



WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE



Grundlagen der Spektrometrie

Schwerpunkte:

Optische Emissionsspektrometrie
und Röntgenfluoreszenzanalyse

Inhalt:

- Vorstellung W.S. Werkstoff Service
- Grundlagen Spektrometrie
- OES-Spektrometrie
- RFA-Spektrometrie
- Strahlenschutz für mobile RFA





Inspektionsstelle (ISO/IEC 17020)



Werkstoffprüflabor (ISO/IEC 17025)



MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE



Zertifizierte Weiterbildungsstätte (ISO 9001, AZAV)
Anerkannte Ausbildungsstätte (ISO 9712, DGZfP)



Gutachterliche Tätigkeit
ZfP-Kompetenzstelle (DIN 27201-7)

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Kurse nach ISO 9712:

- Ultraschallprüfung (UT)
- Magnetpulverprüfung (MT)
- Eindringprüfung (PT)
- Sichtprüfung (VT)
- Wirbelstromprüfung (ET)
- Durchstrahlungsprüfung (RT)

Kurse Werkstoffprüfung – u.a.:

- Spektrometrie
- Härteprüfung
- Mechanisch-technol. Prüfungen
- Metallographie
- Aufbau + Eigenschaften Metalle
- Schweißnahtprüfung

Kurse Wärmebehandlung:

- Grundlagen Wärmebehandlung
- Glühen, Härten, Anlassen
- Randschichthärten
- Thermochemische Verfahren
- Vertiefung Wärmebehandlung

Kurse W.S. Spezial:

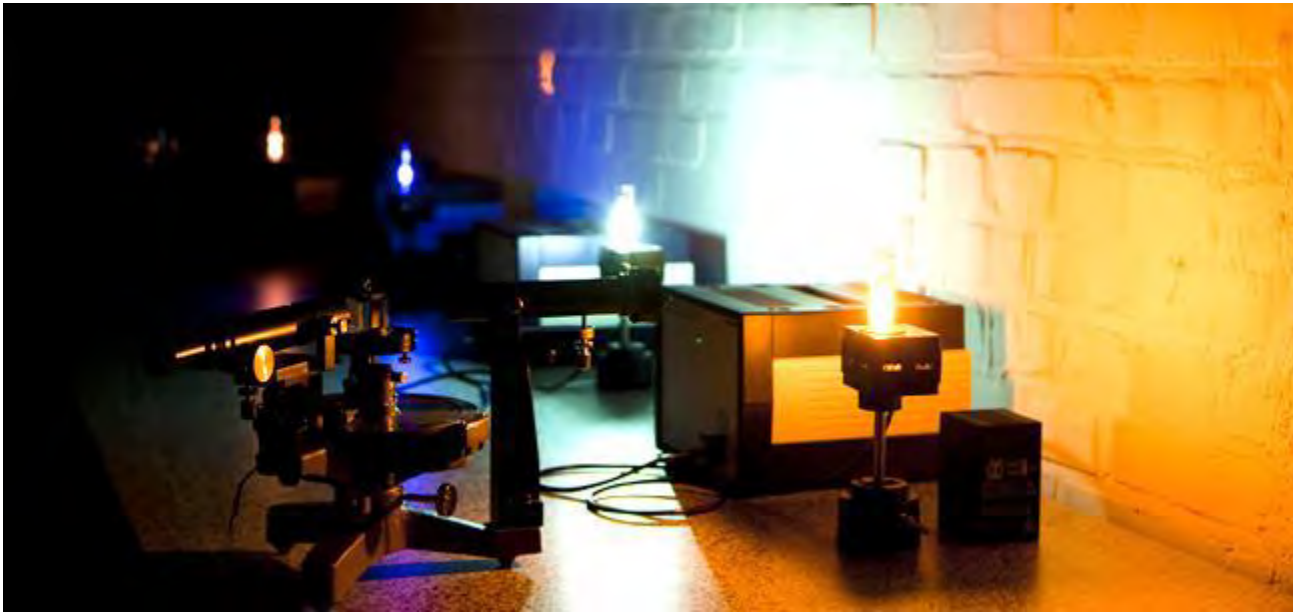
- Messunsicherheiten
- Schadensanalyse
- Eigenspannungen
- Mobile Werkstoffprüfung und ZfP
- Schweißnahtbewertung
- Bezeichnungssysteme Stahl



Berufliche Neuorientierung:

- Umschulung Werkstoffprüfer (2a, IHK-Abschluss)
- Fachkraft Materialprüfung (6m, Metalltechnik, Systemtechnik)
- Prüfwerker (DIN 54161)

Teil 1 – Grundlagen und Anwendung der optischen Emissions-Spektrometrie (OES)





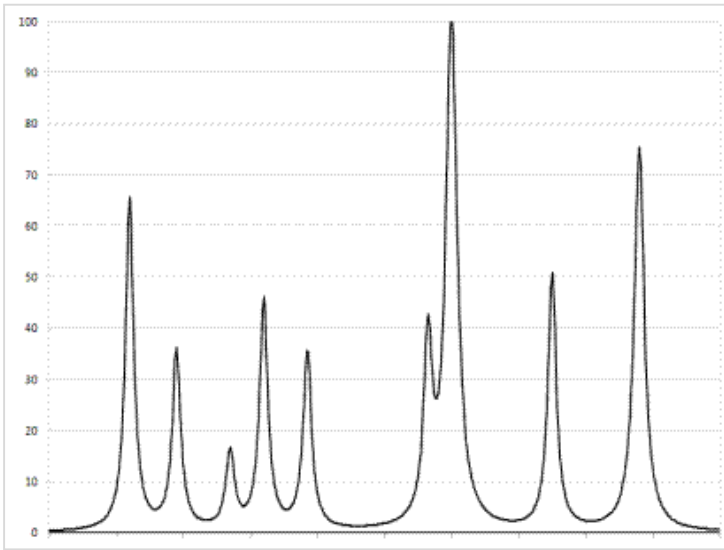
Ziele der Spektrometrie – u.a.:

- Identifizierung chemischer Elemente
- Bestimmung der Mengen der jeweiligen chemischen Elemente

Ausgangspunkt der Spektrometrie:

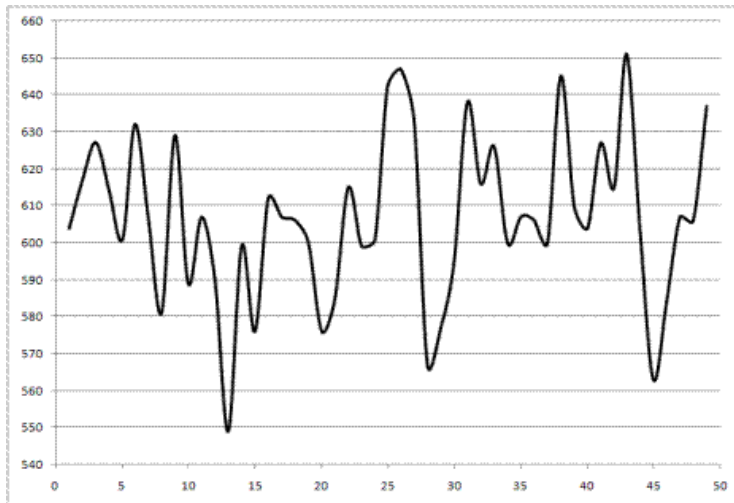
- Astronomie – Untersuchung der Zusammensetzung der Sterne auf der Grundlage des von ihnen ausgesandten Lichtes
- Entdeckung des Elementes Helium durch Entdeckung einer bis dahin unbekanntes Spektrallinie im Absorptionsspektrum der Sonne (gr. *helios* = Sonne)





Was ist ein Spektrum?

- Darstellung einer (physikalischen) Größe und der Häufigkeit (Intensität), mit der sie auftritt
- Z.B. die Darstellung der Energie bzw. der Wellenlänge des Lichtes und die Intensität, die das Licht bei einer bestimmten Wellenlänge/Energie hat



Auch ein Spektrum ...

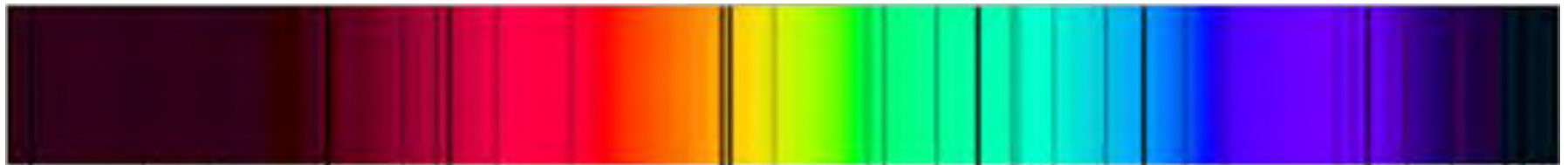
- Ergebnisse der letzten ca. 3000 Ziehungen im Lotto 6 aus 49
- Problem: Die häufigsten Zahlen kommen nicht gemeinsam häufig vor ...

Optische Emissions-Spektrometrie:

- Analyse von Licht (sowie infraroter und vor allem ultravioletter Strahlung) im Wellenlängenbereich von ca. 100 nm bis 900 nm
- Emissionslinien werden analysiert (man kann auch Absorptionslinien analysieren ...)
- Anregung erfolgt mit Strom, Flamme, Magnetfeld, Plasma
- Spektren werden gemessen (Spektrometer messen, Spektroskope betrachten)



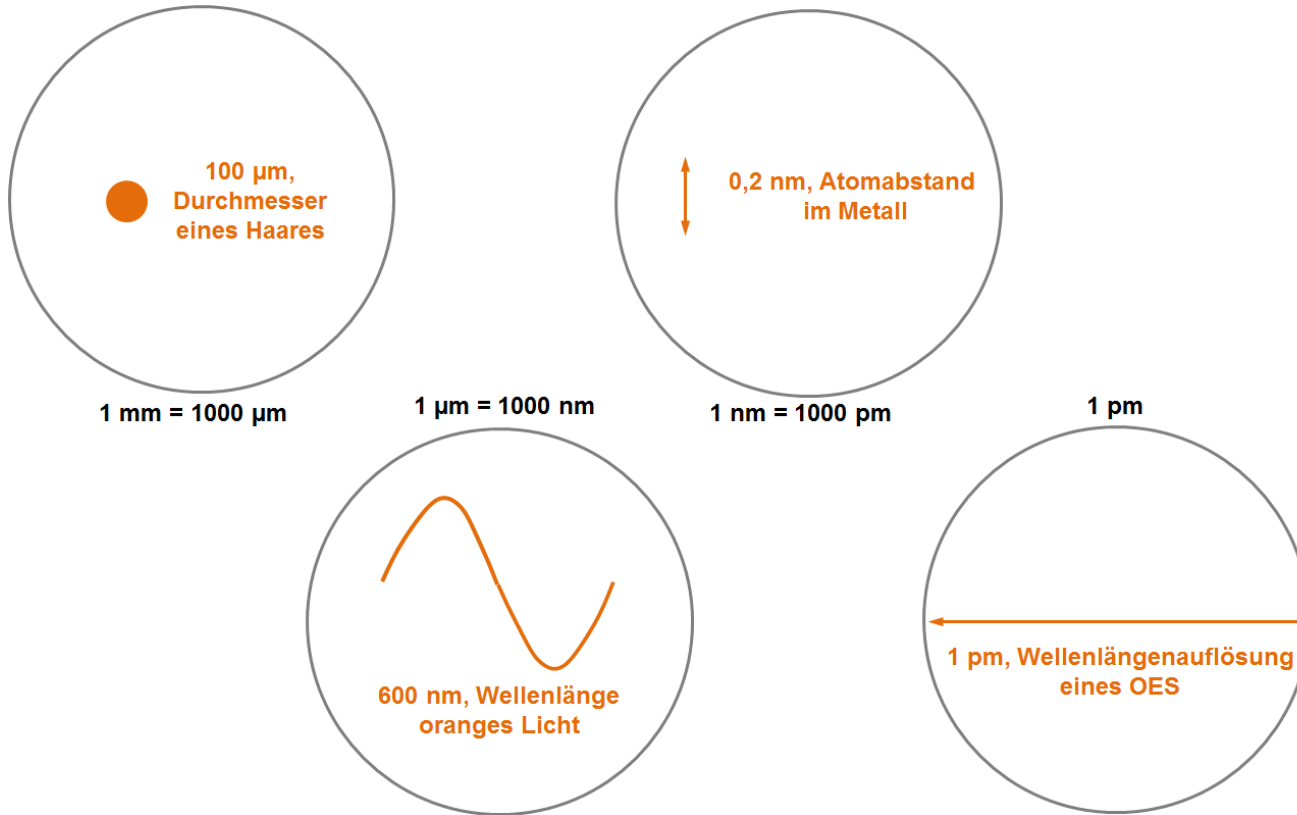
Optisches Emissionsspektrum des Elementes Eisen



Optisches Absorptionsspektrum



Was bedeutet OES-Spektrometrie messtechnisch?

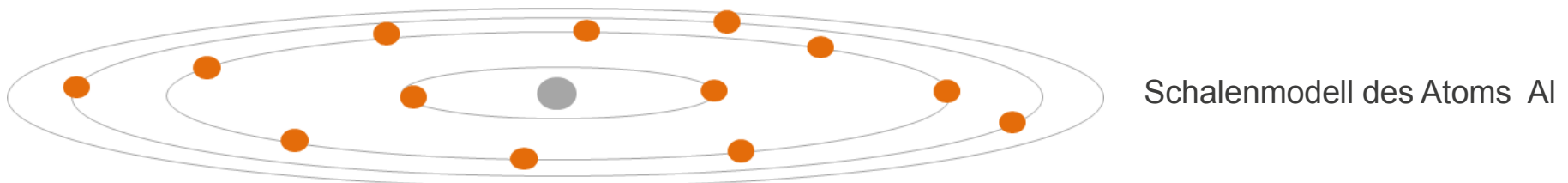
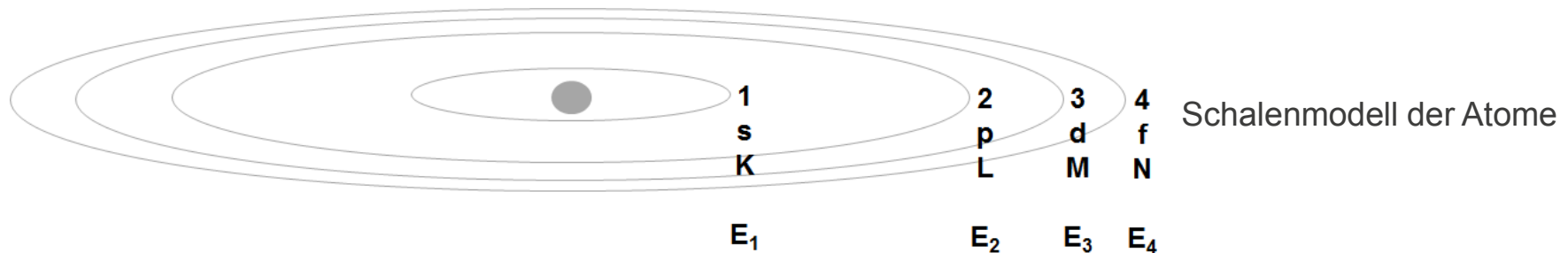


- Insbesondere wellenlängendispersive Spektrometer „messen“ im Pikometerbereich
- Sie haben eine millionenfach höhere „Auflösung“ als eine Mikrometerschraube
- **Spektrometer sind Höchstleistungsmessgeräte und müssen so behandelt werden!**



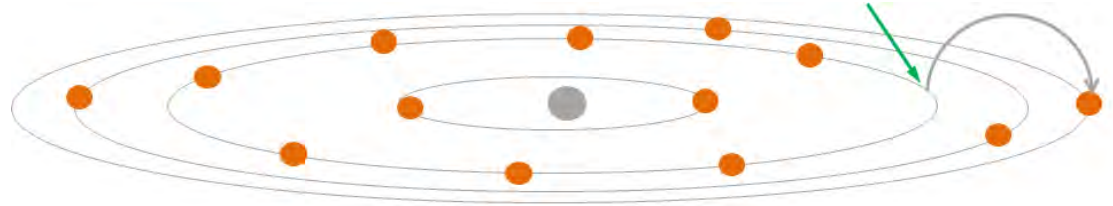
Atomaufbau – einfaches Atommodell nach Bohr:

- Kern (ist für die uns interessierende Spektrometrie „uninteressant“)
- Elektronenschalen – alle Elemente haben den gleichen Schalenaufbau!
 - Die Durchmesser der Elektronenschalen sind für jedes Element unterschiedlich.
 - Die Belegung der Schalen mit Elektronen ist für jedes Element unterschiedlich.
 - Bezeichnung der Hauptschalen:
 - Optische Spektrometrie: 1, 2, 3, ... bzw. s, p, d, ...
 - Röntgen-Spektrometrie: K, L, M, ...
 - Je größer der Schalendurchmesser, desto größer die Energie der sich dort befindlichen Elektronen ($E_4 > E_3 > E_2 > E_1$)

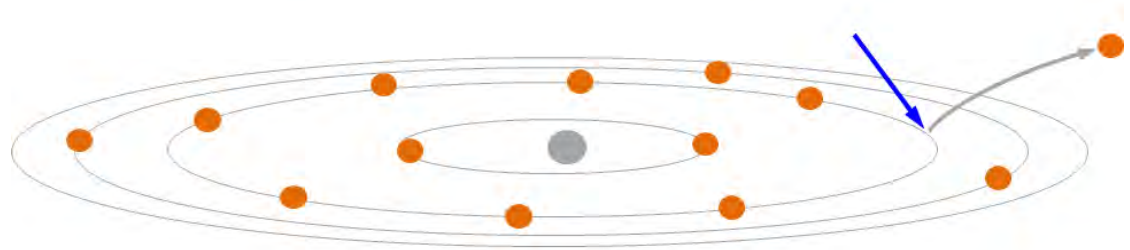


Begriffe:**Absorption**

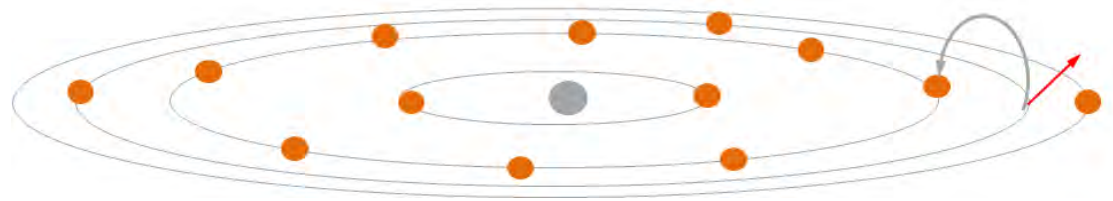
- Elektron nimmt Energie eines Photons auf (hier grünes Licht) und springt auf eine höhere Bahn
- Atom ist angeregt

**Ionisierung**

- Elektron nimmt Energie eines Photons auf (hier z.B. höhere Energie des blauen Lichtes) und verlässt das Atom
- Atom ist ionisiert

**Emission**

- Elektron springt auf eine tiefere Schale (niedrigere Energie) und gibt dabei Energie in Form von Strahlung /Photonen ab (hier rotes Licht)

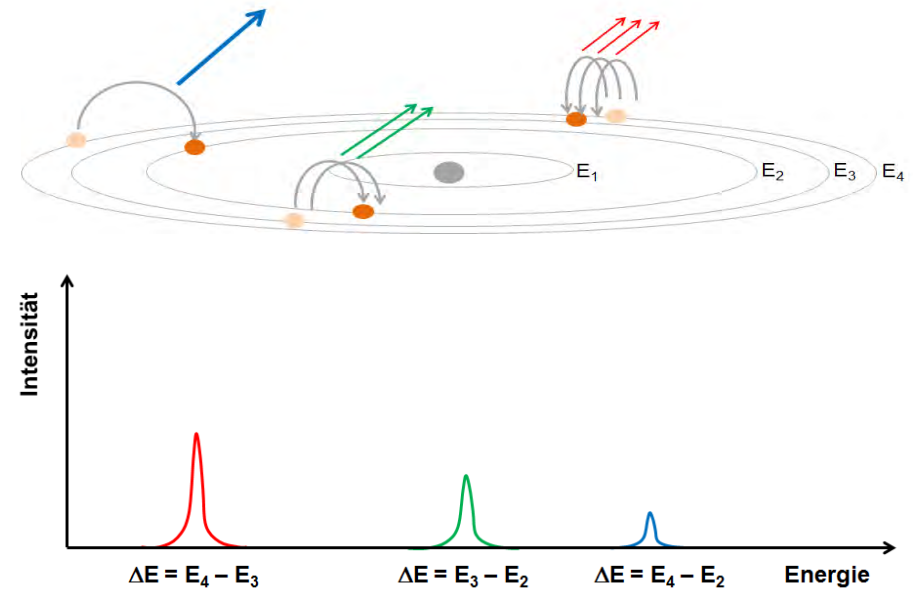


- Für die Belegung der Schalen mit Elektronen (maximale Anzahl) gibt es strenge Regeln (Pauli-Prinzip).
- Die Schalendurchmesser (und damit die Elektronenenergien) sind elementspezifisch.
- Daher gibt es nur ganz bestimmte und elementcharakteristische Emissionsvorgänge (Spektrallinien)!



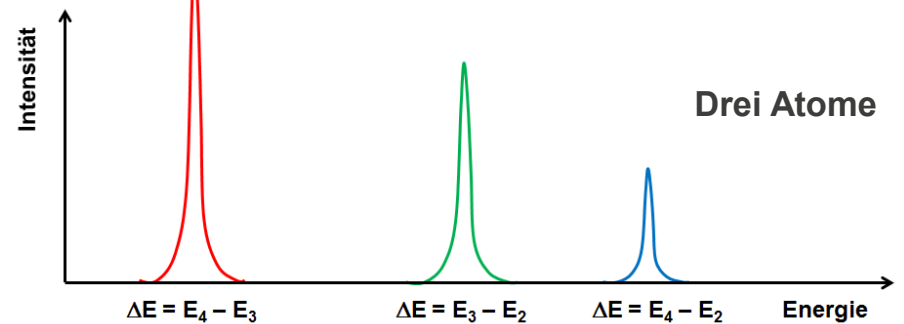
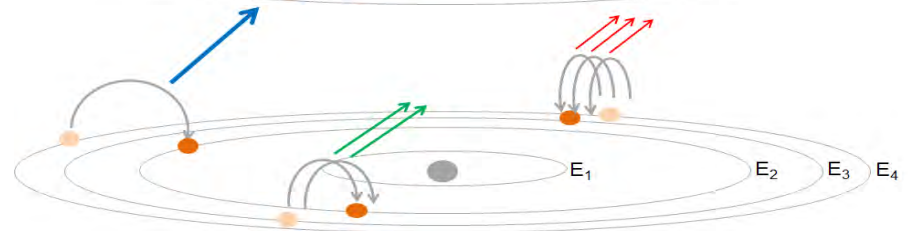
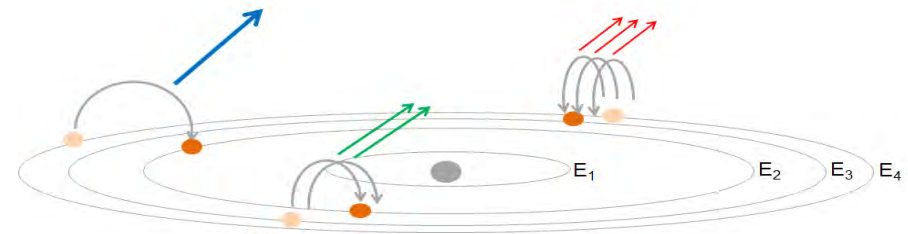
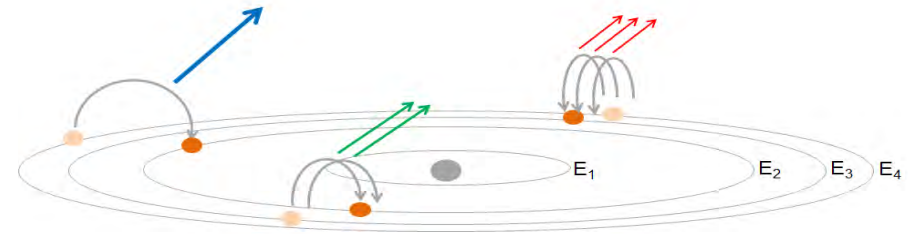
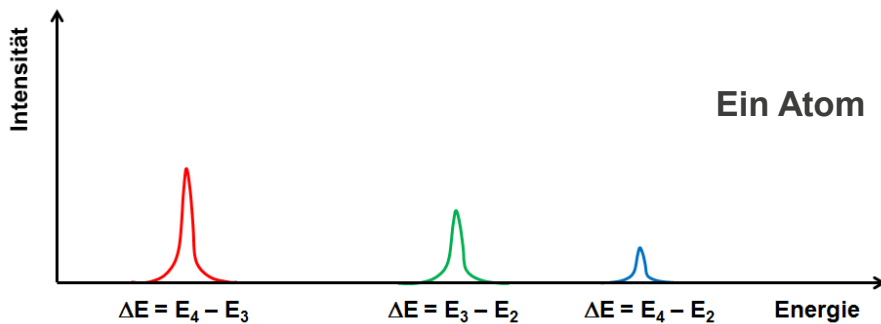
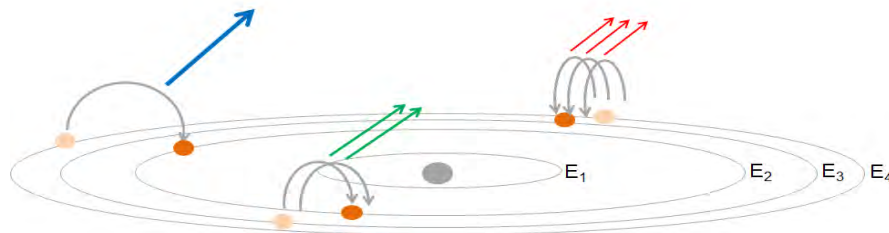
Identifizierung chemischer Elemente anhand seines Linienspektrums:

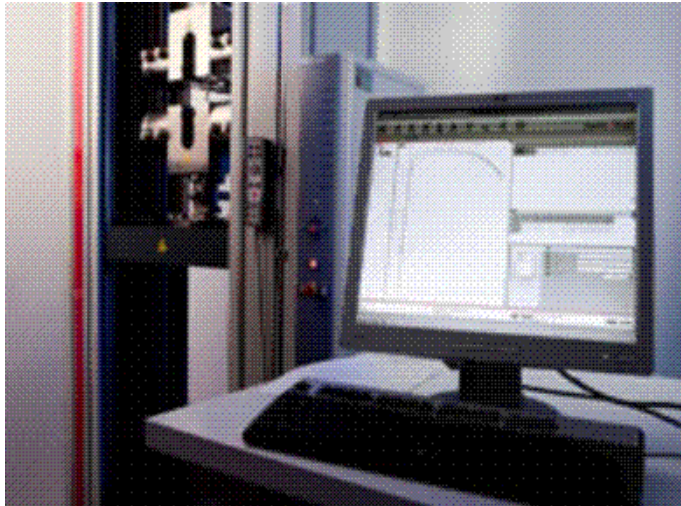
- Wird ein Atom angeregt, so werden immer mehrere Spektrallinien angeregt, weil in der Anregungszeit zahlreiche Elektronenübergänge stattfinden
- Diese Spektrallinien unterscheiden sich in Ihrer Energie (hier Farbe) und in ihrer Intensität (hier Höhe der Peaks bzw. „Dicke“ der Linien)
- Die Anordnung der Spektrallinien (Position und Intensitätsverhältnis) ist charakteristisch für jedes chemische Element (ähnlich wie ein Fingerabdruck)
- Hinweis: Für die eigentliche Spektralanalyse wird lediglich eine einzige der Spektrallinien eines chemischen Elementes benötigt



Zusammenhang zwischen Intensität der Spektrallinien und Konzentration des chemischen Elementes in der Probe:

- geringe Konzentration \Rightarrow wenige Atome \Rightarrow geringe Intensität der Spektrallinien
- hohe Konzentration \Rightarrow viele Atome \Rightarrow hohe Intensität der Spektrallinien





Zugversuch – Was will man wissen?

- ⇒ Spannung $\sigma =$
- ⇒ Kraft F pro
- ⇒ Fläche A

Zugversuch – Was wird gemessen?

- ⇒ Kraft F
- ⇒ Fläche A



Spektrometrie – Was will man wissen?

- ⇒ Identifizierung der chemischen Elemente
- ⇒ Konzentration der chemischen Elemente

Spektrometrie – Was wird gemessen?

- ⇒ Wellenlänge/Energie elektro-magnetischer Strahlung
- ⇒ Intensität der von elektro-magnetische Strahlung

Das, was in der Spektrometrie „direkt“ gemessen wird, ist nicht das, wofür man sich interessiert !

Wesentliche Baugruppen eines optischen Emissionsspektrometers:

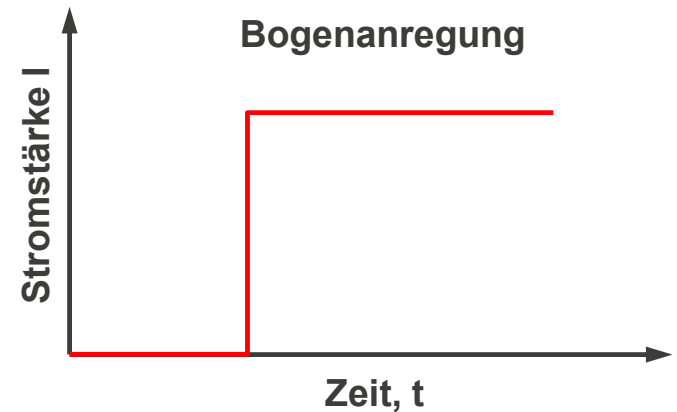
- **System zur Anregung**
 - Je nach Untersuchungszweck und zu untersuchender Substanz
 - Strom (Bogen, Funken), Flamme, Plasma (ICP), ...
- **System zur Strahlungszerlegung**
 - Beugung am Gitter (früher Brechung am Prisma) – Gitter haben mehrere 1000 Spalte
- **System zur Messung / Analyse der Strahlung**
 - Erfassung der Wellenlängen
 - Messung der Intensitäten (Halbleiterdetektoren, Photomultiplier)
- **Rechentechnik / Computer:**
 - Wellenlängen \Rightarrow Identifizierung Elemente
 - Intensitäten \Rightarrow Konzentrationen



Anregung mit elektrischer Energie (Bogen und Funken)

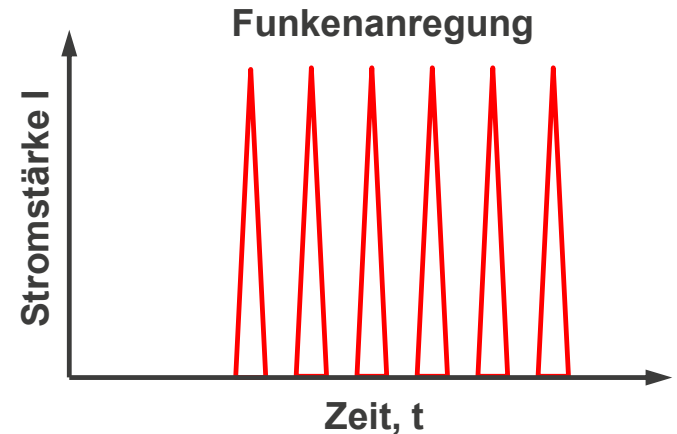
Bogenanregung

- Probe elektrisch leitfähig
- Kontinuierlicher Stromübergang während der Analysedauer
- Luft ist Entladungsatmosphäre
 - elektrische Energie wird an beiden Elektroden umgesetzt
 - beide Elektroden werden angebaut



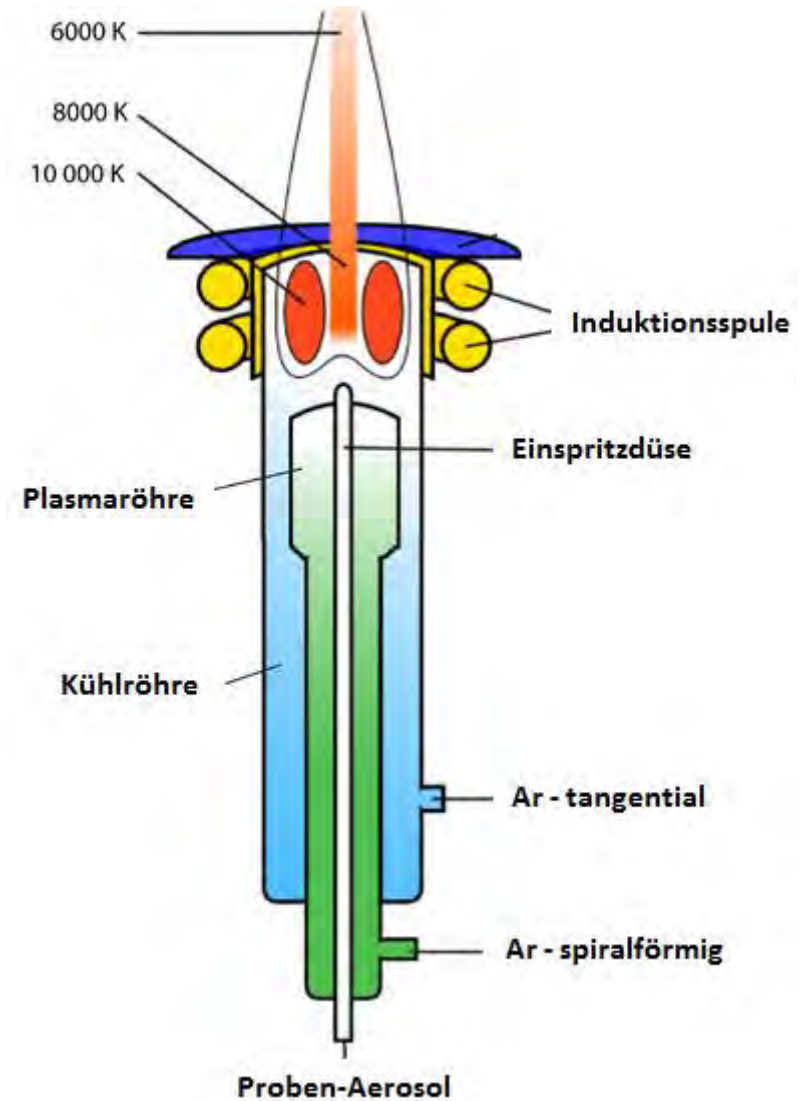
Funkenanregung

- Probe elektrisch leitfähig
- Stromübergang durch Stromimpulse während der Analysedauer
 - Elektroden haben Zeit zum Kühlen
- Argon ist Entladungsatmosphäre
 - elektrische Energie wird an der Probe umgesetzt



Anregung durch induktiv gekoppeltes Plasma (ICP)

- Argon-Gas wird durch eine Spule geleitet, in der ein hochfrequenter Wechselstrom fließt
- Argon-Atome werden im magnetisches Wechselfeld der Spule gezündet, ionisiert und bilden in der Spule Wirbelströme (Argon-Ionen und Elektronen!)
- In diese Wirbelströme wird das Analyt (üblicherweise Flüssigkeiten, Gase) eingeleitet, ionisiert und zum Strahlen angeregt
- Plasmatemperatur bis 10.000 K (=> linienreiche Spektren)



Anregung durch induktiv gekoppeltes Plasma (ICP)

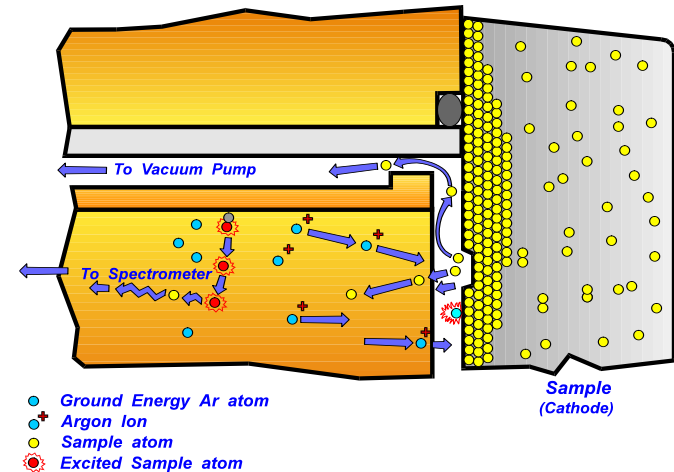
- Ideal für nicht-leitfähige Proben und zur Analyse von Festkörpern (z.B. Auflösung in Säuren), Flüssigkeiten, Stäuben, Gasen, ...
- Großer dynamischer Messbereich
- Besondere Herausforderung: Vorbereitung bzw. Aufschluss des Analyten
- Referenzmaterial: z.B. zertifizierte Standardlösungen



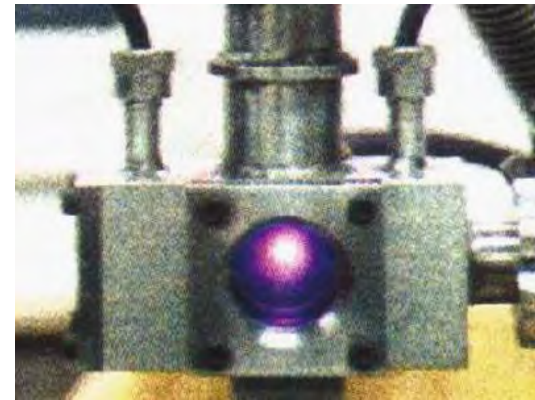
ICP - OES

Anregung mit durch Glimmentladung

- Probenoberfläche (Kathode) wird mit Argon-Ionen des Plasmas im Arbeitsraum (Glimmen) beschossen
- Argonionen bewegen sich zur Kathode (Probe) und werden dort Entladen
- Probenatome werden dabei aus der Probenoberfläche herausgeschlagen und im Plasma angeregt
- Beschuss der Probenoberfläche führt zu einem Sputtern (schichtweiser Abtrag) der Probe
- Überschüssiges Material wird abgesaugt, um Wiederbelegung der Oberfläche zu verhindern
- Abgegebene Strahlung wird analysiert



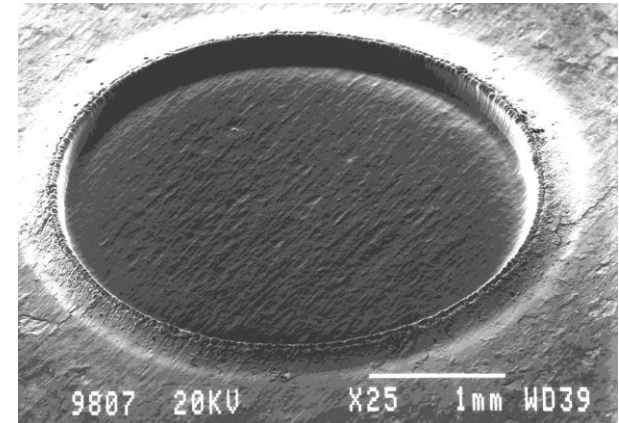
Glimmentladung (GD) - Funktionsweise



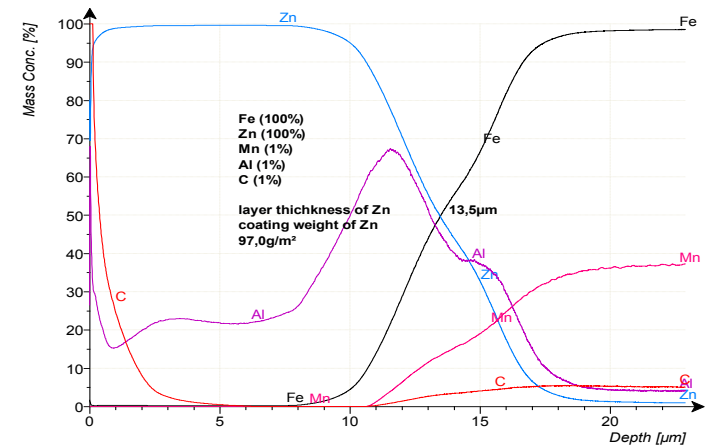
GD mit Radiofrequenzanregung

Anregung mit durch Glimmentladung

- Schichtweiser Abtrag gestattet Tiefenprofil chemischer Elemente
- Glimmentladung-OES wird daher speziell als Oberflächenanalyseverfahren verwendet
- Tiefenbereich von nm bis (viele) μm
- Sehr interessant für Analyse von Schichtsystemen:
 - Nitrieren
 - Verzinken
 - Farben
 - ...
- Analyse nichtleitender Materialien möglich durch Anregung mit Hochfrequenzquellen



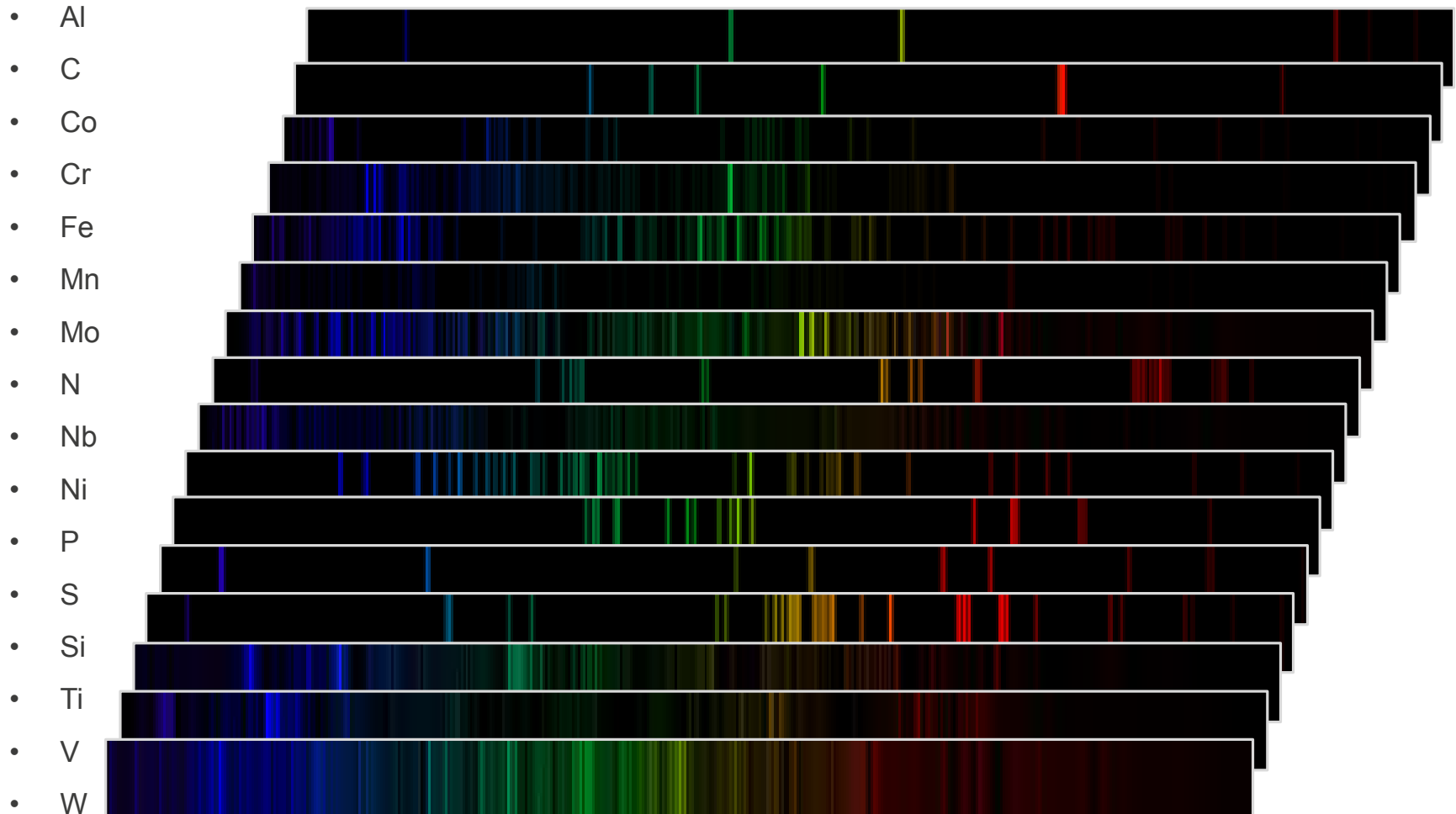
GD – Brennfleck (Bild: AB Sandvik Steel)



GD – Tiefenprofil der Zusammensetzung

Was „sieht“ ein Spektrometer? - Herausforderungen bei der Auswahl von Linien für die Messung

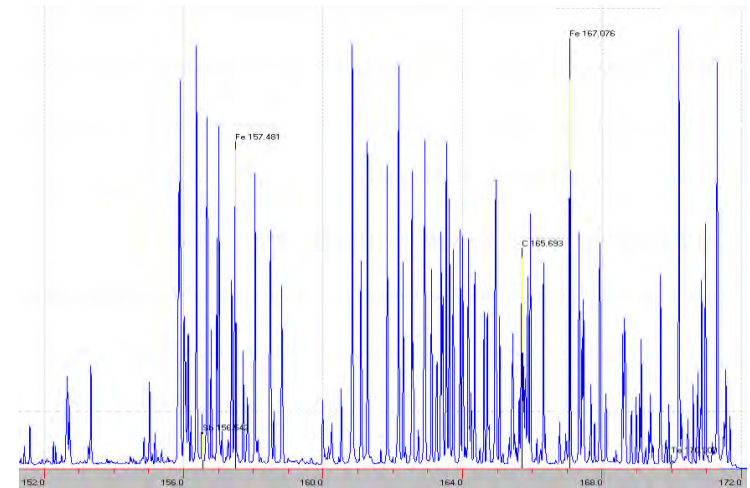
- Hier nur eine Auswahl von Elementen
- Hier nur „einige“ Spektrallinien pro Element



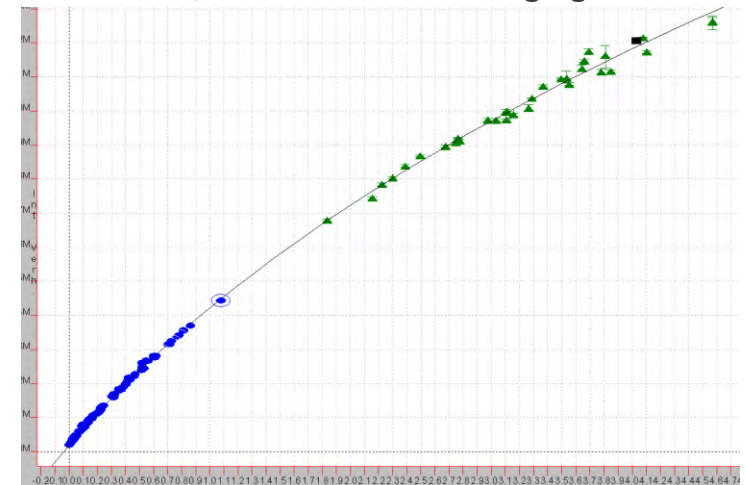
Wahl eines Programms bedeutet:

- Wahl der **Spektrallinien**, mit denen Intensitäten gemessen werden unter Beachtung von:
 - Zu messende Intensitäten (Konzentrationen)
 - Auflösung der Spektrallinien
 - Matrixeffekten
 - Plasmatemperatur
- Wahl der dazu gehörenden (elektronischen) **Einstellungen**
- Wahl der **Kalibrierkurve**

Spektrum des Stahls C45 im Bereich 152 – 172



Kalibrierkurve, Kohlenstoff in niedriglegiertem Stahl



Analyse der chemischen Zusammensetzung von Werkstoffen nach normativen Vorgaben (hier nach EN 10083-2):

- **Schmelzanalyse:** Konzentrationen der chemischen Elemente auf der Basis von Proben, die der flüssigen Schmelze entnommen wurden. Diese Proben liefern Resultate, die weniger streuen, als die der ...
- **Stückanalyse:** Konzentrationen der chemischen Elemente auf der Basis von Proben, die dem erstarrten Werkstoff (z.B. einem Block) entnommen wurden. Diese Proben liefern Resultate, die z.B. wegen Seigerungseffekten stärker streuen als die der Schmelzanalyse. Um diese Unterschiede zu kompensieren, nutzt man die ...
- **Grenzabweichung:** eine „Extratoleranz“ mit der die Schmelzanalyse erweitert werden kann, um Streuungen der Messwerte aus der Stückanalyse zu kompensieren

Stückanalyse ergab die Werte:

- **0,40 Gew% C**
- **0,42 Gew% Si**
- **0,47 Gew% Mn**
- **0,45 Gew% Cr**

Handelt es sich um den Stahl C35?

Element	Zulässiger Höchstgehalt in der Schmelzenanalyse Massenanteil in %	Grenzabweichung ^a Massenanteil in %
C	≤ 0,55	± 0,02
	> 0,55	± 0,03
Si	≤ 0,40	+ 0,03
Mn	≤ 1,00	± 0,04
	> 1,00	± 0,05
P	≤ 0,045	+ 0,005
S	≤ 0,045	+ 0,005 ^b
Cr	≤ 0,40	+ 0,05
Mo	≤ 0,10	+ 0,03
Ni	≤ 0,40	+ 0,05

Grenzabweichungen nach EN 10083-2

Stahlbezeichnung		Chemische Zusammensetzung (Massenanteil in %) ^{a,b,c}								
Kurzname	Werkstoffnummern	C ^d	Si max.	Mn	P max.	S	Cr max.	Mo max.	Ni max.	Cr + Mo + Ni max. ^d
Qualitätsstähle										
C35	1.0501	0,32 bis 0,39	0,40	0,50 bis 0,80	0,045	max. 0,045	0,40	0,10	0,40	0,63
C40	1.0511	0,37 bis 0,44	0,40	0,50 bis 0,80	0,045	max. 0,045	0,40	0,10	0,40	0,63
C45	1.0503	0,42 bis 0,50	0,40	0,50 bis 0,80	0,045	max. 0,045	0,40	0,10	0,40	0,63
C55	1.0535	0,52 bis 0,60	0,40	0,60 bis 0,90	0,045	max. 0,045	0,40	0,10	0,40	0,63
C60	1.0601	0,57 bis 0,65	0,40	0,60 bis 0,90	0,045	max. 0,045	0,40	0,10	0,40	0,63

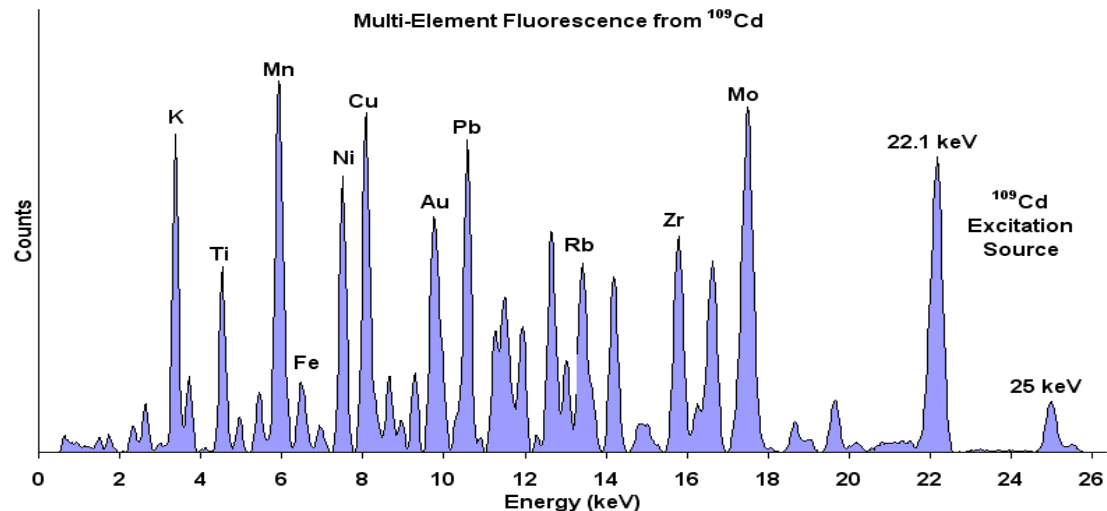
Chemische Zusammensetzung (Schmelzanalyse) nach EN 10083-2

Teil 2 – Grundlagen und Anwendung der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)



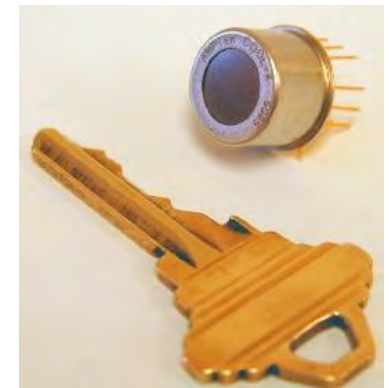
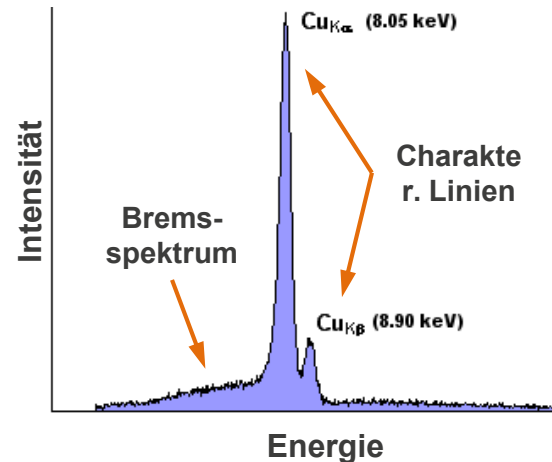
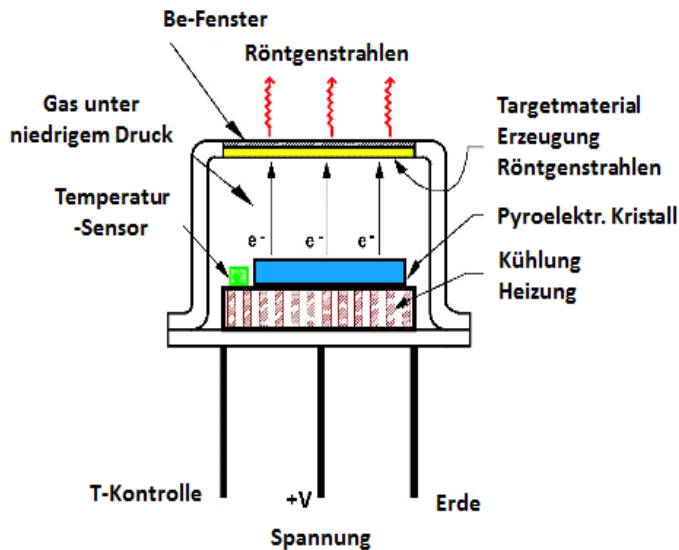
Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie (RFA):

- Analyse von Röntgenstrahlen (anderer Energie- bzw. Wellenlängenbereich als Licht)
- Emissionslinien werden analysiert (geht nicht aus der Bezeichnung hervor)
- Anregung erfolgt mit hochenergetischer Strahlung (früher radioaktive Isotope, heute Röntgenfluoreszenz)
- Spektren werden gemessen/analysiert



Funktionsweise Röntgenröhre

- Elektronenproduktion an der Kathode ((pyroelektrischer Effekt)
- Beschleunigung der Elektronen zur Anode (mit Target-Material)
- Erzeugung der Röntgenstrahlung durch Abbremsung der Elektronen am Target
- Austritt der Röntgenstrahlen am Austrittsfenster
- Impulsartiger Betrieb der Röhre zur Gewährleistung der Kühlfunktion
- Typische Arbeitsparameter: Leistung < 0,5 W, Spannung bis 35000 V, 10^8 Photonen/s



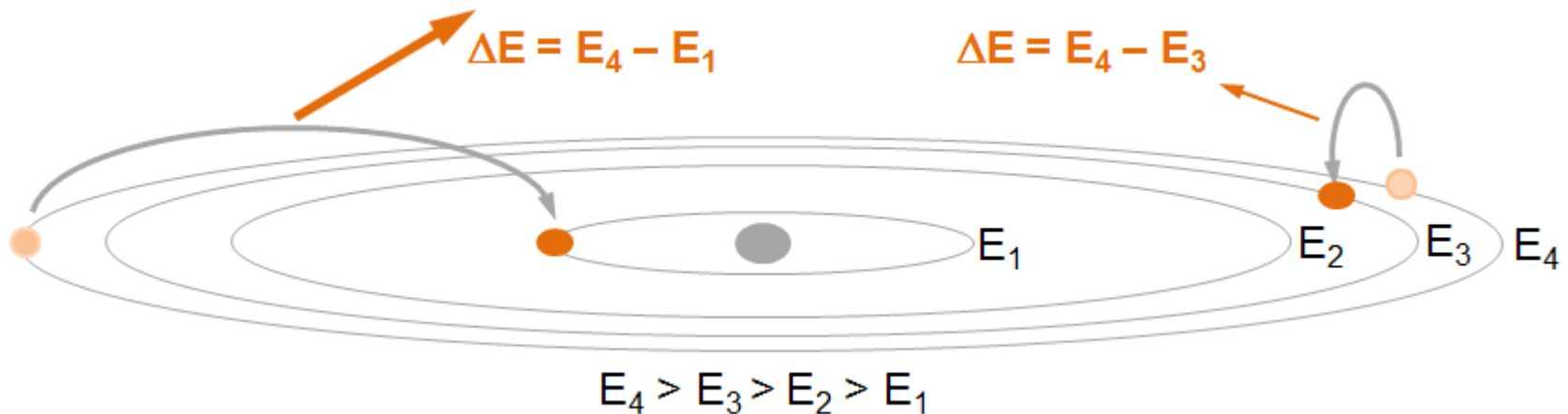
Größenvergleich
Miniaturröntgenröhre

Röntgenspektren (RFA):

- Spektrallinien entstehen durch Übergänge der Elektronen auf die innersten Schalen - speziell Schalen 1 und 2 bzw. K-Schale und L-Schale
- Diese Spektrallinien sind vergleichsweise energiereich (typischerweise viele 1000 eV)
- Röntgenspektren sind aber vergleichsweise linienarm

Optische Spektren (OES):

- Spektrallinien entstehen durch Übergänge der Elektronen zwischen äußeren Schalen (da wo auch chemische Bindungen „gemacht“ werden)
- Diese Spektrallinien sind vergleichsweise energiearm (typischerweise 2 – 12 eV)
- Optische Spektren sind aber vergleichsweise linienreich



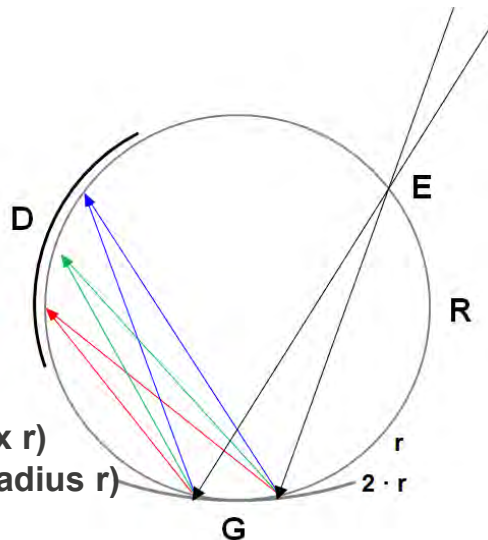
Wesentliche Baugruppen eines Röntgenspektrometers:

- **System zur Anregung**
 - Strahlung - Fluoreszenz im RFA mit dem Bremsspektrum einer Miniaturröntgenröhre
 - Elektronen - EDX im Rasterelektronenmikroskop
- **System zur Strahlungszerlegung**
 - Wellenlängendispersiv: Einkristalle
- **System zur Messung / Analyse der Strahlung**
 - Erfassung der Energie:
 - Energiedispersiv: Vielkanalanalysatoren
 - Wellenlängendispersiv: Zählrohre, Halbleiterdetektor
 - Messung der Intensitäten: Vielkanalanalysatoren, Zählrohr
- **Rechentechnik / Computer:**
 - Wellenlängen \Rightarrow Identifizierung Elemente
 - Intensitäten \Rightarrow Konzentrationen



Optisches Emissionsspektrometer (OES):

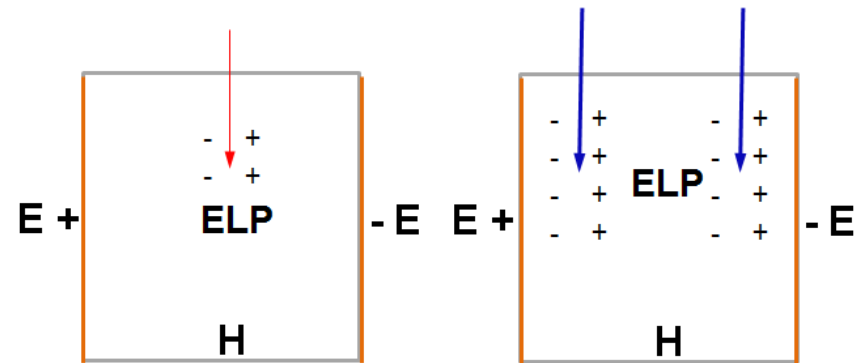
- Licht fällt durch den Eingangsspalt auf das Gitter
- Licht wird durch das gekrümmte Gitter gebeugt (zerlegt) und seine Bestandteile auf den Rowlandkreis fokussiert („Hohlspiegeleffekt“)
- Detektorposition korreliert mit der jeweiligen Wellenlänge (**wellenlängendispersive Messung**)
- Detektoren erfassen außerdem die Intensität
- Auf dieser Basis (wellenlängendispersiv) können Röntgenspektrometer auch arbeiten



E: Eingangsspalt
D: Detektoren
G: Gitter (Radius $2 \times r$)
R: Rowlandkreis (Radius r)

Röntgenfluoreszenzspektrometer (RFA):

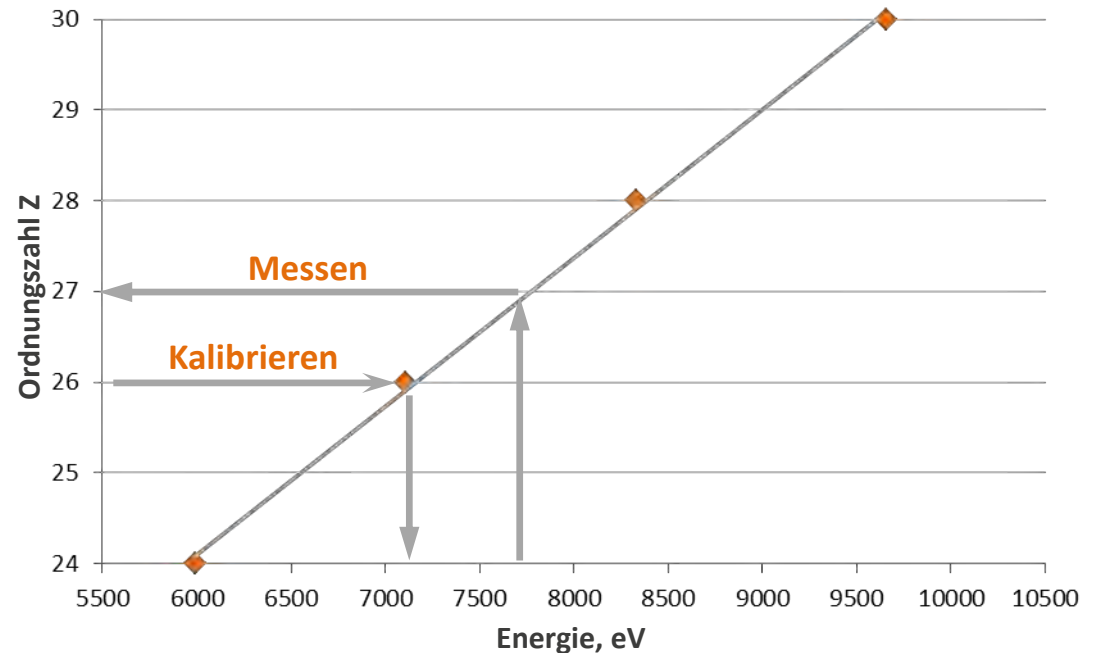
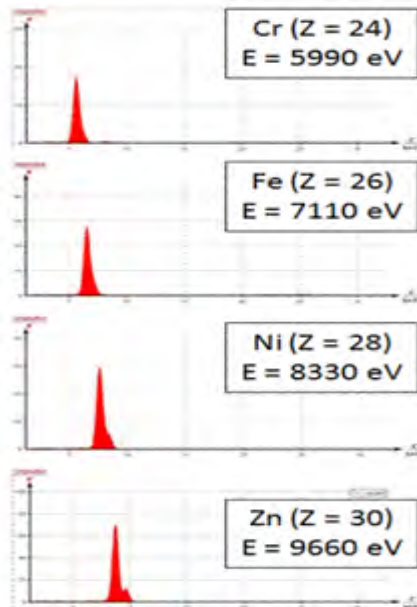
- Strahlung dringt in ein dotiertes Halbleitermaterial ein und erzeugt durch den Photoeffekt Ladungsträger (ELP)
- Je höher die Strahlungsenergie, desto mehr ELP
- Höhe des an den Elektroden gemessenen elektrischen Signals ist ein Maß für die Energie eines Photons (**energiedispersive Messung**)
- Zahl der elektrischen Signale steht für die Intensität der Strahlung



H: dotiertes Halbleitermaterial
E+, E-: Elektroden
ELP: Elektronen-Loch-Paare

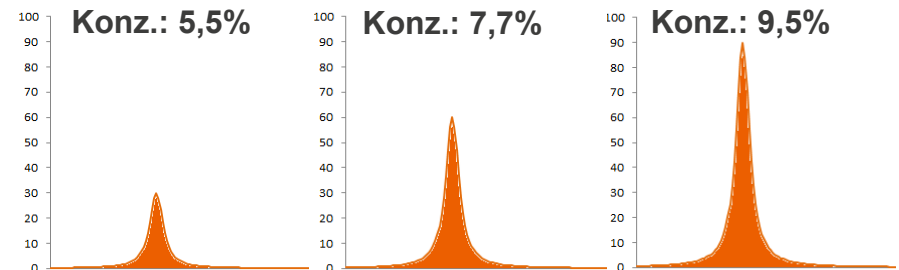
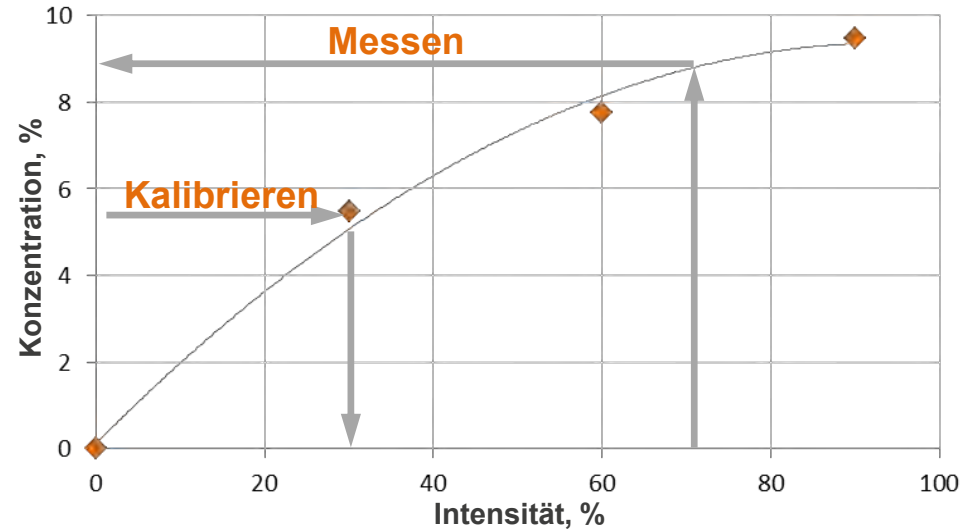
Kalibrierkurve: Energie (Wellenlänge) - Element / Ordnungszahl

- Für bekannte Proben (bekannte Ordnungszahl Z) werden die zugehörigen Energien bestimmt
- Aus Wertepaaren Energie-Intensität wird ein funktionaler Zusammenhang (**Kalibrierkurve**) ermittelt
- Bei der **Messung** wird die Energie ermittelt und mit der Kalibrierkurve die zugehörige Ordnungszahl (Element) bestimmt
- Wesentliche Aufgaben der Rechentechnik des Spektrometers ist die Verwaltung von Kalibrierkurven



Kalibrierkurve: Konzentration - Intensität

- Für Proben bekannter Konzentration eines Legierungselementes werden die zugehörigen Intensitäten bestimmt.
- Aus den Wertepaaren Konzentration-Intensität wird ein funktionaler Zusammenhang (die **Kalibrierkurve**) ermittelt.
- Bei der **Messung** wird die Intensität ermittelt und mit der Kalibrierkurve die zugehörige Konzentration bestimmt.
- Je genauer die Kalibrierkurve, desto genauer die ermittelte Konzentration (darum gibt es für ein Legierungselement Kalibrierkurven für verschiedene Konzentrationsbereiche).
- Eine der wesentlichen Aufgaben der Rechentechnik innerhalb des Spektrometers ist die Verwaltung und Wahl der Kalibrierkurven (Programme).

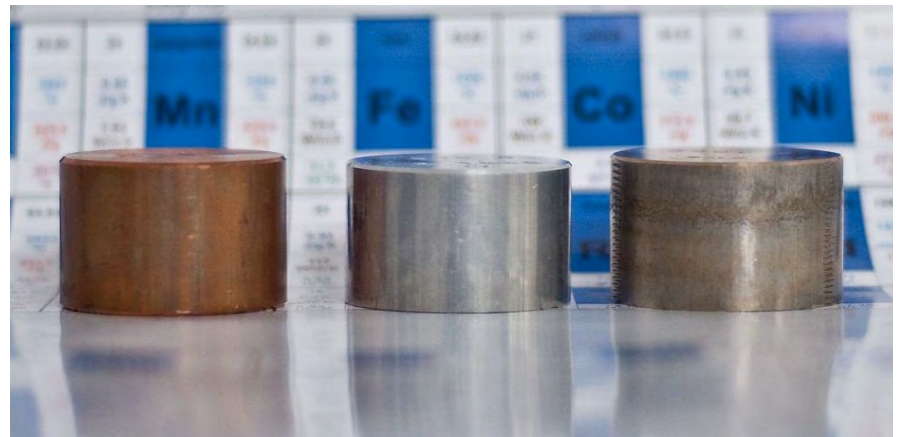


Probenvorbereitung / Messung:

- Probe muss repräsentativ für den Untersuchungsgegenstand sein
 - Probe bei der Entnahme nicht übermäßiger Hitze aussetzen
 - Oberfläche optimal vorbereiten
 - Keine sichtbaren Oberflächenfehler zulassen
 - Keine Kontamination bei der Probenpräparation zulassen (z.B. angepasste Schleifscheiben benutzen, Proben trocken halten)
 - Probe nach der Präparation so wenig wie möglich anfassen
-
- Elektroden nach jeder Probe (ggf. nach jedem Abfunken) reinigen
 - Auf die Wahl der richtigen Elektrode (des richtigen Target-Materials) achten
 - Möglichst eine Elektrode je Basis verwenden
 - Auf optimale „Dichtheit“ und Spülung des Funkenraumes mit Schutzgas achten
 - Schutzgas ausreichender Reinheit nutzen
 - Ausreichendes Vorfunkeln nach einem Gerätestillstand

Referenzproben:

- Müssen der zu untersuchenden Basis angepasst sein
- Müssen alle relevanten Analyte enthalten
- Sollten mit aussagefähigem Zertifikat geliefert werden (Mittelwert, Streuung, Messunsicherheit mit Angabe des Vertrauensniveaus, ...)
- Müssen ausreichend homogen sein
- Dürfen Ihre Eigenschaften im Zeitverlauf nicht ändern
- Proben angemessen lagern



Vergleich von Spektrometer-Konzepten (Angaben sind „Hausnummern“)

OES – Funken (stationär):

- Nahezu alle **Elemente** analysierbar
- Sehr genaue Analysen möglich
- Hohe **Reproduzierbarkeit**
- Produziert viele, intensive Spektrallinien (Plasmatemperatur)
- Üblicherweise stationäre Messung
- Je nach Untersuchungsumfang hoher apparativer **Aufwand**
- Vergleichsweise längere **Messzeiten**
- Vergleichsweise umfangreiche Probenvorbereitung
- Schutzgas notwendig
- **Brennfleck** auf der Oberfläche (\varnothing ca. 8mm, Tiefe ca. 10 μ m)
- Hohe **Bedienerkompetenz** notwendig

OES – Bogen (mobil):

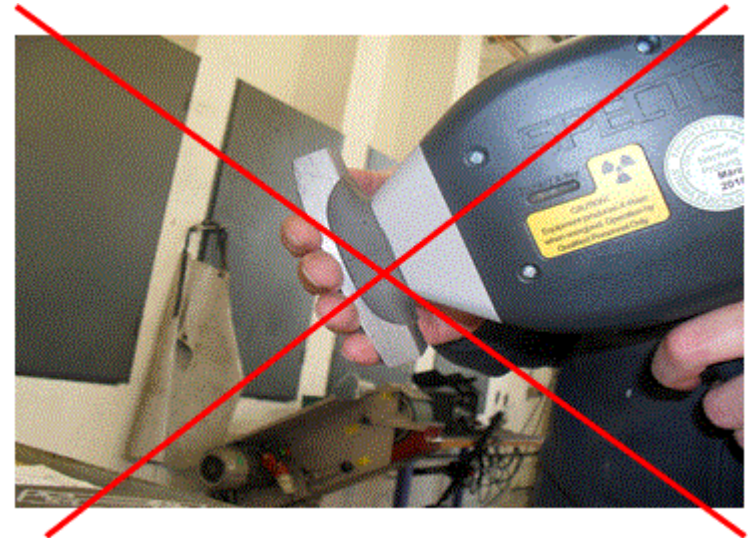
- Nicht alle **Elemente** analysierbar (z.B. C, S, P)
- Eingeschränkte Genauigkeit und **Reproduzierbarkeit** der Analysen
- Produziert weniger, und weniger intensive Linien (Plasmatemp.)
- Üblicherweise mobile Messung
- Vergleichsweise geringer apparativer **Aufwand**
- Vergleichsweise kurze **Messzeiten**
- Geringe Probenvorbereitung
- Kein Schutzgas notwendig
- **Brennfleck** auf der Oberfläche (\varnothing ca. 1mm, Tiefe ca. 100 μ m)
- Z.B. bei Sortierprüfungen ggf. geringere **Bedienerkompetenz** notwendig

RFA:

- Nicht alle **Elemente** analysierbar (zuverlässig ab ca. Na)
- Nichtleitfähige Proben analysierbar
- Genauigkeit, **Reproduzierbarkeit** der Analysen tendenziell um so besser je höher Ordnungszahl Z
- Produziert sehr wenige Linien (die aber unbeeinflusst vom Bindungszustand)
- Für mobile und stationäre Messung
- Mobil / stationär: geringer/hoher apparativer **Aufwand**
- Energiedispersiv: kurze Messzeiten winkeldispersiv: hohe **Messzeiten**
- Abhängig vom Objekt der Analyse
- Kein Schutzgas notwendig
- Keine **Beeinflussung** der Probenoberfläche
- **Bedienerkompetenz** abhängig von Prüfaufgabe / Gerätetyp
- ggf. Strahlenschutzqualifikation

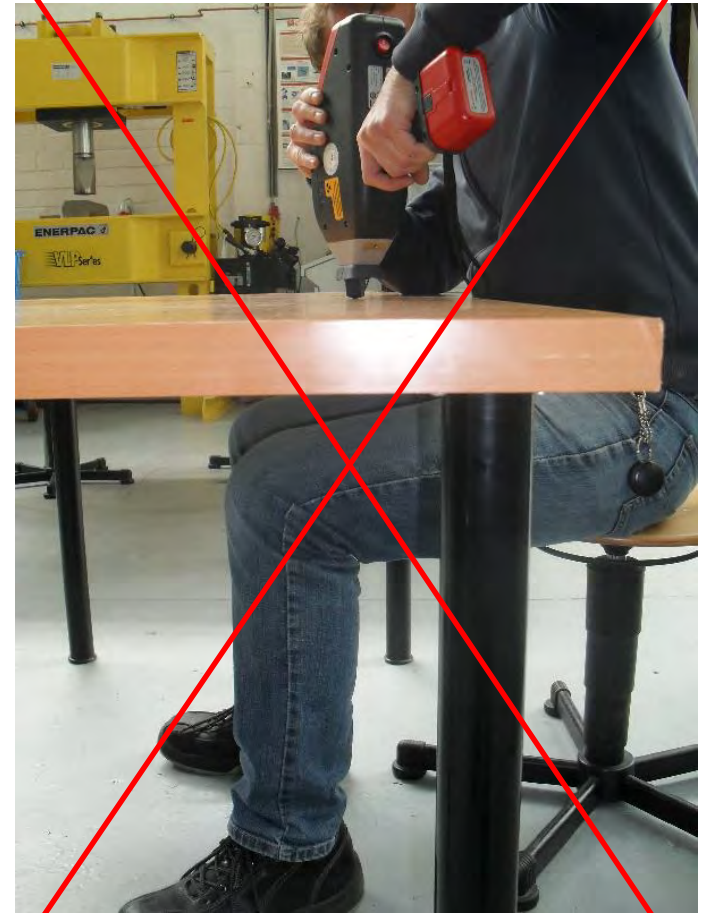
Mobile RFA und Strahlenschutz:

- RFA produzieren hochenergetische, ionisierende Strahlung. Die Strahlung kann bei Exposition:
 - chemische Bindungen im Gewebe brechen \Rightarrow Bildung von Toxinen (Giften)
 - chemische Bindungen im Gewebe brechen \Rightarrow Änderung des Erbgutes der betroffenen Person (Krebs) und ihrer Nachkommenschaft (Mutationen)
- Der Betrieb von mobilen RFA unterliegt der **Röntgenverordnung** (bei RFA auf Basis von Isotopen auch Strahlenschutzverordnung) und bedarf der **Genehmigung**
- Unternehmen, die mobile RFA betreiben, müssen über **fachkundiges Personal** im Strahlenschutz verfügen (Fachkunde R2 nach Fachkunderichtlinie)
- Jeder Bediener eines RFA muss über einen Nachweis einer **Schulung** im Strahlenschutz verfügen
- RFA-Analysen bei externen Unternehmen (relevant z.B. für Prüfdienstleister) sind ggf. bei der zuständigen Behörde **anzumelden**
- RFA sind so zu bedienen, dass Personen durch den Einsatz des RFA keine Jahresdosen höher **als 1 mSv** erhalten (dies entspricht der maximale zulässigen, RFA-bezogenen Dosis für den „allgemeinen Staatsbürger“)



Sicherheitsfunktionen / Sicherheitsmaßnahmen beim RFA:

- Zugriffssichere Aufbewahrung des RFA
- Abgabe geringer Dosisleistungen durch den konstruktiven Aufbau
- Gerät passwortgeschützt
- Doppelschalter zum Auslösen des Gerätes
- Schutzmanschette aus absorbierendem Material am Austrittsfenster des Gerätes
- Automatischer Abbruch des Messvorganges, wenn sich keine Probe vor dem Austrittsfenster befindet
- Anzeige des Messvorganges durch:
 - Diodenanzeige
 - „Messgeräusch“
- Fachkunde bzw. Unterweisung im Strahlenschutz



Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit

Unsere nächsten Kurse OES- und RFA-Spektrometrie:

- 23.01. – 28.01. 2017
- 02.05. – 06.05. 2017



WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE



W.S. Werkstoff Service GmbH
Katernberger Str. 107 | 45327 Essen
T. +49 201 316844-0 | F. +49 201 316844-29
info@werkstoff-service.de | www.werkstoff-service.de