im Überlebenskampf und bei der Fortpflanzung verschaffen, sich über einen längeren Zeitraum in einer Population etablieren. Die Selektionstheorie beinhaltet wiederum drei Komponenten:
„1. *Phänotypische Variation*. Die Individuen einer Population von Organismen haben verschiedene morphologische, physiologische und ethologische Eigenschaften.
2. *Differentielle Fitness*. Verschiedene Phänotypen haben unterschiedliche Fortpflanzungs- und Überlebensraten (in einer bestimmten Umwelt).
3. *Intergenerationale Fitnesskorrelation.* Es gibt eine Korrelation zwischen Eltern und Nachkommen bezüglich Fitness (Erblichkeit der Fitness, bzw. derjenigen Merkmale, die die Fitness bestimmen)" (Weber, 2007, S. 265 f.).

11 Tatsachen, im Sinne von empirischen Fakten, können auch als wahrnehmbare Folgen von Prozessen und Vorgängen externer Gegenstände betrachtet und auf diese Weise mit Herschels „Phänomenen" gleichgesetzt werden.

12 Der Originaltitel lautet: *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* und wird im Folgenden mit *Origin* abgekürzt.

13 Voraussagen sind hier allerdings nicht als mathematisch berechenbare Vorhersagen zu verstehen, sondern beziehen sich auf Retrodiktionen oder bisher noch unentdeckte Phänomene. Im Gegensatz zu Vorhersagen, wie z. B. die Berechnung einer Sonnenfinsternis, beziehen sich Retrodiktionen auf vergangene Ereignisse, für die nach einer Theorie bestimmte Belege zu erwarten sind, wie beispielsweise die Deszendenstheorie fossile Übergangsformen erwarten lässt.

14 Die Beispiele sind als Tatsachen ebenfalls als „Phänomene" zu betrachten.

15 Darwin entwarf seine Theorie der Pangenesis, um die Gesetze der Vererbung zu erklären. Laut Ruse konnte Darwin diese nicht ohne Erklärungsversuch lassen, weil er die Herschelsche Unterscheidung zwischen phänomenalen und fundamentalen Gesetzen akzeptierte. Darwin wollte zu den fundamentalen, zu den physikalischen Gesetzen der Variation vordringen und deshalb entwarf er seine Pangenesis-Theorie (Ruse, 1989, S. 28 f.).

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

16 Die Züchter haben einen überdurchschnittlich scharfen Blick und verfügen über die Urteilsfähigkeit, immer wieder die für ihren Zweck geeignetsten Individuen auszuwählen (Darwin, 1976, S. 60f.). Dabei muss die Zuchtwahl nicht unbedingt bewusst geschehen. „Völlig kulturlose Wilde" würden während einer Hungersnot versuchen, die für sie besonders nützlichen Tiere zu erhalten. Auch ohne Bewusstsein der Erblichkeit der Merkmale ihrer Haustiere würden sie so dafür sorgen, dass die von ihnen ausgewählten Tiere mehr Nachkommen hätten, als die für sie weniger wertvollen (ebd., S. 65).

17 Darwin ist sich bewusst, dass der Begriff „Natur" schwer genau zu bestimmen ist. Er versteht darunter die vereinigte Wirkung und Leistung vieler Naturgesetze und unter Gesetzen die nachgewiesene Aufeinanderfolge der Ereignisse" (Darwin, 1976, S. 122).

18 Erklärt durch Phänomen der Variation (Phänomen der Variation erklärt durch die Lebensumstände und Gesetze der Vererbung) und der Selektion. Selektion erklärt durch das Phänomen des Kampfes ums Dasein. Kampf ums Dasein erklärt durch das Gesetz des Strebens nach unbegrenzter Vermehrung aller Lebewesen in Kombination mit begrenzten Ressourcen.

19 Ähnliche Bemerkungen finden sich immer wieder im Anschluss an die eigene Argumentation, z.B. S. 136, S. 425, S. 491, S. 513, S. 516, S. 558f., S. 563, S. 571, S. 604, S. 606, S. 608, S. 632, S. 657, S. 659.

20 In dem Katalog, der eine Übersicht der Briefe Herschels bietet, sind keine persönlichen Briefe an Darwin vermerkt (Kesaris, 1990, S. 60). Daraus folgt nicht zwingend, dass er Darwin nie persönlich seine Position dargelegt hat, da viele Briefe von Herschel nicht erhalten sind. Zumindest schickte er eine Ausgabe seiner *Physical Geography* an Darwin; Informationen über eine persönliche Antwort konnte ich aber nicht auffinden.

21 Damit kann man Herschel einem „wissenschaftlichem" Kreationismus zurechnen, der die Einwirkung eines Schöpfer-Wesens als alternatives Erklärungsprinzip in eine wissenschaftlichen Rahmentheorie integriert (Levit, Meister & Hoßfeld, 2005, S. 272).

22 Zwar näherten sich Herschel und Darwin zu Lebzeiten nicht mehr an, doch wurden ihre sterblichen Überreste nebeneinander in Westminster Abbey begraben – neben dem Grab von Isaac Newton.

23 Herschel hatte beispielsweise Chalmers kritisiert, weil dieser keine *vera causa* als Erklärung der Veränderung der Arten angeben konnte, sondern nur phänomenale Gesetze. Deshalb hielt Herschel es für lächerlich, Chalmers habe ein biologisches Gesetz gefunden, dass mit dem der Newtonschen Anziehungskraft vergleichbar wäre (Ruse, 1979, S. 111).

24 Wenngleich eingeräumt werden muss, dass, bedingt durch die hohe Komplexität des Gegenstandes, die Wissenschaftsauffassung Darwins sich von der an der Physik orientierten unterscheidet, weshalb Darwin bei den Physikern des 19. Jahrhunderts größtenteils auf Ablehnung stieß. „Sie hat einen *holistischen* Zug (bildlich gesprochen: ist eher ‚netzartig' als ‚pyramidenförmig'), ist *probabilistisch* (zielt auf Wahrscheinlichkeit der Aussagen statt Sicherheit), *plausibilistisch* (fordert Verständlichkeit der Phä-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

nomene) und *deskriptionistisch* (liefert Beschreibung statt ‚genetischer' Kausalerklärung)" (Pulte, 1995, S. 121).

Literatur

Bunge, Mario & Mahner Martin, 2000: *Philosophische Grundlagen der Biologie*. Berlin: Springer.

Darwin, Charles, 1992: *Correspondence of Charles Darwin*, Vol. 7, Frederik Burkhardt (Hg.), Cambridge: University Press.

Darwin, Charles, 1994: *Correspondence of Charles Darwin*, Vol. 9, Frederik Burkhardt (Hg.), Cambridge: University Press.

Darwin, Charles, 1976: *Die Entstehung der Arten*, Stuttgart: Reclam.

Darwin, Charles, 1993: *Mein Leben*, Nina Barlow (Hg.), Frankfurt am Main: Insel Verlag.

Dobzhansky, Theodosius, 1973: Nothing in Biology makes sense, except in the light of evolution. In: *The American Biology Teacher*, Band 35, S. 125–129.

Gildenhuys, Peter, 2004: Darwin, Herschel, and the role of analogy in Darwin's origin. In: *Studies in History and Philosophy of Science* Part C: Biological and Biomedical Sciences 35, S. 593–611.

Herschel, John Frederick William, 1966: *A Perliminary Disourse on the Study of Natural Philosophy*. London: Johnson Reprint Corporation.

Herschel, John Frederick William, 1871: *Outlines of Astronomy*. London: Longmans, Green & Co.

Hodge, M. J. S., 1977: The Structure and Strategy of Darwin's ‚Long Argument'. In: *The British Journal for the History of Science*, Vol. 10 (3). Cambridge: University Press, S. 237–246.

Howard, Jonathan, 1996: *Darwin. Eine Einführung*, Stuttgart: Reclam.

Hull, David L., 1995: Die Rezeption von Darwins Evolutionstheorie bei britischen Wissenschaftsphilosophen des 19. Jahrhunderts. In: Eve-Marie Engels (Hg.): *Die Rezeption von Evolutionstheorien im 19. Jahrhundert*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 67–104.

Jahn, Ilse, 2002: Biologische Fragestellungen in der Epoche der Aufklärung. In: Ilse Jahn (Hg.): *Geschichte der Biologie*. Heidelberg: Spektrum, S. 231–270.

Junker, Thomas, 2002: Charles Darwin und die Evolutionstheorien des 19. Jahrhunderts. In: Ilse Jahn (Hg.): *Geschichte der Biologie*. Heidelberg: Spektrum, S. 356–385.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Kesaris, Paul, 1990 (Hg.): *Letters and Papers of Sir John Herschel: A Guide to the Manuscripts and Microfilm*. London: Royal Society.

Levit, George; Meister, Kai; Hoßfeld, Uwe, 2005: Alternative Evolutionstheorien. In: Ulrich Krohs und Georg Toepfer (Hg.): *Philosophie der Biologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 267–286.

Losee, John, 1977: *Wissenschaftstheorie. Eine historische Einführung*, München: Beck.

Mahner, Martin, 2005: Biologische Klassifikation und Artbegriff. In: Ulrich Krohs und Georg Toepfer (Hg.): *Philosophie der Biologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 231–248.

Meisen, Lydia, 2007*: Die Charakterisierung der Tiere in Buffons „Histoire naturelle"*. Würzburg: Könighausen & Neumann.

Michel, Paul, 2008: *Physikotheologie. Ursprünge, Leistung und Niedergang einer Denkform*, Zürich: Editions à la Carte.

Pulte, Helmut, Darwin in der Physik und bei den Physikern des 19. Jahrhunderts. In: Eve-Marie Engels (Hg.): *Die Rezeption von Evolutionstheorien im 19. Jahrhundert*. Franfurt am Main: Suhrkamp, S. 105–143.

Ruse, Michael, 2006: *Darwinism and Its Discontents*, Cambridge: University Press.

Ruse, Michael, 1989: *The Darwinian Paradigm, Essays of its history, philosophy, and religious implications*, London: Routledge.

Ruse, Michael, 1979: *The Darwinian Revolution*, London: The University of Chicago Press.

Ruse, Michael, 2005: *The Evolution-Creation Struggle*, Cambridge: University Press.

Schurz, Gerhard, 2008: *Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Senglaub, Konrad, 2000: Neue Auseinandersetzungen mit dem Darwinismus. In: Ilse Jahn (Hg.): *Geschichte der Biologie*. Heidelberg: Spektrum, S. 558–571.

Toulmin, Stephen/Goodfield, June, 1970: *Entdeckung der Zeit*. München: Wilhelm Goldmann Verlag.

Warner, Brian, 2009: Charles Darwin and John Herschel. In: *South African Journal of Science* 105, S. 432–439.

Weber, Marcel, 2007: Philosophie der Evolutionstheorie. In: Andreas Bartels u. Manfred Stöckler (Hg.): *Wissenschaftstheorie. Ein Studienbuch*. Paderborn: Mentis, S. 265–286.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Weber, Marcel, 1998: *Die Architektur der Synthese. Entstehung und Philosophie der modernen Evolutionstheorie*, Berlin: de Gruyter.

Zöckler, Otto, 1879: *Geschichte der Beziehung zwischen Theologie und Naturwissenschaft, mit besonderer Berücksichtigung der Schöpfungsgeschichte*, 2 Bd., Gütersloh: Bertelsmann.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Ladislav Kvasz

Heidegger's Interpretation of Mathematical Science in the Light of Husserl's Concept of Mathematization in the *Krisis*

Abstract

There are many interpretations of the birth of modern science. Most of them are, nevertheless, confined to the analysis of certain historical episodes or technical details, while leaving the very notion of mathematization unanalyzed. In my opinion this is due to a lack of a proper philosophical framework which would show the process of mathematization as something radically new. Most historians assume that the world is just like it is depicted by science. Thus they are not aware of the radical novelty of the mathematization of nature and focus their attention on the details of this process. Phenomenology by its radical questioning of the traditional interpretations of reality provides an ideal means for the reconstruction of the process of mathematization of nature and the birth of mathematical natural science. In a series of papers (Kvasz, 2002, 2003, and 2005) I tried to show the power of Husserl's concept of mathematization by filling in the historical details into his interpretation. In the present article I want to compare Husserl's approach with the approach of Heidegger. I believe that by comparing these two phenomenological theories of mathematization the advantages of Husserl's approach will come to the fore.

Zusammenfassung

Es gibt mehrere Interpretationen der Entstehung der modernen Wissenschaft. Die meisten von ihnen beschränken sich allerdings auf die Analyse bestimmter historischer Episoden oder technischer Details, während der Begriff der Mathematisierung unanalysiert bleibt. Meiner Meinung nach ist dies auf das Fehlen eines richtigen philosophischen Rahmens zurückzuführen, der den Prozess der Mathematisierung als etwas radikal Neues zeigen würde. Die meisten Historiker gehen davon aus, dass die Welt so ist, wie sie von der Wissenschaft dargestellt wird. So verkennen sie die Radikalität der Mathematisierung der Natur und konzentrieren ihre Aufmerksamkeit auf die Details dieses Prozesses. Die Phänomenologie bietet dank ihrer radikalen Kritik der traditionellen Interpretationen der Realität ein ideales Mittel für die Rekon-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

struktion des Prozesses der Mathematisierung der Natur und der Geburt der mathematischen Naturwissenschaft. In einer Reihe von Arbeiten (Kvasz, 2002, 2003 und 2005) habe ich versucht, die Stärke der Husserlschen Interpretation der Mathematisierung zu zeigen, indem ich die historischen Details in seine Interpretation einfügte. Im vorliegenden Artikel möchte ich Husserls Ansatz mit dem Ansatz von Heidegger vergleichen. Durch diesen Vergleich der beiden phänomenologischen Theorien der Mathematisierung der Natur werden die Vorteile von Husserls Ansatz in den Vordergrund treten.

When Husserl was writing his *Krisis*, history of science was dominated by positivistic historiography. Alexandre Koyré had just started his critical reading of Galileo, and the path-breaking works of William Drake on Galileo, of Alan Gabey on Descartes' physics and of Richard Westfall on Newton, as well as the critical edition of Newton's *Principia* were still decades away in the future. Many historical circumstances that are today well known, were in Husserl's own times inaccessible. Husserl therefore could not achieve more than an outline of a general picture of the process of mathematization of nature. There he suggested interpreting mathematization of nature as an *intention*, as an intellectual program initiated by Galileo; contrasting the process of mathematization with the *life-world* as a background, against which it will be possible to discern the particular steps of mathematization; interpreting these steps as *replacements* of particular aspects of the life-world by mathematical idealities; trying to understand the nature of this replacement by an analysis of the *scientific practices*, which constitute the day to day activities of the scientists (such as measurement or experimentation); interpreting these practical activities as activities that *constitute* the mathematical idealities; and finally interpreting these mathematical idealities as *intentional objects*, i.e. as objects by means of which the original intention of mathematization is fulfilled.

To be able to appreciate the advantages of Husserl's approach to mathematization of nature, I decided to confront it with the interpretation Heidegger developed in his lectures *Grundfragen der Metaphysik* which were read in 1935/36 at the University of Freiburg.[1] The fact that Husserl's approach will turn out to be more adequate than the interpretation of Heidegger is not very surprising. Husserl studied mathematics and he wrote his doctoral dissertation on the calculus of variations, which is a mathematical formalism used in many physical theories, for instance in

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

classical mechanics. This allowed him to gain an insight into the technical details of the physical representation of the world. My criticism of Heidegger's interpretation of the birth of mathematical sciences is by no means intended to be an attempt to belittle the importance and depth of Heidegger's philosophy. On the contrary, it is rather remarkable that Heidegger, although lacking mathematical training, was able to present a consistent reconstruction of the birth of modern science. I would like to use Heidegger primarily as a background against which the advantages of Husserl's approach will stand out more clearly. Therefore I will try to keep a neutral position towards Heidegger. Heidegger's text makes it possible to see how far a spontaneous philosophical reflection can get in the understanding of modern science. It indicates the border where technical philosophy of science begins.

1. Heidegger's Interpretation of Mathematical Science

Heidegger's analysis of modern science in his essay *What Is a Thing* (Heidegger, 1935/36) is divided into six parts. When comparing Heidegger's and Husserl's theories, I will stick to this structure.

A. The Characteristics of Modern Science in Contrast to Ancient and Medieval Science

The first part of Heidegger's text is devoted to an overview and a general rejection of the positivist view of modern science. According to this rejected view modern science is characterized in that it *starts from facts* (p. 271), it *experiments and proves "experimentally" its cognitions* (p. 272) and it is *a calculating and measuring investigation* (p. 273). Heidegger rejects these characteristics, because they "*miss the fundamental characteristic of modern science. The fundamental feature must consist in what rules and determines the basic movement of science itself. This characteristic is the manner of working with the things and the metaphysical projection of the thingness of the things*" (p. 273).[2]

Here we see a fundamental difference in comparison with Husserl. Husserl also rejects the positivist theory of measurement, but he does not reject the fact that measurement has in modern science a constitu-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

tive role. Therefore, unlike Heidegger, who focuses on the *metaphysical projection of the thingness of the things*, Husserl bases his theory of mathematization on a new interpretation of the process of measurement by contrasting it with the life-world. According to Husserl *measurement and experimentation is an essential feature of modern science* and the problem is that positivists did not understand what is actually going on in a measurement.

Heidegger does not say why in the birth of modern science the *metaphysical projection of the thingness of the things* should play a decisive role. The history of science shows that during the 17th century several changes in this metaphysical projection occurred. The differences between Galileo's, Descartes' and Newton's approach can be at least partly interpreted as differences in this projection. This shows that the changes of the metaphysical projection of the thingness of the things played an important role in the development of modern science. Heidegger thus points to an important aspect of the Scientific Revolution. But on the other hand, the deep differences among Galileo, Descartes and Newton show that the analysis of this projection *cannot grasp the unity of modern science*. It seems more appropriate to keep the interpretation of the origins of modern science "ontologically neutral" as Husserl does, and to anchor it *not in the metaphysical projection* of the thingness of the things, but in the analysis of intentions. Although Galileo, Descartes and Newton varied radically in their understanding of matter, they, nevertheless, shared a common intention of mathematization of nature.

B. The Mathematical, Mathēsis

The second part of the text contains Heidegger's attempt to characterize *the Mathematical*. It shows his ability to ask a deep philosophical question where other thinkers were unable to find a ground for any questioning. If we want to understand mathematization of nature, it is important to clarify what mathematics actually is.

1) Etymology

Heidegger starts his interpretation of the nature of mathematics with an etymological introduction: "*the word 'mathematical' stems from*

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

the Greek expression τα μαθηματα, which means what can be learned and thus, at the same time, what can be taught;" (pp. 273–274). This etymology seems trustworthy; the dictionaries say the same. Unfortunately, the interpretation of the term *τα μαθηματα* requires introducing certain facts, without which it fails to capture the special meaning that is relevant here. The point is that in the fourth century B.C., after the death of Pythagoras, the Pythagorean movement split into two groups. One group was called '*akusmatikoi*', because they understood the pronouncements of Pythagoras as '*akusmata*', i.e. as 'things heard', as the words of the master that should be codified and canonized (see Barnes, 1982, p. 79). Thus they treated Pythagoras similarly as we treat Jesus, as an author whose words must be passed from generation to generation in a possibly unchanged form. Against the '*akusmatikoi*' were the '*mathematikoi*', as the members of the second group of the Pythagorean movement were called. In their view the pronouncements of Pythagoras should be treated as '*mathēmata*', i.e. as things that can be learned to the extent that they can be corrected and expanded.[3] For example Euclid expanded Pythagoras' theorem: $c^2 = a^2 + b^2$ by showing that the height divides the side c of the triangle into two parts c_1 and c_2 so that $c \cdot c_1 = a^2$ and $c \cdot c_2 = b^2$. On the other hand, the discovery of the incommensurability led to the need to correct the thesis of Pythagoras that the number is the measure of all things. In the case of the side and the diagonal of a square it turned out to be wrong. All mathematics that was based on this thesis had to be corrected.

It is inconceivable that a Christian would embark on a similar project of corrections and improvements of the teachings of Jesus. It is precisely here that the difference between understanding a teaching as *akusmata* or as *mathēmata* lies. The point is not that we can learn the *mathēmata*. We can learn the *akusmata* as well. It is the quality of this learning. When a student learns *mathēmata*, he becomes a partner on a par with the master and he can correct and improve the master's teachings, because he has an equally authentic grasp of truth. The two Pythagorean currents coexisted for about two centuries, until finally the *mathematikoi* prevailed and gave rise to our contemporary mathematics. This context is important because it shows that mathematics originally was associated neither with the *evident aspect of things within which we are always already moving*, nor with some *fundamental presupposition of the knowledge of things*, as Heidegger will

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

soon try to convince us. The *mathēmata* were originally simply an opposite of the *acousmata*.

2) The determination and characterization of The Mathematical
After the etymological introduction Heidegger leads us to the meaning of the word *mathēmata* as he understands it, namely as *that which can be learned*. Here we encounter a shocking example by means of which Heidegger illustrates the process of learning. Without any justification he chose as an example a weapon: the rifle Model 98 (this passage is omitted from the English translation). This choice is not innocent, because a rifle carries a number of connotations. It seems that Heidegger wants to create the impression that number (the genuine subject matter of mathematics) is something like a rifle. Be that as it may, the fact is that Heidegger illustrates the learning of mathematics on how one learns to handle a rifle. He writes "*The point is that to give a thing, the use of which we rehearse, to our disposal, thus to manufacture it, the manufacturer must have been familiarized with the purpose of the thing*" (Heidegger, 1935/36, translation L. K.). If we take into consideration the context, i.e. for instance the learning of multiplication, Heidegger's words mean that the '*manufacturer of numbers must have been familiar with the purpose of numbers*'. This needs no comment.

After the etymological introduction and analysis of how we learn to handle a rifle, Heidegger comes to the conclusion that "*The mathēmata, the mathematical, is that 'about' things which we really already know*" (p. 276). "*The mathematical is that evident aspect of things within which we are always already moving and according to which we experience them as things at all, and as such things*" (p. 277). In these sentences it is not hard to recognize Plato (Plato's *Meno* will be later explicitly mentioned). And this is another questionable point of Heidegger's reconstruction. To take Plato as a guide in the world of mathematics is problematic. Not that Plato would be incompetent. On the contrary, Platonism is perhaps the only ancient philosophical tradition that is in the philosophy of mathematics still alive. Plato is problematic for another reason. His view of mathematics is not disinterested. Plato's philosophy of mathematics stands in a sharp opposition to that of Democritus. It is in opposition to Democritus that Plato puts emphasis on the *evident aspect of things within which we are always already moving*. He wanted to disqualify Democritus' atomistic interpretations as illegiti-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

mate; as interpretations that transgress the limits of the mathematical. It is needless to say that it was the revival of the atomistic (Democritean and Archimedean) theories that stimulated the rise of mathematical science. When Galileo in his *Discorsi* derives the law of free fall, he imagines in full agreement with the atomistic tradition that the triangle representing the traversed path is composed of line segments. Similarly in the *Principia* Newton describes a curvilinear trajectory as composed of rectilinear segments. Thus although Plato's philosophy is one of the most interesting interpretations of mathematics, the mathematics that stimulated the rise of mathematical natural science is out of reach of Plato's philosophy. Heidegger's choice of Plato as a guide in his interpretation of the mathematical was a mistake. Of course, the inadequacy of Heidegger's characterization of the mathematical can be seen also directly, without the detour to the historical conflict between Plato and Democritus.

3) The inadequacy of Heidegger's characterization of the mathematical
Even if we accepted the rifle as an illustration of a mathematical object, the result to which Heidegger brought us by its means is implausible. One of the major discoveries of Greek mathematics was the discovery of the incommensurability of the sides and the diagonal of a square. The Greeks called it *kai alogon* and *kai aneidon*, ineffable and inconceivable. It was a surprising discovery, which made it necessary to rebuild the entire edifice of mathematics and led to the creation of the axiomatic method. To say that incommensurability *is that 'about' things which we really already know* is absurd. Similarly, the discovery of the complex numbers in the 16th century or of the non-Euclidean geometry in the 19th shows that the mathematical is certainly not something that we already know.

Considering the context of Heidegger's essay, which is an interpretation of Kant's *Critique of Pure Reason*, we can view the above quotations as an attempt at elucidation of Kant's understanding of mathematics. Although we do not want to question the relevance of Heidegger's position in the Kantian context, its content is doubtful. If the mathematical was as Heidegger writes, it would be incomprehensible why Newton had to create a whole new mathematics, i.e. an entirely new kind of *that 'about' things which we really already know* and *within which we are always already moving*, namely differential calculus, to be

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

able to offer a mathematical description of interactions among bodies. Although Galileo and Descartes were *always already moving* in differential equations, they somehow were not aware of it, and therefore their projects of mathematical natural science failed. When Newton by means of *that 'about' things which we really already know* formulated his new physics, his colleagues despite the fact that they all were *always already moving* in it, did not understand him.

Heidegger's interpretation of mathematics may be consistent with how Galileo understood mathematics. Galileo was influenced by Renaissance Platonism, and thus could be inclined to think what Heidegger writes. But the failure of Galileo's project of mathematization of nature by triangles and circles, by means of which the book of nature is allegedly written, shows the *inadequacy of ancient mathematics for the mathematization of nature*. Therefore, any attempt to understand the mathematization of nature which bases its understanding of mathematics on ancient Platonism simply cannot work. The birth of algebra with the Arabs and its development in the 15th and 16th century brought a break with the ancient understanding of mathematics (Kvasz, 2006). It is not a mere coincidence that Descartes and Newton contributed significantly to the development of algebra. Algebra was important for the emergence of modern science because unlike geometry, it had the concept of the unknown, which made it possible to express general statements. Descartes' idea of universal natural laws was probably inspired by algebra. Nevertheless, for a mathematical description of nature even algebra is not sufficient. It was necessary to create a totally new branch of mathematics, the differential and integral calculus. And to think that a differential equation is *that 'about' things which we really already know* is absurd. What Heidegger says about mathematics applies perhaps to elementary mathematics, but it definitely does not apply to higher mathematics. And mathematization of nature was achieved by means of higher mathematics, parts of which were created for the purpose of this mathematization.

Husserl's knowledge of higher mathematics saved him from venturing into attempts at explaining the mathematical. Thus, even if we consider Heidegger's raising of a fundamental question about the nature of the mathematical an important philosophical deed, Husserl's reluctance to treat on the thin ice of hasty generalizations indicates his deeper understanding of the complexity of the question about the nature of the mathematical.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

C. The Mathematical Character of Modern Natural Science; Newton's First Law of Motion

The third part of Heidegger's text contains an interpretation of Newton's first law of motion. It is perhaps the most problematic part of the entire text. Heidegger illustrates the mathematical nature of modern natural science on Newton's law of inertia. It is one of the few places where Heidegger introduces the historical context:

> And yet, one hundred years before Newton at the apex of his physics put this law in this form, it was still unknown. It was not even Newton himself who discovered it, but Galileo; the latter, however, applied it only in his last works and did not even express it as such. Only the Genoese professor Baliani articulated the discovered law in general terms. Descartes then took it into his *Principia Philosophiae* and tried to ground it metaphysically (p. 280).

Such amount of historical detail is unusual for Heidegger. Notable is also his assessment of the law of inertia: "*In its discovery and its establishment as the fundamental law lies a revolution that belongs to the greatest in human thought, and which first provides the ground for the turning from the Ptolemaic to the Copernican conception of the universe*" (p. 280). That's all right. The problem is elsewhere.

This law, discovered already by Galileo, illustrates the boundary how far ancient mathematics can take us. The law of inertia, despite bringing a fundamental change in our understanding of motion, definitely is not an illustration of the mathematics that is at the basis of the modern natural science. It illustrates the mathematics of Galilean physics and, as we already mentioned, that physics was a dead end in the development of modern science. Modern science is something fundamentally different from the Galilean project. It differs from Galilean science in incorporating into the mathematical representation of nature the description of interactions among bodies. The mathematics used by modern science is characterized by its ability to describe interactions. Of course, if we want to describe interactions, we must have a clear picture of what happens with bodies when they do not interact, and this is the meaning of the law of inertia. Therefore, I am far from claiming that the law of inertia does not belong to the modern natural science. I argue, however, that it is the *description of interaction* and not the law of inertia, which represents the core of modern science.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

This point indicates a fundamental problem of Heidegger's analysis of the rise of modern science, namely that he *does not discriminate between Galileo, Descartes and Newton* and presents their views as different aspects of a single thing – modern natural science. He does not realize that Galilean, Cartesian and Newtonian physics are three conflicting theories. Each of them had a *different metaphysical projection of the thingness of the things*: Galileo studied ordinary objects of everyday experience, and represented only some of their aspects in a mathematical form. Descartes replaced all ordinary objects by his extended things, and identified them with space. Finally Newton showed that this Cartesian identification is a mistake, and he took as the characterization of *the thingness of the things* not extension but hardness (i.e. forces). Each of these three theories had also a totally *different understanding of the use of mathematics*: Galileo used mathematics to read in the book of nature, i.e. he used mathematics in the description of phenomena (Kvasz, 2002, pp. 216–222). Descartes realized that the Galilean approach is insufficient for the description of interaction, and so he turned mathematical form into an ontological basis of the description of nature (Kvasz, 2003, pp. 167–171). Newton realized that in the Cartesian universe the ontological basis is not connected to the description of the phenomena. In order to be able to create such a connection, he invented an entirely new branch of mathematics and used it to connect Galilean mathematical phenomena with the Cartesian mathematical ontology (Kvasz, 2005, pp. 208–210). And finally, each of the three theories has a *different formulation of the principle of inertia*: Galileo considered as inertial the *circular* motion; Descartes realized Galileo's mistake and declared the *uniform rectilinear motion* to be inertial. But in the Cartesian system velocity is a scalar quantity, therefore Descartes had to express the uniformity of inertial motion by one law and its rectilinear direction by another law. Newton realized that the scalar character of the Cartesian velocity was a mistake and combined the two Cartesian laws into a single one. Newton's formulation finally became the basis of modern natural science.

I adduced this long list of technical details in order to show that in all aspects mentioned by Heidegger so far (similarly as in those that will come), *Galileo, Descartes and Newton differed in a fundamental way*. By neglecting these differences and presenting the views of Galileo, Descartes and Newton as different aspects of a single coherent theory – modern natural science – Heidegger's reconstruction fell into a concep-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

tual confusion. I called this part of Heidegger's text problematic because *it seems* that Heidegger interprets here Newton, with whom the mathematization of nature reached its culmination. It seems therefore that his interpretation prevails over that of Husserl, who analyzed only Galileo. However, Heidegger radically fails to identify the core of Newton's contribution, which was the idea of a differential equation (Newton's *second law*). Instead of this central moment, where Newton has no predecessors, Heidegger analyzed Newton's *first law*, i.e. the law that was actually discovered by Galileo and which is definitely not the core of Newton's contribution. Heidegger thus creates an impression that he speaks about Newton, while in fact he did not touch the core of his physics.

Nevertheless, this is an objection only to the factual side of Heidegger's interpretation. On the formal level his interpretation is consistent, because *a similar thing was done by Kant*. Heidegger offers a congenial reading of Kant. That is why I have called this passage the most problematic part of the whole text. I believe that an interpretation of a philosophical text, even if it is Kant's *Critique of Pure Reason*, should not be simply a repetition of its mistakes and tampering with historical material. Newtonian physics is Newtonian physics and when someone wants to offer its interpretation, he/she should interpret it in its entirety. It is not enough to take a fragment, rip it out of context and pretend that one has interpreted the mathematical character of modern natural science. Despite the title of this chapter, Heidegger did not even touch the mathematical character of modern natural science.

Although a weakness of Husserl's approach is that he did not analyze Newton, the more serious way of his handling of the historical material should be taken into account. When writing about Galileo, Husserl pointed to the central issue of Galilean physics – the concept of measurement. Therefore, it seems that the amount of historical detail in this part of Heidegger's text is perhaps a symptom of Heidegger's uncertainty.

D. The Difference Between the Greek Experience of Nature and That of Modern Times

The fourth part of Heidegger's text is devoted to a comparison of the "Newtonian" and the Aristotelian experience of nature. I put the word Newtonian in quotes because, as I have shown in the previous chapter,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Heidegger lacks a clear understanding of Newton. He grasps Newton on the basis of the principle of inertia, and therefore all that Heidegger claims about Newton holds rather for Galileo. Heidegger divided this part into three subsections, and I will follow him in this.

D1) The experience of nature in Aristotle and Newton

Heidegger begins his exposition by the ancient distinction of what occurs from out of itself and what is produced. "*That, however, in which the knowledge of 'nature' takes hold is* to phainomenon, *what shows itself in that which occurs out of itself. … What Aristotle here expresses as a basic principle of scientific method differs in no way from the principles of modern science*" (p. 282). Heidegger bases this statement on a quote from Newton's *Scholium generale* from the third edition of the *Principia*, where Newton writes:

> In experimental philosophy we are to look upon propositions inferred by general induction from phenomena as accurate or very nearly true, notwithstanding contrary hypotheses that may be imagined, till such times as other phenomena occur, by which they may either be made more accurate, or liable to exceptions. (p. 282)

Heidegger, however, did not realize that even though Newton uses the term *phenomenon* just like Aristotle, he attaches to it a different meaning. Newton, for instance, explicitly declared Kepler's law to be a phenomenon (referred to as *Phaenomenon III* at the beginning of the third book of the *Principia*; see Koyré and Cohen, 1972, p. 561). If the term phenomenon had its ancient meaning, so, given that Kepler's first law says that the planets, including our Earth, orbit around the Sun in elliptical trajectories, then it would not be clear why Aristotle and Ptolemy argued contrary to *what shows itself in that which occurs out of itself*, that the Earth stands still and the Sun moves. Newtonian phenomena are separated from the Aristotelian ones by Galilean instrumentalization of observation, according to which a natural phenomenon is not only *what shows itself in that which occurs out of itself*, but also what is brought to visibility by means of instruments such as the telescope, the microscope or the thermometer (see Kvasz, 2002, pp. 216–217). Contrary to what Heidegger claims, modern natural science has a different (i.e. instrumental) approach to the phenomena to ancient science.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Husserl was the first to point on the role of measurement as a replacement of phenomena by mathematical quantities. We must not be misled by the fact that scientists call their data phenomena. Phenomena of modern science are certainly not identical with the phenomena of the ancient science.

D2) The doctrine of motion in Aristotle
This section is written with a deep understanding of Aristotle's way of thinking. It's a pity that Heidegger again loses the achieved accuracy as he moves back to the analysis of Newton.

D3) Newton's doctrine of motion
Heidegger characterizes Newton's doctrine of motion by eight points. I will not discuss them in their entirety, as it would excessively increase the length of this paper. Six of them (1. disappearance of the distinction between earthly and celestial bodies; 3. disappearance of the distinguishing of certain places; 5. motion is seen only as a change of position; 6. elimination of the difference between natural and violent motions; 7. nature becomes the mode of the variety of the changing relative position of bodies; and 8. change of the manner of questioning nature) belong to *Galilean physics*. One of them (2. disappearance of the priority of circular motion over motion in a straight line) is Cartesian. And only one point (4. force is that whose impact results in a declination from rectilinear, uniform motion) is Newtonian. Heidegger is thus not describing Newton's doctrine of motion, but, with the exception of two details, the doctrine of motion of Galileo.

E. The Essence of the Mathematical Project (Galileo's Experiments with Free Fall)

In the fifth part Heidegger presents an interpretation of the mathematical project of modern natural science based on an analysis of Galileo's experiments with free fall. At the time when Heidegger wrote his text, the Galileo studies (now a separate subfield of history of science, with its own journal, conferences and scholars) were only just beginning. Alexandre Koyré had just started work on his groundbreaking *Études Galiléennes* (Koyré, 1939). Therefore, it is not surprising that Heidegger remained on the level of a myth when he wrote:

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

> Galileo did his experiment at the leaning tower in the town of Pisa, where he was professor of mathematics, in order to prove his statement. In it bodies of different weights did not arrive at precisely the same time after having fallen from the tower, but the difference in time was slight. In spite of these differences and therefore really against the evidence of experience, Galileo upheld his proposition [that all bodies fall with the same velocity] (p. 289–290).

We now know that if Galileo performed any experiments at all at the leaning tower of Pisa (which some historians question, because there is no support for that in Galileo's manuscripts), so he did them as an advocate of the Aristotelian doctrine of motion, and therefore he could not think of them in the way as Heidegger writes. A hypothetical reconstruction of Galileo's experiment in terms of Aristotelian physics can be found in (Kvasz, 2002, pp. 211–212). The opinions that Heidegger attributes to Galileo are from the period when Galileo already had left Pisa. They are related to experiments with an inclined plane, which are amply documented in Galileo's manuscripts (see e.g. Hill, 1988).

At first glance it might seem that these are marginal details. It does not seem important exactly when Galileo arrived at a particular opinion, just like it does not seem important whether this opinion was based on experiments on the leaning tower or on an inclined plane. Heidegger gives a quote from the *Discorsi* where Galileo wrote: "*I think of a body thrown on a horizontal plane and every obstacle excluded. This results in what has been given a detailed account in another place, that the motion of the body over this plane would be uniform and perpetual if the plane were extended infinitely*" (p. 290). Heidegger then identifies Galileo's *thinking of a body* with *give oneself a cognition about a determination of things*, which he subsequently interprets in accordance with Plato's *Meno*. Thus he constructs a continuous line leading from Plato through Galileo to Newton. He writes that Newton's first law speaks about "*a body which is left to itself. Where do we find it? There is no such body. There is also no experiment that could ever bring such a body to direct perception*" (p. 288–289). By means of the assumed continuity of *thinking in the mind* Heidegger arrives at an apparent clarification of the essential determination of the mathematical.

Apparent because the mathematical by means of which Newton accomplished the process of mathematization of nature *is not identical* with the mathematical by means of which Galileo initiated this process. The Galilean mathematization is not the mathematization on which

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

modern natural science is based. Newtonian bodies are not identical with Galilean bodies. First Descartes demolished the whole Galilean physics together with its *thinking of a body* – Galileo's idea that a body left to itself will move in circle was simply mistaken.[4] Soon afterwards Newton demolished the entire Cartesian system – he did so because of friction. Therefore, Newton's bodies are neither the bodies of Galilean physics nor the Cartesian extended substances. Newtonian bodies are an entirely new kind of bodies. They are able to act on each other without a contact (as opposed to Galilean bodies) and this action happens through empty space (as opposed to Cartesian bodies). Thus the alleged continuity of the *thinking in the mind* connecting Plato with Newton was broken in the dramatic events of the years 1644 and 1687. Plato thus becomes irrelevant for understanding modern physics.

Heidegger uses the alleged continuity to introduce a quotation from the *Meno*, where Plato characterizes μαθησιξ as "*bringing up and taking up – above and beyond the other – taking the knowledge itself from out of himself*" (p. 291). Galileo's *thinking of a body* in connection with the experiment of the free fall allegedly allows us to

> grasp the essence of the mathematical more sharply. Up to now we have stated only its general characteristics, that it is a taking cognizance of something, what it takes being something it gives to itself from itself, thereby giving to itself what it already has. We now summarize the fuller essential determination of the mathematical in a few separate points (p. 291).

This passage is followed by six points where Heidegger on the basis of the presumed continuity between Plato, Galileo and Newton explains various aspects of the mathematical. I will comment only on the first of them, because the alleged continuity was in fact broken and because Heidegger did only touch the Newtonian mathematization of nature (actually he remained in the captivity of the Galilean mathematization). His explanations are thus irrelevant for a deeper understanding of modern natural science (which is Newtonian). I will quote the first point just to illustrate Heidegger's style.

"*1. The mathematical is, as mente concipere, a project of thingness which, as it were, skips over the things. The project first opens a domain where things – i.e., facts – show themselves*" (p. 291). I have already pointed out that the mathematical is not *a project of the thingness of things*. Similarly it cannot be meaningfully asserted that modern phys-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

ics *skips over the things*. On the contrary, it stops by the things and examines them carefully. The full title of Galileo's book from which Heidegger quoted is *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, and one of the *two new sciences* which Galileo alludes to is the *study of materials*, a new scientific discipline that did not exist in antiquity. And what else stops at things if not that discipline? So it is not clear what is meant by *skipping over the things*. Therefore, the features which Heidegger refers to as characteristics of the modern (i.e. Newtonian) science, can not be accepted even as characteristics of Galilean physics. And to ascribe general meaning to the thesis that the metaphysical projection of the thingness of things "*skips over the things; is axiomatic; it is anticipation of the essence of things; nature is now the realm of the uniform space-time context of motion; bodies have no concealed qualities …*" just makes no sense. For instance Descartes rejected the axiomatic method as barren – suitable only for organizing already well-established knowledge, and similarly he rejected the uniform (Galilean) space-time context and replaced it by a uniform causal context. And Descartes is still far away from the final stage of mathematization reached by Newton. Therefore a thesis like the one that *metaphysical projection of the thingness of things skips over the things* may create at a first hearing the impression of deep insight, but when confronted with historical facts it turns out to be mistaken.

F. The Metaphysical Meaning of the Mathematical

The title of the final part focuses on one of the key issues of modern natural science, on the question of the metaphysical meaning of the mathematical. In its interpretation Heidegger stopped roughly by Descartes. This is doubtlessly a step forward, because so far, even when seemingly writing about Newton, Heidegger was trapped in the boundaries of the Galilean mathematization. In this final part he commits the same error as in the previous parts: he ignores the fundamental differences between Galileo's, Descartes' and Newton's mathematization of nature. If it was meant as an outline of Descartes' importance for the birth of modern metaphysics, this chapter would be agreeable. However, we must keep in mind that the mathematical that is behind Descartes' project is different from the mathematical behind Galilean science (analyzed in

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

part E.). The Cartesian mathematical differs also from the mathematical behind Newtonian science, on which modern natural science is built (and which Heidegger simply did not analyze).

Heidegger writes:

> There is not only a liberation in the mathematical project, but also a new experience and formation of freedom itself, i.e., a binding with obligations that are self-imposed. … According to this inner drive, a liberation to a new freedom, the mathematical strives out of itself to establish its own essence as the ground of itself and thus of all knowledge (p. 296).

However, Descartes' experience of freedom that Heidegger tries to derive from the mathematical project is based on algebra and not on synthetic geometry, which was developed in Plato's times and on which Galileo based his project (see Kvasz, 2003, p. 170). Algebra was born in the Islamic world and its calculative-manipulative nature was alien to the spirit of ancient Greek mathematics. The Greeks would include it into *logistiké techné*. In connection with Descartes Heidegger writes that "*To the essence of the mathematical as a projection belongs the axiomatical*" (p. 300). The development of algebra was, nevertheless, made possible by abandoning the axiomatic method. B. L. van der Waerden sees in this aspect of the work of Al Chwárizmí a revolt against Euclid (van der Waerden, 1985, p. 15). Moreover, as already mentioned, Descartes had a low opinion about the axiomatic method and he developed his analytical method in opposition to it. His *Geometry* (Descartes, 1637) is definitely not axiomatical. Therefore, it is not clear how Heidegger can derive Descartes' new experience of freedom from the mathematical if he maintains that *to the essence of the mathematical belongs the axiomatical*. Precisely the opposite seems true. Descartes' new experience of freedom stems from the replacement of the old axiomatic method by his new analytic one.

Similarly, when Heidegger writes that axioms must be "*absolutely first, intuitively evident in and of themselves, i.e. absolutely certain*" and must "*establish in advance, concerning the whole of beings, what is in being and what Being means, from where and how the thingness of things is determined*" (p. 301), so this can be neither about Galileo (he mathematized only isolated phenomena, not things), nor about Descartes (he rejected the axiomatic method) and even less about Newton (who rejected the Cartesian criteria of intuitive evidence and replaced

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

them with his inductive proof from the phenomena). Therefore this thesis of Heidegger does not characterize mathematics as it is used in the mathematical natural sciences. Newton does not care whether we can intuit gravitational attraction or not. The unintuitive nature of gravitational force does not prevent him from calculating its action. Being intuitively evident is not an essential feature of the mathematical, by means of which Newton mathematized nature. This part of the text is illustrative of Heidegger's sleights of hands: it takes a Newtonian requirement of axiomatization and a Cartesian requirement of intuitiveness and combines them into a hypothetical entity which never existed and probably could never have existed.

An even more serious mistake is trying to derive from the mathematical the Cartesian doubt. "*Descartes does not doubt because he is a skeptic; rather, he must become a doubter because he posits the mathematical as the absolute ground and seeks for all knowledge a foundation that will be in accord with it*" (p. 301). Mathematics has nothing to do with skepticism. On the contrary, when the ancient skeptics combated the dogmatists, they counted among the dogmatists also the mathematicians. In antiquity mathematics was an anti-skeptical discipline, a discipline that claimed possessing secure and reliable knowledge. In addition, the quotation from Newton that Heidegger introduced in part D is clearly anti-skeptical. Newton speaks about propositions that have to be considered *accurate or very nearly true*. If skepticism followed from the mathematical, Newton would have to be more skeptical than Descartes because he was a better mathematician. But Newton is known not to have been a skeptic. He claimed that he had experimentally demonstrated the law of gravity, which to a skeptic must sound as a distasteful dogmatism. Skepticism was simply a fashion in Paris when Descartes returned from Holland. Therefore Descartes incorporated it into the presentation of his theories. These theories themselves – Cartesian geometry and physics – are definitely not skeptical. *Interpreting a fashion in Paris as part of the metaphysical meaning of the mathematical* shows that Heidegger lost touch with reality. Even though the formulation of the question about the metaphysical meaning of the mathematical was an important step forward, the ground on which he looked for the answer to this question is debatable and his answer is simply wrong. The mathematical has nothing to do with skepticism, and it is not founded on *I think*. Newton, one of the greatest mathematicians of all times, rejected both skepticism

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

and the cogito. Against the skeptics he claimed that by induction from the phenomena one can come to *accurate or very nearly true* knowledge. Against the Cartesians he argues that natural philosophy must be based on *mathematical* principles (hence *Principia Mathematica*) and not on *speculative* principles like the cogito.

Equally problematic is the end of Heidegger's otherwise very interesting passage about the change of meaning of the words *subject* and *object*. He writes: "*This reversal of the meanings of the words subjectum and objectum is no mere affair of usage; it is a radical change of Dasein, that is to say, of the clearing of the Being of beings on the basis of the predominance of the mathematical*" (p. 303–304). It is not clear why Heidegger derives Descartes' concept of subject *from the predominance of the mathematical*. Before Descartes as well as after him, there were a number of mathematicians, on the work of whom the mathematical did not leave such a trace. It seems that Heidegger neglected here a mediating step represented by *Descartes' physics*. The mathematical (in the form of algebra and analytic geometry) was formative for Descartes' physics. In Descartes' physics it was impossible to connect the ontological models of causal interaction among bodies mathematically with the phenomenal level of empirical data (that is, for instance, to connect the whirl of fine matter, the alleged cause of gravity, with the different characteristics of the phenomenon of gravity itself). Descartes compensated for this defect of his physics by his notion of the subject. The Cartesian subject thus assumed the task of doing what Cartesian mathematics was unable to do – to connect the ontological level of description with the phenomena. Thus the Cartesian subject comes onto the stage not in mathematics but in physics. And it enters the scene precisely at the place where the mathematical reaches its limits. *The Cartesian subject is not a manifestation of the mathematical, but a principle by means of which Descartes compensates for the shortcomings of his mathematics*. Thus he did not make the radical change in the meaning of the words subject and object *on the basis of the predominance of the mathematical*, but against it. When Newton created the mathematics that was capable of connecting the ontological and the phenomenal levels of description in physics, this new mathematics completely eliminated the Cartesian subject from physics. In philosophy, of course, the notion of the subject still remains one of the central notions. But to derive the notion of the subject from *the predominance of the mathematical* is a mistake. There

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

were of course mathematicians (like Brouwer) who saw mathematics in close connection with the subject. But they were always a tiny minority – the majority of mathematicians are Platonists or formalists.

2. A Comparison of Heidegger's Interpretation with Husserl's

We reached the end of Heidegger's analysis of modern natural science. The formulation of the fundamental question about the nature of the mathematical qualifies Heidegger's analysis as an important contribution to the phenomenological theory of science. However, on the way from the question to the answer the text more and more loses touch with reality and the final thesis about the relationship of the mathematical with the Cartesian *I think* is simply a mistake. Nevertheless, we must not forget that Heidegger presented his analysis of modern natural science in a book devoted to an interpretation of Kant's *Critique of Pure Reason*, and thus Heidegger's text might be defended as an attempt to elucidate Kant's position. The historical background is in Kant far less explicit than in Heidegger. If we accept Heidegger's text as a deep and congenial interpretation of the Kantian position, it acquires a new meaning. Even though it cannot be accepted as a phenomenological interpretation of the process of mathematization of nature, especially when compared with the much more accurate approach of Husserl, nevertheless, due to its high degree of historical explicitness it can help us to understand Kant. Heidegger's text enables us to see what Kant could have had in mind when talking about Newton's physics. As our analysis shows, Heidegger, supposedly writing about Newton, remains within the framework of Galileo's *Discorsi*. When he writes about mathematics, he writes not about the mathematics, by means of which the mathematization of nature was accomplished, but about the mathematics of Plato's *Meno* and of Euclid's *Elements*. *The Discorsi*, *the Meno* and *the Elements* thus delineate the space in which Kant's understanding of Newtonian physics should be situated.

It cannot be said, however, that Heidegger only interprets Kant. When we turn to his *The Age of the World Picture* (Heidegger, 1938), we find out that Heidegger repeats his main thesis. It is therefore likely that the above characterization of modern natural science represents

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Heidegger's own opinion. The fact that Heidegger's interpretation of modern science gradually disintegrated is not accidental. It is rather a consequence of the way how he proceeded in his analysis.

2.1 The General Understanding of Mathematization

Heidegger tried to understand mathematization on the *ontological* level, the level of *the metaphysical meaning of the mathematical* and *the metaphysical projection of the thingness of the things*. But it turned out that it is not possible to grasp the unity of the project of modern mathematical science at this level. Modern mathematical science is born from a unification of three projects (the Galilean, the Cartesian and the Newtonian one) with different metaphysical meanings of the mathematical as well as different metaphysical projections of the thingness of the things. Heidegger spoke about three ontologically incompatible theories as if they were one. Since he wanted to grasp the mathematization of nature on the ontological level, the ontological incompatibility of the Galilean, Cartesian and Newtonian projects led his analysis into confusion.

On this foil the advantages of Husserl's interpretation come clearly to the fore. Husserl did not formulate his interpretation of Galilean physics on the ontological level (taking Galileo as the author of a new ontological interpretation of our experience with the life-world) but on the intentional level (taking him as the author of the project of mathematization of nature). And there's no denying that the works of Galileo, Descartes and Newton, despite the differences in the ontological level have a certain intentional unity. Although each of them used different mathematics in order to fulfill the intention of mathematization (Galileo used synthetic geometry, Descartes used algebra, and Newton used the calculus), they share the belief that nature should be mathematized.

2.2 The Background of the Mathematization of Nature

A second difference between Husserl and Heidegger consists in the background against which they contrasted mathematization. Heidegger chose as a contrasting background the *ancient understanding of the world* as it was articulated by Plato and Aristotle. To understand

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

mathematization, he examined different aspects of the ancient understanding of the world (such as the role of phenomena or the nature of the mathematical projection) and analyzed whether and to what degree they changed during the scientific revolution. Such a choice of the contrasting background is a dangerous one. If we take as the contrasting background a particular philosophical theory, then we tend to focus our attention on aspects which are relevant from the point of view of that theory, and we tend to ignore the aspects that are not mentioned by the chosen theory. Therefore our view is biased. We are looking for changes that have occurred in the area highlighted by the particular theory. Due to this bias, however, it may happen that several aspects that played a key role in the process of mathematization we do not even notice, because our attention is guided by the philosophical theory. It seems that that is what happened to Heidegger. The choice of ancient philosophy as the contrasting background for the analysis of the process of mathematization is inappropriate precisely because the fundamental aspects that were essential for this process could not have been understood in antiquity. They have fallen outside its conceptual horizon – else the ancient philosophers would already have accomplished the mathematization. To search in the works of Aristotle or Plato for a clue for the understanding of the notion of a differential equation is absurd. Of course, it is not difficult to take several aspects that are important from the point of view of Aristotle or Plato and to analyze how these aspects changed in the process of rise of modern science. But by taking this approach we avoid everything that played a fundamental role in the process of mathematization. Had it been otherwise, the Greeks would already have mathematized nature.

In contrast to Heidegger, Husserl chose *the life-world* as the contrasting background for the study of the process of mathematization. The life-world is more neutral than the philosophy of Aristotle or Plato, so there is less danger that it would lead our attention astray. Therefore it is not surprising that when looking at Galileo Husserl clearly saw those aspects of Galileo's works which were relevant for the mathematization (such as the instrumentalization of observation, a new approach to experimentation, the concept of measurement). He did not see Galileo as an author of footnotes to Plato's understanding of the mathematical projection (as Galileo was seen by Heidegger – as an author who was perhaps able to express more clearly the nature of the mathemati-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

cal, but who had no real agenda of his own and worked only as a polisher of Plato's views). I do not deny that when it comes to mathematics, Galileo was a captive of antiquity. But this aspect of his work, on which Heidegger focused his analysis, is irrelevant for understanding of mathematization. Newton introduced the correct mathematics, so it really does not matter what kind of mathematics was used by Galileo. Galileo's mathematics was not incorporated into the mathematical natural science, and so its analysis is irrelevant for understanding of mathematization (although, if we let ourselves be guided by Plato, this aspect of Galileo's work is the most interesting – as it corresponds to the mathematics discussed in *Meno*). Essential on Galileo is precisely what attracted Husserl's attention – the instrumentalization of observation, a new approach to experiment and the concept of measurement. These aspects of his work are permanent components of modern science. These aspects were, however, not foreseen by ancient philosophers, and therefore they were not analyzed by Heidegger.

2.3 The Way of Making the Mathematization

Another important point is to understand what is actually going on in mathematization. Husserl argued that mathematization consists in *a replacement* of a certain aspect of the life-world by a mathematical ideality. For Husserl, as he analyzed mathematization on the background of the life-world, mathematization is a radical discontinuity, it is a step in which an aspect of the life-world is removed and something completely different is introduced instead of it. This means that mathematization is a radical, unobvious and singular discontinuity.

Heidegger chose as the contrasting background for the analysis of mathematization the ancient philosophy and therefore he did not see these ruptures. They are in fact ruptures that occur in a region of the world not illuminated by ancient philosophy. Therefore, instead focusing on them Heidegger focused his attention on phenomena which were put in limelight by ancient philosophy: the metaphysical meaning of the mathematical and the metaphysical projection of the thingness of the things. But whatever he says about them, it does not help us understand the mathematization of nature.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

2.4 The Way of Analysis of Mathematization

A further difference between Husserl's and Heidegger's interpretation of the birth of mathematical natural science is the technical side of their analysis. Heidegger aims to clarify the *ontological pre-understanding* (Vorverständnis), which played an important role during the scientific revolution. Probably the most interesting step is his posing the questions of the metaphysical meaning of the mathematical. It is a pity that instead of basing his answer to this question on a detailed analysis of mathematical texts Heidegger simply made it up.

Husserl, on the other hand, focused on the analysis of the everyday activities of the scientists such as observation, measurement and experiment. And about these activities he was able to say something new, something that the scientists themselves did not realize. I am referring here to Husserl's discovery of a fundamental discontinuity between the world of science and the life-world. An advantage of Husserl's approach is that he analyzes activities and not only their products (such as the ontological pre-understandings).[5]

2.5 On the Nature of the Mathematical

Husserl and Heidegger differ also in their views about the nature of the object by means of which mathematization is accomplished. According to Heidegger they are *mental objects* and the *mente concipere* is in his view the basis of continuity linking the Platonic *taking the knowledge itself from out of himself* with the mathematical project of thingness by Galileo, that *as it were, skips over the things*, with the metaphysical meaning of the mathematical that led Descartes to his skepticism and to the *reversal of the meanings of the words subjectum and objectum*, finally reaching Newton, in whom Heidegger tries to reveal the character of the modern natural science analyzing the law of inertia. As I tried to argue, all these points are mistaken. Heidegger knew in advance what he wanted to find in Galileo, in Descartes and in Newton, namely the *mente concipere*, thus he managed to find it, and so he finished his analysis. It is rather shocking that it is possible to uncover the mathematical projection of thingness of the things, the metaphysical meaning of the mathematical, and the mathematical character of modern natural science without analyzing a single mathematical text.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Unlike Heidegger, Husserl interpreted the mathematization of nature as a process in which some aspect of the life-world is replaced by a mathematical object. The objects by means of which mathematical natural science replaces the aspects of the life-world Husserl characterized as *intentional objects*. In their phenomenological analysis it is necessary to study the everyday activities of science. Husserl showed in his analysis of Galileo how it is possible to determine, by means of a systematic division of the scale of measurement, the measured value with higher and higher precision. This process may reach a level at which the intention of measurement is fulfilled.

2.6 Conclusion

Now that we have seen the advantages of the Husserlian project over that of Heidegger, it is time to turn to the task of developing a phenomenological interpretation of mathematical natural science, which was formulated by Gurwitsch some forty years ago:

> notwithstanding the voluminous recent literature on the philosophy of science (whose value I do not in the least belittle), we do not yet possess a philosophy of science in a truly radical sense. Husserl's analysis of Galileo's physics indicates the direction in which a radical (i.e. a properly rooted) philosophy of science must develop (Gurwitsch, 1967, p. 401).

Acknowledgements

I would like to thank Tomáš Holeček and Marek Tomeček for their help with the previous versions of this paper. The paper was written in the framework of the *Jan Evangelista Purkyně Fellowship* at the Institute of Philosophy of the Academy of Sciences of Czech Republic in Prague.

Notes

1 In a book form these lectures were published in 1962 in *Die Frage nach dem Ding* as the chapter *Die neuzeitliche mathematische Naturwissenschaft und die Entstehung einer Kritik der reinen Vernunft*.
2 The thingness of the things means the way in which we understand the

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

constitution of ordinary objects e.g. as a union of substance and form (as in Aristotelian physics), as extension (as in cartesian physics), or as systems of particles held together by forces (as in Newtonian physics).

3 Details can be found in the book of B. L. van der Waerden (van der Waerden, 1950) as well as in an article of Joseph Dauben (Dauben, 1984).

4 We must not forget that Galileo did not accept the action of forces, and gravitational attraction between bodies he would reject as occultism. Therefore the acceleration of a falling body was for Galileo not the result of interaction but a feature of the body itself. And bodies capable of accelerating themselves are a nonsense that Descartes had to reject (Kvasz, 2003, pp. 167–168).

5 The ontological pre-understandings are formed in daily activities. Only some philosophers think the opposite, namely that ontological decisions determine the daily activities.

References

Barnes, Jonathan, 1979: *The Presocratic Philosophers*. London: Routledge & Kegan Paul, second edition 1982.

Dauben, Joseph, 1984: Conceptual revolutions and the history of mathematics: two studies in the growth of knowledge. In: Gillies, Donald (ed., 1992): *Revolutions in mathematics*. Oxford: Clarendon Press, pp. 49–71.

Descartes, René, 1637: *The Geometry of René Descartes*. New York: Dover, 1954.

Drake, Stillman, 1957: *Discoveries and opinions of Galileo*. New York: Doubleday Company.

Drake, Stillman, 1973: Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertia. In: *Isis* 64, pp. 291–305.

Gabbey, Alan, 1980: Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton. In: Gaukroger, Stephen (ed. 1980): *Descartes, Philosophy, Mathematics and Physics*. Sussex: The Harvester Press, pp. 230–320.

Gurwitsch, Aron, 1967: Galilean physics in the light of Husserl's phenomenology. In: McMullin, Ernan (ed.): *Galileo, Man of Science*. New York: Basic Books Publishers, pp. 388–401.

Heidegger, Martin, 1935/36: *Die Frage nach dem Ding*. Tübingen: Niemeyer Verlag, 1987. Quoted from the English translation of David Farrell Krell: Modern Science, Metaphysics, and Mathematics, in: Martin Heidegger, *Basic Writings*. San Francisco: Harper, 1993, pp. 271–305.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Heidegger, Martin 1938: Die Zeit des Weltbildes. In: *Holzwege*, Frankfurt/Main: Vittorio Klostermann, 1977. Quoted from the English translation of Julian Young and Kenneth Haynes: The Age of the World Picture. In: *Off the Beaten Track*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, pp. 57–73.

Hill, David K., 1988: Dissecting Trajectories: Galileo's Early Experiments on Projectile Motion and the Law of Fall. In: *Isis* 79, pp. 646–668.

Husserl, Edmund, 1954: *Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendentale Phänomenologie*. English translation with the title: *The Crisis of European Sciences and Transcendental Phenomenology* by David Carr, Evanston, 1970.

Koyré, Alexandre, 1939: *Galileo Studies*. The Harvest Press, 1978.

Koyré, Alexandre, and Cohen, Ian B., 1972: *Isaac Newton's Philosophiae naturalis Principia mathematica*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kvasz, Ladislav, 2002: Galilean physics in light of Husserlian phenomenology. In*: Philosophia Naturalis* 39, pp. 209–233.

Kvasz, Ladislav, 2003: The Mathematisation of Nature and Cartesian Physics. In: *Philosophia Naturalis* 40, pp. 157–182.

Kvasz, Ladislav, 2005: The Mathematization of Nature and Newtonian Physics. In: *Philosophia Naturalis* 42, pp. 183–211.

Kvasz, Ladislav, 2006: History of Algebra and the Development of the Form of its Language. In: *Philosophia Mathematica* 14, pp. 287–317.

van der Waerden, Bartel L., 1950: *Erwachende Wissenschaft*. Basel: Birkhäuser, 1966.

van der Waerden, Bartel L., 1980: *A History of Algebra, from al-Khwarizmí to Emmy Noether*. Berlin: Springer.

Westfall, Richard S., 1971: *Force in Newton's Physics*. New York: Neale Watson.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Andrej Krause

Bolzano über Inbegriffe von Substanzen

Zusammenfassung

Der Beitrag analysiert einen wichtigen Aspekt der Ontologie Bernard Bolzanos, und zwar seinen Begriff des Inbegriffs von Substanzen. Zunächst widmet er sich Bolzanos Begriff der Substanz, anschließend dem Verhältnis von Substanzen und Inbegriffen von Substanzen. Ferner erörtert er Bolzanos Unterscheidung zwischen kontinuierlichen und nichtkontinuierlichen Inbegriffen von Substanzen und hierbei insbesondere den Begriff des Körpers. Abschließend wird der Begriff der Welt besprochen. Bolzano zufolge ist die Welt der kontinuierliche Inbegriff aller bedingten Substanzen. Als problematisch erweist sich die Annahme eines Inbegriffs, der aus dieser Welt und der einen unbedingten Substanz – Gott – besteht.

Abstract

The paper analyzes one important aspect of Bernard Bolzano's ontology, namely his concept of collections (Inbegriffe) of substances. It deals first with his concept of substance and it examines the relation between substances and collections of substances. It discusses further his distinction between continuous and non-continuous collections of substances, especially his concept of material things (Körper). Finally, it treats his concept of the world. According to Bolzano, the world is the continuous collection of all dependent substances. The acceptance of a collection which consists of this world and the independent substance – God – leads to difficulties.

Bernard Bolzano ist nicht nur einer der bedeutendsten Logiker und Mathematiker überhaupt, sondern auch einer der größten Philosophen des 19. Jahrhunderts.[1] Er hat sich unter anderem mit ontologischen, religionsphilosophischen und ethischen Fragen befasst. Ziel dieses Beitrags ist es, einen wichtigen Aspekt der Ontologie Bolzanos genauer zu analysieren, und zwar seinen Begriff des Inbegriffs von Substanzen. Im Rahmen seiner Ontologie unterscheidet Bolzano wirkliche und

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

nichtwirkliche Gegenstände. Wirkliche Gegenstände sind wirkende Gegenstände,[2] zu ihnen gehören die Substanzen und ihre wirklichen Beschaffenheiten. Zu den nichtwirklichen Gegenständen zählen etwa die mathematischen Gegenstände und die so genannten Sätze an sich und Vorstellungen an sich.[3] Inbegriffe von Substanzen sind Gegenstände, die Substanzen als Teile enthalten. Um den ontologischen Status dieser Inbegriffe zu explizieren, ist es erforderlich, sich zunächst über Bolzanos Substanzbegriff zu verständigen und dann zu fragen, wie Substanzen und Inbegriffe von Substanzen aufeinander bezogen sind. Nachdem dies geklärt ist, soll eine weitere Unterscheidung Bolzanos besprochen werden, nämlich die zwischen kontinuierlichen und nichtkontinuierlichen Inbegriffen von Substanzen. Hierbei ist vor allem Bolzanos Körperbegriff zu rekonstruieren. Abschließend soll der Begriff eines besonderen Substanzeninbegriffs diskutiert werden, der Begriff der Welt.

1. Substanzen und Inbegriffe von Substanzen

Untersucht man die Schriften Bolzanos im Hinblick darauf, wie in ihnen der Begriff „Substanz" definiert wird, so findet man unter anderem die folgenden Varianten:

(1) x ist Substanz genau dann, wenn x wirklich und keine Beschaffenheit ist.[4]
(2) x ist Substanz genau dann, wenn x wirklich und keine Beschaffenheit eines Wirklichen ist.[5]
(3) x ist Substanz genau dann, wenn x wirklich und keine Adhärenz eines Wirklichen ist.[6]

Beschaffenheiten sind Eigenschaften, sie sind etwas, das einem Gegenstand zukommt.[7] Wirkliche Beschaffenheiten, also Beschaffenheiten, die wirklich sind, heißen *Adhärenzen*.[8] Jede Adhärenz, somit auch jede Adhärenz einer Adhärenz, soll letztlich eine Beschaffenheit einer Substanz sein.[9] Nicht jede Beschaffenheit einer Substanz scheint aber eine Adhärenz zu sein, Substanzen scheinen Beschaffenheiten zu haben, die nicht wirklich sind. So soll es beispielsweise universelle Beschaffenheiten geben, Beschaffenheiten, die jeder Gegenstand hat, ganz gleich ob er wirklich ist oder nicht.[10] Wenn es aber Beschaffenheiten gibt, die

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

wirklichen und nichtwirklichen Gegenständen gleichermaßen zukommen, so dürften diese Beschaffenheiten nicht wirklich sein, es sei denn, man lässt zu, dass ein und dieselbe Beschaffenheit sowohl wirklich – an wirklichen Gegenständen – als auch nichtwirklich – an nichtwirklichen Gegenständen – ist. Adhärenzen sind keine Substanzen, sie sind auch keine Teile von Substanzen.[11] Substanzen ihrerseits sind keine Substrate, sie sind nicht etwas, das von einem Ding übrig bleibt, wenn man seine Eigenschaften gleichsam abzieht.[12]

Da Adhärenzen Beschaffenheiten sind, die wirklich sind, besagt (3) nichts anderes als (2). Weil außerdem jede Beschaffenheit nur dann wirklich ist, wenn sie eine Beschaffenheit eines Wirklichen ist,[13] lässt sich außerdem zeigen, dass (1) und (2) äquivalent sind. Denn die beiden Definitionen sind äquivalent, wenn gilt:

(x ist wirklich $\wedge$ x ist keine Beschaffenheit) $\leftrightarrow$ (x ist wirklich $\wedge$ x ist keine Beschaffenheit eines Wirklichen).

Nun gilt sicher:

(x ist wirklich $\wedge$ x ist keine Beschaffenheit) $\rightarrow$ (x ist wirklich $\wedge$ x ist keine Beschaffenheit eines Wirklichen).

Es gilt aber auch:

(x ist wirklich $\wedge$ x ist keine Beschaffenheit eines Wirklichen) $\rightarrow$ (x ist wirklich $\wedge$ x ist keine Beschaffenheit),

denn wäre x unter diesen Voraussetzungen – nämlich unter den Voraussetzungen: x ist wirklich $\wedge$ x ist keine Beschaffenheit eines Wirklichen – Beschaffenheit, dann müsste x, da es wirklich ist, nach dem oben Gesagten – jede Beschaffenheit soll nur dann wirklich sein, wenn sie eine Beschaffenheit eines Wirklichen ist – Beschaffenheit eines Wirklichen sein, was die genannte Voraussetzung – x ist keine Beschaffenheit eines Wirklichen – gerade ausschließt.

Es ergibt sich letztlich also folgende, mit (1) identische Definition:

Def. 1: x ist Substanz genau dann, wenn x wirklich und keine Beschaffenheit ist.

Diese Definition lässt zu, dass Substanzen Teile von Substanzen sind. An mehreren Stellen schließt Bolzanos dies jedoch explizit aus, so dass er dann eher folgende Definition zu akzeptieren scheint:[14]

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Def. 2: x ist Substanz genau dann, wenn x wirklich ist, keine Beschaffenheit ist und keine Substanz als Teil hat.[15]

Gegen diese Definition könnte man einwenden, dass sie zirkulär ist, da sie im Definiens den Terminus „Substanz" verwendet, der erst definiert werden soll. Diese Zirkularität ließe sich vermeiden, wenn man sagte, dass x genau dann Substanz ist, wenn x wirklich ist, keine Beschaffenheit ist und keinen wirklichen Gegenstand als Teil hat. Dass Substanzen keine Adhärenzen als Teile haben sollen, wurde ja bereits festgestellt. Aber auch dann würde in Def. 2 gefordert, dass Substanzen keine Substanzen als Teile enthalten dürfen. Welcher Substanzbegriff ist nun der für Bolzano gültige? Diese Frage lässt sich auf zweierlei Weise beantworten. Man könnte z.B. davon ausgehen, dass die Forderung, Substanzen dürften keine Substanzen als Teile enthalten, im Definiens von Def. 1 enthalten ist, dass sie also daraus folgt, dass x wirklich und keine Beschaffenheit ist. Dies würde einen einheitlichen Substanzbegriff stützen. Bolzano behauptet dieses Enthaltensein jedoch nirgends explizit, noch demonstriert er es. Man könnte daher stattdessen unterstellen, dass er zwei Substanzbegriffe verwendet, einen weiten, der durch Def. 1, und einen engen, der durch Def. 2 angegeben wird. Er sagt allerdings nicht, dass er dies tut oder tun möchte. Wie auch immer man ihn interpretiert – man muss konstatieren, dass er bei der Bestimmung eines seiner fundamentalen ontologischen Begriffe nicht genau ist. Manchmal scheint er anzunehmen, dass keine Substanz Substanzen als Teile hat, dass also jede Substanz einfach ist, was damit vereinbar wäre, dass er verschiedene Substanzbegriffe verwendet, nur an den besagten Stellen gerade den engen. Anderswo benutzt er die Begriffe „einfache Substanz" oder „zusammengesetzte Substanz", was dafür spricht, dass er dort den weiten Substanzbegriff zu Grunde legt.[16]

Im Folgenden sei zwischen einfachen und zusammengesetzten Substanzen unterschieden und der Begriff „Substanz" gemäß Def. 1 verwendet. Bei einfachen Substanzen handelt es sich dann um Substanzen, die keine Substanzen als Teile haben, bei zusammengesetzten Substanzen – bei Inbegriffen von Substanzen – um Substanzen, die nicht einfach sind. Beispiele für einfache Substanzen wären die menschliche Seele oder Gott,[17] Beispiele für zusammengesetzte Substanzen – für Inbegriffe von Substanzen – materielle Körper, etwa eine Eisenkugel, oder auch die Welt.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Unter einem Inbegriff versteht Bolzano etwas, das mehrere Teile enthält.[18] Für beliebige Gegenstände soll es hierbei immer einen Inbegriff geben, zu dem diese Gegenstände als Teile gehören.[19] So kann ein Inbegriff einen bestimmten Wunsch, eine bestimmte Zahl und einen bestimmten Apfel enthalten. Inbegriffe, bei denen die Anordnung der Teile irrelevant ist, nennt Bolzano *Mengen*.[20] Wenn jeder Teil eines Teils einer Menge Teil dieser Menge ist, dann ist diese Menge eine Summe.[21] In jeder Summe sollen sich die Teile durch die einfachsten Teile dieser Teile ersetzen lassen, so dass jede Summe letztlich nichts anderes ist als die Summe ihrer einfachsten Teile. Inbegriffe von Substanzen sind Gegenstände, zu denen genau Substanzen als Teile gehören. Ein Inbegriff der Substanzen S_1, S_2, S_3 usw. ist ein Gegenstand, der die Substanzen S_1, S_2, S_3 usw. als Teile enthält. Es soll gelten, dass jeder derartige Inbegriff immer auch ein Inbegriff einfacher Substanzen ist, und zwar gerade derjenigen einfachen Substanzen, die Teile der Substanzen dieses Inbegriffs sind. So ist der Inbegriff der (nichteinfachen) Substanzen S_1, S_2, S_3 usw. gleichzeitig der Inbegriff aller einfachen Substanzen, die in S_1, S_2, S_3 usw. enthalten sind. Dass jeder Inbegriff von Substanzen ein Inbegriff von einfachen Substanzen ist, sagt Bolzano ausdrücklich.[22] Dass ein beliebiges X Inbegriff von Substanzen S_1, S_2, S_3 usw. ist, wobei S_1, S_2, S_3 usw. jeweils Inbegriffe einfacher Substanzen sind, hat nach Bolzano insbesondere zur Folge, dass X Inbegriff aller einfachen Substanzen von S_1, S_2, S_3 usw. ist.[23] Ferner soll offensichtlich gelten, dass jeder Inbegriff von einfachen Substanzen so „geklammert" werden kann, dass er ein Inbegriff von Inbegriffen von Substanzen ist. So lässt sich etwa ein Inbegriff, der aus den jetzt als einfach angenommenen Substanzen S_1, S_2, S_3 und S_4 besteht, auch als Inbegriff zweier Substanzen S_5 und S_6 auffassen, wobei S_5 aus S_1 und S_2 und S_6 aus S_3 und S_4 besteht.

Jeder Inbegriff von Substanzen ist ein wirklicher Gegenstand, weil jeder Inbegriff wirklicher Gegenstände wirklich ist.[24] Letzteres leuchtet insofern ein, als Inbegriffe wirklicher Teile zumindest dadurch wirken, also wirklich sind, als ihre Teile wirken. Allerdings ergibt sich dann folgende Schwierigkeit:[25] Es seien S_1 und S_2 verschiedene einfache Substanzen, a_1 sei Adhärenz von S_1, a_2 Adhärenz von S_2. Der Inbegriff, dessen Teile S_1 und S_2 sind, ist ein Inbegriff von Substanzen. Der Inbegriff, der aus a_1 und a_2 besteht, ist ein Inbegriff von Adhärenzen und somit eine Adhärenz, da Inbegriffe von Adhärenzen keine Substanzen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

sind.[26] Dieser Inbegriff soll dem Substanzeninbegriff aus S_1 und S_2 so zukommen, dass a_1 S_1 und a_2 S_2 zukommt. Wie sieht es aber mit dem Inbegriff aus, dessen Teile S_1 und a_2 (oder S_2 und a_1) sind? Wenn jeder Inbegriff wirklicher Gegenstände wirklich ist, müsste auch dieser Inbegriff wirklich und somit, da jeder wirkliche Gegenstand eine Substanz oder eine Adhärenz ist,[27] selber Substanz oder Adhärenz sein. Beides ist nicht plausibel.

Wenn bei einem Inbegriff von Substanzen die Anordnung dieser Substanzen irrelevant ist, so ist dieser Inbegriff eine Menge im Sinne Bolzanos. Nach dem oben Gesagten wäre er außerdem eine Summe im Sinne Bolzanos. Es spricht manches dafür, dass sich Inbegriffe von Substanzen mit ihrer Teilrelation als mereologische Summen oder Fusionen im modernen Sinn interpretieren lassen.[28] So scheint, wenn man neben echten auch unechte Teile zulässt, die besagte Relation reflexiv, transitiv und antisymmetrisch zu sein, so dass Substanzeninbegriffe dann mit Hilfe einer zu präzisierenden Überlappungsrelation und einem gruppentheoretischen Instrumentarium beschrieben werden könnten.[29]

2. Kontinuierliche und nichtkontinuierliche Inbegriffe von Substanzen

Bolzano unterscheidet kontinuierliche und nichtkontinuierliche Inbegriffe von Substanzen. Was er mit dieser Unterscheidung meint, wird an Beispielen deutlicher:[30] Eine Stadt kann als ein Inbegriff von bestimmten Häusern aufgefasst werden, wobei diese Häuser, die Bolzano ihrerseits als (Inbegriffe von) Substanzen auffasst, räumlich zerstreut sind. Die Stadt ist somit ein nichtkontinuierlicher Inbegriff von Substanzen. Ebenso können eine Reisegesellschaft oder eine Schauspielgesellschaft jeweils als Inbegriff räumlich zerstreuter Menschen und ein Garten als Inbegriff räumlich zerstreuter Bäume (und Büsche etc.) verstanden werden. Diese Inbegriffe wären dann ebenfalls nichtkontinuierliche Inbegriffe von Substanzen. Auch zwei Eisenkugeln, die sich in einem gewissen Abstand voneinander befinden, sind räumlich zerstreut, der Inbegriff, der aus diesen beiden Kugeln besteht, ist nichtkontinuierlich. Im Gegensatz dazu soll eine einzelne Eisenkugel ein kontinuierlicher Inbegriff von Substanzen sein. Ein Inbegriff von Substanzen ist hierbei genau dann kontinuierlich, wenn die von den einfachen Substanzen

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

dieses Inbegriffs eingenommenen Raumpunkte ein räumliches Kontinuum bilden. Daher ist eine Eisenkugel insofern ein kontinuierlicher Inbegriff von Substanzen, als die von den einfachen Substanzen dieser Kugel eingenommenen Raumpunkte ein räumliches Kontinuum bilden.[31] Bolzanos Kontinuumsbegriff – Kontinuum_B – lässt sich bezogen auf Inbegriffe von Substanzen wie folgt definieren:[32]

Def. 3: Ein Inbegriff von Substanzen ist genau dann kontinuierlich_B, wenn es keine in ihm isolierte einfache Substanz S_i gibt.

Der Begriff der isolierten Substanz kann hierbei so definiert werden:

Def. 4: S_i ist in einem Inbegriff von Substanzen genau dann isolierte einfache Substanz, wenn S_i einfache Substanz in diesem Inbegriff ist und wenn es nicht so ist, dass es für S_i und für jede Entfernung ε eine von S_i verschiedene einfache Substanz S_j dieses Inbegriffs gibt, so dass die Entfernung zwischen S_i und $S_j \leq \varepsilon$.

Dass sich dieser Kontinuumsbegriff vom Kontinuumsbegriff der modernen Topologie unterscheidet, sieht man an der Menge der rationalen Zahlen, die keine im Sinne Bolzanos isolierten Elemente enthält. Für jede rationale Zahl z_i und für jedes ε gibt es immer eine andere rationale Zahl z_j, die innerhalb der ε-Umgebung von z_i liegt. Die Menge der rationalen Zahlen ist jedoch nicht kontinuierlich im modernen Sinn, da sie nicht zusammenhängend ist.

Eine Eisenkugel soll ein $\text{kontinuierlicher}_B$ Inbegriff von Substanzen sein. Für sie soll insbesondere gelten, dass sich zwischen zwei beliebigen einfachen Substanzen von ihr immer eine einfache Substanz von ihr befindet. Dies muss für andere kontinuierliche_B Inbegriffe von Substanzen nicht so sein. Ein solcher Inbegriff könnte z. B. ringartig und die betrachteten einfachen Substanzen könnten besondere „Randsubstanzen" an der Innenseite dieses Ringes sein.

Nun soll die besagte Eisenkugel nicht nur ein $\text{kontinuierlicher}_B$ Inbegriff von Substanzen sein, sondern auch ein Körper. Körper sind besondere kontinuierliche_B Inbegriffe von Substanzen. Von Körpern verschiedene kontinuierliche_B Inbegriffe von Substanzen sind der Äther oder bestimmte Teile von ihm.[33] Körper haben, obwohl sie räumlich nur endlich ausgedehnt sind, jeweils unendlich viele einfache Substanzen als Teile.[34] Ferner enthalten sie eine Substanz, die in ihnen herrscht.[35] Hierbei herrscht ganz allgemein eine Substanz in einem Inbegriff von

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Substanzen genau dann, wenn sie einfach ist und wenn ihre Wirkung auf diesen Inbegriff größer ist als die Wirkung jedes anderen Teils dieses Inbegriffs – also auch jeder anderen einfachen Substanz dieses Inbegriffs – auf diesen Inbegriff.[36] Somit herrscht eine Substanz in einem *Körper* genau dann, wenn sie einfach ist und wenn ihre Wirkung auf diesen Körper größer ist als die Wirkung jedes anderen Teils dieses Körpers – also auch jeder anderen einfachen Substanz dieses Körpers – auf diesen Körper.

Im Gegensatz zu den einfachen Substanzen, die zeitlich anfangslos und unvergänglich sind, sind Körper weder zeitlich anfangslos noch unvergänglich.[37] Sie können dadurch vergehen, dass die sie bildenden einfachen Substanzen andere Verbindungen eingehen. Für das Vergehen von Körpern genügt es, dass sie nicht mehr kontinuierlich$_B$ sind, Körper sind *wesentlich* kontinuierliche$_B$ Inbegriffe. Wenn ein Körper Substanzen derart verliert, dass in ihm wenigstens eine isolierte Substanz entsteht, ist er zerstört. Ob jeder Teil eines Körpers für diesen Körper wesentlich sein soll, so dass er bereits zerstört wäre, wenn er einen beliebigen seiner Teile verlieren würde, lässt sich nicht eindeutig sagen. Ein diesbezüglicher mereologischer Essentialismus wäre vermutlich mit Bolzanos sonstigen Ansichten vereinbar. Jedenfalls folgt aus der Unvergänglichkeit der einfachen Substanzen die bemerkenswerte Tatsache, dass alle Inbegriffe einfacher Substanzen als *wirkliche Inbegriffe* auch unvergänglich sind, denn wie sollten sie vergehen können? Aus einem kontinuierlichen$_B$ Inbegriff von Substanzen kann zwar ein nichtkontinuierlicher$_B$ Inbegriff von Substanzen werden und umgekehrt, d.h. Körper können vergehen oder entstehen, wie aber sollte ein Inbegriff von einfachen Substanzen als Inbegriff vergehen können, wenn diese Substanzen unvergänglich sind?

3. Die Welt als Inbegriff aller bedingten Substanzen

Bolzano zufolge gibt es eine ausgezeichnete einfache Substanz. Diese und nur diese befindet sich außerhalb des Raumes[38] und diese und nur diese ist eine unbedingte Substanz, also eine Substanz, die insbesondere weder eine Ursache noch eine Teilursache hat.[39] Diese Substanz, die das einzige unbedingte Wirkliche ist, nennt Bolzano *Gott*. Der Inbegriff aller bedingten Substanzen, also der Inbegriff aller von Gott verschie-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

denen Substanzen, ist die Welt bzw. das Weltall.[40] Gelegentlich bezeichnet Bolzano auch den Inbegriff aller bedingten wirklichen Gegenstände als Welt.[41] Meint er hier zweierlei? Dies könnte nahe liegen, weil zu den wirklichen Gegenständen die Adhärenzen gehören. So grenzt Bolzano auch den Inbegriff aller Substanzen vom Inbegriff aller wirklichen Gegenstände ab. Die erste Inbegriffsbildung hält er für akzeptabel, die zweite manchmal nicht.[42] Dies rührt aber vielleicht daher, dass der Inbegriff aller *wirklichen Gegenstände* zwar ein *wirklicher Gegenstand* wäre, nicht aber der Inbegriff aller *Substanzen* eine *Substanz*. Aber warum sollte der Inbegriff aller Substanzen keine Substanz sein, wenn der Inbegriff aller bedingten Substanzen eine bedingte Substanz – nämlich die Welt – sein soll? Man könnte zu bedenken geben, dass dann, wenn Gott und die Welt Teile einer zusammengesetzten Substanz wären, diese Substanz etwas „Größeres" als Gott wäre, da die Welt kein Teil von Gott ist.

Wie auch immer, der Inbegriff aller wirklichen Gegenstände und der Inbegriff aller Substanzen sind problematische Inbegriffsbildungen, denn beide müssten jeweils unbedingt oder bedingt sein. Wären sie unbedingt, so wären sie jeweils identisch mit Gott. Diese Konsequenz ließe Bolzano nicht zu, Gott soll einfache Substanz, kein Inbegriff, sein. Wären sie aber bedingt, dann würden sie einerseits jeweils einen unbedingten Teil, nämlich Gott, enthalten – denn Gott ist wirklicher Gegenstand bzw. Substanz – und andererseits von Gott bedingt sein, da Gott alle bedingten wirklichen Gegenstände bedingen soll.[43] Dann jedoch würde Gott etwas bedingen, von dem er selbst ein Teil ist, er würde sich in diesem Fall also vermutlich selbst bedingen. Letzteres schließt Bolzano aber aus.[44] Das genannte Problem tritt für jeden Inbegriff von wirklichen Gegenständen, in dem Gott als Teil enthalten ist, auf, denn jeder derartige Inbegriff wäre verschieden von Gott und somit von Gott bedingt. Auch dann also wäre Gott die Bedingung eines Inbegriffs, zu dem er als Teil gehört.

Fasst man den Inbegriff aller bedingten Substanzen als Welt auf, so sind auch alle einfachen bedingten Substanzen Teil der Welt. Die Welt ihrerseits ist wirklich, aber keine einfache Substanz und auch keine Adhärenz. Sie ist eine zusammengesetzte Substanz – also ein Inbegriff von Substanzen – und bedingt.[45] Dieser Inbegriff ist kontinuierlich$_B$. Es gibt keine leeren Stellen in ihm, jeder Raumpunkt ist zu jedem Zeitpunkt mit einer einfachen bedingten Substanz belegt.[46] Klar ist außer-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

dem, dass sich keine zwei einfachen bedingten Substanzen gleichzeitig in einem Punkt des Raumes befinden können, der Abstand zwischen ihnen ist zu jedem Zeitpunkt also größer als 0. Somit ist jeder Raumpunkt zu jedem Zeitpunkt mit *genau einer* einfachen bedingten Substanz belegt,[47] so dass es keine *in-der-Welt-isolierten* einfachen bedingten Substanzen gibt. Dies steht nicht im Widerspruch dazu, dass es in bestimmten Inbegriffen, die Teile der Welt sind, isolierte Substanzen gibt, dass es also nichtkontinuierliche$_B$ Inbegriffe von Substanzen gibt. Das Isoliertsein einer Substanz hängt ja gerade vom relevanten Inbegriff ab. Betrachtet man den Inbegriff *aller* bedingten Substanzen – die Welt –, so gibt es für jede einfache bedingte Substanz und jede Entfernung immer eine einfache bedingte Substanz innerhalb dieser Entfernung, es befinden sich sogar unendlich viele einfache bedingte Substanzen darin. Zwischen je zwei beliebigen einfachen bedingten Substanzen liegen immer unendlich viele derartige Substanzen.[48] Das passt damit zusammen, dass es zwischen je zwei Raumpunkten unendlich viele Raumpunkte gibt[49] und dass jeder Raumpunkt zu jedem Zeitpunkt mit genau einer einfachen bedingten Substanz belegt ist.

Die Welt hat als Folge der Vollkommenheit Gottes eine unendliche räumliche Ausdehnung.[50] Dies soll nicht implizieren, dass es einfache bedingte Substanzen gibt, deren Abstand voneinander unendlich groß ist. Der Abstand zwischen beliebigen derartigen Substanzen soll im Gegenteil immer nur endlich groß sein. Andernfalls sei es nicht möglich, die Größe ihrer Anziehungs- bzw. Abstoßungskraft zu bestimmen.[51] Die Welt soll außerdem zeitlich anfangslos und unvergänglich sein,[52] wobei sich dies aus der zeitlichen Anfangslosigkeit und Unvergänglichkeit ihrer einfachen Teile, der einfachen bedingten Substanzen, ergibt und daraus, dass Inbegriffe von einfachen Substanzen als bloße Inbegriffe zeitlich anfangslos und unvergänglich sind. Letzteres ist damit vereinbar, dass Körper nicht anfangslos und nicht unvergänglich sind. Zu ihrem Entstehen bzw. Vergehen genügt das Entstehen bzw. Vergehen der jeweiligen Beschaffenheit, kontinuierlich$_B$ zu sein.

Es wäre von religionsphilosophischem Interesse zu untersuchen, wie Bolzano das Verhältnis Gottes, der unbedingten Substanz, zum Inbegriff aller bedingten Substanzen, zur Welt, beschreibt. Gott soll einerseits der Schöpfer, die Ursache, der Welt sein,[53] anderseits soll die Welt – und jede einfache Substanz in ihr – zeitlich anfangslos und unvergänglich sein. Möglicherweise ließe sich dann auch eine Antwort darauf fin-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

den, ob Bolzano den Inbegriff, der aus der Welt und aus Gott besteht, als eine zusammengesetzte Substanz auffassen würde. Diese Substanz wäre jedenfalls kein Kontinuum$_B$, da Gott außerhalb des Raumes sein soll.

Anmerkungen

1 Husserl, 1975, B 225, nennt Bolzanos *Wissenschaftslehre* „ein Werk, das in Sachen der logischen ‚Elementarlehre' alles weit zurückläßt, was die Weltliteratur an systematischen Entwürfen der Logik darbietet." Für Dubislav, 1931, 456, ist Bolzano „ein Klassiker der exakten Logik [...] auf Grund seiner Vorwegnahme tragender Ueberlegungen und Begriffsbildungen der mathematischen Logik, durch die er sich ein Denkmal gesetzt hat aere perennius." Bense 1948/1950, 769, bezeichnet ihn als „Vater der modernen Logik, Mathematik und Philosophie", Dummett, 1988, 167, als „Urgroßvater der analytischen Philosophie".

2 Vgl. AA 85, 100, 288 (Anm. 14), WL I 362, 366 (§ 79) [GA I, 11/2, 167, 170], WL III 16 (§ 275) [GA I, 13/1, 36], DPA 2 [GA IIA, 12/3, 46], PU 111 (§ 51).

3 Vgl. z. B. AA 22, WL I 323 (§ 70) [GA I, 11/2, 130], PU 12, 20 (§§ 12, 15).

4 Vgl. AA 21, 284 (Anm. 4), RW I 183 (§ 70) [GA I, 6/1, 210], WL III 11 (§ 272) [GA I, 13/1, 31].

5 Vgl. AA 293 (Anm. 23), WL II 65 (§ 142) [GA I, 12/1, 123], AP 5, 9 (§§ 1, 6) [GA IIA, 12/3, 118, 121], PU 116 (§ 57).

6 Vgl. DPA 26 [GA IIA, 12/3, 63].

7 Vgl. WL I 379 (§ 80) [GA I, 11/2, 183 f.].

8 Vgl. AA 21, RW I 183 (§ 70) [GA I, 6/1, 210], WL I 557 (§ 118) [GA I, 11/3, 149], WL III 10 (§ 272) [GA I, 13/1, 31].

9 Vgl. AA 23. Eine kurze Diskussion dieser Behauptung findet sich in Krause, 2004, 61 f.

10 Etwa die Beschaffenheit, „mit sich selbst einerlei zu seyn, oder von je zwei widersprechenden Beschaffenheiten nur Eine zu haben." Vgl. WL I 459 (§ 99) [GA I, 11/3, 53 f.].

11 Vgl. BAR [GA III, 4/2, 170].

12 Vgl. AP 9 (§ 6) [GA IIA, 12/3, 121].

13 Vgl. AA 22.

14 Vgl. BAZ [GA III, 4/2, 42 f.], BAR [GA III, 4/2, 170], PPH 81 [GA I, 16/2, 266], VZL 31 [GA IIA, 12/2, 155], DPA 26, 54 [GA IIA, 12/3, 63, 84], AP 8 (§ 5) [GA IIA, 12/3, 120], MP [5] 6 [GA IIB, 18/2, 29], PU 73, 109 (§§ 38, 50), Bolzano (64), 79.

15 Mit „Teil" sei hier und im Folgenden immer *echter Teil* gemeint. Diese Verwendungsweise folgt den Vorgaben Bolzanos.

16 Vgl. z. B. AA 304 (Anm. 38), RW I 219 (§ 85) [GA I, 6/1, 244], WL III 248 (§ 315) [GA I, 13/2, 73], AP 7 (§ 3) [GA IIA, 12/3, 120], PU 22, 72, 107 (§§ 17, 38, 50). Früher vertrat ich die Auffassung, dass Bolzano generell verlangt, dass Substanzen einfach sind. Mittlerweile bin ich diesbezüglich

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

zurückhaltender geworden, nicht zuletzt wegen der Einwände Schnieders. Vgl. Schnieder, 2008. Zum Substanzbegriff Bolzanos vgl. ferner Textor, 1996, 66–70, Künne, 1998, sowie Schnieder, 2002.

17 Vgl. etwa AA 47. Dass Gott für Bolzano einfache Substanz ist, folgt unter anderem daraus, dass Gott das unbedingte Wirkliche sein soll. Vgl. RW I 177–179 (§ 67) [GA I, 6/1, 205–207]. Wäre Gott ein Inbegriff von Substanzen, so wäre er durch diese Substanzen bedingt.

18 Vgl. WL I 393 f. (§ 82) [GA I, 11/2, 197 f.].

19 Vgl. PU 3 (§ 3): Es gelte, „daß jeder beliebige Gegenstand *A* mit allen beliebigen andern *B*, *C*, *D* .... in einen Inbegriff vereinigt werden könne oder (noch richtiger gesprochen) an sich selbst schon einen Inbegriff bilde [...]" Vgl. auch EGL 75r, v [GA IIA, 7, 100 f.].

20 Vgl. WL I 400 (§ 84) [GA I, 11/2, 203], PU 4 (§ 4), EGL 130r [GA IIA, 7, 152]. Bolzanos Mengenbegriff unterscheidet sich vom heutigen Mengenbegriff, kann aber als dessen Vorläufer aufgefasst werden. Vgl. Ebbinghaus 1994, 8.

21 Vgl. WL I 400 (§ 84) [GA I, 11/2, 203 f.], PU 4 (§ 5), EGL 131v–132r [GA IIA, 7, 154].

22 Vgl. PU 109 (§ 50): „Inbegriffe von Substanzen [können] nicht [sein] ohne einfache, welche die Teile dieser Inbegriffe bilden." AA 57: „[...] gäbe es keine einfachen Dinge, so könnte es auch keine zusammengesetzten geben, da offenbar diese nur eben durch jene bestehen."

23 Vgl. AA 102: „Ich bemerke aber, daß sowohl Auge als Hand aus Theilen zusammengesetzt sind, und bei einigem Nachdenken wird mir sogar wahrscheinlich, daß die Menge der einfachen Theile, aus denen diese Glieder, *und somit mein ganzer Leib überhaupt* [meine Hervorhebung] zusammengesetzt ist, im strengsten Sinne des Wortes unendlich ist." Es wird sich gleich zeigen, dass Bolzano zufolge jeder Körper aus unendlich vielen einfachen Substanzen zusammengesetzt ist.

24 Vgl. RZL 11r–v [GA IIA, 8, 26], RW I 178 (§ 67) [GA I, 6/1, 206].

25 Vgl. Schnieder, 2002, 217 ff.

26 Dafür, dass Inbegriffe von Adhärenzen keine Substanzen sein sollen, vgl. z. B. PU 115 (§ 57). Außerdem wurde bereits gesagt, dass Adhärenzen keine Teile von Substanzen sein sollen. Vgl. Fußnote 11.

27 Vgl. z. B. AA 21, RW I 183 (§ 70) [GA I, 6/1, 210], WL I 557 (§ 118) [GA I, 11/3, 149].

28 Dass sich Bolzanos gesamte Inbegriffslehre als Mereologie interpretieren lässt, vertritt Krickel, 1995. Vgl. aber auch Simons, 1997.

29 Ein derartiger Beschreibungsversuch findet sich in Krause, 2004, 117–131. Dieser Versuch stützt sich auf die Ontologie Mario Bunges.

30 Vgl. hierzu AA 33–35.

31 Vgl. AA 304 (Anm. 38): „Die physische Ausdehnung z. B. einer Kugel entsteht mir aus einer unendlichen Menge einfacher Substanzen völlig auf eben die Art, wie mir die bloß geometrische Ausdehnung aus einer unendlichen Menge von bloßen Puncten entsteht. Der Inbegriff aller Puncte, die eine gewisse Entfernung von einem gegebenen nicht überschreiten, macht mir die geometrische Kugel; und wenn in jedem dieser Puncte eine Subs-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

tanz sich befindet, so ist ein physischer Körper in der Gestalt einer Kugel vorhanden."

32 Vgl. PU 73 (§ 38): „Versuchen wir nämlich, uns den Begriff, den wir mit den Benennungen ‚eine *stetige Ausdehnung* oder ein *Kontinuum*' bezeichnen, zu einem deutlichen Bewußtsein zu bringen: so können wir nicht umhin zu erklären, dort, aber auch nur dort sei ein Kontinuum vorhanden, wo sich ein Inbegriff von einfachen Gegenständen (von Punkten in der Zeit oder im Raume oder auch von Substanzen) befindet, die so gelegen sind, daß jeder einzelne derselben für jede auch noch so kleine Entfernung wenigstens einen Nachbar in diesem Inbegriffe habe. Wenn dieses nicht der Fall ist, wenn sich z.B. unter einem gegebenen Inbegriffe von Punkten im Raume auch nur ein einziger befindet, der nicht so dicht umgeben ist von Nachbarn, daß sich für jede – nur klein genug genommene Entfernung ein Nachbar für ihn nachweisen läßt: so sagen wir, daß dieser Punkt *vereinzelt* (isoliert) dastehe, und daß jener Inbegriff eben deshalb kein vollkommenes Kontinuum darbiete." Zum Kontinuumsbegriff bei Bolzano vgl. etwa Berg, 1999, 258–263, van Rootselaar, 1975, 143 f., u. Tapp, 2012, 197–199.

33 Vgl. PU 120 (§ 63).

34 Vgl. AA 53, 102 f., 132, 304 (Anm. 38), RW I 216 (§ 85) [GA I, 6/1, 241], WL I 411 (§ 87) [GA I, 11/2, 213], WL III 46 (§ 282) [GA I, 13/1, 65], WL III 246 (§ 315) [GA I, 13/2, 72], EGL 148r [GA IIA, 7, 172], PU 109 (§ 50), AP 15 (§ 20) [GA IIA, 12/3, 126].

35 Vgl. PU 120 (§ 63).

36 Vgl. AA 104f: „In solchem Falle stellt also diese Eine Substanz verbunden mit der unendlichen Menge der andern ein *Ganzes* dar, worin durch sie eine Art von Thätigkeit ausgeübt wird, wie sie kein anderer Theil dieses Ganzen über dasselbe ausübt. Wir können dieser Substanz deßhalb den Namen der *herrschenden* in diesem Ganzen geben […]." Vgl. auch AA 106. In AP 20 (§ 29) [GA IIA, 12/3, 130] definiert Bolzano ein wenig anders. Dort behauptet er sinngemäß, dass eine einfache Substanz (ein Atom) S_i genau dann über einen Inbegriff von einfachen Substanzen herrscht, wenn die Wirkung von S_i auf jede einfache Substanz S_j aus diesem Inbegriff größer ist als die Wirkung von S_j auf S_i. In PU 118 (§ 61) schreibt er, dass herrschende Substanzen „eine Art von Übermacht über alle in einem, sei es auch noch so kleinem Umfange, um sie herum liegenden Substanzen ausüben." Diese Bestimmung lässt sich mit den vorhergehenden in Einklang bringen, wenn die Substanzen in der Umgebung der herrschenden Substanz als Inbegriff aufgefasst werden, zu dem dann auch die herrschende Substanz gehört.

37 Vgl. AA 69, 82.

38 Vgl. WL IV 235 (§ 511) [GA I, 14/2, 80f.], RW B I 108r [GA I, 6/1, 297], VBR 210 (§ 4) [GA I, 18, 232], PU 113 (§ 53).

39 Bolzanos Begriff der Bedingung ist komplexer. Vgl. hierzu etwa WL II 208 f. (§ 168) [GA I, 12/2, 35], WL II 389 (§ 222) [GA I, 12/2, 203].

40 Vgl. EGL 143r [GA IIA, 7, 167]: „Das Weltall […], nehmlich die Summe aller derjenigen Substanzen, die einen Grund ihrer Wirklichkeit haben."

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

RW I 211 (§ 82) [GA I, 6/1, 236]: „Unter dem Worte *Welt* in seiner weitesten Bedeutung verstehen wir den Inbegriff aller Wesen [Substanzen], welche kein unbedingtes Daseyn haben." Vgl. auch RW I 212 (§ 82) [GA I, 6/1, 237], RW III 269 f. (§ 147) [GA I, 8/2, 128].

41 Vgl. WL I 414 (§ 88) [GA I, 11/2, 217]: „[…] der Inbegriff alles Wirklichen, mit Ausnahme Gottes, [ist] das Weltall […]" RW III 256 (§ 144) [GA I, 8/2, 114]: Die Welt ist alles Wirkliche, „was nicht Gott ist", sie ist „alles bloß Bedingte".

42 Vgl. Miscellanea Philosophica [5] 6 [GA IIB, 18/2, 29]. „Ein merkwürdiges Beyspiel eines sich selbst widersprechenden Begriffes ist der des '*Alls der Dinge*' oder der Summe aller Etwas; denn zu dieser Summe müßte auch diese Summe selbst, wenn sie etwas wäre, als ein Theil gehören. Ein Gleiches gilt von dem Begriffe: das *All der Wirklichen Dinge* weil diese All selbst etwas Wirkliches sein müßte. – Nicht also ist es mit dem Begriffe: *Das All der Substanzen*." Vgl. aber auch Künne, 1998, 244, sowie RW I 178 (§ 67) [GA I, 6/1, 206]. Vgl. außerdem Sebestik, 1999, 236.

43 Vgl. AA 79, RW I 212 (§ 82) [GA I, 6/1, 237], WL III 247 (§ 315) [GA I, 13/2, 72].

44 Vgl. AA 179 f.

45 Vgl. RW I 212 (§ 82) [GA I, 6/1, 237].

46 Vgl. AP 12 (§ 14) [GA IIA, 12/3, 124], AA 102, PU 116 f. (§ 59).

47 Vgl. PU 113, 116 f. (§§ 53 f., 59), AP 14 (§ 17) [GA IIA, 12/3, 125].

48 Vgl. PU 72 (§ 38).

49 Vgl. PU 23 (§ 17), PU 72 (§ 38).

50 Vgl. AA 249, AP 12 (§ 14) [GA IIA, 12/3, 124]. Vgl. auch RW I 204 (§ 81) [GA I, 6/1, 231], RW III 269–273 (§ 147) [GA I, 8/2, 128–132], PU 116 f., 129 (§§ 59, 69).

51 Vgl. PU 41 f. (§ 27).

52 Vgl. AA 249, RW I 205 (§ 81) [GA I, 6/1, 231], RW III 269–273 (§ 147) [GA I, 8/2, 128–132].

53 Vgl. z. B. RW I 212 (§ 82) [GA I, 6/1, 237], WL I 130 (§ 29) [GA I, 11/1, 154], WL II 208 (§ 168) [GA I, 12/2, 34].

Literatur

Bolzano, Bernard

(Die Anordnung der Texte Bolzanos orientiert sich an der in der Gesamtausgabe eingehaltenen bzw. geplanten Ordnung).

GA 1969 ff.: Winter, Eduard; Berg, Jan; Kambartel, Friedrich; Loužil, Jaromír; van Rootselaar, Bob (Hg.): Bernard Bolzano-Gesamtausgabe. Stuttgart-Bad Cannstatt: frommann-holzboog.
Beim Zitieren aus GA wird in Klammern […] zunächst die Reihe, dann der Band bzw. Teilband und schließlich die Seitenzahl genannt. Hervorhebungen werden generell *kursiv* zitiert.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

AA 1970: Dr. B. Bolzanos Athanasia oder Gründe für die Unsterblichkeit der Seele. Ein Buch für jeden Gebildeten, der hierüber zur Beruhigung gelangen will. Zweite verbesserte Ausgabe. Mit einem kritischen Anhange vermehrt von einem Freunde des Verfassers. Sulzbach 1838. Zitiert nach dem unveränderten Nachdruck Frankfurt/Main: Minerva.

RW 1994–2006: Lehrbuch der Religionswissenschaft. Ein Abdruck der Vorlesungshefte eines ehemaligen Religionslehrers an einer katholischen Universität. Von einigen seiner Schüler gesammelt und herausgegeben. 4 Bde. Sulzbach 1834. Zitiert nach GA Reihe I, Bände 6–8.

WL 1985–2000: Dr. B. Bolzanos Wissenschaftslehre. Versuch einer ausführlichen und größtentheils neuen Darstellung der Logik mit steter Rücksicht auf deren bisherige Bearbeiter. Herausgegeben von mehren seiner Freunde. Mit einer Vorrede des Dr. J. Ch. A. Heinroth. 4 Bde. Sulzbach 1837. Zitiert nach GA Reihe I, Bände 11–14.

PPH 1989: Prüfung der Philosophie des seligen Georg Hermes von einem Freunde der Ansichten Bolzano's. Sulzbach 1840. Zitiert nach GA Reihe I, Band 16/2, S. 203–362.

VBR 1989: Versuch einer objectiven Begründung der Lehre von den drei Dimensionen des Raumes. Prag 1843. Zitiert nach GA Reihe I, Band 18, S. 223–238.

EGL 1975: Einleitung zur Größenlehre und erste Begriffe der allgemeinen Größenlehre. Zitiert nach GA Reihe IIA, Band 7, S. 23–216.

RZL 1976: Reine Zahlenlehre. Zitiert nach GA Reihe IIA, Band 8, S. 13–168.

PU 1975: Dr. Bernard Bolzano's Paradoxien des Unendlichen. Herausgegeben aus dem schriftlichen Nachlasse des Verfassers von Dr. Fr. Příhonský. Leipzig 1851. Zitiert nach van Rootselaar, Bob (Hg.): Bernard Bolzano. Paradoxien des Unendlichen. Hamburg: Felix Meiner.

VZL 1978: Verbesserungen und Zusätze zur Logik. Zitiert nach GA Reihe IIA, Band 12/2, S. 53–184.

WP 1978: Was ist Philosophie? Zitiert nach GA Reihe IIA, Band 12/3, S. 13–33.

DPA 1978: Drei philosophische Abhandlungen. Zitiert nach GA Reihe IIA, Band 12/3, S. 43–104.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

AP 1978: Aphorismen zur Physik. Zitiert nach GA Reihe IIA, Band 12/3, S. 113–148.

MP [5] 1979: Miscellanea Philosophica [5]. Zitiert nach GA Reihe IIB, Band 18/2, S. 13–80.

BAZ 2008: Briefe an G. Zeithammer. Zitiert nach GA Reihe III, Band 4/2, S. 31–153.

BAR 2008: Briefe an J. P. Romang. Zitiert nach GA Reihe III, Band 4/2, S. 155–173.

Bolzano (64), 1935: [Briefe an F. Exner] = Winter, Eduard (Hg.): Bernard Bolzano's Schriften. Bd. 4. Prag: Kgl. Böhmische Gesellschaft d. Wissenschaften.

Sekundärliteratur

Bense, Max, 1948/1950: Bernard Bolzano. Ein Vater der modernen Logik, Mathematik und Philosophie. In: *Hamburger akademische Rundschau* 3, S. 769–777.

Berg, Jan, 1999: Naturphilosophie, Physik und Mathematik bei Bolzano. In: Morscher, Edgar (Hg.): *Bernard Bolzanos geistiges Erbe für das 21. Jahrhundert*. Sankt Augustin: Academia, S. 257–265.

Dubislav, Walter, 1931: Bolzano als Vorläufer der mathematischen Logik. In: *Philosophisches Jahrbuch* 44, S. 448–456.

Dummett, Michael, 1988: *Ursprünge der analytischen Philosophie*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.

Ebbinghaus, Heinz-Dieter, 1994: *Einführung in die Mengenlehre*. Mannheim etc.: Wissenschaftsverlag.

Husserl, Edmund, 1975: *Logische Untersuchungen. Erster Band. Prolegomena zur reinen Logik*. (Husserliana, Bd. XVIII.) Den Haag: Nijhoff.

Krause, Andrej, 2004: *Bolzanos Metaphysik*, Freiburg – München, Karl Alber.

Krickel, Frank, 1995: *Teil und Inbegriff. Bernard Bolzanos Mereologie*. Sankt Augustin: Academia.

Künne, Wolfgang, 1998: Substanzen und Adhärenzen. Zur Ontologie in Bolzanos *Athanasia*. In: *Philosophiegeschichte und logische Analyse* 1, S. 233–250.

Rootselaar, Bob van, 1975: Anmerkungen. In: ders. (Hg.): *Bernard*

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Bolzano. Paradoxien des Unendlichen. Hamburg: Felix Meiner, S. 133–149.

Schnieder, Benjamin, 2002: *Substanz und Adhärenz. Bolzanos Ontologie des Wirklichen*. Sankt Augustin: Academia.

ders., 2008: Bolzanos zwei Substanzbegriffe. In: *Zeitschrift für philosophische Forschung* 62, S. 97–107.

Sebestik, Jan, 1999: Bolzanos Paradoxien des Unendlichen. In: Morscher, Edgar (Hg.): *Bernard Bolzanos geistiges Erbe für das 21. Jahrhundert*. Sankt Augustin: Academia, S. 231–255.

Simons, Peter, 1997: Bolzano on Collections. In: *Grazer Philosophische Studien* 53, S. 87–108.

Tapp, Christian, 2012: Anmerkungen. In: ders. (Hg.): *Bernard Bolzano. Paradoxien des Unendlichen*. Hamburg: Felix Meiner, S. 169–222.

Textor, Markus, 1996: *Bolzanos Propositionalismus*, Berlin/New York: de Gruyter.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

David Hommen

Negative Properties, Real and Irreducible

Abstract

Few philosophers believe in the existence of so-called negative properties. Indeed, many find it mind-boggling just to imagine such properties. In contrast, I think not only that negative properties are quite imaginable, but also that there are good reasons for believing that some such properties actually exist. In this paper, I want to defend the reality and irreducibility, or genuineness, as I call it, of negative properties. After briefly presenting the idea of a negative property, I collect commonly invoked tests for the realness of things and attend to the question whether negative properties pass any of these. Next, I try to segregate the many different notions of irreducibility, probing whether negative properties can be reckoned to be genuine in any sense of the word. In the final section, I rebut some frequent objections raised against negative properties.

Zusammenfassung

Wenige Philosophen glauben an die Existenz sogenannter negativer Eigenschaften. Die meisten halten solche Eigenschaften sogar für unvorstellbar. Ich dagegen halte negative Eigenschaften nicht nur für denkbar, sondern glaube darüber hinaus, dass solche Eigenschaften tatsächlich existieren. In diesem Aufsatz möchte ich die Wirklichkeit und Irreduzibilität – oder Echtheit – negativer Eigenschaften verteidigen. Nachdem ich kurz die Idee einer negativen Eigenschaft vorstelle, ziehe ich geläufige Kriterien für die Realität von Dingen heran und überprüfe, ob negative Eigenschaften diese erfüllen. Als nächstes unterscheide ich verschiedene Begriffe von Irreduzibilität, um zu überprüfen, ob negative Eigenschaften als echt in irgendeinem Sinn des Wortes betrachtet werden können. Im letzten Abschnitt möchte ich einige häufige Einwände gegen negative Eigenschaften zurückweisen.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

1 Introduction

Few philosophers believe in the existence of so-called negative properties, such as the property of not being of a certain quality, the property of not being a thing, state or event of a certain kind, or the property of not performing a certain act or behavior. Indeed, many find it mind-boggling just to imagine such properties. In contrast, I think not only that negative properties are quite imaginable, but also that there are good reasons for believing that some such properties actually exist.

In this paper, I want to defend the reality and irreducibility, or genuineness, as I call it, of negative properties. After briefly presenting the idea of a negative property, I collect commonly invoked tests for the realness of things and attend to the question whether negative properties pass any of these. Next, I try to segregate the many different notions of irreducibility – probing whether negative properties can be reckoned to be genuine in any sense of the word. In the final section, I rebut some frequent objections raised against negative properties.

2 Negative properties

Day-to-day negative statements seem to make plenty use of expressions that denote negative properties. Consider a singular negation like "The rag is not red". Such a claim certainly *can* be understood as simply saying of the rag that it *lacks* the property of being red. Yet, someone who utters the sentence after having been asked, for instance, why the bull did not react to the torero's waving the rag is more likely to be understood as *denoting* a property of the rag which he or she takes to be causally relevant for the bull's inactivity. Not so much *denying* that the rag has a property (of positive kind), the causal context of the situation suggests to interpret the speaker as *affirming* that the rag has a property (of a negative kind): the property of not being red.

Alas, negative existence is reputed to be paradoxical; for it seems to involve both existence and non-existence:

We cannot specify the fact of non-existence except in terms of the thing itself, which does not exist. Thus the existing thing seems to be involved in this fact,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

as a constituent of it. Thus the thing has to exist as a condition that it should not exist. It seems that non-existence is a logical impossibility, which is surely absurd. (Toms, 1972, 7)

It is because of this alleged "paradox of negation" that negative existence has become something of the ontologist's ultimate nightmare – which Parmenides famously tried to exorcise, in apotropaic fashion:

Never shall it force itself on us, that that which is not may be; Keep your thought far away from this path of searching. (Parmenides, as cited by Plato, cf. Plato, *Sophist*, 258d [1997, 282])

Grown up in this tradition, many philosophers are trained to believe that negative properties, being negative existences, are paradoxical, too. As they see it, negative properties involve presence and absence at once, their presence implying as a constituent the very property that is implied to be absent. No wonder then that these philosophers, hagridden again by Parmenidean nightmares, are desperate to ban negative properties from the realm of being.

Yet, such qualms can be shown to be unfounded. A way to dissolve the paradox of negation is to adopt a linguistic approach to negative properties. Following this approach, ontic kinds are generally thought to be *indirectly describable* in terms of the linguistic kinds whose referents they are. From the perspective of linguistic analysis, then, negative properties can be reckoned as properties that are denoted by negative predicates. The term "negative" in "negative properties" does not allude to some ominous ontic quality of the properties themselves. Rather, it resorts to how we conceptualize these properties: Those properties we call negative which we use to single out – due to limits of our linguistic resources, perhaps – by describing how they are not. While the adjectival use of "negative" in "negative properties" tempts to assign negativity to properties, it is the predicates that get negated, not the properties. In this way, the linguistic approach retrieves the fact, buried by the term "negative properties", that negation is first and foremost a logical operation, and not an ontological category. While properties may be called positively and negatively, they do not exist positively or negatively: negative properties are or they are not, just as positive properties are or are not.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

3 Reality

Now, while linguistic analysis may reveal the ontological commitments of our language, it alone certainly cannot decide what "really" exists, and how it "really" is. By no means should language be regarded as an infallible guide to reality. Quite the opposite: in order to arrive at sustainable ontological conclusions, one has to carefully check how far one can take, so to speak, language at its word. Since the relation between linguistic and ontological facts is not one of strict entailment but at most some contingent kind of mapping, or correspondence, it seems logically possible that the picture of reality language draws is occasionally distorted, if not completely deceptive. Admittedly, it would be rather unwarranted to assume that our conceptual representation of the world goes entirely astray. But equally implausible would seem the hypothesis that language gets it right all the time. The very possibility of deviation gives us reason to expect some mismatches, language sometimes failing to reveal the true structure of the world, if there is such.

One manner in which language and reality might diverge is that there might be expressions in our linguistic repertoire, which do not refer (although they purport to do so) to *real* entities. By this I basically mean that there may be linguistic expressions that do not refer at all: There is nothing in reality which corresponds to them, and although they have descriptive content, their claims never have a *fundamentum in re*, but are systematically frustrated because of referential vacuity.

Just this might be the case with negative properties: Negative predicate terms might fail to refer to real properties. It may be the case that really no properties correspond to negative predicates, and that descriptive statements that employ such predicates are systematically false. It should be clear that sterile linguistic analysis will not suffice to settle the matter. A language-immanent investigation might help to clarify whether our descriptive discourse makes use of negative predicate terms to denote negative properties or not. But it alone will not be able to elucidate whether negative predicate terms actually refer to non-linguistic realities. For this to decide, we require *language-transcendent* criteria, criteria that are suited to demarcate real from, as one might say, "mere" negative properties, viz. pure concepts.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

3.1 Criteria

When is a negative property a *real* property – instead of a "mere" concept? What is it, in general, for something to be real? What, in other words, are the criteria of reality? In the course of philosophical history, a plethora of such criteria has been proffered. Most of them, however, revolve around two basic ideas: *perceptibility* and *explanatoriness*. The former idea is echoed in George Berkeley's principle *esse est percipi*, which has laid the foundation not only of his own idealist ontology but of much of the Anglo-Saxon empiricist tradition. According to this principle, whatever we are able to directly perceive (in whatever sense of perception) is real. Empirical evidence is taken to be sufficient for realness. Indeed, many phenomena we deem real on grounds of our acquaintance with them in experience. Mental phenomena provide the paradigm case here: the reality of thoughts, sensations, emotions, etc. is verified by their very introspection, nothing else being required to vindicate their given.

However, there are other entities which are taken for real despite not being directly observable. These comprise, *inter alia*, the many theoretical postulates of science. Molecules, quarks, electricity, gravitation, etc. supply, per definition, the unobservable explanatory bases of observable phenomena, and are taken to be real exactly because they are explanatorily relevant (in whatever sense of explanatory relevance): they have earned their keep, as it were, and therefore gain admission to our ontology. Explanatoriness as a criterion of the real, hence, has been condensed into the motto of many philosophers of science who say, "Being is doing." Real is whatever does an indispensable job within our explanatory practice.

Some theorists would perhaps like to merge the two criteria – proposing, for instance, that perception requires an explanatory (viz. causal) connection from the perceived object to the perceiving subject – or else dismiss one in favor of the other. Alternatively, my Solomonic suggestion would be to take each criterion as a sufficient criterion for realness, but none as a necessary one on its own. If anything, it would be the *disjunction* of both that could make for a necessary condition: only what is empirically evident *or* explanatorily indispensible can be real. If this suggestion is admissible, then we might agree, for the present purposes, on the following reality criterion: An entity x is a real entity if and only

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

if *x* is (i) directly perceivable, or (ii) indispensible to explain perceivable phenomena.

So, are negative properties real – rather than mere conceptual – entities? Now that we are given our reality criterion, we may divide the question into two sub-questions: (a) Are negative properties directly perceivable? (b) Are negative properties indispensible to explain perceivable phenomena? If (a) or (b) can be answered positively, then negative properties will be real. I will now attend to both issues consecutively.

3.2 Perceptibility

Are negative properties directly perceivable? One might believe this question to be easily answerable. It just feels natural to say that one can *see* that this rag is not red, that it is not raining, or that somebody fails to do something. It has to be admitted, though, that the issue is complicated by a number of factors. One complication is that it is generally controversial what is to be included under "directly perceivable". The notions of perception, observation, experience and the like have a range of different meanings, some broader, some narrower. In a generous sense of perception, one may even perceive theoretical entities like atoms. In a restricted sense, one cannot even perceive ordinary objects in one's environment but only one's mental impressions of them. What is at issue here is whether, and to which extent, perception is allowed to be theory-laden.

In this connection, some philosophers might press the point that it is cognitively more demanding to process information about negative properties than it is to process information about positive properties, for the reason that negative properties are properties that are conceptually *construed* out of their positive counterparts. Hence, the cognition of negative properties seems to require additional inferential steps, and so is disqualified as perception in the narrow sense. Knowledge about absences, or confidence about something's lacking a certain property, so it seems, cannot be directly gathered in perception but has either to be inferred from other perceptions – for instance from the perception of that thing's having an opposite property that excludes its having the property which it actually lacks – or else acquired through non-perceptual, theoretical reasoning.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

This line of thought, however, succumbs to what Sommers calls the "nominalistic error of thinking that we have first one positive term *P* primitively given and then a negative term *Q* defined by means of it (through the function $Qx \equiv \sim Px$)" (cf. Sommers, 1970, 4). While this thinking is fostered by the circumstance that natural languages usually do not use explicit positive prefixes for positive property concepts (in the way they use negative prefixes for negative concepts), it nevertheless shrouds the fact that the rules of application of positive and negative concepts are intimately intertwined:

> … we cannot be said to know how to apply *either* member of a pair of contrary terms without already knowing something about the application of the other member of the pair. Classically, terms are *initially* construed as 'charged' or polarized with respect to their logical contraries. (Sommers, 1970, 5)

So, positive and negative concepts, and the properties they represent, turn out to be on the same level in terms of cognitive complexity. But then, if redness is a perceivable property, then non-redness should be perceivable, too. One could even go so far as to think the perceptibility of the one is a precondition of the perceptibility of the other: One could argue that in order to be able to discriminate visually between redness and other colors, one has not only to be able to see red, but, in addition, to recognize when something is *not* red. Yet then, the cognition of negative properties such as non-redness, far from demanding sophisticated intellectual capacities, would seem rather primal.

A principled method to assess whether properties (positive or negative) are perceivable in the strict or narrow sense is to test whether the corresponding (positive and negative) concepts are *ostensively teachable*. If subjects are able to learn a concept by ostension, from a small sample of instances, and correctly apply it to a sufficiently large number of new instances, then there is a strong reason to believe that this concept is a theory-neutral observation concept. The acquisition of the capacity to identify new concept instances would seem rather miraculous as long as it were not assumed that the subjects have recognized a common perceptual feature in the instances to which they were exposed during the phase of ostensive training.

It would seem that many negative property concepts easily pass this "ostensive learning experiment" (Schurz, 2011, 63). In this context, Ayer imagines a community where blue things are sacred, and not admitted

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

to be named in ordinary life. For non-blue things, the members of the community use a single word, "eulb". Ayer elaborates,

> Children are taught the use of the word 'eulb' [viz. 'non-blue'] ostensively, but not the use of the word which stands for blue. They learn to refer to blue objects, which, let us further assume, they are seldom if ever allowed to see, simply as not being eulb [viz. as not being non-blue]. Thus it is 'eulb' ['non-blue'] that they regard as the positive predicate … (Ayer, 1952, 807)

Since the subjects in Ayer's story seem able to acquire the concept "eulb" by ostension, it seems correct to say that they genuinely perceive the eulbness – viz. non-blueness – of things. I conclude that there is no reason why not at least some negative properties can be directly perceived and thus be allowed to count as real. As long as we are speaking of negative properties that are defined against perceivable positive properties, it seems plausible to assume that we can perceive them, too, whenever they are instantiated.

3.3 Explanatoriness

Are negative properties indispensible to explain perceivable phenomena? This question, I presume, should be a lot easier to answer. Actually, I would hold that it is more than anything evident that negative properties serve to account for phenomena. Both in folk and scientific explanatory practice, we regularly, and without any difficulty, refer to negative properties of agents, viz. their *omissions*, in order to explain why things occur. What is more, in many cases it seems that we *have* to refer to agents' omissions in order to be able to explain why things occur. Not only does it seem completely *satisfactory* to refer to A's failure to water B's flowers to explain why they died, it also seems *necessary* to mention A's omission in order to yield a satisfactory explanation of the flowers' death. But also in contexts beyond the sphere of human action, we often refer to *negative states* and *events* in order to explain the occurrence of other states and events. Thus, scurvy is explained by lack of vitamin C, and draught is explained by lack of rain.

Evidences notwithstanding, some have denied that negative properties possess any causal-explanatory powers. Here goes David Armstrong:

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

> To say that lack of water caused his death reflects not a metaphysic of the causal efficacy of absences but merely ignorance. Certain (positive) processes were going on in his body, processes which, in the absence of water, resulted in a physiological condition in virtue of which the predicate 'dead' applied to his body. (Armstrong, 1980, 44)

Notice, however, that even Armstrong is unable to avoid including the phrase "in the absence of water" into his supposedly positive explanation of bodily dehydration (cf. Meixner, 1992, 33). In fact, he demonstrates that this phrase cannot be cut out of the explanation, because otherwise, the statement would become blatantly false: whatever physiological processes are going on in a body, they will not cause the body's death as long as water is present. There is no way around acknowledging negative factors (like a body's containing not enough water) as causal factors indispensable, if not essential, for the bringing about of certain effects (like dehydrations).

Explanatory relevance of negative properties need not be confined to causal relevance. Negative states of affairs, viz. presences of negative properties, might also be involved in the constitution of objects. Negative objects, such as holes, give an obvious example:

> … we propose to treat a hole as a negative fact surrounded, spatially, by an appropriate positive fact (recall that we treat facts as spatiotemporally located entities). More precisely: an absence of *F*-stuff (a negative fact) constitutes a hole insofar as it is surrounded by the presence of *F*-stuff (a positive fact). (Barker & Jago, 2012, 131)

In a similar vein, negative properties such as not smoking, not swimming and not voting might be said to be constitutive of non-smokers, non-swimmers, and non-voters.

Last but not least, another explanatory role of negative properties is their role in the truth-making of negative statements. Consider a singular negation like "This rag is not red". Interpreted as saying that the rag has a property that is the property of not being red, this statement is plausibly made true by the rag's exemplifying the property of not being red. The rag's being non-red explains why the statement that this rag is not red is true. I conclude that there is plenty of evidence that some negative properties are explanatorily relevant, such that their reality has to be assumed in order to account for phenomena.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

4 Irreducibility

Another manner in which language and reality may come apart is that there might be linguistic expressions, which do not refer to (what I would like to call) *genuine* entities. By this I mean that there may be expressions that do refer to real entities, yet where the entities denoted can be *identified* with, or else *reduced* to, entities describable in a different – perhaps more fundamental – vocabulary, thus making the use of the expressions in question in some way or other redundant for a comprehensive depiction of the world.

Now and then, reductionism is likened to eliminativism. This assimilation, however, seems unjustified. Elimination is usually neither intended nor implied in reductionist strategies. Even semantic reductionism – the position that holds that certain predicates can be translated without loss of meaning into other predicates – is not committed to the position that predicates thus translatable should be discarded from our vocabulary. What is common, however, to eliminativism and reductionism is that items that are subject to reduction can be no more genuine, or proper, entities in the eyes of the reductionist than are eliminable items in the eyes of the eliminativist. Even for the reductionist realist, reducible things must be denied a self-sustained existence. Their inclusion into the ontological inventory goes without an expansion of the realm of being, the reality they enjoy being derivative and wholly dependent on the realness of the items to which they are reduced. Indeed, if they can be said to exist at all, then this will have to be meant in a more nominal than literal sense of "to exist".

Now, when we ask whether negative properties are reducible or not, what interests us is, of course, whether negative properties are reducible to positive properties. This, I assume, will be for many theorists the pivotal issue of the debate. For even if many agree that one can perceive in some sense things failing to be so-and-so and even has to rely on negative states of affairs in explanations from time to time, they still will be reluctant to grant negative properties an existential status on a par with other acknowledged forms of being. These theorists might want to insist that what we actually perceive and rely on are, in the end, positive properties, viz. properties which we could – not exactly pragmatically, but principally at least – denote in purely positive terms just as well, and which would supply the perceptions and explanations associated with negative

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

properties equally well. Not so much the reality of negative properties, it appears, is the crux of the matter, but rather their irreducibility.

There are diverse notions of reducibility, and therefore many different senses in which negative properties could be or not be irreducible, and hence, genuine. Roughly, one can tell *logical*, *semantical*, *ontological*, and *functional* types of reduction. Logical and semantical reductions are anchored at the linguistic level, and so are particular *strong* types of reduction. Conversely, if negative properties were irreducible just in the logical or semantical sense, then this would be a rather *weak* form of irreducibility; for negative properties could nevertheless prove to be ontologically or functionally reducible to positive properties. On the other hand, if it could be shown at least for some negative properties that they cannot be reduced even within the weakest conceptions of ontological or functional reduction, then this would make for a particularly strong kind of irreducibility.

I now discuss the different reductionist types consecutively, seeing whether negative properties withstand reduction on any account and hence can be said to be genuine.

4.1 Logical

Logical reduction aspires to be the strongest possible type of reduction; for it tries no less than to reduce the logical operation of negation to other, allegedly more primitive functions of the logical calculus. Russell, for instance, found that negation can be defined in terms of material implication (cf. Russell, 1964, 18):

$$\sim p := p \rightarrow \forall q(q) \tag{1}$$

Since the consequent of the conditional $p \rightarrow \forall q(q)$ is necessarily false (q can be any contradiction), the antecedent is necessarily false, too; hence, $\sim p$.

Another attempt has been to define the negation-operator in terms of Sheffer's stroke operator:

$$\sim p := p \mid p \tag{2}$$

where $p \mid p$ just means that $(p \wedge p)$ is false, and since necessarily $p \rightarrow (p \wedge p)$, so again, $\sim p$.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

However, whether or not (1) and (2) provide apt re-descriptions of "$\sim p$", it should be clear that they are not apt as definitions of negation (cf. Gale, 1976, 6). For the stipulations in (1) and (2) do not appear to be understandable prior to an understanding of "not". To understand that $\sim p$ results from $p \rightarrow \forall q(q)$, one has already to understand $\sim\forall q(q)$. And $\sim p$ also follows from $p \mid p$ only because $p \mid p$ already means $\sim(p \wedge p)$.

An additional problem with logical reductions of this type is that they equate negation with falsehood. But falsity, as Austin has pointed out, just does not seem to capture the meaning of "not" as it is used in sentences of the kind "This rag is not red". While this particular sentence seems to make a statement about the rag (saying that it is not red), the sentence "It is false that this rag is red" seems to be a statement about the statement that the rag is red (saying that it is false). Thus, reduction of negation to falsehood seems to conflate first-order and second-order language (cf. Austin in Austin, Strawson & Cousin, 1950, 122-3).

Alternative attempts, originating from a proposal brought forth by the stranger in Plato's *Sophist*, have been to reduce negation to *difference*:

> It seems that when we say *that which is not*, we don't say something contrary to *that which is*, but only something different from it. (Plato, *Sophist* 257b [1997, 280])

Depending on how they interpret the meaning of "being different", difference-accounts of negation reduce "being *not F*" to "being *other than F*" or to "being *opposite to F*". Alas, although these accounts do not succumb to the conflation of language and meta-language that dooms falsity-accounts, they, too, fail to qualify as reductive analyses of negation (regardless how well they fare as analyses per se), for otherness and oppositeness obviously mean *non*-identity and *in*compatibility respectively, thus being inherently negative notions themselves (cf. Horn, 2001, 51).

Altogether, the prospects of logical reductions of negativity seem rather dim. Negation appears to be too primitive a notion as to be reducible to other logical primitives. As Peirce concedes:

> The conception of negation … is one of those ideas which must have been fully developed and mastered before the idea of investigating the legitimacy of reasonings could have been carried to any extent. (Peirce, 1965, 224)

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

It appears that the negativity of negative properties cannot be charmed away with logical trickery.

4.2 Semantical

According to *semantical reduction*, a negative property, say *~F*, is reducible to a – simple or complex – positive property, say *G*, if and only if the linguistic expression for *~F*, viz. "*~F*", can be *translated*, without loss of meaning, into the linguistic expression for *G*, viz. "*G*". Correspondingly, *~F* would be semantically irreducible to *G* if and only if "*~F*" were not translatable into "*G*".

There is reason to believe that many negative properties are irreducible in this sense. Consider again negative color properties: One attempt, for instance, could be to translate a predicate like "not being red" into a disjunctive predicate like "being green *or* being blue *or* …" The problem with this proposal, alas, is not only that we probably will not be able to know all the disjuncts but also that we will have no clue how we could recognize novel disjuncts as we encounter them, at least not as long as we do not already know that they are instances of not being red (cf. Gale, 1976, 14). Someone who just learns "being green *or* being blue *or* …" without learning how to continue the list will not have learned the meaning of "not being red", because he or she will not be able to recognize, for example, something's being yellow as a further instance of not being red. The case is not comparable to the case of translating "being even" with "being 0 *or* being 2 *or* being 4 *or* …", where, even though we cannot know all the disjuncts either, we can give a method how to distinguish future disjuncts: for any number n, n will be a disjunct if $n = 2k$, where $k \in \mathrm{N}_0$.

For similar reasons, we will not learn the meaning of a negative predicate like "not watering the flowers" by learning a whatsoever complex disjunctive predicate like "reading a book *or* cooking in the kitchen *or* lying in bed *or* …"; for no matter how comprehensive the disjunction will end up to be, we simply will not have learned what holds together its disjuncts – in virtue of *what* they are included in the disjunction. Thus, it seems that quite a few negative properties are semantically irreducible to positive properties.

Yet, for many theorists, this kind of irreducibility will probably not

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

suffice to call negative properties genuine. For them, negative properties, if they are to be honored with genuineness, will have to be irreducible in a more robust sense of the word.

4.3 Ontological

According to *ontological reduction*, a negative property *~F* is reducible to a (simple or complex) positive property *G* if and only if *~F* and *G* are *universally correlated*. Variants of ontological reduction can be graded vis-à-vis their modal strength: whether it is demanded that *~F* and *G* be *metaphysically*, *nomologically*, or just *factually* correlated. Correspondingly, *~F* would be ontologically irreducible to *G* if and only if *~F* failed to be universally correlated with *G* – factually, nomologically, or metaphysically.

It seems that many ontological reductions of negative properties are bound to fail. On the one side, negative properties are neither uniquely correlated with single positive properties, nor with finite sets thereof. Non-redness, for instance, surely is not universally correlated with a single positive color property; nor can it be plausibly said to be universally correlated with a finite set of positive colors. Even if there were, in the factual world, some finite set of non-redness-correlates, it would always seem nomologically, and even more metaphysically, possible for non-redness to be *not* correlated with a property contained in this set. Likewise in the case of not watering the flowers: this, too, seems neither to be universally correlated with a single positive action nor with a finite set thereof. There surely exist at least nomologically, and even more certainly metaphysically possible worlds in which an agent fails to water some flowers without instantiating any of the action-types contained in any such set.

On the other side, positive properties themselves are neither uniquely correlated with single negative properties, nor are they correlated with finite sets thereof. Greenness, for instance, is not only correlated with non-redness, but also with non-blueness, non- yellowness and countless other negative color properties. Cooking in the kitchen is, if at all, not only correlated with not watering the flowers, but also with not lying in bed, not reading a book, and myriad other omissions. Taken together, there just do not seem to be definite one-to-one, or many-to-many, correlations between negative and positive properties.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

There will be, however, theorists not convinced by these arguments and still confident that one can ontologically reduce negative properties to positive ones on the basis of the assumption that, although perhaps negative properties cannot be said to determine single positive properties, and not even finite sets thereof, they may still be completely determined by (sets of) positive properties. What is required for ontological reduction, according to these theorists, are not necessarily Nagelian biconditional bridge-principles, but just one-way "principles of derivability" (cf. Richardson, 1979, 548). We may call such an account *weak ontological reductionism*. According to it, something's not being red, or somebody's not watering the flowers at time *t*, is metaphysically, nomologically, or at least factually implied by the totality of positive colors of that thing, and the totality of actions of that person at *t*, and this asymmetric entailment relation is all that is needed to ascertain the ontological primacy of the positive.

It must be admitted that many negative properties *seem* to be implied by (sets of) positive properties. This is most obvious in the case of negative colors, but it may be the case for many negative actions, too. Yet, the reductionist optimism that close inspection will *always* reveal enough positive conditions to determine negative properties seems rather unfounded. It seems absolutely possible (metaphysically, nomologically, and even factually) that there are negative states of affairs, lacks and omissions that are *not* necessitated by how the world is, positively described. As Richard Taylor puts it:

> … it is "common sense" to say that the world is constituted of "hard facts," but not of irreducibly negative ones. If something is not so, then it must be because something real … prevents it; if anything lacks some property, this must be because it has some other property which is incompatible with … the first … But … there really is not the slightest reason, beyond the prejudices of common sense, for believing all this. For is it not quite common for a substance simply to lack some property or other, without having any other property that is incompatible with what it lacks, or for certain things simply to be absent from the universe, without being positively excluded by what the universe contains? (Taylor, 1952, 447)

What is not red does not have to be green, blue, or whatever color that would prevent it from being red – it does not have to be colored at all: it might be completely colorless, like a drop of water, without that necessarily having to exclude its *possibility* to be colored. Likewise, one

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

may doubt that every omission of an agent can be derived from what the agent does at the time of his omission: someone failing to water the plants certainly does not necessarily have to act or to behave in a way that would be incompatible with his watering the plants. From A's watching television, for instance, one cannot conclude that A fails to water the flowers; for A could do both: watching television and watering the flowers concurrently.

Summarizing then, it is reasonable to expect that there are negative properties that resist ontological reduction, both in its strong and its weak version.

4.4 Functional

According to *functional reduction*, *~F* is reducible to a *G* if and only if *G* implies the causal properties of *~F* . *~F* 's causal properties include both its forward-looking causal features (*~F* 's typical effects) and its backward-looking features (*~F* 's typical causes). If these features form a subset of the causal properties of *G*, then *G* realizes *~F* , and *~F* is functionally reducible to *G*. Correspondingly, *~F* would be functionally irreducible to *G* if and only if *G* failed to imply *~F* 's causal properties.

There seem to be enough negative properties that escape functional reduction. Consider a rag's not being red. Concerning its forward looking causal features, it seems that it is the rag's not being red what causes the bull to stay calm, but not it's being green, blue, or whatever color it has instead of red. Concerning its backward-looking causal features, it seems that the manufacturer's lacking red paint might be what caused the rag not to be red, but it certainly is not what caused it to be green or blue. Likewise in the case of negative action: On the one hand, it seems that A's not watering the flowers, but not his cooking in the kitchen or lying in bed or whatever A does instead of watering the flowers, causes the flowers to die. On the other hand, B's telling A not to water the plants might cause A not to water the plants, but it certainly does not cause A to cook in the kitchen or to lie in bed.

So obviously, positive properties do not always imply the causal properties of negative properties, even when they determine – and do so by metaphysical necessity, if you like – the negative properties in question. Quite the opposite, negative properties often own their specific causal

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

properties independently of, and metaphysically prior to, the causal properties of their positive determinants.

It might be objected that the argument begs the question. Since negative properties are implied by positive properties, their causal properties, so the objection goes, must also be implied – contrary to appearances, perhaps – by their positive determinants. Thus it might be argued that the rag's being green (or it's being blue or whatever), after all *does* cause the bull to stay calm, since it implies the rag's not being red, and likewise that A's cooking in the kitchen (or his lying in bed or whatever) after all *does* cause the flowers to die, since it implies A's not watering the flowers.

I grant that it is a Moorean premise to think the rag's being green does *not* cause the bull to stay calm (because it really is the rag's not being red what causes its calmness), and to think cooking in the kitchen does *not* cause the flowers to die (because it really is not watering them what causes their death). However, considering other cases that do not involve negative properties can perhaps strengthen the thought that even negative properties metaphysically necessitated by positive properties can differ from their determinants with respect to their causal properties. Elliot Sober (1982) provides the example of a mechanical device which reacts to the *triangularity* (the property of having three angles), but not to the *trilaterality* (the property of having three sides), of closed straight-sided objects, being constructed such that it outputs a certain behavior O when the input object has exactly three angles (cf. Sober, 1982, 185). Here it is intuitive to think that it is a closed straight-sided object's triangularity, but not its trilaterality, what causes the device to output O – despite the fact that by metaphysical necessity, any closed straight-sided trilateral is also a closed straight-sided triangle, and *vice versa*. It is intuitive to think that because the device, due to the way it is constructed, is *sensitive* only to the former property, but not to the latter.

Returning to our cases, it might be of help to think of bulls as redness/non-redness-detectors, which exhibit behavior O_1 (going wild) when being presented a red rag, and behavior O_2 (staying calm) when being presented a non-red rag. With respect to O_1 and O_2, bulls are sensitive to redness and non-redness, but not to greenness, blueness or other colors; in fact, we could imagine that bulls, due to the way how they are "constructed", are incapable of registering colors other than red-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

ness. Their redness/non-redness-sensitiveness then makes understandable the intuition that the rag's being green, blue, or whatever, is *not* the cause of the bull's reaction, but only it's not being red. Similarly, we can think of flowers as water/no-water-detectors, reacting to provision of water with output O_1 (blossoming), and to privation of water with output O_2 (dying). Again, flowers appear, due to their "construction", as it were, to be insensitive to inputs other than water and no-water, and this is why it is *not* someone's cooking in the kitchen or lying in bed or whatever, but only someone's not watering the flowers what causes them to die.

The functional irreducibility of negative properties to positive ones is a particular strong kind of irreducibility. First, negative properties would remain irreducible in this sense to positive properties even if they were reducible to them in the (weak or strong) ontological sense. Second, on a very plausible assumption about property identity, functional irreducibility provides a strong reason for thinking negative and positive properties are robustly distinct. The assumption is this: part of the identity of a property is the identity of its causal properties.

Many reductionists, I expect, will share this assumption. In fact, most naturalists subscribe to an even stronger thesis, namely that the identity of a property's causal properties is the identity of the property. For instance, Sydney Shoemaker suggests that

> what makes a property the property it is, what determines its identity, is its potential for contributing to the causal powers of the things that have it … if under all possible circumstances properties *X* and *Y* make the same contribution to the causal powers of the things that have them, *X* and *Y* are the same property. (Shoemaker, 1980, 212)

But even from the aforementioned weaker assumption, one can infer that if negative and positive properties have different causal properties, they are different properties. Since the discussion of functional reductionism has shown that some negative properties have causal properties different from the causal properties of positive properties, one can infer then that some negative properties are different from positive properties.

To summarize the results of the last section, I like to suggest that there are negative properties – such as negative color types and many negative action types – that are not reducible to positive properties, to wit,

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

on any conception of reduction, and hence are dignified to be called genuine properties.

5 Objections

In the preceding sections, I have defended the genuineness of negative properties. I argued that there are properties which are denoted by negative predicate terms, which either can be directly perceived or else are explanatorily indispensible, and which are logically, semantically, ontologically and functionally irreducible to properties denoted by positive predicate terms. To round off the discussion, I want to rebut some of the most frequent objections against negative properties.

5.1 Proliferation

A quite prominent objection against negative properties is the objection from *proliferation*. This is a kind of slippery slope argument, which augurs that admission of negative properties will incur an immeasurable proliferation of properties. Individuals will have to be attributed not just a variety of positive properties, but a countless number of negative properties *on top*. What is green will not be red, but also not blue, not yellow, etc., and who is lying in bed will not be watering the flowers, but also not be cooking in the kitchen, not be working in the office, etc. – *ad infinitum*.

How can this objection be met? First of all it has to be reminded that mere increase in the number of entities is not to be discredited as profligate ontology *as long* as the number of entities is not increased without reason. But this is guaranteed in our conception of negative properties: Since many negative properties are directly perceivable or explanatorily indispensable, it is reasonable, even on Occamist standards, to assume their reality.

Besides, the supposed inflation of properties is curbed, in fact, by several conditions that any entity x must satisfy in order to be eligible as a bearer of a negative property $\sim F$. A first condition is that x be of a kind that is capable of instantiating properties of the range to which $\sim F$ belongs. Not any range of properties applies to any kind of entities.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Color properties, for instance, can be attributed to objects, but not to events. It may be an event that the traffic light turns red. The event itself, however, is not red. Yet, it is not non-red either. It makes no sense to deny an event a specific color, as much as it does not make any sense to attribute a color to an event, on pain of a clash of categories. Events are ineligible as bearers of color properties, whether they are positive or negative.

A second condition is that *x* has no properties at time *t* which semantically, ontologically or functionally *imply x*'s having *F* at *t*. This should be self-explanatory: what happens to be red, scarlet or crimson (all over), cannot be not red (all over) at the same time.

The first and second condition nicely dovetail with Aristotle's observation that negative predicates obey the *Law of Contradiction* (something *cannot* be both red and non-red), but not the *Law of the Excluded Middle* (something *can* be *neither* red *nor* non-red) (cf. Aristotle, *Prior Analytics*, Book I, Chapter 46). A third condition, however, is implied in genuinism: For *x* to instantiate *~F* at a time *t*, it is necessary that *x* has no properties at *t* that are semantically, ontologically or functionally *incompatible* with *x*'s having *F* at *t*. This condition requires it to be possible for an entity, in order to instantiate a negative property at a specified time, that it principally could, though it actually does not, instantiate the positive counterpart of that property at that time. For if it were semantically, ontologically or functionally implied by some of *x*'s properties that *x* could not have *F* at time *t*, then *x*'s having *~F* at *t* would be *reducible* to these properties of *x* – and this is ruled out within the genuinist conception of negative properties. Consequently, something that is situated to the right is not *additionally* situated to the non-left; and the one who accedes to a request does not fail to refuse that request *additionally*.

5.2 Causal inertness

Another argument against negative properties is the argument from *causal inertness*. It can be summarized as follows: Only causally potent properties are real. Negative properties are causally inert. Hence, negative properties are not real (cf. Armstrong, 1980, 25).

The first premise of this argument rests on a principle, sometimes

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

called the Eleatic Principle (named after the Eleatic stranger in Plato's *Sophist*, who first advocated it; cf. Colyvan, 1998, 313), which specifies causality as the mark of reality: to be is to be causal. Of course, while it has gotten a particular high currency among philosophers (especially those with naturalist aspirations), one may criticize the Eleatic Principle for being too restrictive: there are kinds of explanatory relevance other than causal relevance that seem apt to justify assumptions of realness (cf. section 3.3).

Also, one may cast doubts on the second premise of the argument: that negative properties are causally inert. Why should we accept that? The foes of negative causation usually argue that negative properties are causally inert *because* they are not real (cf. Moore, 2009, 54-5). This reasoning, however, is not available to the proponent of the present objection, since it would render his argument viciously circular. Another line of thought could perhaps be that negative properties are causally inert because only physical properties are causally potent, but negative properties are not physical properties. But then, only physical properties could be real, which is questionable as an *a priori* hypothesis.

5.3 Dissimilarity

Another objection to negative properties is that their instances are too *dissimilar* as to be able to be attributed a common quality. As Randoph Clarke writes:

> Must everything lacking spin-up – a spin-down electron, Operation Desert Storm, humility – be genuinely similar to all the others … ? It seems to me that the applicability of the predicate 'doesn't have the property of spin-up' to them all requires… that they don't have the property of spin-up, not that there's some property all of them have. (Clarke, 2012, 365)

Actually, one might doubt for more general reasons that the property of lacking spin- up is attributable to Operation Desert Storm and humility (cf. the above comment on proliferation). Lacking spin-up belongs to a sort of properties which seem attributable only to elementary particles, but not to military offensives or character traits. But then, elementary particles lacking spin-up do not come across as being too dissimilar as to deny them a common quality. So the example Clarke gives here does not seem to be quite fair.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Be that as it may, the main reply to Clarke's objection is that the hypothesis that instances of negative properties are too dissimilar as to be able to be attributed a common quality just does not seem to be justifiable on *a priori* grounds. Even if it could be argued against the property of lacking spin-up as a common quality of spin-down electrons, Operation Desert Storm and humility, this could not rule out negative properties *per se*, for it would have to be argued for each negative property candidate that its instances lack general similarity. Yet, it seems rather improbable that such an argument can be given for every negative property, as there are also many positive properties whose instances are attested similarity in some relevant respects despite the fact that they are highly dissimilar in almost all other respects. Consider properties like weighing 20 pounds, being odd, and being animate: members of these sets of objects, numbers, and creatures are highly heterogeneous in many regards. Nevertheless, in some regards they resemble each other: objects weighing 20 pounds hurt when they fall onto one's feet, odd numbers leave a remainder of 1 when divided by 2, and animate creatures seek nourishment and tend to reproduce.

An objection somewhat supplementary to the abovementioned is that negative properties do not allow for inductive generalization, negative predicates being *non-projectible* Goodman-predicates, like the predicate "being grue" (which means "being green up to time *t* and being blue from *t* on"; cf. Goodman, 1983, 74). The peculiarity about non-projectible predicates is that general statements containing these predicates cannot be confirmed by their instances. Goodman-properties deprive us of the basis to draw inductive inferences, viz. to expect future regularities on the basis of past regularities. Thus, a general statement like "All non-red rags cause, *ceteris paribus*, bulls to stay calm" cannot be confirmed by its past instances; for all non-red rags that caused, up to now, bulls to stay calm could have been green, whereas all non-red rags from now on could be blue, and cause entirely different things.

The rejoinder to this objection essentially iterates the one to the objection from dis-similarity. For the claim that negative properties are Goodman-properties is plausible only as long it is supposed that their instances lack general similarity (where similarity would be cashed out in terms of nomological homogeneity). However, it cannot be excluded *a priori* for all negative properties that their instances resemble each other in relevant respects (viz. that they resemble each other nomologi-

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

cally). Quite the other way around, it seems plausible to assume that green, blue, yellow etc. rags reliably cause bulls to stay calm *exactly because* they share one quality which is responsible for the common effect, viz. the quality of being not red.

6 Conclusion

So here is the full case for negative properties: For all we know, negative properties seem to be coherent, real and genuine, while the objections against negative properties seem to be less than convincing. So finally, negative properties may *be*.

References

Armstrong, D. M., 1980: *Universals and Scientific Realism, Volume II: A Theory of Universals*. Cambridge: University Press.

Austin, J. L., Strawson, P. F. & Cousin, D. R., 1950: Symposium: Truth. In: *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes* 24, 111–172.

Ayer, A. J., 1952: Negation. In: *The Journal of Philosophy* 49 (26), 797–815.

Barker, S. & Jago, M., 2012: Being Positive About Negative Facts. In: *Philosophy and Phenomenological Research* 85, 117–138.

Clarke, R., 2012: Absence of action. In: *Philosophical Studies* 158, 361–376.

Colyvan, M., 1998: Can the Eleatic Principle be Justified? In: *Canadian Journal of Philosophy* 28, 313–336.

Gale, R. M., 1976: *Negation and Non-Being*. Oxford: Basil Blackwell.

Goodman, N., 1983: *Fact, fiction, and forecast*. Cambridge: Harvard University Press.

Horn, L. R., 2001: *A natural history of negation*. Stanford: CSLI.

Meixner, U., 1992: On negative and disjunctive properties. In: K. Mulligan (ed.): *Language, truth, and ontology*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 28–36.

Moore, M. S., 2009: *Causation and responsibility*. Oxford: University Press.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Peirce, C. S., 1965: *Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Volume II: Elements of Logic*. Cambridge, Massachusetts: Belknap Press of Harvard University Press.

Plato, 1997: *Complete works. Edited, with Introduction and Notes, by John M. Cooper*. Indianapolis, Indiana: Hackett Publishing.

Richardson, R. C., 1979: Functionalism and Reductionism. In: *Philosophy of Science* 46, 533–558.

Russell, B., 1964: *The principles of mathematics*. London: Allen & Unwin.

Schurz, G., 2011: *Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Darmstadt: WBG.

Shoemaker, S., 2003: *Identity, cause, and mind. Philosophical essays*. Oxford: Clarendon Press.

Sober, E., 1980: Why Logically Equivalent Predicates May Pick out Different Properties. *American Philosophical Quarterly* 19 (2), 183–189.

Sommers, F., 1970: The Calculus of Terms. In: *Mind* 79 (313), 1–39.

Taylor, R., 1952: Negative things. In: *The Journal of Philosophy* 49 (13), 433–449.

Toms, E., 1972: The problem of negation. In: *Logique et Analyse* 15, 1–38.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

Verzeichnis der Autoren

Prof. em. Dr. Michael Drieschner
Muthstr. 1
81477 München

Alexander Ehmann
Universität Tübingen
Philosophisches Seminar
Bursagasse 1
72070 Tübingen

Dr. David Hommen
Heinrich Heine Universität
Düsseldorf
Universitätsstraße 1
40204 Düsseldorf

Dr. phil. Dipl.-Phys. Tobias Jung
Technische Universität München
Lehrstuhl für Philosophie und
Wissenschaftstheorie
Arcisstraße 21
80333 München

PD Dr. phil. Andrej Krause
Seminar für Philosophie
Universität Halle-Wittenberg
Schleiermacherstr. 1
06114 Halle (Saale)

Prof. Dr. Ladislav Kvasz
Institute of Philosophy
Academy of Sciences of the
Czech Republic
Národní 3
117 20 Prague 1
Czech Republic

Lukas Nickel
Steinsdorfstr. 18
80538 München

Matias Slavov, MSSc
Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos
PL 35, 40014 Jyväskylän Yliopisto
Finland

Anne C. Thaeder
Institut für Philosophie
Universität Bremen
Enrique-Schmidt-Straße 7
28359 Bremen

Prof. Dr. Friedel Weinert
Faculty of Social and
International Studies
University of Bradford
Bradford BD7 1DP
United Kingdom

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

PHILOSOPHIA NATURALIS

Eingereichte Beiträge dürfen weder schon veröffentlicht worden sein noch gleichzeitig einem anderen Organ angeboten werden. Mit der Annahme des Manuskriptes zur Veröffentlichung in der *Philosophia naturalis* räumt der Autor dem Verlag Vittorio Klostermann das zeitlich und inhaltlich unbeschränkte Nutzungsrecht im Rahmen der Print- und Online-Ausgabe der Zeitschrift ein. Dieses beinhaltet das Recht der Nutzung und Wiedergabe im In- und Ausland in körperlicher und unkörperlicher Form sowie die Befugnis, Dritten die Wiedergabe und Speicherung des Werkes zu gestatten. Im Übrigen räumt der Autor dem Verlag alle sonstigen durch Verwertungsgesellschaften (z.B. VG Wort) wahrgenommenen Rechte nach deren Satzung, Wahrnehmung und Verteilungsplan zur gemeinsamen Einbringung ein. Der Autor behält jedoch das Recht, nach Ablauf eines Jahres anderen Verlagen eine einfache Abdruckgenehmigung zu erteilen.

Richtlinien zur Manuskriptgestaltung

Bitte jeden Beitrag mit *Titelblatt* abgeben, das folgende Angaben enthält: Name und Vorname des Autors / der Autorin (mit akad. Titel), Titel des Beitrags, vollständige Adresse (inkl. Telefon-Nummer), nähere Bezeichnung der Arbeitsstätte.

Die *Manuskripte* sollten 3-fach ausgedruckt und als Word- oder rtf-File eingereicht werden und ein deutsch- und englischsprachiges Abstract enthalten. Das Manuskript sollte einen breiten Rand haben.

Der *Umfang* (einschließlich Anmerkungen und Bibliografie) soll bei den Aufsätzen nicht mehr als 30 maschinengeschriebene Seiten (ca. 2.000 Anschläge, 2-zeilig) betragen.

Für *Abbildungen* im Text bitte die Originalvorlage einreichen. Abbildungen müssen numeriert und mit Autorennamen versehen sein.

Zitate im Text sollten vom Haupttext durch eine Leerzeile abgehoben werden. Nach dem zitierten Text stehen Name des zitierten Verfassers, Erscheinungsjahr und Seitenangaben in Klammern, z.B.: (Elkana 1974, S. 34). Bei mehreren Autoren werden die jeweiligen Namen durch Schrägstriche getrennt, z.B.: Krantz/Luce/Suppes/Tversky 1971, S. 8). Wird auf mehrere Publikationen desselben Autors im selben Erscheinungsjahr verwiesen, so sollen sie numeriert werden: (Ludwig 1970 a) bzw. (Ludwig 1970 b).

Die *Anmerkungen* sind im Manuskript fortlaufend zu numerieren; sie stehen am Schluss des Beitrags in numerischer Reihenfolge.

Für das anschließende *Literaturverzeichnis* in alphabetischer und chronologischer Reihenfolge gilt folgendes Muster:

Elkana, Y., 1974: *The Discovery of the Conservation of Energy*. London: Huchinson.

Clausius, R., 1850: Über die bewegende Kraft der Wärme. In: *Annalen der Physik und Chemie*, 79, S. 500–524.

Klein, M.J., 1978: The Early Papers of J. Willard Gibbs: A Transformation of Thermodynamics. In: E.G. Forbes (Hg.): *Human Implications of Scientific Advance*. Edinburgh: University Press, S. 330–341.

Korrekturen: Die Autoren erhalten vom Verlag die Fahnen ihres Beitrags mit der Bitte, die korrigierten Fahnen *innerhalb von zwei Wochen* an den Herausgeber zu schicken. In den Fahnen sollen nur noch Satzfehler berichtigt werden.

Nach Erscheinen des Heftes erhalten die Autoren elektronische Belege.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main. Alle Rechte vorbehalten.

philosophia naturalis

Located at the crossroads between natural philosophy, the theory and history of science, and the philosophy of technology, JOURNAL FOR THE PHILOSOPHY OF NATURE has represented for many decades – not only in the German speaking countries but internationally – a broad range of topics not addressed by any other periodical.
The journal has a highly interdisciplinary focus. Articles with systematic as well as historical approaches are published in German and English. Their quality is assured by a strict peer review policy.

philosophia naturalis

Inhaltlich an der Schnittstelle zwischen Naturphilosophie, Wissenschaftstheorie, Wissenschaftsgeschichte und Technik-Philosophie angesiedelt, vertritt die Zeitschrift JOURNAL FOR THE PHILOSOPHY OF NATURE seit mehreren Jahrzehnten nicht nur im deutschen Sprachraum, sondern auch im internationalen Vergleich, einen weiten Themenbereich, der von keinem anderen Publikationsorgan vertreten wird.
Die Zeitschrift ist ausgesprochen interdisziplinär ausgerichtet. Sie veröffentlicht Aufsätze in deutscher und englischer Sprache, die sowohl systematisch als auch historisch orientiert sind. Deren Qualität wird durch ein besonders strenges Begutachtungsverfahren gesichert.

ISSN 0031-8027 www.klostermann.de