

Radioaktivität in der Natur und in der Verantwortung des Menschen

1. Einleitung

Radioaktivität wirkt zuerst einmal beängstigend, da wir sie nicht sehen, und auch sonst nicht wahrnehmen können. Das hat sie mit anderen physikalischen Phänomenen wie Elektrizität und Magnetismus gemeinsam. Im Unterschied zu *übersinnlichen* Erscheinungen, die wir auch nicht mit unseren Sinnen wahrnehmen können, sind diese Qualitäten mit technischen Apparaten messbar. Rudolf Steiner nennt sie daher auch ‚*untersinnliche Kräfte*‘.

Charakteristisch für Radioaktivität ist, dass sie insbesondere für Lebewesen schädlich ist: je lebendiger, desto schädlicher. Erstaunlich ist, dass ionisierende Strahlung mit sehr wenig Energie – gemessen an der Erwärmungsfähigkeit von Materie – bereits sehr viel biologischen Schaden anrichten kann. Bedeutsam ist neben der Energie immer auch die Dauer der Exposition.

Ferner tritt ein diskontinuierliches Phänomen auf, das sich im „zufälligen“ Zerfallen von Materie mit einer nur der Wahrscheinlichkeit nach erfassbaren Geschwindigkeit vollzieht und beim Menschen auch wiederum eine nur statistisch fassbare Wahrscheinlichkeit der Erbschädigung hervorruft, d. h. das Risiko ist nicht real erlebbar, wie beim Feuer (wenn man hinfasst, tut es weh).

2. Vorkommen ionisierender Strahlung

Radioaktiver Zerfall von Materie bewirkt, dass ionisierende Strahlung frei wird. Der Mensch ist dauernd einer *Hintergrundstrahlung* ausgesetzt, die sich aus natürlicher und aus technisch hervorgerufener Radioaktivität zusammen setzt. *Natürliche Strahlung* erreicht den Menschen aus der Erde (Uranerze, Bims, aufsteigendes Radongas), von der Sonne und aus dem Kosmos. Kosmische Strahlung wird durch die Luftatmosphäre abgeschwächt. Bei Übersee-flügen in großer Höhe reduziert sich dieser Schutzschild deutlich.

Im Unterschied zum gleichbleibenden natürlichen Kernzerfall hat die *vom Menschen ausgelöste Strahlung* wachsenden Anteil an der Gesamtbelastung. Dazu trägt die Röntgendiagnostik und Strahlentherapie, die Nuklearmedizin, die Kernkraft, die atomare Rüstung (Atomversuche) und - mit rückläufiger Tendenz - der Gebrauch radioaktiv strahlender Substanzen in Baumaterialien und in Alltagsgegenständen bei.

3. Physikalische Grundlagen

Durch Kernzerfall frei werdende Strahlung breitet sich wie Licht aus. Was sie auszeichnet, ist ihre ionisierende Wirkung beim Auftreffen auf Materie. Ionisieren bedeutet im gängigen Atommodell, dass beim „Aufprall“ auf Atome aus deren Hülle einzelne Elektronen heraus geschlagen werden und die vormals in sich ruhenden Atome in ein Ladungsungleichgewicht gebracht und

dadurch in „elektronenhungrigen“ Ionen verwandelt werden. Die ursprüngliche Strahlung wird durch den Zusammenstoß mit der Materie von ihrem Weg abgelenkt, es kommt zu Streuung.

Ionisierende Strahlung lässt sich ähnlich dem Licht sowohl in einem Wellenmodell, als auch in einem Teilchenmodell erklären. Das Wellenmodell lehnt sich an die Anschauung von der Ausbreitung an, das Teilchenmodell an die Beobachtungen der Wechselwirkung beim Zusammenreffen mit Materie. Ein Bild des tatsächlichen Geschehens erhält man in der Zusammenschau beider Modelle.

Gamma-Strahlung hat keine messbare Ausdehnung und keine Masse. Sie breitet sich wie elektromagnetische Wellen mit Lichtgeschwindigkeit aus und entsteht als sekundäres Phänomen beim Kernzerfall. Die herumfliegenden Elektronen haben als Elektronenstrahlung (= Beta-Strahlung) ebenfalls ionisierende Wirkung. *Beta-Strahlung* erscheint ebenfalls ohne nennenswerte räumliche Ausdehnung, hat jedoch eine Masse, ebenso wie Alpha-Strahlung. Man bezeichnet diese beiden daher auch als Teilchenstrahlung. *Alpha-Strahlung* hat eine Masse und auch eine Ausdehnung im Raum. Sie breitet sich nur mit etwa 1/10 der Lichtgeschwindigkeit aus.

Ionisierende Strahlung entsteht entweder durch *Kernzerfall* von Isotopen, oder durch Abbremsen von Elektronen. Natürliches Uran kann angereichert oder durch „Beschuss“ mit Neutronen (energiereiche, elektrisch neutrale Kernpartikel) aktiviert werden und entfaltet dann ein Vielfaches der natürlichen Radioaktivität (Kettenreaktion in Kernreaktoren und Atomwaffen). Beim Zerfall von Isotopen entstehen immer wieder andere Elemente entlang einer typischen Zerfallsreihe, z. B. Uran → Radium → Radon → Polonium → Wismut und Blei. Beim Blei kommt alle Strahlung zum Stillstand. Daher ist es als Abschirmmaterial gut geeignet.

Die *Röntgenröhre* setzt Beschleunigungsenergie der Elektronen durch Abbremsen in Strahlenenergie um. Mit steigender Spannung steigt die Frequenz und damit die Energie. Dickere Körper können durchdrungen werden. Mit zunehmender Stromstärke steigt die Amplitude und damit die Intensität der Strahlung. Kontraste können besser aufgelöst werden, es wird aber mehr Strahlung im Körper absorbiert, die Strahlenbelastung ist höher.

Eine Analogie mit dem Licht würde bei Frequenzerhöhung eine andere Farbe ergeben und bei Intensitätserhöhung ein helleres Licht. Eine andere Analogie wären Kugeln, die auf ein Brett mit unterschiedlicher Dicke fallen. Manche prallen ab, andere brechen durch. Erhöht man die Fallhöhe, so verbessert man die punktuelle Durchschlagskraft. Eine andere Möglichkeit, die Intensität zu erhöhen, ist es, mehr Kugeln gleichzeitig herunter fallen zu lassen: so kann man Dickeunterschiede im Brett am unterschiedlichen Durchschlag detaillierter erkennen, hat eine höhere Auflösung.

Messgrößen

Da die ionisierende Strahlung nur durch Messverfahren wahrnehmbar ist, und diese zwangsläufig eine Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie hervorrufen, wird das Urphänomen durch die Messung verändert. Das betrifft insbesondere die *Intensität* der Strahlung, den Teilchen- bzw. den Photonenfluss (*Fluenz*). Die Intensität, oder „Menge“ der Strahlung ist un-

abhängig von der *Energie*, mit der die Strahlung beladen ist. Ein analoges Phänomen bei der Elektrizität ist der Stromfluss, der hier in Ampère gemessen werden kann. Im Teilchenmodell lässt sich die Intensität einer Strahlung auch als Impulsrate darstellen.

Die *Energie* einer Strahlung nimmt mit zunehmender *Frequenz* zu. Dabei ist nur sehr wenig Energie messbar, die als Wärme frei wird: Eine tödliche Strahlendosis gibt im Körper nicht mehr Energie ab, als zum Erwärmen eines Esslöffels Wasser von 10 auf 20 °C nötig ist.

Wenn man die *Frequenz* der Photonenstrahlung des sichtbaren Lichts erhöht, also wiederholt nach oben oktaviert, kommt man über Ultraviolettlicht zur Mikrowellenstrahlung, dann zu den Rundfunkfrequenzen (LW, MW, KW, UKW, Mikrowelle, Infrarot, sichtbares Licht, UV-Licht) und zuletzt zur radioaktiven Strahlung: Hier ist im unteren Frequenzbereich die *Röntgenstrahlung* zu diagnostischen Zwecken und zur Werkstoffprüfung anzutreffen. Sie ist im Effekt der Gamma-Strahlung gleich, unterscheidet sich aber in der Entstehung: sie wird künstlich erzeugt durch Abbremsen von Elektronen, also durch Wechselwirkungen in der Atomhülle. *Gamma-Strahlung* entsteht hingegen durch Zerfallsprozesse im Atomkern und kann eine wesentlich höhere Energie tragen („harte“ Gamma-Strahlung). Nicht im Photonenbereich, sondern als Teilchenstrahlung nachweisbar ist die energiereiche *Beta-Strahlung* und die *Alpha-Strahlung*. Letztere dringen nicht sehr tief in feste Körper ein; sie ebbt schon wenige Millimeter unter der Haut ab, kann dort aber aus verschiedenen Gründen großen Schaden anrichten: erstens bedeutet die geringe Eindringtiefe, dass die Strahlung zu 100 % im Körper bleibt und dort ihre Wirkung entfaltet, zweitens ergibt sich aus ihrer Frequenz, dass sie vermehrt Doppelstrangbrüche in der DNA der Zellen verursacht, die nicht so leicht zu reparieren sind, wie Einzelstrangbrüche, die noch durch den zweiten DNA-Strang „geschient“ sind. Drittens kommen Alphastrahler meist als Kontamination in den Körper, werden dort abgelagert und verursachen von dort eine sehr lange Expositionsdauer in ihrer unmittelbaren Umgebung.

Die *Energie* der Strahlung wird in der Einheit Elektronvolt (auch Elektronenvolt) gemessen (eV). Die Größe lässt sich in ein Wärmeäquivalent umrechnen (Joule) und hat in der Dosimetrie keine große Bedeutung, da sie sich auf die Betrachtung einzelner Elementarteilchen und nicht auf makroskopische Körper bezieht.

Die *Dosis* (oder *Energiedosis*) drückt die Energie aus, die beim Durchstrahlen von 1 kg Masse in dieser zurück bleibt:

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Eintrittsenergie} - \text{Austrittsenergie}}{\text{Masse}}$$

In die *Dosisleistung* geht nur die Energie und die Dauer ein, mit der Strahlung am Menschen wirkt. Die Intensität spielt dabei keine wesentliche Rolle. Die Dosis wird in der Maßeinheit Grey (Gy) gemessen.

In der *Äquivalentdosis* wird zusätzlich noch berücksichtigt, welche Schädlichkeit die Dosis beim Menschen entfaltet. Da unterschiedliche Strahlen unterschiedlich aggressiv auf menschliches Gewebe wirken, erhält die Energiedosis noch einen Bewertungsfaktor. Dieser liegt für Gamma-Strahlung (incl. Röntgenstrahlen) bei 1, für Beta-Strahlen ebenfalls, schnelle Neutro-

nenstrahlung erhält den Faktor 10 und die Alpha-Strahlung sogar 20. Die biologische Wirksamkeit wird als Äquivalentdosis in Sievert (S) angegeben und beschreibt das Schadenspotenzial, das eine bestimmte Strahlenart je Kilogramm menschlichen Gewebes ausübt. Gebräuchlich sind Nano-, Mikro- und Millisievert (nS, μ S und mS).

Die Vergleichbarkeit von Strahlenbelastungen wird durch Bezugnahme auf die natürliche *Jahresdosis*, die der Mensch im Schnitt durch die natürliche Hintergrundstrahlung ausgesetzt ist, erleichtert. Diese beträgt zur Zeit etwa 2 mS/Jahr, (hinzu kommt noch die technisch generierte Hintergrundstrahlung mit ebenfalls 2 mS/Jahr). Eine Röntgenaufnahme, die mit 4 mS zu Buche schlägt, lässt einen also bezogen auf das Lebenszeit-Strahlenrisiko um 2 Jahre voraltern. Ähnlich wird bei der Erfassung des Nikotin-Risikos in sog. ‚Pack Years‘ gerechnet.

4. Messung von Strahlen (Dosimetrie)

Der Geigerzähler misst die ionisierende Wirkung von Strahlung. Der einzelne Knackton bildet nicht einen einzelnen Teilchenzerfall ab, sondern das Überschreiten einer gerätespezifischen Schwelle (Überlauf) und Rücksetzung des Geräts in erneute Zählbereitschaft. Die zunehmende Häufigkeit der Knacktöne sagt nichts darüber aus, ob nun mehr Energie (also höhere Frequenz der Strahlung) vorliegt, oder aber die Intensität der Strahlung, also der Strahlenfluss zugenommen hat. Für die Gefährdung von Menschen ist keine direkte Aussage möglich: Hohe Energie bei niedriger Intensität hat schon in kurzer Zeit ein hohes Schadenspotenzial, hohe Intensität bei niedriger Energie erst nach längerer Expositionsdauer.

Umgekehrt kann aber bei geringer Häufigkeit der Knacktöne (im Bereich der Hintergrundaktivität) sehr wohl davon ausgegangen werden, dass keine zusätzliche Strahlenbelastung für den Menschen vorliegt.

Der Geigerzähler hat einen Schwellenwert, ab dem er anspringt, sowohl für die Energie, als auch für die Intensität der Strahlung, die beide in die Messung eingehen. Durch unterschiedliche vorgelegte Filter kann die gemessene Strahlenart identifiziert werden. α -Strahlung wird schon durch Pappe abgehalten, β -Strahlung durch ein Metallblech und χ -Strahlen dringen am weitesten durch. Ein Messgerät ist im angegebenen Energiebereich hinreichend genau, bei höheren Dosen wird das Messgerät übersteuert und steigt irgend wann in der Anzeige nicht mehr mit an.

Die Gamma-Kamera ist eine räumliche Anordnung von Szintillationszählern, die bei einer Szintigrafie die Verteilung des injizierten Isotops (z. B. Technetium 99) im Körper darstellt.

Einige Strahlungsquellen und ihre Äquivalentdosen

	Äquivalentdosis	Anmerkung
1. Hintergrundstrahlung		
Kosmische Strahlung	0,3 mSv	Summe natürlicher Strahlungsquellen: ca. 2 mSv pro Jahr
Äußerliche Bestrahlung	0,4 mSv	
Einatmen von Radon	1,1 mSv	
sonstige innere Strahlung	0,3 mSv	
Medizinische Anwendungen	1,9 mSv	Summe technischer Strahlungsquellen: ca. 2 mSv pro Jahr
Kernkraftwerke (Normalbetrieb)	<0,01 mSv	
Folgen des Tschernobyl-Unfalls	<0,016 mSv	
Atombombenversuche	<0,01 mSv	
Sonstige künstliche Strahlung	<0,02 mSv	
Summe der Hintergrundstrahlung	rund 4 mSv	pro Jahr
2. Diagnostik		
Röntgen Schädel-Aufnahme	0,1 mSv	
Röntgen Thorax-Aufnahme	1 – 2 mSv	
CT des Thorax	20 mSv	
CT des Abdomens	10 – 25 mSv	
	Äquivalentdosis	Anmerkung
3. Sonstiges		
Langstreckenflug, 8 Stunden Flugzeit, Flughöhe: 12.000 m	0,2 mSv	pro Flug
Maximal zul. Strahlenexposition durch künstliche Radioaktivität (Allgemeinbevölkerung)	1,0 mSv/Jahr	
Zus. Belastung im ersten Jahr nach dem Reaktorunglück in Tschernobyl	1,0 mSv/Jahr	in Bayern gemessen
Maximal zul. Strahlenexposition während eines regulären Feuerwehreinsatzes	15 mSv	pro Ereignis
Maximal zulässige Strahlenexposition (für beruflich Exponierte)	20 mSv/a, in Einzelfällen auch 50 mSv	1 x pro Jahr
Rettungsdienst / Feuerwehr zur Lebensrettung	100 mSv	1 x pro Jahr
Feuerwehr im Katastrophenfall	250 mSv nur 1 x im Leben	
Schwellendosis für körperliche Sofortschäden	250 mSv	
Berufslebensdosis, kumuliert (für beruflich Exponierte)	400 mSv während der gesamten Berufstätigkeit	sollte nicht überschritten werden

5. Anwendung in der Technik

Kernkraft

Die unglaubliche Energie, die in jedem Brocken Materie steckt, hat Albert Einstein in der Formel $E = m \cdot c^2$ rechnerisch fassbar gemacht: Die Energie (E) entspricht der Masse (m) mal Lichtgeschwindigkeit (c) im Quadrat. Natürlich liegt für den Forschergeist die Frage nahe: wie kommt man an diese Energie ran? – Dazu kommentiert Wolfgang Schäd: „Nur schade, dass die großtechnische Ausführung so viel aufwändiger ist, als die so einfache Äquivalenzformel vermuten lässt.“¹

Bereits zwischen den Weltkriegen wurde international an der friedlichen Nutzung der „Atomkraft“ geforscht. Ein Team um Werner Heisenberg hat dann während des Zweiten Weltkrieges heimlich im Atomkeller in Haigerloch bei Stuttgart weiter experimentiert, jetzt auch die Grundlage schaffend für die militärische Nutzung. Ausgangspunkt war die Tatsache, dass Kernzerfälle durch Strahlung ausgelöst werden können, die ihrerseits wieder Strahlung erzeugen. Theoretisch muss also „nur“ eine kontrollierte Kettenreaktion vom Zaun gebrochen werden durch intensive Bestrahlung von angereichertem Uran oder anderen radioaktiven Isotopen. Praktisch hat es erst viel später funktioniert.

Mehrere Probleme haben sich bis heute als unlösbar erwiesen: Erstens gibt es keine Garantie, dass die Kettenreaktion nicht irgend wann durch technisches oder menschliches Versagen, durch Sabotage oder eine Naturkatastrophe außer Kontrolle gerät und dann verheerenden Schaden für riesige Teile der Welt und für unermessliche Zeiträume anrichtet. In *Tschernobyl* mussten 1986 bis zu 800.000 Menschen ihr Leben oder ihre Gesundheit lassen, nach dem sie als „Liquidatoren“ den Schaden am explodierten Reaktor so weit behoben hatten, dass nicht fortwährend weiterer radioaktiver Staub in Richtung Europa wehte.

Zweitens ermüdet das Brennmaterial recht bald und ist dann zwar weiterhin hoch radioaktiv, aber nicht mehr für die Energiegewinnung zu gebrauchen. Eine sichere *Endlagerstätte* ist nicht zu finden, da auch Salz- und Gesteinsformationen langfristig sehr agil sind, und zu Korrosion oder mechanischer Zerstörung der Behältnisse führen. Wegen sehr langer Halbwertszeiten (das Zeitintervall, in dem sich die Strahlungsaktivität jeweils halbiert) werden noch in 30.000 Generationen unsere Nachfahren mit den tödlichen Spuren unserer Energieverschwendung zu leben haben. Daher gibt es weltweit namhafte Philosophen und Linguisten, die an der Frage arbeiten, wie man radioaktive Lagerstätten so markiert, dass nicht in einer Million Jahren Menschen aus wissenschaftlicher Neugierde den falschen Deckel aufmachen und daran versterben. Wie sag ich's meinen Kindeskindern? – Welche Sprache wird dann noch verständlich sein? – Das sind die Fragen, mit denen sich der Wissenschaftszweig der *Atomsemiotik* beschäftigt.

Drittens ist die Ankopplung der gewonnenen Energie an die Stromproduktion über die Erwärmung von Wasser und Dampfturbinen realisiert. Dabei gibt es verschiedene Kühlkreisläufe und Verdunstung von Wasserdampf. Immer wieder entweichen radioaktiv belastete Substanzen wie Wasser und Wasserdampf in das Ökosystem rund um das Kraftwerk. Die Rate an leukämiekranken Kindern im Umkreis von Atomreaktoren ist signifikant erhöht, auch wenn von den Betreibern betont wird, dass keine erhöhten Messwerte in der Umgebung zu verzeichnen sind.

Der *Ausstieg aus der Kernenergie* („Atomkraft? – Nein Danke!“) gestaltet sich schleppend und mit Rückschritten, obwohl die globale Bedrohung nicht zu übersehen ist. Seit 1948 kommt es in erschreckend zuverlässigen Abständen zu atomaren Zwischenfällen bis hin zu Havarien mit Austritt von radioaktivem Material in die Atmosphäre und Schädigung von Mensch und Natur:

Hanford, USA (1948), Sellafield (früher Windscale), GB (1952), Sellafield (früher Windscale), GB (1953), Vinca, Serbien (1958), Ural (1957/58), Wüste Gobi (1966), Tihange, Belgien (1978), Platteville, USA (1978), Harrisburg, USA (1979), Wolgodonsk, Sibirien (1983), Kalkar, Deutschland (1984), Trawsfynydd, Wales, GB (1985), Oklahoma, USA (1986), Tschernobyl, Ukraine (1986), Sewersk (Tomsk-7), Russland (1993), T kai-mura, Japan (1999), Fleurus, Belgien (2006).

Waffenindustrie

Im Drama ‚Die Physiker‘ von Friedrich Dürrenmatt wird die moralische Dimension herausgearbeitet, die mit der Nutzung von Naturkräften und naturwissenschaftlichen Errungenschaften verbunden ist. Seit Hiroshima (6.8.1945) und Nagasaki (9.8.1945) stellt sich die Frage: Wann wird der Mensch die nötige Reife haben, Dinge zu nutzen, die er heute zwar schon handhaben kann, die er aber weder in der Lage ist, auf ihre Folgen hin zu überschauen, noch verantwortungsvoll und zum Wohle aller damit umzugehen? – Durch Atomwaffenversuche war in den 1960er Jahren die Strahlenexposition für Mitteleuropäer höher als nach dem Unfall von Tschernobyl.

Weitere Anwendungen

Verborgene Mängel in Werkstoffen lassen sich durch Röntgen aufdecken, beim Check-In am Flughafen wird das Gepäck durch einen Röntgenapparat gezogen. Konservierung von Nahrungsmitteln und Arzneimitteln, aber auch Sterilisation von Operationsgeräten kann mit Gamma-Strahlung erfolgen.

In den letzten Jahren ist die Verwendung schwach radioaktiver Materialien in Dingen des täglichen Gebrauchs durch strengere Gesetzgebung stark zurück gegangen. Heute findet man vieles nur noch auf dem Flohmarkt: rote Badezimmerfliesen, Glühstrümpfe mit Thorium für Gaslaternen, bestimmte Feuermeldersysteme, fluoreszierende Zifferblätter von Uhren und Kompass, Steinzeug mit schwarzer Glasur (z. B. aus Meißen), Glasvasen und –schalen, die mit Uranoxyd zart gelb oder grün fluoreszierend gefärbt wurden (Annagrünglas, Uranium-Glas). Zu Marie Curies Zeiten war Radium sogar in Haartonikum und in Schokoladenbonbons im Handel. Noch heute kann schwachstrahlende Substanz für den Verzehr im Supermarkt gekauft werden: Als Backtriebmittel Pottasche (Kaliumkarbonat), das durch Spuren des Isotops Kalium 40 den Geigerzähler zum Ticken bringt.

Röhrenbildschirme haben einen minimalen Anteil Röntgenstrahlung in ihrem Spektrum, der durch Abbremsung von Elektronen an den Metallblenden entsteht.

6. Anwendung in der Medizin

Diagnostik: Röntgenstrahlen werden mit einer Röntgenröhre durch Abbremsung von Elektronenstrahlen erzeugt. Unbedenklich ist der Teil der Strahlung, der in den menschlichen Körper hinein geht und hinten wieder heraus kommt, um auf dem Film die dunklen Stellen zu verursachen. Strahlenschäden entstehen durch die Strahlen, die im Körper absorbiert werden und die der Radiologe auf dem Bild dann als helle Stellen, als „Verschattung“ sieht.

Strahlentherapie: Bei Tumorerkrankungen wird mit möglichst selektiver Bestrahlung des Tumorgewebes die Tatsache genutzt, dass entartetes Gewebe mit hoher Zellteilungsrate weniger strahlenresistent ist, als anderes Gewebe. Die Strahlen werden nicht mehr wie früher durch radioaktive Substanzen (z. B. „Kobaltkanone“) appliziert, sondern durch Elektronenbeschleuniger bei Bedarf an Ort und Stelle erzeugt.

Hier ist festzustellen, dass in den letzten Jahrzehnten enorme technische Fortschritte dazu geführt haben, dass die Strahlenbelastung für das Personal in Röntgenabteilungen und Strahlengkliniken deutlich gesunken ist und auch die einzelne Untersuchung viel weniger Strahlenexposition mit sich bringt, dass aber die Medizin durch großzügigere Indikationsstellung, durch Leitlinien und durch haftungsrechtliches Absicherungsbedürfnis diesen Gewinn für die Patienten nicht nur zunichte gemacht, sondern sogar die Strahlengesamtbelastung der Patienten noch in die Höhe getrieben hat. Den höchsten Anteil hat die Computertomographie. Obwohl sie nur 6% aller medizinischen Aufnahmen liefert, gehen über 50% der medizinischen Strahlenbelastung auf das CT zurück. Zusammen mit diagnostischen nuklearmedizinischen Verfahren kommt man sogar auf 75% rein für Diagnostik, noch bevor jemandem therapeutisch (z. B. mit Bestrahlung) geholfen werden konnte.

Nuklearmedizin: Isotope werden in den Körper als „offene Strahler“ eingeführt, ihre Ausbreitung, Konzentrierung und Verweildauer werden mit einer Szintillationskamera von außen aufgezeichnet.

Radon-Heilquellen: In Bad Schlema und anderen Kurorten wird radonhaltiges Wasser zu Heilzwecken eingesetzt. Die Indikationen betreffen überwiegend den Bewegungsapparat (Rheumatischer Formenkreis, Psoriasis, Wundheilungsstörungen). Das Lungenkrebsrisiko durch Inhalation von Radongas während der Kuren wird von der Fachgesellschaft als gering eingeschätzt (sei geringer, als die Mortalität durch Einnahme nichtsteroidaler Antirheumatika).²

7. Biologische Wirkung

Das *Strahlenrisiko* für den Menschen speist sich aus zweierlei Gefahrenquellen:

1. *Direkte gewebeschädigende Wirkung* führt bei hohen Dosen zur akuten Strahlenkrankheit. Je früher der Symptombeginn, desto stärker die Energiedosis.

Symptome nach Ganzkörperexposition:

Strahlenbelastung (Einzeldosis)	Frühsymptome	
0,03 – 0,1 Sv	keine	
0,1 – 1 Sv	keine	
1 – 2 Sv	gelegentlich Strahlenkater mit Übelkeit und Erbrechen	
2 – 5 Sv	Hautrötung, Übelkeit und Erbrechen oft schon nach Minuten	
> 5 Sv	zusätzlich Durchfall, Kreislaufschwäche, Schock, Hautveränderungen bis hin zu schweren Verbrennungsbildern	

Neben der Ganzkörperexposition gibt es noch die Teilkörperbestrahlung, sowie Teilchenkontamination durch Hautkontakt, Inhalation oder Schlucken von radioaktivem Material.

Ab einer effektiven Dosis von 100 mSv, nach Teilkörperbestrahlung von über 1200 mSv ist bei Strahlenunfällen das regionale Strahlenschutzzentrum zu informieren.

2. *Genschäden* durch niedrige Dosen (stochastisches Risiko): Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für eine Veränderung der DNA, was bei den Keimzellen mit Missbildungen bei den Nach-

kommen und bei Organzellen zu maligner Entartung führen kann. Das Risiko ergibt sich aus der mit steigender Gesamtlebensdosis zunehmenden Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften „Reparatur“. Daraus ergibt sich, dass es keine unbedenkliche Mindestdosis gibt, sondern dass jede Strahlenexposition bereits beim ersten Mal zu Schäden führen kann, aber nicht muss.

Hohe Dosen sind für das Genom weniger riskant, da sie die Zelle entweder heile lassen, oder aber vollständig zerstören, so dass sie abgebaut werden kann. Ob die Selbstheilungskräfte (der Materialismus spricht auch von „Reparaturmechanismen“) bei höheren Strahlendosen in kurzer Zeit stärker stimuliert werden, oder ob sie bei geringerer Strahlenbelastung über längere Zeit besser durchhalten, darüber herrscht keine Klarheit. In einer Situation wie nach dem Reaktorunglück von Tschernobyl kommt der Frage eine hohe Priorität zu, wie man von der Seite der Selbstheilungskräfte aktiv das Risiko einer Genomschädigung minimieren kann.

8. Wesentliches der Radioaktivität

Geht man von der sinnlich wahrnehmbaren Welt aus, so gelangt man in zwei Richtungen an Grenzen: Zum Geistigen hin kommen als nächste Phänomene die Lebenskräfte. So wie sich die physische Kräfteorganisation aus den vier Elementen (Erde, Wasser, Luft und Feuer) einen Leib bildet, so baut sich die Lebenskräfteorganisation aus vier Ätherarten (Lebensäther, chemischer Äther, Lichtäther und Wärmeäther) einen Ätherleib auf.

In der anderen Richtung gelangt man von der sinnlich wahrnehmbaren Welt zur sogenannten unsinnlichen Welt. Hier herrschen Kräfte, die mehr der Erde und der Materie verbunden sind und nur durch ihre Wirksamkeit - z. B. auch auf Messgeräte - für den Menschen erlebbar werden. Dazu gehören Radioaktivität, Magnetismus und Elektrizität.

Die drei unsinnlichen Kräfte haben einen Bezug zu den Elementen: Die Phänomene der Elektrizität drücken sich als Felder, Spannungen und Lichtbögen im Element der ‚Luft‘ aus. Der Magnetismus versetzt Wasser als Dipol in Schwingung, und die Radioaktivität entsteht durch Zerfall fester Materie oder durch Abbremsen von Elektronenstrahlung im Zusammentreffen mit dieser.

Die Radioaktivität wirkt zerstörend auf alles Leben: Je vitaler ein Organ, ein Gewebe, desto empfindlicher gegen ionisierende Strahlung. Kinder sind empfindlicher als Greise, Darmschleimhaut und Haarwurzeln (Stoffwechselsystem) sind empfindlicher als Hirnzellen (Nerven-Sinnes-System). Rudolf Steiner charakterisiert Lebendiges schlicht durch die Tatsache, dass es neues Leben hervorbringen kann, also durch seine Lebenskraft. Im unsinnlichen Phänomen der Radioaktivität könnte man ihre Strahlung entsprechend charakterisieren: Ionisierende Strahlung ist Strahlung, die beim Auftreffen auf Materie neue Strahlung auslöst. Diese Eigenschaft gipfelt in der Kettenreaktion, die ungebremst - analog der Zellteilung in einem Tumor - exponentiell eskalieren würde.

Ionisierende Strahlung ist unheimlich, weil man sie nicht bemerkt, während sie einen schädigt. Man täuscht sich also über die Gefahrenlage. Nach dem Zufallsprinzip entstehende Strahlung, die nach dem Zufallsprinzip schädigt, eine diskontinuierliche Ausbreitung der Strahlen, all

das sind Fingerabdrücke Ahrimans, jener Widersachermacht, die Steiner beschreibt als Feind alles Lebendigen, als Herrscher des Irrtums und der Lüge, als eine Entwicklungskraft, die stets Dinge dadurch zum Schaden der Menschheit gelangen lassen will, dass sie sie zu früh verfügbar macht, also bevor der Mensch die nötige Reife dafür hat.

Tabellarische Übersicht der phänomenologischen Verwandtschaftsbeziehungen

Aggregatzustand	Fest	Flüssig	Gasförmig	Wärmearartig
Element der Griechen	Erde	Wasser	Luft	Feuer
Ätherart	Lebensäther	Klangäther	Lichtäther	Wärmeäther
Untersinnliche Kraft	Radioaktivität	Magnetismus	Elektrizität	?
Bezug zum Menschen	Physischer Leib	Ätherleib	Astralleib	Ich
Hauptorgan	Lunge	Leber	Nieren	Herz
Manifestation am physischen Leib	Fester Leib: Knochen, Zähne, Nervensubstanz, Hornhaut, Haare, Nägel	Flüssigkeitsorganismus: Blut, Lymphe, Liquor, Harn, Drüsen und Drüsensekrete, Muskeln	Luftorganismus: Atemwege, Verdauungstrakt, Nebenhöhlen	Wärmeorganismus: Thermoregulation, Wärmeverteilung

Danksagung:

Bei den Recherchen zur Radioaktivität haben mir viele Menschen geholfen, denen ich an dieser Stelle ganz herzlich danken möchte. Besonders hervorzuheben ist Herr Paul Wiczorek (†), Geophysiker, der die ersten Stunden der Uranerzgewinnung in der ‚Wismut‘ (Gera und Königstein) miterlebt hat, und später wertvolle Kontakte zur geologischen Sammlung Bad Schlema geknüpft hat. Ebenfalls großer Dank gilt Herrn Jens Endler, (,Ede‘), der uns in die bergmännische Seite des Uranerzabbaus eingeführt hat, der eine Führung organisiert und begleitet hat in den Schacht Leupoldishain (bei Königstein), bevor dieser im Rahmen der Sanierung weitgehend geflutet wurde. Fachliche Unterstützung zu allen Fragen der Dosimetrie und Strahlentherapie erhielt ich in erstklassiger Weise von Herrn Heiko Tümmler, Kernphysiker der Strahlenklinik am Krankenhaus Dresden-Friedrichstadt. Vielen Dank!

Herr Peter Salzmann, Physiklehrer an der Freien Waldorfschule Dresden, hat mich mit Messgeräten, mit Glühstrümpfen und Backpulverproben für Experimente ausgestattet, so dass das Unsichtbare anschaulich wurde. Herrn Siegfried Garbe, Physiker und Oberstufenlehrer danke ich besonders für die gewissenhafte Korrekturlesung des Manuskripts.

Dresden, den 30.06.2010

Michael Schnur

Literaturquellen:

Die Literaturstellen aus der Gesamtausgabe (GA) Rudolf Steiners zur Radioaktivität im Wortlaut sind beim Autor erhältlich.

¹ Schad, Wolfgang: Zur Charakteristik der Radioaktivität und die geschichtliche Dimension von Tschernobyl. Die Drei. Sonderheft Juli 1986,. S. 21 f.

² Prof. Dr. phil. nat. Alexander Kaul (Präsident i. R. des Bundesamtes für Strahlenschutz): Ist eine Radon-Therapie im Heilstollen oder im Wannenbad der Gesundheit des Patienten abträglich?
<http://www.euradon.de/euradon-ger/index.php?page=96>