

Die bisherigen Auswirkungen der Atombombenversuche auf die Radioaktivität der Atmosphäre

Von Univ.-Prof. Dr. Ferdinand Steinhäuser,
Wien

Vortrag, gehalten am 16. März 1966.

Es sind nun bereits mehr als 20 Jahre vergangen, seit die erste Atombombe kriegsmäßig verwendet wurde, und mehr als 10 Jahre, seit systematische Versuche mit Atombomben und Wasserstoffbomben im größeren Ausmaß angestellt worden sind. Wegen der durch die Atombombenexplosionen verursachten Steigerung der Radioaktivität der Luft, die möglicherweise zu einer schweren Gefährdung der ganzen Menschheit sich entwickeln kann, hat man in vielen Staaten der Erde schon frühzeitig begonnen, die Änderungen des Gehaltes der Luft an radioaktiven Substanzen meßtechnisch zu erfassen. Es liegt nun genügend Beobachtungsmaterial vor, um einen Einblick in die Auswirkungen der Atombombenversuche auf die Radioaktivität der Luft in quantitativer und qualitativer Hin-

sicht und im Bezug auf ihre langzeitigen Änderungen zu gewinnen. Da die Bombenversuche in mehreren Serien durchgeführt worden sind, die durch störungsfreie Perioden kürzerer oder längerer Zeit getrennt waren, ist es möglich, auch die zeitliche Folgewirkung zu erfassen. In diesen Folgewirkungen kommt der Unterschied zwischen kurzlebigen und langlebigen Spaltprodukten und seine praktische Bedeutung für die Auswirkung der Atombombenversuche auf die Radioaktivität der Lufthülle der Erde und damit auch auf die mögliche Gefährdung für die Menschheit zur Geltung.

Zum Verständnis der zeitlichen Änderungen der Radioaktivität der Luft ist es notwendig, sich die zeitliche Folge der Atombombenversuche zu vergegenwärtigen. Diese ist aus Tabelle 1 ersichtlich.

Der erste Atombombenversuch erfolgt in den USA in New Mexiko im Juli 1945. Im August 1945 fielen in Japan zwei Atombomben, die zwei Städte vollständig vernichteten. In den folgenden Jahren folgten einige wenige Versuchsexplosionen zum Teil in den USA in Nevada und zum Teil im Pazifischen Ozean. Ab 1953 wurden diese Versuche in gesteigertem Ausmaß in diesen beiden Gebieten bis September 1958 fortgesetzt.

Die erste russische Atombombenexplosion erfolgte im September 1949. In den Folgejahren kamen in der Sowjetunion nur vereinzelte Atom-

Tab. 1. Anzahl der Atombombenexplosionen in der Zeit von 1945 bis 1962

Jahr	(A = amerikanische, R = russische, E = englische, F = französische Bombenexplosionen)											
	Jan.	Febr.	März	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oktober	Nov.	Dez.
1945	—	—	—	—	—	—	1A	2A	—	—	—	3
1946	—	—	—	—	—	—	2A	—	—	—	—	2
1947	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
1948	—	—	—	3A	—	—	—	—	—	—	—	3
1949	—	—	—	—	—	—	—	1R	—	—	—	1
1950	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
1951	—	—	—	2A	—	—	—	—	3A	4A	—	13
1952	—	—	—	3A	3A	2A	—	—	2R	1A	—	11
1953	—	—	3A	4A	3A	1A	—	2R	1E	—	—	15
1954	—	1A	2A	2A	2A	—	—	—	2E	—	—	7
1955	—	2A	7A	3A	3A	—	—	1R	1R	—	—	19
1956	1A	—	1R	1R	4A	5A	4A	2R	1E	3E	1R	27
1957	1R	—	1R	5R	1E	1E	6A	5A	2R	1A	2A	47
1958	—	3R	6R	1A	11A	10A	7A	1R	2E	1E	1R	93
1959	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
1960	—	1F	—	1F	—	—	—	—	—	—	1F	3
1961	—	—	—	1F	—	—	—	—	13R	3R	—	32
1962	—	—	—	2A	12A	10A	7A	8R	7A	2A	5R	77

bomben zur Explosion, im Jahre 1958 bis zum November aber in gesteigerter Anzahl.

Von Großbritannien wurden Atombombenversuche von Oktober 1952 bis September 1958 vorwiegend in Australien und vereinzelt auch im Pazifischen Ozean durchgeführt.

In dieser ersten Versuchsperiode wurden insgesamt 170 amerikanische, 123 russische und 21 englische Atombomben zur Explosion gebracht. Die Gesamtenergie aller dieser Bombenexplosionen entspricht dem Sprengwert von 173.800 Tonnen Trinitrotoluol, wovon 69.200 Tonnen TNT den Explosionen in der Luft und 104.600 Tonnen TNT den Explosionen am Boden zugeteilt werden.

In den Jahren 1961 und 1962 wurden 40 amerikanische und 68 russische Atombomben zur Explosion gebracht, wobei die unterirdischen Bombenexplosionen nicht mitgezählt sind. Die Energie dieser Bomben war aber wesentlich größer als die der ersten Versuchsreihe. Der Sprengwert entspricht seiner Menge von 337.000 Tonnen TNT, wovon nur 37.000 Tonnen TNT auf amerikanische und 300.000 Tonnen TNT auf russische Atombombenexplosionen entfielen.

Im Bezug auf die Erzeugung von radioaktiven Spaltprodukten sind nicht alle Atombomben gleichwertig. Die Art und Menge der erzeugten radioaktiven Teilchen hängt auch davon ab, ob die Explosion in großen Höhen oder am Boden erfolgt.

Bei Explosionen in großen Höhen kommen sehr große Spaltprodukte weniger vor, wohl aber bei Explosionen am Boden oder in Bodennähe. Durch die Bombenexplosionen werden die Teilchen sehr hoch in die Atmosphäre geschleudert, was auch aus dem dabei entstehenden Wolkenpilz zu ersehen ist. Die Uran-Plutonium-Bomben vom Typ, wie er in Hiroshima verwendet wurde, schleudern die Spaltprodukte nur in den Luftraum der Troposphäre. Dieser reicht in mittleren geographischen Breiten bis etwa 12 km Höhe und in den Tropen bis 18 km. Die bedeutend energiereicheren Wasserstoffbomben schleudern sie aber wesentlich höher bis 40 km und noch mehr in die Stratosphäre.

Die kleinsten Teilchen sinken nur sehr langsam ab, während große Teilchen rascher ausfallen. Teilchen mit Durchmesser von mehr als 0.05 mm fallen bereits in wenigen Stunden innerhalb eines Gebietes von einigen 100 km in Richtung windabwärts vom Ort der Explosion wieder aus oder werden durch den Regen ausgewaschen. Für die weltweite radioaktive Verseuchung der Luft sind die ganz kleinen Spaltprodukte von Bedeutung, die lange Zeit in der Luft schweben. Der Anteil, der in der Troposphäre sich befindet, wird erfahrungsgemäß durch Absinken und Auswaschen durch den Regen in etwa einem Monat wieder zu Boden gebracht.

Die kleinen Teilchen, die in der Stratosphäre

sich befinden, und meist Durchmesser von weniger als $0.1\ \mu$, das ist 0.0001 mm haben, bleiben dort aber sehr lange schwebend erhalten und ihr Absinken kann nur durch turbulente Luftbewegungen beschleunigt werden, da es ja Niederschläge in der Stratosphäre nicht mehr gibt. Sie werden daher mit der allgemeinen Luftströmung über die ganze Erde verbreitet. Die stratosphärische Zirkulation ist im allgemeinen zonal ausgerichtet und zwar in mittleren geographischen Breiten von September bis April bis in große Höhen von Westen gegen Osten, von April bis August bis etwa 20 km Höhe ebenfalls von Westen gegen Osten, über dieser Höhe aber umgekehrt von Osten gegen Westen. Bei dieser Mitführung um die ganze Erde herum, die bei einheitlicher West-Ost-Strömung je nach Windgeschwindigkeit und geographischer Breite zu einem Umlauf etwa 10 bis 20 Tage benötigt, verbreitert sich die radioaktive Wolke beträchtlich. Dies konnte z. B. bei der Wanderung der durch die russische Bombenexplosion anfangs September 1961 erzeugten Wolke radioaktiv verseuchter Luft nachgewiesen werden. Die Wolke war am 7. Tag über dem mittleren Teil von Nordamerika und Kanada angelangt und hatte dort eine Breite von über 2000 km ; am 9. Tag hat sie den Nordatlantik und die Westküste Europas erreicht und eine Breite von etwa 3500 km erlangt.

Das Absinken aus der Stratosphäre wird durch

die thermische Schichtung der Lufthülle erschwert. In der Troposphäre nimmt die Temperatur mit der Höhe ab und dies ermöglicht auch einen vertikalen Massenaustausch durch Turbulenz. In der Stratosphäre nimmt aber die Temperatur mit der Höhe wieder zu und zwar in den Tropen stark und in höheren Breiten schwächer. Eine Temperaturzunahme mit der Höhe, das ist eine Inversion, bedeutet aber eine Stabilisierung der Luftschichtung und deshalb eine Behinderung des vertikalen Massenaustausches. Es stellt die Grenze zwischen Troposphäre und Stratosphäre, die sogenannte Tropopause, eine Art Sperrschicht für den vertikalen Massenaustausch dar. Die Tropopause ist aber keine vom Pol bis zum Äquator geschlossene Fläche, sondern sie weist in mittleren Breiten Bruchstellen auf und man unterscheidet zwischen einer niedrigeren polaren Tropopause und einer höheren tropischen Tropopause, die sich in mittleren Breiten überlappen. Durch diese Bruchstelle kann ein Massenaustausch wesentlich leichter erfolgen als durch die Tropopause selbst. Dies hat für die Verteilung des radioaktiven Fallouts auf der Erde große Bedeutung und wirkt sich besonders bei den langlebigen radioaktiven Spaltprodukten aus, wie später gezeigt werden wird. Für langlebige Spaltprodukte hat man berechnet, daß es in Breiten von 60 bis 90° N 5 bis 12 Monate dauert, bis die Hälfte der Spaltprodukte aus 18

bis 30 km Höhe abgefallen ist, und am Äquator dauert dies sogar $2\frac{1}{2}$ bis 10 Jahre.

Dadurch kommt es, daß der radioaktive Fallout stark verzögert wird und daß die Radioaktivität der Luft im Durchschnitt nach dem Ende der Atombombenversuche noch weiter angestiegen ist und die höchsten Werte erst ungefähr ein halbes Jahr nachher erreichte. Dies ist auch aus der bis Dezember 1957 zurückreichenden Beobachtungsreihe von Wien ersichtlich. Die Tageswerte sind in Abb. 1 dargestellt. Die Werte sind in Einheiten von $10^{-12} \mu\text{C pro cm}^3$ Luft angegeben und wurden durch Ausmessen der durch 24 Stunden langes Ansaugen der Luft angereicherten Filterblätter 48 Stunden nach Abnahme der Filter gewonnen. Dadurch ist der größte Teil der natürlichen Radioaktivität bereits zerfallen und vorwiegend nur mehr künstliche Radioaktivität erfaßt worden.

Die täglichen Werte der Radioaktivität schwanken oft stark von Tag zu Tag, was zum Großteil auf witterungsbedingte Änderungen der Intensität des Massenaustausches zwischen höheren und niederen Atmosphärenschichten zurückzuführen ist. Bei für einen hochreichenden Massenaustausch günstigen atmosphärischen Bedingungen wird beim Durchzug einer stärkeren Konzentration von radioaktiven Zerfallsprodukten in der Stratosphäre mehr radioaktiver Fallout zu Boden kommen als beim Vorhandensein von kräftigen Inversionen,

die den vertikalen Massenaustausch behindern. Bei gleichen Witterungsbedingungen wird aber eine Steigerung der zu Boden kommenden Radioaktivität auch dann erfolgen, wenn in der Stratosphäre eine stärkere Anreicherung von radioaktiven Spaltprodukten, die von den einzelnen Bombenexplosionen herrührt, hinwegzieht. Darauf ist vermutlich eine in Rhythmen von 10 bis 20 Tagen im letzten Viertel des Jahres 1961 wiederkehrende auffallende Erhöhung zurückzuführen, da dieser Rhythmus der Dauer eines Umlaufes um die Erde in der Stratosphäre ungefähr entspricht.

Um einen besseren Überblick über die langzeitigen Änderungen der Radioaktivität der Luft zu gewinnen, ist es zweckmäßig, die starke interdiurne Veränderlichkeit durch Monatsmittelwerte auszugleichen, die für die ganze Wiener Beobachtungsreihe seit Januar 1958 in Tab. 2 zusammengestellt sind. Daraus ist noch deutlicher als aus der Reihe der Tageswerte zu sehen, daß die höchsten Werte der Radioaktivität schon in der ersten Versuchsperiode, die im November 1958 zu Ende gegangen ist, nicht zur Zeit der Bombenexplosionen selbst aufgetreten sind, sondern erst ein Viertel bis ein halbes Jahr nach Beendigung der ersten Versuchsperiode in den Frühlingsmonaten des Jahres 1959. Vom Mai 1959 mit einem Monatsmittelwert von $8.0 \cdot 10^{-12} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ nahm die Radioaktivität rasch bis auf ein Achtel dieses Wer-

Tab. 2. Monatsmittelwerte der Radioaktivität der Luft in Wien-Hohe Warte, gemessen 48 Stunden und 120 Stunden nach Filterabnahme (10^{-11} μ C/cm²)

Jahr	1958		1959		1960		1961	
	nach 48 Stunden	nach 120 Stunden	nach 48 Stunden	nach 120 Stunden	nach 48 Stunden	nach 120 Stunden	nach 48 Stunden	nach 120 Stunden
Jan.	1,0	—	5,2	—	0,2	—	0,3	—
Febr.	1,2	—	6,8	—	0,4	—	0,2	—
März	1,7	—	8,8	—	0,3	—	0,2	—
April	4,6	—	7,5	—	0,4	—	0,3	0,1
May	4,7	—	8,0	—	0,3	—	0,2	0,1
Juni	6,2	—	4,1	—	0,3	—	0,2	0,1
Juli	4,8	—	1,6	—	0,3	—	0,2	0,1
August	3,4	—	1,0	—	0,2	—	0,3	0,1
Sept.	2,5	—	0,8	—	0,3	—	3,0	2,1
Okt.	2,9	—	0,7	—	0,3	—	5,5	4,8
Nov.	3,8	—	0,4	—	0,3	—	6,0	5,1
Dez.	4,6	—	0,2	—	0,2	—	5,8	5,3
Jahr	1962		1963		1964		1965	
	nach 48 Stunden	nach 120 Stunden	nach 48 Stunden	nach 120 Stunden	nach 48 Stunden	nach 120 Stunden	nach 48 Stunden	nach 120 Stunden
Jan.	6,9	6,3	5,1	4,6	1,1	1,0	0,3	0,3
Febr.	4,0	3,7	4,6	4,4	1,4	1,3	0,3	0,2
März	3,0	2,8	7,7	7,3	1,2	1,1	0,4	0,3
April	5,7	5,2	10,3	9,7	2,4	2,2	0,5	0,4
May	5,0	4,7	10,0	9,4	3,3	3,1	0,5	0,4
Juni	5,3	5,0	10,8	10,4	2,5	2,3	0,8	0,7
Juli	3,7	3,4	11,5	10,9	2,0	1,8	0,6	0,5
August	2,9	2,7	5,7	5,4	1,1	0,9	0,5	0,3
Sept.	4,1	3,5	3,5	3,2	0,9	0,6	0,5	0,2
Okt.	4,7	4,1	2,4	2,1	0,6	0,4	0,6	0,1
Nov.	8,4	7,1	1,5	1,2	0,6	0,4	0,3	0,1
Dez.	5,0	4,5	1,1	0,8	0,3	0,2	0,2	0,1

tes im August ab und dann weiter bis $0.2 \cdot 10^{-12}$ $\mu\text{C}/\text{cm}^3$ im Dezember 1959. Dieser niedrige Gehalt an Radioaktivität wurde mit geringfügigen Schwankungen bis zum Mittelwert des August 1961 beibehalten. In dieser Zeit fanden außer drei schwachen französischen Bombenversuchen im Jahre 1960 und einer Bombenexplosion im April 1961 in der Sahara keine Bombenexplosionen statt.

Als Folge der neuen russischen Atombombenversuchsreihe nahm im September 1961 die Radioaktivität der Luft wieder stark zu. Die erste Bombenexplosion erfolgte zwar schon anfangs September, der Anstieg der Radioaktivität machte sich in Wien aber erst am 14. September bemerkbar. Bemerkenswert ist, daß die neue Zunahme der Radioaktivität auf dem Jungfrauoch schon am 12. September und in Salzburg am 13. September festgestellt worden ist. Dies deutet darauf hin, daß die radioaktive Explosionswolke aus der Sowjetunion in der Stratosphäre auf dem Weg rund um die Erde mit einer Verzögerung von 12 Tagen aus Westen zu uns gekommen ist, was auch der Höhenströmung in der Stratosphäre entspricht.

Die Reihe der neuen Bombenexplosionen vom Herbst 1961 bewirkte, daß die Radioaktivität der Luft weiter anstieg und im Januar 1962 mit einem Monatsmittel von $6,9 \cdot 10^{-12}$ $\mu\text{C}/\text{cm}^3$ einen Höchstwert erreichte. Nach einer Abnahme der Radioaktivität auf ungefähr die Hälfte des Januarmittel-

wertes im März waren die Monatsmittelwerte in den Monaten April bis Juni wieder höher, was einem normalen Jahresgang entspricht, da in diesen Monaten die vertikale hochreichende Turbulenz am stärksten entwickelt ist. Ein Tiefstwert wurde mit $2,9 \cdot 10^{-12} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ als Monatsmittel des August erreicht, unmittelbar vor Beginn der neuen russischen Versuchsreihe mit sehr hochenergetischen Wasserstoffbomben. Als Folge dieser neuen Versuchsreihe nahm die Radioaktivität wieder stark zu und brachte mit $11,5 \cdot 10^{-12} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ im Juli 1963 den Höchstwert aller bisher beobachteten Monatsmittelwerte. Es dauerte demnach die Zunahme der Radioaktivität nach dem Ende dieser zweiten Versuchsreihe viel länger an als bei den früheren Versuchsreihen, was offenbar darauf zurückzuführen ist, daß durch die hochenergetischen Bomben die Spaltprodukte in bedeutend größere Höhen und auch in größeren Mengen emporgeschleudert worden sind, woher sie längere Zeit zum Abfall zum Boden benötigten. Ähnlich wie im Sommer 1959 folgte auch im Sommer 1963 wieder eine sehr rasche Abnahme der Radioaktivität der Luft und im Dezember 1963 betrug das Monatsmittel nur mehr ein Zehntel des Monatsmittel des Juli. Zum Unterschied von der atombombenfreien Zeit nach 1959 erfolgte aber im Frühling 1964 eine neuerliche Zunahme auf einen größten Monatsmittelwert von $3,3 \cdot 10^{-12}$

$\mu\text{C}/\text{cm}^3$ im Mai und erst nachher eine allmähliche Abnahme auf sehr niedrige Werte gegen Ende des Jahres, die mit geringfügigen Schwankungen auch in der Folgezeit bis zur Gegenwart erhalten blieben. Das Frühlingsmaximum muß wieder auf die Wirkung der im Frühling gesteigerten hochreichenden Turbulenz zurückgeführt werden und zeugt dafür, daß auch $1\frac{1}{2}$ Jahre nach dem Ende der Bombenversuchsreihe in den hohen Stratosphärenschichten noch größere Vorräte an radioaktiven Substanzen vorhanden waren.

Sehr auffallend und überraschend ist der hohe Monatsmittelwert des November 1962, der die benachbarten Monatsmittelwerte um nahezu 80% übertrifft, wofür eigentlich keine aktuelle Ursache zu erkennen ist. Dieses isolierte Maximum war auch tatsächlich nur im Wiener Raum festzustellen. Nahezu gleich groß wie an der Meßstelle der Zentralanstalt für Meteorologie auf der Hohen Warte war das Monatsmittel auch an der Meßstelle des Instituts für Medizinische Physik in der Währingerstraße gefunden worden und noch bedeutend höher war das Monatsmittel des November 1962 an den Meßstellen beim Wiener Hochschulreaktor im Prater und beim Reaktor in Seibersdorf, während an den übrigen österreichischen Meßstellen in Salzburg, Linz, Graz und Klagenfurt und auch an den Schweizer Meßstellen der Monatsmittelwert des November 1962 gegenüber den anderen Mona-

ten nicht wesentlich höher war. Aus den einzelnen Tageswerten ersieht man, daß der abnormal hohe Mittelwert des Monats November in Wien durch ungewöhnlich hohe Werte der Radioaktivität der Luft in der Zeit zwischen 5. und 10. November 1962 verursacht wurde. Am 8. November wurde eine Radioaktivität von $71,1 \cdot 10^{-12} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ und am 9. November auch noch $45,5 \cdot 10^{-12} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ gemessen. Es sind dies Werte, die alle übrigen gemessenen Höchstwerte um ein Vielfaches übertreffen. Aus dem Verlauf der Registrierung wird ersichtlich, daß der starke Anstieg der Radioaktivität am 5. November um 20 Uhr begann und die überhöhte Radioaktivität bis 11. November 5 Uhr dauerte.

Der Vergleich der einzelnen Tageswerte in der Zeit vom 3. bis 12. November an den österreichischen Meßstellen zeigt, daß die Überhöhung der Radioaktivität sowohl gegen Westen wie auch gegen Süden hin rasch abgenommen hat. In Linz war in diesen Tagen die Überhöhung der Radioaktivität im Vergleich zu Wien nur mehr gering und in Salzburg war sie nur mehr unbedeutend; auch in Graz war sie stark verringert und in Klagenfurt kaum mehr festzustellen.

In der ganzen Zeit der überhöhten Radioaktivität wehten in Bodennähe Ost- bis Südostwinde und in der freien Atmosphäre darüber Südost- bis Südwinde. Es ist daraus zu schließen, daß die stark

radioaktive Luft aus Osten bis Südosten in den Raum von Wien herangeführt worden sein muß.

Es ist natürlich nicht bekannt geworden, was die Ursache für diese Erhöhung der Radioaktivität der Luft war. Man kann durch eine genaue Analyse das Alter der radioaktiven Substanzen bestimmen. Daraus wurde eine Entstehungszeit zwischen 30. Oktober und 1. November abgeleitet. Die seit April 1961 regelmäßig auch 120 Stunden nach Abnahme der Filterblätter durchgeführte Nachmessung gibt nicht nur die Möglichkeit zur weiteren Ausschaltung des Anteils kurzlebiger radioaktiver Substanzen, sondern ermöglicht auch im Vergleich mit den 48 Stunden nach Abnahme der Filterblätter gewonnenen Meßwerten in einfacher Weise Schlüsse auf einen größeren oder kleineren Anteil von kurzlebigen Spaltprodukten jüngerer Ursprungs.

Im Durchschnitt beträgt der aus den 120 Stunden nach Abnahme der Filterblätter gemessenen Werten berechnete Mittelwert eines Monats 94% des Mittelwertes, der aus den 48 Stunden nach Abnahme der Filterblätter gemessenen Werten bestimmt worden ist. Bei einem einzelnen radioaktiven Element mit bestimmter Halbwertszeit ist diese Verhältniszahl der beiden Meßwerte nach dem Zerfallsgesetz bestimmt. Bei einem Gemisch von radioaktiven Substanzen verschiedener Halbwertszeiten wie wir es in der Natur bei den Spaltprodukten der Atombomben oder bei Abfällen von

Reaktoren zur Verfügung haben, ist aber zu beachten, daß bei kurzlebigen Substanzen innerhalb von 48 Stunden bereits ein größerer Anteil und in den folgenden drei Tagen ein geringerer Anteil zerfällt als in den gleichen Zeiten bei langlebigen Substanzen. Es ist daher zu erwarten, daß bei einem größeren Anteil kurzlebiger Elemente das Verhältnis der nach 120 Stunden gemessenen Werte zu den nach 48 Stunden gemessenen Werten kleiner sein wird als bei nur langlebigen Elementen. Dies bestätigt sich auch tatsächlich beim Vergleich der Monatsmittel der beiden Meßwerte in den Monaten, in denen die meisten Atombombenversuche durchgeführt worden sind. Es waren dies die Monate September bis November 1961 und September bis November 1962 der russischen Versuchsreihe, in denen die Verhältniszahlen der beiden Meßwerte merklich kleiner waren, als dem allgemeinen Durchschnitt entspricht, weil in diesen Monaten auch kurzlebige Substanzen noch einen größeren Anteil hatten.

Wenn der Vergleich der beiden Meßwerte für die einzelnen Tage der im November 1962 im Raum von Wien stark erhöhten Radioaktivität durchgeführt wird, so ergibt sich ein Absinken von dem 48 Stunden nach Filterabnahme bestimmten Meßwert zu dem drei Tage später neuerlich bestimmten Meßwert auf 59% am 6. November, auf 81% am 7. November, auf 85% am 8. November, auf

86% am 9. November und auf 89% am 10. November. Daraus ist zu schließen, daß die starke Erhöhung der Radioaktivität der Luft durch eine größere Beimengung von radioaktiven Substanzen jüngeren Ursprungs verursacht worden ist.

Von den vier französischen Atombombenversuchen wurde in Wien keine wesentliche Erhöhung der Radioaktivität der Luft festgestellt. Einen interessanten Effekt zeigte aber die in der Sahara erfolgte Bombenexplosion vom 13. Februar 1960 in der Schweiz. Eine davon herrührende Erhöhung der Radioaktivität zeigte sich dort am 28. und 29. Februar in der Niederung nur sehr schwach, im Hochgebirge aber sehr deutlich. Die gemessenen Werte betrugen in Locarno (359 m) nur $2 \cdot 10^{-12} \mu\text{C}/\text{cm}^3$, in Davos (1516 m) $6 \cdot 10^{-12} \mu\text{C}/\text{cm}^3$, auf dem Jungfrauoch (3454 m) aber $16 \cdot 10^{-12} \mu\text{C}/\text{cm}^3$. An diesem Tag lag in 1500 m Höhe eine Inversion, die den Massenaustausch mit den unteren Luftschichten behinderte. Daraus ist zu folgern, daß es notwendig ist, auch im Hochgebirge eine Meßstelle der Radioaktivität zu betreiben, um eine kurzzeitige Erhöhung der Radioaktivität von einzelnen Bombenexplosionen festzustellen, die bei Inversionslagen nicht bis in die Niederung durchdringen kann.

Die beiden späteren schwachen chinesischen Atombombenexplosionen haben in Wien keinen merklichen Anstieg der Radioaktivität gebracht.

Anfangs November 1964 ist zwar eine ganz schwache Erhöhung festzustellen, die eine Folge der am 16. Oktober 1964 in Sinking erfolgten Atombombenexplosion sein könnte. Sie war aber so schwach, daß sie andere Höchstwerte, die bei den unregelmäßigen Schwankungen der Radioaktivität in der atombombenfreien Zeit von 1964 und 1965 mehrmals beobachtet wurden, nicht übertroffen hat und daher ohne genauere Analyse nicht identifiziert werden kann.

Der Gesamtgehalt der Luft an Radioaktivität ist demnach in unserer Zeit auf bedeutungslos geringe Werte abgesunken, die wesentlich unter dem Gehalt der Luft an natürlicher Radioaktivität liegen, die vorwiegend in Form von Radium- und Thoriumemanation schon immer vorhanden war und durchschnittlich ungefähr $10^{-10} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ ausmacht.

Von Bedeutung ist aber für unsere Zeit noch immer das Vorhandensein langlebiger Spaltprodukte, die zwar ebenfalls nur in geringen Mengen vorkommen, aber wegen ihrer Langlebigkeit sich am Boden ansammeln und von dort auf dem Weg über die Vegetation oder durch das Wasser auch in den Körper von Tieren und Menschen aufgenommen werden. Besonderes Interesse verdient der Gehalt von radioaktivem Strontium-90, das eine Halbwertszeit von 27,7 Jahren hat und daher seit Beginn der Atombombenversuche nicht viel zerfallen ist. Strontium-90 lagert sich im Körper

besonders in den Knochen ab, wobei das besonders empfindliche Knochenmark der Strahlung ausgesetzt ist, wodurch schwere Schädigungen eintreten können. Neben dem Strontium-90 beansprucht auch das langlebige radioaktive Cäsium-137 mit einer Halbwertszeit von 28,8 Jahren ebenfalls Interesse.

Wie die Gesamtaktivität kommen auch diese radioaktiven Isotopen aus dem Reservoir der Stratosphäre durch Turbulenz allmählich in die Troposphäre, woher sie dann rascher durch Niederschläge ausgewaschen und zum Boden geführt werden. Die Ablagerung durch Niederschläge überwiegt stark die direkte Ablagerung aus der Luft. Man schätzt, daß in Gebieten mit Jahresniederschlagsmengen von 1000 bis 1500 mm in mittleren geographischen Breiten der trockene Fallout nur ungefähr 5% des durch Niederschläge bewirkten Fallouts ausmacht.

Wegen der Gefährlichkeit des Strontium-90 hat die Amerikanische Atom-Kommission ein weltweites Netz zur Sammlung von Niederschlagsproben und Untersuchung auf ihren Strontium-90 Gehalt eingerichtet. Im Rahmen dieses Unternehmens wurde die längste Beobachtungsreihe, die bis 1954 zurückreicht, in New York gewonnen. Von den 8 in Europa mitarbeitenden Beobachtungsstationen lieferten die längsten Reihen unsere Beobachtungsstellen in Wien und in Klagenfurt, die

bis Juni bzw. August 1957 zurückreichen und damit die Möglichkeit geben, auch für Europa noch die Auswirkung der ersten Atombombenversuchsreihe vor 1959 zu erfassen. Ich habe vor kurzem das Beobachtungsmaterial der europäischen Stationen bearbeitet.

Die nach den aus den monatlich gesammelten Niederschlagsmengen bestimmten Strontium-90 Mengen sind nach Jahressummen zusammengefaßt in Tab. 3 für alle europäischen Stationen wiedergegeben und zwar als Gesamtablagerung in Milli-Curie pro km^2 und als Strontium-90 Konzentration in Pico-Curie pro Liter Niederschlagswasser.

Wie die Radioaktivität der Luft hat auch die Strontium-90 Ablagerung aus den Niederschlägen nach dem Ende der ersten Bombenversuchsreihe bis 1959 noch weiter zugenommen, wie aus den Werten von Wien zu ersehen ist. In Klagenfurt war die Strontium-90 Ablagerung im Jahre 1959 allerdings etwas kleiner als im Jahre 1958, was zum Teil daraus zu erklären ist, daß dort die Niederschlagsmengen des Jahres 1959 um ungefähr ein Viertel kleiner waren als im vorhergegangenen Jahr. Bei Beurteilung der Menge des durch Niederschläge abgelagerten Strontium-90 und der Konzentration des Strontium-90 im Niederschlagswasser kommt es allerdings nicht nur auf die Niederschlagsmengen sondern auch auf die zeitliche Verteilung der Niederschläge an, weil anzunehmen

Tab. 3. Jahressummen der Strontium-90 Ablagerungen durch Niederschläge (mc/km^2) und der spezifischen Strontium-90 Aktivität pro Liter Niederschlagswasser (pc/l)

		1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
Wien	mc/km^2	4,13	5,83	1,02	0,85	6,42	12,00	8,05
	pc/l	6,04	7,30	1,79	1,38	11,86	25,84	14,50
Klagenfurt	mc/km^2	6,30	4,80	1,37	1,67	9,21	20,08	9,42
	pc/l	5,48	5,35	1,32	2,21	9,04	21,90	9,69
Keflavik	mc/km^2	—	—	0,95	1,61	5,80	11,18	8,29
	pc/l	—	—	0,98	1,29	4,09	10,01	7,17
Oslo	mc/km^2	—	—	1,91	1,14	5,60	10,71	8,45
	pc/l	—	—	2,11	1,20	7,08	13,87	12,80
Prestwick	mc/km^2	—	—	1,79	2,02	8,60	13,48	12,12
	pc/l	—	—	2,08	2,53	9,44	16,45	14,36
Rhein-Main AFB	mc/km^2	—	—	0,74	1,55	5,48	12,87	5,07
	pc/l	—	—	1,08	1,89	10,10	22,50	11,10
Malland	mc/km^2	—	—	1,55	1,78	6,63	14,17	14,68
	pc/l	—	—	1,23	2,25	5,53	12,45	17,95
Florenz	mc/km^2	—	—	1,90	2,17	9,02	21,52	16,59
	pc/l	—	—	1,59	2,43	11,23	26,90	16,32

ist, daß häufige geringe Niederschläge durch den Auswaschungseffekt der Troposphäre relativ mehr Strontium-90 zum Boden bringen werden als seltene ergiebige Niederschläge von gleicher Menge.

Bemerkenswert ist, daß die Abnahme der Strontium-90 Ablagerung nach dem Maximum, das auf das Ende der Atombombenversuche folgte, relativ wesentlich geringer war als die Abnahme der gesamten Radioaktivität der Luft. In Wien betrug die Jahressumme der Strontium-90 Ablagerung durch Niederschläge im Jahre 1960 17,5% der Ablagerung im Jahre 1959, im Jahre 1964 jedoch noch 67,0% der Ablagerung im Jahre 1963; der Jahresdurchschnitt der Radioaktivität der Luft betrug aber im Jahre 1960 nur mehr 8,1% des Jahresdurchschnitts von 1959 und im Jahre 1964 nur mehr 23,4% des Jahresdurchschnitts von 1963. Dies erklärt sich aus dem relativ größeren Anteil der langlebigen radioaktiven Substanzen in den Folgejahren, was aber für die Beurteilung der Folgen der Atombombenversuche für die Menschheit von besonderer Bedeutung ist.

Während und nach der zweiten Versuchsreihe waren die Strontium-90 Ablagerungen durch Niederschläge in Wien und in Klagenfurt in den Jahren 1962 und 1963 wesentlich größer als in den Jahren 1958 und 1959. Die Strontium-90 Ablagerungen waren im Jahre 1963 in Wien mehr als doppelt so groß und in Klagenfurt sogar mehr als

viermal so groß wie im Jahre 1959 und selbst im zweiten Jahr nach dem Ende der zweiten Bombenversuchsreihen im Jahre 1964 war die Jahresmenge der Strontium-90 Ablagerungen in Wien noch um die Hälfte größer und in Klagenfurt noch nahezu doppelt so groß wie im Jahre 1959. Dies ist eine Folge der wesentlich energiereicheren Bomben der zweiten Versuchsreihe.

Beim Vergleich der in den einzelnen Jahren durch Niederschläge an den verschiedenen Stationen in Europa abgelagerten Strontium-90 Mengen fällt auf, daß in den weiter südlich gelegenen Stationen Florenz und Klagenfurt diese Ablagerungen verhältnismäßig größer waren und daß sich gegen Norden hin eine Tendenz zu geringeren Ablagerungen erkennen läßt.

Die stärkere Anreicherung von Strontium-90 im südlichen Teil Mitteleuropas fügt sich gut in die allgemeine Breitenabhängigkeit der Strontium-90 Ablagerungen. Wie der Tab. 4, in der im Durchschnitt der ganzen Erde die Summen der in den Jahren 1962 und 1963 für Zonen von je 10° Breite abgelagerten Strontium-90 Mengen zusammengestellt sind, zu entnehmen ist, findet man die größten Strontium-90 Ablagerungen, obwohl die meisten Bombenexplosionen auf Nowaja Semlja erfolgt sind, nicht in den hohen Breiten sondern in der Zone von 40 bis 50° Nord. Dies hängt damit zusammen, daß der Massenaustausch zwischen

Stratosphäre und Troposphäre in dieser Breitenzone, in der sich durchschnittlich die Bruchstelle zwischen polarer und tropischer Tropopause befindet, am leichtesten erfolgen kann.

Von praktischer Bedeutung im Hinblick auf die Wirkung auf den Menschen ist es, festzustellen, wieviel Strontium-90 seit Beginn der Atombombenversuche insgesamt durch Niederschläge dem Boden zugeführt worden ist, weil wegen der Langlebigkeit des Strontium-90 fast die gesamte abgelagerte Menge noch immer wirksam ist. Für Mitteleuropa stehen uns dazu die bis 1957 zurückreichenden Beobachtungsreihen von Wien und Klagenfurt zur Verfügung. Die Reihe von New York reicht, wie bereits erwähnt, bis 1954 zurück. Wenn man aus den Halbjahreswerten der Strontium-90 Ablagerungen fortlaufende Summen bildet, so zeigt die Kurvendarstellung der drei Stationen in Abb. 2 einen sehr ähnlichen Verlauf, so daß es erlaubt erscheint, die Wiener und die Klagenfurter Reihe mit der New Yorker Reihe für die Zeit von 1954 bis 1957 zu ergänzen, indem man aus der Zeit der gleichzeitigen Beobachtungen an allen drei Stationen einen Umrechnungsfaktor ableitet, mit dem man angenähert die vor dem Beginn der Beobachtungsreihen in Wien und Klagenfurt abgelagerten Strontium-90 Mengen berechnen kann. Diese Werte sind dem Kurvenbeginn dieser beiden Stationen in Abb. 2 zugrundegelegt. Darnach ergibt

Tab. 4. Abhängigkeit der Strontium-90 Ablagerungen von der geographischen Breite im Durchschnitt ganzer Breitenzonen der Nordhemisphäre in den Jahren 1962 und 1963 in mc/km^2

Breitenzone 1962+1963	0–10° N	10–20°	20–30°	30–40°	40–50°	50–60°	60–70°	70–80° N
	6,4	6,9	17,1	17,5	24,9	21,5	15,4	5,5

Tab. 5. Jahresdurchschnitt des Sr-90 Gehaltes von Nahrungsmitteln

Jahr	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965
New York – City, Milch											
pC Sr-90/g Ca	3	4	5	7	11	8	7	12	26	23	20
New York – Perry, Milchpulver											
pC Sr-90/g Ca	2,0	3,5	4,0	5,5	8,0	6,5	6,2	11,1	21,6	20,4	15,9
New York, Wasserleitungswasser											
pC Sr-90/Liter	0,10	0,17	0,17	0,18	0,40	0,47	0,32	0,72	1,45	1,79	1,49

Zunahme der Strontium-90 Ablagerungen durch Niederschlagswasser (Januar 1954 bis Juni 1965)

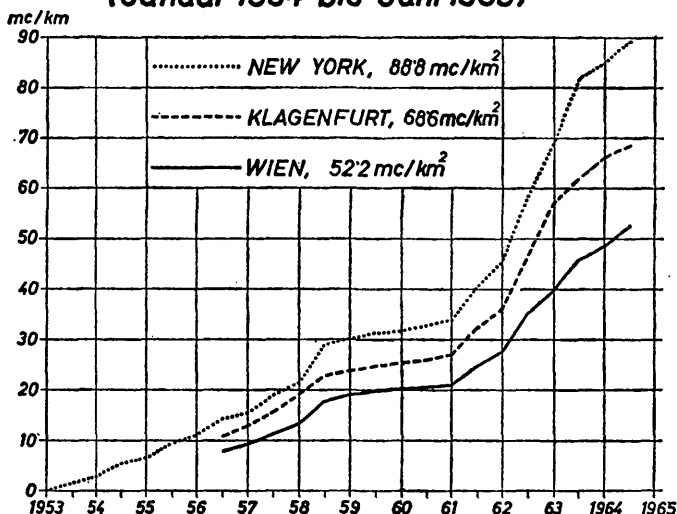


Abb. 2.

sich, daß vom Beginn des Jahres 1954 bis Mitte 1957 vermutlich in Wien $7,80 \text{ mc}/\text{km}^2$ und in Klagensfurt $10,60 \text{ mc}/\text{km}^2$ abgelagert worden sind. Unter Berücksichtigung dieser Werte ergibt sich bis Mitte 1965 eine Gesamtsumme der Strontium-90 Ablagerungen durch Niederschläge von $52,2 \text{ mc}/\text{km}^2$ in Wien, $68,6 \text{ mc}/\text{km}^2$ in Klagensfurt und $88,8 \text{ mc}/\text{km}^2$ in New York.

Von der amerikanischen Atom-Kommission wurden auch von zahlreichen über die ganze Erde verteilten Orten Bodenproben eingesammelt und auf den Gehalt an Strontium-90 untersucht. Für die Orte in Europa, an denen gleichzeitig auch die Strontium-90 Ablagerungen durch Niederschläge gemessen worden sind, ergibt sich, daß der Strontium-90 Gehalt des Bodens noch etwas größer ist als die aus Niederschlägen abgeleiteten Strontium-90 Mengen. Dies ist verständlich, da ja auch durch trockenen Fallout aus der Luft dem Boden etwas Strontium-90 zugeführt wird. Die mit Berücksichtigung dieses trockenen Fallouts gute Übereinstimmung beider Bestimmungsverfahren bestätigt die Zuverlässigkeit der Messungsergebnisse.

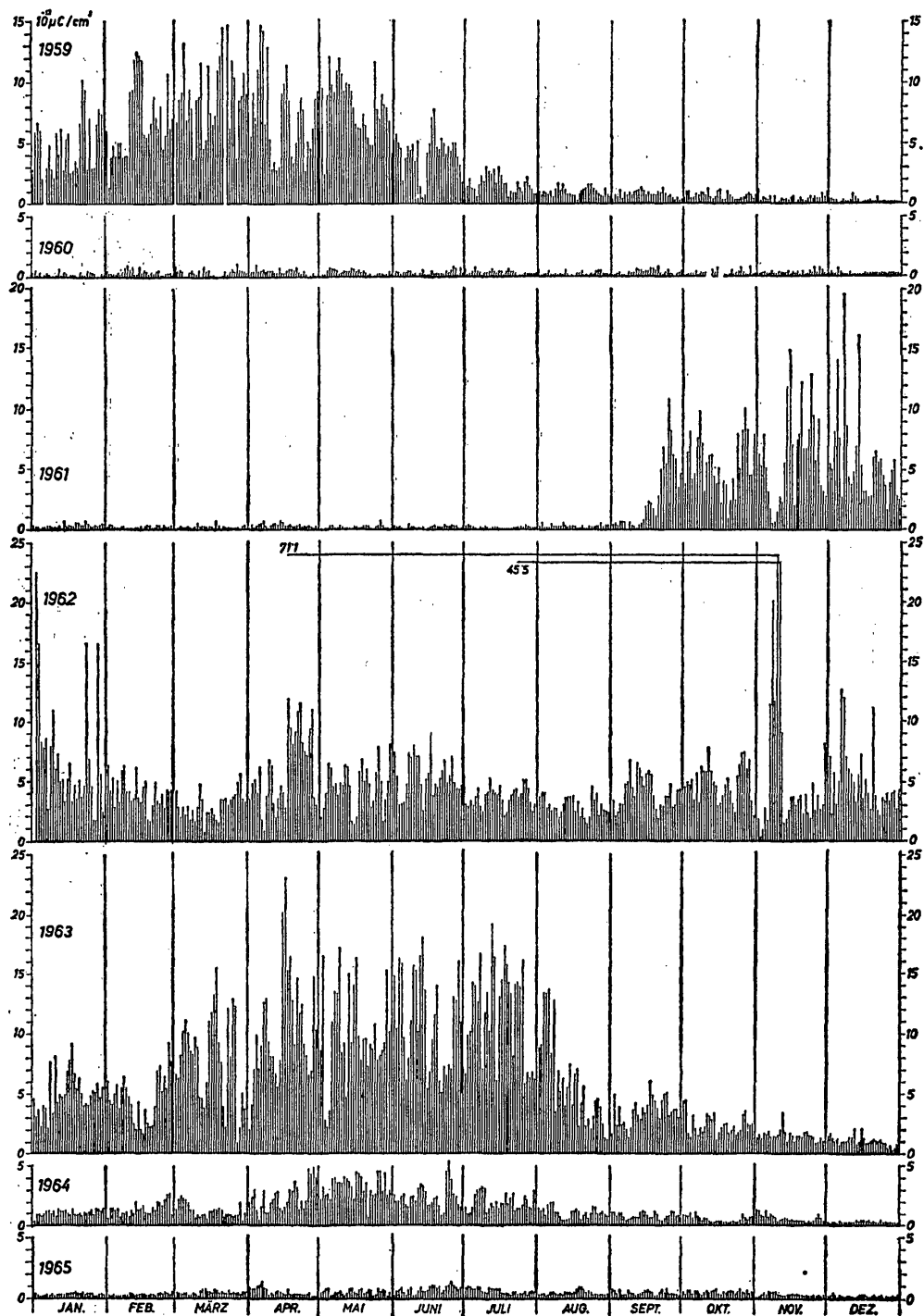
Wie bereits erwähnt, werden die dem Boden zugeführten Strontium-90 Ablagerungen zum Teil von den Pflanzen aufgenommen, mit dem Futter wird Strontium-90 auch von den Kühen aufgenommen und kommt damit auch in die Milch. Durch das Niederschlagswasser kann Strontium-90 auch dem Trinkwasser beigemischt werden. Von der amerikanischen Atom-Kommission werden im Rahmen des Strontium-90 Projekts fortlaufend auch die Untersuchungsergebnisse von Milch, Trinkwasser und der gesamten Nahrung auf den Strontium-90 Gehalt veröffentlicht. Es ist interessant, an den folgenden Beispielen der Tabelle 5

zu zeigen, wie sich im Laufe der Zeit der Strontium-90 Gehalt dieser Nahrungsmittel geändert hat.

Während die Zunahme des Gehalts an radioaktiven Strontium bei allen Arten von Lebensmitteln im Jahre 1959 noch verhältnismäßig gering war, ist der Gehalt an radioaktiven Strontium im Jahre 1963 auf ein Vielfaches angestiegen und zwar gegenüber dem Jahre 1961 bei flüssiger Milch und bei Milchpulver auf mehr als das $3\frac{1}{2}$ -fache und bei Wasserleitungswasser sogar auf das 6-fache.

Daraus ist ersichtlich, welche Auswirkung die noch verhältnismäßig wenigen Atombomben, die noch dazu mit möglichster Vorsicht meist in großen Höhen zur Explosion gebracht worden sind, auf den Gehalt an gefährlichen radioaktiven Substanzen in Lebensmitteln bereits gehabt haben, und man kann sich darnach vorstellen, welche verheerende Folgen ein Atombombenkrieg haben müßte.

RADIOAKTIVITÄT DER LUFT IN WIEN, 1959-1965



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1966

Band/Volume: [106](#)

Autor(en)/Author(s): Steinhauser Ferdinand

Artikel/Article: [Die bisherigen Auswirkungen der Atombombenversuche auf die Radioaktivität der Atmosphäre. 19-47](#)