

Expositionsmessungen an mobilen Röntgenfluoreszenzanalysatoren

Frank Börnsen¹⁾, Dirk Höwekenmeier²⁾, Thomas Ludwig¹⁾, 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 unter anderem sogenannte **Röntgen Fluoreszenz Analysegeräte** (RFA- Geräte) zum Einsatz. Die Zahl und der Einsatzbereich der mobilen RFA- Geräte ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. So werden diese z. B. bei der Materialanalyse, in der Schrottverwertung, bei der Spielzeugüberprüfung, Analyse von Schmuck und in der Geologie eingesetzt.

Die Analysatoren senden Röntgenstrahlung auf die zu untersuchende Probe. Die rückgestreute Fluoreszenzstrahlung wird analysiert und gibt Auskunft über die Zusammensetzung der Probe. Die Anwendung von RFA- Geräten ist gemäß §3 RöV genehmigungspflichtig.

Bisher vorliegende Unterlagen über diese mobilen RFA- Geräte belegen, dass am Austrittsfenster der Analysegeräte relativ hohe Dosisleistungen auftreten können, vor denen der Anwender bzw. Personen, die sich in unmittelbarer Nähe befinden, geschützt werden müssen. Die vorgelegten Messwerte sind jedoch nicht immer nachvollziehbar, es fehlen unter anderem Angaben, wie die Werte zustande gekommen sind oder es sind ungeeignete elektronische Messgeräte verwendet worden. Um dies zu verifizieren wurde von der BG ETEM in Zusammenarbeit mit der Bezirksregierung in Köln diese Problematik aufgenommen, um an unterschiedlichen mobilen RFA- Geräten eigene und nachvollziehbare Dosisleistungsmessungen durchzuführen. Es sollten die möglichen Dosisleistungen der RFA- Geräte an verschiedenen Aufpunkten bestimmt werden. 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 zu untersuchenden 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. Thermolumineszenzdosimeter (TLD) sind kleine Kristalle, die die Eigenschaft haben, die auf sie treffende Dosis ionisierender Strahlung zu speichern. Erhitzt man anschließend die Kristalle, so geben sie Licht ab. Die emittierte Lichtmenge ist proportional zur aufgenommenen Strahlendosis. Nach Kalibrierung mit einer bekannten Strahlendosis kann so die zu untersuchende Dosis bestimmt werden. Vor einer Messung wird die in den Kristallen gespeicherte Dosisinformation durch Erhitzen gelöscht.

Es wurden runde TLD Chips, bezogen vom Helmholtz-Zentrum München verwendet (Typ W für Röntgen und Gammastrahlung, Abmessungen: 4,5 mm \varnothing x 1 mm). 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 Kalibrierungsbestrahlungen wurden über einen weiten Energiebereich bei der PTB in Braunschweig durchgeführt. Die Kalibrierungen wurden auf die Messgröße $H^*(10)$ durchgeführt. Um im Hinblick auf die interessierende Personendosis möglichst rea-

listische 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

Die TLD's wurden in lichtdichte dünne Folien eingeschweißt, da die Dosimeter auch auf starke Lichteinwirkung ansprechen. Die Methode ist sehr empfindlich und die TLD's registrieren auch die natürliche Umgebungsstrahlung. Daher wurden Referenzdetektoren zusammen mit den zu beaufschlagenden TLD's - mit Ausnahme der eigentlichen Messung - ständig zusammen gelagert und ansonsten auch gleich behandelt.

Zur Qualitätskontrolle wurden bei der Messung an einem RFA-Gerät zusätzlich auch amtliche Filmdosimeter des MPA Nordrhein-Westfalen eingesetzt. Diese Dosimeter wurden - wie normalerweise üblich - in einer Kassette exponiert, welche mehrere Filter beinhaltet.

Für die grobe Lokalisation des Intensitätsmaximums wurde ein TOL/F eingesetzt. Das TOL/F ist ein elektronisches Messgerät für den niederenergetischen Bereich (Messbereich 10 keV bis 7 MeV).

3. RFA- Gerätebeschreibung

Die Messungen wurden an fünf mobilen RFA- Geräten unterschiedlicher Hersteller durchgeführt. Bei allen diesen RFA-Geräten ist das Messprinzip dem Grunde nach gleich. Röntgenstrahlung wird auf die zu untersuchende Probe gestrahlt. Die entstehende Röntgenfluoreszenzstrahlung, die von der Probe zurück ins Analysengerät streut, wird analysiert.

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 realisiert, oder über einen Infrarotsensor oder über die Intensität der rückgestreuten Fluoreszenzstrahlung. 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 - abhängig von der rückgestreuten Strahlung und den gewählten Analyseparametern - verschiedene Filter softwaregesteuert gewechselt.

Das Anodenmaterial der Röntgenröhren ist nicht in allen untersuchten RFA-Geräten gleich. Überwiegend werden zur Detektion 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.

Bei den meisten Anwendungen wird die zu untersuchende Probe bereits in wenigen Sekunden analysiert. Je nach Probe kann dieser Vorgang aber auch länger als eine Minute betragen.

Alle RFA-Geräte sind mit LED-Warnleuchten ausgestattet, welche den Betriebszustand anzeigen. Die Zahl und Positionierung dieser LED variierte von Gerät zu Gerät.

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.

Einige Hersteller bieten optional eine Zusatzeinrichtung zur Analyse von Kleinteilen an. Als weiteres Zubehör hatten einige Hersteller eine Strahlenschutzmanschette verfügbar.

Für den Verlauf der Messung, wurden jeweils die maximal möglichen Spannungen und die maximal möglichen Stromstärken eingestellt. Bei drei der gemessenen Geräte lag die maximale Spannung bei 40 kV, bei einem Gerät bei 45 kV und bei dem letzten untersuchten Gerät bei 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, um genügend Expositionszeit zu bekommen. Dieser Eingriff in die Software des Gerätes und zu den überbrückten Sicherheitseinstellungen ist durch ein Passwort oder Schlüsselschalter geschützt, zu dem der normale Anwender keinen Zugang hat. Es wurde bei allen Messungen eine Einschaltzeit von 5 min gewählt.

4. Messpositionen und Parameter

An jedem Messort wurden jeweils zwei TLD-Chips als Detektoren verwendet die nebeneinander in Folie eingeschweißt wurden. Die einzelnen TLD's hatten dann etwa einen Abstand von ein bis zwei Zentimeter voneinander (siehe nachfolgende Abbildung 2).

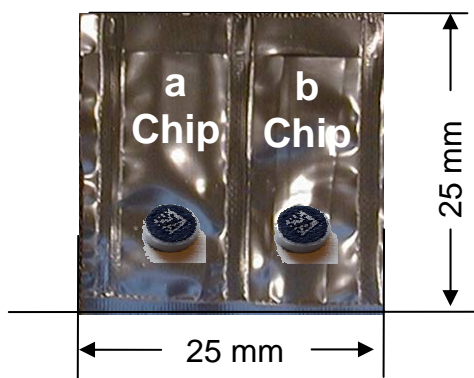


Bild 2: Anordnung der TLD's in der Folie

An allen Messposition mit Ausnahme der Positionen 4.9 und 4.10 wurden solche Anordnungen angebracht. Bei den genannten Ausnahmen wurde jeweils pro Exposition nur ein TLD eingesetzt. Jeder Chip hat einen individuellen Identifizierungscode. Die Energiekalibrierung der TLD's erfolgte durch die PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt) in Braunschweig. Die maximale Energie der Röntgenstrahlung ist durch die voreingestellte Spannung vorgegeben. Das Intensitätsmaximum liegt jedoch nur bei etwa der Hälfte dieser Maximalenergie. Dementsprechend wurden die jeweiligen Kalibrierfaktoren für diese mittlere Energie verwendet.

Vor der Festlegung der Messpositionen der Dosimeter (TLD's und Filmplaketten) wurde mit dem TOL/F der Aufpunkt der maximalen Intensität der Dosisleistung bestimmt. An dieser Stelle wurden dann jeweils die Dosimeter positioniert. Die Messpositionen sind im Folgenden beschrieben:

- 4.1 10 mm dicke Aluminium-Probe, RFA- Gerät darauf aufgesetzt, Abstand Mitte Strahlenausstritt bis zum Dosimeter 150 mm
- 4.2 10 mm dicke Stahl-Probe, RFA- Gerät darauf aufgesetzt, Abstand Mitte Strahlenausstritt bis zum Dosimeter 150 mm
- 4.3 10 mm dicke Plexiglas Probe, RFA- Gerät darauf aufgesetzt, Abstand Mitte Strahlenausstritt bis zum Dosimeter 150 mm
- 4.4 Wie 4.3, Gerät nur leicht gekippt, Abstand Mitte Strahlenausstritt bis zum Dosimeter 150 mm
- 4.5 Wie 4.3, Gerät nur leicht gekippt, Abstand Mitte Strahlenausstritt bis zum Dosimeter 140 mm (hier wurde nicht der Ort der maximalen Intensität, sondern der „Oberschenkel“ des Phantoms als Position für die Dosimeter gewählt)
- 4.6 Im direktem Nutzstrahl, Abstand Mitte Strahlenausstritt bis zum Dosimeter 100 mm
- 4.7 Im direktem Nutzstrahl, Abstand Mitte Strahlenausstritt bis zum Dosimeter 500 mm
- 4.8 Im direktem Nutzstrahl, Abstand Mitte Strahlenausstritt bis zum Dosimeter 1000 mm
- 4.9 direkt am Strahlenaustrittsfenster, die Dosimeter wurden direkt auf das Austrittsfenster geklebt und jeweils für fünf Minuten exponiert, bei den meisten Geräten wurde diese Messung vierfach durchgeführt
- 4.10 wie Position 4.9 direkt am Strahlenaustrittsfenster, diesmal mit Streukörper (eine Scheibe des Aldersonphantoms als Simulation des Fingers)
- 4.11 unter der 30 mm dicken Tischplatte, Abstand Mitte Strahlenausstritt bis zum Dosimeter 240 mm

Weitere TLD's wurden für die Nulleffekt- und Nachweisgrenzenberechnung verwendet.



Bild 3: Messposition 4.3



Bild 4: Messposition 4.4



Bild 5: Messposition 4.6



Bild 6: Messposition 4.10

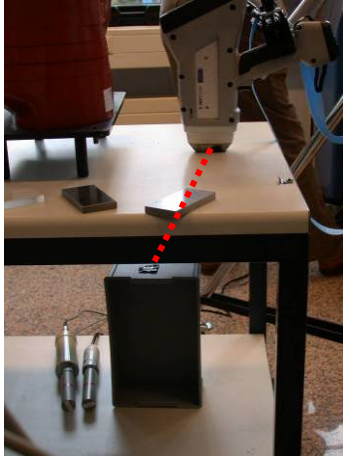


Bild 7: Messposition 4.11 (der Strahlwinkel ist schematisch eingezeichnet)

5. Analyse der TLD's, Auswertung der Filme

Analyse der TLD's

Die TLD's wurden mit dem TLD- Reader 3500 der Firma Harshaw ausgewertet. Dabei wurde folgendes Zeit-Temperatur-Profil verwendet.

- Tempern bei 100° C für 10 min, schnelles Abkühlen auf 45° C
- Vorheizen: 5 sec bei 140° C
- Auswerten: Heizrate 10° C /sec bis 240° C / 20 sec bei 240° C

Zunächst wurde aus den dafür verwendeten Dosimetern der Nulleffekt (NE) und die Nachweisgrenze (NWG) bestimmt. Der Nulleffekt lag abhängig von der Dauer zwischen Ausheizen und Auswerten sowie des verwendeten Kalibrierfaktors zwischen rund 3 μSv und 12 μSv . Anschließend wurden die Dosen der TLD's an den übrigen Messpositionen bestimmt. Pro Messposition wurde erst die Dosis bestimmt, danach der Nulleffekt abgezogen. Unter Berücksichtigung der Expositionszeit von jeweils fünf Minuten wurde die Dosisleistung ermittelt, danach der Mittelwert der Ergebnisse gebildet, soweit dies sinnvoll war.

Auswertung der Filmdosimeter

Die Bereitstellung und Auswertung der Filmdosimeter erfolgte durch das Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, einer amtlich bestimmten Messstelle. Jede Messfilmpackung enthält einen empfindlichen Film zur Bestimmung der Dosis im Niedrigdosisbereich (AGFA Emulsion D10, e-film) und einen weniger empfindlichen Film zur Bestimmung der Hochdosiswerte (AGFA Emulsion D2, u-Film). Der Messbereich liegt damit zwischen 0,1 mSv und 1 Sv. Die vom MPA mitgeteilten Dosiswerte wurden mit der Expositionszeit von fünf Minuten auf Dosisleistungen umgerechnet.

6. Fehlerbetrachtungen

Der Fehler bei der Energiekalibrierung der TLD's wurde auf rund 9 % bestimmt. Der zusätzliche Fehler durch das individuelle Ansprechvermögen der TLD's liegt bei etwa 7,5 %. Da beide Größen multiplikativ in die Bestimmung des Ergebnisses eingehen ergibt sich somit nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz ein Gesamtfehler von rund 11 % für jeden einzelnen Messwert.

Der Fehler aus der Abstandsbestimmung zum Austrittsfenster ist vernachlässigbar. Ein weiterer systematischer Fehler liegt in der Auswahl des Kalibrierfaktors für die jeweilige mittlere

Energie. Die Höhe dieses systematischen Fehlers wurde nicht bestimmt. Der größte Fehler dürfte sich aber aus der schwierig zu ermittelnden Position des Intensitätsmaximums insbesondere bei den Messpositionen nahe am Austrittsfenster auswirken. Durch den schmalen Strahlenkegel und das relativ große Messvolumen sowie die Messträgheit des verwendeten TOL/F ließ sich der nahe am Austrittsfenster gelegene kleine Bereich nur schwer lokalisieren. Aus den jeweils unterschiedlichen Einzelergebnissen wird der Fehler der Ergebnisse auf insgesamt etwa 20 % bis 40 % abgeschätzt.

7. Ergebnisse

Ein Vergleich der TLD-Ergebnisse mit dem Messwert des elektronischen TOL/F zeigt ganz deutlich, dass dieses Messgerät bei dem stark fokussierten Strahl in der Nähe des Austrittsfensters nicht geeignet ist, da die gesamte Messkammer bei dieser Messanordnung nicht homogen durchstrahlt wurde. Im Abstand von 1000 mm und 500 mm stimmten die TLD-Messwerte einigermaßen mit den Messwerten überein, die mit dem TOL/F gemessen worden sind.

Der Vergleich der TLD-Messwerte mit den Ergebnissen der Filmdosimetrie zeigte für die Messpositionen 4.1 bis 4.8 sowie 4.11 eine sehr gute Übereinstimmung. Erwartungsgemäß war direkt am Austrittsfenster (Messpositionen 4.9 und 4.10) keine Auswertung der Filmdosimeter möglich, weil die Filme aufgrund des kleinen Strahlenkegels nicht homogen exponiert wurden.

Prüft man die TLD-Ergebnisse hinsichtlich ihrer Plausibilität anhand des Abstand-Quadrat-Gesetzes, so zeigt sich zwischen den Messpositionen bei den Abständen von 500 mm und 1000 mm eine sehr gute Übereinstimmung mit dem erwarteten Verhalten. Bei Verdopplung des Abstandes verringert sich die Dosisleistung um den Faktor vier.

Geht man von der Messposition bei 100 mm auf die Messposition bei 500 mm so wird mit einer Verringerung des Abstandes auf ein Fünftel erwartet, dass sich die Dosisleistung um den Faktor 25 verringert, was sich aber in den Messwerten nicht immer zeigte. Dies lag sicherlich mit daran, dass an den einzelnen Messpositionen das Intensitätsmaximum mit dem - im Vergleich zu den TLD's großvolumigen - TOL/F nicht genau lokalisiert werden konnte.

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

Gerät Nr.	kV	µA	Messpositionen					
			4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11
			im Nutzstrahl r = 100mm [mSv/h]	im Nutzstrahl r = 500mm [mSv/h]	im Nutzstrahl r = 1000mm [mSv/h]	Strahlen- austrittsfenster [mSv/h]	Kontakt (Finger) [mSv/h]	im Nutzstrahl unter Tischplatte r = 240mm [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 nicht auswertbar	2219 nicht auswertbar	11,5
5b	45	40	152	11,0	2,6			12,3

Tabelle 1: Übersicht der Dosisleistungsmessungen an den RFA-Geräten an den Messpositionen 4.6 bis 4.11; 5a TLD-Ergebnisse , 5 b 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				
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
			auf Plexiglas [mSv/h]	auf Stahl [mSv/h]	auf Aluminium [mSv/h]	gekippt auf Plexiglas [mSv/h]	gekippt auf Plexiglas Bystanderposition [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 Dosisleistungsmessungen an den RFA-Geräten an den Messpositionen 4.1 bis 4.5; 5a TLD-Ergebnisse, 5 b Filmdosimeter-Ergebnisse

8. Rechtliche Grundlagen

Der Personenkreis, der diese mobilen RFA-Geräte bedient, gehört in der Regel nicht zu den beruflich strahlenexponierten Personen. Eine entsprechende personendosimetrische Überwachung ist dann auch nicht vorgesehen und es gilt der Grenzwert von 1 mSv für die effektive Dosis pro Kalenderjahr sowie ein Grenzwert von 50 mSv für die Hände.

Seit einigen Jahren sind leistungsstarke handgehaltene RFA Geräte verfügbar. RFA-Geräte fallen in den Geltungsbereich der RöV. Für den Betrieb solcher Geräte benötigt man eine Genehmigung nach § 3 der RöV, sofern nicht eine Bauartzulassung nach § 8 RöV vorliegt, was jedoch für keines der bekannten Geräte zutrifft.

Im Genehmigungsverfahren hat der Antragsteller bei seiner örtlich zuständigen Genehmigungsbehörde mit dem Antrag die in § 3 Abs. 2 RöV beschriebenen Nachweise zu erbringen. Liegen diese vollständig vor, hat der Antragsteller ein Recht auf Erteilung einer Genehmigung.

Vor der erstmaligen Inbetriebnahme der RFA-Geräte sind diese durch einen anerkannten Sachverständigen nach der Sachverständigenrichtlinie überprüfen zu lassen. Nach der RöV ist auch eine wiederkehrende Wiederholungsprüfung alle 5 Jahre 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. Im Wesentlichen sind dies:

Zum Erwerb der erforderlichen 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.

Des Weiteren wurde von der Durchführung der Personendosimetrie Abstand genommen, sofern der Betrieb bestimmungsgemäß durchgeführt wird und die Art des Betriebes dies zulässt.

Beim Betrieb der RFA-Geräte wurde generell zwischen einem Einsatz auf dem eigenen 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.

9. Beurteilung der Ergebnisse

Erwartungsgemäß liegen die Messergebnisse im direkten Nutzstrahl am Austrittsfenster des RFA- Gerätes (Messpositionen 4.9 und 4.10) mit einer Dosisleistung bis zu rund 76 Sv/h am

höchsten. Eine lokale Strahlenexposition von Fingern in dieser Größenordnung ist bei einer unsachgemäßen und nicht erlaubten Anwendung z. B. durch das Halten einer Probe mit der Hand möglich.

Für eine Abschätzung einer Exposition muss jedoch auch die tatsächliche Strahlzeit berücksichtigt werden. Insbesondere bei metallischen Werkstücken ist die Analysenzeit, nach der die Röntgenstrahlung im RFA- Gerät selbsttätig abgeschirmt oder abgeschaltet wird, relativ klein und liegt bei wenigen Sekunden. Daraus ergibt sich z. B. für eine zwei Sekunden dauernde Analyse eine lokale Fingerexposition, je nach verwendetem Gerät zwischen 0,3 mSv und 42 mSv pro untersuchtem Werkstück, wenn es mit der Hand gehalten wird.

Im Extremfall kann bei der Untersuchung spezieller Werkstoffe die Analysenzeit mit eingeschalteter Röntgenröhre auch mehr als eine Minute betragen. Für eine einminütige Strahlzeit resultiert dann eine Fingerexposition zwischen 9 mSv und 1260 mSv pro untersuchtem Werkstück. Eine erhebliche Überschreitung des Grenzwerts für die Hände wäre bei den meisten Geräten nach wenigen solcher unsachgemäß durchgeführten Analysen möglich.

Dies zeigt wie wichtig eine ausreichende Ausbildung der Bediener im Strahlenschutz ist. Insbesondere die spezielle Einweisung durch den Hersteller sollte dieses Gefahrenpotential beinhalten: Es muss verstärkt darauf hingewiesen werden, dass bei Analysen mit RFA- Geräten das Halten des zu untersuchenden Werkstückes mit der Hand absolut verboten ist, um speziell diese Strahlenexposition der Hände auszuschließen. Kleinteile sollten nach Möglichkeit in der geschlossenen Zusatzeinrichtung - die von einigen Herstellern der RFA- Geräte angeboten werden - untersucht werden.



Bild 8: geschlossene Zusatzeinrichtungen für Kleinteile

Die Ergebnisse der Messpositionen 4.6, 4.7 und 4.8 sind nicht auf die normale Anwenderpraxis übertragbar, da das RFA- Gerät aufgrund der Sicherheitseinrichtungen ohne Probe nicht frei strahlen kann. Bei der Analyse von sehr dünnen Werkstücken wie z. B. von Drähten oder ähnlichem (wenn diese z. B. in einer Halterung eingespannt sind) ist es denkbar, dass ein Teil des Nutzstrahles an der Probe vorbei geht (Überstrahlung der Probe). In diesen Fällen können weitere Personen, die sich in der Nähe aufhalten, gefährdet sein. Hier wirkt sich allerdings das Abstands-Quadrat-Gesetz aus. In einem Meter Abstand lag die gemessene Dosisleistung bei den fünf untersuchten Geräten zwischen 0,2 mSv/h und 20 mSv/h. Bei einer zwei Sekunden dauernden Messung resultiert daraus eine Dosis zwischen 0,1 μ Sv und 11 μ Sv. Selbst bei häufigem Einsatz oder in vereinzelt längerer Messzeiten ist es sehr unwahrscheinlich, dass eine sich im Umfeld aufhaltende Person dadurch eine Dosis oberhalb von einem mSv pro Jahr erhält. In der Praxis werden solche geometrischen Anordnungen sicher sehr selten sein, da kleine Werkstücke in der Regel in der geschlossenen Zusatzeinrichtung (siehe Bild 8) oder liegend auf dem Boden oder auf einer Werkbank geprüft werden.

Die Messergebnisse bei aufgesetzter Prüfposition bei Stahl-, Aluminium- und Plexiglasproben sowie bei gekipptem RFA auf dem Plexiglas (Messpositionen 4.1 bis 4.5) lagen fast alle unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenze. Bei einem Gerät und einer Stahlprobe wurde jedoch ein maximaler Wert von 2,7 mSv/h ermittelt (siehe Tabelle 2). Diese Messpositionen stehen für die Exposition einer zweiten Person, die sich bei einer Analyse mit dem RFA-Gerät in Strahlrichtung in unmittelbarer Nähe aufhält. Bei einer zwei Sekunden dauernden Analyse resultiert aus dem höchsten Wert eine Dosis von 1,5 μ Sv pro Werkstück. Bei täglich 100 untersuchten Proben und 220 Arbeitstagen pro Jahr liegt diese so abgeschätzte Dosis bei 30 mSv. Entsprechend wichtig ist der Sicherheitsabstand für andere Personen. Die Messposition 4.11 simuliert die Situation, einer Materialanalyse in sitzender Position am Tisch. Die gemessene Dosisleistungen am Oberschenkel und Genitalbereich lag zwischen 0,1 mSv/h und rund 4,4 Sv/h. Auch hierfür wird wieder eine Analysenzeit von zwei Sekunden pro Werkstück betrachtet. Daraus folgt dann eine Dosis zwischen 0,06 μ Sv und 2,4 mSv pro Analyse mit dem RFA- Gerät. Gerade bei sitzender Tätigkeit z. B. an einem Fließband könnte auch einmal von einer höheren täglich zu analysierenden Stückzahl ausgegangen werden. Eine Überschreitung des Grenzwertes für die nicht beruflich strahlenexponierten Personen von 1 mSv kann dann nicht ausgeschlossen werden.

10. Fazit

Die Messungen an den handgehaltenen RFA-Geräten haben gezeigt, dass bei unsachgemäßer Handhabung schon nach wenigen Analysen grenzwertüberschreitende Handdosen möglich sind. Bei häufigem Einsatz sind dann sogar deterministische Hautschäden an den Händen nicht auszuschließen, verbunden mit einem erhöhten Risiko eines Strahlenspät-schadens.

Für die hier beschriebenen Messungen wurden durch Eingriff in die Sicherheitseinrichtungen der RFA- Geräte und die Steuerung der Röntgenröhren über die Software die maximalen Betriebsparameter vorgewählt. Der normale Anwender hat diese Einstellungsmöglichkeiten nicht, da dieser Eingriff passwortgeschützt ist. Es ist daher davon auszugehen, dass in der Praxis keine höheren Dosisleistungen auftreten können. Die diskutierten Ergebnisse stellen also eine WORST- Case Situation dar. Beim Einhalten aller vom Hersteller vorgesehenen Schutzmaßnahmen ist sicherlich davon auszugehen, dass die Dosis für den Bediener beim normalen Betrieb des Gerätes unterhalb von einem mSv liegt. Bei sachgemäßem Umgang zeigt der Nutzstrahl auch zur Körper abgewandten Seite. Eine Dosisüberwachung mit üblichen 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. Entsprechende bauliche Strahlenschutzmaßnahmen sollten in diesen Fällen vorgesehen werden, z. B. durch eine Bleiabschirmung unter oder auf dem Tisch.

Neben den technischen Sicherheitseinrichtungen ist für den sicheren Betrieb dieser mobilen RFA-Geräte im Wesentlichen die Fachkompetenz der Bediener entscheidend. Unsere Erfahrung zeigt, dass das Personal nur unzureichend Kenntnisse über die Gefahren besitzt, die bei den Analysen auftreten können. 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 von den Herstellern angebotenen Strahlenschutz-Zubehörs sollte in den Unterweisungen besonders hingewiesen werden, da hiermit einige Gefährdungen direkt vermieden werden können.

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.

Da die RFA-Geräte vor Inbetriebnahme durch den Sachverständigen abgenommen werden müssen, sollte die Funktionstüchtigkeit der Sicherheitseinrichtungen gegeben 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.

Oft ist nur schwer nachvollziehbar, ob durch ein Softwareupdate sicherheitsrelevante Änderungen erfolgen, die den Strahlenschutz beeinflussen können. Dies kann zur Folge haben, dass nach erfolgtem Softwareupdate eine erneute Sachverständigenprüfung und eine neue Genehmigung erforderlich sind. Auch dies ist den Betreibern nur unzulänglich bekannt.

Durch eine entsprechend formulierte Mustergenehmigung kann für eine einheitliche Vorgehensweise in den Genehmigungsverfahren hingewirkt und den Behörden die Möglichkeit zur Durchführung von vergleichbaren Kontrollen gegeben werden.

11. Danksagung

Die Autoren bedanken sich insbesondere bei den folgenden Personen für die freundliche Unterstützung:

- Herr Robert van Laak; Oxford Instruments Analytical GmbH; Wellesweg 31; 47589 Uedem
- Herr Michael Ruppert; ServanTech GmbH & Co. KG; Dieselstraße 18; 61191 Rosbach v. d. Höhe
- Herr Andreas Gubernator; Bruker Nano GmbH; Schwarzschildstraße 12; 12489 Berlin
- Herr Sauer ;Innov-X Systems Europe B.V.; 5222 AX's-Hertogenbosch; Kasteleinenkampweg 9 R
- Herren Sachtler, Dr. Morlang und Heyden; Spectro Analytical Instruments GmbH; Boschstrasse 10; 47533 Kleve
- Herren Dr. Busch und Dr. Jordan; Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, amtliche Personendosimeterauswertestelle