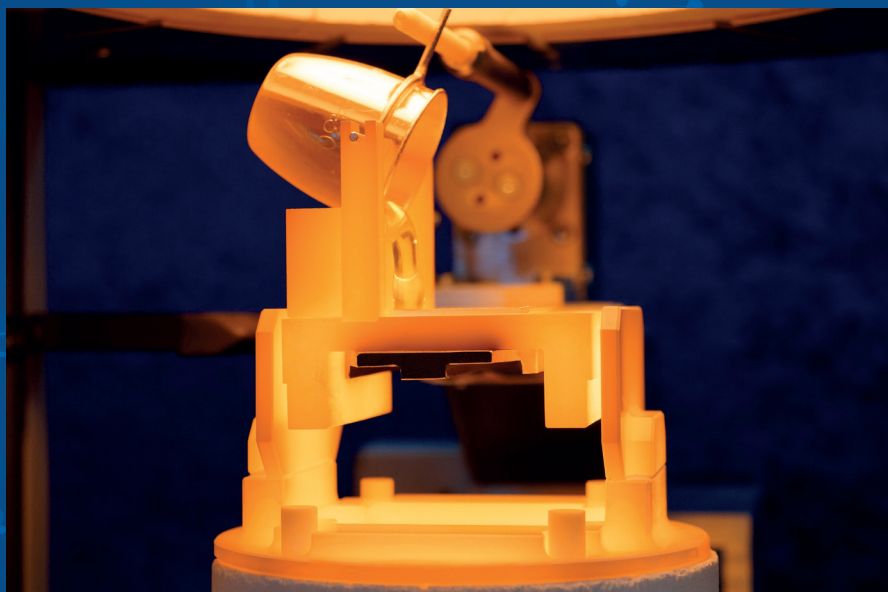


Röntgenfluoreszenzanalyse in der Praxis

2. korrigierte Auflage

Rainer Schramm



FLUXANA[®]
XRF Application Solutions

Röntgenfluoreszenzanalyse in der Praxis

2. korrigierte Auflage

Rainer Schramm

FLUXANA

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Schramm, Rainer:

Röntgenfluoreszenzanalyse in der Praxis II

Bedburg-Hau, FLUXANA, 2015

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden nicht besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung von Fluxana unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Verbreitung im Internet und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2017 FLUXANA GmbH & Co.KG, Borschelstraße 3, 47551 Bedburg-Hau, Deutschland,
www.fluxana.com

2. korrigierte Auflage

Herausgeber: FLUXANA, Bedburg-Hau

Umschlaggestaltung: Ansgar Verbücheln

Fotos: Werner Rademaker, Ludger Wunsch

Printed in Germany

Druck: Reintjes Printmedien GmbH, 47533 Kleve

ISBN 978-3-00-038698-5

Inhaltsverzeichnis

1	Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA).....	9
1.1	Entstehung	9
1.2	Elementbereich	10
1.3	Gerätetechnik.....	11
1.3.1	Energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (EDRFA)	11
1.3.2	Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenz-analyse (WDRFA)	12
1.3.3	Vergleich EDRFA – WDRFA	13
1.3.4	Weitere RFA-Geräte	14
1.3.5	Strahlenschutz	16
1.4	Applikationsentwicklung eines Prüfverfahrens	16
1.4.1	Definition der analytischen Leistung	16
1.4.1.1	Wiederholpräzision (Repeatability).....	17
1.4.1.2	Reproduzierbarkeit (Reproducibility)	18
1.4.1.3	Richtigkeit (Trueness)	18
1.4.1.4	Genauigkeit oder Messunsicherheit.....	19
1.4.1.5	Messfehler	19
1.4.1.6	Normen.....	20
1.4.2	Definition der Elemente und der Konzentrations-bereiche	21
1.4.2.1	Auswahl der Probenpräparation	21
1.4.2.2	Auswahl der Standardproben.....	22
1.4.3	Festlegen der Messbedingungen.....	26
1.4.3.1	EDRFA	26
1.4.3.2	WDRFA.....	30
1.4.4	Kalibrierung	41
1.4.4.1	Matrixkorrektur mit empirischen Alphas	42

1.4.4.2	Matrixkorrektur mit theoretischen Alphas / Fundamentalpar.	45
1.4.4.3	Kalibrierregeln	46
1.4.4.4	Fehler der Kalibrierung.....	47
1.4.4.5	Nachweisgrenze, Erfassungsgrenze und Bestimmungsgrenze.....	47
1.4.5	Validierung.....	49
1.4.6	Driftkorrektur	52
1.5	Zusammenfassung RFA	55
2	Probenpräparation	56
2.1	Einführung.....	56
2.1.1	Eindringtiefe	57
2.1.2	Repräsentative Probe	60
2.1.3	Partikelgrößeneffekte.....	61
2.1.4	Dichte der Probe.....	62
2.2	Praktische Probenvorbereitung.....	63
2.2.1	Präparation von Flüssigkeiten und Pulvern	63
2.2.1.1	Sonderfall: Präparation mehrphasiger Proben in Küvette	68
2.2.2	Präparation von Metallen.....	69
2.2.3	Zerkleinerung von Materialien	69
2.2.4	Präparation von Pulvern als Presslinge.....	74
2.2.4.1	Prinzip	74
2.2.4.2	Bindemittel	75
2.2.4.3	Mischen und Verpressen.....	75
2.2.4.4	Boreox rückenverstärkte Presslinge	77
2.2.4.5	Sonderfall: Analyse von Fetten in Boreox-Näpfchen.....	78
2.2.4.6	Sonderfall: Messen instabiler Presslinge.....	79
2.2.5	Präparation von Pulvern als Schmelzaufschluss.....	80
2.2.5.1	Prinzip	80

2.2.5.2	Schmelzmittel	83
2.2.5.3	Pflege der Platingeräte	85
2.2.5.4	Schmelzaufschluss in der Praxis	86
2.2.5.5	Vorbehandlung der Probe	88
2.3	Zusammenfassung Probenpräparation	92
3	Anhang.....	93
3.1	Literaturverzeichnis	93
3.2	Tabelle mit Röntgenfluoreszenzlinien.....	95
3.3	Tabelle mit Absorptionskanten	97
3.4	Linienüberlagerungen EDRFA	99
3.5	Linienüberlagerungen WDRFA.....	101

Sehr geehrte RFA Anwender!

Die erste Auflage dieses Buches von 2012 war ein großer Erfolg. Die Auflage in deutscher und englischer Sprache war innerhalb von 3 Jahren vergriffen. Dies gab mir die Motivation den Inhalt auf den neuesten Stand der Technik anzupassen und eine zweite erweiterte Auflage zu publizieren.

Auch wurden verschiedene Hinweise und Kritiken von Lesern berücksichtigt. Angepasst wurde insbesondere der Bereich statistische Kenngrößen wie z.B. die Definitionen von Präzision, Richtigkeit und Messunsicherheit.

In der Probenpräparation wird nun auch der elektrische Schmelzaufschluss beschrieben. Besonders die Entwicklungen in neuerer Zeit auch im Hinblick auf die Analyse flüchtiger Elemente wurden berücksichtigt.

FLUXANA bedient RFA Anwender mit Probenvorbereitungsmaschinen, Verbrauchsmaterialien, Applikationsknow-how und regelmäßigen Schulungskursen. Weltweit setzen mittlerweile mehr als 1000 Anwender unsere Schmelzaufschlussysteme zusammen mit bewährten Applikationslösungen ein. Diesen Anwendern und allen die es noch werden wollen ist dieses Buch gewidmet. Es soll einen tieferen Einblick in die tägliche Nutzung der RFA und die Probenvorbereitung geben. Es wurde bewusst vermieden die Theorie zu stark in den Vordergrund zu stellen. An geeigneter Stelle sind Verweise auf bewährte Lehrbücher, die die RFA Theorie ausführlich behandeln.

In diesem Buch steht die Praxis im Vordergrund. Anwendern der RFA und Neueinsteigern der RFA werden grundlegende Begriffe erklärt, Voraussetzungen der Gerätetechnik tabellarisch aufgezeigt und Probenvorbereitungsschritte mit Fotos belegt. Vor allem der zweite Teil, der sich mit der Probenvorbereitung beschäftigt, gibt viele Anwendungsbeispiele und Tipps wie welche Probe zu präparieren ist. Dabei werden viele Beispiele aus der täglichen Praxis bis ins Detail erklärt.

Falls nach Studium dieses Buches noch Fragen offen bleiben, haben Sie immer die Möglichkeit das FLUXANA Team unter www.fluxana.com zu kontaktieren.

1 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

1.1 Entstehung

Bei der Röntgenfluoreszenzstrahlung handelt es sich um elektromagnetische Strahlung (Abb. 1) hoher Energie, die energetisch zwischen der γ -Strahlung und der UV-Strahlung liegt.

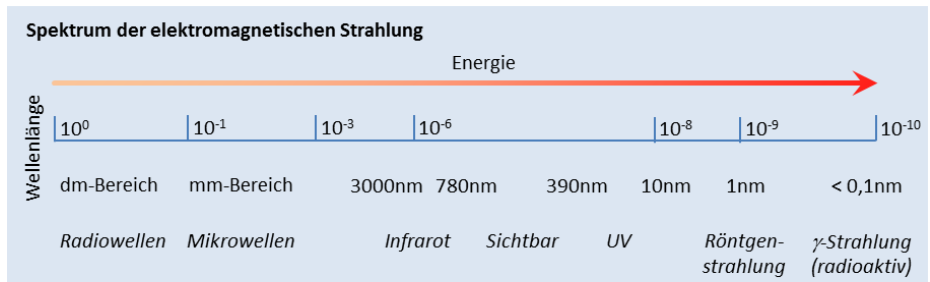


Abb. 1 Spektrum der elektromagnetischen Strahlung [1].

Röntgenfluoreszenz entsteht unter anderem bei der Ionisierung der inneren Schalen eines Atoms. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit der Entstehung sehr klein und außerdem von der Ordnungszahl des Atoms abhängig. Die meiste Anregungsenergie wird jedoch in Wärme umgesetzt und das ist auch der Grund, warum RFA-Geräte immer mehr oder weniger gekühlt werden müssen. Gelingt es aber eine innere Schale zu ionisieren, also ein Elektron zu entfernen, wird die Lücke durch ein Elektron einer höheren Schale aufgefüllt. Die Energiedifferenz wird als Röntgenfluoreszenzstrahlung abgegeben und ist charakteristisch für das Element. Je nachdem welcher Übergang stattfindet unterscheidet man K-, L- oder M-Strahlung.

Abb. 2 zeigt die typischen Elektronenübergänge für die unterschiedlichen Schalen. Dabei stellt die untere Linie die innerste Schale eines Atoms dar. Die Pfeile symbolisieren einen Elektronenübergang, der mit der Entstehung einer Röntgenfluoreszenzlinie wie z.B. $K\alpha_1$ einhergeht. Die Intensität der Linien nimmt in der Reihe $K\alpha$, $K\beta$, $L\alpha$, $L\beta$ ab.

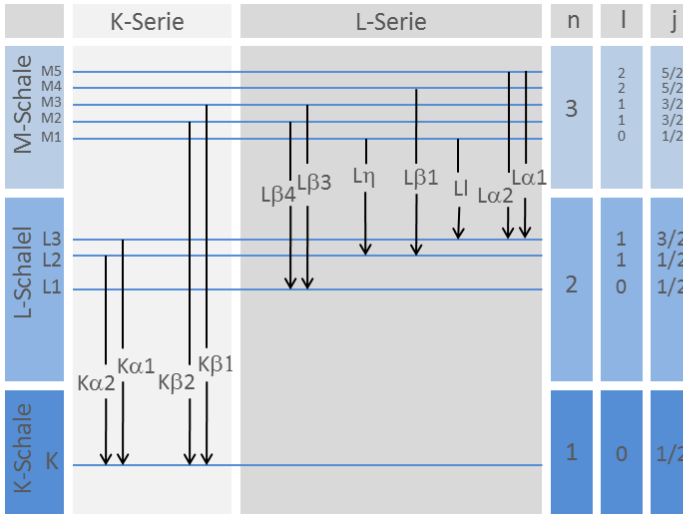


Abb. 2 Elektronenübergänge der inneren Schalen [2].

1.2 Elementbereich

Jedem betrachteten Element kann demnach ein eindeutiges Linienmuster der Röntgenfluoreszenzstrahlung zugeordnet werden. Die Energie der elementabhängigen Strahlung nimmt mit steigender Ordnungszahl zu. Damit wird die Durchdringung von Material immer größer. Andererseits wird die Strahlung von Elementen mit kleiner Ordnungszahl sehr leicht durch andere Materialien vollständig absorbiert. In der Praxis ist deshalb Fluor das Element mit der kleinsten Ordnungszahl welches mit einem typischen RFA-Gerät heute analysiert werden kann, obwohl theoretisch und in der Praxis mit erheblichem Aufwand auch die Analyse bis Beryllium möglich ist. Als Element mit der höchsten Ordnungszahl wird meist Uran angegeben. Die Elemente mit größerer Ordnungszahl sind meist radioaktiv und deshalb für die Praxis von geringerer Bedeutung.

Das bedeutet, dass von Fluor bis Uran 72 Elemente mit der RFA analysiert werden können und damit fast das ganze Periodensystem. Darauf gründet sich die starke Verbreitung dieser Technik.

1.3 Gerätetechnik

In Abhängigkeit des Detektionsprinzips wird bei der Gerätetechnik zwischen energiedispersiver (EDRFA) und wellenlängendispersiver (WDRFA) Röntgenfluoreszenzanalyse unterschieden.

1.3.1 Energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (EDRFA)

In der EDRFA wird die Probe direkt oder durch einen Filter von der Röntgenröhre bestrahlt (Abb. 3). Ein Halbleiterdetektor (z.B. Silizium-Lithiumhalbleiter, Pindiode oder Siliciumdriftkammer) analysiert die Röntgenfluoreszenzstrahlung, die direkt von der Probe kommt.

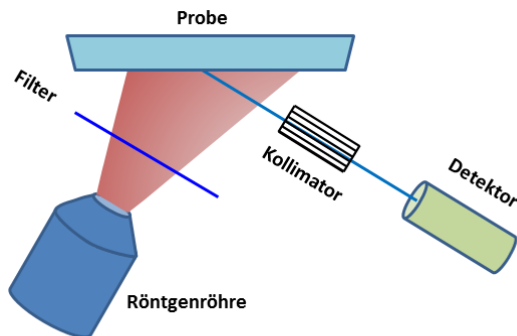


Abb. 3 Energiedispersive Röntgenfluoreszenz (EDRFA) mit Direktanregung.

Dabei muss der Detektor zusammen mit der zugehörigen Elektronik alle Photonen, die ihn erreichen nach Energie sortieren und zählen. Dabei entsteht ein Impulshöhenspektrum, das die Anzahl der Photonen oder Impulse einer bestimmten Energie wiedergibt. Typischerweise stehen dem Detektor zur Verarbeitung nur wenige μs zur Verfügung, so dass sich die Verarbeitung auf entsprechend ca. 1.000.000 Impulse pro Sekunde beschränkt. Mit Hilfe des Filters kann gezielt ein Teil der anregenden Strahlung ausgeblendet werden, so dass eine Überlastung des Detektors vermieden werden kann.

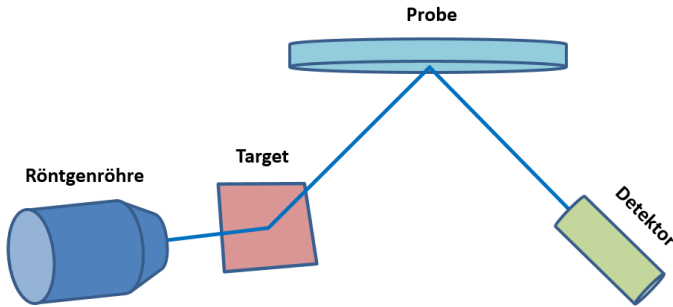


Abb. 4 Energie-dispersive Röntgenfluoreszenz (EDRFA) mit polarisierter Anregung.

Eine andere Möglichkeit der EDRFA stellt die RFA mit polarisierender Anregung dar (Abb. 4). Hier wird die von der Röhre kommende Strahlung mit Hilfe eines Targets um 90° abgelenkt und auf die Probe gestrahlt. Der Detektor muss dann senkrecht zu der Ebene Röhre, Target und Probe angeordnet werden. Wichtigster Effekt hierbei ist, dass durch die Ablenkung der Röntgenstrahlung um 90° polarisierte Strahlung entsteht, die im Spektrum zu einer Reduktion des spektralen Untergrundes führt.

1.3.2 Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (WDRFA)

Die WDRFA verwendet wie ein Teil der EDRFA die Direktanregung (Abb. 5). Auch hier können mit Hilfe von Filtern Teile des Anregungsspektrums ausgeblendet oder abgeschwächt werden. Der wesentliche Unterschied aber besteht bei der WDRFA in der Detektion der Röntgenfluoreszenzstrahlung. Mit Hilfe eines Goniometers wird nur eine Wellenlänge des Spektrums dem Detektor zugeführt, d.h. er misst nur eine Linie eines Elements. Um nun Multielementanalysen durchführen zu können, muss ein serielles Messprogramm erstellt werden, welches nacheinander alle interessierenden Linien abfährt und analysiert. Es gibt aber auch sogenannte Simultanspektrometer. Hier wird als sogenannter Festkanal für jedes Element ein feststehender Kristall mit zugehörigem Detektor um die Probe herum angeordnet. In Kombination mit einem Goniometer entstehen somit sehr

schnelle leistungsfähige RFA-Geräte, die vor allem in der Prozesskontrolle zum Einsatz kommen.

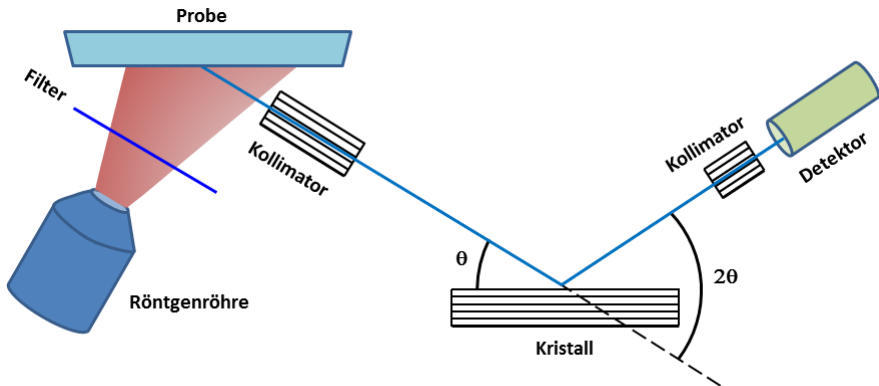


Abb. 5 Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenz (WDRFA).

1.3.3 Vergleich EDRFA – WDRFA

Generell kann man sagen, dass beide Techniken komplementär sind, sich also ergänzen. Die EDRFA hat einen Zeitvorteil, da sie alle Elemente gleichzeitig misst, während die (serielle) WDRFA die Elemente nacheinander misst.

Die WDRFA hat einen Auflösungs- und Empfindlichkeitsvorteil, der besonders im Ordnungszahlenbereich bis 30 und 55 bis 80 zum Tragen kommt.

Für größere Ordnungszahlen verwischen die Unterschiede. Die Energieabstände zwischen den Linien werden immer größer und damit der Auflösungs-vorteil der WDRFA kleiner. Gleichzeitig nimmt auch die Fluoreszenzausbeute und damit die Empfindlichkeit der Elemente zu, so dass die EDRFA letztendlich sogar bessere Nachweisgrenzen aufzeigt als die WDRFA.

1.3.4 Weitere RFA-Geräte

Mit der Miniaturisierung der Röntgenröhre wurde es möglich auch sehr kleine tragbare Röntgenfluoreszenzgeräte zu bauen (Abb. 6). Meistens haben sie die Form einer Pistole, mit der man direkt ein bestimmtes Material vor Ort analysieren kann. Obwohl die Messung dadurch sehr einfach geworden ist, sollten die Aspekte der Probenvorbereitung nicht vernachlässigt werden.

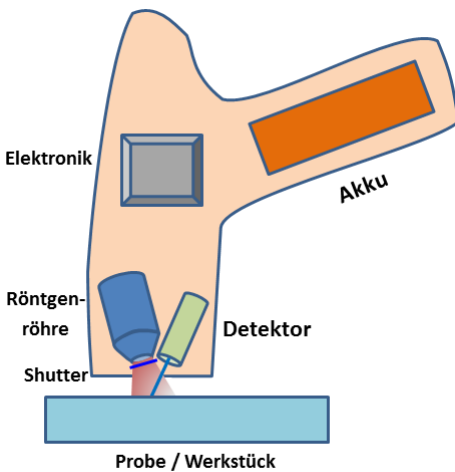


Abb. 6 Portables RFA Gerät auf Basis von EDRFA.

Sogenannte Mikro-RFA-Geräte verwenden einen fokussierenden Röntgenstrahl zur Anregung der Probe. Strahldurchmesser sind typischerweise 1mm bis 30 μ m. Damit ist eine orts aufgelöste RFA möglich. Die Probe wird zuerst optisch erfasst. Auf dem Foto bestimmt man dann den Ort der Analyse. Diese Vorgehensweise wird auch Spotting genannt (Abb. 7).

Eine andere Möglichkeit ist die schrittweise Analyse einer vorher bestimmten Fläche auf der Probe. Dieses Vorgehen nennt man Mapping. Abb. 8 zeigt in einer 3D Darstellung jeweils die gemessene Intensität von vier verschiedenen Elementen auf der Z-Achse und den zugehörigen Messpunkten auf der Probenoberfläche in der X/Y-Ebene. Mit dieser Technik kann zusätzlich eine orts aufgelöste Information von z.B. Einschlüssen oder Materialfehlern gewonnen werden.

1.3.5 Strahlenschutz

Die meisten RFA Geräte in unseren Laboren sind nach deutscher Röntgenverordnung Vollschutzgeräte. Das bedeutet, dass in einem Abstand von 10cm zu allen berührbaren Flächen eine effektive Dosis von $7.5\mu\text{Sv/h}$ erlaubt ist. Handelt es sich um ein bauartzugelassenes Gerät, ist der Betrieb der Behörde anzuzeigen (kein Strahlenschutzbeauftragter erforderlich). Hat das Gerät keine Bauartzulassung, muss der Betrieb von der Behörde genehmigt werden und ein Strahlenschutzbeauftragter ist erforderlich [3].

1.4 Applikationsentwicklung eines Prüfverfahrens

Der Einsatz der RFA ist nur dann erfolgreich, wenn man sie in ein komplettes Prüfverfahren einbindet. Damit ein solches Verfahren funktioniert sind folgende Schritte nötig:

- Definition der analytischen Leistung
- Definition der Elemente und der Konzentrationsbereiche
- Auswahl der Probenpräparation
- Auswahl der Standardproben
- Festlegen der Messbedingungen
- Kalibrierung
- Validierung

Die Durchführung dieser Schritte stellt sicher, dass das Prüfverfahren robust funktioniert und eine Überprüfung mit zertifiziertem Referenzmaterial besteht.

Als Beispiel eines Prüfverfahrens kann die RFA Grundlagennorm DIN 51418-2 herangezogen werden [4].

1.4.1 Definition der analytischen Leistung

Zur Definition der analytischen Leistung möchte ich hier auf statistische Kenngrößen, wie sie z.B. von NORDTEST [5] oder in der ISO Norm 29581-2 [6]

definiert sind, zurückgreifen. Um sprachliche Verwechslungen zu vermeiden gebe ich hier auch die englischen Begriffe an.

Abb. 9 gibt einen Überblick über die Begrifflichkeiten und deren Zusammenhang.

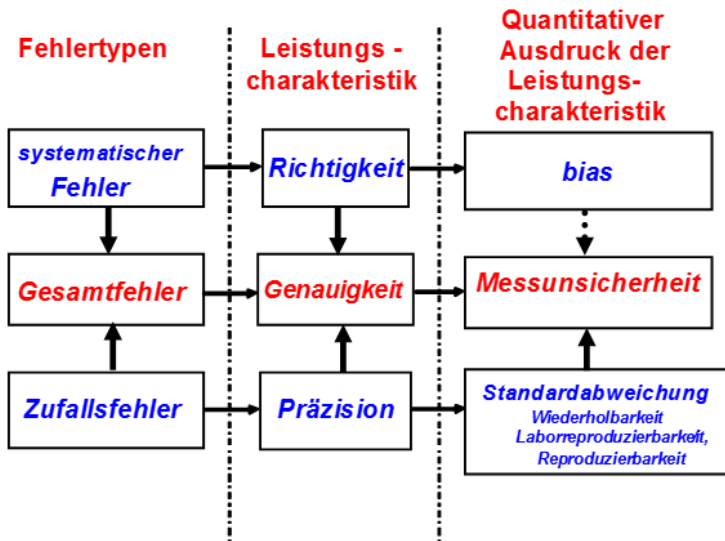


Abb. 9 Übersicht und Zusammenhang der Begriffe die zur Messunsicherheit beitragen [8].

1.4.1.1 Wiederholpräzision (Repeatability)

Unter Wiederholpräzision versteht man die Standardabweichung einer Elementkonzentration, die mit dem gleichen Prüfverfahren an einer identischen Probe im gleichen Labor von dem gleichen Anwender mit dem gleichen RFA-Gerät innerhalb von kurzer Zeit ermittelt wird.

Wird ein und dieselbe Probe z.B. als Pressling zehnmal gemessen, erhält man die Wiederholpräzision des RFA-Gerätes.

Dieser Fehler sollte mit Hilfe einer typischen Probe ermittelt werden. Er sollte kleiner als der Probenpräparationsfehler sein und entspricht dem Messfehler der RFA (siehe Kapitel 1.4.1.4).

Wird ein und dieselbe Probe z.B. als Pressling zehnmal neu präpariert und dann gemessen erhält man die Wiederholpräzision der Probenpräparation und des RFA-Gerätes.

Da der Probenpräparationsfehler meistens deutlich größer als der Messfehler ist, beschreibt dessen Wiederholpräzision wie gut die Probenpräparation funktioniert.

1.4.1.2 Reproduzierbarkeit (Reproducibility)

Unter Reproduzierbarkeit versteht man die Standardabweichung einer Elementkonzentration, die mit dem gleichen Analysenprinzip aber unter veränderten Bedingungen z.B. in verschiedenen Laboren von unterschiedlichen Anwendern mit unterschiedlichen RFA-Geräten ermittelt wird. Dieser Fall wäre typisch für einen Ringversuch, wo eine möglichst identische homogene Probe an verschiedene Labore geschickt wird und mit einem vorgeschriebenen Prüfverfahren analysiert wird.

Wird im gleichen Labor über ein Jahr die Standardabweichung einer Elementkonzentration der gleichen immer wieder neu präparierten Probe ermittelt, spricht man auch von laborinterner Reproduzierbarkeit.

1.4.1.3 Richtigkeit (Trueness)

Die Richtigkeit vergleicht die mit dem Prüfverfahren bestimmten Konzentrationen mit den Zertifikatswerten eines zertifizierten Referenzmaterials. Die Differenz wird auch als bias bezeichnet.

Am einfachsten funktioniert das für Verfahren, die von einer konstanten Matrix ausgehen. Mit wenigen zertifizierten oder bekannten Kontrollproben kann die Richtigkeit überprüft werden. Komplizierter wird es bei Verfahren, die verschiedene Matrizes erfassen. Hier versucht man mit Hilfe einer konzentrationsabhängigen Funktion die Richtigkeit zu berechnen (siehe z.B.

ISO 12677 [7]) oder man muss für verschiedene Konzentrations- und Matrixbereiche entsprechende Kontrollproben vorhalten.

1.4.1.4 Genauigkeit (Accuracy) oder Messunsicherheit (Measurement uncertainty)

Die Genauigkeit ist die Kombination von Präzision und Richtigkeit.

Messunsicherheit ist eine Abschätzung des Analysenfehlers einer Analyse unter Annahme einer bestimmten Fehlerwahrscheinlichkeit basierend auf zufälligen Fehlern (Präzision) und systematischen Fehlern (Richtigkeit).

1.4.1.5 Messfehler

Der reine Messfehler in der RFA wird direkt aus der gemessenen Intensität einer Linie bestimmt. Da es sich beim Detektionsprozess um eine Zählung von Impulsen (Counts) handelt, gelten für die Fehlerbestimmung die Gesetze der Zählstatistik. Formel (1) gibt die Berechnung des absoluten Fehlers aus den in der gesamten Messzeit gemessenen Impulsen an. Es ist offensichtlich, dass die Zahl der Impulse direkt von der Messzeit abhängt. Bitte beachten Sie, dass die Intensität einer Linie meist als Zähl- oder Impulsrate in Counts pro Sekunde angegeben wird. Zur Berechnung des absoluten Zählfehlers muss sie deshalb zuerst noch mit der Messzeit multipliziert werden.

$$s = \sqrt{N} \quad (1)$$

s Statistischer Messfehler
N Summe Impulse / Counts in der Messzeit

Tabelle 1 gibt den relativen Messfehler in Abhängigkeit der Messzeit an. Der kleinstmögliche relative Fehler einer RFA Messung liegt in der Praxis im Bereich von < 0.05%. Damit in einem Prüfverfahren der Messfehler vernachlässigbar klein wird, sollte die Messzeit für Hauptkomponenten so gewählt werden, dass ca. eine Million Impulse erreicht wird. Für Spurenkomponenten ist es meist unmöglich eine solche Impulszahl zu erreichen. Dann sollte man anhand von

Tabelle 1 eine praktische Messzeit ermitteln, deren korrespondierender Messfehler den Anforderungen des Prüfverfahrens genügt.

Tabelle 1 zeigt den relativen Messfehler einer Fluoreszenzlinie mit z.B. 1000 counts pro Sekunde in Abhängigkeit der Messzeit.

Zählrate [counts*s ⁻¹]	Messzeit [s]	Summe Counts N	Rel. Messfehler s
1.000	1000	1.000.000	0,1%
1.000	100	100.000	0,3%
1.000	10	10.000	1%
1.000	1	1.000	3%

1.4.1.6 Normen

Die einfachste Möglichkeit um die Leistungsdaten für ein Prüfverfahren festzulegen ist, wenn eine Norm diese bereits vorgibt. Für die RFA wurden bereits eine Reihe von Normen entwickelt. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über Normen die die RFA als Analysetechnik vorschreiben. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Zum Verständnis möchte ich hier noch einen kurzen Überblick über die verschiedenen Normsysteme geben. ISO Normen haben einen weltweiten, EN Normen einen europaweiten und DIN Normen einen deutschlandweiten Geltungsbereich. Andere nationale Normen sind z.B. ASTM für USA, IP für Großbritannien, NF für Frankreich etc.

Man versucht verschiedene Normen zu harmonisieren, so bedeutet z.B. DIN EN ISO 20884, dass diese Norm in allen 3 Bereichen DIN, EN und ISO anerkannt und entsprechend umgesetzt wird.

Tabelle 2 zeigt Normen die die RFA als Analysetechnik beinhalten.

NORM	Anwendung
DIN 51418-2	Begriffe und Grundlagen zur Messung, Kalibrierung und Auswertung
DIN 51729-10	Analyse von Asche mit RFA
ASTM D4326 – 04	Analyse von Asche mit RFA
EN ISO 12677	Analyse von Feuerfestprodukten mit RFA
DIN 51001 Beiblatt 1	Prüfung oxidischer Roh- und Werkstoffe mit RFA
ISO 9516-1	Analyse von Eisenerzen mit RFA
EN 15309	Analyse von Abfällen und Böden mit RFA
ISO 29581-2	Analyse von Zement mit RFA
DIN EN ISO 20884	Analyse von S in Kraftstoffen mit WDRFA
DIN ISO 15597	Analyse von Cl, Br in Petroprodukten mit WDRFA
DIN EN ISO 13032	Analyse von S in Kraftstoffen mit EDRFA
DIN 51399-2	Analyse von Additiven und Abriebmetallen in Schmierstoffen mit WDRFA
ASTM D 2622 – 98	Analyse von S in Petroprodukten mit WDRFA

1.4.2 Definition der Elemente und der Konzentrationsbereiche

Mit jeder neuen Applikation müssen die Elemente festgelegt werden, die bestimmt werden sollen. Vor allem muss überlegt werden in welchem Konzentrationsbereich dies erfolgen soll. Auf diese Überlegungen folgen dann weitere Schlüsse:

- Auswahl der Probenpräparation
- Auswahl der Standardproben
- Festlegen der Messbedingungen

1.4.2.1 Auswahl der Probenpräparation

Aus Tabelle 3 geht hervor, dass die Art der Probenvorbereitung den Fehler der Analyse also der Wiederholpräzision bestimmt. Um unsere am Anfang festgelegten Leistungsdaten des Prüfverfahrens zu erreichen müssen wir also eine passende Probenpräparation wählen.