



KfK 3108
Februar 1981

Dosimetrische Eigenschaften der Taschen-Dosismeß- und Warngeräte Typenreihe Alnor RAD 21L, RAD 21H, RAD 22

M. Hauser, B. Burgkhardt, E. Piesch
Hauptabteilung Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Sicherheit

KfK 3108

Dosimetrische Eigenschaften der Taschen-
Dosismeß- und Warngeräte Typenreihe
Alnor RAD 21L, RAD 21H, RAD 22

M. Hauser, B. Burgkhardt, E. Piesch

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Innerhalb der Personenüberwachung werden Taschendosimeter mit eingebauter Alarmvorrichtung in zunehmendem Maße eingesetzt. Der Bericht gibt die Ergebnisse eines in Karlsruhe durchgeführten Testes des Taschendosimetergerätes mit Dosis- und Dosisleistungswarner vom Typ Alnor RAD 21L, RAD 21H und RAD 22 wieder. Untersucht wurden insbesondere

- die Linearität und Reproduzierbarkeit der Dosisanzeige sowie der akustischen Alarmanzeige,
- die Abhängigkeit der Dosisanzeige von der Photonenenergie, der Richtung des Strahleneinfalles, der Dosisleistung und der Temperatur,
- die Arbeitscharakteristik des Akkumulators.

Dosimetric Properties of the Pocket Alarm Dosimeter Type Alnor
RAD 21L, RAD 21H, RAD 22

Abstract

In personnel monitoring pocket dosimeters with build-in alarm devices are increasingly in use. The report presents results of a test performed at Karlsruhe for the pocket dose and alarm meter type Alnor RAD 21L, RAD 21H, RAD 22. The properties investigated are above all

- linearity and reproducibility of the dose reading as well as of the acoustic alarm indication,
- dependence of the dose reading on the photon energy, the direction of the radiation incidence, the dose rate, the temperature,
- operational characteristic of the batteries.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Dosisanzeige und Chargenstreuung	3
3. Akustische Warnanzeige	5
4. Energie- und Richtungsabhängigkeit	8
5. Dosisleistungsabhängigkeit	13
6. Temperaturabhängigkeit	15
7. Betriebsdauer des Akkumulators	17
8. Einsatzmöglichkeiten in der Personenüberwachung	18

1. Einleitung

Das Taschendosimeter - Dosis- oder Dosisleistungswarner - in den Ausführungen RAD 21L, RAD 21H und RAD 22 der Firma Alnor, Finnland *), ist ein direkt ablesbares Dosimeter mit Digitalanzeige der Dosis und einem akustischen Warner, der bei Erreichen einer vorwählbaren Dosischwelle (RAD 22) oder Dosisleistungsschwelle (RAD 21L und RAD 21H) einen Warnton auslöst. Die entsprechenden Meßbereiche für die Dosisanzeige sowie die diskreten Warnschwellen sind in Tab. 1 wiedergegeben.

Als Detektor wird ein Geiger-Müller-Zählrohr Type Philips ZP 1311 bzw. Type ZP 1300 verwendet, dessen Zählrate gespeichert und nach entsprechender Untersetzung bei Betätigung einer Drucktaste in Dosisseinheiten zur Anzeige gebracht wird. Die LED-Anzeige hat 4 Digitalstellen. Die Taschendosimeter ermöglichen die Auswahl einer von 6 Alarmschwellen, für RAD 21 eine wählbare Dosisleistung zwischen 1 mR/h bis 2500 mR/h, für RAD 22 eine wählbare Dosis zwischen 10 mR und 4000 mR. Die Schwellwerteneinstellung ist im Innern des Gehäuses vorzunehmen. Bei Überschreiten der Schwelle wird ein unterbrochener Alarmton ausgesandt.

	A L N O R			ZUM VERGLEICH GRAETZ ²⁾ TDW 10/20
	RAD 21L	RAD 21H ¹⁾	RAD 22	
Anzeige Dosisbereich (mR)	digital 0,1-999,9	digital 1-9999	digital 1-9999	analog 0-200 0-1500
Warnschwelle (mR)	-	-	10,40,100, 400,1000, 4000	20,100, 400,1500
mR/h	1,2.5, 10,25,100, 250	10,25,100, 250,1000, 2500		-

¹⁾ wird nicht mehr angeboten

²⁾ siehe auch [5]

Tab. 1: Dosisbereiche und Warnschwellen der untersuchten Taschendosimeter

*) Vertrieb: Firma Herfurth, Hamburg

Das Taschendosimeter wird mit drei aufladbaren Akkus oder mit drei 1,5 V Batterien betrieben und ist mit eingelegten Batterien betriebsbereit. Die Dosimeter enthalten keinen Schalter zum Ein- und Ausschalten, so daß bei eingelegten Batterien schon der natürliche Gammapegel registriert wird. Der angezeigte Meßwert kann nur mit einem speziellen Stecker oder durch einen Schalter am Batterieaufladegerät gelöscht werden. Bei Aufladung der Batterien in einer Aufladeeinheit von 3 oder 10 Dosimetern wird die Dosismessung automatisch unterbrochen. Bei Ausfall der Versorgungsspannung wird die akkumulierte Dosisinformation gelöscht.

Die Taschendosimeter können darüberhinaus an dem zusätzlich angebotenen Dosismeßgerät WDR-100 ausgewertet werden, das einen Intel 8080A Mikroprozessor zur Datenspeicherung und Verarbeitung benutzt. Die automatische Dosisauswertung sieht folgende Schritte vor:

- Ablesung der Dosis und Nulleinstellung der Dosisanzeige,
- Identifikation der Dosimeternummer für maximal 400 Dosimeter,
- Speicherung und Ausdruck von Dosimeternummer und der abgelesenen Dosis von personenbezogenen Daten, Datum und Uhrzeit,
- Registrierung der Tages-, 13 Wochen-, Jahres- und Lebensalterdosis.

Eine ausführliche Beschreibung der Funktionsweise und der Möglichkeiten der automatischen Ablesung und Datenverarbeitung bietet das Prospektblatt der Firma Herfurth [1].

Für den Gerätetest standen 5 Dosimeter der Gerätetype RAD 21L und RAD 21H sowie 10 Dosimeter der Type RAD 22 zur Verfügung. Bei den durchgeführten Meßreihen wurden entsprechend 5 bzw. 10 Dosimeter unter gleichen Bedingungen bestrahlt. Bei der Ergebnisdarstellung wird, wenn nicht anders vermerkt, der Mittelwert und die Standardabweichung wiedergegeben.

Die Kalibrierbestrahlung wurde mit ^{137}Cs -Gammastrahlung durchgeführt. Die Bestimmung der Energieabhängigkeit erfolgte mit gefilterter Röntgenbremsstrahlung unterschiedlicher Energie.

Die Untersuchung der dosimetrischen Eigenschaften erstreckte sich auf die Meßgenauigkeit der Dosisanzeige im vorgegebenen Dosisbereich, die Dosisgenauigkeit bei der Auslösung des Warntones an den Warnschwellen, den Zeitpunkt der akustischen Alarmauslösung, die Energie- und Richtungs-

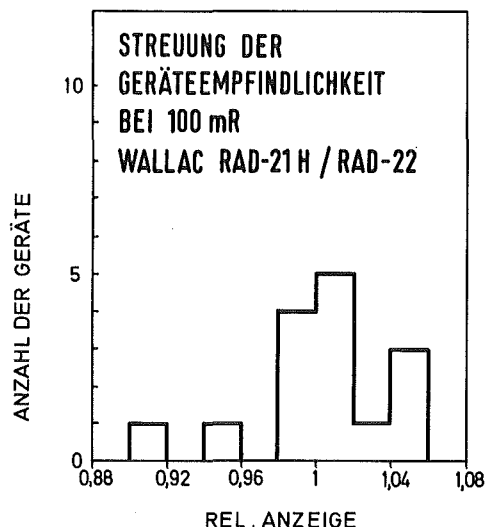


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der rel. Dosisanzeige bezogen auf die Standardionendosis von 100 mR für RAD 21H und RAD 22

abhängigkeit der Dosisanzeige, die Dosisleistungs- und Temperaturabhängigkeit der Dosisanzeige sowie die Entladungscharakteristik des eingebauten Akkumulators.

2. Dosisanzeige und Chargenstreuung

Die Chargenstreuung der Taschendosimeter RAD 21H und RAD 22 wurde über eine Kalibrierbestrahlung mit 100 mR ermittelt. Die entsprechende Häufigkeitsverteilung für 15 Geräte des Types RAD 21H und RAD 22 ist in Abb. 1 wiedergegeben. Die Maximalstreuung dieser 15 Geräte beträgt $\pm 8\%$ (1 s-Wert = 3,6%). Der entsprechende Wert für 5 Geräte des Types RAD 21L ist mit $\pm 4\%$ (1 s-Wert = 1,6%) nur halb so groß. Die Linearität der Dosisanzeige wurde bei einer Dosisleistung von 660 mR/h im vorgegebenen Dosisbereich von 0,1 bis 1000 mR für das RAD 21L Gerät und von 1 bis 10 000 mR für das RAD 21H und RAD 22 Gerät untersucht. Der Quotient Dosisanzeige/Standardionendosis ist in Abb. 2 in Abhängigkeit von der Standardionendosis wiedergegeben. Der angezeigte 1 s-Wert entspricht im wesentlichen der Chargenstreuung.

Die geringe Streuung der Dosisanzeige bei 1 mR und 3 mR war zunächst unerklärbar. Bedingt durch den digitalen Anzeigesprung von 0,1 mR bzw. 1 mR wäre hier eine systematische Meßwertabweichung bis zu 100 % zu erwarten.

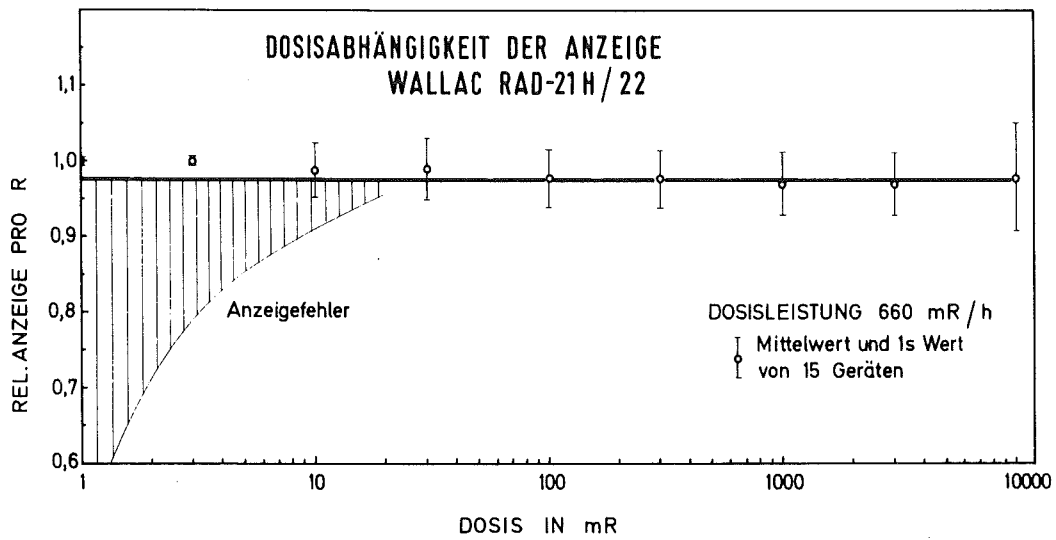
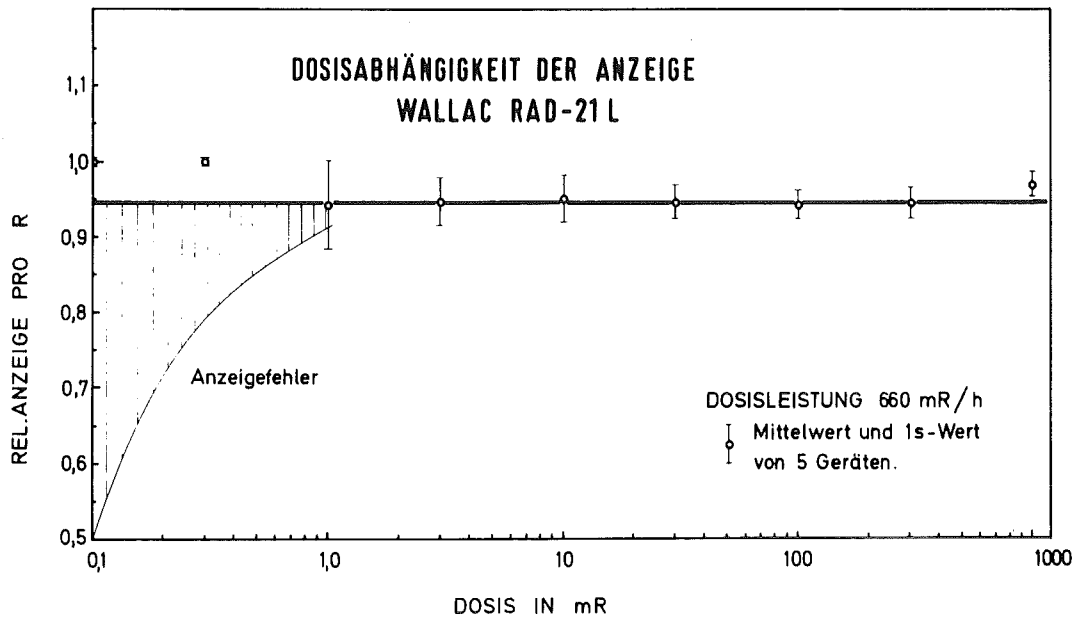


Abb. 2: Rel. Dosisanzeige der Taschendosimeter RAD 21L und RAD 21H/22 bezogen auf die Standardionendosis in Abhängigkeit von der Standardionendosis

Die geringe Fehleranzeige bei kleinen Dosen ist mit der elektronischen Untersetzung der Zählrohrimpulsrate zu erklären. Für das Gerät RAD 21L z.B. wird nach jeweils ca. 250 Zählrohrimpulsen die Anzeige um 0,1 mR erhöht. Solange sich die Zahl der Impulse zwischen 250 und $2 \times 250 = 500$ Impulsen bewegt, wird die Anzeige in jedem Fall 0,1 mR betragen. Nur im Übergangsbereich von 250 Zählrohrimpulse wird die Anzeige statistisch zwischen 0 und 0,1 mR schwanken. Die Untersetzung führt wegen der relativ großen Schrittweite im unteren Anzeigebereich u.U. zu einem Meßfehler von -100% unterhalb 0,1 mR bzw. - 10% bei 1 mR (RAD 21L).

3. Akustische Warnanzeige

Bei der Untersuchung der Warnschwellen wurde in einem Bestrahlungsversuch diejenige Dosis D ermittelt, welche zur Auslösung des akustischen Alarmes an der Warnschwelle S erforderlich ist. Die Häufigkeitsverteilung der relativen Abweichung $\frac{D-S}{D}$ zwischen der alarmanlösenden Dosis D und der angewählten Dosischwelle S ist in Abb. 3 für das Taschendosimeter RAD 22 für die vorgegebenen Dosissschwellen 10, 40, 100, 400, 1000 und 4000 mR wiedergegeben. Die Meßergebnisse zeigen eine mit der Dosischwelle veränderliche Alarmanlösung. Mit zunehmender Dosischwelle verzögert sich die Alarmanlösung, sie erreicht bei 4000 mR eine Abweichung zum angezeigten Meßwert von 14 %. Die Streuung innerhalb der Charge ist bei den höheren Schwellwerten von 400, 1000 und 4000 mR größer als bei den Schwellwerten kleinerer Dosen.

Bei dem Taschendosimeter mit vorwählbarer Dosisleistungsschwelle (RAD 21L und RAD 21H) wurde diejenige Zeit ermittelt, welche zur Auslösung des Alarmsignales erforderlich ist. Die Zeit bis zur Alarmanlösung ist im interessierenden Bereich der Dosisleistung von 1 mR/h bis 10^5 mR/h untersucht worden. Die Ergebnisse dieser Meßreihen in Abb. 4 zeigen, daß die Alarmanlösung bei der vorgegebenen Dosisleistung innerhalb eines Zeitraumes von 10 s , bei höheren Dosisleistungen schon nach 6 s erfolgt. Die Zeit bis zur Alarmanlösung erhöht sich jedoch schon um den Faktor 2, wenn die Dosisleistung nur um 20 % unterhalb der Schwellendosis bleibt. Die Mindestzeit von ca. 4 Sekunden bis zur Alarmanlösung ist bauartbedingt.

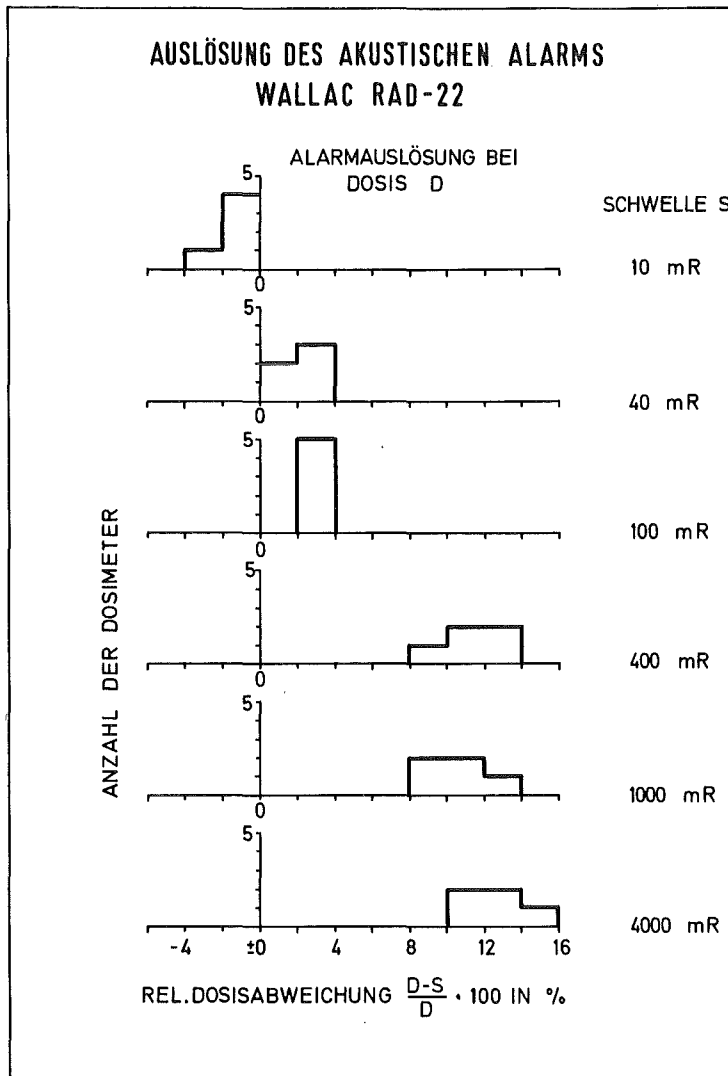


Abb. 3: Prozentuale Abweichung der alarmlösenden Dosis D von der gewählten Dosisschwelle S

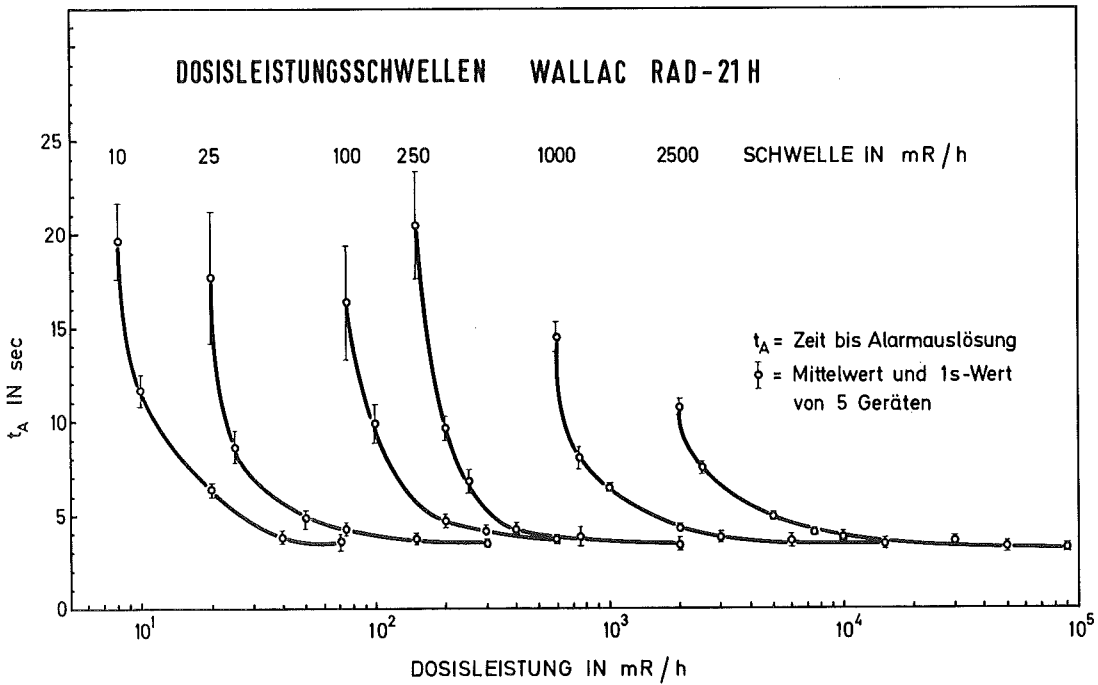
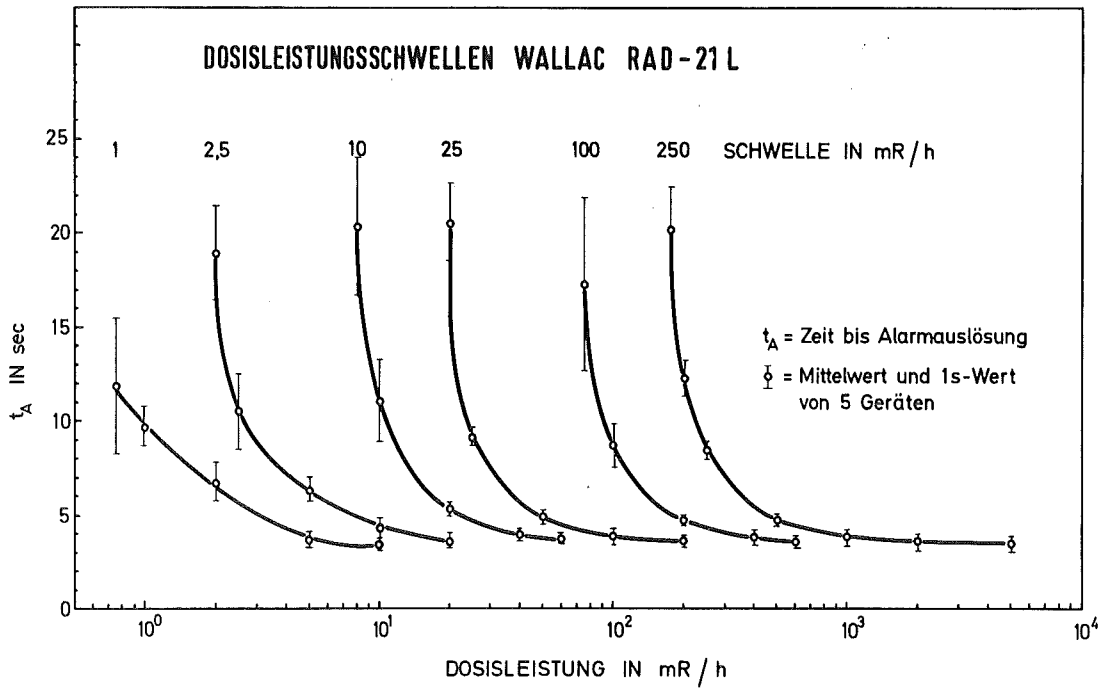


Abb. 4: Zeitpunkt der akustischen Alarmauslösung bei Vorgabe einer Dosisleistung und einer entsprechenden Dosisleistungsschwelle für die Taschendosimeter RAD 21L und RAD 21H

4. Energie- und Richtungsabhängigkeit

Die Bestimmung der Energieabhängigkeit erfolgte mit Röntgenbremsstrahlung der PTB-Filterung A (Tab. 2) [2]. Als Vergleichsdosimeter diente eine von der PTB für die jeweilige Energie kalibrierte Ionisationskammer, Type ST-Kammer 64 086 der Firma Pychlau, Freiburg. Bei der Darstellung der Meßergebnisse wurde der Quotient Dosisanzeige-Standardionendosis auf den entsprechenden Wert bei 662 keV bezogen. Die Energieabhängigkeit der Dosisanzeige zeigt Abb. 5 für das Taschendosimeter RAD 21L mit dem energiekompensierten Geiger-Müller-Zählrohr Type Valvo Philips ZP 1311 und für das Taschendosimeter RAD 21H mit dem entsprechenden Philips -Zählrohr ZP 1300.

a) Sehr harte Filterung (Serie A) :

Kurzbezeichnung	Röhrenspannung in kV	Zusatzfilterung				1. Halbwertschichtdicke in mm		Mittlere Energie in keV	
		Al	Cu	Sn	Pb	Al	Cu		
A 7,5	7,5	keine				0,025		6,5	
A 10	10	0,1				0,05		9	
A 15	15	0,5				0,15		12	
A 20	20	1,0				0,35		17	
A 30	30	4,0				1,2		26	
A 40*	40		0,21				0,09	33	
A 60	60		0,6				0,24	48	
A 80	80		2,0				0,59	65	
A 100	100		5,0				1,1	83	
A 120	120		5,0	1,0			1,7	100	
A 150	150			2,5			2,4	118	
A 200*	200		2,0	3,0	1,0		3,9	161	
A 250	250			2,0	3,0		5,2	205	
A 300	300			3,0	5,0		6,2	248	
Cs *	Caesium - 137 - Gammastrahlung							10,8	662
Co	Kobalt - 60 - Gammastrahlung							14,6	1250

* Diese Strahlungen werden als Bezugsstrahlungen verwendet. Sie dienen zur Realisierung der Bezugsenergien 30 keV, 150 keV und 662 keV.

Eigenfilterung: Angepaßt an 2 mm Beryllium für Röhrenspannung < 40 kV.
 Angepaßt an 4 mm Aluminium für Röhrenspannung ≥ 40 kV.

Tab. 2 : Verwendete Strahlenqualitäten(nach [2])

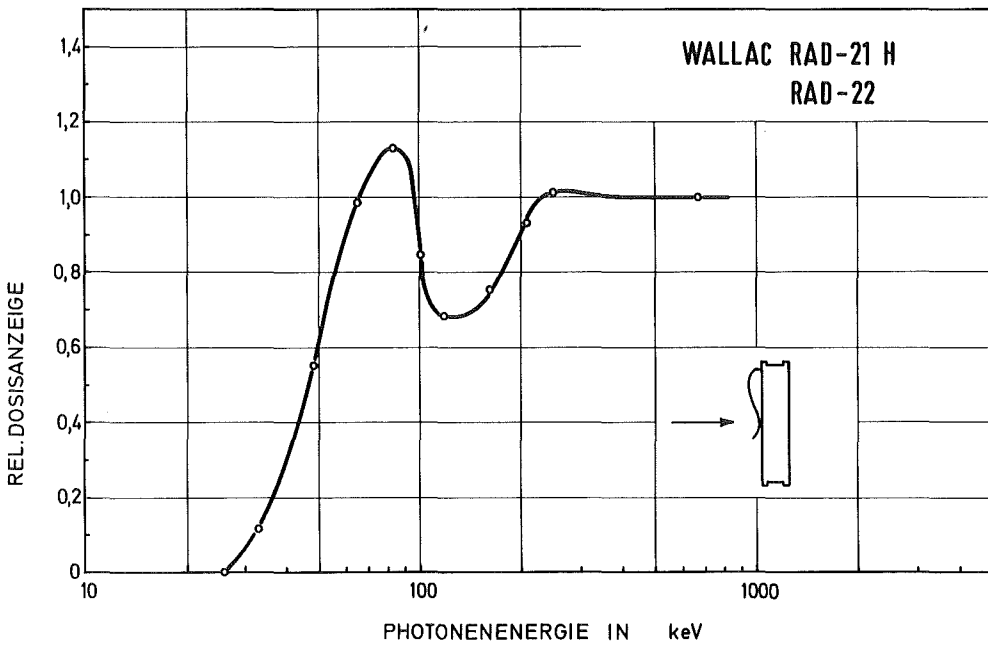
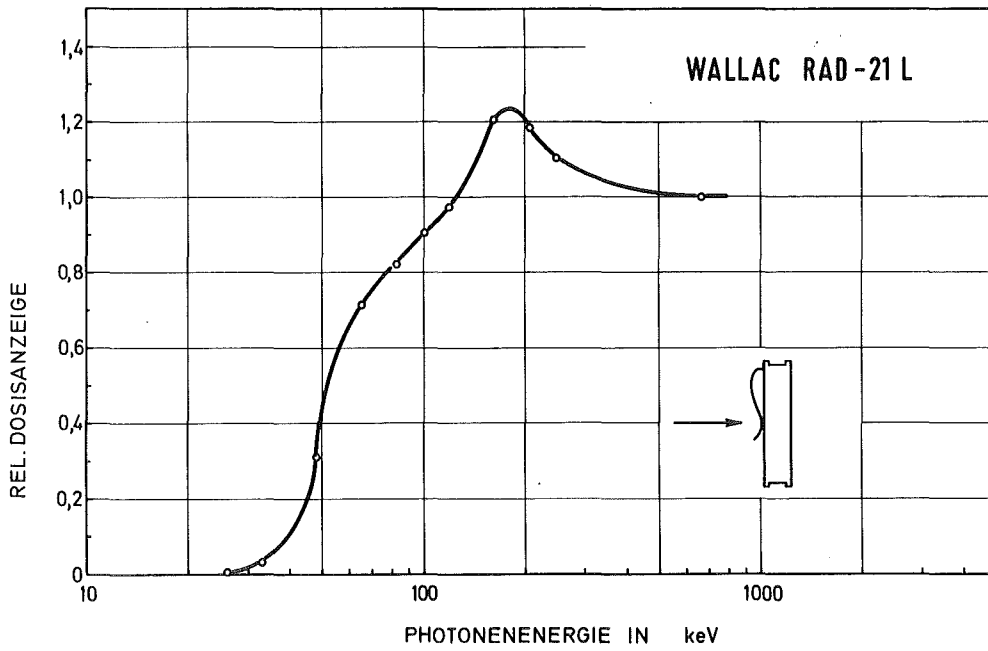


Abb. 5: Rel. Dosisanzeige der Taschendosimeter RAD 21L, RAD 21H und RAD 22 bezogen auf die Standardionendosis in Abhängigkeit von der Photonenergie und normiert auf die Anzeige bei 662 keV

Im Energiebereich 50 keV bis 662 keV beträgt die maximale Energieabhängigkeit $\pm 35\%$ für das Taschendosimeter RAD 22L und etwa $\pm 30\%$ für das Taschendosimeter RAD 21H und 22. Diese Werte sind etwas höher im Vergleich zu den Angaben von $\pm 20\%$ im Datenblatt [1]. Dort wird jedoch keine Vorzugsrichtung für den Strahleneinfall angegeben. Die Bestrahlung der Dosimeter erfolgte im vorliegenden Fall vertikal zur Dosimeterachse wie es der Tragweise in der Personenüberwachung entspricht.

Die Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige wurde mit Photonenenergien von 65 keV und 662 keV in zwei senkrecht zueinander liegenden Meßebenen untersucht. Die Meßergebnisse sind in Abb. 6,7 und 8 für die beiden Taschendosimetergruppen wiedergegeben.

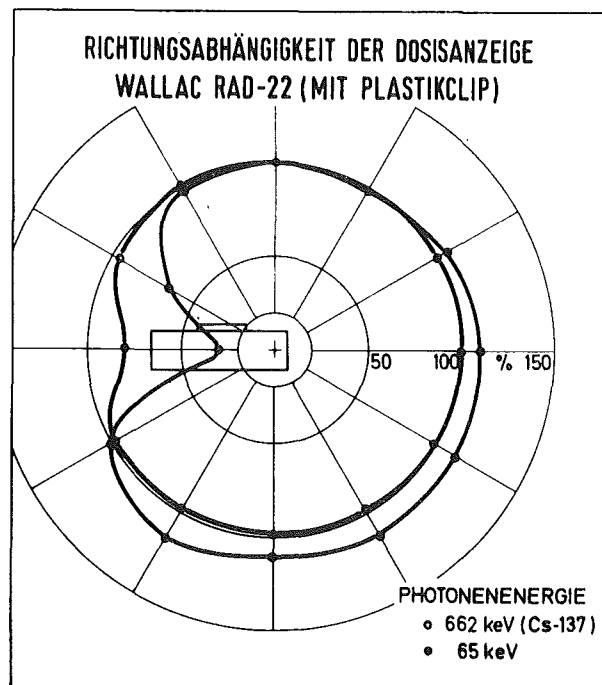


Abb. 6: Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 22 mit Plastikclip bei Einstrahlung in horizontaler Ebene für Photonenenergien von 65 keV und 662 keV

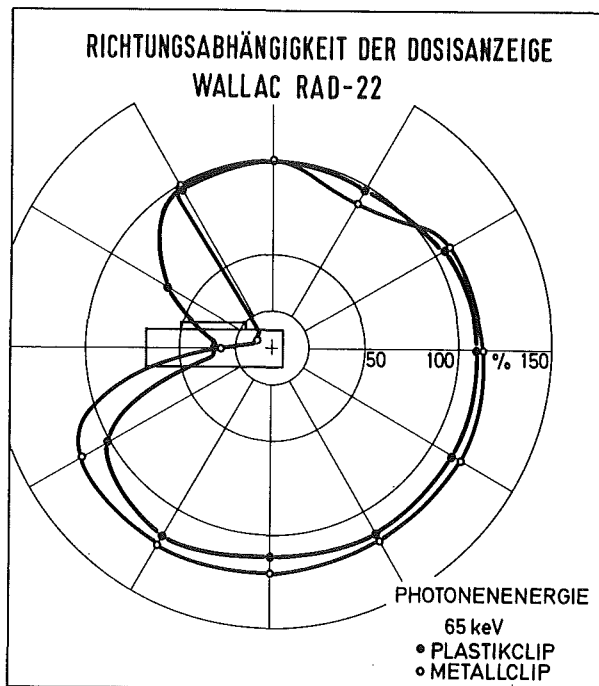
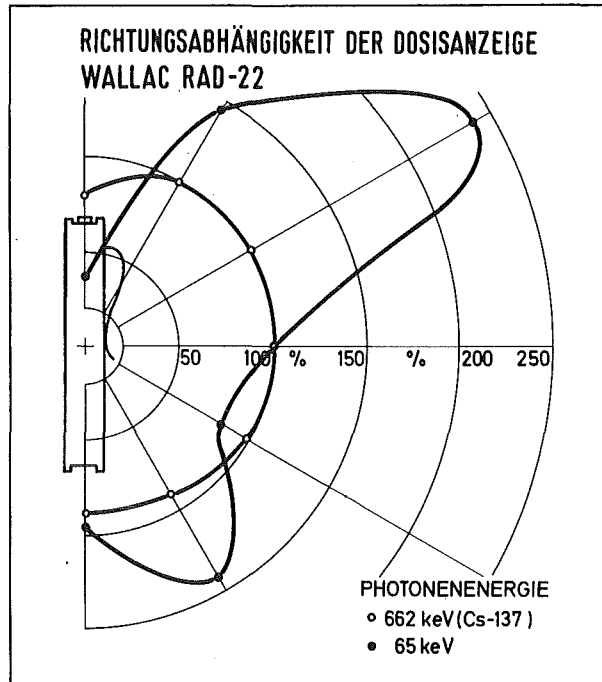


Abb. 7: Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 22 bei Einstrahlung in vertikaler und horizontaler Ebene für die Photonenenergien von 65 keV und 662 keV

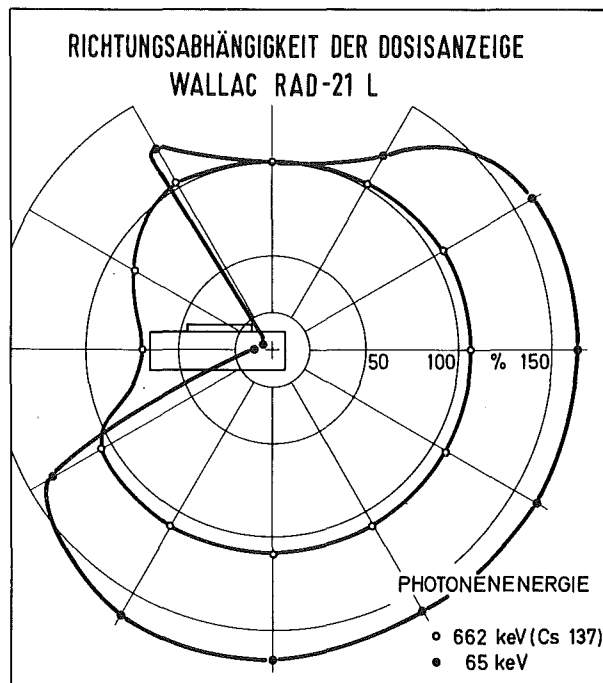
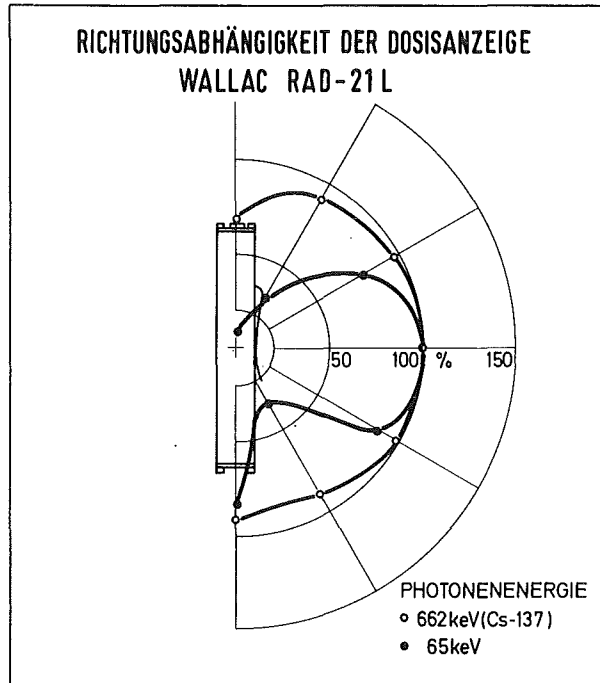


Abb. 8: Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 21L bei Einstrahlung in vertikaler und horizontaler Ebene für die Photonenenergien von 65 keV und 662 keV

Taschendosimeter RAD 22 wird in zwei Ausführungen, nämlich mit einem Plastik- und einem Metallclip angeboten (Abb. 6). Bei horizontaler Einstrahlung erhält man einen durch die Zählrohranordnung bedingten einseitigen Abfall der Dosisanzeige auf 10 % beim Metallclip (Abb. 7) und auf 35 % beim Kunststoffclip. Durch die Energiekompensierung des GM-Zählrohres Type Philips ZP 1300 ist die Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige bei energiearmer Röntgenstrahlung und Einstrahlung in der vertikalen Ebene besonders ausgeprägt.

5. Dosisleistungsabhängigkeit

Die Abhängigkeit der Dosisanzeige von der Dosisleistung ist in Abb. 9 und 10 wiedergegeben. Die Bestrahlungen erfolgten auf eine Dosis von 100 mR und 2000 mR bzw. 100 und 1000 mR.

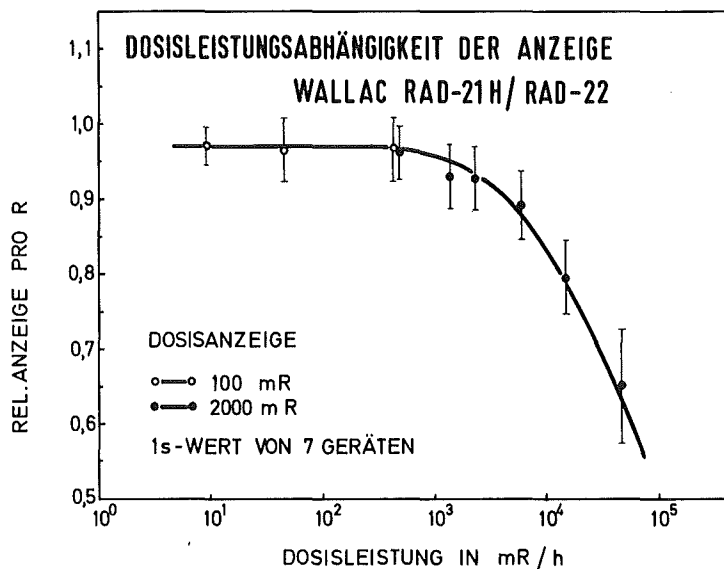


Abb. 9: Rel. Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 21H und RAD 22 bezogen auf die Standardionendosis in Abhängigkeit von der Standardionendosisleistung

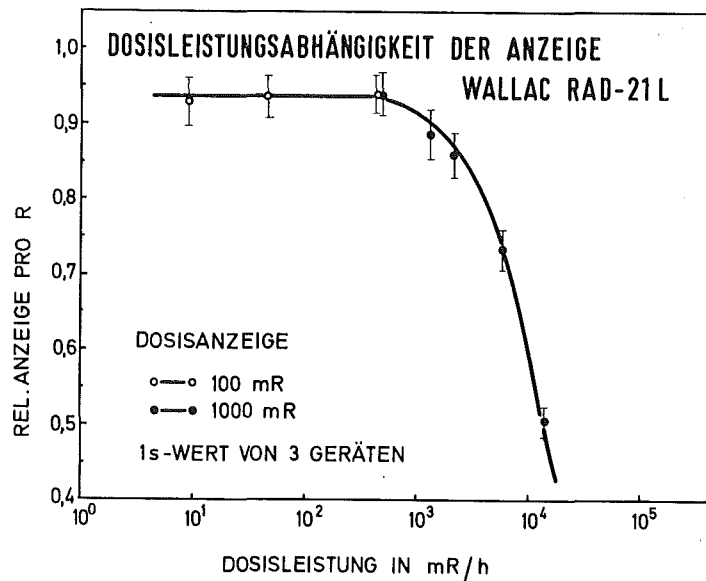


Abb. 10: Rel. Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 21L bezogen auf die Standardionendosis in Abhängigkeit von der Standardionendosisleistung

Der Abfall der Dosisanzeige bei einer höheren Dosisleistung ist auf die Totzeit des GM-Zählrohres zurückzuführen. Ein Meßfehler von - 15 % ergibt sich demnach bei einer Dosisleistung von etwa 7 R/h beim Taschendosimeter RAD 22 und 3 R/h beim RAD 21L-Gerät.

Nach den Angaben des Datenblattes [1] erstreckt sich der lineare Dosisbereich - bei einer zugelassenen Abweichung von $\pm 15\%$ - bis zu 30 R/h für das Taschendosimeter RAD 22 und bis zu 7 R/h für das Taschendosimeter RAD 21L. Dies entspricht nach Abb. 9 und 10 einem Anzeigefehler von - 30 % sowohl für das RAD 22-Gerät als auch für das RAD 21L-Gerät .

Bei Bestrahlung des Taschenwarner RAD 21L mit einer Dosisleistung von 400 R/h wird ordnungsgemäß die Warnanzeige ausgelöst, jedoch wird die Dosisanzeige auch bei längerer Bestrahlungszeit nicht erhöht.

6. Temperaturabhängigkeit

- Die Temperaturabhängigkeit der Dosisanzeige wurde im Temperaturbereich -20°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ mit jeweils 2 Dosimetern untersucht, welche
- bei Zimmertemperatur von 21°C bestrahlt, danach bei verschiedenen Temperaturen gelagert und sofort nach Entnahme aus dem Temperaturschrank ausgewertet wurden (Temperatureinfluß während der Auswertung),
 - bei verschiedenen Temperaturen im Temperaturschrank bestrahlt und sofort danach mit dem bei Zimmertemperatur gelagerten Auswertegerät abgelesen wurde (Temperaturenzeige während der Auswertung und Bestrahlung),
 - bei verschiedenen Temperaturen im Temperaturschrank bestrahlt und nach Abkühlung auf Zimmertemperatur abgelesen wurden (Temperatureinfluß während der Bestrahlung).

Die Ergebnisse, die in Abb. 11 und 12 wiedergegeben sind, zeigen für beide Geräteausführungen nur einen geringen Einfluß der Temperatur von etwa $\pm 2\%$ bei der Bestrahlung und Auswertung der Dosimeter und keinen Temperatureinfluß auf den gespeicherten Meßwert.

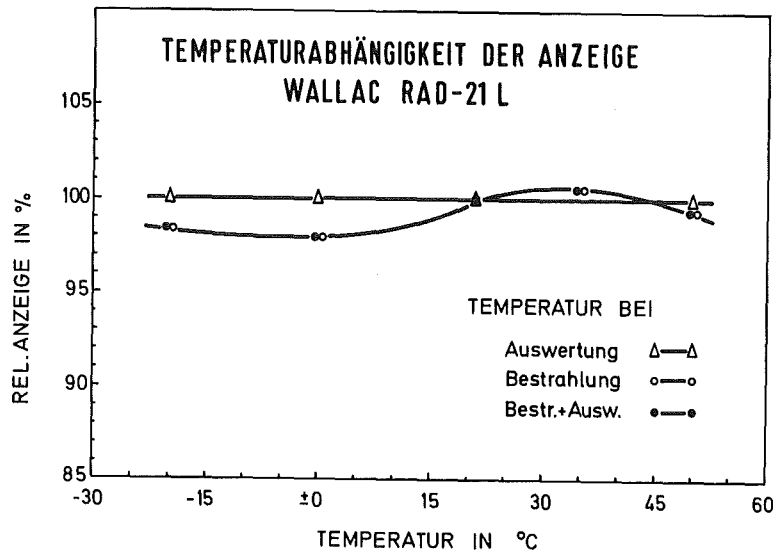


Abb. 11: Rel. Änderung der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 21L in Abhängigkeit von der Temperatur während der Bestrahlung, während der Auswertung sowie während der Bestrahlung und Auswertung

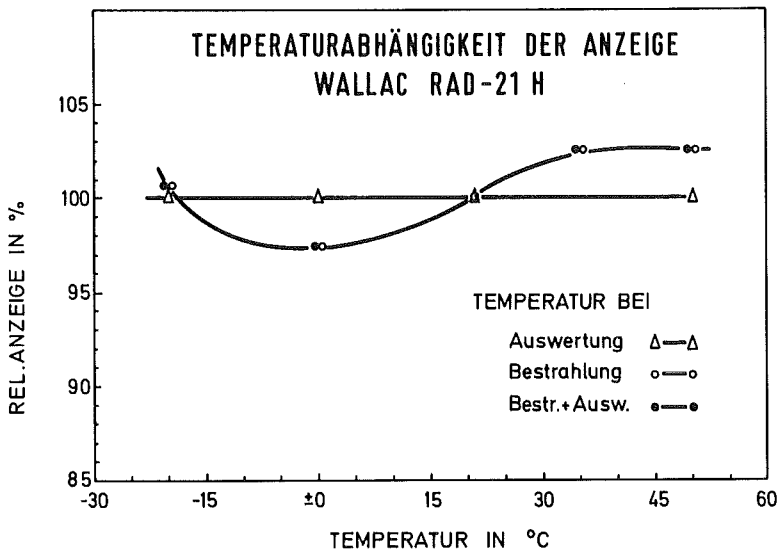
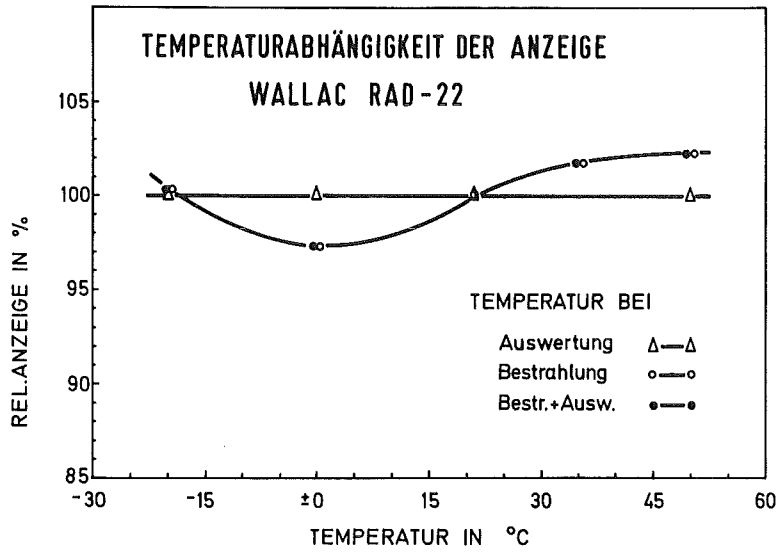


Abb. 12: Rel. Änderung der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 22 und RAD 21H in Abhängigkeit von der Temperatur während der Bestrahlung, während der Auswertung sowie während der Bestrahlung und Auswertung

7. Betriebsdauer des Akkumulators

Der Hersteller gibt für die aufladbaren Batterien (450 mAh) bei Normalbelastung eine Mindestbetriebsdauer von 300 h an. Die mindestens erforderliche Versorgungsspannung beträgt 3,3 V.

Zur Ermittlung der Entladungscharakteristik wurde parallel zum Akkumulator ein hochohmiges Voltmeter angeschlossen. In Abb. 13 wurde für die Taschendosimeter die Änderung der Betriebsspannung in Abhängigkeit der Betriebsdauer wiedergegeben. Die Ergebnisse zeigen, daß bei normalem Betriebszustand ohne LED-Anzeige auch bei höheren Dosisleistungen die geforderte Betriebsspannung erst nach einer Betriebsdauer von 600 h unterschritten wird. Bei Dauerbetrieb der LED-Anzeige (28 mA) und eines zusätzlichen Alarmtones (38 mA) entlädt sich die Batterie innerhalb eines Zeitraumes von 20 h. Der geringe Stromverbrauch des Taschendosimeters ist auf die digitale Direktanzeige und eine stromsparende Hochspannung zurückzuführen.

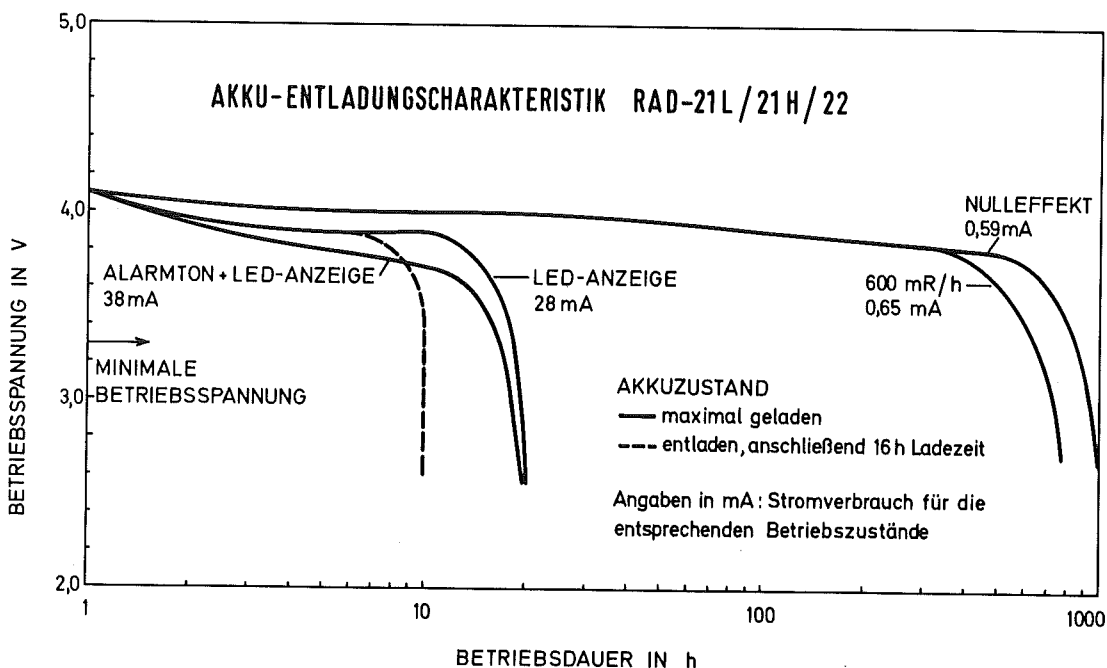


Abb. 13: Akku-Entladungscharakteristik des Taschendosimeters RAD 21L, RAD 21H und RAD 22 in Abhängigkeit von der Betriebsdauer für verschiedene Dosisleistungen. Die erforderliche Betriebsspannung ist 3,3 Volt.

8. Einsatzmöglichkeiten in der Personenüberwachung

Taschenwarngeräte fallen wie alle tragbaren und ortsfesten Dosis- und Dosisleistungsmeßgeräte unter die Zweite Verordnung über die Eichpflicht von Strahlenschutzmeßgeräten [3]. Nach Vorliegen einer Bauartprüfung durch die PTB sind damit auch Taschenwarngeräte innerhalb der Personenüberwachung hinsichtlich den Erfordernissen einer rechtserheblichen Messung der Personendosis anderen Personendosimetern gleichgestellt.

Hauptaufgabe des Taschenwarngerätes ist die Warnfunktion bei Überschreiten einer vorgegebenen wählbaren Dosis- bzw. Dosisleistungsschwelle. Solche Warngeräte werden u.a. auch in der Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle [4] bei bestimmten Tätigkeiten in Kontrollbereichen gefordert.

Die zusätzliche Digitalanzeige der Dosis sowie die jederzeitige Ablesung bzw. Auswertung des Dosimeters mindestens am Ausgang des Kontrollbereiches läßt es zu, auf das Tragen zusätzlicher Füllhalterdosimeter zu verzichten. Bei der Auswahl des zweckmäßigen Dosimeters werden vor allem praktische Gesichtspunkte eine Rolle spielen. Zu beachten sind allerdings die unterschiedlichen dosimetrischen Eigenschaften dieses Gerätetyps, insbesondere die Energieabhängigkeit und Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige sowie die Abhängigkeit der Dosisanzeige von der Dosisleistung.

Literatur

- [1] Prospektblatt der Firma Herfurth
- [2] B.A. Engelke und W. Oetzmann
PTB-Prüfregeln, ISSN 0341-7964, 1977
- [3] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle
(§ 62 und 63 StrSchV) vom 5.6.1978, GMBI, Nr. 22, S. 348, 1978
- [4] Zweite Verordnung zur Änderung der Ausführungsverordnung zum
Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 12.12.77, BGBl., I., S.2537,
1977
- [5] KfK-Bericht 2898, 1980

- Abb. 1 Häufigkeitsverteilung der rel. Dosisanzeige bezogen auf die Standardionendosis von 100 mR für die Taschendosimeter RAD 21H und RAD 22
- Abb. 2 Rel. Dosisanzeige der Taschendosimeter RAD 21L und RAD 21H/22 bezogen auf die Standardionendosis in Abhängigkeit von der Standardionendosis
- Abb. 3 Prozentuale Abweichung der alarmauslösenden Dosis D von der gewählten Dosischwelle S
- Abb. 4 Zeitpunkt der akustischen Alarmauslösung bei Vorgabe einer Dosisleistung und einer entsprechenden Dosisleistungsschwelle für die Taschendosimeter RAD 21L und RAD 21H
- Abb. 5 Rel. Dosisanzeige der Taschendosimeter RAD 21L, RAD 21H und RAD 22 bezogen auf die Standardionendosis in Abhängigkeit von der Photonenenergie und normiert auf die Anzeige bei 662 keV
- Abb. 6 Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 22 mit Plastikclip bei Einstrahlung in horizontaler Ebene für Photonenenergien von 65 keV und 662 keV
- Abb. 7 Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 22 bei Einstrahlung in vertikaler und horizontaler Ebene für die Photonenenergien von 65 keV und 662 keV
- Abb. 8 Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 21L bei Einstrahlung in vertikaler und horizontaler Ebene für die Photonenenergien von 65 keV und 662 keV
- Abb. 9 Rel. Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 21H und RAD 22 bezogen auf die Standardionendosis in Abhängigkeit von der Standardionendosisleistung
- Abb. 10 Rel. Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 21L bezogen auf die Standardionendosis in Abhängigkeit von der Standardionendosisleistung
- Abb. 11 Rel. Änderung der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 21L in Abhängigkeit von der Temperatur während der Bestrahlung, während der Auswertung sowie während der Bestrahlung und Auswertung
- Abb. 12 Rel. Änderung der Dosisanzeige des Taschendosimeters RAD 22 und RAD 21H in Abhängigkeit von der Temperatur während der Bestrahlung, während der Auswertung sowie während der Bestrahlung und Auswertung
- Abb. 13 Akku-Entladungscharakteristik des Taschendosimeters RAD 21L, RAD 21H und RAD 22 in Abhängigkeit von der Betriebsdauer für verschiedene Dosisleistungen. Die erforderliche Betriebsspannung ist 3,3 Volt.