

Interner Bericht
DESY D3/24
Dezember 1976

DESY-Bibliothek
22. MRZ. 1977

Messung radioaktiver Aerosole an den Beschleunigern des DESY

von

K. Amsinck



Messung radioaktiver Aerosole
an den Beschleunigern des DESY

von

K. Amsinck

Zusammenfassung:

Mit einem tragbaren Staubsammler wurden in der freien Luft und in der Luft der Beschleuniger Aerosolproben gesammelt und ihre aktiven Nuklide durch γ -Spektroskopie vollständig identifiziert. Außer den Nukliden der natürlichen Zerfallsreihen fanden sich in der Luft aus den Beschleunigerräumen statt der erwarteten Stäube aktivierter Werkstücke nur verschiedene Nuklide, die aus Kernreaktionen mit den Bestandteilen der Luft stammten.

Ferner wurden die spezifische Gesamt- β -Aktivität der Aerosole in der freien Luft und in der Luft der Beschleunigerräume quantitativ bestimmt. Die sehr kleinen Werte bestätigen, daß eine kontinuierliche Überwachung der Aerosole bei DESY nicht notwendig ist.

Summary:

A portable air sampler was used to collect dust samples in the open air and in the air inside the accelerator buildings. The radioactive nuclides of the dust are completely identified by γ -spectroscopy. In the air inside the accelerator buildings we found in addition to the naturally occurring nuclides, only some nuclides from nuclear reactions with the air instead of expected nuclides of activated dust from accelerator components.

The specific total β -activity of the dust in the open air and inside the accelerator rooms was also quantitatively determined. The measured concentrations proved to be so low that a continuous measurement of active dust at DESY is not necessary.

1. Einleitung

Während des Beschleunigerbetriebes wird die Luft in den Beschleuniger-
räumen aktiviert. Diese Aktivierung ist zu beachten, wenn die Luft aus-
geblasen oder wenn der Beschleuniger nach dem Abschalten betreten wird.
In den Beschleunigern des DESY messen wir daher die Aktivitätskonzentration
kontinuierlich in der zirkulierenden Luft des Synchrotrons und in der
ausgeblasenen Luft des Linac II mittels β -Zählrohren, die sich im Luft-
strom befinden.

Neben dieser gasförmigen Aktivität ist auch eine Aktivierung von Aerosolen
möglich. Sie können entweder als Schwebeteilchen aktiviert werden, oder es
kann sich um aktivierten Staub handeln, der von der Ventilation aufge-
wirbelt wird. Ferner wäre es möglich, daß sich aktivierte Nuklide der Luft
an den aufgewirbelten Staub anlagern. Aktivierte Aerosole können nur durch
ein Anreicherungsverfahren mittels Filter bestimmt werden.

Da im Synchrotron und im Linac II jahrelang automatische Filtergeräte in
Betrieb waren, wissen wir bereits, daß die Konzentrationen aktiver
Aerosole sehr gering sind und gegenüber der gasförmigen Aktivität vernach-
lässigt werden kann. Wegen der andersartigen Beschaffenheit dieser Aerosole
schien es uns dennoch wünschenswert, die aktiven Nuklide der Aerosole zu
identifizieren und mit tragbaren Geräten ihre Konzentrationen an verschie-
denen Orten und unter verschiedenen Betriebsbedingungen quantitativ zu
bestimmen.

Inhalt:

1. Einleitung
2. Identifizierung der Nuklide
 - 2.1. natürliche Aerosole
 - 2.2. Aerosole in Beschleunigeräumen
3. Bestimmung der Aktivitätskonzentration
 - 3.1. natürliche Aerosole
 - 3.2. Aerosole in Beschleunigeräumen

Anhang: Vergleich verschiedener Meßgerädetypen

2. Identifizierung

2.1 Natürliche Aerosole

Wegen der sehr geringen Konzentration aktiver Aerosole im Beschleuniger-
raum des Synchrotrons und des Linac II lag es zunächst einmal nahe, die
natürlichen Aerosole zu identifizieren. Damit können wir gleichzeitig einen
Aufschluß über die Empfindlichkeit der Meßmethode gewinnen.

Die Quellen der natürlichen Radioaktivität in der Luft sind die Radium-,
Thorium- und die Aktiniumreihe. Die dabei gebildeten Edelgase treten im
Verhältnis (lit. 1)

$$\text{Rn}^{222} : \text{Rn}^{220} : \text{Rn}^{219} = 100 : 100 : 4,3$$

aus dem Boden aus und werden in der Atmosphäre durch Mischung horizontal
und vertikal verfrachtet. Die natürliche Radioaktivität wird damit aus
den Edelgasen Rn^{222} und Rn^{220} und deren Folgeprodukten bestimmt. Die
Rolle der Aktiniumreihe ist zu vernachlässigen. In der Abb. 1 sind die
wichtigsten Zerfallsprodukte der Edelgase Rn^{222} und Rn^{220} dargestellt.

Zur Abscheidung der Aerosole aus der Luft wurde nach dem Anreicherungs-
verfahren vorgegangen, das heißt, die Umgebungsluft wird durch einen
Papierfilter gesaugt, auf dem sich die Schwebeteilchen abscheiden. Der
bestaubte Filter wird dann am Detektor im Labor ausgewertet. Zur Abfil-
terung der Aerosole wurde ein tragbares Gerät verwendet, das im wesent-
lichen aus einem Ventilator besteht. Der Luftdurchsatz beträgt $170 \text{ m}^3/\text{h}$
und ist damit sehr groß (Näheres siehe im Anhang).

Bei der Ansammlung der radioaktiven Aerosole strebt die Aktivität auf dem
Filter einem Sättigungswert zu. Dieser ist abhängig von der Halbwertszeit.
Da die meßbaren Nuklide, mit Ausnahme einiger langlebiger, eine Halbwerts-
zeit haben, die kleiner als 1 h ist, wird in der Praxis eine Sättigung nach
2 h erreicht. Aus der Sättigungsaktivität kann dann die Aerosolaktivität
unter der Annahme errechnet werden, daß 1 β -Teilchen pro Zerfall emittiert
wird und die Aktivitätskonzentration während der Sammelzeit konstant
bleibt.

Während der Sammelzeit zerfällt ein Teil der auf dem Filter abgeschiedenen
Nuklide. Die Anzahl der Nuklide auf dem Filter ist dann

$$\frac{dn}{dt} = N \cdot \eta_f - \lambda \cdot n \quad (1)$$

$$n(\infty) = n_s = \frac{1}{\lambda} N \eta_f \quad (2)$$

n = Abgeschiedene Nuklide auf den Filter

N = Nuklide in der Luft/Volumen

t = Luftdurchsatz/Zeit

η_f = Filterwirkungsgrad

λ = Zerfallskonstante

sind $N_s = \lambda n_s \eta_m$ die in der Meßapparatur nachgewiesenen Z-fälle pro Zeit,
so errechnet sich die spezifische Aktivität A wie folgt:

$$A = \lambda n \quad (3)$$

$$A = \frac{N_s \lambda}{\eta_f \eta_m} \quad (4)$$

η_m = Nachweiswahrscheinlichkeit der Meßapparatur

Nach einer Sammelzeit von 2 h wurde der Filter dem Ventilatorgerät entnommen
und direkt auf den Detektor (Ge-(Li)-Kristall) gelegt.

Zur Identifizierung der Nuklide wurden von den Aerosolproben γ -Spektren
aufgenommen. Das hierfür benutzte γ -Spektrometer besteht aus einem mit Lithium
gedröhten Germanium-Kristall und einem Vielkanalanalysator mit 4048 Kanälen.
Das Auflösungsvermögen dieser Anlage beträgt 2,2 keV/Kanal für Cs^{137} . Dem
Vorteil der hohen Auflösung steht jedoch der Nachteil einer im Vergleich zur
NaI-Kristall geringeren Ausbeute gegenüber. Dieser Nachteil konnte dadurch
wettgemacht werden, daß bei der Aufnahme der γ -Spektren mehrere Staubproben
von gleichen Ort nacheinander auf den Kristall gelegt wurden. Um die gesamte
Fläche des bestaubten Filters zu nutzen, wurde dieser zerschnitten und die
einzelnen Teile übereinander gelegt. Geeicht wurde die Anlage mit Standard-
präparaten. Um sicher zu gehen, daß keine radioaktiven Nuklide aus der
Abluft des Synchrotrons auf dem Filter während der Sammelzeit abgeschieden
werden, wurde die Luft weit entfernt vom Synchrotron vor dem Laborgebäude
1 e und in der Nähe der Geländegrenze angesaugt.

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Abb. 2 dargestellt. Das dort abgebildete Spektrum mit dem dazugehörigen Untergrund (Leermessung) zeigt deutlich eine Menge Linien, die eindeutig nur den Folgeprodukten des Radon Rn^{222} und Rn^{220} zuzuordnen sind. In der Tab. 1 sind die einzelnen Nuklide geordnet nach ihren Energien und verglichen mit den gemessenen Energien zusammengestellt. Dabei sind die Folgeprodukte von Rn^{222} , nämlich Bi^{214} und Pb^{214} , vollständig vertreten. Es sind die einzigen Nuklide dieser Reihe, die durch ihre zusätzliche γ -Komponente eindeutig nachzuweisen sind. Aus der Thorium-Reihe gelang lediglich der Nachweis der jeweils intensivsten γ -Energie der Nuklide Pb^{212} und Tl^{208} . Bi^{212} mit einem prozentualen γ -Anteil von 7 % bzw. 2 % konnte nicht gefunden werden.

Uran-Radium-Reihe Energie (MeV)				Thorium-Reihe Energie (MeV)			
Nuklid	Tabellenwert	Meßwert	γ (%)	Nuklid	Tabellenwert	Meßwert	γ (%)
Bi^{214}	0,609	0,609	47	Pb^{212}			
$I_{II} =$	0,666	0,666	2,3	$I_{II} =$	0,2386	0,2388	81
19,7	0,769	0,768	5,3	10,64 h			
min	0,787	0,7885	1,2				
	0,806	0,807	1,5	Tl^{208}			
	0,935	0,937	3,3	$I_{II} =$	0,583	0,5826	60
	1,120	1,1205	16	3,1 min			
	1,155	1,153	1,8				
	1,238	1,238	6				
	1,281	1,28	1,7				
	1,379	1,379	4,8				
	1,40*	1,397	4				
	1,509	1,409	2,4				
	1,661	1,509	2,4				
	1,661	1,662	1,2				
	1,728	1,73	3,2				
	1,764	1,764	17				
	1,848	1,848	2,4				
Pb^{214}	0,242	0,242	11				
$I_{III} =$	0,295	0,295	33				
26,8	0,352	0,352	47				
min							

Tab. 1 Analysierte Nuklide aus den natürlichen Reihen

* 1,39; 1,41 Komplex

Ausgehend von der Tatsache, daß es sich beim Nachweis der natürlichen radioaktiven Aerosole nur um Folgeprodukte der Gase Rn^{222} und Rn^{220} handelt, läßt sich auch die Frage nach den langlebigen Radionukliden sofort beantworten. Sieht man einmal von dem α -Strahler Po^{210} ab, der ohnehin bei Routinemessungen nicht nachgewiesen wird, so bleiben ausschließlich Bi^{210} mit $t_{II} = 5$ d und das sehr langlebige Pb^{210} mit $t_{II} = 22,3$ a übrig.

Eine andere, jedoch sehr genaue Methode zur Identifizierung von Nukliden ist durch Aufnahme einer Zerfallskurve mit Hilfe eines β -Zählrohres möglich. Die Zerfallskurve wird im halblogarithmischen Maßstab aufgetragen und mit Hilfe der Subtraktionsmethode in ihre Halbwertszeiten zerlegt. Das Ergebnis einer solchen Staubprobenuntersuchung, deren Zerfallskurve in unserer Detektoranordnung, einer Low-Level-Anlage, ermittelt wurde, zeigt die Abb. 3. Diese Zerfallskurve konnte in 3 Halbwertszeiten zerlegt werden, die wiederum auf Bi^{214} , Pb^{214} und Pb^{212} schließen lassen. Das Nuklid Bi^{212} aus der Thoriumreihe mit einer Halbwertszeit von 60 min konnte nicht gefunden werden. Die restlichen Nuklide der Uran-Radium-Reihe und der Thorium-Reihe sind bis auf die langlebigen Nuklide wie Bi^{210} und Pb^{210} wegen ihrer kurzen Halbwertszeit mit dieser Methode nicht nachweisbar.

2.2 Aerosole in den Beschleunigerräumen

Aerosolanalysen wurden im Beschleunigerraum des Synchrotrons, im Linac II und am DORIS im Ventilatorschacht der Klimakammer des Quadranten 1 durchgeführt.

Die zunächst im Beschleunigerraum des Synchrotron ermittelten Radionuklide zeigt das Spektrum der Abb. 4. Erstaunlicherweise sind dort nur wenige zusätzliche peaks zu sehen. Statt der vermuteten aktivierten Metalle im aufgewirbelten Staub, verursacht durch die Ventilation im Beschleunigerraum, wurden die radioaktiven Folgeprodukte des Ar^{40} , nämlich Cl^{38} und Cl^{39} identifiziert. Diese radioaktiven Gase, gebildet über die Reaktion $Ar^{40} (\gamma, np) Cl^{38}$ und $Ar^{40} (\gamma, p) Cl^{39}$, lagern sich demnach an die Schwerstoffe im aufgewirbelten Staub an.

Es lag deshalb nahe, nach weiteren Reaktionsprodukten der Luft zu suchen. Aus den hauptsächlichsten Bestandteilen der Luft, wie N_2 , O_2 , Ar und CO_2 , sind eine Menge Reaktionsprodukte während des Beschleunigerbetriebes möglich. Die möglichen Reaktionen mit einer Halbwertszeit $t_{1/2} > 1$ min sind in der Tab. 2 aufgeführt. Dort findet man außer den Reaktionsprodukten Cl^{38} und Cl^{39} , die bereits über ihre charakteristischen γ -Linien nachgewiesen werden konnten, reine β^+ -Strahler. Diese Nuklide lassen sich jedoch gemeinsam über die Vernichtungsstrahlung $F_\gamma = 0,51$ MeV nachweisen. Man vergleiche dazu den 0,51 MeV-peak der Abb. 4 mit dem gleichen peak im Spektrum der natürlichen Aerosole der Abb. 2. Ferner ist noch zu erwähnen, daß das Reaktionsprodukt Ar^{41} trotz einer deutlichen γ -Linie nicht gefunden werden konnte. Das ist auch verständlich, da (n, γ) -Reaktionen mangels an Neutronen im Beschleuniger nur selten vorkommen.

Target	Reaktionsprodukte		
N^{14}	N^{13} (γ, n) 9,96 min, β^+		
O^{16}	O^{15} (γ, n) 2 min, β^+		
Ar^{40}	Ar^{41} (n, γ) 1,8 h, $\beta^-; \gamma$	Cl^{38} (γ, np) 37,5 min, $\beta^-; \gamma$	Cl^{39} (γ, p) 56 min, $\beta^-; \gamma$
C^{12}	C^{11} (γ, n) 20,3 min, β^+		

Tab. 2 Mögliche Reaktionsprodukte der Luft

Zur weiteren Identifizierung der Reaktionsprodukte der Luft wurde eine Zerfallskurve des 0,51 MeV-peak aufgenommen und nach der Subtraktionsmethode in ihre Halbwertszeiten zerlegt (s. Abb. 5). Gefunden wurden die Reaktionsprodukte N^{14} (γ, n) N^{13} mit $t_{1/2} = 9,96$ min. und C^{12} (γ, n) C^{11} mit $t_{1/2} = 20,3$ min.

Die restlichen in der Tab. 2 aufgeführten möglichen Reaktionsprodukte sind wegen ihrer viel kleineren Halbwertszeit mit dieser Methode nicht nachweisbar, da der Transport des bestaubten Filters vom Meßplatz bis zum Ort der Auswertung im Labor ca. 4 bis 5 Minuten in Anspruch nimmt.

In der Tab. 3 sind die analysierten Radionuklide noch einmal zusammengestellt aufgeführt.

Target	Reaktion	Reaktionsprodukt	Nachgewiesen durch:	
			Analysierte Halbwertszeit	Analysierte γ -Energien
O^{16}	(γ, n)	O^{15} 2 min β^+	nicht nachweisbar da $T_{1/2} \ll t_m$	-----
N^{14}	(γ, n)	N^{13} 9,96 min β^+	9,2 min	-----
C^{12}	(γ, np)	C^{11} 20,3 min β^+	19,5 min	-----
Ar^{40}	(γ, np)	Cl^{38} 37,18 min $\beta^-; \gamma$	-----	$\gamma_1 = 1,641$ MeV $\gamma_2 = 2,166$ MeV
Ar^{40}	(γ, p)	Cl^{39} 56 min $\beta^-; \gamma$	-----	$\gamma_1 = 0,25$ MeV $\gamma_2 = 1,267$ MeV $\gamma_3 = 1,517$ MeV

Tab. 3 Analysierte Nuklide der Luft aus den Beschleunigerräumen während des Strahlbetriebes

Diese Reaktionsprodukte wurden auch in den anderen Beschleunigern gefunden. Ein Vergleich des Spektrums einer Staubprobe aus dem Linac II (s. Abb. 6) und dem Spektrum einer Staubprobe vom Synchrotron (s. Abb. 4) zeigt jedoch deutlich, daß die zusätzlichen peaks der aktivierten Luft im Linac II geringere Intensität aufweisen und sich daher kaum vom Untergrund abheben, obwohl die Luft in einer Entfernung von ca. 5 Metern vom Positronenkonverter während des Strahlbetriebes abgesaugt wurde. Der Grund hierfür ist sicherlich in der viel geringeren Luftzirkulation gegenüber dem Synchrotron zu finden, wo infolgedessen auch weniger Staub aufgewirbelt wird.

Im Speicherring findet man ganz andere Verhältnisse als am Linac und Synchrotron vor, da während des Speicherbetriebes die Strahlverluste klein sind und damit kaum Radioaktivität entstehen kann. Nur während des Injektionsbetriebes können Strahlendosen auftreten, die eine meßbare Aktivierung der Luft zur Folge haben können. Die während des Injektionsbetriebes aufgenommenen und analysierten Staubproben zeigten jedoch keinerlei Hinweise auf eine Aktivierung der Luft.

5. Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen

5.1 Natürliche Aerosole

Wie bereits im Kap. 2.1 beschrieben, konnten als Aerosolaktivität in der Außenluft nur die Folgeprodukte des Rn^{222} und des Rn^{220} nachgewiesen werden. Diese radioaktiven Nuklide bilden in den Aerosolen den natürlichen Untergrund und stehen mit den aus dem Boden austretenden radioaktiven Gasen im Gleichgewicht.

Zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen der Außenluft als auch der Aerosole in den Beschleunigerräumen stehen uns 2 Meßgerätetypen zur Verfügung. Beide Geräte arbeiten nach dem Anreicherungsverfahren (Filterverfahren). Dabei handelt es sich um eine stationäre Anlage, die über eine installierte Rohrleitung vom jeweiligen Meßplatz die Luft ansaugt und durch einen Filter bläst, der diskontinuierlich an 3 Geiger-Müller-Zählrohren vorbeigeführt wird. Das erste Zählrohr befindet sich direkt im Luftstrom und mißt den Anstieg der Aerosolaktivität auf dem Filter. Die beiden anderen Zählrohre messen über eine beliebig unabhängig voneinander einstellbare Verzögerungszeit die Zerfallsaktivität. Gleichzeitig werden diese Kurven durch einen Schreibstreifen aufgezeichnet. Dieser Gerätetyp, auch Schrittfiltergerät genannt, war seit 1970 im Linac II und im Synchrotron zur routinemäßigen Überwachung in Betrieb.

Der zweite Gerätetyp ist ein tragbares Gerät, das im wesentlichen aus einem Ventilator besteht, der durch einen vorgelegten Filter mit einer Fläche von $25 \times 20 \text{ cm}^2$ die Umgebungsluft ansaugt. Der Luftdurchsatz beträgt $170 \text{ m}^3/\text{h}$ und ist verglichen mit dem Schrittfiltergerät ($20 \text{ m}^3/\text{h}$) sehr groß. Die Auswertung des bestaubten Filters bzw. die Bestimmung der spezifischen Aktivität in pCi/m^3 wird dann in unserer sogenannten Low-Level-Anlage mit einem Großflächen-Proportionalzählrohr, dessen Durchmesser $7,5 \text{ cm}$ beträgt, durchgeführt.

Die Konzentrationsmessungen wurden ausschließlich mit dem Ventilatorgerät gemacht, da dieses Gerät empfindlicher (s. Anhang) und viel handlicher ist.

Zur Bestimmung der Aerosolkonzentrationen in der Luft werden von den Staubproben Zerfallskurven aufgenommen, aus denen dann mit Kenntnis der Halbwertszeit die spezifische Aktivität berechnet werden kann. Zur Bestimmung der mittleren Halbwertszeit (es handelt sich immer um ein Nuklidgemisch) genügt die Berücksichtigung der kurzlebigen Nuklide mit $T_{1/2} \leq 1$ h, die den größten Anteil der Aerosolaktivität ausmachen. Man findet diesen Anteil noch im geraden Teil einer im halblogarithmischen Maßstab aufgetragenen Zerfallskurve (s. Abb. 5). Die mittlere Halbwertszeit kann damit über die Beziehung

$$\lambda = \frac{\ln \frac{N_s}{N_t}}{t} \quad (5)$$

N_s = Durch die Meßapparatur nachgewiesenen Zerfälle pro Zeit [min^{-1}]

gefunden werden. Damit ergibt sich für die Berechnung der Aktivitätskonzentration nach Gl. 4 folgende Beziehung:

$$A = 0,45 \frac{N_s \ln \frac{N_s}{N_t}}{1,7 t} \left[\frac{\text{pCi}}{\text{m}^3} \right] \quad (6)$$

$$\tau = \tau_f \cdot \tau_a = \text{Gesamtwirkungsgrad}$$

Die Konzentrationen der radioaktiven Aerosole in der Außenluft wurden für den Zeitraum von Juni bis Oktober 1976 an verschiedenen Orten auf dem DESY-Gelände gemessen. Der über diesen Zeitraum gemittelte Konzentrationswert kann mit

$$170 \text{ pCi/m}^3$$

angegeben werden. Dieser Wert ist nicht sehr genau, da auch maximale Konzentrationen von 80 pCi/m^3 und 300 pCi/m^3 gemessen wurden. Der hohe Wert wurde in der Winterperiode bei besonders feuchtem Wetter gefunden. Vergleicht man diese Werte mit den Jahresmittelwerten von 1971 und 1972 - sie betragen 170 pCi/m^3 und 144 pCi/m^3 * - so ist jedoch bezüglich des Mittelwertes eine gute Übereinstimmung festzustellen.

* Sie wurden mit dem im Anhang beschriebenen SchrittfILTERGERÄT gemessen.

3.2 Aerosole in Beschleunigerräumen

a) Zunächst wurden Konzentrationsmessungen kurz nach Abschalten des Synchrotrons im Beschleunigerraum in der Nähe der Targetzone durchgeführt. Dabei ergab sich eine mittlere Konzentration von

$$150 \text{ pCi/m}^3 \pm 20 \%$$

Größere Abweichungen als 20 % konnten an keinem Ort festgestellt werden, auch nicht an den Orten, wo infolge von Montagearbeiten mehr Staub aufgewirbelt wird. Dieser Wert ist damit für alle Orte im Beschleunigerraum des Synchrotrons repräsentativ und unterscheidet sich nicht von den Konzentrationswerten, die in Kellerräumen und auf dem DESY-Gelände gemessen wurden. Eine Aktivierung des Staubes kann damit ausgeschlossen werden.

b) Eine deutliche Abhebung von den bisher gemessenen Konzentrationen zeigte sich bei der Untersuchung der Aerosole während des Beschleunigerbetriebes im Synchrotron. In Tab. 4 sind die gemessenen Konzentrationswerte, die stark von der Betriebsart und der Intensität des Beschleunigers abhängen, aufgeführt.

Target	Ort (Radialkanal)	Aerosolkonzentration in pCi/m^3
Strahl wird auf beam shutter 20 vernichtet	4	$1,9 \cdot 10^3$
	5	$2,0 \cdot 10^3$
	6	$3,0 \cdot 10^2$
	7	$1,5 \cdot 10^2$
Strahl in Halle 2 für Exp.Strahl 20	4	$1,0 \cdot 10^3$
	5	$1,0 \cdot 10^3$
	7	$1,8 \cdot 10^3$
Strahl in Halle 2 für Exp.Strahl 24	5	$4,6 \cdot 10^2$
	7	$2,0 \cdot 10^2$
Strahl in Halle 1 für Exp.Strahl 10	7	$2,5 \cdot 10^2$
	10	$4,5 \cdot 10^2$
für Exp. Strahl 8a	{ 1 7	$1,2 \cdot 10^2$

Tab. 4 Örtliche Verteilung der Aerosolkonzentrationen in pCi/m^3 bei unterschiedlichen Betriebsarten des Synchrotrons

Die während dieser Zeit maximal gemessene Konzentration erreichte einen Wert von 5×10^3 pCi/m³. Sie ist damit, verglichen mit dem Jahresmittelwert der gasförmigen Aktivität im Synchrotron von 2×10^4 pCi/m³, immer noch um einen Faktor 4 kleiner. Außerdem wurde festgestellt, daß erhöhte Konzentrationswerte nur in den Radialkanälen auftreten, die in der Nähe einer Targetzone (z.B. Strahlablenkung 24, bei Radialkanal 5) münden. Da die Luft aus dem Beschleunigerraum radial zum Zentrum abgesaugt und durch eine geringe Beimengung von Frischluft durch den Keller dem Beschleunigerraum wieder zugeführt wird, ist es gleich, ob man am Eingang oder am Ende der Radialkanäle die Aerosolkonzentration mißt. Innerhalb dieser Räume ist die Konzentration gleich groß. Im Zentrum des Synchrotrons jedoch, wo alle Kanäle zusammenlaufen, sind infolge der Vermischung nur noch Spuren erhöhter Konzentrationen zu messen.

Ganz andere Verhältnisse findet man am DORIS vor. Erstens ist die Ventilation im Speicherring geringer; sie wird quadrantweise durch die Klimakammern abgesaugt und, ebenfalls mit einem Teil Frischluft vermischt, von dort aus wieder zugeführt. Zweitens gibt es außer der Injektion keine weiteren Targetzonen, die eine Aktivierung der Luft bzw. der Aerosole hervorrufen.

Einzelne Messungen im Luftstrom der Klimakammer 1 konnten deshalb auch keinen Nachweis erhöhter Aerosolkonzentration aufweisen. Sinnvoller erschien deshalb eine kontinuierliche Messung, z.B. über den Zeitraum von einem Monat zu machen. Dazu wurde ein Schrittfiltergerät in der Klimakammer 1 installiert.

Die Auswertung des Schreiberstreifens bestätigte jedoch das Ergebnis der Einzelmessungen. Die mittlere Konzentration im Quadranten 1 des Speicherringes ergab für den Zeitraum von einem Monat

$$150 \text{ pCi/m}^3$$

Die Abweichungen von diesem Wert können mit maximal 30 % angegeben werden. Dieser Mittelwert ist damit ebenfalls vergleichbar mit den gefundenen Konzentrationswerten auf dem DESY-Gelände.

Erhöhte Aerosolkonzentrationen, die merklich vom natürlichen Untergrund abweichen, wurden nur im Beschleuniger des Synchrotrons während des Strahlbetriebes gemessen. Die Ursache dieser Aktivität ist allein darauf zurück-

zuführen, daß die während des Beschleunigerbetriebes erzeugten radioaktiven Gase sich an den durch die Ventilation aufgewirbelten Staub anlagern (s. Kap. 2). Von einer Aktivierung des Staubes kann auch hier nicht die Rede sein. Auf eine routinemäßige Überwachung der Aerosole auf dem DESY-Gelände und in den Beschleunigern kann deshalb künftig verzichtet werden.

Anhang: Vergleich verschiedener Meßgerätetypen

Außer dem in Kap. 3.1. beschriebenen Meßgerätetypen, dem Schrittfiltergerät und Ventilatorgerät, gibt es noch einen dritten Gerätetyp. Dieses Luftüberwachungsgerät arbeitet ebenfalls nach dem Filterverfahren. Es ist tragbar und deshalb auch wie das Ventilatorgerät sofort einsetzbar.

Die Luft wird mittels einer Kreiskolbenpumpe durch einen Filter angesaugt, dessen effektive Fläche $3,8 \text{ cm}^2$ beträgt. Durch ein vor die Filterfläche angebrachtes Zählrohr wird die registrierte Aktivität auf einer logarithmischen Skala angezeigt und mit Hilfe eines Schreibergerätes aufgezeichnet. Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß außer der Aerosolaktivität jede andere radioaktive Strahlung registriert wird. Der Einsatz dieses Gerätes ist somit auf wenige Orte beschränkt.

Ein Vergleich der einzelnen Meßgerätetypen, Schrittfilter-, Ventilator- und Luftüberwachungsgerät, setzt zunächst einmal die Kenntnis des Gesamtwirkungsgrades γ (s. Gl. 6) voraus. Der Gesamtwirkungsgrad setzt sich aus folgenden Größen zusammen:

$$\begin{aligned} \gamma &= \gamma_f \cdot \gamma_n \\ \gamma_n &= \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \end{aligned} \quad (7)$$

- γ_f = Filterwirkungsgrad
- γ_n = Nachweiswahrscheinlichkeit
- γ_1 = Raumwinkel
- γ_2 = Absorption im Fenster
- γ_3 = Absorption im Filter

Der Filterwirkungsgrad ist von der Herstellerfirma angegeben und beträgt bei einem Abscheidegrad auf dem Filterpapier von $0,4 \mu\text{m}$, 97 %. Dieser Wert ist für alle 3 Gerätetypen identisch, da nur eine Filterpapiersorte verwendet wird. Das Gleiche gilt für die Absorption im Filterpapier. Sie wird durch die Eindringtiefe der Aerosole im Filter bestimmt. Diese Selbstabsorption kann mit 10 % angegeben werden (Lit. 2). Raumwinkel und die Absorption im Zählrohrfenster sind geräteeigene Konstanten. Sie lassen sich aus den konstruktiven Größen der 3 Meßgerätetypen (s. Tab. 5) wie folgt ermitteln:

a) Schrittfiltergerät: Der Raumwinkel kann für den Abstand von 1,4 cm zwischen Zählrohr und Filter bei einem Zählrohrdurchmesser von 2,8 cm nach Lit. 3 mit 12 % angegeben werden. Die Absorption im Zählrohrfenster beträgt für Luft bei einer maximalen B-Energie von 500 keV, 15 %.

b) Tragbares Luftüberwachungsgerät: Der Raumwinkel beträgt hier 50 %, da der Durchmesser des Zählrohres größer ist als der Durchmesser der bestaubten Kreisfläche, und der Abstand zwischen beiden sehr klein ist. Die Absorption im Fenster kann ebenfalls mit 15 % angegeben werden, da dasselbe Zählrohr wie beim Schrittfiltergerät verwendet wird.

c) Ventilatorgerät: Dieses Gerät besitzt keine eigene Auswerteeinheit (s. Kap. 3.1). Die Auswertung des bestaubten Filters erfolgt in unserer Low Level-Anlage mit einem Großflächenzählrohr mit einem Durchmesser von 7,5 cm. Das Zählrohrfenster hat eine Massenbelegung von $0,9 \text{ mg/cm}^2$. Die Absorption im Fenster kann deshalb verglichen mit den anderen Geräten vernachlässigt werden.

Gerätetyp	Schrittfilter-Gerät	Ventilator-Gerät (Low Level-Anlage)	Luftüberwachungs-Gerät
Durchmesser der bestaubten Fläche	5 cm	5 cm	2,2 cm
Zählrohr ϕ	2,8 cm	7,5 cm	2,8 cm
Abstand: Zählrohr-Fenster	1,4 cm	0,5 cm	0,5 cm
Fensterdicke	3 mg/cm^2	$0,9 \text{ mg/cm}^2$	3 mg/cm^2
Luftdurchsatz	$20 \text{ m}^3/\text{h}$	$170 \text{ m}^3/\text{h}$	$1,45 \text{ m}^3/\text{h}$

Tab. 5 konstruktive Größen der Meßgerätetypen

Die Gesamtwirkungsgrade der 3 Gerätetypen sind in der Tab. 6 noch einmal aufgliedert dargestellt.

Aus der Kenntnis des Wirkungsgrades und dem Luftdurchsatz ergibt sich für die Empfindlichkeit

$$E = \frac{1}{L \cdot \gamma} \left[\text{min}^{-3} \text{h} \right] \quad (8)$$

folgendes Empfindlichkeitsverhältnis:

$$E_{\text{Ventilatorgerät}} : E_{\text{Schrittfiltergerät}} : E_{\text{Überwachungsgerät}} = 1 : 0,04 : 0,17$$

Gerätetyp	η_f	η_r	$\frac{\eta_n}{\eta_l}$	η_j	η
Schrittfilter-Gerät	0,97	0,12	0,85	0,9	0,09
Ventilator-Gerät	0,97	0,5	1,0	0,9	0,437
Luftüberwachungs-Gerät	0,97	0,5	0,85	0,9	0,571

Tab. 7 Wirkungsgrade der 3 Aerosolmeßgeräte

Die nur knapp zweimal bessere Empfindlichkeit des Ventilatorgerätes ist darauf zurückzuführen, daß bedingt durch die Konstruktion der Low Level-Anlage nur der 0,045 Teil der bestaubten Filterfläche in Form einer Kreisscheibe mit $d = 5$ cm gleichzeitig ausgemessen werden kann.

Ein experimenteller Vergleich der Meßgerätetypen wurde im Synchrotron im Radialkanal 7 durchgeführt. Neben dem dort installierten Ansaugrohr der Schrittfilteranlage wurde das Ventilatorgerät und das Luftüberwachungsgerät aufgestellt, damit alle 3 Geräte dieselbe Luft ansaugen. Die Sammelzeit wurde auf 2 h festgelegt, sodaß für die kurzlebigen radioaktiven Nuklide die Sättigungsaktivität der auf dem Filter angesammelten Aerosole erreicht wird (s. Kap. 2.1). Aus den Abklingkurven der 3 Filterproben wurde dann mit Hilfe der Gl. 6 die Aerosolaktivität berechnet.

Das Ergebnis des experimentellen Vergleichs zeigte bei Verwendung der theoretisch ermittelten Wirkungsgrade eine gute Übereinstimmung der 3 Meßgeräte. Die Abweichungen der mit den tragbaren Geräten gemessenen Konzentrationen können gegenüber der Schrittfilteranlage mit maximal einem Faktor 2 angegeben werden.

Literatur:

- 1 H. Israel, A. Krebs, Kernstrahlung in der Geophysik, Berlin: Springer 1962
- 2 K. P. Klimek, Interner Bericht D 3 - 72/11
- 3 J. Q. Williams, Nucl. Instr. 44 (1966) 160

Bildunterschriften:

- Abb. 1 Zerfallsprodukte des Radons aus der Uran-Radium- und Thorium-Reihe
- Abb. 2 β -Energiespektrum einer Staubprobe aus der Außenluft, weit entfernt vom Synchrotron und Untergrund
- Abb. 3 Zerfallskurve einer Staubprobe aus der Außenluft, die mit einem β -Zählrohr ausgewertet wurde.
- Abb. 4 β -Energiespektrum einer Staubprobe aus dem Synchrotron während des Beschleunigerbetriebes.
- Abb. 5 Zerfallskurve einer Staubprobe aus dem Synchrotron während des Beschleunigerbetriebes, die aus dem 0,51 MeV-peak ermittelt wurde.
- Abb. 6 β -Energiespektrum einer Staubprobe aus dem Linac II während des Beschleunigerbetriebes.

Abb. 4

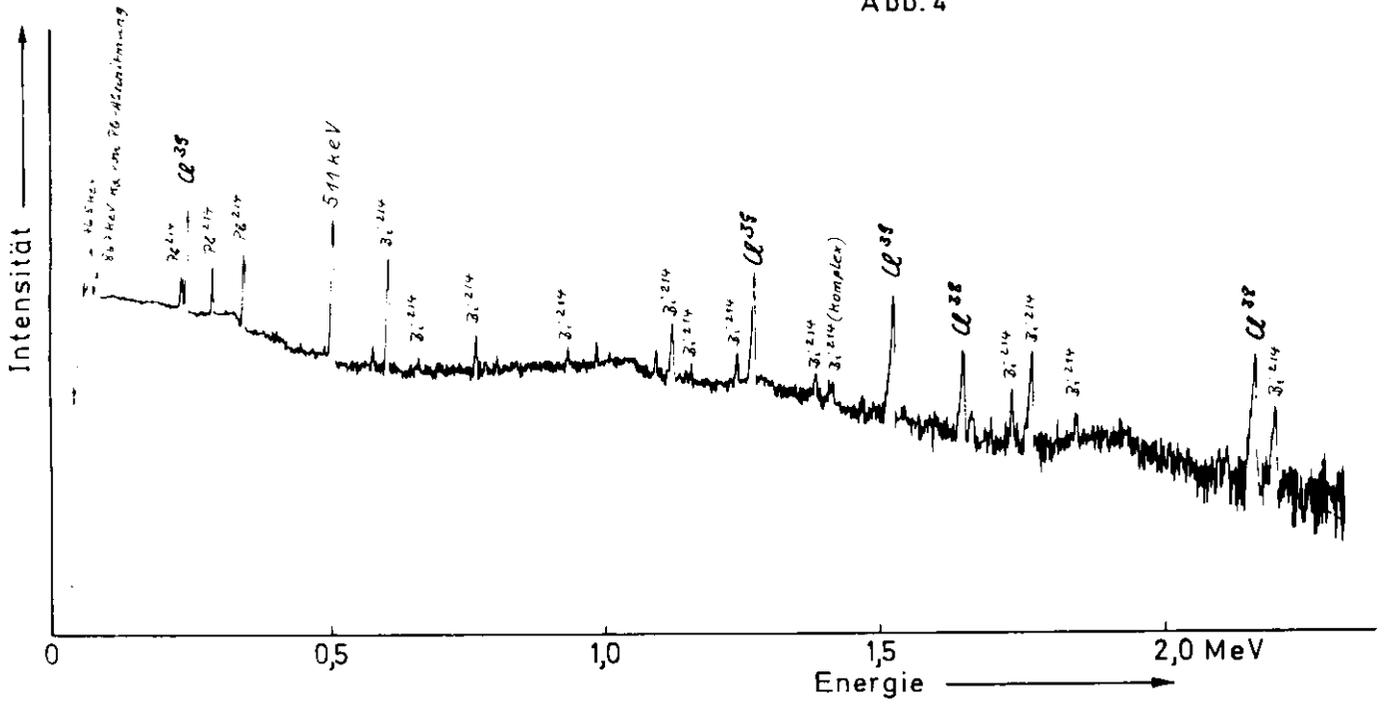


Abb. 3

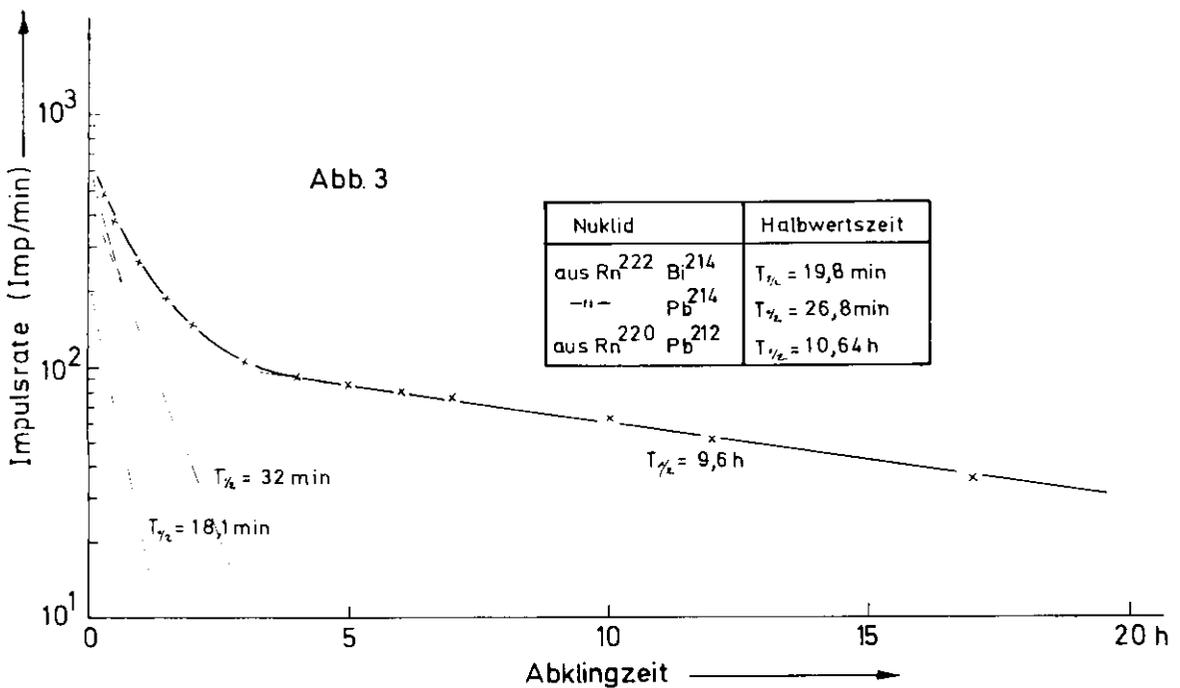


Abb. 6

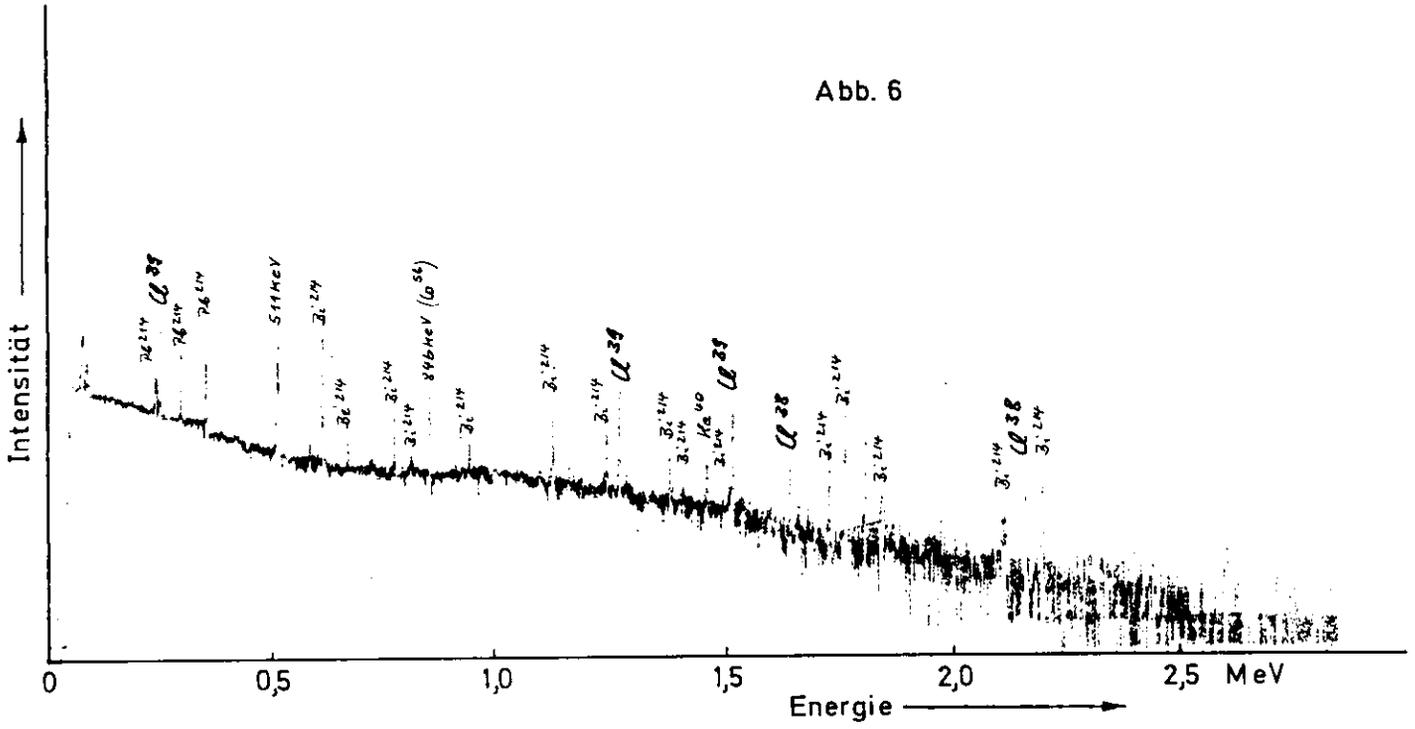


Abb. 5

