

Abluftüberwachungssysteme für PET-Zentren

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Abluftüberwachung von Zyklotron, Heißen Zellen und Laborräumen eines PET-Zentrums unterscheidet sich hinsichtlich Planung und Meßtechnik von gängigen Abluftanlagen kerntechnischer Einrichtungen dadurch, daß vornehmlich kurzlebige, gasförmige Positronenstrahler (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F) erfaßt werden müssen. Das bedeutet insbesondere, daß die erforderlichen Meßgeräte nicht nachträglich in ein fertig konzipiertes Abluftsystem eingepaßt werden können, sondern die Planung der Gesamtanlage mit Verzögerungsstrecken, Schnellschlußklappen und Meßkreisläufen schon frühzeitig gemeinsam zwischen Betreiber, Lüftungingenieuren, Meßgerätehersteller und, last not least, der Aufsichtsbehörde erfolgen muß.

Die vorliegende Arbeit diskutiert anhand von Planungsbeispielen Lage und Anzahl der erforderlichen Meßstellen, wobei zwischen Bilanzierungs- und Störfallmessung unterschieden wird. Ferner wird die Leistungsfähigkeit von Szintillations-, Dosisleistungs- und Großflächendetektoren für diesen Einsatzzweck verglichen und kritisch bewertet.

SUMMARY

Off-air monitoring systems for Cyclotron, Hot Cells and Laboratories of PET Centres differ greatly from conventional installations in nuclear facilities with regard to both planning and measurement. This is due to the requirement of assessing short-lived, gaseous positron emitters like ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O and ^{18}F . Air flow circuits with delay loops, shutdown valves and measurement bypasses, and activity detection devices must be carefully matched from the first by common planning between user, ventilation engineers, measuring instruments manufacturers and, last not least licensing and supervising authorities.

The present paper discusses, by means of planning examples, position and numbers of required measuring spots, discriminating between registration of outgoing activity, and accident warning devices. Furthermore, the performance of scintillation, doserate and large-area proportional detectors for this specific application is compared and critically evaluated.

Planung und Meßtechnik

Der Betrieb von Positronen-Emissions-Tomographie-(PET)Zentren, wie sie in der nuklearmedizinischen Diagnostik zunehmend Verbreitung finden, erfordert eine umfangreiche Strahlenschutzinstrumentierung. Dabei bestehen sowohl auf Seiten der planenden Institutionen als auch bei den Genehmigungsbehörden mangels ausreichender Erfahrung häufig starke Unsicherheiten über den Umfang und die zweckmäßige Auslegung von Meßsystemen. Wie kann, wie sollte eine PET-Abluftüberwachung heute aussehen?

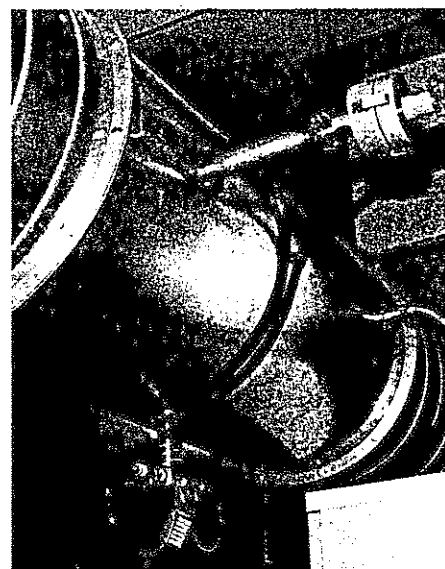
1 Vorschriften und strahlenschutz-relevante Forderungen

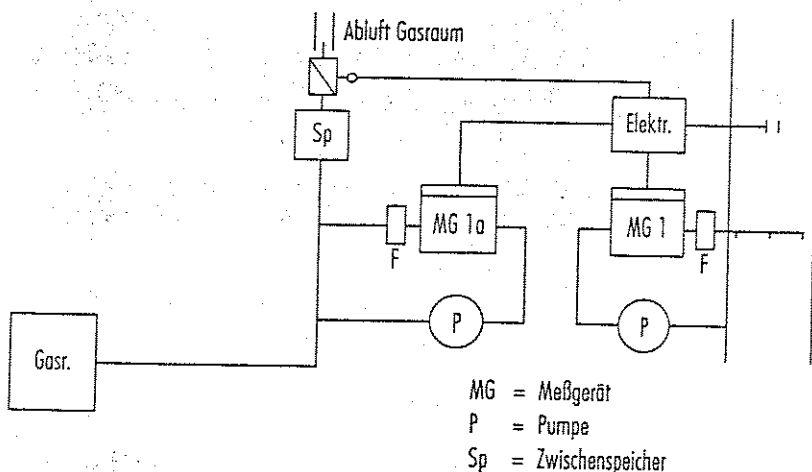
Grundlage für jede Abluftüberwachung ist der § 46 (3) StrlSchV. Seine spezifische Anwendung im medizinischen Bereich regelt die „Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin“ (GMBI Nr. 40 vom 19.11.92, Seiten 1008/9). Für die Probenahme ist DIN 25423 zu beachten. Die Meßstelle für die Gesamtabluft muß in der Lage sein, zwei Werte zu liefern: Die integrale abgegebene Aktivität in Bq für den gewählten Abgabezeitraum, z.B. pro Tag oder Woche, und die momentane Aktivitätskonzentration in Bq/m³. Der Grenzwert der Konzentration für die PET-Nuklide (außer ^{18}F) beträgt, wenn die Behörde ihn nicht anders festlegt, nach § 46 (3) StrlSchV im Jahresmittel 200Bq/m³, für ^{18}F 1 kBq/m³.

Falls variable Abluftmengen abgegeben werden, muß zur Bilanzierung eine

Durchsatzmeßstelle vorhanden sein (Abb. 1). Da ein Aktivitätssignal der Bilanzmeßstelle in vielen Fällen zu spät käme, um bei einem Störfall Steuermaß-

Abb. 1: Entnahmestelle mit Durchsatzmeßsonde




Abb. 2: Bilanzmeßstellenanordnung in Doppelausführung

nahmen zur Verhinderung unzulässiger Aktivitätsabgaben auszulösen, müssen für diese Aufgabe weitere Meßstellen in den einzelnen Lüftungszweigen angebracht werden.

2 Aufgaben und Positionierung der Meßstellen

2.1 Bilanzmeßstelle für die Gesamtabluft

Die Bilanzmeßstelle am Ausgang des Kontroll- oder Überwachungsbereichs muß nicht nur empfindlich genug sein, um die geforderten 200 Bq/m³ sicher zu erfassen; sie muß auch eine zeitliche Auflösung von Konzentrationsänderungen im Minutenbereich haben. Beispielsweise ist bei einem Störfall mit ¹⁵O-Emissionen von einem Aktivitätsanstieg innerhalb von 2 Minuten auf den Maximalwert auszugehen, wobei die Gesamtabgabe innerhalb von ca. 10 Minuten erfolgt.

Diese Meßstelle ist örtlich so anzuordnen, daß die Überwachung am Ausgang des Kontrollbereichs vor einer weiteren Luftbeimengung aus inaktiven Bereichen erfolgt. Sollte eine Zusammenführung der Abluft aus mehreren Kontroll- bzw. Überwachungsbereichen vor der Bilanzmeßstelle nicht möglich sein, müssen zusätzliche „Meßstellen“ eingesetzt werden, deren Summenauswertung für die Abgabebilanz entscheidend ist.

Abb. 2 zeigt als Planungsbeispiel das Schema einer Doppelbilanzmeßstelle für die Überwachung der Hauptabluft und der getrennten Abluftführung des Gasflaschenlagers. Die Abluftbilanzierung erfolgt gemeinsam, während die Messung der Gasflaschenlagerabluft zusätzlich über ein Zwischenspeichervolumen einen Klappenschluß auslösen kann. Dies ist wegen der sehr viel größeren Luftdurchsätze im Hauptabluftkanal dort nicht möglich.

2.2 Meßstelle für die Zyklotron-Raumabluft

Die Empfindlichkeit dieser Meßstelle kann infolge der Aktivitäts-„Verdünnung“ entsprechend dem Luftdurchsatzverhältnis Zyklotron-Raumabluft zu Gesamtabluft schlechter sein als die

Bilanzmeßstelle. Sie muß jedoch neben den PET-Nukliden auch ⁴¹Ar als Neutronen-Aktivierungsprodukt des Zyklotrons mit der gleichen Empfindlichkeit erfassen.

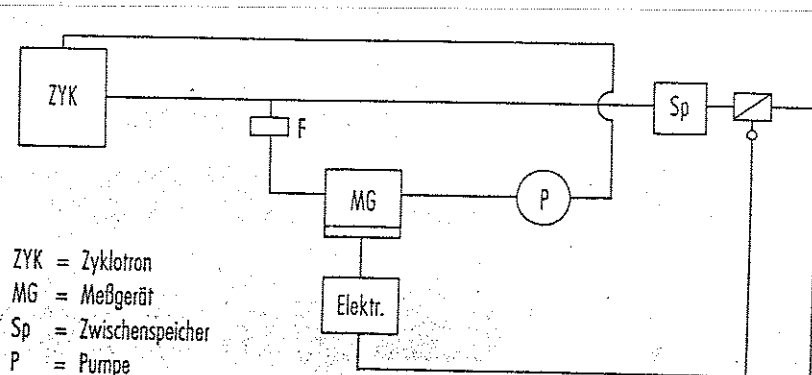
Bei richtiger Auslegung kann mit dieser Meßstelle verhindert werden, daß aktive Abluft aus dem Zyklotronraum über die Bilanzmeßstelle gelangt und damit als erfolgte Abgabe oder als unzulässige Konzentrationsüberschreitung gewertet wird. Je rascher sie jedoch anspricht, und je empfindlicher sie ist, um so weniger aufwendig braucht die Verzögerung oder Zwischenspeicherung der Abluft bis zu einem Klappenschluß zu sein. Für die Rückhaltung einer eventuell zu hoch kontaminierten Abluft gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Klappenschluß nach der Verzögerungsstrecke, wobei die Gefahr eines Austretens der Aktivität nach Überdruck gegeben ist.
- Klappenschluß am Zuluftkanal mit Gebläseabschaltung und keine Klappe nach der Verzögerungsstrecke. In diesem Fall kann eventuell ein geringer Anteil der aktiven Abluft in die Gesamtabluft diffundieren.

Die beste Möglichkeit ist, beides zu koppeln und während des Zyklotronbetriebs ein geschlossenes Lüftungssystem zu betreiben.

Die Klappensteuerung selbst sollte nach weniger als 2 Sekunden ansprechen.

Abb. 3 zeigt das Schema einer einfachen Anordnung zur Überwachung der

Abb. 3: Zyklotronraum-Abluftmeßanordnung


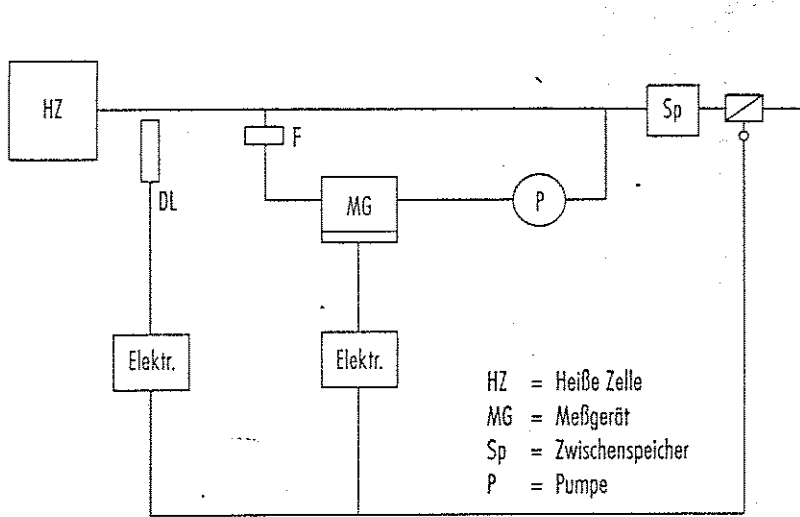


Abb. 4: Abluftüberwachung der Heißen Zelle

Zyklotronabluft mit Zwischenspeicher und Klappe. Die Bypassanordnung der Meßstelle erlaubt durch die Rückführung der Bypassluft in den Zyklotronraum auch bei Klappenschluß eine kontinuierliche Raumüberwachung.

2.3 Meßstelle für die Abluft der Heißen Zellen

Die größte Wahrscheinlichkeit für die Abgabe von Radioaktivität mit der Abluft liegt bei den Heißen Zellen. Deshalb ist diese Meßstelle am wichtigsten. Es kann eine gemeinsame Meßstelle nach der Zusammenführung der einzelnen Zellenzweige sein, oder je Zelle eine eigene Meßstelle. Welche Anordnung gewählt wird, ist davon abhängig, ob nach einem Störfall alle Zellen gleichzeitig gesperrt werden können oder nicht.

Aufgrund der verhältnismäßig geringen Luftdurchsätze (normal ca. 10m³/h pro Zelle) ist die Abluftüberwachung der Heißen Zellen meßtechnisch am problemlosesten, jedoch ist aufgrund des hohen Gammapegels (511 keV) meistens ein erhöhter Abschirmaufwand nötig. Da meistens - zumindestens für einen Teil der Zellenluft - eine Zwischenspeicherung erfolgt (Kompressorsysteme, Zwischenspeichervolumen aus Plastik

o.ä.), wird die Luft aus dem Zwischenspeicher ebenfalls über diese Meßstelle abgegeben. Für die Klappensteuerung gilt genau dasselbe wie bei der Abluftmeßstelle des Zyklotronraums schon besprochen.

Abb. 4 zeigt das Schema für die Überwachung einer Heißen Zelle mit zusätzli-

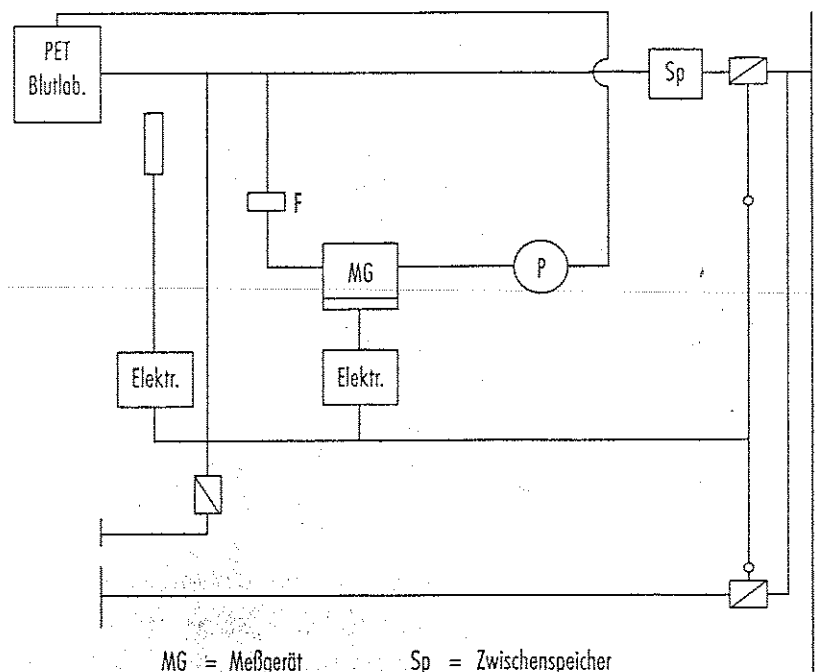
cher Störfall-Dosisleistungsmeßstelle zur Schnellschlußauslösung der Klappensteuerung.

2.4 Überwachung der Abluft aus dem PET-Raum und weiteren Labors

Hier gilt dasselbe wie schon für die Abluftmeßstellen des Zyklotronraums und den Heißen Zellen angegeben, jedoch müssen die Anforderungen entsprechend den Lüftungsverhältnissen angepaßt werden. Im PET-Raum ist zu beachten, daß eventuell eine Kapellenabluflhaube vorhanden ist, die in die Überwachung integriert werden muß. Durch geschickte Auslegung der Abluftmeßsysteme können diese auch gleichzeitig zur Raumluftüberwachung, auch während eines Lüftungsabschlusses, verwendet werden.

Abb. 5 zeigt das Planungsbeispiel einer Anordnung mit kombiniertem Sperrsystem für Laborräume, in die Aktivitäten bei einem Störfall eintreten können, die aber keine eigene Luftüberwachungsmeßstelle besitzen. Die gezeigte Anordnung überwacht den Kapellenabzug mit

Abb. 5: Abluftüberwachung des PET-Raums und der Labors mit kombiniertem Sperrsystem



einer Störfall-Dosisleistungsmeßstelle. Nach Zuführung der Raumabluft erfolgt eine gemeinsame Aktivitätsüberwachung mit nachfolgendem Zwischenspeicher. Bei einer Grenzwertüberschreitung wird gleichzeitig die Abluft aus den angrenzenden Labors mit gesperrt.

3 Arten und Leistung verschiedener Detektoren

3.1 Gamma-Messung mit dem Szintillationszähler

Diese Methode wird im Ausland häufig angewendet, da dort die gesetzlichen Bestimmungen unempfindlichere Geräte zulassen. Typische Bypass-Meßsysteme mit abgeschirmter Meßkammer werden zwar in der Literatur empfohlen [1], erreichen aber nur Nachweisgrenzen im MBq/m³-Bereich. Bypass-Meßstellen lassen sich werkseitig kalibrieren. Meßstellen mit direkt in den Abluftschacht eingesetztem Detektor sind empfindlicher, dagegen ist eine Kalibrierung erst vor Ort und mit Aktivitäts-Eingabe in das gesamte Lüftungssystem möglich. Außerdem muß der Lüftungskanal im Detektor-Sichtbereich abgeschirmt werden, um Störungen durch externe Einstrahlung zu reduzieren. Der größte Nachteil dieser Meßanordnung für die Bilanzierung ist jedoch das undefinierte Einzugsvolumen für die 511-keV-Gammastrahlung. Der Szintillationszähler im Abluftschacht „sieht“ Aktivität aus einem Luftvolumen, das die Meßstelle noch gar nicht erreicht hat. Dies führt unter Umständen zu einer Überbewertung der Abgabe.

Für die Abluft aus dem Zyklotronbereich muß eine gesonderte Kalibrierung für ⁴¹Ar (1,29 MeV) erfolgen, da die energetische Empfindlichkeit des Szintillationszählers für diese Energie geringer ist. Da eine spektrometrische Erfassung Langzeitstabilität erfordert, ist auf konstante Temperaturverhältnisse am Meßort zu achten. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Szintillationszähler zur PET-Abluft-

überwachung unter bei uns vorliegenden Bedingungen für die Bilanzierung zu unempfindlich und als sogenannte „Vormeßstelle“ zu aufwendig sind.

3.2 Beta-Aktivitätsmessung mit Großflächen-Proportionalzählern

Positronen verhalten sich hinsichtlich der Ionisation in Gasen genauso wie Elektronen (Betateilchen) der gleichen Energie. Die Unkenntnis dieser Tatsache führt häufig zur Ablehnung der Aktivitätsmessung über die Beta⁺-Strahlung. Ungeachtet dessen kann die Beta-Messung mit Großflächen-Proportionalzählrohren als das optimale Meßverfahren für Positronenstrahler und gasförmige Beta-Aktivitäten gelten. Durch die geringe Gamma-Empfindlichkeit (<1%) der Proportionalzählrohre und der Kompensationsmöglichkeit mittels Schirmzählrohr erlaubt dieses Zählrohr auch eine Anpassung an große Meßvolumina. Die aktive Fläche von bis zu 1000 cm² übertrifft die aktive Eintrittsfläche eines Szintillationszählers und damit auch dessen Nachweisempfindlichkeit bei weitem. Meßkammern für diese spezifische Anwendung und ihre Nachweisgrenzen sind schon

früh in der Literatur beschrieben worden [2].

Heute stehen je nach Anforderung kalibrierte Meßkammern mit Volumina von 2,9-l bis 86-l zur Verfügung. Damit ist das erforderliche Meßspektrum bis zur Bilanzmeßstelle abgedeckt. Ein direktes Anbringen der Detektoren an einem Lüftungsschacht ist zwar möglich, jedoch aus den beim Szintillationszähler beschriebenen Gründen nicht zu empfehlen. Falls sich außerdem nach der Kalibrierung herausstellen sollte, daß die Empfindlichkeit unzureichend ist, muß das gesamte Meßsystem geändert werden.

Für die Bilanzmeßstelle hat sich die schon länger bekannte Meßkammer von 86-l-Volumen mit angeflanschem Proportionalzählrohr im Bypass bewährt. Der Luftdurchsatz beträgt ca. 25 m³/h. Die Entnahme ist isokinetisch ausgeführt und mit einem Aerosolverfilter ausgestattet. Mit dieser Anordnung ist bei einem 5fachen Luftwechsel eine Überwachung des Grenzwertes von 200 Bq/m³ in einem Meßzyklus von nur 4 Min. möglich. Es werden damit auch zeitlich schnelle Abgaben erfaßt und auch für die Bilanzierung integriert.

Das erste bekannte Zeugnis der Strahlen-Phobie

Stoßseufzer eines Furchtsamen

Überall Professor Röntgen,- die Begeist'ung will nicht end'gen. Mir wird schon allein beim Klange dieses Namens schrecklich bange und erfaßt mich grauser Schrecken: Mußte er denn auch entdecken die Memento-Mori-Strahlen? In den Blättern und Journalen und in allen Auslag-Fenstern wimmelt's heute von Gespenstern! Darf, soll mich die Furcht nicht lähmen, kein

Journal zur Hand mehr nehmen, und ich fühl's, daß ich zum Schluß noch am Gruseln sterben muß. Schreibt sodann auf meine Truhe, daß in mir, der ich hier ruhe, ward ein Opfer hingerafft der modernen Wissenschaft!

Autor unbekannt; Meggendorfer Humoristische Blätter, Mai 1896[1] Eingesandt von Dipl.-Phys. Marie-Ann Maushart, M.A.

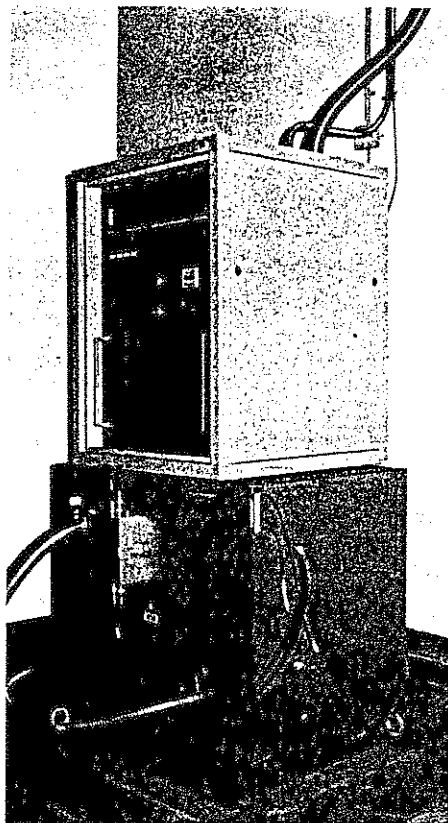


Abb. 6: Detektoranordnung LB 101 B mit 86-I-Meßkammer

Abb. 6 zeigt eine derartige Detektoranordnung mit 5 cm Bleiabschirmung und integrierter Durchsatzmeßelektronik. Die Bilanzelektronik ist getrennt angeordnet. Für die Vormeßstellen können verschiedene Meßkammern von mit Volumina zwischen 3 und 11-l, mit angeflanschten Proportionalzählrohren von 100 cm³ oder 200 cm³ eingesetzt werden. Welche Kammern in Frage kommen, ist vom Lüftungsverhältnis abhängig. Diese Kammern werden ebenfalls im Bypass über eine Pumpeneinheit von bis zu 10 m³/h an den Abluftkanal angeschlossen. Die 11-l Kammer erlaubt auch den direkten Einsatz in Abluftleitungen bis zu 160 mm Rohrdurchmesser. Diese Einheiten können ebenfalls mit Blei abgeschirmt und mit einem Kompensationszählrohr ausgestattet werden.

Abb. 7 zeigt die 11-l-Meßkammer, die mit bis zu 3 Meßdetektoren und einem Kompensationsdetektor versehen werden kann. Diese Anordnung ist aus Lüf-

tungstechnischen Gründen so ausgeführt, um ein geringes Kammervolumen bei großflächigen Detektoranordnungen zu erreichen. Das ermöglicht eine schnelle Reaktionszeit für ein minimales Zwischenspeichervolumen vor den Absperrklappen.

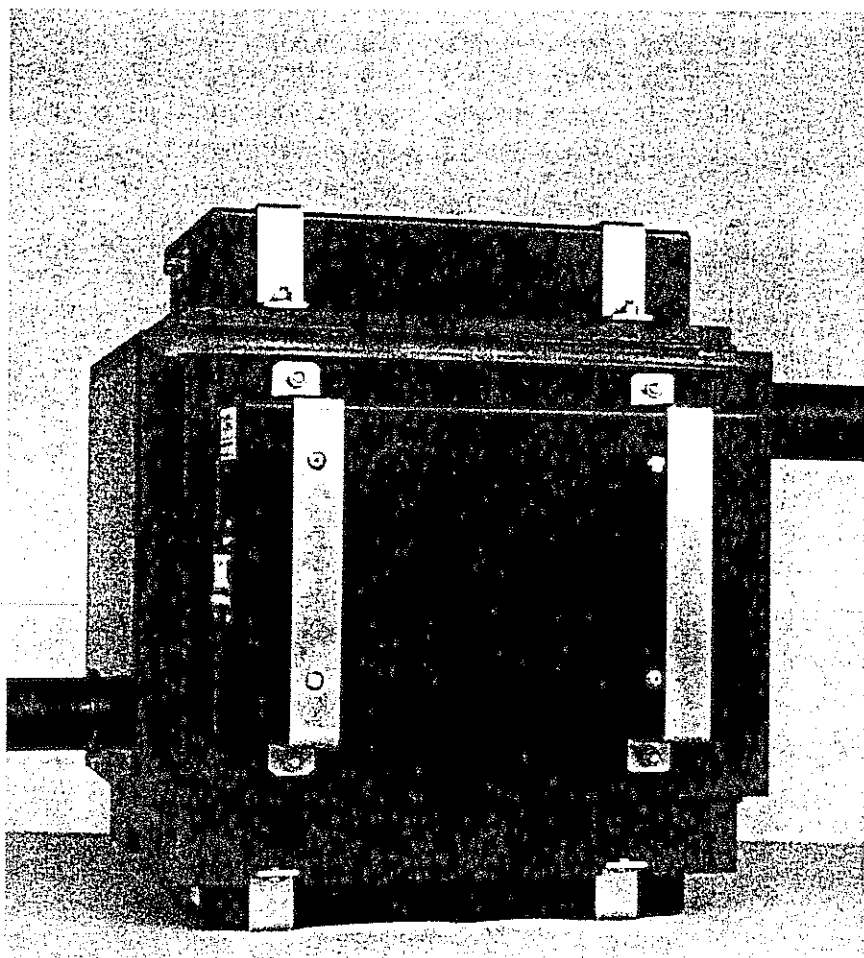
3.3 Dosisleistungsmessung mit GM- oder Proportionalzählrohren

Zur raschen und zuverlässigen Erkennung schneller Aktivitätsanstiege, der sogenannten Störfallüberwachung, werden zusätzlich zu den Aktivitätsmeßstellen mit ihrem verhältnismäßig langen Meßzyklus Dosisleistungsdetektoren eingesetzt. Sie sind an den Abluftrohren angeflanscht und werden typisch mit einer Ratemeterzeitkonstante von 0,2 Sekunden betrieben, so daß bei

einem Nulleffekt von $< 1 \mu\text{Sv/h}$ beim doppelten Wert = $2 \mu\text{Sv/h}$ ein Alarm ausgelöst werden kann. Diese $2 \mu\text{Sv/h}$ können bereits ca. 2 Sekunden nach einem Störfall erreicht werden. Dies ermöglicht im Einzelfall eine weitere Reduzierung der Zwischenspeichervolumen.

Zur Aktivitätsüberwachung reicht die Nachweisempfindlichkeit einer solchen Detektorenanordnung allerdings nicht aus. Zum Beispiel hat ein empfindliches Gamma-Proportionalzählrohr mit ca. 300 mm aktiver Länge an einem Abluftrohr von 125 mm \varnothing einen Kalibrierfaktor von 51,4 MBq/m³/ips. Dem steht die für die genannte 11-l-Meßkammer ein Kalibrierfaktor von ca. 870 Bq/m³/ips gegenüber.

Abb. 7: Meßkammer mit 11-l Volumen und 3 Meßdetektoren



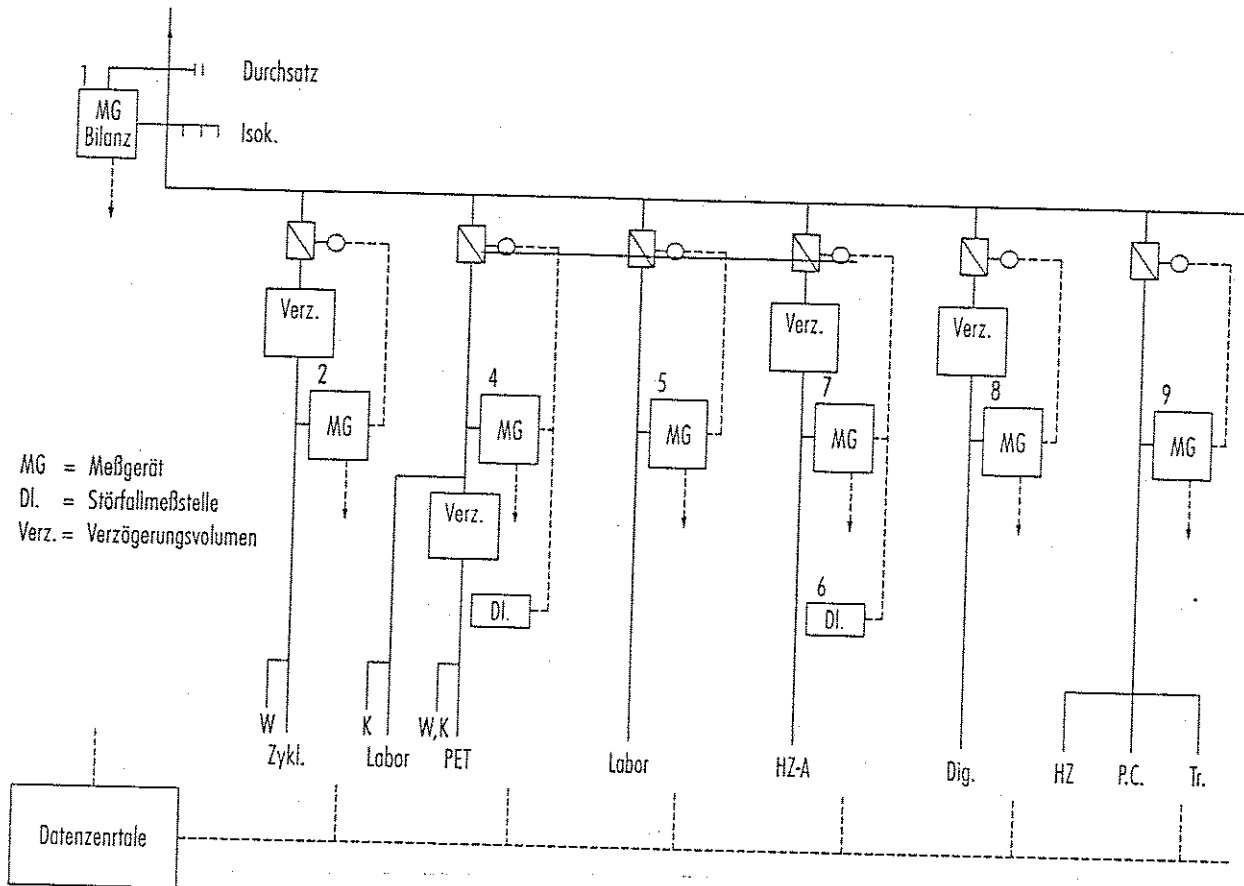


Abb. 8: Gesamtsystem der PET-Abluftüberwachung mit zentraler Datenerfassung

4. Zentrale Datenerfassung

Die komplette Planung muß außer der eigentlichen Aktivitätsmeßtechnik auch die isokineticen Probenahme-einrichtungen, Montage von Rohrleitungen und Abschirmungen und die Elektroinstallation berücksichtigen. Ein spezieller Punkt, der mit dem Betreiber sehr sorgfältig und ebenfalls schon im Planungsstadium abgestimmt werden muß, ist Art und Umfang der Datenerfassung. Software für lokale Datenzentralen ist heute in unterschiedlichen Ausführungen vorhanden. Der Betreiber tut im Interesse eines voll funktionsfähigen Gesamtsystems gut daran, auf eine solche bewährte Software zurückzugreifen und eigene Sonderwünsche beispielsweise über die Art der grafischen Datendarstellung be-

stenfalls in engen Grenzen zu halten und außerdem Meßgeräte und Auswertesoftware nach Möglichkeit aus einer Hand zu beziehen [3].

Abb. 8 zeigt abschließend das Schema eines gesamten PET-Abluftsystems. ■

LITERATUR:

- [1] Mukherjee, B., A novel Positron Detector for stack monitoring at the national medical cyclotron; Report of the National Medical Cyclotron, PMB 12, Camperdown, NSW 2050, October 1993
- [2] Maushart, R., Überwachung auf radioaktive Gase; in: Raum- und Abluftüberwachung auf Radioaktivität (L.A. König, Hrsg.), Kolloquium des Fachverbandes für Strahlenschutz am 15./16.11.1973 in Karlsruhe, FS-2, S. 47-70
- [3] Lokales Strahlenschutz-Meßnetz; EG&G-Firmenschrift. Bad Wildbad, August 1993

STICHWORTE:

Positronenemissions-Tomograph; Abluftüberwachung; Zyklotron-Überwachung.



AUTOR:

Peter Nemecek, geb. 1937, war nach dem Besuch der Fachschule für Elektrotechnik in Wien ab 1955 bei Siemens-Reiniger, ab

1960 mit einer kurzen Unterbrechung bis 1982 bei Frieseke & Hoepfner in Erlangen tätig. Zunächst Außendienst-Ingenieur im Service und Betrieb, avancierte er zum Verkaufsaußendienstleiter und dann zum Produktmanager Strahlenschutz. Seit 1983 setzt er seine umfangreiche Erfahrung in der Projektierung und Ausführung von Strahlenschutz-Instrumentierungen bei EG&G Berthold, Bad Wildbad, als Manager für Strahlenschutzsysteme ein.

ANSCHRIFT DES AUTORS:

Peter Nemecek, EG&G Berthold Büro für Strahlenschutzsysteme, Spardorferstraße 25a, 91054 Erlangen.