

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

17. Jahrgang

20. Dezember 1929

Heft 51

Was bedeuten die gegenwärtigen physikalischen Theorien für die allgemeine Erkenntnislehre?

Von PH. FRANK, Prag.

(Schluß.)

Was sind nun also die Elemente, aus denen sich das Instrument, das wir Wissenschaft oder Erkenntnis nennen, zusammensetzt? Hier setzt nun der Einfluß der mathematisch-logischen Richtung ein. Die neue Erkenntnislehre sagt: das System der Wissenschaft besteht aus *Zeichen*.

Am deutlichsten hat wohl MORITZ SCHLICK in seiner „Allgemeinen Erkenntnislehre“ (2. Aufl. 1925) diese Auffassung formuliert. Ebenso wie JAMES geht SCHLICK von einer entschiedenen Ablehnung des Wahrheitsbegriffes der Schulphilosophie aus.

„Der Wahrheitsbegriff wurde früher fast immer definiert als eine Übereinstimmung des Denkens mit seinen Objekten...“ SCHLICK zeigt dann, daß hierbei das Wort „Übereinstimmung“ nicht, wie es seinem gewöhnlichen Sprachgebrauch entspricht, etwas wie Gleichheit oder Ähnlichkeit bedeuten könne, da ja zwischen einem Urteil und dem durch ihn beurteilten Sachverhalt keinerlei Ähnlichkeit bestehen kann.

„So zerschmilzt“, fährt SCHLICK fort, „der Begriff der Übereinstimmung vor den Strahlen der Analyse, insofern er Gleichheit oder Ähnlichkeit bedeuten soll, und was von ihm übrig bleibt, ist allein die eindeutige Zuordnung. In ihr besteht das Verhältnis der wahren Urteile zur Wirklichkeit und alle jene naiven Theorien, nach denen unsere Urteile und Begriffe die Wirklichkeit irgendwie abbilden könnten, sind gründlich zerstört. Es bleibt dem Wort Übereinstimmung hier kein anderer Sinn als der der eindeutigen Zuordnung. Man muß sich durchaus des Gedankens entschlagen, als könne ein Urteil im Verhältnis zu einem Tatbestand mehr sein als ein Zeichen, als könne es inniger mit ihm zusammenhängen, denn durch bloße Zuordnung, als sei es imstande, ihn irgendwie adäquat zu beschreiben oder auszudrücken oder abzubilden. Nichts dergleichen ist der Fall. Das Urteil bildet das Wesen des Beurteilten so wenig ab wie die Note den Ton, oder wie der Namen eines Menschen seine Persönlichkeit.“

„Hätte man immer gewußt und sich vor Augen gehalten, daß Erkenntnis durch ein bloßes Zuordnen von Zeichen zu Gegenständen entsteht, so wäre man niemals darauf verfallen, zu fragen, ob ein Erkennen der Dinge möglich sei, so wie sie an sich selbst sind. Zu diesem Problem konnte nur die Meinung führen, Erkennen sei eine Art anschaulichen Vorstellens, welches die Dinge im Bewußtsein abbilde; denn nur unter dieser Voraussetzung konnte man fragen, ob die Bilder wohl

dieselbe Beschaffenheit aufwiesen wie die Dinge selbst.“

Man überzeugt sich gerade bei der physikalischen Erkenntnis sehr leicht, daß sie in der eindeutigen Zuordnung eines Zeichensystems zu den Erlebnissen besteht. So sind z. B. den elektromagnetischen Erscheinungen als Zeichen die Feldstärken, Ladungsdichten und Materialkonstanten zugeordnet. Zwischen diesen Zeichen bestehen formal-mathematische Beziehungen, die Feldgleichungen¹.

Wenn wir z. B. von einer bestimmten, auf einer Kugelfläche gemessenen elektrischen Ladungsverteilung ausgehen, so ist diesem Erlebnis als Zeichen eine bestimmte mathematische Funktion, Ladung als Funktion des Ortes, zugeordnet. Betrachten wir die Kugel nach langer Zeit, so messen wir, wenn sie sich selbst überlassen war, überall dieselbe Ladungsdichte; diesem Erlebnis ist als Zeichen eine konstante Zahl für die Dichte zugeordnet. Wenn nun die Feldgleichungen so beschaffen wären, daß sich aus ihnen für die Ladungsdichte nach langer Zeit durch Ausrechnung eine andere Funktion ergeben würde, als die konstante, so hätten wir ein Zeichensystem vor uns, das dem elektrischen Endzustand der Kugel verschiedene Zeichen zuordnen würde, die einander nicht äquivalent sind. Wegen dieser Vieldeutigkeit würden wir sagen: Unser Zeichensystem, das aus dem Zuordnungsgesetz zwischen Erlebnis und Zeichen einerseits (das ist hier die Meßvorschrift für elektrische Ladungen) und den Verknüpfungen der Zeichen andererseits (das sind hier die Feldgleichungen) besteht, gibt keine wahre Erkenntnis der elektrischen Erscheinungen.

Jede Verifikation einer physikalischen Theorie besteht ja in der Prüfung, ob die durch die Theorie vermittelte Zeichenzuordnung zu den Erlebnissen eindeutig ist. Wenn z. B. in den Gleichungen die PLANCKSche Konstante h vorkommt, so wird durch sie ein bestimmtes Erlebnis bezeichnet, das wir uns konkret herstellen können, indem wir aus den Gleichungen h durch sog. „beobachtbare“ Größen ausdrücken, d. h. solche Zeichen, denen durch ein Zuordnungsgesetz konkrete Erlebnisse zugeordnet sind. Dadurch ist dann mittelbar auch der Größe h ein Erlebnis zugeordnet. Man

¹ Zeichen, die vermöge dieser Beziehungen oder der allgemeinen logischen und mathematischen Gesetze einander äquivalent sind, können dabei denselben Erlebnissen zugeordnet sein, ohne die Eindeutigkeit im geforderten Sinn zu verletzen.

kann nun bekanntlich h durch Größen ausdrücken, die mit der Beobachtung der schwarzen Strahlung zusammenhängen und durch Größen, die sich aus der Beobachtung der Balmerreihe des Wasserstoffspektrums ergeben. Es werden also durch h scheinbar zwei Erlebnisse bezeichnet, die in der Berechnung seines Wertes aus zwei verschiedenen Erscheinungsgebieten bestehen. Wenn sich aus beiden ein verschiedener Wert von h ergäbe, so würde ich mit demselben Zeichen h zwei ganz verschiedene Erlebnisse bezeichnen; ich hätte in dem Gleichungssystem, in dem h vorkommt, in Verbindung mit den Zuordnungsgesetzen (Meßvorschriften) ein Zeichensystem vor mir, das die Erlebnisse nicht eindeutig bezeichnet, das also keine wahre Erkenntnis darstellt. Daraus, daß sich beidemal derselbe Wert von h ergibt, erkenne ich die Eindeutigkeit des Zeichensystems, die „Wahrheit“ der Theorie.

Dieses Vergleichen der Werte einer auf verschiedenen Wegen aus den Beobachtungen berechneten Größe ist der einzige Weg, auf dem der Physiker in seiner wirklichen Arbeit die „Wahrheit“ einer Theorie kontrollieren kann. Das sog. direkte Vergleichen von „beobachteten“ und „berechneten“ Werten, wie es oft in physikalischen Arbeiten genannt ist, ist, wenn man genau zusieht, auch nichts anderes als die Kontrolle der Eindeutigkeit eines Zeichensystems. Wenn ich z. B. eine Stromstärke einerseits aus der Elektronentheorie der Metalle berechne, andererseits am Galvanometer „beobachte“, so ist diese angebliche Beobachtung auch nur eine Berechnung aus einer anderen Theorie, nämlich der des Galvanometers; denn in Wirklichkeit beobachte ich nur Deckungen von Fäden und Teilstrichen, und selbst diese Konstatierungen würden sich bei einer genaueren Analyse als Ergebnisse einer Theorie der festen Körper ergeben. Was ich also gewöhnlich Vergleich von beobachteten und berechneten Werten nenne, ist z. B. in unserem Falle der Vergleich der Werte der Stromstärken, die aus zwei verschiedenen Theorien sich für dasselbe konkrete Erlebnis ergeben¹.

Die Schulphilosophie hat eine derartige Übereinstimmung, die, wie wir uns überzeugt haben, das einzige Kriterium der Wahrheit für den Physiker ist, so gedeutet: wenn für eine Größe, z. B. h , sich auf verschiedenen Wegen derselbe numerische Wert ergibt, so hat diese Größe eine reale Existenz. Wenn unter diesem Ausdruck nur das verstanden wird, was wirklich konstatiert wurde, daß sich nämlich die in den Gleichungen vorkommende Größe h in eindeutiger Weise aus den Erscheinungen verschiedener Art berechnen läßt, so kann man

¹ Im Grenzfall, wo der eine Wert „möglichst direkt beobachtet wird“, z. B. wenn es sich nur um die Stellung eines Zeigers auf einer Skala handelt, wird er immer noch aus der Theorie der starren Körper und Lichtstrahlen berechnet, weil man unmittelbar nur tanzende Farbenflecken beobachtet und keine Zeigerstellungen.

nichts dagegen einwenden. Dann darf man aber nicht sagen, daß aus der Übereinstimmung der Messungsergebnisse auf die reale Existenz geschlossen wird; denn dann ist diese Existenz mit der Übereinstimmung identisch.

Und so ist jeder Schluß aus der physikalischen Erfahrung auf die reale Existenz des Wirkungsquantums, des elektrischen Elementarquantums u. ä. kein wissenschaftlicher Schluß, sondern ein Schluß, der seine Rechtfertigung nur in der metaphysischen Realitätsvorstellung der Schulphilosophie findet, nach der die wahren Sätze vor aller Erfahrung existieren und von der Forschung entdeckt werden müssen, wie COLUMBUS Amerika entdeckt hat.

Ich glaube, daß sich der Mathematiker den Gegensatz zwischen der Schulphilosophie, die metaphysische Realitäten anerkennt und der wissenschaftlichen Weltauffassung, die nur Konstruktionen aus konkreten Erlebnissen anwendet, folgendermaßen sehr gut klarmachen kann:

Wenn ich eine konvergente Folge von rationalen Zahlen habe, deren Grenzwert eine irrationale Zahl ist, so kann ich die Konvergenz feststellen, ohne von dem Begriff der irrationalen Zahl Gebrauch zu machen. Ich brauche nämlich nur festzustellen, ob die Differenz je zweier rationaler Glieder der Folge oberhalb eines gewissen Index dadurch, daß ich diesen Index genügend groß wähle, beliebig klein gemacht werden kann. Ich habe also, wenn ich nur den Begriff der rationalen Zahl definiert habe, eine Folge rationaler Zahlen vor mir, welche die Eigenschaft der Konvergenz besitzt, aber keinen Grenzwert im Gebiet der rationalen Zahlen. Es gibt, wie jedem Mathematiker klar ist, keinerlei Schluß, mit Hilfe dessen man dann beweisen könnte, daß ein Grenzwert dieser konvergenten Folge existiert. Sondern nur die konvergente Folge selbst ist das konkret aufweisbare Objekt. Man kann aber nun eine solche Folge als Irrationalzahl definieren. Das bedeutet, daß man in allen Sätzen, wo von Irrationalzahlen die Rede ist, statt dieser die betrachteten Folgen rationaler Zahlen setzen kann. Es ist nicht notwendig, und logisch auch nicht zu rechtfertigen, von einer realen Existenz irrationaler Zahlen, unabhängig von den rationalen, zu sprechen.

Wenn wir das als Gleichnis auffassen, so entsprechen den rationalen Zahlen die konkreten Erlebnisse, den irrationalen Zahlen die sog. real existierenden Wahrheiten. Eine Gruppe von Erlebnissen mit einem ihnen zugeordneten Zeichensystem, in der sich überall solche Übereinstimmungen feststellen lassen, wie wir sie z. B. bei der Konstanten h festgestellt haben, entspricht einer konvergenten Folge rationaler Zahlen, die Eindeutigkeit des Zeichensystems läßt sich innerhalb der Erlebnisgruppe selbst feststellen, ohne auf eine außerhalb gelegene objektive Realität Bezug nehmen zu müssen, so wie die Konvergenz einer Folge von Zahlen, ohne den Grenzwert selbst heranziehen zu müssen.

Und ebenso, wie durch die konvergente Folge rationaler Zahlen der Begriff der Irrationalzahl erst definiert wird, so wird der Begriff der wahren Existenz, z. B. des Wirkungsquantums h , erst durch die Übereinstimmungen in der ganzen Erlebnisgruppe, in der h vorkommt, definiert.

So wie das Wort Irrationalzahl nur eine Abkürzung für eine konvergente Folge rationaler Zahlen ist, so der Begriff eines real existierenden Wirkungsquantums nur eine Abkürzung für die ganze Gruppe von Erlebnissen mit dem dazugehörigen Zeichensystem.

Es ist vollkommen falsch, wie es oft geschieht, davon zu sprechen, daß sich die Übereinstimmungen in der Bestimmungen von h am ungezwungensten durch die *Hypothese der realen Existenz* eines Wirkungsquantums erklären. In einer Hypothese kann nur eine Vermutung über mögliche konkrete Erlebnisse ausgesprochen werden, aber nicht über etwas, wovon wir nur das Wort, aber keine konkrete Vorstellung haben. Das wäre genau so, als wollte ein Mathematiker sagen: die Existenz konvergenter Folgen von rationalen Zahlen ohne Grenzwert läßt sich am ungezwungensten durch die Hypothese erklären, daß es irrationale Zahlen gibt. In Wirklichkeit würde durch eine solche Behauptung den konvergenten Folgen ohne Grenzwert nur ein neuer Namen gegeben werden, ebenso wie durch die Behauptung der Existenz eines Wirkungsquantums keine neue Tatsache außerhalb der Übereinstimmungen behauptet wird, also auch *keine Hypothese vorhanden ist*.

Ich habe schon darüber gesprochen, daß die Entwicklung der wissenschaftlichen Weltauffassung gegenüber der Schulphilosophie dadurch etwas gehemmt war, daß die mathematisch-logische Richtung in einem gewissen Gegensatz zu der biologisch-pragmatistischen stand, die an Präzision viel zu wünschen übrig ließ, so daß selbst die Schulphilosophie hier manches voraus zu haben schien. So zeigt z. B. RUSSEL in seiner Schrift: „Unser Wissen von der Außenwelt“ in vielen Punkten mehr Zustimmung zu den Auffassungen der Schulphilosophie als zu denen eines ERNST MACH. Aber schon in der deutschen Übersetzung dieser Schrift bemerkt RUSSEL in einer Fußnote, daß er in einem der wichtigsten Punkte jetzt bereits mit MACH übereinstimmt. Und es scheint mir, daß auch bei anderen Vertretern der RUSSELLschen Richtung immer mehr die Überzeugung siegt, daß eine konsequente Weiterbildung der wissenschaftlichen Weltauffassung nicht dadurch erzielt werden kann, daß die Auffassungen MACHS zugunsten der Schulphilosophie wegen deren scheinbar strengerer Logik bekämpft werden, sondern im Gegenteil dadurch, daß mit Hilfe der Mittel der modernen Logik die Lehren MACHS zu einem in allen Teilen logisch einwandfreien System ausgebaut werden.

Obwohl die Logik nach der modernen Auffassung nichts anderes leisten kann als tautologische

Umformungen von Sätzen, ist sie für den Ausbau einer streng wissenschaftlichen Weltauffassung gerade dadurch unentbehrlich, da ein großer Teil der Vorurteile der Schulphilosophie daraus entstand, daß bloße Tautologien für Erkenntnisse gehalten wurden. Der freie Überblick über alle möglichen tautologischen Umformungen gibt daher erst die Möglichkeit, auf Grund der Anschauungen MACHS ein wissenschaftliches Gebäude zu errichten, das auch durch seine logische Präzision der Schulphilosophie überlegen ist.

Den entscheidendsten Versuch in dieser Richtung hat RUDOLF CARNAP unternommen. In seinem 1928 erschienenen Buche, „Der logische Aufbau der Welt“, versucht er, aus den konkreten Erlebnissen das ganze System der Wissenschaft aufzubauen. Er sucht zu zeigen, daß sich alle Sätze, in denen von physischen oder psychischen Gegenständen die Rede ist, durch Aussagen über konkrete Erlebnisse ersetzen lassen. Die Regel, nach denen Aussagen über Begriffe durch Aussagen über konkrete Erlebnisse ersetzt werden müssen, nennt CARNAP die Konstitution dieser Begriffe. In einer wissenschaftlichen Aussage dürften nur solche Begriffe vorkommen, deren Konstitution bekannt ist. Die Grundlage jeder Wissenschaft ist das Konstitutionssystem der Begriffe. Den stufenweisen Aufbau dieses Systems mit Hilfe der modernen RUSSELLschen Logik nennt CARNAP eben den logischen Aufbau der Welt.

Ein wissenschaftliches Problem kann nach dieser Auffassung nur darin bestehen, zu fragen, ob eine bestimmte wissenschaftliche Aussage wahr oder falsch ist. Da jede solche Aussage aber, wenn die Konstitution der in ihr vorkommenden Begriffe bekannt ist, sich auf eine Aussage über konkrete Erlebnisse zurückführen läßt, so besteht jedes Problem, das man wissenschaftlich nennen kann, in der Frage, ob zwischen bestimmten konkreten Erlebnissen eine bestimmte Beziehung besteht oder nicht. Dabei zeigt CARNAP noch, daß sich alle Beziehungen im letzten Grunde auf die der Erinnerung an eine Ähnlichkeit zwischen konkreten Erlebnissen zurückführen lassen. Da man aber wohl annehmen kann, daß jede solche Ähnlichkeit grundsätzlich feststellbar ist, so ist jedes Problem, das überhaupt wissenschaftlich formulierbar ist, auch grundsätzlich lösbar.

Wir sehen, die konsequente Durchführung einer rein wissenschaftlichen Weltauffassung, wie sie CARNAP versucht, führt uns ebenso weit weg von dem resignierten „Ignorabismus“, als der logisch etwas weniger durchdachte, aber in seinen Tendenzen auf dasselbe zielende Pragmatismus eines JAMES. CARNAP formuliert das so:

„Die Wissenschaft, das System begrifflicher Erkenntnis, hat keine Grenzen . . . es gibt keine Frage, deren Beantwortung für die Wissenschaft grundsätzlich unmöglich wäre . . . die Wissenschaft hat keine Randpunkte . . . jede aus wissenschaftlichen Begriffen gebildete Aussage ist grundsätzlich als wahr oder falsch feststellbar.“

Das soll natürlich nicht heißen, daß es keine anderen Gebiete des Lebens gibt als die Wissenschaft. Aber diese Gebiete, wie z. B. die Lyrik, sind von der Wissenschaft getrennt; durch diese selbst können keine Probleme aufgeworfen werden, die mit ihren Mitteln unlösbar sind.

Und WITTGENSTEIN sagt sehr präzise: „Zu einer Antwort, die man nicht aussprechen kann, kann man auch die Frage nicht aussprechen.“

So können im Sinne von CARNAP und WITTGENSTEIN Fragen, wie die Schulphilosophie sie liebte, ob die Außenwelt wirklich existiert, nicht nur nicht beantwortet, sondern nicht einmal ausgesprochen werden, weil weder die positive Behauptung, die fälschlich sog. realistische „Hypothese“, noch die negative idealistische sich in konstituierten Begriffen ausdrücken lassen, oder anders gesagt: weder diese noch jene Behauptung läßt sich als eine konstatierbare Beziehung zwischen konkreten Erlebnissen ausdrücken. Man sieht hier die enge Beziehung zwischen dem Wahrheitsbegriff der modern-logischen Richtung und dem des Pragmatismus.

Eine ähnliche Tendenz, wie die Arbeiten von SCHLICK und CARNAP, verfolgen auch die von HANS REICHENBACH, der aber z. B. in seinem Artikel im Handbuch der Physik¹ in manchen Punkten der Schulphilosophie näher steht, so in der Anerkennung des realistischen Standpunktes.

Nach diesem Überblick über die Strömungen, die gegenüber der Schulphilosophie durch enge Anlehnung an die tatsächliche Praxis der mathematisch-physikalischen Forschung eine rein wissenschaftliche Weltauffassung aufzubauen suchen, kehren wir wieder zu unserem Ausgangspunkte zurück, der Frage, warum die Physiker sich oft weigern, über Fragen, wie Raum, Zeit und Kausalität, ein Urteil abzugeben und sie zur Bearbeitung den Philosophen überlassen.

Diese Weigerung, so können wir jetzt sagen, rührt daher, daß diese Physiker bewußt oder unbewußt den Lehren der Schulphilosophie anhängen, nach denen derartige Probleme nach Methoden gelöst werden müssen, die von denen, die der Physiker anwendet, grundverschieden sind. Wenn ein Naturforscher einmal derartige Gedanken konsequent weiterverfolgt, muß er, wie DU BOIS-REYMOND, rettungslos in der Sackgasse des „ignorabimus“ enden.

Wenn wir uns aber auf den Boden der rein wissenschaftlichen Weltauffassung stellen, so wissen wir, daß die Lösung eines wissenschaftlichen Problems nur darin bestehen kann, neue Beziehungen zwischen konkreten Erlebnissen aufzufinden, oder wenn wir es anders ausdrücken: in der eindeutigen Bezeichnung der Erlebnisse durch ein Zeichensystem Fortschritte zu machen.

Entweder kann man für neue Erlebnisse ihre Stelle im bereits vorhandenen Zeichensystem suchen, das nennen wir *rein experimentelle For-*

¹ Handbuch der Phys., herausgegeben von GEIGER und SCHEEL, Bd. IV.

schung. Daß es noch reinere Experimentalforschung geben soll, die überhaupt kein Zeichensystem benützt, halte ich für eine Illusion. Man kann wohl, wie SCHLICK mit Recht hervorhebt, ohne ein Zeichensystem anzuwenden, Erscheinungen erleben, man kann sie kennenlernen; damit ist aber keine wissenschaftliche Erkenntnis gewonnen. Denn im besten Falle könnte man dann feststellen, daß man z. B. heute um die Mittagsstunde einige Farbflecke in gewissen Kombinationen gesehen habe, obwohl eine genauere Analyse wohl auch in einer solchen Äußerung bereits ein Zuordnen von Zeichen zu den Erlebnissen zeigen würde.

Die Arbeit des *theoretischen Physikers* wieder besteht zu einem Teil im Ausbau des Zeichensystems, d. h. in der Untersuchung der Konsequenzen, die sich aus den zum Zeichensystem gehörenden Grundrelationen ergeben; das ist eine im wesentlichen mathematische Aufgabe, z. B. die Integration der Feldgleichungen, der Grundrelationen zwischen den Feldgrößen. Zum anderen besteht die Arbeit der theoretischen Physik in Zubauten zum Zeichensystem, wobei natürlich bei jeder Einführung neuer Zeichen auch neue Zuordnungsgesetze derselben zu den Erlebnissen eingeführt werden müssen.

Wenn man z. B. bei der Untersuchung der Festigkeit eines Materials eine neue Hypothese über das Krystallgitter desselben machen muß, so bedeutet das eine Änderung des Zeichensystems, nämlich der geometrischen Figur, durch welche man das betreffende Material kennzeichnet. Jeder wird eine derartige Arbeit als eine konkret physikalische anerkennen. Von solchen Änderungen des Zeichensystems geht aber eine stetige Reihe zu solchen, die der Physiker oft schon als „spekulativ“ oder „philosophisch“ empfindet, wie z. B. die Einführung der EINSTEINSCHEN Zeitskala. Es handelt sich hier aber auch um nichts anderes als um Aufstellung eines neuen Zuordnungsgesetzes zwischen den Zeichen t und t' in unseren Gleichungen und unseren Erlebnissen, sowie um eine neue Beziehung zwischen den Zeichen t und t' im Zeichensystem. Man kann aber keinerlei Kriterium dafür angeben, warum die eine Abänderung eine konkret physikalische Erkenntnis bedeutet und die andere eine philosophische. Es gibt für den Physiker keine derartigen Grenzen. Ob ich es mit Festigkeitsmessungen oder mit Raum- und Zeitmessungen zu tun habe, immer handelt es sich nur um die Zuordnung eines eindeutigen Zeichensystems zu unseren Erlebnissen. *Nirgends ist ein Punkt, wo der Physiker sagen muß: hier endet meine Aufgabe und von hier an hat der Philosoph zu tun.*

Das ist nur für den Fall, der auf dem Boden der Schulphilosophie steht: denn er kann z. B. fragen: wenn ich alle Probleme der Zuordnung von Zeitzeichen zu den Erlebnissen erledigt habe, welches ist unter den Zeitskalen, welche die Relativitätstheorie zuläßt, nun die wahre, reale Zeit? Und das kann der Physiker nicht beantworten, darüber muß der Philosoph urteilen.

Woher kommt es aber, daß die klassische Physik in so gutem Einvernehmen mit der Schulphilosophie lebte, und die moderne Physik mit ihrer Relativitätstheorie und Quantenmechanik sofort in Konflikt mit ihr geriet, ein Konflikt, den die Physiker, welche den Bruch mit der Schulphilosophie scheuten, nur durch eine Art Lehre von der doppelten Wahrheit lösen konnten? Sie sagten nämlich: wir Physiker reden nur von den *Zeitmessungen*, für den Physiker gilt die Relativitätstheorie; der Philosoph redet von der *wirklichen* Zeit, für ihn gilt vielleicht etwas anderes. Wenn diese Lehre von der doppelten Wahrheit, wie es bei vielen der Fall war, etwas ironisch gemeint war, so war es eine Ironie der Verlegenheit. Es kommt aber sogar vor, daß sie ernst gemeint ist.

Der Grund dafür, daß dieser Konflikt zur Zeit der klassischen Physik nicht eintrat, ist ganz einfach der, daß z. B. der Zeitbegriff der Schulphilosophie ganz ebenso empirischen physikalischen Ursprungs ist, wie der der Relativitätstheorie, nur daß er eben dem älteren Zustande der Physik, den wir heute den klassischen nennen, entsprach. Das Zeichensystem, mit Hilfe dessen die NEWTONsche Mechanik und die Euklidische Geometrie die Raum- und Zeiterlebnisse abbildeten, wurde von der Schulphilosophie als wirklicher Raum, als wirkliche Zeit erklärt und zu einer ewigen Wahrheit proklamiert.

Wenn wir aber im Sinne der wissenschaftlichen Weltauffassung jedes Problem als eines der eindeutigen Bezeichnung der Erlebnisse auffassen, so ist bei der Bezeichnung der Raum- und Zeiterlebnisse genau so eine Veränderung möglich, wie in der übrigen Physik. Wie es einen Fortschritt in der Festigkeitslehre gibt, so gibt es auch einen Fortschritt in der Raum- und Zeitlehre, der mit dem Fortschritt unserer Erfahrung einhergeht.

Man kann nicht gewisse Teile des Zeichensystem für alle Zeiten als unabänderlich erklären. Wohl kann man in gewissem Sinne die alte KANTISCHE Terminologie beibehalten und Raum und Zeit als Rahmen der physikalischen Erscheinungen erklären; dann muß man aber, wie REICHENBACH mit Recht sagt, bedenken, daß auch dieser Rahmen der fortschreitenden Erfahrung immer mehr angepaßt werden muß.

So wie mit dem Aufkommen der Physik von GALILEI und NEWTON die Philosophie des ARISTOTELES zusammengebrochen ist, die versuchte, die ewige Wahrheit der antiken Physik zu beweisen, so kann zugleich mit der Relativitätstheorie und Quantenmechanik nicht eine Philosophie bestehen, die eine Versteinerungsform der früheren physikalischen Theorien in sich schließt.

Sowie die Anschauung der Schulphilosophie über Raum und Zeit das Verständnis der Relativitätstheorie erschweren, so ihre Auffassung der Kausalität das Verständnis der neuen Quantenmechanik. Ich will über das Kausalproblem hier nicht ausführlicher sprechen, sondern nur auf einen Punkt aufmerksam machen.

Die klassische Physik verstand unter dem Kausalgesetz die Berechenbarkeit der zukünftigen Zustände aus einem Anfangszustand. Ist der Zustand der Welt oder eines abgeschlossenen Systems in einem Zeitpunkt genau bekannt, so auch für alle zukünftigen Zeitpunkte. Man sah es als zweifellos an, daß man mit Hilfe von angebbaren Meßmethoden die Werte der Zustandsgrößen, wenn auch nicht genau, so doch annähernd bestimmen könne. Dabei nahm man an, daß es bei steigender Verfeinerung der Meßmethoden gelingen werde, die Genauigkeit beliebig zu steigern, so daß grundsätzlich den Zustandsgrößen, wie Längen, Feldstärken usw. genaue Zahlenwerte zuzuschreiben sind.

Daß man davon so unerschütterlich überzeugt war, liegt an der Vorstellung der Schulphilosophie, daß genaue Werte der Längen, Feldstärken usw. vorhanden sein müssen, wenn sie auch dem messenden Menschen noch nicht genau bekannt sind und vielleicht auch nie genau bekannt sein werden. Sie stecken eben in jeder Nußschale, von der BERGSON spricht, die man durchbrechen muß, um zu den wahren Werten zu gelangen.

Daß man z. B. die genaue Länge eines Stabes nicht messen kann, ist ja natürlich. Wenn ich aber sinnvoll behaupten will, daß man durch Verfeinerung der Meßmethoden allmählich diesem genauen Werte der Länge immer näher und näher zu kommen wird, ist es erst notwendig, zu fragen, ob man überhaupt definieren kann, was man unter der genauen Lage versteht. Denn hier wird oft ein Zirkel begangen. Man definiert als genauen Wert den Grenzwert, dem sich die gemessenen bei Verfeinerung der Methoden nähern. Dabei ist aber vorausgesetzt, daß ein solcher Grenzwert existiert. Das läßt sich aber, wenn überhaupt, immer nur bis auf Fehler von einer bestimmten Größenordnung empirisch zeigen. Damit ist aber für die Frage der Existenz eines genauen Wertes nichts getan.

Nach der atomistischen Theorie ist die Länge eines Stabes nichts anderes als die Entfernung zwischen zwei Atomen. Da aber ein Atom wieder ein System von Elektronen ist, läßt sich jede solche Entfernung auf den Abstand je zweier Elektronen zurückführen. Jede Messung besteht in dem Vergleich des gemessenen Körpers mit einem Maßstab. Dieser ist aber selbst ein System von Elektronen. Jede Längenmessung führt also schließlich auf die Konstatierung einer Koinzidenz zwischen Elektronen. Dabei ist natürlich keine Koinzidenz im wörtlichen Sinne gemeint, sondern etwa die Erscheinung, daß ein Elektron das andere beim Anvisieren aus einer bestimmten Richtung verdeckt. Das heißt aber: die Längenmessung ist auf die Beobachtung des von den beiden Elektronen gebeugten oder zerstreuten Lichtes zurückgeführt. Nun ist es klar, daß dabei Längenunterschiede, die klein gegen die Wellenlänge des betreffenden Lichtes sind, keine Rolle spielen können. Solche Unterschiede können also bei keinem derartigen Experiment in Erscheinung treten, sie lassen sich

nicht als ein denkbare Erlebnis auffassen. Die Möglichkeit, bei Verfeinerung der Meßtechnik die Längenmessung beliebig verfeinern zu können, kann also nur darauf beruhen, daß man hofft, Strahlung beliebig kleiner Wellenlänge herstellen zu können. Die Herstellung einer solchen Strahlung, die also beliebig große Frequenz haben müßte, ist aber nach den Erfahrungen, die zur Aufstellung der Quantenhypothese geführt haben, nicht sehr wahrscheinlich. Denn es müßte dann Lichtquanten von beliebig großer Energie und beliebig großer Stoßkraft geben. Übrigens macht auch ein anderer Umstand, auf den zuerst HEISENBERG aufmerksam gemacht hat, eine genaue Längenmessung unmöglich, selbst in solchen Größenordnungen der Fehler, die noch herstellbaren Wellenlängen entsprechen. Wenn man nämlich zu sehr großen Frequenzen übergeht, wo also die Stoßkraft des Lichtquantums schon sehr groß wird, ist es nicht möglich, die relative Geschwindigkeit, also in unserem Falle insbesondere die relative Ruhe zweier Elektronen zu konstatieren, da sie durch den ihnen von den Lichtquanten erteilten Impuls in unkontrollierbarer Weise aus ihrem Bewegungszustand gebracht werden, eine Erscheinung, die als Comptoneffekt bekannt ist.

Ebensowenig, wie es eine Meßmethode gibt, um die Länge eines Stabes mit beliebiger Genauigkeit festzustellen, gibt es eine Methode, um etwa die Stärke eines elektrischen Feldes mit beliebiger Genauigkeit zu messen. Denn jede solche Messung beruht auf der Beobachtung der auf einen Probekörper im Felde ausgeübten Kraft. Die Ladung und Größe dieses Körpers wird dabei also so klein angenommen, daß sie das Feld nicht stört. Diese Annahme widerspricht aber der atomistischen Hypothese, die beliebig kleine und beliebig schwach geladene Probekörper nicht kennt. Daher ist auch die Annahme, eine Feldstärke sei prinzipiell beliebig genau meßbar, nicht berechtigt.

Der Physiker, der von den Auffassungen der Schulphilosophie ausgeht, muß dazu sagen, daß es wohl ganz streng bestimmte Werte der Längen und Feldstärken gibt, daß die Natur aber so beschaffen ist, daß sie uns an der Feststellung derselben durch besonders dazu geeignete Naturgesetze hindert. Das entspricht ganz jener Auffassung der Relativitätstheorie, daß wohl von jedem Bezugssystem feststeht, mit welcher absoluten Geschwindigkeit es sich bewegt, daß aber die Naturgesetze so hinterlistig gebaut sind, daß sie die Beobachtung dieser Geschwindigkeit verhindern. So, wie hier der Physiker, der diese der Schulphilosophie entsprechende Auffassung der Relativitätstheorie vertreten will, die Existenz von Realitäten annehmen muß, denen keinerlei konkretes Erlebnis entspricht, so muß auch derjenige, der die Existenz genauer Längen von Körpern annimmt, unter dem Wort Existenz etwas verstehen, das mit dem empirischen Sinn dieses Wortes, das etwas Erlebtes oder wenigstens Erlebbares bedeutet, nichts mehr zu tun hat.

Auf dem Boden dieser Auffassung wird dann das Problem gestellt: ist das Kausalgesetz in der Natur gültig oder nicht? Das heißt, sind durch die Anfangslagen und Anfangsgeschwindigkeiten der Elektronen diese Zustandsgrößen für alle künftigen Zeiten eindeutig bestimmt? Wenn ich Gleichungen aufstelle, in denen das der Fall ist, so ist damit über wirkliche Erlebnisse noch gar nichts ausgesagt. Denn wir wissen ja, daß wir den Erlebnissen auch durch fortgesetzte Annäherung keine Lagen und Geschwindigkeiten von Elektronen eindeutig zuordnen können. Daß für unsere Erlebnisse über Lage und Geschwindigkeit von Elektronen das Kausalgesetz nicht gilt, ist durch die Versuche über die Beugung von Elektronen, wie man sie gewöhnlich auffaßt, wahrscheinlich gemacht worden. Wenn nämlich Elektronen auf ein Gitter auffallen, so läßt sich die Richtung, in welcher ein einzelnes abgelenkt wird, nicht aus seiner Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit voraussagen.

Man behauptet manchmal, daß hieraus folgt, daß die Elektronen in der Wahl ihrer Richtung dem absoluten Zufall folgen, oder daß gar, wie es in populären Darstellungen gelegentlich heißt, ein irrationales Element eine Rolle spielt, eine Art „Verpersönlichung des Elektrons“. Das folgt aber nur, wenn man von der Vorstellung der Schulphilosophie ausgeht, daß jedes Elektron eine bestimmte Lage und Geschwindigkeit hat, welche aber dann die Zukunft nicht bestimmt.

Vom Standpunkt einer rein wissenschaftlichen Auffassung wird man aber sagen: aus den Einzelerlebnissen über Lage und Geschwindigkeit von Elektronen läßt sich die Zukunft derselben nicht eindeutig vorhersagen. Statt dessen zeigt sich, daß die Häufigkeit, mit der ein Elektron nach einer bestimmten Richtung abgelenkt wird, durch das Erlebnis der anfänglichen Versuchsanordnung sich vorhersagen läßt. Für diese Häufigkeiten (die Quadrate des absoluten Betrages der Wellenfunktion) stellt SCHRÖDINGER in seiner Wellenmechanik streng kausale Gesetze auf. Den in diesen Gesetzen vorkommenden Zustandsgrößen, den Häufigkeiten, lassen sich also bestimmte Erlebnisse zuordnen. Man nennt diese Theorie eine statistische. Das statistische Element besteht hier in der Zuordnung der Erlebnisse zu den Zeichen. Es sind nämlich den Zeichen, dem Quadrate des absoluten Betrages der Wellenfunktion, keine Einzelerlebnisse zugeordnet, sondern Zahlen, die durch Mittelwertbildung aus einer Menge von Einzelerlebnissen gewonnen werden.

Die Aufgabe der Physik besteht nun darin, solche Zeichen zu finden, zwischen denen streng-geltende Beziehungen bestehen, und die sich den Erlebnissen eindeutig zuordnen lassen. Diese Zuordnung zwischen Erlebnissen und Zeichen ist mehr oder weniger ins Einzelne gehend. Wenn sie sich sehr detailliert an die Erlebnisse anschmiegen läßt, sprechen wir von kausaler Gesetzmäßigkeit, bei mehr pauschaler Zuordnung von statistischer.

Ich glaube aber nicht, daß man hier bei genauer Analyse einen strengen Unterschied wird feststellen können. Wir wissen heute, daß man mit Hilfe von Lagen und Geschwindigkeiten keine kausalen Gesetze für die einzelnen Elektronen aufstellen kann. Daraus folgt aber nicht, daß man nicht vielleicht einmal Zustandsgrößen finden wird, mit Hilfe deren man das Verhalten dieser Teilchen, mehr ins einzelne gehend, verfolgen können als mit Hilfe der Wellenfunktion, der Häufigkeiten. Wenn wir durch eine sog. Einzelbeobachtung eine Zahl feststellen, so wird dabei doch auch nur ein Mittelwert beobachtet, da niemals „Punkterlebnisse“ aufgezeichnet werden. Die Zuordnung der Zeichen zu den Erlebnissen enthält also, streng genommen, immer ein statistisches oder, wenn wir so sagen wollen, kollektives Element. Es kann immer nur von einer mehr oder weniger ins einzelne gehenden Zuordnung die Rede sein.

Die Frage kann also nie sein, wie der von der Schulphilosophie beeinflusste Physiker oft sie zu stellen müssen glaubt: „herrscht in der Natur strenge Kausalität?“ sondern: „wie ist die Zuordnung der Erlebnisse zu den Zustandsgrößen, zwischen denen strenge Gesetze bestehen, beschaffen?“

Wir sehen hier wie bei der Auffassung der Relativitätstheorie, daß der Physiker, wenn er bewußt oder unbewußt den Standpunkt der Schulphilosophie festhält, verhindert wird, die gegenwärtigen physikalischen Theorien als Aussagen über wirkliche physikalische Erfahrungen anzusehen, und leicht dahin gebracht wird, in ihnen ein geheimnisvolles, destruktives, zu philosophischen Schwierigkeiten Anlaß gebendes Element, ja sogar einen Widerspruch gegen den gesunden Menschenverstand zu finden.

Wenn man den Charakter der Erkenntnislehre der klassischen Physik und ihrer Verknüpfung mit der Schulphilosophie näher untersucht, so findet man folgendes:

Die allgemeine Ansicht war die, daß in dem großen Zeichensystem, aus dem die physikalischen Theorien bestehen, ein Rahmen feststeht, der mit fortschreitender Erfahrung nur allmählich ausgefüllt werden muß. Es schien festzustehen, daß alle Erscheinungen auf Bewegungen materieller Punkte oder auf Schwingungen eines Mediums zurückgeführt werden können, daß diese materiellen Punkte in jedem Zeitpunkt bestimmte Lagen und Geschwindigkeiten besitzen, durch welche die zukünftigen Zustände eindeutig bestimmt sind, daß es eine einheitliche Zeitvariable gibt, mit Hilfe deren sich alle Erscheinungen am einfachsten darstellen lassen u. ä. In der Ausfüllung dieses Rahmens glaubte man, noch vieles ändern zu müssen, aber in seinen Grundstäben nichts.

Durch die Relativitätstheorie und Quantenmechanik ist diese Überzeugung erschüttert worden, wir wissen, daß auch in denjenigen Teilen des Zeichensystems, die den Rahmen bilden, vieles geändert werden mußte und noch vieles geändert

wird werden müssen. Wir sind überhaupt nicht mehr davon überzeugt, wie man es früher war, daß die Rahmenpartien des Zeichensystems sich bereits einer definitiven Gestalt nähern. Das bedeutet aber nicht das Einnehmen eines irgendwie skeptischen Standpunktes, sondern nur die Ablehnung eines Unterschiedes zwischen den verschiedenen Stellen des Zeichensystems.

So wie jeder Physiker davon überzeugt ist, daß man mit fortschreitender Erfahrung, mit fortschreitender Verfeinerung der Meßtechnik immer feinere Strukturen annehmen, immer neue Zustandsgrößen einführen müssen, so muß er auch davon überzeugt sein, daß nicht ein für alle Ewigkeiten fester Rahmen existiert, der durch die Dreizahl: Raum, Zeit, Kausalität, gekennzeichnet ist, und an dem keine Erfahrung etwas soll ändern können, sondern daß vielmehr für diese allgemeinsten Zuordnungsgesetze genau dasselbe gilt wie für die spezielleren, deren Abhängigkeit vom Fortschritt der Erfahrung niemand bezweifelt.

Die klassische Physik konnte die Meinung aufkommen lassen, daß dieser Rahmen im wesentlichen fertiggestellt sei. Daher konnte er von der Schulphilosophie als ewige Wahrheit proklamiert werden.

Unsere moderne theoretische Physik, die den Fortschritt an allen Stellen des Zeichensystems zuläßt, ist nur vom Standpunkte der Schulphilosophie aus gesehen eine skeptische. Vom Standpunkt der rein wissenschaftlichen Auffassung, die nur in den Erlebnissen etwas feststehendes sieht, in dem Zeichensystem, das dazu konstruiert wird, aber nur ein Hilfsmittel, ein Instrument, liegt darin nichts skeptisches, ebensowenig, wie jemand etwas skeptisches darin sieht, wenn man behauptet, die endgültige Maschine zur Fortbewegung im Raume müsse dem gegenwärtigen Flugzeug nicht ähnlich sehen, auch nicht in seinen wesentlichsten Teilen, sie müsse mit ihm nur das eine gemeinsam haben, daß man mit ihrer Hilfe fliegen könne.

Und nun kehren wir zu der anfangs gestellten Frage zurück: was bedeuten die gegenwärtigen physikalischen Theorien für die allgemeine Erkenntnislehre?

Vom Standpunkt der Schulphilosophie aus gesehen, bedeuten sie eine Zersetzung des rationalen Denkens, sind also nur Vorschriften zur Darstellung der Versuchsergebnisse, aber keine Erkenntnis der Wirklichkeit, die anderen Methoden vorbehalten bleibt. Für den aber, der diese nichtwissenschaftlichen Methoden nicht anerkennt, sind die *gegenwärtigen physikalischen Theorien eine Bestärkung in der Überzeugung, daß auch in Fragen, wie denen nach Raum, Zeit und Kausalität ein wissenschaftlicher Fortschritt existiert, der mit dem Fortschritt unserer Erfahrungen Hand in Hand geht*, daß es also nicht notwendig ist, neben dem grünenden und wachsenden Baum der Wissenschaft ein graues Gebiet anzunehmen, in dem die ewig unlösbaren Probleme ihren Sitz haben, bei deren Beantwortung man sich seit Jahrhunderten

nur um seine eigene Achse dreht, daß es also keine Grenzen gibt, wo die Physik in die Philosophie übergeht, wenn man nur die Aufgabe der Physik im Sinne von ERNST MACH, etwa mit den Worten

von CARNAP, als die Aufgabe formuliert: „Die Wahrnehmungen systematisch zu ordnen und aus vorliegenden Wahrnehmungen Schlüsse auf zu erwartende Wahrnehmungen zu ziehen.“

Klima und Landschaften.

VON SIEGFRIED PASSARGE, Hamburg.

In dem Aufsatz „Länder, reale Landschaften und ideale Landschaftstypen“ (Naturwiss. 1929, 707) wurde darauf hingewiesen, daß man vielfach irrtümlicherweise die Gliederung der Landschaftsgürtel für klimatisch halte, daß vielmehr die *Folgeerscheinungen* der Klimate — nämlich klimatisch bedingte Pflanzenvereine und die Bewässerungsart — maßgebend seien. Dieser kurze Hinweis mußte dort genügen, hier aber sollen die zum Teil verwickelten Verhältnisse noch näher erläutert werden.

Die *Klimagürtel* — ein idealer, zur Zeit noch gar nicht scharf abzugrenzender, Tropen-, Subtropen-, Mittulgürtel und Polarkappen umfassender Begriff — dienen zur allgemeinen Orientierung. Die Landschaftsgürtel weichen von ihnen vor allem dadurch ab, daß die klimatisch bedingten *Trockengebiete* — Wüsten und Salzsteppen — zu den obigen Gürteln hinzukommen. Sie queren diese und reichen nach Nord und Süd in die Mittulgürtel hinein.

Die Landschaftsgürtel richten sich nach klimatischen Pflanzenvereinen, Böden und Bewässerungsarten — also nach den *Folgeerscheinungen* des Klimas, nicht nach den Klimaprovinzen selbst. Diese Tatsache kommt dadurch zum Ausdruck, daß nicht die klimatischen Faktoren — Temperatur, Regenfall u. a. m. — bei der Aufstellung der Landschaftsgürtel zuerst festgelegt werden; vielmehr versucht man *nach* Aufstellung jener die ungefähren klimatischen Werte für Temperatur, Niederschläge usw. zu ermitteln. Dabei kommt man zuweilen zu einer feineren Charakteristik des Klimas, als es ohne die landschaftliche Grundlage möglich ist — z. B. in den Mittelmeerländern: Minhoklima usw. (Vgl. Landschaftskunde H. IV, 78.)

Nun kommen aber bei der Aufstellung von Landschaftstypen innerhalb der Landschaftsgürtel noch andere Einflüsse hinzu, die mit dem Klima gar nichts zu tun haben: zuerst der Mensch, der die Pflanzendecke, namentlich die Gehölze, verändert. So sind z. B. innerhalb eines Waldklimas Steppenländer entstanden, und zwar von größtem Ausmaß und schärfsten Charaktermerkmalen. Damit ist eine *Disharmonie* zwischen Klima und Landschaft zustande gekommen. Man gelangt also zu dem Begriff der *harmonischen* und der kulturell bedingten *disharmonischen Landschaften*. Letztere sind teils Raublandschaften, teils Kulturlandschaften, z. B. Oasen in Wüsten.

Nun hängt der Landschaftscharakter aber nicht nur von der Pflanzendecke ab, sondern auch vom *Boden*, und dieser bedingt sowohl das Aussehen der natürlichen Pflanzendecke als auch die Wasserverhältnisse. Solche „edaphische“ Folge-

erscheinungen können sowohl kleinere Ortsvereine als auch räumlich sehr ausgedehnte, sogar für die Landschaftsgebiete wichtige Regionalvereine sein. Jedenfalls kann eine Disharmonie zwischen Klima und Landschaft nicht nur hinsichtlich der Wirkung des Menschen, sondern auch hinsichtlich der von Boden und Bewässerung bestehen — *kulturelle* und *edaphische Disharmonie*.

Örtlich kann eine Disharmonie auch aus anderen Gründen eintreten, z. B. wegen Steilheit der Gehänge und wegen ungewöhnlich starker Abtragung. So liegt z. B. die meteorologische Station Cherrapundja trotz der Regenhöhe von 12 m (!) nicht etwa im üppigsten Regenwald, sondern wegen der gewaltigen Abspülung in einer steinigten Grassteppe, die das kleine Sandsteinplateau bedeckt. Auf steilen Gehängen fehlt manchmal das Waldkleid wegen Mangel an Verwitterungsboden — z. B. auf Granitwänden in tropischen Regenwaldgebirgen.

Das sind freilich örtliche Gebilde, die auf die Gliederung der Landschaften keinen Einfluß haben können; es kommen aber auch so ausgedehnte, kulturell und edaphisch bedingte disharmonische Landschaften vor, daß man an ihnen unmöglich vorbeigehen kann. Als Beispiel wurde bereits auf die Umwandlung der Wälder in Steppen hingewiesen. Betrachten wir diesen Vorgang näher!

Man wird wohl kaum fehlgehen mit der Annahme, daß die heutigen Steppenländer einst zum größten Teil Gehölzländer waren, und daß nur örtlich, unter dem Einflusse des Bodens — besonders bei zu großer Durchlässigkeit oder bei einem für die Baumwurzeln nicht durchdringbaren Unterboden — Steppencharakter mit starker Grasentwicklung vorhanden war. Die heutigen Steppen sind also wahrscheinlich überwiegend Raublandschaften und zum Teil disharmonisch zum Klima. Folgendes Muster, das für die tropischen Wälder gilt, mag die Sachlage erläutern.

Statt ursprünglicher Klimavereine entstanden *kulturell-disharmonische Vereine*:

Immergrüne Regenwälder wurden verwandelt in Feuchtsteppen mit Hochgras, immergrünen Galeriewäldern, Parklandschaft mit immergrünen Wäldchen, regengrünem Steppenlaubwald, Obstgartensteppe, Baumsteppe, Grassteppe.

Regengrüne Trockenhochwälder wurden verwandelt in Feuchtsteppen wie vorher, aber ohne immergrüne Wäldchen in der Parklandschaft.

*Miombowälder*¹ = Trockenniederwald wurden verwandelt in Trockensteppen mit Niedergras, regen-

¹ Miombo heißt der aus Laubbäumen bestehende regengrüne Niederwald in Ostafrika. Trockenhochwald und Trockenniederwald entsprechen den „Monsun-