

EIN WHITEPAPER VON
SPECTRO ANALYTICAL INSTRUMENTS

Das RFA-Prinzip: Die Grundlagen der Röntgenfluoreszenzanalyse

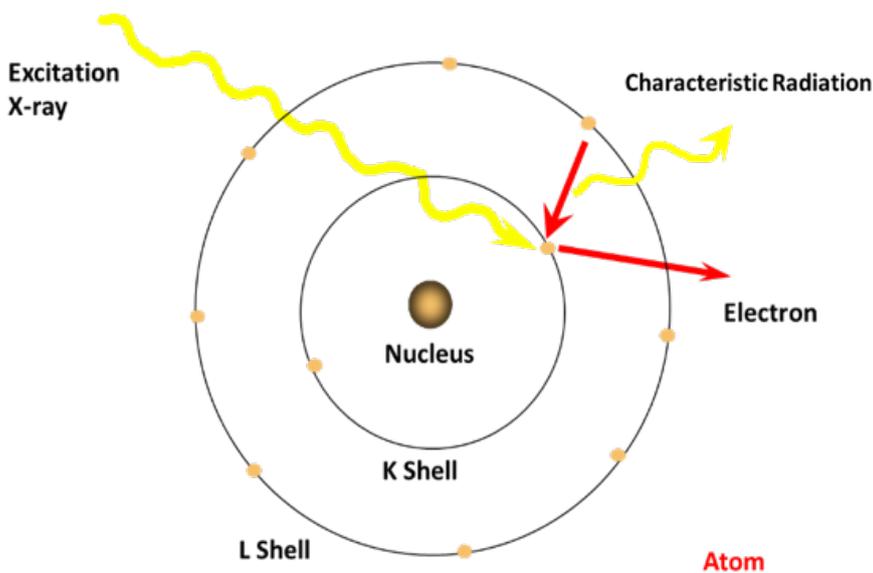
Einführung

Das traditionelle Anwendungsgebiet der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) hat seine Wurzeln in der Geologie. Feste Proben waren die ersten Probenarten, die mit Röntgenstrahlen analysiert wurden. Im Laufe der Jahre haben sich die Anwendungen erweitert und umfassen heute die Analyse von Legierungen, verschiedenen Arten von Pulverproben, flüssigen Proben und Filtermaterial.



Prinzip der RFA

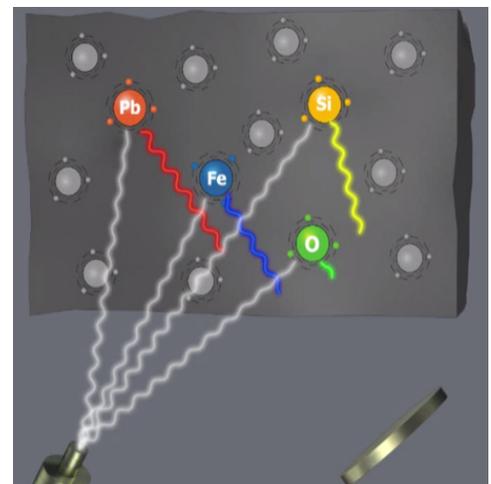
Die Wirkung der Röntgenfluoreszenz beruht auf der Anregung von Atomen in der Probe. Im Gegensatz zur optischen Spektroskopie liegt bei der Anregung eine Wechselwirkung mit den kernnahen Elektronen anstatt der Valenzelektronen vor. Dies ist im folgenden Bild des Bohr-Atommodells dargestellt.



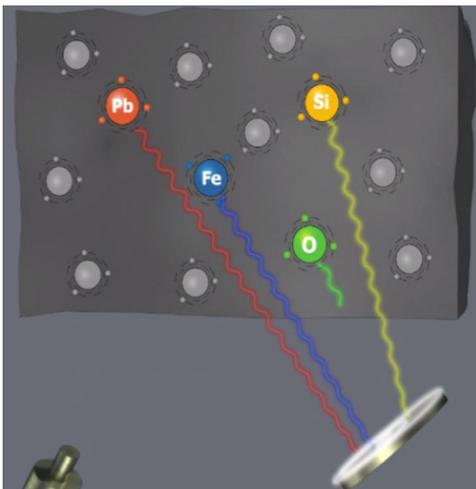
Der Prozess der Röntgenfluoreszenz beginnt mit einem primären Röntgenstrahl, der in der Regel mit einer Röntgenröhre erzeugt wird. Diese Anregungsstrahlung trifft auf ein kern-nahes Elektron des Atoms und ent-

fernt das Elektron aus dem Atom. Die offene Position wird von einem Elektron aus einer weiter entfernten Außenhülle gefüllt, dabei wird Fluoreszenzstrahlung abgegeben. Die Energie dieser Strahlung ist charakteristisch für das spezifische Atom und kann damit zu einer qualitativen Analyse, welche Atome in der Probe vorhanden sind, verwendet werden.

Da in der Probe viele unterschiedliche Atome vorhanden sein können, werden Röntgenstrahlen mit unterschiedlichen Energien abgegeben. Dies ist im folgenden Bild dargestellt.

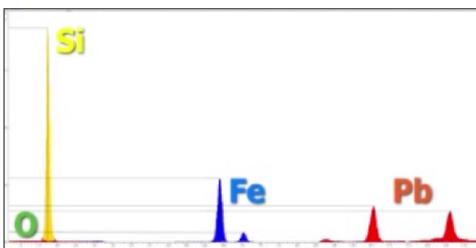


In einem energiedispersiven RFA-Gerät wird die Fluoreszenzstrahlung durch einen Halbleiterdetektor erfasst.



Die Röntgenstrahlen erzeugen im Detektor Signale, die von der Energie der einfallenden Strahlung abhängig sind. Die Signale werden an einen Mehrkanalanalysator übertragen.

Die Signale werden, wie unten dargestellt, in ein Spektrum umgewandelt. Die y-Achse stellt die Intensität der gesammelten Signale dar. Die x-Achse stellt die Fluoreszenzenergie dar.



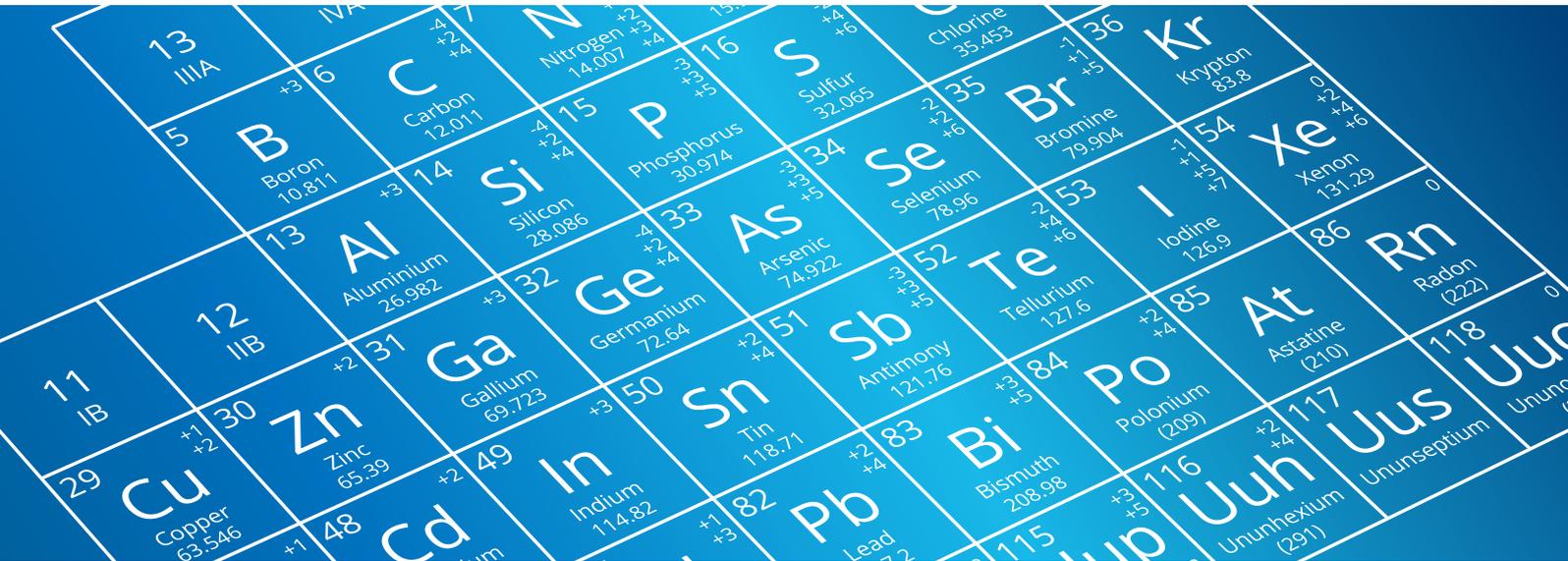
Mit Hilfe der Fluoreszenzenergie können die in der Probe vorhandenen Elemente identifiziert werden.

Es wird jedes Fluoreszenzsignal einzeln verarbeitet, dies geschieht aber mit hoher Geschwindigkeit. Moderne Detektoren können 1 Million Impulse und mehr pro Sekunde verarbeiten. Dadurch kann das Spektrum quasi-simultan aufgezeichnet werden. Bereits mit einer kurzen Messzeit kann das Spektrum ausreichende Informationen zur Berechnung der Intensitäten liefern, mit denen die Zusammensetzung der Probe bestimmt werden kann.

Die Verwendung einer längeren Messzeit ermöglicht höhere Intensitäten. Das führt zu einer besseren Präzision der Analyse und einem besseren Signal-zu-Untergrund-Verhältnis, und somit zu verbesserten Nachweisgrenzen.

Die Intensitäten folgen einer Poisson-Verteilung. Die folgende Tabelle zeigt den Einfluss der Intensität auf den statistischen Fehler der Analyse:

| Anzahl der Zählungen N | Abs. Fehler \sqrt{N} | Relativer Fehler in % |
|------------------------|------------------------|-----------------------|
| 100 | 10 | 10 % |
| 10.000 | 100 | 1 % |
| 1.000.000 | 1000 | 0,1 % |



Wichtig: Die hohe Empfindlichkeit in Verbindung mit einer hohen möglichen Zählrate ermöglicht eine hohe Genauigkeit!

Wenn eine hochpräzise Analyse der Konzentration eines in der Probe vorhandenen Elements erforderlich ist, sollten mindestens einige Millionen Impulse erfasst werden. Dies ist recht einfach, wenn die Probe eine hohe Konzentration eines Elements enthält und der Detektor eine hohe Zählrate verarbeiten kann. Schwieriger wird es, wenn die Konzentrationen niedrig sind und der Detektor nur eine niedrige Zählrate verarbeiten kann.

Um niedrige Nachweisgrenzen zu erreichen, ist eine Kombination aus hoher Empfindlichkeit und niedrigem Untergrund wichtig. Dies wird deutlich, wenn man sich die folgende Gleichung ansieht, mit der die Nachweisgrenze (NWG) abgeschätzt wird.

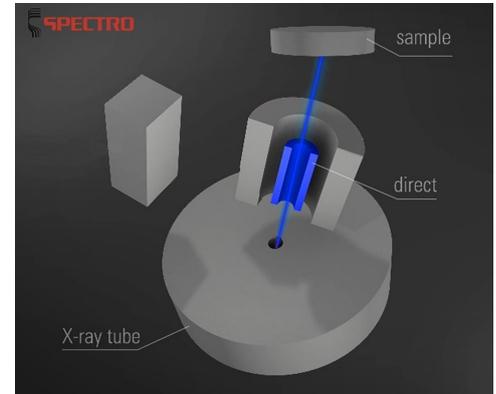
$$NWG = 3 \cdot C_0 \frac{\sqrt{B}}{N}$$

- N:** Intensität einer elementspezifischen Linie eines Standards innerhalb einer „Region of Interest“ (ROI) mit einer Breite von 1,1*FWHM (Volle Breite bei halbem Maximum)
- B:** Untergrund im gleichen ROI wie die Elementlinie
- C₀:** Konzentration des beobachteten Elements in der Referenzprobe

Wichtig: Geringer Untergrund in Kombination mit hoher Empfindlichkeit ist notwendig, um niedrige Nachweisgrenzen zu erreichen!

Optimierung der Anregung

Viele Anwendungen für die RFA erfordern nur einen sehr einfachen Aufbau mit Anregung-Probe-Detektor.

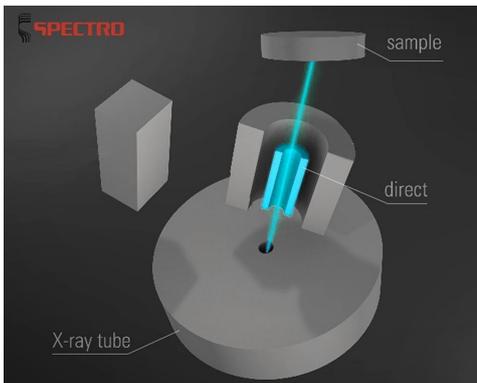
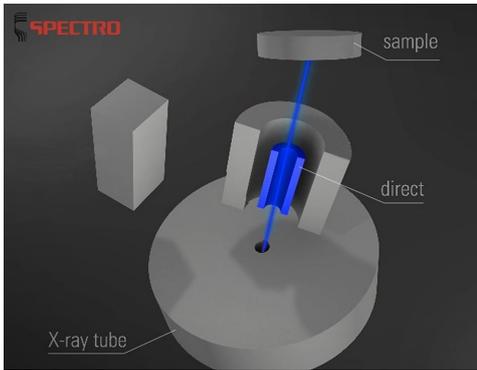


Für anspruchsvollere Anwendungen, die eine hohe Empfindlichkeit und/oder niedrige Nachweisgrenzen erfordern, ist die Optimierung von Anregungs- und Detektorsystemen entscheidend.

Eine hohe Empfindlichkeit kann durch eine sorgfältig ausgewählte Röntgenröhre erreicht werden. Wichtige Merkmale sind die Konstruktion der Röhre (Seitenfenster, Endfenster, Transmissionsfenster usw.), die Röhrenleistung und das Anodenmaterial.

Die Auswahl des Anodenmaterials ist besonders wichtig, wenn eine hohe Empfindlichkeit für eine bestimmte Gruppe von

Elementen erforderlich ist. Die folgenden Schemata zeigen den Effekt, indem verschiedene Farben zur Darstellung verschiedener Anregungsenergien verwendet werden.

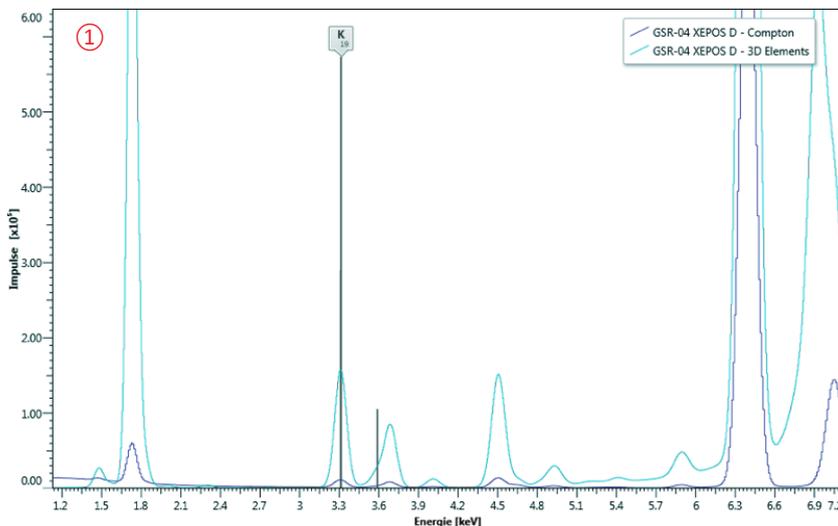


Ein guter Multielementanalysator ermöglicht verschiedene Anregungsbedingungen, um eine hohe Empfindlichkeit für größere Elementgruppen zu erreichen.

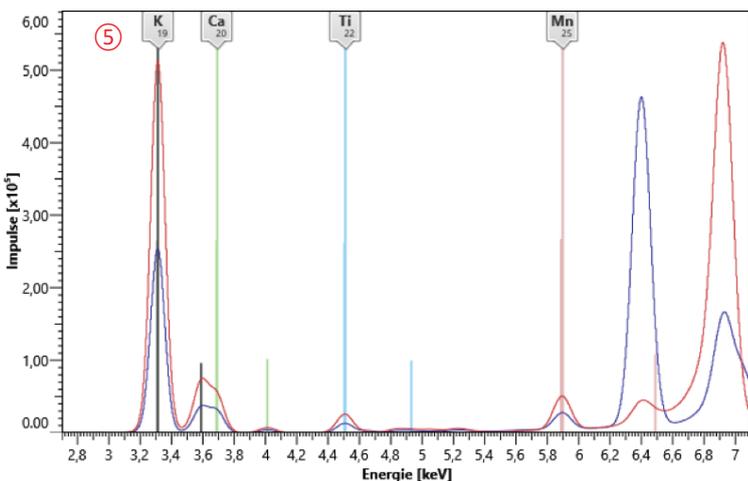
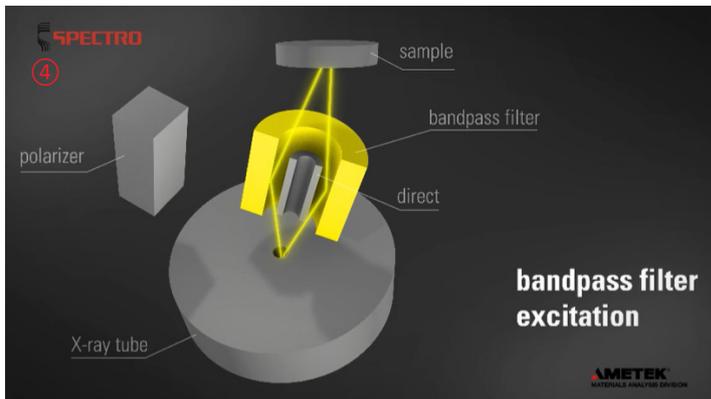
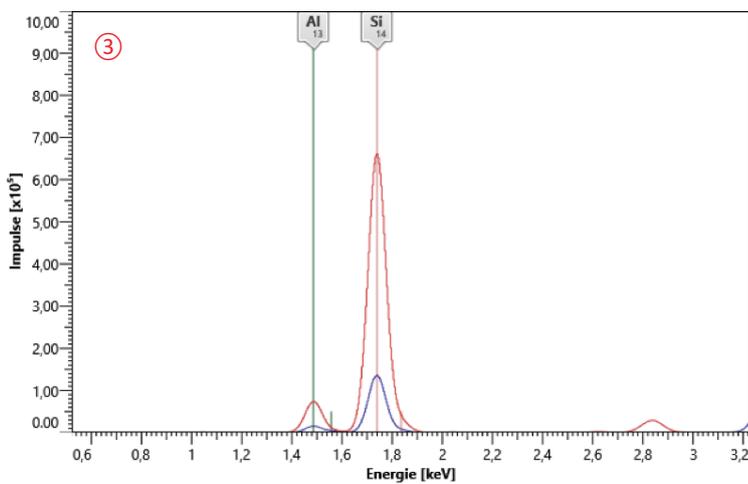
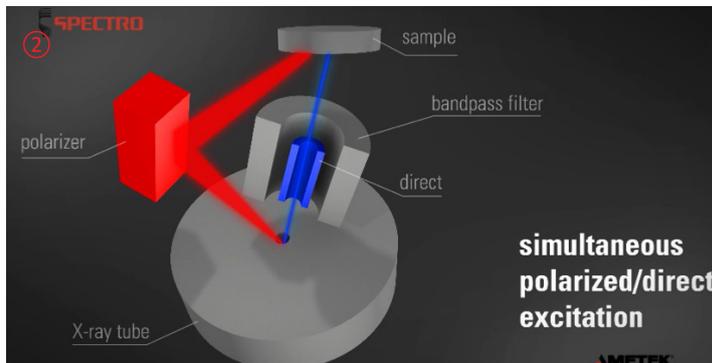
Um den Untergrund im Spektrum zu reduzieren, muss ein weiterer Effekt untersucht werden: Ein Teil der Anregungsstrahlung wird von der Probe gestreut und erreicht den Detektor, was zu erhöhtem Untergrund im Spektrum führt. Die Verwendung von Filtern im Primärstrahlengang kann diesen Untergrund reduzieren, führt aber auch zu einer geringeren Empfindlichkeit. Deshalb müssen die Filter sorgfältig ausgewählt werden.

Wichtig: Beim Einsatz von Filtern im Primärstrahl ist eine sorgfältige Auswahl erforderlich, um einen guten Kompromiss zwischen niedrigem Untergrund und guter Empfindlichkeit zu erreichen!

Der folgende Vergleich zeigt Spektren einer Probe ①, die mit Pd- (blau dargestellt) und Co-Anode in der Röntgenröhre (türkis dargestellt) angeregt wurde. Für die Analyse von Kalium in dieser Probe bietet die Co-Anregung eine höhere Empfindlichkeit als die Pd-Anregung, da diese näher an der Absorptionskante von Kalium liegt.



Wichtig: Je näher die Energie der Anregungsstrahlung an der Absorptionskante des untersuchten Elements liegt, desto höher ist die Empfindlichkeit!



Werkzeuge wie Polarisatoren und Bandpassfilter können verwendet werden, um diese gestreute Strahlung zu reduzieren. Die folgenden Schemata ② zeigen eine kombinierte direkte/polarisierte Anregung für diesen Zweck.

Auf der linken Seite ist im Spektrenvergleich ③ der Effekt einer Anregung über einem doppelt gekrümmten Kristall für die Polarisation (in rot) zu dem einer direkten Anregung (in blau) dargestellt.

Der große Vorteil in diesem Fall besteht darin, dass der Polarisator einen größeren Raumwinkel der Strahlung der Röntgenröhre erfasst und diese wieder auf die Probe fokussiert. Damit wird die Intensität erhöht, die Anregungsstrahlung ist monochromatisch und polarisiert.

Ein Bandpassfilter kann auch zur Monochromatisierung der Anregungsstrahlung eingesetzt werden. Das Bild links ④ zeigt das Schema für diese Art von Anregung.

Das Ergebnis ist vergleichbar mit dem Einsatz eines Interferenzfilters in der Optik. Nur Strahlung mit einer bestimmten Energie passiert den Bandpassfilter. Die Anregungsstrahlung wird monochromatisch, und durch den größeren Raumwinkel im Vergleich zu einer direkten Anregung wird die Intensität erhöht.

Der Spektrenvergleich ⑤ zeigt den Einfluss eines Bandpassfilters (rot dargestellt) zu dem einer direkten Anregung (blau dargestellt).

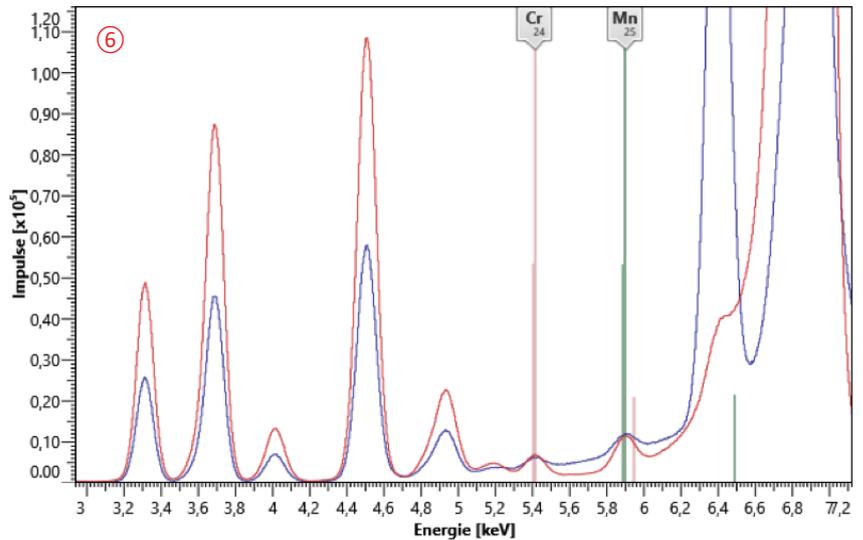
Aber neben der höheren Empfindlichkeit wird auch der Untergrund im Spektralbereich wichtiger Spurenelemente verbessert. Dies ist im Spektrenvergleich rechts dargestellt ⑥.

Der Vergleich zeigt deutlich die kombinierte Wirkung von geringerem Untergrund und höherer Empfindlichkeit für die Bestimmung von Spurenelementen wie Cr und Mn.

Nachweis

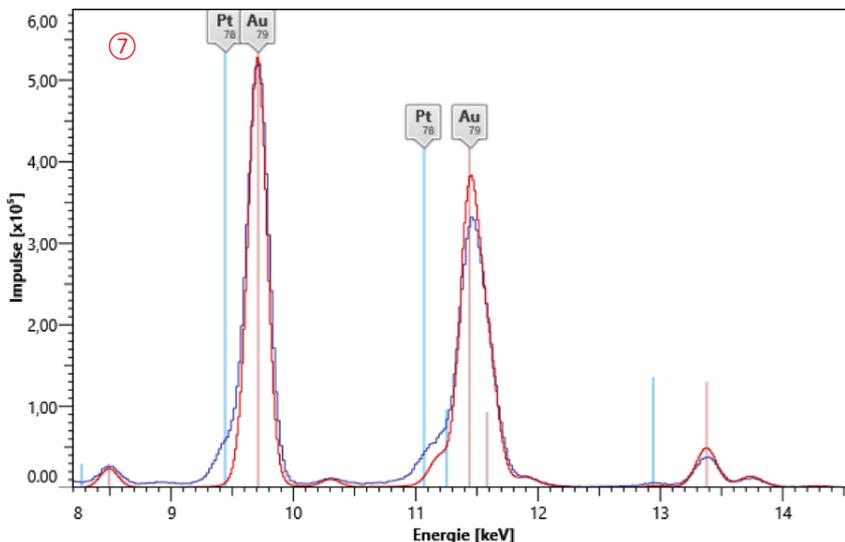
Ein wichtiger Aspekt des Detektors ist seine Auflösung. Dies wird normalerweise für eine feste Energie angegeben, um die Leistungsdaten vergleichen zu können. Die Referenzenergie ist die von Mn K_{α} . Beim Testen von Detektoren wird typischerweise eine Fe-55-Quelle verwendet, die Mn K_{α} -Strahlung emittiert.

Verschiedene Detektoren bieten unterschiedliche Auflösungen. Typische Detektoren in der ED-RFA sind Proportionalzähler, Si-PIN-Detektoren und Si-Drift-Detektoren (SDDs), wobei SDDs die beste Auflösung bieten. Der Vorteil einer guten Auflösung zeigt sich, wenn Signale eines Elements mit einer niedrigen Konzentration in der Probe neben dem Fluoreszenzsignal eines Elementes mit einer hohen Konzentration in der Probe bestimmt werden müssen. Dies zeigt sich in den folgenden Spektren ⑦. Hier wird ein Detektor mit guter Auflösung

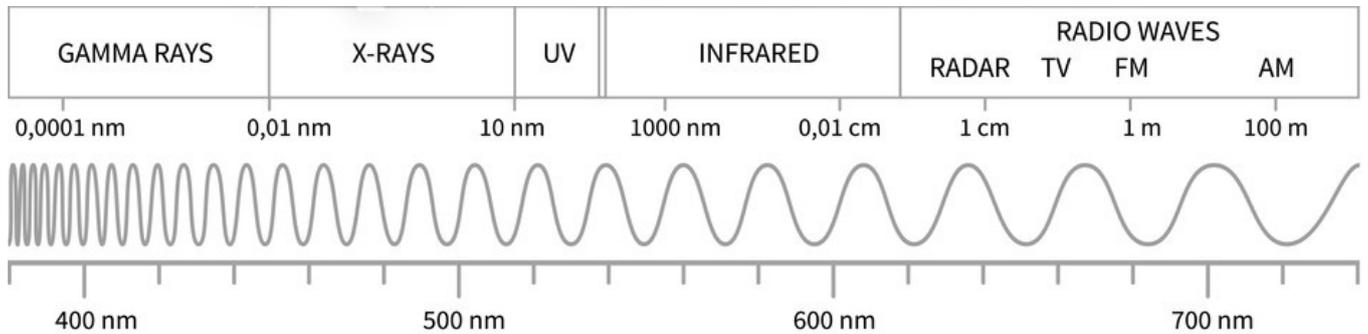


(in rot) mit einem Detektor mit schlechterer Auflösung (in blau) verglichen. Die Bestimmung des richtigen Pt-Gehalts in der Probe wird mit einem Detektor mit schlechterer Auflösung schwieriger.

Für die meisten Anwendungen ist es wichtig, hohe Zählraten zu haben, wie oben beschrieben. Beim Einsatz von Detektoren einer früheren Generation mussten Kompromisse eingegangen werden, entweder um eine hervorragende Auflösung oder eine hohe Zählrate zu erreichen. Ein modernes Detektionssystem auf Basis der SDD-Technologie bietet sowohl eine hervorragende Auflösung als auch eine hohe Zählrate.



Wichtig: Bei der Auswahl eines Detektionssystems ist es in vielen Fällen wichtig, eine ausgezeichnete Auflösung und eine hohe Zählrate zu haben!



Probenvorbereitung

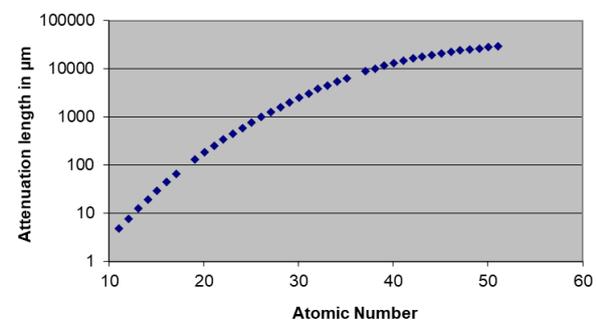
Traditionell ist die RFA als zerstörungsfreie Analysenmethode bekannt. Das ist aber nicht immer der Fall, und die Probenvorbereitung muss entsprechend dem Ziel der Analyse ausgewählt werden. Die Wahl der richtigen Probenvorbereitung hängt auch von der Art der Probe ab und ist für Legierungen, Granulate, Pulver oder flüssige Proben definitiv unterschiedlich.

Typische Optionen für die Probenvorbereitung sind:

- Keine Probenvorbereitung
- Abfüllen von kleinen Partikeln, Pulvern, Flüssigkeiten usw. in RFA-Probenbecher
- Reinigung der Probenoberfläche von Glas oder Legierungen
- Entfernen von Probenoberflächen wie Oxiden oder Beschichtungen
- Bearbeitung oder Polieren von Oberflächen von Metallen
- Pulverisierung der Proben und Abfüllen des Pulvers in RFA-Probenbecher
- Pulverisieren von Proben, Mischen des Pulvers mit Bindemittel und Herstellung eines Pulverpresslings
- Herstellung von Presslingen aus feinem Pulver ohne Bindemittel (in der Regel in Al-Cups, bzw. in Stahlringen zur besseren Haltbarkeit)
- Herstellung von Schmelztabletten, hauptsächlich aus oxidischen Proben nach dem Mischen mit Flussmittel wie Lithium-Tetraborat oder Lithium-Metaborat

Warum ist die Probenvorbereitung so wichtig? Das liegt daran, dass die Tiefe, aus der die Fluoreszenzstrahlung erfasst werden kann, je nach der Energie der Röntgenstrahlen ziemlich gering sein kann. Darüber hinaus ist dieser Effekt auch matrixspezifisch. Allgemein gefasst: Je schwerer die Probenmatrix, desto geringer ist die Tiefe, aus der die Information erfasst wird. Um diesen Effekt einzuschätzen, wird üblicherweise die sogenannte „Attenuation Length“ berechnet. Dies ist die Dicke, ab der das Fluoreszenzsignal auf 1/e unterdrückt wird. Das folgende Diagramm zeigt die „Attenuation Length“ für verschiedene Elemente in einer reinen Polymermatrix unter der Annahme eines Winkels von 45 Grad zwischen Probe und Detektor.

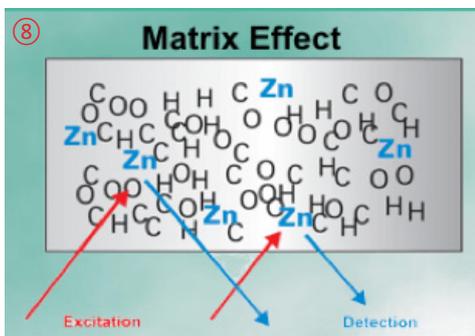
Je nach analytischen Anforderungen bedeutet dies, dass eine geeignete Probenvorbereitungstechnologie ausgewählt werden



muss. Eine genaue Analyse des P-Gehalts kann z. B. nicht aus einem Polymergranulat erfolgen. Eine genaue Analyse der Hauptbestandteile in geologischen Proben erfolgt in der Regel auf der Grundlage von Schmelztabletten. Für Prüfanwendungen wie Konformitätstests können größere Fehler toleriert werden, so dass zwischen einer einfachen oder gar keiner Probenvorbereitung gewählt wird.

Quantifizierung

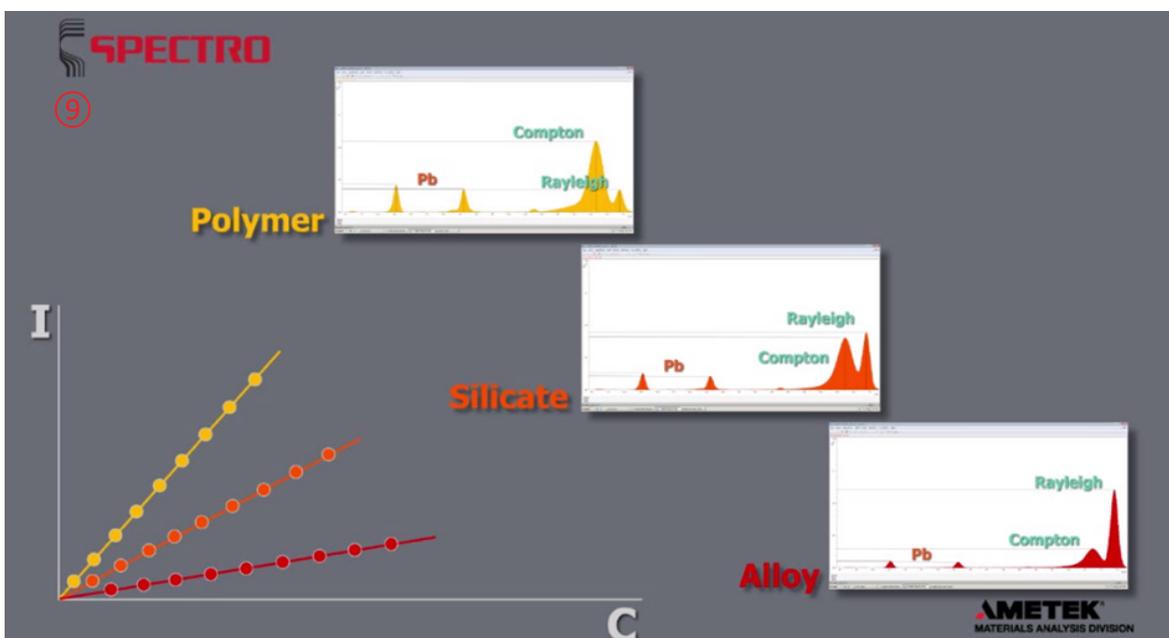
Je nach Komplexität der Probenzusammensetzung können Matrixeffekte die Bestimmung des Elementargehalts schwierig machen. Durch Matrix-Effekte können z. B. die primären Röntgenstrahlen auf ihrem Weg in die Probe absorbiert werden, ebenso wie die Fluoreszenzstrahlung auf ihrem Weg aus der Probe, wie im kleinen Bild unten ⑧ gezeigt.



Darüber hinaus müssen weitere Effekte wie die sekundäre Anregung berücksichtigt werden. Je nach Probenmatrix führt dies zu unterschiedlichen Intensitäten und Kalibrierkurven, wie im großen Bild unten ⑨ gezeigt.

Der einfachste Weg, genaue Ergebnisse zu erhalten, ist die Verwendung von an die Matrix angepassten, gut charakterisierten Proben für die Kalibrierung. In diesem Fall werden typischerweise empirische oder Alpha-Koeffizienten-Berechnungsmodelle verwendet.

Die RFA ist aber auch bekannt für die Möglichkeit, Konzentrationen in Proben ohne vorherige Kenntnis der Probenmatrix zu bestimmen. Dies ist durch den Einsatz so genannter Fundamentalparameter (FP)-Ansätze möglich. Diese funktionieren am besten mit einer gegebenen Probenmatrixinformation (z. B. Legierungen, Oxide, Wasser, Öl...). Liegen keine Probenmatrixinformationen vor, ist eine Kombination von Fundamentalparametern für die Fluoreszenzstrahlung und Streuung die Methode der Wahl: Bei SPECTRO wird dieses Verfahren als „Turboquant“ bezeichnet (siehe separates Whitepaper und Video auf www.spectro.com).



Messgeräteausstattung

ED-RFA-Geräte sind in verschiedenen Konfigurationen erhältlich. Es gibt keine eindeutige Antwort auf die Frage, welches Instrument am besten geeignet ist. Nachfolgend finden Sie eine Übersicht der ED-RFA-Geräte von SPECTRO.



SPECTRO xSORT



SPECTRO MIDEX



SPECTROSCOUT



SPECTRO XEPOS



SPECTROCUBE

Anwendungsbeispiele

Zusatzstoffe in Öl/Schmierstoffen

Anwendung: Quantifizierung des Additivgehalts in Schmieröl
 Vorbereitung: Flüssigkeit in den Probenbecher füllen
 Genauigkeit: 1-3 % rel. (i. d. R.)
 LOD: ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter, empirisch
 Prüfverfahren: ASTM D6481, ASTM D7751

Gebrauchtöl

Anwendung: Kontrolle von Verschleiß
 Vorbereitung: Homogenisieren des Altöls, Flüssigkeit in den Probenbecher füllen
 Genauigkeit: 10-20 % rel. (typisch)
 LOD: ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter, empirisch
 Prüfverfahren: EN 15309

Abrieb/Kühlschmierstoffe

Anwendung: Kontrolle von Zusatzelementen und Verschleiß in Öl/Emulsionen
 Vorbereitung: Flüssigkeit in den Probenbecher füllen
 Genauigkeit: 10 % rel. (typisch)
 LOD: ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter mit automatischer Matrixkorrektur (z. B. TURBOQUANT)
 Prüfverfahren: EN 15309

Kraftstoffe

Anwendung: Quantifizierung des Schwefelgehalts
 Vorbereitung: Flüssigkeit in den Probenbecher füllen
 Genauigkeit: 1-3 % rel., je nach Konzentration
 LOD: < 1 ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter, empirisch
 Prüfverfahren: ASTM D4294, EN ISO 20847, IP 496, ISO 8754, ASTM D7220, ISO 13032

Biokraftstoffe

Anwendung: Überprüfung der S- und Spurenelementgehalte
 Vorbereitung: Flüssigkeit in den Probenbecher füllen
 Genauigkeit: 1-3 %, je nach Konzentration
 LOD: < 1 ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter

Abfall

Anwendung: Quantifizierung aller Elemente im Bereich von Na bis U
 Vorbereitung: Pellets, Pulver und Flüssigkeiten in Probenbechern
 Genauigkeit: 10-20 % rel. (typisch)
 LOD: > 0,5 ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter mit automatischer Matrixkorrektur (z. B. TURBOQUANT)
 Prüfverfahren: EN 15309

RoHS, WEEE, ELV, Konformitätsprüfung

Anwendung: Quantifizierung von Gehalten von Cr, Cd, Pb, Hg, Br und weiteren Elementen
 Vorbereitung: direkt, Pulver, Granulate LOD: ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter mit automatischer Matrixkorrektur (z. B. TURBOQUANT), empirisch
 Prüfverfahren: IEC 62321-3-1, ASTM F2617

Polymere

Anwendung: Quantifizierung der Gehalte von Additiven wie Flammenschutzmitteln, Pigmenten, Füllstoffen
 Vorbereitung: Presslinge, direkt, Pulver, Granulate
 LOD: ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter mit automatischer Matrixkorrektur (z. B. TURBOQUANT), empirisch

Mineralien/Geologie/Keramik/Feuerfestmaterialien

Anwendung: Quantifizierung der Gehalte der Hauptkomponenten
 Vorbereitung: Schmelztabletten
 Genauigkeit: 0,2 % abs. für Hauptelemente (typisch)
 LOD: > 100 ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter oder Alpha-Korrekturen
 Prüfverfahren: DIN 51001

Anwendung: Kontrolle der Spurenelement-Gehalte
 Vorbereitung: Pellets
 LOD: > 0,2 ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter oder Alpha-Korrekturen

Zement

Anwendung: Quantifizierung der Hauptkomponenten-Gehalte
 Vorbereitung: Schmelztabletten oder Pulverpresslinge
 Genauigkeit: 0,2 % abs. für Hauptelemente (typisch)
 LOD: > 100 ppm
 Quantifizierung: empirische oder Alpha-Korrekturen

Metallegierungen

Anwendung: Quantifizierung der Gehalte
 Vorbereitung: Polierte Oberfläche
 Genauigkeit: stark abhängig von Element und Konzentration
 LOD: > 100 ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter

Metallegierungspulver

Anwendung: Quantifizierung der Gehalte
 Vorbereitung: in Probenbecher
 Genauigkeit: stark abhängig von Element und Konzentration
 LOD: > 100 ppm
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter

Edelmetalle

Anwendung: Quantifizierung der Gehalte
 Vorbereitung: für gebrauchte oder polierte Oberflächen wird eine Oberflächenentfernung empfohlen
 Genauigkeit: ~ 0,1 % abs. für Hauptelemente (typisch)
 LOD: > 0,01 %
 Quantifizierung: Fundamental-Parameter

Erze, Konzentrate und Rückstände

Anwendung: Quantifizierung der Hauptkomponenten-Gehalte
 Vorbereitung: Schmelztabletten
 Genauigkeit: 1-3 % rel. (typisch)
 Quantifizierung: empirische oder Fundamental-Parameter

Schlacke

Anwendung: Quantifizierung der Hauptkomponenten
 Vorbereitung: Schmelztabletten oder Pulverpresslinge
 Quantifizierung: empirische oder Alpha-Korrekturen
 Prüfverfahren: DIN 51001

Ferrolegierungen

Anwendung: Quantifizierung der Hauptkomponenten-Gehalte
 Vorbereitung: Pellets, Schmelzpellets
 Genauigkeit: 1-3 % rel. (i. d. R.)
 LOD: > 100 ppm
 Quantifizierung: Empirische Kalibrierung
Anmerkung: Ferrolegierungen können schwere Auswirkungen auf die Partikelgröße haben. Daher müssen Normen die gleichen Korngrößeneffekte aufweisen wie die Proben. Handelsübliche Referenzproben eignen sich nur dann für eine Kalibrierung zur genauen Analyse, wenn sie als Schmelzpellet vorbereitet sind.

Pharmazeutische Produkte

Anwendung: Kontrolle der Spurenelement-Gehalte
 Vorbereitung: Pellets, Pulver im Probenbehälter
 LOD: > 0,2 ppm
 Quantifizierung: Fundamentalparameter mit automatischer Matrixkorrektur (z. B. TURBOQUANT für pharmazeutische Produkte)

Lebensmittel

Anwendung: Quantifizierung von Lebensmittelzusatzstoff- und Spurenelement-Gehalten
 Vorbereitung: Pulverpresslinge, Pulver im Probenbecher
 Genauigkeit: 1-5 % (typisch für Additivelemente)
 LOD: > 0,2 ppm
 Quantifizierung: Fundamentalparameter oder empirische Methoden

Kosmetische Produkte

Anwendung: Zusatzstoff- und Spurenelemente-Gehalte
 Vorbereitung: Pulverpresslinge, Pulver im Probenbecher
 Genauigkeit: 1-5 % (typisch für Additivelemente)
 LOD: > 0,2 ppm
 Quantifizierung: Fundamentalparameter mit automatischer Matrixkorrektur oder empirischen Methoden



KONTAKT AUFNEHMEN



ANGEBOT ANFORDERN



DEMO ANFORDERN



RESSOURCEN

www.spectro.com



Deutschland

SPECTRO Analytical

Instruments GmbH
 Boschstrasse 10, D-47533 Kleve
 Tel: +49.2821.892.2100
 Fax: +49.2821.892.2202
spectro.sales@ametek.com

U.S.A.

SPECTRO Analytical Instruments Inc.

91 McKee Drive
 Mahwah, NJ 07430
 Tel: +1.800.548.5809
 +1.201.642.3000
 Fax: +1.201.642.3091
spectro-usa.sales@ametek.com

AMETEK®
 MATERIALS ANALYSIS DIVISION

China

AMETEK Commercial
 Enterprise (Shanghai) CO., LTD.
 Part A1, A4 2nd Floor Building No.1,
 No.526 Fute 3rd Road East, Pilot Free Trade Zone
 200131 Shanghai
 Tel.: +86.400.100.3885, +86.400.189.7733
 Fax: +86.21.586.609.69
spectro-china.sales@ametek.com

Niederlassungen: **FRANKREICH:** Tel. +33.1.3068.8970, Fax +33.1.3068.8999, spectro-france.sales@ametek.com, **GROSSBRITANNIEN:** Tel. +44.1162.462.950, Fax +44.1162.740.160, spectro-uk.sales@ametek.com, **INDIEN:** Tel. +91.22.6196.8200, Fax +91.22.2836.3613, sales.spectroindia@ametek.com, **ITALIEN:** Tel. +39.02.94693.1, Fax +39.02.94693.650, spectro-italy.sales@ametek.com, **JAPAN:** Tel. +81.3.6809.2405, Fax +81.3.6809.2410, spectro-japan.sales@ametek.co.jp, **SÜDAFRIKA:** Tel. +27.11.979.4241, Fax +27.11.979.3564, spectro-za.sales@ametek.com,

SPECTRO ist weltweit in mehr als 50 Ländern aktiv. Ihren örtlichen Ansprechpartner finden Sie unter www.spectro.com/worldwide.

© 2019 by AMETEK, Inc. All rights reserved. Technische Änderungen vorbehalten • I-19, Rev. 0. Photos: SPECTRO, Getty Images.

Registered trademarks of SPECTRO Analytical Instruments GmbH  SPECTRO: USA (3,645,267); EU (005673694); „SPECTRO“: EU (009693763);

„SPECTRO XEPOS“: D (39851192), USA (2,415,185); „xSORT“: USA (IR 3,767,555); Japan, China (IR 978 588); EU (007058456) „MIDEX“: EU (003131984), USA (2,864,548);

„SPECTROSCOUT“: EU (10705424); SPECTROCUBE: EU (017937930)