

⁹ Sache des Arztes ist es oft, dem Ganzen schädliche Fehlkatalysen des Körpers zurechtzurücken bzw. höhere Instanzen des Organismus anzurufen, die dieses Geschäft besorgen müssen.

¹⁰ Nach Schopenhauer gilt, daß „die Lebenskraft die Kräfte der unorganischen Natur allerdings benutzt und gebraucht, jedoch keineswegs aus ihnen besteht; so wenig wie der Schmied aus Hammer und Ambos“. Oder weiter: „Allerdings wirken im tierischen Organismus physikalische und chemische Kräfte; aber was diese zusammenhält und lenkt, — das ist die Lebenskraft; sie beherrscht demnach jene Kräfte und modifiziert ihre Wirkung, die also hier nur eine untergeordnete ist“. „Keine Künstlichkeit ohne Vorbedachtheit“ (August Krönig).

¹¹ Schopenhauer betont, daß „der Intellekt und die Materie Korrelata sind, d. h. Eines nur für das Andere da ist, Beide miteinander stehen und fallen“. Verfolgen wir demgemäß die realistische Grundansicht des Materialismus, „aufsteigend vom bloßen Mechanismus, zur Polarität, Vegetation, Animalität“, bis zum letzten Glied der Kette: „die tierische Sensibilität, das Erkennen, welches folglich jetzt als eine bloße Modifikation der Materie, ein durch Kausalität herbeigeführter Zustand derselben aufträte . . .“, so würden wir, auf seinem Gipfel mit ihm angelangt, eine plötzliche Anwendung des unauslöschlichen Lachens der Olympier spüren, indem wir, wie aus einem Traum erwachend, mit einem Male inne würden, daß sein letztes, so mühsam herbeigeführtes Resultat, das Erkennen, schon beim allerersten Ausgangspunkt, der bloßen Materie, als unumgängliche Bedingung vorausgesetzt war, und wir mit ihm zwar die Materie zu denken uns eingebildet, in der Tat aber nichts anderes als das die Materie vorstellende Subjekt, das sie sehende Auge, die sie fühlende Hand, den sie erkennenden Verstand gedacht hätten“ (Ausgabe Deussen Bd. 1, S. 32).

„Sind die Wahrnehmungen geistig, dann sind die räumlichen Relationen als Bestandteile unserer Wahrnehmungen auch geistig“ (Bertrand Russell 1947). Siehe auch M. von Laue, Was ist Materie? Universitas 2 (1947) 1217.

¹² Schriften von A. Mittasch zur Kausalität in der Chemie: Berzelius und die Katalyse, Leipzig 1935. Katalytische Verursachung im biologischen Geschehen, Berlin 1935.

(Professor Dr. Paul Mittasch, (17a) Heidelberg, Quinckestr. 41.)

Über Katalyse und Katalysatoren in Chemie und Biologie, Berlin 1936.

Katalyse und Determinismus, Berlin 1938.

Kurze Geschichte der Katalyse, Berlin 1939.

Robert Mayers Stellung zur Chemie, Berlin 1940.

Friedrich Nietzsches Stellung zur Chemie, Berlin 1944.

Lebensproblem und Katalyse, Ulm 1947.

Von der Chemie zur Philosophie, Ausgewählte Abhandlungen, Ulm 1948.

Katalyse und Biologie, Forsch. u. Fortschr. 12 (1936) 94.

Über Autokatalyse in Chemie und Biologie, Chem. Ztg. 60 (1936) 793.

Katalyse und Lebenskraft, Umschau 40 (1936) 733.

Über Kausalitäts-Rangordnung, Forsch. u. Fortschr. 14 (1938) 16.

Was ist Ganzheitskausalität? Acta Biotheoretica A 4 (1938) 73.

Kausalismus und Dynamismus, nicht Mechanismus! Forsch. u. Fortschr. 14 (1938) 177.

Bemerkungen über Anstoß- und Erhaltungskausalität in der Natur, Naturwiss. 26 (1938) 177.

Auslösungskausalität — ein vergessenes Kapitel Robert Mayer? Umschau 43 (1939) 1114.

Schopenhauer und die Chemie, 26. Jahrb. der Schopenhauer-Ges. 1939; S. 81.

Philosophisches in der Katalyse, Katalytisches in der Philosophie, Ztschr. f. physik. Ch. (A) 189 (1941) 44.

Gedanken über das Wirken in der Natur, 28. Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. 1941, 70.

Über Begriff und Wesen der Katalyse. G.-M. Schwabs Handbuch der Katalyse Bd. 1 (1941) S. 1—51.

J. Robert Mayers Begriff der Auslösung in seiner Bedeutung für die Chemie. R. Mayer-Gedenkschrift des Ver. D. Ing., Berlin 1942. S. 281.

Wesentliches und Abseitiges zur Geschichte der katalytischen Kraft, Die Chemie 55 (1942) 375.

Über die Reichweite des Auslösungsbegriffes. Bl. f. Deutsche Philos. 17 (1943) 298.

Die Bedeutung der Biokatalyse. Universitas 2 (1947) 1263.

Letzte Worte über Ursache und Kraft. 32. Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. 1948 S. 91.

Die Kausalität in der Physik.

Von

GRETE HENRY-HERMANN.

I.

Die Diskussion über die Kausalität im Naturgeschehen und über ihre Grenzen ist heute wieder in vollem Gang, und zwar — wie es auch die Themen des vorliegenden Heftes zum Ausdruck bringen — auf recht verschiedenen Gebieten und im Zusammenhang mit verschiedenen Ausgangsfragen.

Den Anstoß zu dieser erneuten Beschäftigung mit der alten Frage der Naturgesetzlichkeit hat die Quantenmechanik gegeben. Mit ihren Ergebnissen schien eine der sichersten und unerläßlichen Voraussetzungen der bisherigen physikalischen Forschung erschüttert, das Vertrauen in den durchgängigen und lückenlosen kausalen Zusammenhang alles Naturgeschehens. Die Frage nach der Kausalität in der

Physik führt uns demnach an den Ausgangspunkt der Kausalitätsdebatte, wie sie heute geführt wird, und fordert zu der Besinnung auf, ob dieser Ausgangspunkt in seiner Bedeutung für unser Naturbild klar gesehen wird. Zu welcher Revision an den Kausalvorstellungen der klassischen Physik nötigen uns die Quantenmechanik und die ihr zugrundeliegenden experimentellen Erfahrungen?

Wenn ich diese Frage hier aufnehme, so nicht darum, weil sie noch nicht, oder nicht mit hinreichender Deutlichkeit untersucht worden wäre¹. Wohl aber erscheint es mir wichtig, einige Ergebnisse dieser Untersuchungen noch einmal in ein helleres Licht zu stellen, da sie bis heute von den weiterführenden Diskussionen selten aufgenommen oder

gar auf ihre Konsequenzen hin durchdacht worden sind.

Die meisten Erörterungen, die sich mit den Grenzen der Kausalität im Naturgeschehen befassen, gehen von der Behauptung aus, die Quantenmechanik habe akausale Vorgänge im Atomaren nachgewiesen; gewisse Vorgänge an einzelnen atomaren Teilchen, an Elektronen, Protonen oder Lichtquanten etwa, seien nur durch statistische, nicht durch streng kausal determinierende Naturgesetze bestimmt. Der Zerfall eines Radiumatoms, die Aussendung von Licht durch ein Atom, das selber durch Strahlung angeregt worden ist, sind Beispiele für solche Vorgänge.

In dieser Behauptung aber steckt eine tief liegende Schwierigkeit, und erst deren Auflösung führt zum Verständnis dessen, was sich in unseren physikalischen Vorstellungen vom Naturgeschehen geändert hat: Wie kann aus *Erfahrungen* nachgewiesen werden, daß es für irgendeinen Vorgang, den wir beobachtet haben, keine — oder mindestens keine hinreichenden — Ursachen gibt? Die menschliche Erfahrung ist ungeschlossen. Wir erschöpfen in der Erfahrung nie die untersuchten Dinge oder Vorgänge und können nicht ausschließen, daß außer dem, was wir an ihnen oder ihrer Umgebung auffassen, weitere, vorläufig noch unbekannte Qualitäten aufweisbar sind, die später einmal durch neue Experimente und ihre theoretische Deutung entdeckt werden können. Solange wir diese Möglichkeit, durch neue Beobachtungen neue Bestimmungsstücke an unsern physikalischen Objekten zu finden, offen lassen, so lange können wir nicht ausschließen, daß unter derartigen bisher unbekanntem Qualitäten die Ursachen für solche Vorgänge entdeckt werden, die beim heutigen Stand der Forschung kausal nicht hinreichend erklärt werden können. Mit anderen Worten: So lange wir die Ursachen eines beobachteten Vorganges nicht kennen, ist es ein physikalisch sinnvolles Problem, nach ihnen zu suchen.

Die Quantenmechanik hat den Satz von der Ungeschlossenheit der Erfahrung, auf dem diese ganze Überlegung beruht, nicht angegriffen. Sie rechnet mit der Möglichkeit einer Erweiterung unserer Erfahrung und damit auch unserer physikalischen Kenntnis von atomaren Gebilden und Vorgängen. Trotzdem schließt sie die Möglichkeit aus, durch eine bloße Erweiterung der Theorie, also etwa durch die Hinzunahme solcher unbekannter Qualitäten, die in der Quantenmechanik aufgetretenen Unbestimmtheiten zu überwinden, — z. B. den Zeitpunkt für den Zerfall eines Radiumatoms oder der Strahlung eines angeregten Atoms vorauszubestimmen oder anzugeben, welche Elektronen im lichtelektrischen Effekt aus einer Metallplatte herausgerissen werden. Wir werden uns also

den Beweis für diese Unmöglichkeit daraufhin ansehen müssen, ob und wie er dem Satz von der Ungeschlossenheit der Erfahrung Rechnung trägt.

Dieser Beweis stützt sich auf Heisenbergs Lehre vom „Schnitt“ zwischen der Anwendung klassischer und quantenmechanischer Begriffe. Danach gibt es für einen physikalischen Vorgang, den wir auf Grund unserer Messungen mit Hilfe quantenmechanischer Begriffe beschreiben, nur eine Stelle, an der für diese Beschreibung etwas unbestimmt bleibt und an der insofern ein akausaler Übergang von einem Zustand in einen andern vorzuliegen scheint. Es ist die Stelle, wo wir von der unvermeidlichen klassischen Beschreibung der Meßinstrumente zur quantenmechanischen Beschreibung des untersuchten Vorgangs übergehen. Diese Unterscheidung zwischen Meßinstrument und untersuchtem Vorgang bezieht sich aber offenbar nicht auf einen im physikalischen Geschehen selber liegenden Gegensatz; was zum Meßinstrument, was zum Objekt der Messung gehört, bestimmt der Physiker durch die Fragestellung, mit der er an sein Experiment herangeht. In gewissen Grenzen kann er diese Unterscheidung willkürlich nach der einen oder der andern Seite verschieben. Wenn etwa im Verlauf der Messung das untersuchte atomare Gebilde beleuchtet und durch ein optisches Instrument beobachtet wird, dann kann das Licht, das von ihm ins Instrument fällt, entweder als bloßes Mittel der Messung angesehen und mit zum Meßinstrument gerechnet werden, oder man verfolgt seine Wechselwirkung mit dem untersuchten atomaren Objekt im quantenmechanischen Formalismus und betrachtet es damit noch als einen Teil des untersuchten Vorgangs. Im ersten Fall liegt der „Schnitt“ an der Stelle, wo das Licht auf das atomare Gebilde fällt, im zweiten da, wo das von dort reflektierte Licht das Meßinstrument trifft.

Die Unmöglichkeit, diesen Schnitt eindeutig festzulegen, schließt nun jede Erwartung aus, durch die Entdeckung vorläufig noch unbekannter Qualitäten die Unbestimmtheit der Quantenmechanik zu überwinden. Denn angenommen, es wäre gelungen, an einer Schnittstelle solche neuen Qualitäten zu finden, dann brauchten wir den Schnitt nur von dieser Stelle fortzuverlegen und hätten dann eine Erweiterung, sei es der quantenmechanischen, sei es der klassischen Bestimmung des physikalischen Geschehens. Eine solche Erweiterung ist aber nicht mehr möglich; denn weder im quantenmechanischen Formalismus, noch in der klassischen Beschreibung des Meßinstruments bleibt im Rahmen der hier untersuchten Zusammenhänge noch ein physikalisches Problem offen, das durch solche neuen Entdeckungen gelöst werden könnte. Jede Erweiterung würde zu einer Überbestimmung führen und

dadurch mit den bisherigen Ergebnissen der physikalischen Forschung in Konflikt geraten.

Diese Zurückweisung jeder Spekulation auf bisher unbekannte Qualitäten ist nun mit der vorangestellten grundsätzlichen Überlegung durchaus im Einklang. Sie stützt sich ja darauf, daß an den Stellen, wo wir solche Qualitäten suchen könnten, nach der Verlegung des „Schnitts“ keine kausale Unbestimmtheit mehr vorliegt. Dadurch entfällt das Problem, hier nach noch unbekanntem Ursachen zu suchen. Es entfällt, weil wir keinen „akausalen Vorgang“ mehr vor uns haben, keinen Vorgang also, zu dem sich hinreichende Ursachen anscheinend nicht auffinden lassen. Die Quantentheorie gestattet, wie Heisenberg es formuliert, „die Gründe für das Eintreten eines Ergebnisses nachträglich stets vollständig aufzuzählen, selbst wenn sie eine Voraussage des zukünftigen Ereignisses nicht möglich macht“.²

II.

Den Einwand, wonach bei der Unabgeschlossenheit der Erfahrung die Behauptung kausal nicht hinreichend determinierter Vorgänge nicht auf Erfahrungen gegründet werden könne, beantwortet die Quantentheorie also mit dem Hinweis, daß sie diese Behauptung auch gar nicht aufgestellt habe. Um so dringender wird die Frage, was denn bei jenen scheinbar akausalen Fällen eigentlich vor sich geht. Wie ist die Unbestimmtheit, die in der Quantentheorie insbesondere mit der Vorhersage künftigen Geschehens verbunden ist, zu erklären? Um das zu verstehen, müssen wir auf die Erfahrungen zurückgehen, auf denen die Quantenmechanik beruht, und auf die Deutung, die sie diesen Erfahrungen gibt.

Wir stehen damit bei den Dualismus-Experimenten, an denen die klassische Unterscheidung zwischen kontinuierlich sich ausbreitenden Wellen, wie den Lichtwellen, und korpuskularen Strahlungen, die aus schnell bewegten Elementarteilchen der Materie bestehen, scheiterte. Das Licht, das seit der Entdeckung der Interferenzerscheinungen als Wellenbewegung verstanden wurde, zeigt unter bestimmten experimentellen Bedingungen, wie denen des lichtelektrischen Effekts, korpuskularen Charakter. Und Elektronenstrahlen können unter geeigneten Versuchsanordnungen Interferenzen hervorrufen und damit zum Schluß auf ihren Wellencharakter nötigen.

Die Deutung dieser Experimente hat zur Aufstellung der Unbestimmtheitsrelationen Heisenbergs geführt. Wenn eine und dieselbe Strahlung sich unter gewissen Bedingungen wie ein kontinuierlicher Wellenzug, unter andern wie ein Hagel bewegter Korpuskeln benimmt, dann kann keine die-

ser beiden Beschreibungsweisen absolut zutreffen. Jede von ihnen schränkt vielmehr die Anwendbarkeit der anderen ein. Aus den Daten der Experimente hat Heisenberg diese Beschränkung in der Anwendbarkeit jedes der beiden Bilder mathematisch genau festlegen können. Die bekannteste dieser Beschränkungsformeln ist die Unbestimmtheitsrelation, wonach bei der Bestimmung einer atomaren Korpuskel die Ortsangabe um so unbestimmter werden muß, je genauer der Impuls der Partikel bestimmt ist, und umgekehrt. Es ist $\Delta q \cdot \Delta p \geq h$, wobei Δq die Größe des Ortsintervalls ist, in dem die Lage des Elementarteilchens unbestimmt bleibt, und Δp die entsprechende Unbestimmtheit für den Impuls des Teilchens bedeutet.

Aber was besagt diese Unbestimmtheitsrelation nun eigentlich? Hier bieten sich zunächst zwei entgegengesetzte Deutungen an: Entweder wir fassen sie subjektiv auf als die Angabe einer unvermeidbaren Unwissenheit über Ort und Bewegung der betreffenden Korpuskel. Oder wir deuten sie objektiv und schreiben die Größen Δq und Δp als objektive Merkmale dem untersuchten physikalischen Vorgang selber zu. Beide Deutungen lassen sich in ihrer Weise veranschaulichen: Im ersten Fall stellen wir uns das Elektron als kleine fliegende Korpuskel vor, die sich nur — auf Grund der mit jeder Messung verbundenen Störung ihrer Bewegung — der genauen Bestimmung ihres Orts und ihrer Geschwindigkeit entzieht. Im zweiten Fall gehen wir davon aus, daß dieses physikalische Gebilde keine Korpuskel im strengen Sinn des Wortes ist. Wir stellen sie uns etwa als ein zusammengeballtes Wellenpaket vor, als ein einzelner sich in der Bewegung mehr und mehr ausbreitender Wellenberg, dessen Breite Δq ist und dessen Vorderfront gleichsam vor der zurückbleibenden Rückseite davonläuft; die Geschwindigkeit des fortschreitenden Wellenbergs ist also in der Tat nicht ein einzelner Wert, sondern verteilt sich über ein Intervall verschiedener Werte. Die Breite dieses Intervalls ist durch Δp bestimmt.

Mit beiden Deutungen aber geraten wir in Widerspruch zur Quantenmechanik. Die subjektive Deutung scheidet ohne weiteres an den Dualismus-Experimenten. Sie nötigen zu der Feststellung, daß die Elementarteilchen nicht schlechthin Korpuskeln sind — sonst wären die Interferenzerscheinungen unmöglich. Die Unbestimmtheitsrelationen können also nicht bedeuten, daß Orts- und Impulswerte, die dem Elektron objektiv zukämen, vom Physiker nur nicht beliebig genau erkannt werden könnten. Die Erfahrung zeigt vielmehr, daß dem Elektron Orts- und Impulsbestimmungen nur in den Grenzen zukommen können, wie sie durch die Unbestimmtheitsrelation gezogen werden.

Die Ableitung dieser Relation drängt insofern anscheinend zur objektiven Deutung. Bei der aber entsteht die Schwierigkeit, sobald wir fragen, was vor sich geht, wenn wir etwa an einem Elektron mit großem Δq eine genaue Ortsmessung vornehmen. Eine solche Messung ist nach der Quantentheorie prinzipiell möglich. Ihr Ergebnis gehört zu den nur statistisch, nach Wahrscheinlichkeitsregeln vorher-sagbaren Ereignissen. Sie führt zu einer neuen Zustandsbestimmung des Elektrons, bei der nun der Ort innerhalb einer kleinen Ungenauigkeitsgrenze Δq festliegt, während der Impuls, der vorher scharf bestimmt war, ein großes Unbestimmtheitsintervall aufweist. Halten wir uns an die objektive Deutung der Unbestimmtheitsrelation, so ergibt sich das Bild, daß ein weit ausgebreiteter Wellenberg im Augenblick der Messung eine Einwirkung erfahren und sich dadurch ruckartig in einen schmalen, dafür aber hohen, und daher rasch auseinanderlaufenden Wellenberg zusammengezogen hat. In entsprechender Weise müßte eine genaue Geschwindigkeitsmessung verbunden sein mit einer plötzlich hervorgerufenen Verflachung eines zunächst steilen und engen Wellenberges. Diese Vorgänge müßten wegen der Unbestimmtheit ihres Ergebnisses mit zu den angeblich „akausalen“ Ereignissen gehören.

Nun hat die Quantenmechanik zwar festgestellt, daß jede Messung im Atomaren mit einer Wechselwirkung zwischen Meßinstrument und dem gemessenen physikalischen Objekt verbunden ist, bei der sich der Zustand dieses Objekts ändert. Aber diese Änderungen stellen sich uns hier dar unter der Vorstellung sehr merkwürdiger Kontraktions- und Ausbreitungsprozesse von so etwas wie Wellenbergen. Diese Vorstellung schließt u. a. die im Rahmen der modernen Physik unzulässige Annahme ein, daß sich gegebenenfalls ein Wellenzug von astronomischen Ausmaßen in einem Augenblick, und insofern mit einer jedes Maß übersteigenden Geschwindigkeit auf die Größe eines Atoms zusammenziehen könnte. Abgesehen von derartigen Sonderbarkeiten aber läßt sich zeigen, daß gerade der quantenmechanische Formalismus für die Annahme solcher Vorgänge keinen Platz hat.

An welcher Stelle des Meßprozesses sollten wir diesen Vorgang einer Zusammenziehung der Wellenfunktion suchen? Wenn überhaupt, so werden wir ihn an der Stelle erwarten, wo das zu messende Elektron zum Zweck der Messung beleuchtet und dabei durch den Zusammenstoß mit dem Lichtquant in seinem bisherigen Zustand gestört wird. Diese Wechselwirkung zwischen Elektron und Lichtquant läßt sich nun im quantenmechanischen Formalismus verfolgen. In diesem Formalismus ist der Zustand des Elektrons durch seine Wellenfunktion charakterisiert. Diese Wellenfunktion läßt sich even-

tuell noch als Darstellung eines solchen Gebildes deuten, das über das räumliche Intervall der Größe Δq ausgebreitet ist, das aber im Lauf der Zeit weiter zerfließt und insofern auch eine über ein Unbestimmtheitsintervall verteilte Geschwindigkeit hat. In ähnlicher Weise läßt sich das Licht, das für die Messung benutzt wird, durch eine Wellenfunktion darstellen, besonders wenn wir an eine geringe Lichtmenge, im Grenzfall an ein einziges Lichtquant, denken. Dem Zusammenstoß zwischen Elektron und Lichtquant entspricht dann im quantenmechanischen Formalismus die Anwendung eines bestimmten mathematischen Operators auf das Produkt der beiden Wellenfunktionen. Das Ergebnis ist eine neue Wellenfunktion, die eindeutig durch die beiden gegebenen Wellenfunktionen und den angewandten Operator bestimmt ist. Diese Wellenfunktion ist eindeutig bestimmt: sie enthält also nicht die Unbestimmtheit, die wir jenem mystischen Kontraktionsprozeß des Elektrons zuschreiben müßten, da sich ja das Ergebnis der Ortsmessung nicht vorausberechnen läßt. Auf der andern Seite ermöglicht diese neue Wellenfunktion uns nicht, den Zustand des Elektrons für sich zu bestimmen. Sie charakterisiert vielmehr das aus Elektron und Lichtquant bestehende physikalische System in einer abstrakten, unanschaulichen Weise, die es unmöglich macht, Elektron und Licht nach erfolgtem Zusammenstoß noch als zwei von einander unabhängige Gebilde zu unterscheiden. Beide stehen vielmehr, gemäß dieser gemeinsamen Wellenfunktion, in einer unanschaulichen Beziehung zueinander, die nur dadurch gelöst werden kann, daß der Zustand eines von ihnen durch eine neue Beobachtung bestimmt wird, etwa dadurch, daß die Messung zu Ende geführt und das Licht nach erfolgter Wechselwirkung mit dem Elektron ins Mikroskop fällt und eine photographische Platte schwärzt. Auf dieser Platte können wir das Messungsergebnis ablesen und daraufhin den gemessenen Ort des Elektrons bestimmen und die Wellenfunktion, die ihm nach der Messung zukommt, aufstellen. Erst bei diesem Übergang macht sich die für die Quantenmechanik charakteristische Unbestimmtheit geltend, das Messungsergebnis, der genaue Ort des Elektrons nach der Messung und damit auch die diesem neuen Zustand entsprechende Wellenfunktion läßt sich aus den Anfangsbedingungen der Messung nicht vorhersagen. Aber diesen Übergang vollziehen wir nicht mehr durch eine Rechnung im quantenmechanischen Formalismus, sondern durch einen Blick auf die photographische Platte und dadurch, daß wir nach den Gesetzen der klassischen Optik die Schwärzung auf der Platte als Bild des beleuchteten Partikels deuten.

Die quantenmechanische Unbestimmtheit und damit der angebliche Kontraktionsprozeß — falls

es so etwas gibt — bietet sich also da an, wo wir durch eine neue Beobachtung von der quantenmechanischen Durchrechnung eines Vorgangs zur neuen Bestimmung eines an ihm beteiligten Partikels übergehen. Ohne solche neuen Beobachtungen führt der quantenmechanische Formalismus zu einer immer weitergehenden, aber ganz unanschaulichen Verflechtung der Elementarteilchen, die sich bei geeigneten Beobachtungen im Gesamtsystem nachweisen lassen. Der Übergang von der quantenmechanischen Berechnung zur Feststellung eines neuen Beobachtungsergebnisses ist nun eben die Stelle des Heisenbergschen „Schnitts“. Der aber liegt, wie wir schon sahen, nicht objektiv im physikalischen Vorgang selber fest, sondern bestimmt sich danach, wie weit der experimentierende Physiker mit der quantenmechanischen Berechnung des Vorgangs geht und wo er den Übergang zu neuen Beobachtungsergebnissen vornimmt. Der Physiker kann in der skizzierten Ortsmessung eines Elektrons die Wechselwirkung zwischen Licht und Elektron quantenmechanisch noch mit verfolgen. Er braucht das nicht zu tun. Im ersten Fall erfaßt er den Vorgang dieser Wechselwirkung als einen völlig bestimmten Verknüpfungsprozeß, bei dem die Wellenfunktionen der beiden Teilsysteme in die Wellenfunktion des Gesamtsystems übergehen. Diese Wellenfunktion des Gesamtsystems „zerfällt“ erst in dem Augenblick, in dem die photographische Platte abgelesen und daraufhin die Zustandsfunktion des Elektrons neu bestimmt wird. Im zweiten Fall ist dagegen nur an der Stelle der Wechselwirkung zwischen Licht und Elektron Platz für den angeblichen Kontraktionsprozeß und die mit der Messung verbundene Unbestimmtheit: Denn der Weg des Lichts von dort ins Mikroskop und auf die photographische Platte läßt sich hier mit den Gesetzen der klassischen Optik beschreiben, die keine akausale Unbestimmtheit, keinen unstetigen Übergang in der Art der geschilderten Kontraktionen kennen. Solche Prozesse gibt es also überhaupt nicht, und zwar aus demselben Grund nicht, mit dem Heisenberg die Erwartung zurückweist, durch künftig zu entdeckende, bisher unbekannte Qualitäten der Elementarteilchen die quantenmechanische Unbestimmtheit der Vorausberechenbarkeit physikalischen Geschehens zu überwinden.

III.

Was bleibt, wenn beide Deutungen der Unbestimmtheitsrelationen, die subjektive und die objektive, versagen? Die Antwort auf diese Frage muß sich aus den bisherigen Überlegungen ablesen lassen: Die subjektive Deutung verkennt, daß die Schranken in der Anwendung des klassischen Korpuskel- und des klassischen Wellenbildes das physi-

kalische Objekt selber charakterisieren und nicht nur Schranken des menschlichen Wissens von diesem Objekt sind. Die objektive Deutung aber versagt, weil sie etwas objektiv ins physikalische System hineinverlegt, was in Wahrheit nur die Fragestellung und Beobachtungsweise des Physikers charakterisiert, die Stelle nämlich, wo er von der Verfolgung eines immer komplizierter werdenden Zusammenhangs zwischen seinem Objekt und den benutzten Meßinstrumenten übergeht zur Fixierung eines Messungsergebnisses und damit zur Aufstellung einer neuen Wellenfunktion. Wie lassen sich beide Fehler vermeiden?

Wenn einerseits die Größen Δq , Δp , ... der Unbestimmtheitsintervalle, wie sie durch die Wellenfunktion eines atomaren Elementarteilchens gegeben sind, den Zustand des Teilchens und nicht etwa die Unwissenheit seines Beobachters kennzeichnen, wenn sich andererseits für den Übergang zu einer neuen Wellenfunktion mit andern Unbestimmtheitsintervallen kein objektiv nachweisbarer Vorgang finden läßt, an dem das System unstetig und „akausal“ vom einen in den andern Zustand überspringt, dann kann die Beschreibung eines physikalischen Systems durch seine Wellenfunktion, selbst wenn diese Wellenfunktion auf optimalen Messungen beruht, keine endgültige, absolute Charakterisierung dieses Systems sein. Sie gilt vielmehr nur relativ zu den Beobachtungen, auf Grund deren sie aufgestellt worden ist, und läßt die Möglichkeit offen, das gleiche System, und zwar für den gleichen Zeitpunkt, relativ zu einem andern Beobachtungszusammenhang durch eine andere Wellenfunktion zu beschreiben. Im Beispiel der skizzierten Ortsmessung: Relativ zum alten Beobachtungszusammenhang, in dem Elektron und Lichtquant je durch die eigene Wellenfunktion gegeben waren, führt die Wechselwirkung zwischen beiden zu jener Wellenfunktion, die sich auf beide Elementarteilchen bezieht und es nicht erlaubt, jedes von ihnen für sich zu bestimmen. Erst relativ zu der neuen Messung wird der Zustand des Elektrons nach seinem Zusammenstoß mit dem Lichtquant durch eine Wellenfunktion mit scharfer Ortsangabe und um so größerer Impulsunbestimmtheit beschrieben. In diesem neuen Beobachtungszusammenhang bildet es also unmittelbar nach dem Zusammenstoß mit dem Lichtquant durchaus ein für sich bestehendes, durch seine eigene Wellenfunktion charakterisiertes physikalisches System.

Wie sollen wir uns dieses Nebeneinander verschiedener Beobachtungszusammenhänge vorstellen? Jede Beobachtung greift von den uns umgebenden Gegenständen etwas für sich heraus und beschreibt es mit Hilfe irgend welcher an ihm festgestellter Merkmale als einen für sich bestehenden

Gegenstand. Wir hätten keinen Ansatzpunkt für die Erkenntnis der uns umgebenden Natur, wenn wir nicht in dieser Weise einzelne Dinge und Vorgänge zunächst isolieren und für sich studieren, und dann erst die zwischen den verschiedenen Dingen und Vorgängen bestehenden Wechselwirkungen aufsuchen wollten. Die klassische Physik geht diesen Weg in dem Vertrauen, mit einer immer genauer werdenden Erforschung der einzelnen Systeme und der zwischen ihnen bestehenden Wechselwirkungen sich mehr und mehr einem eindeutigen Modell des ganzen Naturgeschehens anzunähern. Diese Hoffnung hat ihren stärksten Ausdruck gefunden in der Idee des Laplaceschen Dämons, für den man sich diesen Forschungsprozeß als abgeschlossenen und vollkommen durchgeführt dachte. Er würde imstande sein, aus den zu irgend einem Zeitpunkt gegebenen physikalischen Bedingungen, auf Grund seiner Kenntnis aller Naturgesetze, jedes vergangene oder künftige Ereignis zu errechnen, und zwar durch die Auflösung eines Systems von Differentialgleichungen, deren Randbedingungen gegeben sind.

Genau wie die klassische Physik geht auch die Quantenmechanik in der Wiedergabe des Beobachteten von der Beschreibung einzelner physikalischer Gegenstände, Systeme, Vorgänge aus. Sie hält sich für diesen Ausgangspunkt sogar streng an die klassischen Vorstellungen. Die Gesetze der Wechselwirkung aber, wie sie in den Operatoren des quantenmechanischen Formalismus ihren Ausdruck finden, führen uns unwiderruflich von diesem Ausgangspunkt fort. Verfolgen wir rechnerisch, also ohne neue Beobachtungen heranzuziehen, die Wechselwirkung verschiedener durch ihre Wellenfunktionen gegebenen physikalischen Systeme, so werden wir auf eine Wellenfunktion für das Gesamtsystem geführt, die nicht mehr die ursprünglichen Teilsysteme als selbständige, durch ihren eigenen Zustand eindeutig gekennzeichnete Gebilde bestehen läßt. Mathematisch kommt das zum Ausdruck darin, daß diese Wellenfunktion nicht im gewöhnlichen dreidimensionalen Raum verläuft, sondern in einem Pseudoraum, dessen Dimensionen den physikalischen Freiheitsgraden des Gesamtsystems entsprechen. Diese abstrakte Funktion drückt Beziehungen zwischen den verschiedenen das Gesamtsystem charakterisierenden Größen aus, erlaubt aber nicht mehr, irgend ein Teilsystem, das sich zu irgend einem Zeitpunkt als Teil des Ganzen hat nachweisen lassen, während der ganzen Zeit in seinem individuellen Schicksal zu verfolgen.

Im Rahmen dieser Theorie ist für den Laplaceschen Dämon kein Platz. Wie vollständig auch immer die Beobachtungen sein mögen, die er seinen Rechnungen zugrunde legt, so gewinnt er mit ihrer Hilfe doch immer nur eine Beschreibung des Natur-

geschehens relativ eben zu diesen Beobachtungen. Je weiter er sich rechnerisch in der Verfolgung der quantenmechanischen Beziehungen von diesem Ausgangspunkt entfernt, zu einem um so unübersichtlicheren Netz von Beziehungen zwischen den verschiedenen physikalischen Größen wird er vordringen. Dabei gelingt es nicht, dieses Gesamtsystem zu deuten als das Zusammenwirken von Teilsystemen, die jeweils in ihrem individuellen Zustand bestimmt sind und somit eine gewisse Eigenexistenz führen. Um wieder zu beobachtbaren und kontrollierbaren Einzeldingen oder Vorgängen zurückzukommen, müßte auch er durch neue Beobachtungen in einen neuen Beobachtungszusammenhang übergehen. Und für die Ergebnisse dieser Beobachtungen liefern ihm seine, auf den alten Beobachtungszusammenhang bezogenen Rechnungen nur statistische Voraussagen.

Wir können nun zu unserer Ausgangsfrage zurückkommen: Zu welcher Revision an den Kausalvorstellungen der klassischen Physik nötigt uns die Quantenmechanik?

Die alte Überzeugung, wonach jedes Geschehen in streng kausalem Zusammenhang mit vergangene und künftige Geschehen steht, ist, wie sich gezeigt hat, nicht angetastet worden. Akausale Vorgänge im strengen Sinn des Wortes gibt es auch für die Quantenmechanik nicht. Wohl aber entfällt die andere klassische Überzeugung, wonach auf Grund dieser Kausalbeziehungen das gesamte Naturgeschehen einen einzigen, prinzipiell von einem beliebigen Zeitpunkt aus übersehbaren und berechenbaren Zusammenhang bildet. Diese Annahme scheidet nicht darum, weil an irgend einer Stelle die Kausalkette gleichsam abreißt und etwas eintritt, das, zum mindesten in gewissen Grenzen, zufällig ist. Sondern sie scheidet daran, daß die stillschweigend gemachte Voraussetzung sich als unhaltbar erwiesen hat, wonach wir physikalisch ein Ding oder einen Vorgang durch die ihn schlechthin, und d. h. unabhängig vom gegenwärtigen Beobachtungszusammenhang charakterisierenden Merkmale beschreiben können.

IV.

Zum Schluß einige Worte über die Bedeutung dieses Ergebnisses im Zusammenhang der ganzen Kausalitätsdiskussion, wie sie, ausgehend von den Entdeckungen der Quantenmechanik, weit über den Bereich der Physik hinausführt. In diesen Entdeckungen steckt etwas, das die Aufmerksamkeit so vieler Nicht-Physiker auf sich gezogen und die Physiker dazu gedrängt hat, über die bloße Feststellung physikalischer Ergebnisse hinaus diese in ihrer Tragweite für Fragen der Weltanschauung zu deuten. In diesen Entdeckungen wurden althergebrachte Vor-

stellungen und Voraussetzungen des klassischen Naturbildes anscheinend bis ins Fundament erschüttert, und damit bot sich eine Position, die alten Fragen nach der Möglichkeit menschlicher Erkenntnis, nach ihrem Bereich und nach ihren Grenzen in neuem Licht zu sehen.

Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, das Ergebnis der vorangegangenen Untersuchung philosophisch im Einzelnen durchzudiskutieren. Hier mag es genügen, von dem gewonnenen Standpunkt aus einige Ausblicke zu tun auf die Diskussionen, die sich um die Deutung der Quantenmechanik bemüht haben.

Dabei fällt zunächst auf, daß die überwiegende Tendenz, mit der jeweils diese Bemühungen vorgenommen worden sind, in den gut zwanzig Jahren, in denen die Quantenmechanik zur Diskussion stand, sich merklich gewandelt hat. Ende der zwanziger Jahre überwog, vor allem im Kreis der Physiker selber, die positivistische Deutung: Aus dem Versagen der klassischen Physik und ihrer bis dahin als unerschütterlich geltenden Vorstellungen zog man den Schluß, daß es für die Naturerkenntnis kein Apriori, keine durch Erfahrung nicht widerlegbaren, notwendigen Voraussetzungen gäbe. Hans Reichenbach faßte 1930 diese „antimetaphysische Haltung der modernen Naturwissenschaft“ so zusammen:³

„Es kommt der Naturforschung nicht darauf an, Erfahrungen in ein bestimmtes, von der Vernunft vorgegebenes Schema zu pressen, wie etwa Kant geglaubt hatte; . . . es kommt ihr allein darauf an, aus beobachteten Erfahrungen zukünftige zu prophezeien. Weil sie nichts weiter will als dieses, ist die moderne Naturforschung in der Lage, auf den Ballast althergebrachter Vorstellungen zu verzichten, mit dem der historische Entwicklungsgang das Denken angefüllt hat. . . Wir nannten diesen Grundzug einen antimetaphysischen; wir können ihn auch eine Entgötterung der Natur nennen. . . . Vielleicht gibt es keine größere Revolution in der Geschichte der Menschheit als diesen allmählichen Übergang von der Götternatur der Primitiven über die metaphysische Natur der Philosophen bis zu der nüchternen Natur der heutigen Physik, in der es nur noch Tatsachen und begriffliche Zusammenhänge zwischen Tatsachen gibt.“

Reichenbach selber ist sich bewußt, mit dieser Deutung einem Zug seiner Zeit Ausdruck zu geben. Er fährt fort:

„Die Entseelung und Entzauberung der Welt ist Grundzug nicht nur der Naturforschung, sie ist zugleich Grundzug unseres täglichen Daseins, ist die Kategorie, unter der wir unsere Gegenwart zu sehen haben. Man mag auch hier den Verlust von Gefühlswerten bedauern, wie sie die naive und technisch

noch nicht rationalisierte Welt früherer Jahrhunderte ausfüllten; aber man gewinnt sie dadurch nicht zurück, so wenig, wie man in den Jahren der Reife die Kindheit zurückzaubern kann.“

Schon heute sind Fragestellung und Interesse, die in der philosophischen Auseinandersetzung mit den Ergebnissen der Quantenmechanik überwiegen, ganz andere. Statt in der Haltung der modernen Physik eine „Entgötterung der Natur“ zu sehen, meldet sich immer wieder die Hoffnung, den alten Gegensatz zwischen Naturwissenschaft und Religion nun endlich überwinden zu können. Man beruft sich darauf, daß die moderne Physik das materialistisch-mechanistische Naturbild zerstört habe, zu dem die klassische Physik hindrängte, daß sie die Vorstellung vom absolut zwangsläufigen Naturgeschehen durchbrochen habe und uns im Naturgeschehen Freiheit erkennen lasse. Unter den Naturforschern ist Pascual Jordan heute wohl der Hauptsprecher dieser Deutung, der er durch die Anwendung quantenmechanischer Ansätze auf biologische Fragen Gestalt gegeben hat.

„Daß mikrophysikalische, nicht mehr kausal gebundene Einzelentscheidungen das Lebensgeschehen diktatorisch, richtunggebend steuern — diese Erkenntnis rückt uns dem großen Problem der inneren Freiheit des Lebendigen näher: Zum erstenmal in der Geschichte des menschlichen Denkens nimmt dies Problem Umrisse an, die uns naturwissenschaftlich abtastbar zu werden beginnen.“⁴

So verschieden die Jordanschen Deutungen im übrigen auch lauten, sie ruhen alle auf der Auffassung, die Quantenmechanik habe im atomaren Geschehen akasale Vorgänge aufgewiesen. Sie geraten daher auch in Widerstreit zu den quantenmechanischen Zusammenhängen, die in den vorangehenden Abschnitten dieser Arbeit dargelegt worden sind. Die antimetaphysische Haltung des Positivismus verkennt die enge Beziehung der Quantenmechanik zu den grundlegenden Vorstellungen der klassischen Physik. Ihr gegenüber geben Weizsäckers Ausführungen über „das Verhältnis der Quantenmechanik zur Philosophie Kants“⁵ den Ansatz zu vertieftem Verständnis und zur Bearbeitung der hier vorliegenden Probleme.

Wie sehr die Theorie Jordans, auf Grund dieser Mißdeutung der Quantenmechanik, wesentliche Kausalzusammenhänge auch im biologischen Geschehen verkennt, ergibt sich aus der Kritik, die Hartmann und Bünning⁶ an der von Jordan vorgenommenen Deutung seines biologischen Erfahrungsmaterials angebracht haben. Diese Kritik richtet sich nicht etwa gegen die Behauptung, daß im biologischen Geschehen atomare Einzelprozesse makrophysikalisch spürbare Wirkungen haben können, daß z. B. wenige Lichtquanten den Sehnerven

reizen oder einen Zellkern töten können. Sondern sie zeigt, daß die Entdeckung solcher Vorgänge nicht dazu dient, das „Problem der inneren Freiheit des Lebendigen“ „naturwissenschaftlich abtastbar“ zu machen. Jede Wilsonsche Nebelkammer zeigt makrophysikalische Wirkungen atomarer Einzelprozesse: die Nebelspur und ihr Bild auf einer photographischen Platte, wie sie von einem einzelnen die Kammer durchlaufenden Elektron ausgelöst wird. Aber der Vorgang in der Nebelkammer, die Bewegung des Elektrons und die Nebelbildung an den ionisierten Atomen, ist kein Leben und läßt nichts von angeblich „freien“ Entscheidungen des Elektrons oder der von ihm hervorgerufenen Nebeltropfchen erkennen. Daran würde sich auch dann nichts ändern, wenn die durch dieses eine Elektron ausgelösten makrophysikalischen Wirkungen noch weit größer und nachhaltiger wären, wenn sie z. B. darin bestünden, eine Atombombe zur Explosion zu bringen.

Selbst wenn Jordans Deutung der Quantenmechanik zuträfe, wenn die nicht-vorausberechenbaren atomaren Einzelprozesse akausal im strengen Sinn des Wortes wären, wenn sie also keine hinreichenden Ursachen hätten und insofern zufällig wären — so wäre für die Erklärung der Lebensvorgänge oder gar der Willensfreiheit damit noch nichts gewonnen. Freiheit ist nicht Zufall. Und es ist auch nicht der Zufall, was uns im Geheimnis des Lebens entgegentritt. Im Gegenteil: dieses Geheimnis zeigt sich uns in der wunderbaren Ordnung und Gesetzmäßigkeit, mit der die Teile des Organismus aufeinander und auf die Reize der Umwelt so reagieren, daß der Organismus sich erhält, gegen Schädigungen verteidigt, sich entwickelt und sich fortpflanzt.

Und doch ist es verständlich, wenn Menschen in der Anerkennung sittlicher Freiheit und in ehrfürchtigem Staunen vor dem Leben und seiner Ordnung und Gesetzmäßigkeit sich auflehnen gegen eine Naturwissenschaft, die nur kausale Verknüpfungen anerkennt und jedes Geschehen nur nach diesem Gesichtspunkt beurteilt. Im nur kausalen Wechselspiel der Naturkräfte bleibt es zufällig, ob das, was dabei herauskommt, gut oder schlecht ist. Der sittlich freie Mensch aber weiß sich fähig und verantwortlich, sich für das Gute zu entscheiden und danach zu handeln. Und im Leben der Natur finden wir dieses gesetzmäßige Zusammenwirken, das der Erhaltung und Entwicklung dieses Lebens gedient hat, bis zur heutigen Stufe des organischen Lebens. Sittliche Entscheidungsfreiheit und diese Gesetzmäßigkeit des Lebens haben also in einer nur kausal geordneten Welt keinen Platz. Sie sind unvereinbar mit einem Naturbild, das die Anmaßung einschließt, als lasse das Naturgeschehen sich darstellen im Modell einer einzigen ungeheuren Ma-

schine, deren Bewegungen auf Grund irgendwelcher Anfangsbedingungen und eines Systems von Naturgesetzen prinzipiell vollständig berechenbar und unübersehbar wäre. Mit anderen Worten: sie sind unvereinbar mit jener mechanistischen Naturauffassung, die meinte, über jede Grenze hinaus sich dem Zustand des Laplaceschen Dämons annähern zu können.

Die Quantenmechanik weist diese mechanistische Naturauffassung zurück. Ihre Widerlegung beruht aber, wie wir gesehen haben, nicht etwa auf dem Nachweis, daß der bisher als lückenlos, das ganze Naturgeschehen eindeutig durchziehend gedachte Kausalzusammenhang im Atomaren nun plötzlich doch Bruchstellen und Lücken zeigt. Eine solche Korrektur würde uns dem Problem sittlicher Freiheit und dem Geheimnis des Lebens in keiner Weise näher führen. Sondern die Anmaßung einer absoluten Naturbeschreibung entfällt, diese Anmaßung, die darin liegt, die Wirklichkeit nur durch die physikalisch-kausale Brille sehen zu wollen in dem Wahn, sie hier in einem eindeutigen und vollständigen Modell darstellen und über jede Grenze hinaus erfassen zu können. Wenn schon die Physik selber darauf verzichten muß, ihre Objekte in einem eindeutigen klassischen Modell darzustellen, wenn sie ihren Gegenstand vielmehr nur relativ zum jeweiligen Beobachtungszusammenhang beschreiben und erfassen kann, dann ist um so mehr der Weg frei dafür, neben der physikalisch-kausalen Naturforschung ganz andere Zugänge zur Erfassung des eigenen und des uns umgebenden Lebens anzuerkennen. Diese notwendige Selbstbescheidung physikalischer Naturerkenntnis bleibt dabei durchaus vereinbar mit dem Festhalten an dem methodischen Leitsatz jeder physikalischen Forschung, wonach es überall da, wo wir die Ursachen eines beobachteten Vorgangs nicht kennen, ein physikalisch sinnvolles Problem ist, nach ihnen zu suchen.

Das Bewußtsein sittlicher Freiheit aber und das Staunen vor dem Geheimnis des Lebens gehören anderen Betrachtungsweisen an als denen physikalischer und also kausaler Naturbetrachtung. Für die Fragen, die hier auftauchen, ist der Quantenbiologe ebensowenig zuständig wie der Assistent des Laplaceschen Dämons.

Anmerkungen.

¹ Vergleiche vor allem: Werner Heisenberg, „Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft“, 7. Auflage; Verlag Hirzel, 1947. Carl Friedrich von Weizsäcker, „Zum Weltbild der Physik“, 2. Auflage; Verlag Hirzel, 1944. Grete Hermann, „Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik“. Verlag „Öffentliches Leben“, Berlin 1935, und „Die Bedeutung der modernen Physik für die Theorie der Erkenntnis“ (in dem unter dem gleichen Titel erschienenen Heft der drei Arbeiten von G. Hermann, E. May und Th. Vogel), Verlag Hirzel 1937.

² Heisenberg: a. a. O. Seite 45.³ Hans Reichenbach: „Die philosophische Bedeutung der modernen Physik“, „Erkenntnis“, Band I, Heft 1; Verlag Meiner, Leipzig, 1930. Seite 68 ff.⁴ Pascual Jordan: „Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens“, Band 95 der Serie „Die Wissenschaft“, Verlag Vieweg, Braunschweig, 1941. Seite 110.⁵ Weizsäcker: a. a. O. Seite 83 ff.⁶ Vergleiche die Arbeit von Max Hartmann „Die Kausalität in der Biologie“ im vorliegenden Heft; Erwin Bünning, „Gesetz und Freiheit in der Physiologie“, Biologia Generalis, Band XVIII, Heft 1-2, Verlag Springer, Wien, und Erwin Bünning, „Theoretische Grundlagen der Physiologie“, Verlag Fischer, Jena, 1945

(Dr. Grete Henry-Hermann, (23) Bremen, Moselstr. 26.)

Bericht der Universität Bonn.

Der Krieg, der Westdeutschland schwer traf und besonders den Universitätsstädten Köln, Münster und Düsseldorf tiefe Wunden schlug, verschonte auch Bonn nicht. Die Altstadt und mit ihr der größte Teil der Universitätsgebäude wurden ein Opfer der Flammen und Bomben. Und doch ist der Anblick der Stadt im ganzen nicht so bedrückend und trostlos wie der der anderen Großstädte des rheinischen Raumes. Ein großer Teil der Innenstadt und die gepflegten Außenviertel blieben erhalten und trugen neben der schönen, von zahlreichen Studentengenerationen gepriesenen Landschaft dazu bei, die alte Anziehungskraft Bonns zu erneuern; denn immer noch nimmt majestätisch der Rhein seinen alten Lauf, und gleichsam unbekümmert um Not und Elend, um Schutt und Asche stehen in greifbarer Nähe die sieben Berge in ihrer ganzen Schönheit und Lieblichkeit.

Stadt und Universität Bonn blieben verhältnismäßig lange vom Luftkrieg verschont. Als erstes Universitätsgebäude fiel im August 1943 die Ohrenklinik einem Luftangriff zum Opfer. Sie mußte in ein Privatsanatorium, die Hertzsche Anstalt, verlegt werden, wo sie sich heute noch befindet. Erst am 18. Oktober 1944 wurde der größte Teil der bis dahin fast unbeschädigt gebliebenen Universitätsgebäude in wenigen Stunden vernichtet. Das alte Kurfürstliche Schloß, das Hauptgebäude der Universität, das in seinen ausgedehnten Trakten die akademischen Behörden, die Bibliothek, Seminare, Institute und Hörsäle der geisteswissenschaftlichen Fakultäten beherbergte, brannte fast gänzlich aus. Die neue moderne Aula, die alte intime Aula mit den Wandgemälden von Cornelius, die Barockkapelle und die stilvollen Amtsräume des Rector Magnificus sind für immer verloren. Am gleichen Tage brannten das gesamte Klinikviertel am Rhein und die medizinischen Institute in der Wilhelmstraße nieder. Viele Bombentreffer in der Folgezeit vollendeten dort das Zerstörungswerk. Nur die Augenklinik und die im Norden der Stadt gelegene Nervenklinik konnten den Krieg unbeschädigt überstehen. Alle Versuche, in den teilweise noch brauchbar gebliebenen Räumen die Arbeit wieder

aufzunehmen, scheiterten in den schweren Angriffen des Dezember 1944 und des Januar-Februar 1945.

In dieser Zeit verloren das Botanische, Zoologische und Mineralogische Institut, die im Poppelsdorfer Schloß untergebracht waren, ihre Heimstätte. Das Mineralogische Institut hat sich seit 1946 in dem erhaltengebliebenen Nordpavillon des Schlosses wieder eingerichtet. Der im Schloßbezirk angelegte Botanische Garten verlor wertvollstes, in absehbarer Zeit nicht ersetzbares Pflanzenmaterial. Die benachbarten naturwissenschaftlichen Institute wurden mehr oder weniger stark in Mitleidenschaft gezogen, das Physiologische und Physiologisch-Chemische Institut völlig zerstört. Lediglich die Gebäude der Landwirtschaftlichen Fakultät im Ortsteil Poppelsdorf und einige in der Stadt gelegene Institute wie die Sternwarte und das Institut für geschichtliche Landeskunde der Rheinlande gingen verhältnismäßig unbeschädigt aus dem Kriege hervor.

Heute ist die Verwaltung und der Lehr- und Forschungsbetrieb der Universität über die ganze Stadt verstreut, zum Teil in Notunterkünften untergebracht und in die Vororte ausgewichen. Die Kliniken und Polikliniken sind zusammengerückt, soweit es möglich war, oder in andere Baulichkeiten verlegt. Die Frauenklinik teilt mit der Nervenklinik das Haus, die Hautklinik fand Unterkunft bei der Prov. Heil- und Pflegeanstalt, die Chirurgische Klinik errichtete ihre Ausweichstelle in einem ehemaligen Internat in Bad Godesberg, die Medizinische Klinik siedelte zur Rosenburg, einem früheren klösterlichen Erziehungsheim, im Süden Bonns über, die Medizinische Poliklinik richtete sich provisorisch in ihrem zerstörten Gebäude in der Wilhelmstraße wieder ein und die Kinderklinik gar mußte ihre Patienten in zwei Ausweichstellen verlegen, nach Oberkassel auf dem rechten und nach Bornheim auf dem linken Rheinufer. In dem Waldgelände des Venusberges über der Stadt wird den Kliniken eine neue Heimat bereitet unter Verwendung der für eine Flakkaserne geschaffenen Anlagen, die Kinderklinik wird in der Stadt wieder erstehen.