

Atomenergie und Volksgesundheit.

Von Univ.-Prof. DDR. Felix M a i n x, Wien.

Vortrag, gehalten am 6. März 1957

Erweiterte Fassung

E i n l e i t u n g.

Als die Atombomben auf Hiroshima und Nagasaki niedergingen, war ein neues Zeitalter der Menschheit angebrochen. Was noch kurz vorher selbst dem Fachmann unmöglich erschien, war dem menschlichen Geist gelungen: die gelenkte Entfesselung ungeheurer Energiemengen durch Auslösung des Atomzerfalls in Form einer Kettenreaktion. Daß die erste Verwendung dieser unerhörten Entdeckung zur Vernichtung einer Unzahl von Menschenleben führte, brachte ein lähmendes Entsetzen über die Menschheit, von dem sie sich auch heute noch nicht erholt hat. Kein Wunder angesichts der Tatsache, daß die Weltmächte ihre große wirtschaftliche und geistige Leistungsfähigkeit zur weiteren Ausgestaltung dieser Entdeckung zunächst fast nur im Sinne ihrer kriegerischen Verwendung eingesetzt und durch die Ansammlung und Erprobung immer

stärkerer Atombomben und anderer Atomwaffen die kriegerische Bedrohung der menschlichen Existenz zu einem bisher ungeahnten Ausmaß gesteigert haben. Doch auch die friedliche Verwendung der Atomenergie ist aus dem Stadium der vorbereitenden Laboratoriumsarbeiten und Versuchsanlagen sehr rasch zur wirtschaftlich bedeutsamen Verwirklichung gediehen. Wenn man bedenkt, daß die Kohle- und Ölvorräte der Erde bald erschöpft sein werden und die Nutzung der Wasserkräfte nur einen teilweisen Ersatz zu leisten vermag, so scheint das Problem der Nutzung der Atomenergie zur Lebensfrage der Menschheit zu werden. Die Bevölkerung der Erde vermehrt sich täglich um einen hohen Betrag. Die Erschließung neuer Lebensräume und die Verbesserung ihrer Nutzung kann dieser Vermehrung noch lange Raum und Lebensmöglichkeiten bieten. Die zivilisatorische Durchdringung aller Länder der Erde ist in unaufhaltsamem Fortschritt begriffen. Dies alles steigert den Bedarf der Menschheit nach energieliefernden Prozessen weit über alles bisherige Ausmaß. Die Nutzung der Atomenergie scheint da der einzige Ausweg zu sein, der Schlüssel für die weitere Existenz der Menschheit — oder die Besiegelung ihres Untergangs. Noch nie war der Menschheit eine so hohe Verantwortung auferlegt! Und es gibt kein Zurück aus dieser Entwicklung. Die weltanschaulichen und kulturellen Kräfte der Menschheit müssen sich in dieser Situa-

tion zur Bewährung stellen. Kein Mensch kann sich der Mitverantwortung für diese Entwicklung zum Guten oder zum Bösen entziehen!

Bei allen Prozessen der Atomenergiegewinnung entstehen starke Strahlungen der verschiedensten Art, außerdem entstehen dabei in geringerer oder größerer Menge strahlungsliefernde Formen verschiedener Elemente, sog. radioaktive Isotope. Diese haben eine verschieden hohe „Lebensdauer“, ausgedrückt in der sog. Halbwertszeit, d. h. sie gehen entweder sehr rasch, oft in Bruchteilen einer Sekunde, oder viel langsamer, oft erst in Jahrzehnten oder Jahrtausenden, in die gewöhnlichen, nicht strahlenden Formen von Elementen über. Während ihrer radioaktiven Lebensdauer senden auch sie Strahlungen aus. Alle diese Strahlungen haben, ebenso wie die schon lange bekannten Röntgenstrahlen oder die Strahlungen des Radiums, sehr wesentliche Wirkungen auf den lebenden Organismus, die man als die biologischen Wirkungen der Strahlen zusammenfassen kann. Als man diese Wirkungen noch nicht kannte, haben die Pioniere der medizinischen Verwendung der Röntgenstrahlen ihre segensreiche Arbeit mit schweren Verstümmelungen an den Händen, ja auch mit frühzeitigem Tod bezahlt. Man kann diese biologischen Wirkungen in zwei scharf unterscheidbare Kategorien einteilen:

1. Die physiologischen Wirkungen. Diese betreffen den physiologischen Zustand der von den Strah-

lungen unmittelbar betroffenen Zellen und Gewebe und die weiteren Auswirkungen der dort verursachten Störungen auf den Gesundheitszustand des ganzen Organismus. Je nach der Stärke und Art der Einwirkung können sie von unmerklichen oder rasch vorübergehenden Schäden bis zu schweren lokalisierten Gewebsdefekten oder, im Falle einer Totalbestrahlung des Körpers oder bestimmter Organe, zu mehr oder weniger schweren akuten oder chronischen Krankheitsbildern führen, ja zum Tode. Diese Wirkungen sind in der kriegerischen Verwendung der Atomenergie neben der starken Wärmebildung und der Explosionswirkung der Entladungen beabsichtigt. Bei allen anderen Verwendungen der Atomenergie oder bei anderen strahlenden Prozessen sind sie eine unerwünschte Nebenerscheinung, deren Vermeidung ein Problem für sich darstellt.

2. Die genetischen Wirkungen. Diese zeigen sich im Gegensatz zu den physiologischen nicht an dem von den Strahlungen betroffenen Individuum. Sie betreffen das Erbgut seiner Geschlechtszellen, in dem durch die Strahlen je nach der Stärke ihrer Einwirkung mehr oder weniger Mutationen erzeugt werden. Dies bedeutet eine statistisch erhöhte Belastung der Nachkommenschaft mit meist unerwünschten Erbanlagen. Diese Belastung kann sich nur zum geringsten Teil an den unmittelbaren Nachkommen des Betroffenen zeigen, zum größeren Teil

erst in den späteren Folgegenerationen. Inwieweit sie eine Gefahr für die Menschheit darstellt, soll später eingehend erörtert werden. Die genetischen Wirkungen sind in der kriegerischen Verwendung der Atomenergie nicht unmittelbar beabsichtigt, aber unvermeidlich. Ihre Vermeidung in der friedlichen Atomenergiewirtschaft ist eine sehr ernst zu nehmende Forderung.

Die gesundheitlichen Gefahren der Verwendung der Atomenergie.

Die physiologischen Wirkungen der Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge, der γ - und β -Strahlen des Radiums und der Strahlungen verschiedener radioaktiver Isotope sind im Tierversuch und auch in ihren Wirkungen auf den Menschen sehr gut erforscht. In welchem Ausmaß diese Wirkungen eintreten, hängt von der Strahlenmenge ab, die der Körper oder ein Körperteil empfängt. Diese Strahlungs-dosis wird in Röntgeneinheiten, abgekürzt „r“, gemessen. Es kommt aber auch darauf an, in welcher Zeitspanne diese Strahlungs-dosis zur Einwirkung kommt. Wenn eine Dosis, die auf einmal verabreicht, schon eine merkliche Wirkung ausübt, in zwei Teilbestrahlungen zerlegt wird, zwischen denen eine genügend lange Pause eingeschaltet ist, dann bleibt sie wirkungslos. Bei allen Fragen der physiologischen Strahlenwirkung wird also außer der Dosis auch stets der Zeitfaktor zu berücksichtigen sein.

Dosen, die, auf einmal verabreicht, keine feststellbare Wirkung haben, nennt man unterschwellige Dosen. Die unmittelbaren Wirkungen der Strahlen treten nur dort ein, wo die Strahlung wirklich hingelangt. Die harten Röntgenstrahlen, die γ -Strahlen des Radiums und die meisten im Gefolge von Atomenergiegewinnungsprozessen entstehenden Strahlungen haben ein großes Durchdringungsvermögen und gelangen daher auch in die tieferen Regionen des Körpers. Die Wirkungen von sehr weichen Röntgenstrahlen, den sog. Grenzstrahlen, oder von α -Strahlen des Radiums können aber nur oberflächlich sein, da sie nicht tief genug eindringen.

Die verschiedenen Organismen sind nicht gleich empfindlich gegen die schädlichen Wirkungen der Strahlen. Der Mensch gehört mit einigen Säugtieren, z. B. dem Meerschweinchen und dem Hund, zu den empfindlichsten Lebewesen. Insekten, Weichtiere oder gar einzellige Tiere vertragen zehn- bis über hundertmal höhere Strahlungsdosen. Nicht alle Organe und Gewebe des menschlichen Körpers sind gleich empfindlich gegen die schädlichen Wirkungen der Strahlung. Am empfindlichsten sind das Lymphgewebe, das blutbildende Knochenmark, die Keimdrüsen und einige andere Drüsen, die Schleimhäute und die Haarpapillen, am wenigsten empfindlich das Knorpel- und Knochengewebe und das Nervensystem. Sehr empfindlich gegen Strahlungen ist auch die Leibesfrucht. Strahlungen einer gefährlichen Dosis

bewirken Fehlentwicklungen, die sich beim Neugeborenen in verschiedenen Mißbildungen äußern können.

Die Erscheinungsform der Strahlenschädigung ist verschieden, je nachdem, ob nur bestimmte eng umschriebene Bereiche des Körpers bestrahlt worden sind oder ob es sich um eine Ganzkörperbestrahlung handelt. Nach Bestrahlung eines umschriebenen Bereiches der Haut und der unmittelbar darunter gelegenen Weichteile mit einer schwächeren Strahlendosis entsteht eine Rötung der Haut, ein Erythem, das bald wieder abklingt. Man nennt diese schwache Dosis daher die „Erythemdosis“ (300—400 r). Nach stärkerer einmaliger Bestrahlung entsteht eine Entzündung, es tritt Haarausfall ein und bei noch stärkeren Dosen entwickeln sich im weiteren Verlauf der Schädigung kaum mehr heilende Geschwüre mit mehr oder weniger schweren Gewebsverlusten, z. B. Verlust von Fingergliedern. Solche lokalisierte Strahlenschäden drohen bei mangelhaften Schutz-einrichtungen dem Personal, das mit starken Strahlungsquellen, z. B. Röntgenapparaten, radioaktiven Isotopen usw. zu tun hat. Sie können aber auch bei der medizinischen Verwendung von Röntgen- und Radiumstrahlen vorkommen, wo allerdings der Heilerfolg, z. B. die erfolgreiche Bekämpfung einer Krebserkrankung, die lokalen Schäden überwiegt.

Für die Frage der gesundheitlichen Gefahren der Atomenergiegewinnung sind die Folgen der Ganz-

körperbestrahlung wichtiger. Hier liegt die Gefahrgrenze allerdings schon bei viel geringeren Strahlungs Dosen als bei der lokalisierten Bestrahlung von umschriebenen Körperstellen. Aus zahlreichen Erfahrungen kann man schließen, daß eine einmalige Ganzkörperbestrahlung mit 25 r beim erwachsenen Menschen die maximal zulässige Dosis darstellt, wenn klinische Schäden sicher vermieden werden sollen („Gefährdungsdosis“). Diese Grenze wird auch bei der diagnostischen Verwendung der Röntgenstrahlen durch den Arzt stets eingehalten, ja meist weit unterschritten. Bei einer einmaligen Ganzkörperbestrahlung mit etwa 100 r zeigen sich in der 3. Woche nach der Bestrahlung die Anzeichen der Strahlenkrankheit schwächeren Grades: Haar ausfall, Appetitlosigkeit, wunder Rachen, Durchfall, mäßiger Kräfteverfall, ein Zustand, der meist voll ausgeheilt wird. Bei Dosen von etwa 400 r sind die mit der 3. Woche einsetzenden Symptome viel schwerer: Fieber, schwere Entzündungen von Mund und Rachen, blutende Schleimhäute, Durchfall und rascher Kräfteverfall, der bei ungefähr der Hälfte der Betroffenen zum Tode führt. Eine Dosis von etwa 700 r Ganzkörperbestrahlung führt unter den schon bald einsetzenden schweren Symptomen der Strahlenkrankheit fast sicher zum Tode. Nach dem Atombombenwurf auf die japanischen Städte konnte man alle Stadien dieser Strahlenkrankheit an der

zunächst überlebenden, von der Strahlung mehr oder weniger betroffenen Bevölkerung feststellen.

Man hat zur Vermeidung von Strahlenschäden bei Ganzkörperbestrahlung von längerer Zeitdauer eine mit aller Vorsicht kalkulierte untere Grenze der Strahlenbelastung festgesetzt, bei der gesundheitliche Störungen bestimmt nicht zu befürchten sind. Diese international festgesetzte physiologische „Toleranzdosis“ beträgt 0,3 r pro 1 Woche. Sie wird überall eingehalten, wo mit stärkeren Strahlungsquellen gearbeitet wird. Das Personal kann mit Meßapparaten versehen werden, die automatisch den Strahlungsgenuß registrieren, sodaß im Notfall durch Austausch des Personals eine stärkere Belastung der Einzelperson vermieden werden kann. Die Schutzvorrichtungen sind so eingerichtet und geeicht, daß die Toleranzdosis als oberste Grenze berücksichtigt wird.

Eine besondere Betrachtung sei noch der Frage des Strahlenkrebses und der Leukämie gewidmet. Es ist bekannt, daß auf der Basis von schweren, lokalen Strahlenschäden häufig Krebs als Spätfolge entsteht, daß aber auch eine langdauernde Bestrahlung mit geringen, an sich unschädlichen Strahlungsdosen mit der Zeit die Krebsentstehung fördert. Ein bekanntes Beispiel ist der relativ häufige Lungenkrebs der im Uranbergbau Beschäftigten („Schneeberger oder Joachimsthaler Lungenkrebs“), die zeitlebens Radiumemanations-haltige Luft ein-

atmen. Außerdem hat man gefunden, daß die — oft irreführend als „Blutkrebs“ bezeichnete — Leukämie, eine Blutkrankheit mit abnormaler Vermehrung der weißen Blutkörperchen, unter der Einwirkung von ständigen, schwachen, an sich unschädlichen Strahlungs-dosen mit erhöhter Häufigkeit auftritt. Bei diesen Spätschäden des Strahlungsgenusses handelt es sich stets um eine mehr oder weniger hohe prozentuelle Vermehrung von Leiden, mit denen die Menschheit ohnedies in einem bestimmten Ausmaß belastet ist. Hier kann für die richtige Einschätzung der Gefahr nur eine statistische Überlegung maßgeblich sein, ähnlich wie wir dies für die genetischen Gefahren der Bestrahlung sehen werden.

Die Frage, inwieweit der Menschheit aus den Einflüssen der Zivilisation, besonders aber aus der Verwendung der Atomenergie für friedliche oder kriegerische Zwecke gesundheitliche Gefahren drohen, wie sie in diesem Kapitel umrissen worden sind, soll später gestellt werden, wenn auch die genetischen Gefahren in ihren Grundlagen besprochen sind.

Die genetischen Gefahren der Verwendung der Atomenergie.

Die im vorigen Kapitel genannten physiologischen Strahlenschäden beziehen sich auf das Individuum, das von der Strahlung betroffen wurde. Diese Schäden können nicht auf dem Wege der Vererbung auf die Nachkommen übertragen werden. Als genetische

Schäden sind im Gegensatz hiezu bestimmte Einflüsse zu bezeichnen, die im Erbgut des von der Strahlung Betroffenen wirksam werden, an ihm selbst nicht in Erscheinung treten, aber in Form von unerwünschten Erbanlagen auf seine Nachkommen und die Folgegenerationen übertragen und dort wirksam werden können. Der Vorgang, der diesen Zusammenhängen zugrunde liegt, ist die Mutation, die sprunghaft eintretende Abänderung normaler Erbanlagen unter dem Einfluß der Strahlung. Seit der Nobelpreisträger M u l l e r 1928 diese mutationsauslösende Wirkung der Röntgenstrahlen entdeckt hat, ist die experimentelle Strahlengenetik zu einem wichtigen Zweig der Vererbungsforschung geworden. Durch ausgedehnte Versuche mit tierischen und pflanzlichen Objekten sind die grundlegenden Tatsachen heute genügend geklärt und können auch für den Menschen als gültig angesehen werden:

1. Durch alle Arten von Strahlen von genügendem Durchdringungsvermögen, also auch durch die bei den Atomenergiegewinnungsprozessen entstehenden oder in der Materie induzierten Strahlungen, werden im Erbgut Mutationen ausgelöst, wenn die Strahlen die Geschlechtszellen oder die Keimlager treffen, in denen diese entstehen. Dies ist der Fall bei Ganzkörperbestrahlung, in einem gewissen Ausmaß aber auch bei Teilbestrahlungen durch die sog. Streustrahlen, die unbeabsichtigt die Keimdrüsen treffen können.

2. Diese Mutationen sind im wesentlichen die gleichen, die auch von selbst im Erbgut mit einer gewissen, allerdings sehr geringen Häufigkeit entstehen und von denen noch zu sprechen sein wird. Die strahleninduzierten Mutationen sind daher im allgemeinen nicht mehr, aber auch nicht weniger gefährlich als die natürlichen Mutationen. Die Gefahr besteht vielmehr in der Erhöhung ihrer Zahl, also in der Steigerung der ohnedies vorhandenen natürlichen Mutationsrate. Die Mutationen können nicht „ausheilen“, d. h. ein durch eine Mutation abgeändertes Gen (Erbeinheit) wird in dieser mutierten Form durch alle folgenden Generationen weitergegeben.

3. Die Menge der durch eine Bestrahlung ausgelösten Mutationen hängt von der Strahlungs-dosis ab. Auch die geringsten Strahlungs-dosen vermögen schon Mutationen zu induzieren, wenn auch nur wenige. Mit steigender Dosis nimmt die Zahl der ausgelösten Mutationen zu, bei doppelter Dosis die doppelte Menge von Mutationen, bei 10-facher Dosis die 10-fache, usw. Die Zahl der strahleninduzierten Mutationen folgt in linearer Proportion der Strahlungs-dosis, gemessen in „r“. Es gibt also für die Mutationsauslösung keine unterschwellige, praktisch unwirksame Dosis, wie dies bei den physiologischen Strahlenschäden der Fall ist. Alle Strahlmengen, die die gleichen Geschlechtszellen treffen, wirken additiv, auch wenn lange Zeiträume zwischen

mehreren Bestrahlungen liegen. Der Zeitfaktor spielt hier keine Rolle.

4. Wie bei der spontanen, stets vorhandenen Mutabilität der Gene (Erbeinheiten im Erbgut) führen auch die durch Strahlen induzierten Mutationen in überwiegender Mehrzahl zur Entstehung von rezessiven Allelen (Erbfaktoren), die bei Übertragung auf einen Nachkommen zunächst im heterozygoten Zustand vorliegen und daher nicht wirksam werden. Erst wenn in den Folgegenerationen durch zufällige Kombination zwei gleiche rezessive Allele bei einem Nachkommen zusammenkommen, ist der homozygote Zustand gegeben und ihre Wirkung tritt in Erscheinung. Ein großer Teil dieser rezessiven Mutationen sind sog. Letalfaktoren. Sie haben im heterozygoten Zustand keine Wirkung, wenn sie aber homozygot werden, dann sterben ihre Träger im frühesten Keimstadium ab. Ihr Vorhandensein in einer menschlichen Bevölkerung zeigt sich daher nur in einer gewissen Herabsetzung der potentiellen Fruchtbarkeit. Die wirkliche Fruchtbarkeit einer menschlichen Gesellschaft ist bekanntlich von ganz anderen, soziologischen Motiven bestimmt. Man kann bei Kenntnis der wissenschaftlichen Grundlagen leicht beweisen, daß auch bei einer stärkeren Vermehrung der schon durch die natürliche Mutabilität vorhandenen rezessiven Letalfaktoren die praktische Fruchtbarkeit der Menschheit durch diesen Umstand nicht verändert werden kann. Wenn also auch bei

der Annahme einer allgemeinen genetischen Strahlenschädigung ein gewisser Teil der potentiellen Nachkommenschaft den „genetischen Tod“ im Keimstadium stirbt, so ist ein Aussterben der Menschheit aus dieser Ursache keinesfalls zu befürchten — wie dies oft mißverständlich behauptet wurde. Nur ein kleiner Teil der durch Strahlungen induzierten Mutationen ist dominant oder semidominant, zeigt sich also schon in seiner Wirkung bei den unmittelbaren Nachkommen der von der Strahlung Betroffenen.

Dies macht es auch verständlich, daß in den Jahren 1946—1953 bei der sorgfältigen Untersuchung von 80.000 Kindern der beim Bombenwurf auf Hiroshima und Nagasaki mehr oder weniger von den Strahlungen betroffenen Bevölkerung nur eine ganz geringfügige, statistisch nicht zu sichernde Erhöhung der Mutationsrate an vermutlich erblichen Anomalien — soweit sie schon beim Kleinkind feststellbar sind — gefunden werden konnte. Diese Feststellung berechtigt uns natürlich nicht etwa zu einer Verharmlosung der Gefahren einer Erbschädigung durch Atombomben. Die bedeutend höhere Zahl von rezessiven Allelen können in den Kindern der beim Bombenwurf von den Strahlen betroffenen Personen ja gar nicht zur Auswirkung kommen, sie werden aber auf deren Nachkommen übertragen. Da es bei der großen Zahl von Genen im Erbgut des Menschen sehr selten vorkommen wird, daß unter einer bestimmten Zahl von rezessiven Mutationen zwei-

oder mehrmals das gleiche Gen mutiert ist und da der durchschnittliche Inzuchtgrad des Menschen gering ist, kann es in der Generationsfolge sehr lange dauern, bevor ein bestimmtes rezessives Allel homozygot und damit wirksam wird. Es kann inzwischen auch durch das Erlöschen bestimmter Generationsketten aus der Bevölkerung verschwunden sein. Wenn man bedenkt, daß die Zahl der Nachkommen der bei den genannten Bombenwürfen betroffenen Personen zwar recht hoch ist, gemessen an der japanischen Gesamtbevölkerung aber doch relativ sehr klein, und daß durch die natürliche Mischung der Bevölkerung die bei ihnen vorhandenen rezessiven Allele sich in einer viel größeren, von den Bombenwürfen nicht betroffenen Bevölkerung verteilen werden, so erscheint es zweifelhaft, ob die genetischen Folgen dieses schrecklichen Ereignisses sich bei Erhebungen in den späteren Generationen überhaupt noch statistisch beweisend aufzeigen lassen werden, obzwar sie ohne Zweifel wirklich vorhanden sind. Hier ist allerdings nur eine relativ kleine Gruppe von Menschen aus einer großen Gesamtbevölkerung einer einmaligen, mehr oder weniger starken Strahlungswirkung ausgesetzt gewesen. Wie steht es aber, wenn die Bevölkerung ganzer Länder oder ganzer Kontinente zwar nicht vielleicht von Atombomben betroffen, aber einer ständigen, wenn auch geringen Bestrahlung ausgesetzt wird?

Alle diese Überlegungen zeigen schon, daß die Frage nach dem Ausmaß der durch Atomenergiegewinnungsprozesse der Menschheit drohenden Erbschädigung sinnvoll nur als eine statistische Frage gestellt werden kann und nur auf Grund von statistischen Überlegungen richtig beantwortet werden kann. Bei der physiologischen Strahlenschädigung kann die Frage, ob ein Mensch gesundheitlich zu Schaden gekommen ist, eindeutig mit ja oder nein beantwortet werden und das Ausmaß dieser Schädigung kann angegeben werden. Bei der Erbschädigung ist dies nicht der Fall. Aus den oben angeführten Gründen ist es sogar kaum zu erwarten, daß die Kinder einer von den Strahlen betroffenen Person irgendwelche strahleninduzierte Erbschäden zeigen. Es ist aber auch nicht so, daß alle diese Kinder Träger von rezessiven, ungünstigen Erbfaktoren sein müssen und es läßt sich keineswegs mit Sicherheit angeben, welche Kinder mit solchen Erbfaktoren mehr oder weniger belastet sein dürften. Auch über die in den Folgegenerationen zu befürchtenden Fälle von Homozygotie der betreffenden Erbfaktoren und damit über die Verteilung der erbkranken Personen in den Folgegenerationen lassen sich nur statistische, aber keine für bestimmte Personen gültige Voraussagen machen. Diese den gewöhnlichen Menschenverstand zunächst nicht recht befriedigende Situation ist nicht etwa in unserem mangelhaften Wissen, sondern in dem Charakter des Erb-

geschehens und seiner Gesetze begründet. Wohl aber kann die Frage nach dem Ausmaß der zu befürchtenden Erbschädigung für ein ganzes Kollektiv von Menschen, etwa für die Bevölkerung eines Landes oder eines Kontinents gestellt und auf Grund unserer bisherigen wissenschaftlichen Erfahrungen mit einer gewissen Sicherheit beantwortet werden.

Zunächst müssen wir versuchen, ein Bild von der genetischen Struktur einer menschlichen Population (= natürliche Bevölkerungsgruppe) von heute zu entwerfen. Wir wissen, daß bei allen Organismen und auch beim Menschen die hohe Zahl von Genen, aus denen das Erbgut besteht, kein vollkommen stabiles System darstellt. Alle Gene zeigen die Eigenschaft der Mutabilität, d. h. sie können von selbst, spontan, von Mutationen betroffen werden. Die Mutation eines bestimmten Gens ist ein sehr seltenes Ereignis, da aber das Erbgut aus einer sehr hohen Zahl von Genen besteht, so kommt es relativ häufig vor, daß irgend eines der Gene von einer Mutation betroffen wird. Dann ändert sich irgend etwas an der erblichen Konstitution des Nachkommen, der zum Träger dieses mutierten Allels geworden ist. Manche von den so ständig neu entstehenden Möglichkeiten erblicher Konstitution sind für die Lebenserhaltung und Lebensbewährung ihres Trägers belanglos. Diese erblichen Verschiedenheiten bewirken die normale erbliche Mannigfaltigkeit innerhalb der Art, die sich auch beim Menschen sehr deutlich

zeigt und die — im Falle von geographischer oder sonstiger Isolation von Teilpopulationen — zur Bildung von Rassen führen kann, wie dies ja auch in der Geschichte der Menschheit der Fall war. Nur ein sehr kleiner Teil der spontan entstehenden Mutationen bedeutet eine Verbesserung in der Lebensbewahrung, sie haben einen positiven Selektionswert. Ihre Träger haben eine erhöhte Vermehrungsaussicht in der Population und damit kommt es zu einer Verbreitung und endlich zum Einbau dieser Allele in das arttypische Erbgut. Auf diese Weise ist die Mutabilität der Gene die Grundlage für die Erhaltung der Anpassungsfähigkeit der Arten. Die überwiegende Mehrzahl der Mutationen sind aber mehr oder weniger ungünstig in ihren Auswirkungen und dies ist auch nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, daß das durchschnittliche Erbbild einer Art ja schon eine während der ganzen Artgeschichte immer wieder durch die Selektion bewirkte Auswahl der bestbewährten Erbtypen darstellt. Diese ungünstigen Allele haben einen mehr oder weniger starken negativen Selektionswert, je nachdem, wie schwer die Anomalien oder Minderleistungen sind, die sie bewirken. Zu ihnen gehören auch die schon erwähnten rezessiven Letalfaktoren. Die dominant wirkenden ungünstigen Allele werden sehr rasch durch die negative Selektion aus der Population ausgeschieden, da alle ihre Träger die ungünstige Eigenschaft zeigen. Die rezessiv wirken-

den können sich im heterozygoten, unwirksamen Zustand durch die Population verbreiten, da bei ihnen die negative Selektion ja nur beim homozygoten Zustand einsetzen kann. Die Populationen aller Organismen, auch des Menschen, sind daher in relativ hohem Grad von solchen rezessiven, ungünstigen Erbfaktoren durchsetzt, wie sich experimentell zeigen läßt.

Beim Menschen liegt nun insofern ein Sonderfall vor, als die negative Selektion gegen die ungünstig wirkenden Allele nicht in dem starken Ausmaß wirksam werden kann, wie bei allen natürlich lebenden Organismen, und die positive Selektion für eine Abänderung des Artbildes kaum mehr eine Rolle spielt. Der Mensch ist das einzige Lebewesen, das nicht mehr auf dem Wege über die Mutation und Selektion von den Bedingungen der Umwelt geformt wird, sondern das durch die Eigentümlichkeit der menschlichen Natur imstande ist, die Umwelt nach seinen Bedürfnissen umzuformen. Dies gilt in einem gewissen Ausmaß schon für den prähistorischen Menschen, bzw. die Völker im Zustand einer Primitivkultur. In noch viel höherem Ausmaß aber gilt dies für den Menschen der modernen Hochzivilisation. Durch die Errungenschaften der modernen Medizin und Hygiene, durch die höhere Organisationsstufe der sozialen Fürsorge und Volkswohlfahrt bleiben bei den zivilisierten Völkern Menschen am Leben und kommen zur Vermehrung, die unter primitiveren

Lebensverhältnissen schon frühzeitig das Opfer ihrer erblich bedingten oder erblich mitbedingten Krankheit oder physiologischen Minderleistung geworden wären. Dies ist vom ethischen und sozialen Standpunkt durchaus begrüßenswert. Vielen, an sich erbelasteten Menschen wird dadurch ein gesundheitlich befriedigendes, glückliches Leben ermöglicht und der Gemeinschaft werden viele wertvolle Arbeitskräfte erhalten, die ohne die zivilisatorischen Errungenschaften dahinsiechen oder frühzeitig sterben müßten. Durch die moderne Medizin wird wohl der Zustand vieler erbelasteter Personen weitgehend gebessert oder geheilt, nicht aber der krankheitsbedingende Erbfaktor, der mit unverminderter Wirksamkeit auf die Nachkommen übertragen wird. Wir müssen uns also dessen bewußt sein, daß durch diese Auswirkungen der Hochzivilisation die negative Selektion, die sonst der Ausbreitung ungünstiger Erbanlagen entgegenwirkt, in ihrer Wirksamkeit herabgesetzt, bzw. aufgehoben wird und auf diese Weise die relative Häufigkeit solcher Erbanlagen in der Bevölkerung vermehrt wird. Für gewisse erbbedingte Krankheiten läßt sich schon heute nachweisen. Trotzdem dürfen wir nicht etwa einem Menschen die Möglichkeiten zur Heilung oder Besserung seines Zustandes oder das volle Ausmaß der sozialen Fürsorge vorenthalten, nur deshalb, weil sein Defekt erblich bedingt oder mitbedingt ist. Eine jede Weltanschauung, die die Freiheit, den

Wert und die Würde der menschlichen Persönlichkeit anerkennt, in erster Linie die christliche Weltanschauung, muß es ablehnen, unter Berufung auf ein fiktives höheres Recht eines Kollektivs, irgend eine Einschränkung in dieser Fürsorge zuzulassen. Sie muß es aber auch ablehnen, das Recht solcher Personen, Nachkommen zu zeugen, gewaltsam einzuschränken, etwa durch Eheverbote oder gar durch Zwangssterilisation. Eine soziale Erbhygiene ist nur denkbar in Form einer erbhygienischen Eheberatung, die allerdings eine der schwierigsten ärztlichen Aufgaben ist. Wir müssen also damit rechnen, daß eine menschliche Gemeinschaft im Zustand der Hochzivilisation durch die relativ hohe Häufigkeit von erblich bedingten oder erblich mitbedingten Defekten mit erhöhten Anforderungen an ärztlicher Behandlung und an Fürsorge belastet ist. Die Gemeinschaft kann diesen Anforderungen aber ohne weiteres gerecht werden, eben infolge ihrer höheren sozialen Organisationsstufe, und sie ist dazu moralisch verpflichtet.

Dieses Bild der erblichen Struktur der zivilisierten Menschheit mußte kurz skizziert werden, um zu verstehen, was es bedeutet, wenn die ohnedies stets bestehende und unvermeidliche, natürliche Mutationsrate durch zusätzliche, z. B. strahleninduzierte Mutationen erhöht wird, etwa aus der Quelle von Atomenergiegewinnungsprozessen. Dies bedeutet, daß die Folgegenerationen je nach der Stärke und

Dauer der Einwirkung mit einer statistisch erhöhten Häufigkeit von erbbedingten Defekten und Minderleistungen belastet sind, also eine erhöhte Hypothek an ärztlicher und sozialer Fürsorge zu tragen haben. Menschlich gesehen bedeutet es eine relative Vermehrung des Anteils an hilfsbedürftigen oder leidenden Menschen. Es kommt nun sehr darauf an, wie hoch dieser Prozentsatz ist. Wir müssen zur richtigen und gerechten Einschätzung der drohenden Gefahren statistisch und quantitativ denken. Nur auf Grund solcher Überlegungen können wir wohlbegründete Forderungen nach einer „Mutationsprophylaxe“ stellen.

Um bestimmte Richtlinien für eine solche Mutationsprophylaxe aufzustellen, müssen die folgenden Fragen beantwortet werden: 1. Wie hoch ist die spontane Gesamtmutabilität beim Menschen je Generation? 2. Wie hoch ist die strahleninduzierte Gesamtmutabilität beim Menschen, bezogen auf den Strahlungsgenuß einer Generation, gemessen in „r“? 3. In welcher Proportion steht die durch eine bestimmte Strahlungs-dosis ausgelöste Gesamtmutabilität einer Generation zu ihrer spontanen Gesamtmutabilität? 4. Wie hoch ist der durchschnittliche Strahlungsgenuß, der dem Menschen durch zivilisatorische Einflüsse, insbesondere durch die Prozesse der Atomenergiegewinnung droht?

Während die 4. Frage eine Angelegenheit der Erhebung von präzise meßbaren Daten ist, sind die

Grundlagen zur Beantwortung der ersten drei Fragen noch zu wenig erforscht, um eine ganz genaue Schätzung geben zu können. Immerhin wissen wir schon so viel, daß die Antwort innerhalb gewisser Grenzen sicherzustellen und für einen noch viel engeren Spielraum wahrscheinlich zu machen ist.

Während die durchschnittliche Spontanmutationsrate für das einzelne Gen für einige tierische und pflanzliche Objekte sehr gut bekannt ist, haben wir für den Menschen nur einige Anhaltspunkte für die Mutationsrate gewisser Gene. Auf Grund vergleichender Betrachtungen können wir für den Menschen eine durchschnittliche Mutationsrate für das einzelne Gen von 1×10^{-5} annehmen. Nun müssen wir auch noch die Gesamtzahl der im Erbgut vorhandenen Gene schätzen, um die Gesamtmutabilität zu berechnen. Für diese Zahl bewegen sich die Schätzungen für den Menschen zwischen 10.000 und 40.000 Genen. Bei Annahme der höheren Zahl kommt man zu einer Gesamtmutabilität von $10^{-5} \times 10^4$ je Generation, was auch auf Grund verschiedener human-genetischer Befunde wahrscheinlich erscheint. Andere Schätzungen nehmen für den Menschen eine Spontanrate von nur 1×10^{-6} je Gen an, sowie eine geringere Genzahl und kommen dementsprechend zu einer kleineren Größe für die Gesamtmutabilität.

Die strahleninduzierte Mutationsrate für das einzelne Gen beträgt bei der Fruchtfliege *Drosophila* durchschnittlich 3×10^{-8} für jede r-Einheit. Bei

der Maus ist sie höher, mit $2-3 \times 10^{-7}$ je Gen und 1 r anzusetzen. Beim Menschen dürfte sie noch etwas höher liegen. Dafür spricht u. a. der Umstand, daß die Strahlungs-dosis für die völlige Sterilisation beim Menschen tiefer liegt als bei der Maus und hier wieder tiefer als bei *Drosophila*.

Wenn wir nun auf dieser Basis versuchen, eine quantitative Beziehung zwischen der spontanen und der strahleninduzierten Gesamtmutabilität beim Menschen herzustellen, so kommen wir bei Verwendung der jeweils höchsten oder niedrigsten Schätzwerte zu der Aussage, daß eine Verdoppelung der spontanen Mutationsrate durch einen Strahlungsgenuß im Bereiche von mindestens 5 r bis höchstens 150 r möglich wäre, daß dieser Wert aber mit großer Wahrscheinlichkeit zwischen 30 r und 80 r liegt. Diese Strahlungs-dosis müßte die Keimdrüsen eines Individuums im Laufe der Zeit treffen, damit durch seine Geschlechtszellen durchschnittlich doppelt so viel Mutationen übertragen werden, als ohne jede künstliche Bestrahlung. Dabei kommt aber nur die Lebenszeit des Individuums in Betracht, in der noch die Zeugung von Nachkommen zu erwarten ist. Was später an Mutationen noch induziert wird, ist für die Vererbungsvorgänge belanglos. Die kritische Lebenszeit für den genetisch gefährlichen Strahlungsgenuß ist also die Zeit zwischen der Zeugung des Individuums und seinem 30. Lebensjahr, das man als das durchschnittliche Ende der Zeugungs-

periode annehmen kann. Wenn in einer menschlichen Bevölkerung durch die genannte Strahlungs-dosis wirklich eine Verdoppelung der spontanen Mutationsrate und damit eine Erhöhung aller erblich bedingten Defekte auf das Doppelte erzielt werden soll, so müßte die gesamte Bevölkerung ständig, durch viele Generationen hindurch, unter dem Einfluß dieser Dosis pro Individuum bis zum 30. Lebensjahr stehen. Wird eine ganze Bevölkerung nur einmal oder durch eine kürzere Zeitspanne einer solchen Bestrahlung ausgesetzt, so erfolgt zwar auch eine entsprechende Vermehrung der ungünstigen Erbfaktoren, die in den folgenden Generationen wie eine Welle abklingt, d. h. die einmal vermehrten ungünstigen Allele kommen wieder allmählich mit den ihre Ausbreitung limitierenden Selektionswirkungen ins Gleichgewicht. Wird nicht die ganze Bevölkerung, sondern nur ein kleinerer Teil oder nur eine bestimmte Personengruppe ständig oder vorübergehend der genannten Strahlungs-dosis ausgesetzt, so ist die zu erwartende Vermehrung ungünstiger Erbfaktoren bezogen auf die Gesamtbevölkerung entsprechend geringer, je kleiner der betroffene Bevölkerungsanteil und je kürzer die Bestrahlungsperiode war. Es ist interessant, daß diese hier nur kurz geschilderten Schätzungen in den letzten Jahren unabhängig von einander von den auf dem Gebiet der Strahlungsgenetik führenden Forschern verschiedener Länder angestellt wor-

den sind und daß dabei eine weitgehende Übereinstimmung erzielt worden ist.

Man hat nun die Überlegung angestellt, daß eine Verdoppelung der Belastung mit erbbedingten oder erblich mitbedingten Krankheiten und Minderleistungen für eine menschliche Gemeinschaft eine übermäßig starke Belastung darstellen würde, die auch für eine Gemeinschaft im Zustand der Hochzivilisation nur schwer zu ertragen wäre. Eine Vermehrung der erblich bedingten Defekte um 25% des derzeitigen Bestandes wäre jedoch im Rahmen der im modernen Wohlfahrtsstaat bestehenden Möglichkeiten noch zu verantworten — wenn gewichtige Argumente eine entsprechende Strahlenbelastung der Bevölkerung unvermeidlich erscheinen lassen sollten. Wenn wir nun zur Vorsicht von dem oben abgeleiteten wahrscheinlichen Bereich der Verdopplungsdosis von 30—80 r einen Wert an der unteren Grenze dieses Bereichs, z. B. 40 r wählen, so kommen wir zu dem Schluß, daß bei einem ständigen Strahlungsgenuß von durchschnittlich 10 r, pro Individuum bis zum 30. Lebensjahr und Generation mit der Zeit die Häufigkeit aller erbbedingten und erblich mitbedingten Defekte einer Bevölkerung um 25% ansteigen würden. Man hat — unter der Voraussetzung, eine solche Steigerung verantworten zu können — diese Dosis als die „genetische Toleranzdosis“ bezeichnet. Wenn wir die Forderung nach einer Mutationsprophylaxe dahingehend ausdehnen,

daß überflüssige, bzw. nicht besonders zu rechtfertigende Bestrahlungen überhaupt zu unterbleiben haben und die Toleranzdosis von 10 r pro Individuum nur die oberste Grenze für bestimmte stärker strahlengefährdete Personengruppen der Bevölkerung darstellen solle, dann ist natürlich die Gefährdung der Gesamtbevölkerung statistisch geringer als die oben erwähnten 25%.

Wenn wir die im ersten Kapitel erwähnte physiologische Toleranzdosis von 0,3 r pro Woche mit der hier abgeleiteten genetischen Toleranzdosis von 10 r bis zum 30. Lebensjahr vergleichen, so müssen wir feststellen, daß es sich dabei um Werte von ganz verschiedener Bedeutung handelt. Bei Einhaltung der physiologischen Toleranzdosis wissen wir mit Bestimmtheit, daß dem von der Strahlung Betroffenen selbst keinerlei gesundheitlicher Schaden erwachsen kann, auch dann, wenn diese schwache Bestrahlung pro Woche durch lange Zeit, eventuell lebenslänglich fortgesetzt wird. Eine einzige Ausnahme bildet die schon oben erwähnte erhöhte Disposition zu Krebs und Leukämie, die mit der Zeit auch von so schwachen Dosen geweckt werden kann. Mutationsauslösend sind aber auch schon die schwächsten Strahlungsdosen, wenn auch nur entsprechend wenig. Es ist also an sich richtig, zu sagen, daß es für die genetischen Strahlenwirkungen gar keine absolut sichere „Toleranzdosis“ im eigentlichen Wortsinn geben kann. Es hätte aber wohl

keinen Sinn, von einer genetischen Gefahr für die Menschheit zu sprechen, wenn die in Frage kommenden Bestrahlungen so gering sind oder nur so wenige Personen der Bevölkerung betreffen, daß ihre Wirkungen in den Folgegenerationen gar nicht statistisch nachweisbar wären, d. h. wenn die durch sie bewirkte Vermehrung der Fälle von erblich bedingten Defekten so gering ist, daß sie in den normalen Streuungsbereich ihrer Häufigkeit fallen. Ist diese Vermehrung der ungünstigen Erbanlagen aber nachweisbar stärker zu erwarten — und das gilt für die oben gegebene Ableitung —, dann bedarf die Aufstellung einer solchen genetischen Toleranzdosis einer besonderen Rechtfertigung. Sie ist ein Risiko, das wir bewußt eingehen. Den Umfang dieses Risikos müssen wir verantworten als Konzession an eine — vielleicht unausweichliche — zivilisatorische Entwicklung.

Für das wechselseitige Verhältnis von physiologischer und genetischer Toleranzdosis ist es weiters bezeichnend, daß bei Personen, die dauernd der physiologischen, gesundheitlich unschädlichen Toleranzdosis von 0,3 r pro Woche ausgesetzt sind, die oben abgeleitete genetische Toleranzdosis von 10 r in 33 Wochen erreicht ist, und daß sie bei Menschen, die beruflich mit Strahlungsquellen beschäftigt sind, bis zu ihrem 30. Lebensjahr um ein vielfaches überschritten werden kann, wenn die Strahlen auch die Gegend der Keimdrüsen treffen. Ja, eine einmalige

Ganzkörperbestrahlung mit 25 r, die, wie wir oben gehört haben, noch keine klinisch feststellbaren Schäden hervorruft, ist schon eine 2½ fache Überschreitung der genetischen Toleranzdosis. Da wiederholte, unter der physiologischen Schädigungsgrenze liegende Bestrahlungen auch die Neigung zu Krebs- und Leukämie-Erkrankungen steigern, so könnte man auch für diese das bestrahlte Individuum selbst, nicht aber dessen Nachkommenschaft bedrohende Folgen sinngemäß die genetische Toleranzdosis als praktische Gefahrgrenze ansetzen.

Der Schutz der Menschheit vor den biologischen Gefahren der Atomenergie.

Es wäre nun zu untersuchen, welchen Strahlungsmengen die Bevölkerung bzw. gewisse Gruppen der Bevölkerung durch zivilisatorische Einflüsse, besonders aber durch die schon bestehende oder noch zu erwartende Verwertung der Atomenergie für friedliche oder für kriegerische Zwecke ausgesetzt ist. Vorauszuschicken ist, daß alle Lebewesen der Summe von Strahlungen ausgesetzt sind, die als Höhenstrahlung, Strahlung aus radioaktiven Gesteinen etc. an der Erdoberfläche ständig wirksam sind. Ihre Größe beträgt für den Menschen etwa 3,4 r, in höheren Lagen bis zu 5,5 r pro Individuum bis zum 30. Lebensjahr. Diese natürliche Bestrahlung, die unvermeidlich ist, ist die Ursache für einen Teil der

Spontanmutabilität und ist schon in diese einkalkuliert. Wir können sie daher bei unseren Betrachtungen ganz außeracht lassen. Jedenfalls ist es nicht richtig, aus der Feststellung, daß sich auch die auf dem tibetanischen Hochland lebenden und dort einer hohen natürlichen Bestrahlung ausgesetzten Völker einer guten Gesundheit erfreuen, auf die genetische Harmlosigkeit von Strahlen zu schließen. Eine gewisse, wenn auch geringfügige Erhöhung der Spontanmutationsrate ist bei diesen Völkern sicher vorhanden. Die anzunehmende höhere Rate an erblichen Defekten ist mit den Faktoren der negativen Selektion auch dort im Gleichgewicht und infolge der ganz anderen zivilisatorischen Struktur mit unseren Verhältnissen nicht zu vergleichen.

Eine wichtige zivilisatorische Quelle für Strahlungen ist die diagnostische und therapeutische Verwendung von Röntgenstrahlen und neuerdings von radioaktiven Isotopen in der Medizin. Man hat in den Vereinigten Staaten berechnet, daß diese Quelle allein einen durchschnittlichen Strahlungsgenuß von ca. 3,0 r auf die Keimdrüsen pro Individuum bis zum 30. Lebensjahr bedingt, also schon fast ein Drittel der genetischen Toleranzdosis. Dieser Betrag ist erstaunlich hoch. Eine englische Untersuchung kommt hier nur auf den Betrag von 0,7 r und auch bei uns dürfte der Betrag nicht höher liegen. Hiezu muß man bedenken, daß sich der Gesamtbetrag aus dieser Strahlungsquelle nicht gleichmäßig

auf die Bevölkerung verteilt, sondern daß die Empfänger der stärksten Bestrahlungen meist leidende oder ältere Personen sind, die für die Zeugung von Nachkommen nicht mehr in Betracht kommen. Es wird wohl niemandem einfallen, angesichts der Möglichkeit von zusätzlicher Mutationsauslösung auf die ungemein segensreiche Verwendung der Röntgenstrahlen und der Isotope in der Medizin zu verzichten. Der Vorteil für das Wohl der Menschheit ist hier natürlich um ein Vielfaches größer als der Nachteil der geringen, aus dieser Quelle zu erwartenden Vermehrung ungünstiger Erbanlagen. Immerhin soll man trachten, überflüssige Reihenuntersuchungen jugendlicher Personen zu vermeiden und die Schutzmaßnahmen und die Arbeit an Röntgenapparaten so einzurichten, daß die Zone der Keimdrüsen möglichst wenig von Strahlungen betroffen wird.

Eine weitere Strahlungsquelle ist die vielfache technische Verwendung von Röntgenstrahlen oder von radioaktiven Isotopen. Ein englischer Untersuchungsbericht nennt hier eine Gesamtsumme von 0,05 r pro Individuum der Bevölkerung bis zum 30. Lebensjahr. Hier verteilt sich der Gesamtbetrag keineswegs gleichmäßig auf die Bevölkerung, sondern betrifft, mit entsprechend höheren Durchschnittsbeträgen, gewisse enger umgrenzte Berufsgruppen, die allerdings aus jüngeren, gesunden Personen bestehen. Außerdem ist durch die Erweite-

rung der technischen Verwendungsmöglichkeiten auch eine gewisse Steigerung dieser Beträge zu erwarten. Verglichen mit diesen Beträgen erscheint der durchschnittliche Strahlungsempfang durch die Leuchtziffern der Armbanduhren mit 0.06 r relativ hoch, der für die Röntgendurchleuchtung in Schuhgeschäften mit 0,003 r sehr niedrig. Die von den Fernsehschirmen ausgehende Strahlung wird mit weniger als 0,03 r veranschlagt.

Wenn wir die aus zivilisatorischen Einflüssen resultierende Strahlenmenge mit Ausschluß aller mit der Atomenergiegewinnung verbundenen Vorgänge summarisch betrachten, so ergibt sich nach den Schätzungen englischer Autoren eine Gesamtmenge von ca. 0,85 r als Mindestbetrag pro Individuum bis zum 30. Lebensjahr, eine sehr geringe Strahlenmenge, noch nicht ein Zehntel der oben aufgestellten genetischen Toleranzdosis. Nach den Schätzungen für die Vereinigten Staaten wäre die Summe mit über 3,0 r anzusetzen, also bereits fast ein Drittel der Toleranzdosis.

Die wichtigste, aber auch wohl die schwierigste Frage ist nun die, in welchem Ausmaß die Menschheit aus allen mit der Verwertung der Atomenergie zusammenhängenden Vorgängen mit Strahlungen belastet wird, wie sich diese Belastung in der Zukunft gestalten wird und inwieweit diese Entwicklung mit den Forderungen nach einer Mutationsprophylaxe in Einklang zu bringen ist. In allen Län-

dern der Erde, in denen größere Projekte dieser Art zur Durchführung kommen, ist die ständige Kontrolle der Strahlungsbelastung in den Betrieben selbst, aber auch in deren Umgebung, in der Atmosphäre, in den Gewässern, im Erdboden, in den Lebensmitteln usw. zu einer gewissenhaft betriebenen Einrichtung geworden. Da ist zunächst der Uranbergbau, der die für alle Arten von Atomenergieprozessen notwendigen Ausgangsmaterialien zu liefern hat. Hier besteht die Gefahr vor allem in der Einatmung der Radon-haltigen Luft und damit der spezifischen Schädigung der Lungen, während die durchdringenden Strahlungen, die bis zu den Keimdrüsen vordringen, nur von geringerer Bedeutung sind. Man hat gefunden, daß in unbewetterten Uranbergwerken die maximal zulässige Radonkonzentration in vielen Fällen überschritten wird, während bei guter Bewetterung der Bergwerke die Strahlenbelastung bei Förderung und Aufbereitung des Rohmaterials durchaus unter die Toleranzgrenze gedrückt werden kann. Bei längerer Arbeit in schlecht geführten Uranbergwerken ist die Annäherung der gesamten Strahlenbelastung der Keimdrüsen an die genetische Toleranzdosis zu befürchten, doch trifft dieser Nachteil ja nur einen kleinen Bruchteil einer Bevölkerung, kann sich daher in den Folgegenerationen statistisch nicht wesentlich auswirken.

Die Arbeit in Versuchslaboratorien, bei der Gewinnung von radioaktiven Isotopen für wissen-

schaftliche, medizinische und technische Zwecke, vor allem aber die Arbeit in den die Atomenergie für friedliche Zwecke liefernden Reaktorbetrieben würde eine enorme Bedrohung des Personals und der Umgebung bedeuten, wenn nicht durch eine Reihe von technischen Maßnahmen für deren Schutz vor den Strahlungen gesorgt wäre. Es ist interessant zu erfahren, daß die berufliche Belastung in den englischen Reaktorbetrieben nur 0.003 r pro Individuum bis zum 30. Lebensjahr beträgt, einen so unbedeutenden Betrag also, wie er schon durch die Röntgendurchleuchtung in den Schuhgeschäften durchschnittlich an die Bevölkerung verteilt wird. Ein ernstes Problem ist die Beseitigung des radioaktiven Abfalls, der in Atomkraftwerken in großer Menge entsteht. Er enthält radioaktive Isotope verschiedener Elemente, von denen einige zwar nur eine sehr kurze, andere aber eine lange Halbwertszeit haben, d. h. noch viele Jahre oder Jahrzehnte Strahlen von großem Durchdringungsvermögen aussenden. Man hat mit Recht darauf hingewiesen, daß die Menge des schon vorhandenen und bei der Ausweitung des friedlichen Atomenergiegewinnungsprogramms noch zu erwartenden Materials dieser Art viel gefährlichere Wirkungen haben könnte, als alle Atombomben und man hat auch schon die Befürchtung geäußert, daß sich militärische Stellen dieser Möglichkeiten für eine besonders grausame Art der Kriegführung bemächtigen könnten. Im Rahmen der

friedlichen Nutzung der Atomenergie ist es aber durchaus möglich, diese gefährlichen Substanzen an Orten und in einer Art zu deponieren, die eine physiologische und genetische Strahlenschädigung der Menschheit ausschließt. Es besteht wohl kein Zweifel, daß der Technik auch die Lösung dieser Aufgabe zur völligen Befriedigung gelingen kann. Mehr Sorge hat den Fachleuten die Möglichkeit von Betriebsunfällen in Reaktorbetrieben gemacht, wobei strahlendes Material in die Umwelt frei gesetzt werden könnte. Solche Unfälle sind zwar bisher noch nicht vorgekommen, aber ihre Möglichkeit ist nicht auszuschließen. Auch hier ist es eine Frage der technischen Entwicklung, das Risiko solcher Ereignisse praktisch auf Null zu senken.

Wir können unsere kurze Übersicht über die biologischen Gefahren der friedlichen Verwendung der Atomenergie mit der Feststellung abschließen, daß in der bisherigen und auch in der kommenden Entwicklung dieses Wirtschaftszweiges eine physiologische Strahlenschädigung des Menschen, mit Ausnahme von etwaigen Betriebsunfällen, mit Sicherheit ausgeschaltet werden kann und daß auch eine durchschnittliche Strahlenbelastung größerer Bevölkerungsgruppen, die sich etwa der oben abgeleiteten genetischen Toleranzdosis nähern und damit eine genetische Gefährdung der Menschheit darstellen würden, durchaus vermeidbar ist, wenn in der Planung und Führung der Betriebe auf die Forderun-

gen der Mutationsprophylaxe Rücksicht genommen wird. Vom genetischen Standpunkt aus muß diese Forderung mit allem Nachdruck verfochten werden und darf nicht etwa hinter wirtschaftlichen, politischen oder ökonomischen Überlegungen zurückgesetzt werden.

Wie steht es nun mit der kriegerischen Verwendung der Atomenergie? Es ist jedem klar, daß ein Krieg mit Atomwaffen, besonders wenn er als „totaler“ Krieg bis zur Vernichtung des wirtschaftlichen und militärischen Potentials des Gegners geführt wird, nicht nur für die kriegführenden Länder, sondern für die ganze Menschheit ein unvorstellbar großes Unglück wäre. Ganz abgesehen von dem furchtbaren Vernichtungswerk der Atombomben durch Explosionswirkung und Hitzeentwicklung, ganz abgesehen von den mehr oder weniger schweren gesundheitlichen und genetischen Schäden der im Bereich jeder Atomexplosion von den Strahlungen betroffenen Menschen, ist durch die großen Mengen von radioaktiven Isotopen, die bei jeder Atomexplosion entstehen, eine lange anhaltende Erhöhung der Strahlenbelastung ganzer Länder und Kontinente zu erwarten. Die Gefahren einer solchen radioaktiven „Verseuchung“ bestehen vor allem darin, daß die durch die Explosion in der Atmosphäre verteilten langlebigen radioaktiven Substanzen noch durch lange Zeiträume über die ganze Erde vertragen und von den Niederschlägen zu Boden gebracht werden.

Sie gelangen in die Gewässer, in das Grundwasser und in den Boden und werden in den Stoffwechsel der Pflanzen und von da in den der Tiere und des Menschen aufgenommen und so zu Bestandteilen der lebenden Substanz unseres Körpers. Hier senden sie nun weiter ihre Strahlen aus, durch die die Keimdrüsen getroffen und so Mutationen ausgelöst werden. Dies gilt besonders für das radioaktive Isotop Sr-90, das mit dem Calcium in den Stoffwechsel aufgenommen, in den Knochen und anderen Geweben gespeichert und damit zu höherer Wirksamkeit gebracht wird. Der Grad der radioaktiven Verseuchung der ganzen Erde würde bei einem Atomkrieg wahrscheinlich so groß sein, daß noch viele weitere Generationen einer die genetische Toleranzdosis mehr oder weniger weit überschreitenden Bestrahlung ausgesetzt wären und auf diese Weise eine schwere Belastung der Folgegenerationen mit ungünstigen Erbfaktoren und mit allen damit verbundenen Leiden und Lasten eintreten müßte.

In diesem Zusammenhang hat man auch schwere Bedenken gegen die Versuchsexplosionen erhoben, die von den Großmächten mit Atom- oder Wasserstoffbomben und anderen Atomwaffen durchgeführt werden. Auch diese haben schon zu einer nachweisbaren Erhöhung der Radioaktivität in der Atmosphäre, in den Niederschlägen und im Boden, in den Pflanzen und stellenweise in tierischen Produkten, z. B. der Milch, geführt. Auch hier spielen wieder

die radioaktiven Spaltprodukte der Explosionen die verhängnisvolle Rolle, besonders das Isotop Sr-90. Allerdings sind die Beträge dieser radioaktiven Ver- seuchung so gering, daß man bisher wohl kaum mit Recht von einer nennenswerten genetischen oder gar physiologischen Schädigung der Menschheit sprechen kann — auch wenn man den Umstand berücksichtigt, daß der Organismus des Kleinstkindes gegen Strah- lenschäden empfindlicher als der des Erwachsenen ist, für den die Toleranzwerte bemessen sind. Ein mit aller Sorgfalt ausgearbeiteter amerikanischer Bericht weist nach, daß in den Jahren 1950 bis 1956 aus den Atombombenversuchen der Bevölkerung der Ver- einigten Staaten im ganzen nur ein Strahlungsbetrag von 0,02 bis höchstens 0,5 r pro Individuum bis zum 30. Lebensjahr zugeführt worden ist. Das wäre also höchstens $\frac{1}{20}$ der oben abgeleiteten genetischen Toleranzdosis und auf jeden Fall weniger als der Betrag aus anderen zivilisatorischen Strahlenquel- len. Es wurde allerdings hinzugefügt, daß eine sichere Prognose der bei der Fortsetzung von Atom- bombenversuchen zu erwartenden Strahlungsgefähr- dung infolge der Unsicherheit meteorologischer und anderer Kalkulationen nicht gestellt werden kann. Inzwischen wurde die Zahl der Versuchsexplosionen von den Großmächten noch vermehrt, wenn auch die neuerdings verwendeten Bomben sich dadurch aus- zeichnen sollen, daß sie relativ wenig radioaktiven Abfall bilden. Das Kontrollnetz der Prüfung der

Strahlungsverhältnisse an der Erdoberfläche ist inzwischen wesentlich verbessert worden und es ist anzunehmen, daß wir bald über viel genauere Angaben über die Wirkungen der Versuchsexplosionen verfügen werden. Wenn bisher hie und da Meldungen über relativ hohe Strahlungsbeträge an gewissen Punkten der Erdoberfläche eingelaufen sind, so muß man bedenken, daß eng umgrenzte und zeitlich vorübergehende Konzentrationen von strahlendem Material statistisch noch keine wesentliche Bedeutung für die Erbschädigung der Gesamtbevölkerung eines Landes haben können.

Zusammenfassend kann man zur kriegerischen Verwendung der Atomenergie sagen, daß sie im Ernstfall unausweichlich zu einer schwersten biologischen Schädigung nicht nur der kriegführenden Völker, sondern auch der ganzen Menschheit führen müßte und daß die für einen solchen Fall vorgesehenen Schutzmaßnahmen nur eine sehr beschränkte Hilfe gegen die physiologischen Schäden und gar keine Hilfe gegen die genetischen Schäden zu bieten vermögen. Was die bisherigen Versuche mit Atomwaffen betrifft, so kann von einer nennenswerten genetischen Schädigung der Menschheit durch die dadurch bedingte Steigerung der Radioaktivität wohl noch nicht gesprochen werden. Infolge der Unsicherheit bei der Beurteilung der hier mitspielenden Faktoren ist jedenfalls vom biologischen Standpunkt aus vor einer Fortsetzung und vor allem einer

Vermehrung oder Intensivierung solcher Versuche ernstlich zu warnen.

Die Verantwortung des Fachmannes und die öffentliche Meinung.

Wohl noch nie in der Geschichte der Menschheit war der Arbeit und dem Gutachten des Fachmannes, in diesem Fall des Atomphysikers, des Atomtechnikers, des Radiologen und Strahlengenetikers so viel Verantwortung auferlegt wie heute. Handelt es sich doch bei den Möglichkeiten der friedlichen Auswertung der Atomenergie um Projekte, die wohl bald zur entscheidenden Existenzfrage der Völker und der Menschheit werden können, und bei den kriegerischen Verwendungsmöglichkeiten dieser Energiequelle um die ärgste gewaltsame Existenzbedrohung der Menschheit. Der Fachmann, auf dessen Gutachten sich Entscheidungen von so hoher Tragweite stützen sollen, ist in seiner ethischen Grundhaltung verpflichtet zur größten Gewissenhaftigkeit in seiner Arbeit, zu Wahrheit und Wahrhaftigkeit in seinen Aussagen. Er muß den Umfang und die Grenzen des derzeitigen Wissens richtig erkennen, er muß den Grad der Sicherheit seiner Aussagen und Voraussagen verantworten können, er darf nichts verschweigen und nichts hinzufügen, das die rein wissenschaftliche Objektivität seiner Aussagen verfälschen könnte.

Die Entscheidungen über alle Fragen der friedlichen und der kriegerischen Verwendung der Atomenergie sind angesichts der lebenswichtigen Bedeutung solcher Projekte eminent politische Entscheidungen. Nicht politisch im Sinne der Partei- oder Tagespolitik, sondern im Sinne der Menschlichkeit, der Wohlfahrt und der zukünftigen Schicksale der Völker, also Entschließungen, die ethisch, weltanschaulich oder religiös begründet sein müssen, wenn sie mit dem gebührenden Verantwortungsbewußtsein gefaßt werden sollen und nicht nur unter dem Einfluß eines Schlagwortes, einer Massenpsychose oder einer leichtfertigen Augenblicksstimmung. Zu dieser politischen Entscheidung ist jeder Mensch aufgerufen und er kann dabei seine Meinung im Rahmen der ihm in der jeweiligen Verfassung der Länder zustehenden Rechte oder als freier Kämpfer für seine Überzeugung zum Ausdruck und zur Wirkung bringen. Auch dem Fachmann stehen als Bürger die gleichen Rechte zu. Er, der selbst die sachlichen Grundlagen der Beurteilung kennt, darf sich jedoch von seiner weltanschaulichen Einstellung, von seiner politischen Überzeugung nicht im geringsten bei der Abgabe und Formulierung seines fachmännischen Urteils beeinflussen lassen. Er darf auch dann nichts an der Objektivität und Vollständigkeit dieses Urteils verändern, wenn er dadurch einem Ziel dienen könnte, das er ethisch oder politisch für gut und

wünschenswert hält. Denn seine erste Pflicht ist Wahrheit und Wahrhaftigkeit und der Zweck heiligt nicht die Mittel. Er kann wohl dort seine Mitarbeit versagen, wo der zu erzielende Zweck mit seiner Überzeugung unvereinbar erscheint. Er muß dann aber diese Absage offen weltanschaulich begründen und verantworten und darf sich nicht etwa hinter einem unwahren Gutachten verschanzen. Dies alles erfordert einen hohen Grad von Klarheit des Denkens und von ethischer Reife. Dafür muß der Fachmann aber verlangen, daß sein Urteil bei allen politischen Entscheidungen gehört wird und in seiner Objektivität unangetastet bleibt und als solches respektiert wird. Er muß offen und laut protestieren, wenn er sieht, daß politische Faktoren das objektive fachmännische Urteil zur Erzielung ihrer Zwecke verfälschen oder unterdrücken, und das muß er selbst dann, wenn diese Verfälschung zu Gunsten einer politischen Überzeugung spricht, der der Fachmann selbst sich innerlich verpflichtet fühlt. Das alles zeigt, welch schwere und oft tragische Stellung dem Fachmann heute zukommt, der in seiner Beharrung auf der reinen Objektivität seiner Aussage leicht von der einen Seite als Defaitist und lästiger Saboteur einer wirtschaftlichen oder militärischen Entwicklung und von der anderen Seite als Atomkriegshetzer verdächtigt werden kann.

Die öffentliche Meinung hat sich in den letzten Jahren viel mit den Problemen der friedlichen und noch mehr der kriegerischen Verwendung der Atomenergie befaßt. Im letzten Jahr ging eine Welle von erregenden und meist sensationell aufgemachten Meldungen über die biologischen und besonders die genetischen Gefahren der Atombombenversuche, aber auch der friedlichen Atomenergieprojekte durch die Presse fast aller Länder der Erde. Man konnte sich oft des Eindrucks nicht erwehren, daß die dadurch ausgelöste Erregung und Beeinflussung der öffentlichen Meinung von gewissen politischen Machtzentren beabsichtigt war. Wenn man bedenkt, wie große wirtschaftliche und militärische Interessen im Spiele stehen, ist dies auch nicht zu verwundern. Leider muß man sagen, daß die Presse im allgemeinen dabei keine gute Rolle gespielt hat. Nicht nur die Sensationsblätter und die Illustrierten bemühten sich, ihre Leser mit Schauderartikeln über die drohende Vernichtung der Menschheit durch die Atomkraft zu traktieren, auch angesehenere Tageszeitungen füllten ihre Schlagzeilen mit übertriebenen oder sensationell aufgemachten Meldungen, wobei oft aus dem Zusammenhang gerissene und entstellte Äußerungen einzelner Fachleute herhalten mußten, um die biologischen Gefahren der Atombombenversuche, aber auch der friedlichen Atomenergiewirtschaft in einem möglichst krassen Licht

darzustellen *). Verschiedene mehr oder weniger hiezu befugte Organisationen oder Einzelpersonen erließen Aufrufe, deren oft mangelhafte oder tendenziös entstellte fachliche Begründung dem Publikum ein falsches Bild der Sachlage vermittelte. Dabei wurde oft der falsche Eindruck erweckt, als ob die Fachleute sich über die biologischen Gefahren der Atomenergie gar nicht einig wären, während, wie schon erwähnt, unter den wirklichen Fachleuten aller Länder und Richtungen eine sehr gute Übereinstimmung in der Beurteilung der wissenschaftlich vertretbaren Voraussagen und Urteile herrscht.

*) Für die Wirkung solcher Meldungen kommt es sehr darauf an, in welcher Form der gleiche Tatbestand mitgeteilt wird. Ein amerikanischer Autor hat berechnet, daß der bei Fortsetzung der Atombombenversuche zu erwartende Anstieg des radioaktiven Sr-90-Gehaltes der menschlichen Knochen zu einer perzentuellen Zunahme der Häufigkeit von Leukämieerkrankungen führen würde, die zwar so gering wäre, daß sie in den Todesstatistiken der einzelnen Jahre gar nicht mit statistischer Sicherheit nachgewiesen werden könnte, deren Gesamtzahl aber, berechnet auf die Gesamtbevölkerung Amerikas und Europas, im Verlauf einer Generationsdauer im schlimmsten Fall den Betrag von 50.000 Fällen erreichen könnte. Eine Zeitung schrieb daraufhin die Schlagzeile: „Unser Blut wird vergiftet — Morgen müssen 50.000 sterben!“ Dies ist wohl kaum die richtige Art, den ernststen wissenschaftlichen Befund in seiner wirklichen Bedeutung für die Volkshygiene gerecht darzustellen.

Es wurde auch vielfach der ganz unberechtigte Vorwurf erhoben, daß die Wissenschaftler die biologischen Gefahren zu wenig beachtet oder gar ihr Wissen darum absichtlich verschwiegen hätten. Wer die ungeheure Arbeitsleistung und die große Zahl von Publikationen auf diesem Gebiet kennt und ebenso das frühzeitige und mutige Auftreten zahlreicher Strahlengenetiker, besonders des Nobelpreisträgers M u l l e r, der weiß, wie unberechtigt solche Vorwürfe sind. Die unverantwortliche Sensationsmache der Presse hat allerdings viele Fachleute so verärgert, daß sie den Berichterstattern oft weitere Auskünfte verweigerten. Durch die Sensationslust der Presse und gewisse in der heutigen Weltlage tiefer begründete Gefühle des Unbehagens bemächtigte sich der öffentlichen Meinung fast aller zivilisierten Länder eine oft panikartige Atomangst, eine Stimmung, die kaum geeignet erscheint, eine gesunde Grundlage für verantwortungsbewußte Entscheidungen von höchster wirtschaftlicher und politischer Tragweite abzugeben.

Gewiß waren viele warnende Stimmen von den edelsten Motiven und von wahrer, berechtigter Sorge um das Wohl der Menschheit getragen, so die des allverehrten großen Menschenfreundes Albert S c h w e i t z e r. Wir dürfen aber, um eine Entscheidung ethisch voll verantworten zu können, die Situation nicht einseitig vom Standpunkt eines hypothetischen individuellen Wohls oder Übels sehen.

Wenn die Erschließung der Atomenergie für friedliche Zwecke wirklich der einzige Weg ist, der Menschheit eine weitere zivilisatorische Entwicklung und gesicherte physische Existenz zu ermöglichen — und die meisten Fachleute versichern, daß dies so sei —, dann müßten wir einen gewissen geringen Grad von genetischen Schäden im schlimmsten Fall in Kauf nehmen. Wir haben oben gesehen, daß die Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung in der friedlichen Nutzung der Atomenergie sehr vollkommen sind und mit der Entwicklung der Technik wohl noch vollkommener zu gestalten wären, sodaß die genetische Schädigung kommender Generationen auch bei einem weltweiten Ausbau der Atomtechnik gewiß in sehr engen Grenzen gehalten werden könnte. Die zu befürchtenden Opfer wären jedenfalls verschwindend klein gegenüber den vielen Tausend Toten und Invaliden, die jedes Jahr von den modernen Verkehrsmitteln gefordert werden (allein in der Deutschen Bundesrepublik 12.300 Tote im Jahr!). Und doch wird es niemandem einfallen, ein sofortiges Verbot aller Verkehrsmittel zu fordern. Hier wie dort und noch auf vielen anderen Gebieten sind eben die Vorteile der Zivilisation für eine wirtschaftlich gesicherte und sozial gehobene Lebensführung des Menschen viel, viel größer als gewisse, im Prinzip unvermeidbare Zivilisationsschäden. Hier wie dort muß man trachten, diese Schäden in ihrem Umfang durch Verbesserung der Organisation, vor

allem aber durch Pflege des Verantwortungsbewußtseins, in möglichst engen Grenzen zu halten. Gewiß wird die Zivilisation und ihr Fortschritt dem Menschen niemals das Paradies auf Erden bringen — das kann er nur in der Tiefe eines ethisch gerechtfertigten, gottbegnadeten Herzens finden. Die Zivilisation ist aber zur unabdingbaren Lebensform der ungeheuer vermehrten, in ihrer Struktur hochdifferenzierten Menschheit geworden und ihr Rückgang oder gar ihr völliger Verfall würde unendlich viel Leid, Gewalt, Ungerechtigkeit und Not über die Menschheit bringen. Wenn gegenüber den statistischen Überlegungen der Strahlengenetiker manchmal das Argument vorgebracht wird: „Warum sprechen Sie in Prozenten — auch wenn nur ein einziges Kind einmal erbkrank geboren werden sollte, so ist das ganze Unternehmen moralisch nicht zu rechtfertigen“, so ist dies wohl eine falsch verstandene Humanität angesichts der unauflöselichen Verknüpfung aller zivilisatorischen Elemente mit der Wohlfahrt des Menschen. Unsere Ethik muß stark genug sein, um auch unter den Bedingungen der Hochzivilisation das Wohl der Gesamtheit und das Wohl des einzelnen moralisch verantworten zu können. Dann werden wir auch die Forderungen des biologischen Schutzes der Menschheit in einem Zeitalter der friedlichen Nutzung der Atomenergie gegenüber jedem Versuch wirtschaftlicher Rück-

sichtslosigkeit erfolgreich und gerecht vertreten können.

Wohl noch ernster ist die Frage einer politischen Stellungnahme in der Frage des Atomkrieges und der Atomrüstung mit ihren gefährlichen Bombenversuchen. Es ist wohl jedem klar, daß die Frage heute nicht heißt „Atomkrieg oder Krieg ohne Atom“, sondern „Atomkrieg oder Friede“, zumindest im Falle eines Konfliktes zwischen den Großmächten. Wenn jemand als konsequenter Pazifist jeden Krieg und jede Art von Kriegsrüstung ablehnt, dann ist seine Überzeugung aller Achtung wert. Er muß dann aber konsequent genug sein, die Frage des Krieges und der Kriegsbereitschaft und ihrer Ursachen bis in deren psychologische, soziologische und ethische Wurzeln zu verfolgen und sie von dort her zu lösen versuchen. Es hat keinen Sinn, nur ein Symptom einer Krankheit bekämpfen zu wollen und nicht ihre Ursachen. Wenn aber jemand glaubt, die Aufrüstung moralisch verantworten zu können oder gar meint, daß sie gerade zur Erhaltung des Friedens notwendig ist, dann darf er nicht stauen, wenn die Großmächte sich die stärkste aller modernen Waffen nicht entgehen lassen und die militärischen Experten ihre Erprobung verlangen. Gewiß ist es zu begrüßen, wenn auf die biologischen Gefahren dieser Experimente immer wieder hingewiesen wird und deren Einschränkung oder Einstellung verlangt wird. Alle Bestrebungen, die Groß-

mächte zu einer Einschränkung der Atomrüstung oder zu einer einvernehmlichen Atomabrüstung zu bewegen, sind der Unterstützung aller wohlmeinenden Menschen wert. Es entspricht jedoch nicht dem Ernst der Situation, wenn die wissenschaftlichen Grundlagen zur Beurteilung der biologischen Gefahren dieser militärischen Entwicklung zu Sensationen verfälscht werden, die der politischen Stimmungsmache dienen. Der tiefe Ernst der Weltlage und die hohe sittliche Verantwortung, die der heutigen Menschheit auferlegt ist, spricht aus der eindringlichen Mahnung, die Papst Pius XII. an die Völker und Regierungen der Welt in diesem Jahr gerichtet hat.

Wir haben in den Erörterungen dieses letzten Kapitels bewußt die Grenzen überschritten, die dem wissenschaftlichen Berichterstatter für die Darlegung seines Themas gezogen sind. Dies ist geschehen, um die Stellung der Wissenschaft und ihrer Diener in der heutigen Welt zu umschreiben. Die strahlenbiologische und strahlengenetische Forschung hat in den Vereinigten Staaten und in England große Fortschritte gemacht und wird in diesen Ländern intensiv gefördert. Auch in der Sowjetunion ist neuerdings ein großes Institut für Strahlengenetik gegründet worden, nachdem dort die Mutationsforschung aus ideologischen Gründen eine Zeit lang stark gehemmt war. Der europäische Kontinent ist leider auf diesem Forschungsgebiet wenig

hervorgetreten und es wäre sehr zu wünschen, daß auch bei uns Forschungsmöglichkeiten dieser Art eingerichtet werden könnten.

Literatur.

Die umfangreiche Fachliteratur kann hier nicht berücksichtigt werden. Die verbreiteten wissenschaftlichen Wochenschriften „Science“ (USA) und „Nature“ (England) bringen häufig Artikel und Diskussionen über die aktuellsten Fragen der Strahlengenetik. Sehr aufschlußreiche Informationsquellen sind die Berichte:

National Academy of Sciences ed.: The biological effects of atomic radiation. Washington, 1956.

The Hazards to man of nuclear and allied radiations. London, 1956, Medical res. Council.

Wer sich mit den wissenschaftlichen Grundlagen näher befassen will, sei auf das ausgezeichnete Buch hingewiesen:

Rajewsky B.: Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes. Karlsruhe, 1957.