

Expositionsmessungen an tragbaren Röntgenfluoreszenzanalysatoren

Thomas Ludwig¹⁾, Frank Börnsen¹⁾, Dirk Höwekenmeier²⁾, Erich Reinhardt²⁾

1) Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Köln

2) Bezirksregierung Köln, Dezernat 55

1. Vorbemerkungen

Bei der Bestimmung von Legierungsbestandteilen in metallischen Werkstoffen, sowie Untersuchungen auf Schwermetalle in Kunststoffen, kommen **Röntgen Fluoreszenz Analysegeräte** (RFA- Geräte) zum Einsatz. Die Analysatoren senden Röntgenstrahlung auf die zu untersuchende Probe. Die rückgestreute Fluoreszenzstrahlung wird analysiert und gibt Auskunft über die Zusammensetzung der Probe. Bisher vorliegende Unterlagen über mobile RFA- Geräte belegen, dass am Austrittsfenster der Analysegeräte hohe Dosisleistungen auftreten können. Die vorgelegten Messwerte sind jedoch nicht immer nachvollziehbar, es fehlen Angaben, wie die Werte zustande gekommen sind oder es sind ungeeignete elektronische Messgeräte verwendet worden. Um dies zu verifizieren wurden von der BG ETEM in Zusammenarbeit mit der Bezirksregierung in Köln an fünf diversen mobilen RFA- Geräten eigene Dosisleistungsmessungen durchgeführt. Dabei stand nicht im Vordergrund die realistischen Anwenderbedingungen zu verwenden, sondern die maximal mögliche Dosisleistung zu erfassen. Dies vor dem Hintergrund einer Worst-Case-Betrachtung für den Fall, dass die Geräte nicht bestimmungsgemäß verwendet werden oder Sicherheitseinrichtungen versagen. Aus diesem Grunde wurden an den Geräten Einstellungen vorgenommen, die sonst im Routinebetrieb nicht üblich sind.

2. Messprinzip und verwendete Messgeräte

Bei den RFA- Geräten sind elektronische Messgeräte zur Bestimmung der Ortsdosis ungeeignet. Dies liegt daran, dass das Messvolumen im stark fokussierten Primärstrahl in der Nähe des Austrittsfensters nicht homogen exponiert wird, sowie an der Trägheit der Messgeräte und der kurzen Strahlzeit. Deshalb sind diese nur zur groben Lokalisierung des Intensitätsmaximums im Nutzstrahl bzw. im Streustrahl geeignet.

Es wurde daher die Methode der Thermolumineszenzdosimetrie zur Messung gewählt. Der Energiebereich dieser TLD's ist empfindlich von 10 keV bis 10 MeV und der Messbereich liegt zwischen 1 μ Sv und 10 Sv. Die Kalibrierungen wurden auf die Messgröße $H^*(10)$ durchgeführt. Um im Hinblick auf die interessierende Personendosis möglichst realistische Bedingungen zu haben, wurden die verwendeten TLD's auf einem gewebeäquivalenten Aldersonphantom angebracht. Dadurch konnte auch die sonst von Personen auftretende Rückstreuung simuliert werden (Bild 1).



Bild 1: Messung an einem Aldersonphantom

Zur Qualitätskontrolle wurden bei der Messung an einem RFA-Gerät zusätzlich auch amtliche Filmdosimeter des Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen eingesetzt.

3. RFA- Gerätebeschreibung

Alle untersuchten RFA-Geräte verfügen über unterschiedliche Sicherheitssysteme, um zu prüfen ob sich eine Probe vor dem Austrittsfenster befindet. Entweder wird dies über einen Kontaktschalter, einen Infrarotsensor oder über die Intensität der rückgestreuten Fluoreszenzstrahlung realisiert. Bei einigen Geräten wird diese Sicherheitsabfrage über mehrere der genannten Möglichkeiten bewerkstelligt. Derzeit sind RFA-Geräte mit und ohne Filterung im Einsatz. Bei den Geräten mit Filterung werden verschiedene Filter softwaregesteuert gewechselt. Das Anodenmaterial der Röntgenröhren ist nicht in allen untersuchten RFA-Geräten gleich. Alle RFA-Geräte sind mit LED-Warnleuchten ausgestattet, welche den Betriebszustand anzeigen. Die Zahl und Positionierung dieser LED variiert.

Überwiegend werden zur Detektion in den RFA-Geräten PIN-Dioden eingesetzt. Diese vertragen nur eine begrenzte Impulsrate, welche eine Vorfilterung der Röntgenstrahlung erfordert. Um die Analysenzeit weiter zu reduzieren werden auch andere Detektionssysteme, die wesentlich höhere Impulsraten verarbeiten können, eingesetzt.

Die Auslösung der Analysevorgänge erforderte bei manchen Geräten eine dauerhafte Bedienung des Einschalters, bei anderen Geräten genügte ein Einschaltimpuls und das Gerät strahlte auch ohne Halten des Auslösers weiter. Manche Hersteller bieten eine Auslösung über eine Fernbedienung (Bluetooth, Kabel) an. Auch ist eine Steuerung per Laptop möglich. Fast alle Hersteller bieten Schutzgehäuse zur Analyse von Kleinteilen an. Auch Strahlenschutzmanschetten sind verfügbar.

Für die Messungen, wurden jeweils die maximal möglichen Spannungen und Stromstärken eingestellt. Die anliegenden Spannungen lagen zwischen 40 kV und 50 kV. Die Stromstärken variierten zwischen 20 μA und 100 μA . In der Übersichtstabelle 1 sind diese Werte aufgelistet.

Alle Sicherheitseinrichtungen wurden für den Messzweck deaktiviert. Dieser Eingriff in die Software des Gerätes und zu den überbrückten Sicherheitseinstellungen ist gegenüber dem Anwender durch ein Passwort oder Schlüsselschalter am Gerät geschützt.

4. Messpositionen und Parameter

An jedem Messort wurden jeweils zwei TLD- Chips als Detektoren verwendet. Insgesamt wurden elf unterschiedliche Messanordnungen bzw. Positionen gewählt. Das RFA-Gerät wurde zum einen auf Aluminium-, Stahl- und Plexiglasproben aufgesetzt und im Abstand von 150 mm die Streustrahlung gemessen. Bei weiteren Positionen wurde bei leicht geneigtem RFA-Gerät wieder mit den bereits genannten Proben die Streustrahlung ermittelt. Eine andere Messreihe wurde zur Feststellung der Dosisleistung im Primärstrahl direkt am Aus-

trittsfenster und in Abständen von 100 mm, 500 mm und 1000 mm durchgeführt. Abschließend wurde unter einer 30 mm dicken Tischplatte die Exposition ermittelt.



Bild 2: Aufgesetzt auf Plexiglas



Bild 3: geneigt auf Plexiglas



Bild 4: Primärstrahl in 100 mm

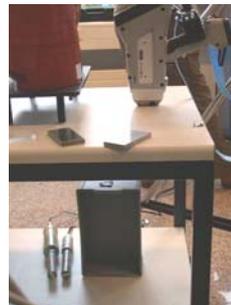


Bild 5: durch Arbeitstisch

5. Ergebnisse

Ein Vergleich der TLD-Ergebnisse mit dem Messwert des elektronischen Messgerätes (TOL/F) zeigt deutlich, dass das TOL/F bei dem stark fokussierten Strahl in der Nähe des Austrittsfensters nicht geeignet ist, da die gesamte Messkammer bei dieser Messanordnung nicht homogen durchstrahlt wurde. Am Austrittsfenster war aus diesem Grund auch keine Auswertung der Filmdosimeter möglich. Im Abstand von 500 mm und 1000 mm stimmten die TLD-Messwerte mit den Messwerten überein, die mit dem TOL/F und den Filmdosimetern gemessen worden sind. (Die TOL/F-Werte sind in der Tabelle nicht aufgeführt.)

Alle Ergebnisse im Überblick sind in den folgenden beiden Tabellen aufgelistet:

Gerät Nr.	kV	μA	Messpositionen					
			im Nutzstrahl $r = 100\text{mm}$	im Nutzstrahl $r = 500\text{mm}$	im Nutzstrahl $r = 1000\text{mm}$	Strahlen- austrittsfenster	Kontakt (Finger)	im Nutzstrahl unter Tischplatte $r = 240\text{mm}$
			[mSv/h]	[mSv/h]	[mSv/h]	[mSv/h]	[mSv/h]	[mSv/h]
1	50	40	31	1,2	0,2	560	570	1,6
2	40	20	229	15,0	3,6	1564	1264	0,1
3	40	100	26	1,4	0,3	650	502	1,9
4	40	50	2385	91,0	20,0	66000	75683	4390,0
5a	45	40	147	10,0	2,5	2240	2219	11,5
5b	45	40	152	11,0	2,6	nicht auswertbar	nicht auswertbar	12,3

Tabelle 1: Übersicht der Dosisleistungsmessungen an den RFA-Geräten an den Messpositionen im Nutzstrahl; 5a TLD-Ergebnisse, 5b Filmdosimeter-Ergebnisse

Die besonders hohen Messwerte beim Gerät Nr. 4 sind dadurch zu erklären, dass bei diesem Gerät im Gegensatz zu den anderen Geräten keine Primärfilterung eingesetzt wurde. Der Einsatz von automatisch von den Geräten verwendeten Filtern, je nach Analysenaufgabe erklärt auch die Unterschiede zwischen den anderen Geräten. Angelegte Spannung und verwendete Stromstärke allein sind für einen Vergleich nicht ausreichend.

Gerät NR.	kV	µA	Messpositionen				
			auf Plexiglas	auf Stahl	auf Aluminium	gekippt auf Plexiglas	gekippt auf Plexiglas Bystanderposition
			[mSv/h]	[mSv/h]	[mSv/h]	[mSv/h]	[mSv/h]
1	50	40	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
2	40	20	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07
3	40	100	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
4	40	50	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,13
5a	45	40	< 0,1	2,7	< 0,1	< 0,1	0,3
5b	45	40	0,05	< 0,6	< 0,6	0,07	0,13

Tabelle 2: Übersicht der Streustrahlungsmessungen an den RFA-Geräten mit Proben; 5a TLD-Ergebnisse, 5 b Filmdosimeter-Ergebnisse

6. Rechtliche Grundlagen

Der Personenkreis, der diese mobilen RFA-Geräte bedient, gehört in der Regel nicht zu den beruflich strahlenexponierten Personen. Eine personendosimetrische Überwachung ist somit nicht vorgesehen. Es gilt der Grenzwert von 1 mSv für die effektive Dosis pro Kalenderjahr sowie ein Grenzwert von 50 mSv für die Hände. Für den Betrieb solcher Geräte benötigt man eine Genehmigung nach § 3 RöV, sofern nicht eine Bauartzulassung nach § 8 RöV vorliegt, was jedoch für keines der bekannten Geräte zutrifft.

Vor der erstmaligen Inbetriebnahme der RFA-Geräte sind diese durch einen anerkannten Sachverständigen überprüfen zu lassen. Gemäß RöV sind alle 5 Jahre Wiederholungsprüfung durchzuführen.

Bereits im Jahr 2006 hat der BMU gemeinsam mit den Ländern im LA-RöV Festlegungen für den Erwerb der Fachkunde sowie für die Ausgestaltung der zu erteilenden Genehmigungen getroffen. Zum Erwerb der Fachkunde ist neben dem Kurs R 2 die Sachkunde nachzuweisen. Anstelle der Sachkundezeit von 6 Monaten, wie in der Fachkunderichtlinie Technik festgelegt, wurde eine 1-tägige Einweisung am Gerät durch den Hersteller oder Lieferanten als ausreichend angesehen. Beim Betrieb der RFA-Geräte wurde generell zwischen einem Einsatz auf eigenem Werksgelände und einem bundesweit uneingeschränktem Betrieb unterschieden. Der Betrieb außerhalb des eigenen Werksgeländes ist der örtlich zuständigen Behörde vor Arbeitsbeginn mitzuteilen. Des Weiteren muss ein fachkundiger Strahlenschutzbeauftragter unmittelbar vor Ort sein. Die rechtlichen Forderungen werden zurzeit vom Länderausschuss Röntgenverordnung novelliert.

7. Fazit

Die Messungen an mobilen RFA-Geräten haben gezeigt, dass bei unsachgemäßer Handhabung – insbesondere beim Halten der zu untersuchenden Probe mit der Hand - schon nach wenigen Analysen grenzwertüberschreitende Handdosen möglich sind. Bei häufigem Einsatz sind sogar deterministische Hautschäden an den Händen nicht auszuschließen, verbunden mit einem erhöhten Risiko eines Strahlenspätchadens. Die festgestellten Dosisleistungen lagen zwischen 0,5 Sv/h und 76 Sv/h.

Für die hier beschriebenen Messungen wurden durch Eingriff in die Sicherheitseinrichtungen der RFA- Geräte und die Steuerung der Röntgenröhren die maximalen Betriebsparameter vorgewählt. Der Anwender hat diese Einstellungsmöglichkeiten nicht, da dieser Eingriff passwortgeschützt ist. Die diskutierten Ergebnisse stellen eine WORST- Case Situation dar. Beim Einhalten aller vom Hersteller vorgesehenen Schutzmassnahmen ist sicherlich davon auszugehen, dass die effektive Dosis für den Bediener beim bestimmungsgemäßem Betrieb des Gerätes unterhalb von einem mSv liegt. Bei sachgemäßem Umgang zeigt der Nutzstrahl auch zur Körper abgewandten Seite. Eine Dosisüberwachung mit Dosimetern ist aufgrund der Geometrie des fein fokussierten Primärstrahles nicht sinnvoll. Selbst eine dosimetrische Überwachung des Bedienpersonals mit Fingerringdosimetern erscheint vor diesem Hintergrund nicht geeignet.

Werden die RFA-Geräte in sitzender Position an einem Tisch oder Laufband eingesetzt, besteht eine Gefährdung durch eine erhöhte Exposition der Beine. Die gemessenen Dosisleistungen lagen dabei zwischen 0,1 mSv/h und 4,4 Sv/h. Entsprechende bauliche Strahlenschutzmaßnahmen sind in diesen Fällen vorzusehen.

Neben den technischen Sicherheitseinrichtungen ist für den sicheren Betrieb dieser mobilen RFA-Geräte die Fachkompetenz der Bediener entscheidend. Deshalb sollte im Rahmen der Ausbildung der Strahlenschutzbeauftragten sowie bei den regelmäßigen Unterweisungen auf das erhöhte Gefährdungspotential bei unsachgemäßem Betrieb besonders eingegangen werden. Auch auf die Nutzung des Strahlenschutz-Zubehörs ist in den Unterweisungen besonders hinzuweisen. Kleinteile sollten nach Möglichkeit in Schutzgehäusen untersucht werden.

Der Bediener sollte regelmäßig kontrollieren, ob die Schutzeinrichtungen wie z.B. Näherungsschalter, Rückstreuungsüberwachung, Zweihandbedienung und Kontrolllampen funktionstüchtig sind. Im Unternehmen sind Festlegungen für den Einsatz der RFA-Geräte durch eine Strahlenschutzanweisung zu treffen. Zum Schutz von Dritten sollten Schutzabstände festgelegt und eingehalten werden. Dies muss auf die Art der Tätigkeit abgestellt sein.

Bis dato konnte nicht geklärt werden, in wie weit die Vorgaben der DIN 54 113, insbesondere die Einbindung der Warnleuchten und der Rückstreuungsüberwachung in die Sicherheitskreise umgesetzt werden.

Ausführlichere Informationen zu diesem Thema finden Sie auf den Internetseiten des Fachbereichs Strahlenschutz: http://www.bgetem.de/praev/praev_strahlenschutz.html