

Zement: Prozessnahe Analyse aller Materialien bis zum fertigen Produkt mit RFA

Moderne Technik in der praktischen Anwendung



Willkommen

Zement: Prozessnahe Analyse aller Materialien bis zum fertigen Produkt mit RFA



- Was ist RFA?
Ein kurzer Rundgang
- RFA-Technologien!
Ein Vergleich
- Was ist wichtig, um
eine Anwendung zur
Qualitätskontrolle
einzurichten?
- Geräteparameter und
ihr Einfluss auf die
Datenqualität
- Anwendungsbeispiele
für industrielle
Qualitätskontrolle
- Zusammenfassung

- Fragen & Antworten



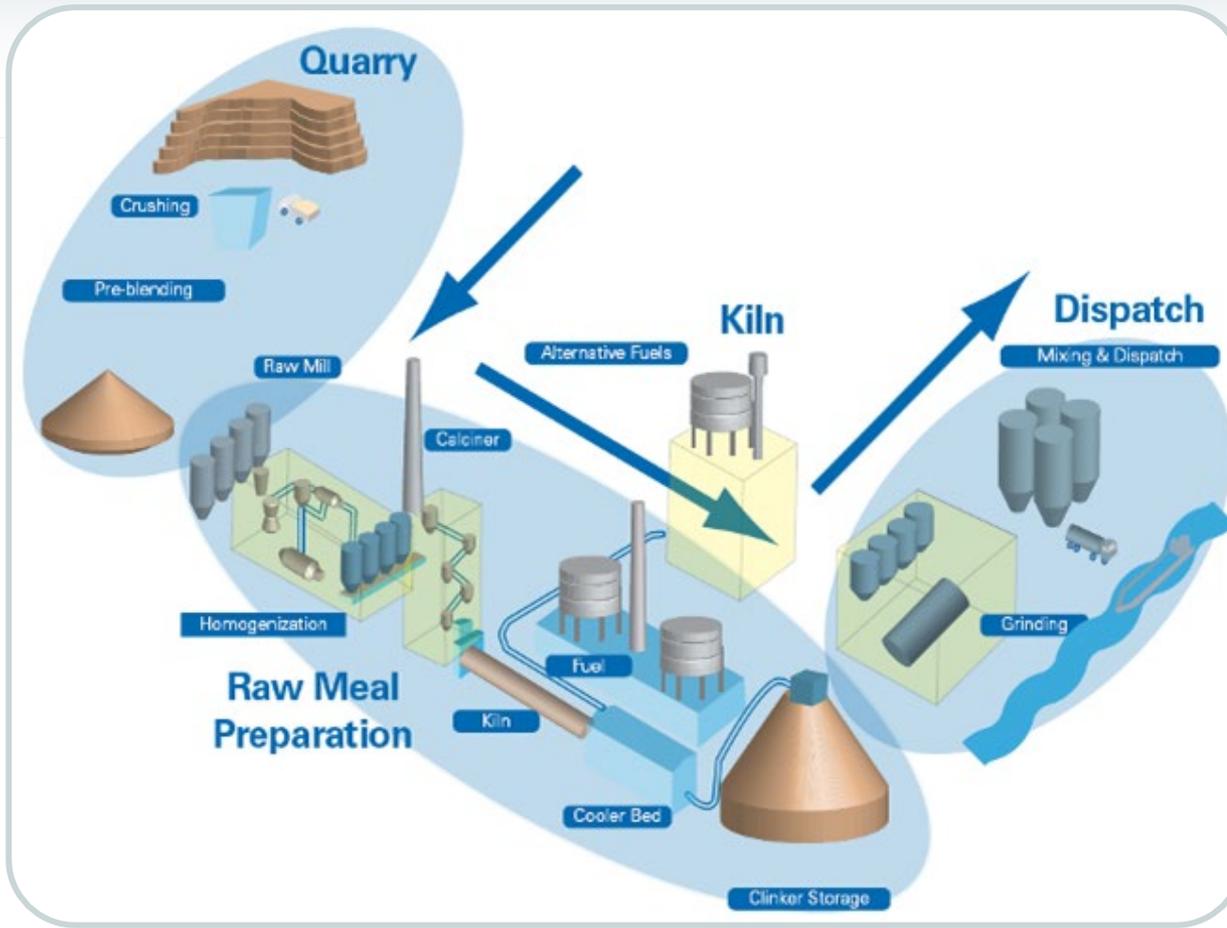
Dr. Adrian Fiege
Produktmanager RFA
Karlsruhe, Deutschland



Dr. Kai Behrens
Leiter Produktmanagement
RFA
Karlsruhe, Deutschland

Zementherstellung

Kritische Materialien



Zementproduktion:

- Rohstoffe (Gesteine, Mineralien)
- Rohmehl (Mischung) (Mischen, Mahlen)
- Brennstoffe: (fossile und sekundäre)
- Klinker (Ofen, Brennen)
- Zement (Mischen, Mahlen)

Prozess- und Qualitätskontrolle in Zement: Elementanalyse



Zement als Bindemittel in der Bauindustrie ist seit Jahrhunderten bekannt, aber heute ist er noch wichtiger denn je. Zement ist buchstäblich die Grundlage unserer modernen Infrastruktur:



Zu analysierende Materialien:

Zement, Rohmischung, Klinker, Kalkstein und mehr

Typische Elemente von Interesse:

F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn, Sr, Pb, Cd, Tl



Zu erfüllende Normen:

ASTM C114 und ISO 29581-2 / DIN EN 196-2

Erforderlicher Durchsatz:

- Je schneller, desto besser!
- Immer neue Elemente werden wichtig!
- Vollautomatische Probenvorbereitung und Analyse erforderlich.



Rund um Zement

Welche Analytik soll ich wählen?



Die deutsche Zementindustrie hat den Energie-Einsatz um mehr als 50% gesenkt: durch den Einsatz von alternativen Roh- und Brennstoffen! Das hat Auswirkungen auf die Analytik

Mehrkanal-WDRFA Spektrometer:

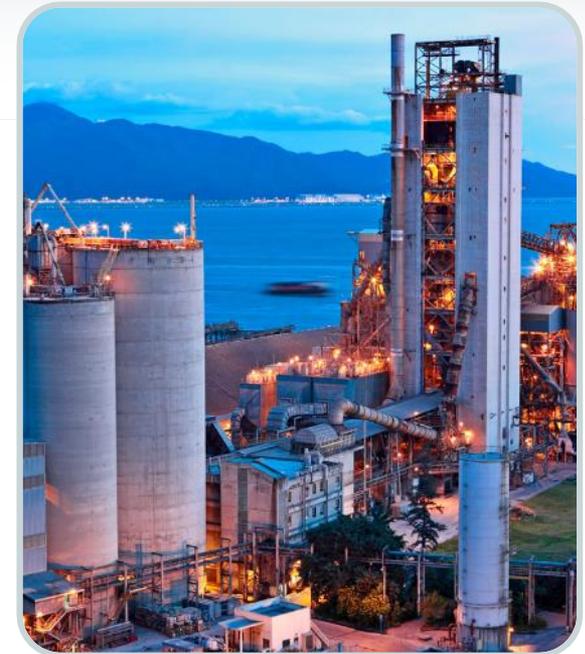
- Traditionell für hohen Probendurchsatz, nicht flexibel bei Spurenelementen und steigender Anzahl von Elementen

Sequentielle WDRFA Spektrometer:

- Schnell und flexibel, auch für AFRs (Schwermetalle), Schlacken (F), Heissmehl (Alkali-Chloride)

Welches Gerät wähle ich für zusätzliche Analytik und als Backup?

- EDRFA-Tischgerät für Rohmehl?
- Moderne Tisch-WDRFA als Backup?



In Zahlen (2019)

54 Werke (davon 33 mit Klinkerherstellung)

35 Mt Zement

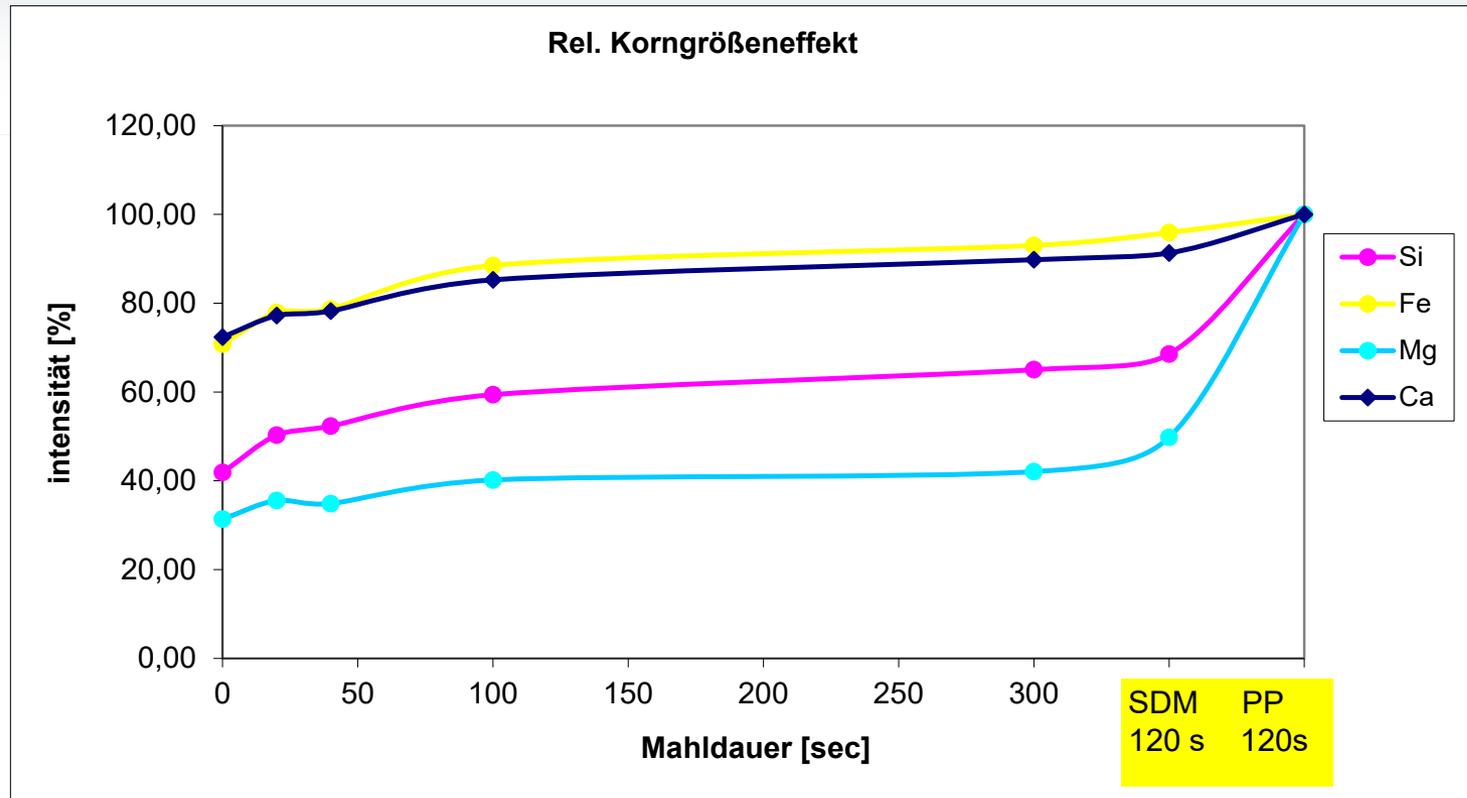
3 Mrd Euro Umsatz

Probenpräparation: Pressling



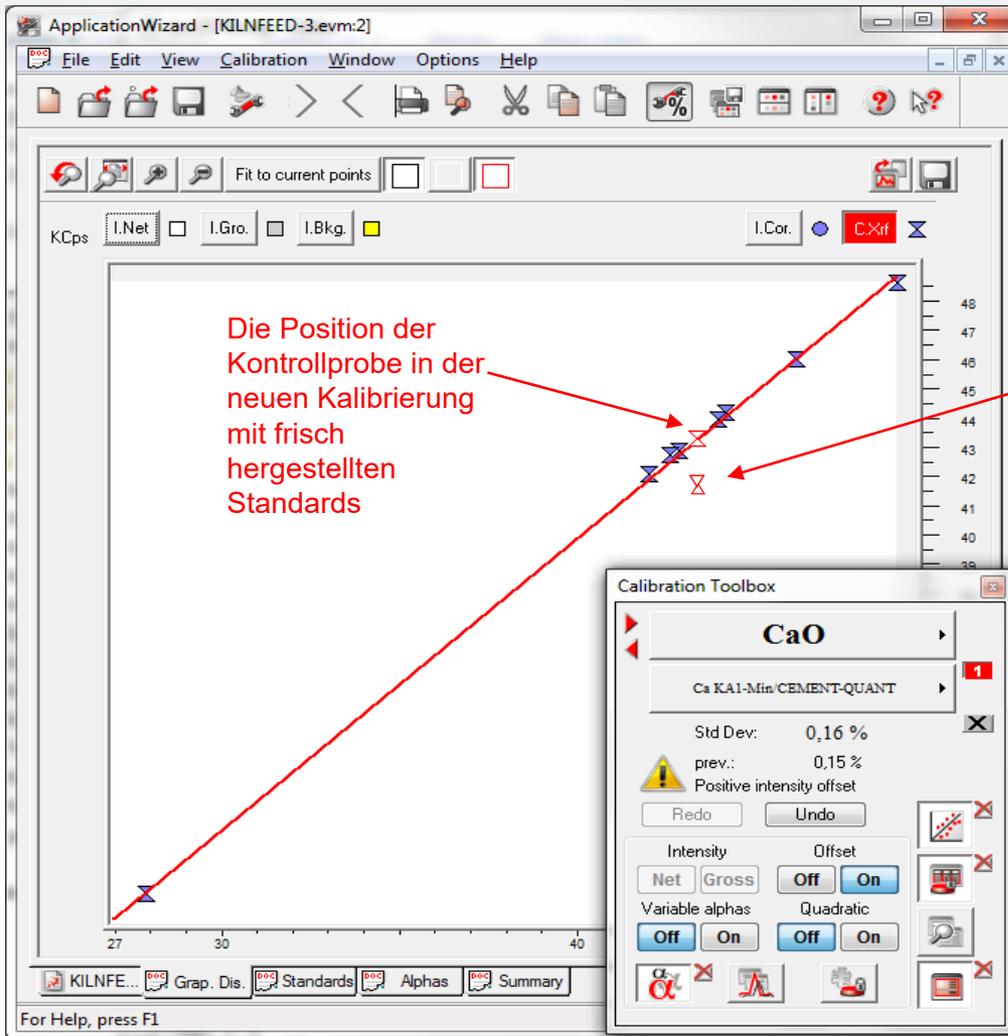
- Schnelle Probenpräparationsmethode
- Leicht automatisierbar
- Korngrößen- und Matrixeffekte bei materialspezifischen Kalibrationen nicht problematisch
- *Aber* Probenkontamination über das Mahlgefäß:
 - **Achat: SiO_2 99.91%;**
 Al_2O_3 0.02%; Na_2O 0.02%; Fe_2O_3 0.01%; K_2O 0.01%; MnO 0.01%; CaO 0.01%; MgO 0.01%
 - **Korund-Keramik: Al_2O_3** mit Spuren von K, Na, Si, Ca, Cu, Fe, Mg, Pb, B, Cr, Li, Mn und Ni
 - **Wolframkarbid. C 6%, Co 6% und W 88%**
 - **Chrom-Stahl: C 1.93%; Cr 13.21%,**
Cu 0.03%; Mn 0.46%; Mo 0.02%;
Ni 0.08%; P 0.019%; Si 0.38%; S 0.005% und W 0.01%

Probenpräparation: Pressling



- Das Mahlen wurde ursprünglich mit einer Mörsermühle (0 - 300 s) durchgeführt. Die Korngröße konnte nur minimal reduziert werden.
- SDM = Schwingscheibenmühle wird heute zur optimalen Reduzierung der Korngröße eingesetzt
- PP = Aus der SDM-Probe wurde ein Presspellet hergestellt

Probenpräparation: Pressling



Die Position der
Kontrollprobe in der
alten Kalibrierung
mit alten Standards

Kontrollstandards immer
wieder überprüfen durch
eine frische Präparation

Sekundärbrennstoff Praxisbeispiel



Ein extremes Beispiel

- Abfallmaterial
 - Elemente von Interesse: Cl und Br
 - Verwendung: Sekundärbrennstoff für Zementofen
-
- Entnehmen Sie eine Probe aus dem Abfallbeutel
 - Zerkleinerung in einem Shredder auf $< 200\mu\text{m}$
 - Pressen der Probe mit 20 Tonnen
 - Doppelt oder sogar dreifach vorbereiten

Einfluss bei Schüttungen und Flüssigkeiten Sekundärbrennstoffe



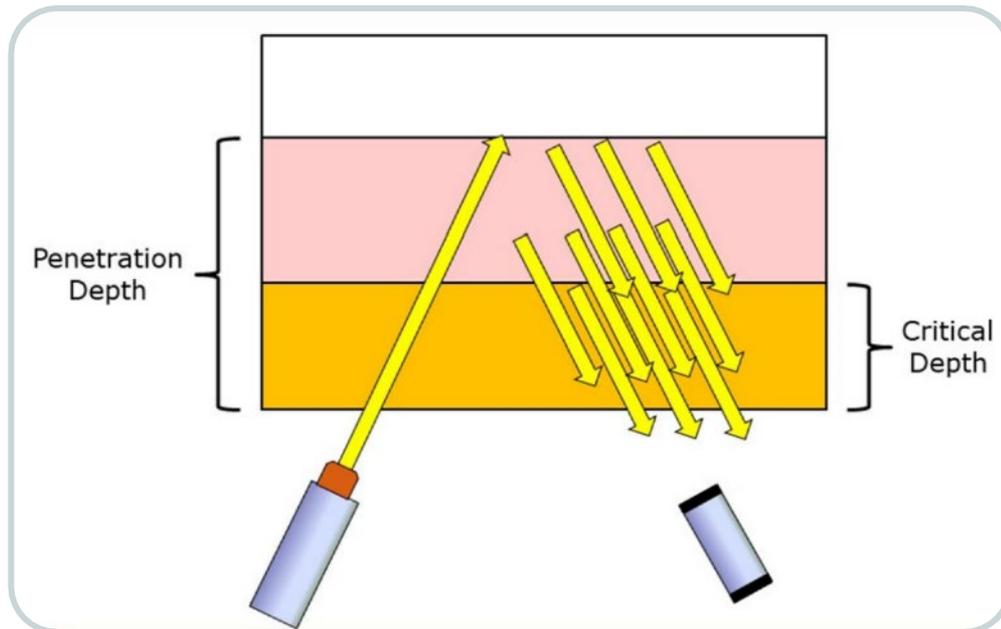
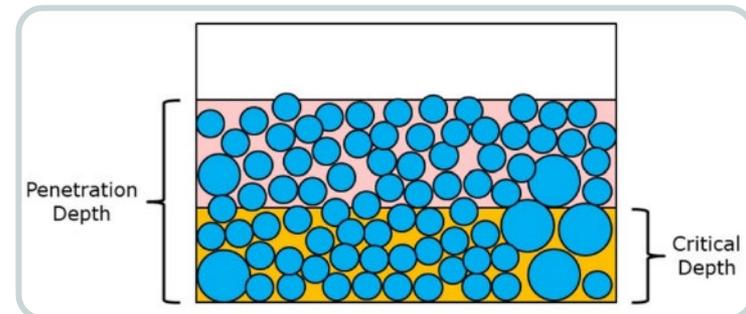
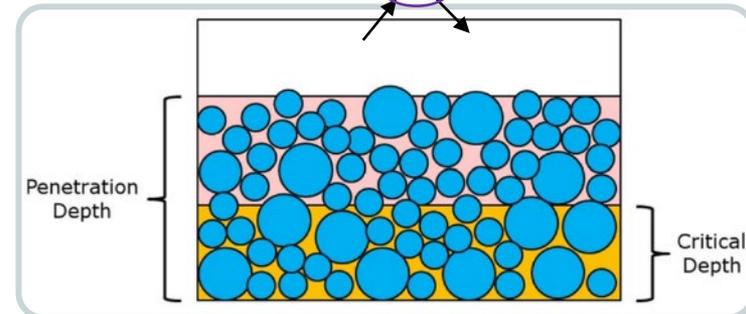
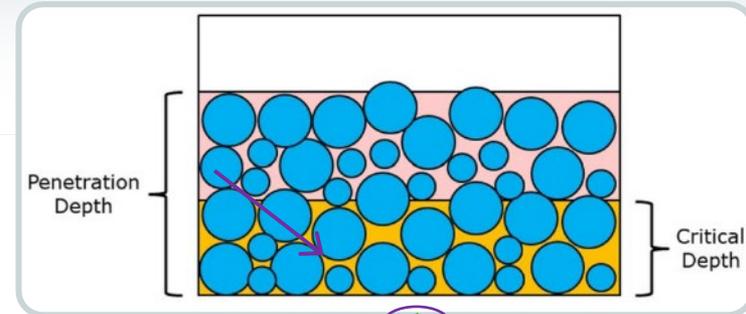
$$R(\text{kcps}) = f(1/d^2)$$

Δd Anode zu Probe



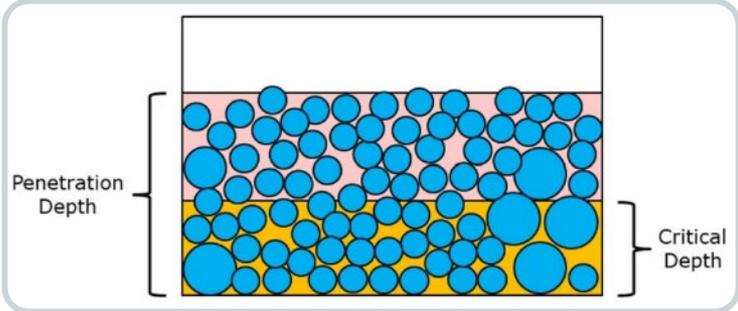
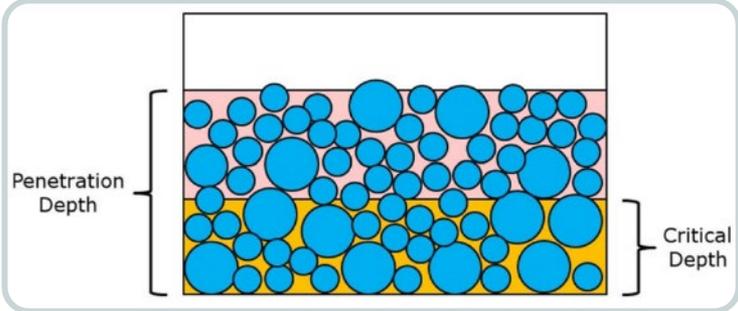
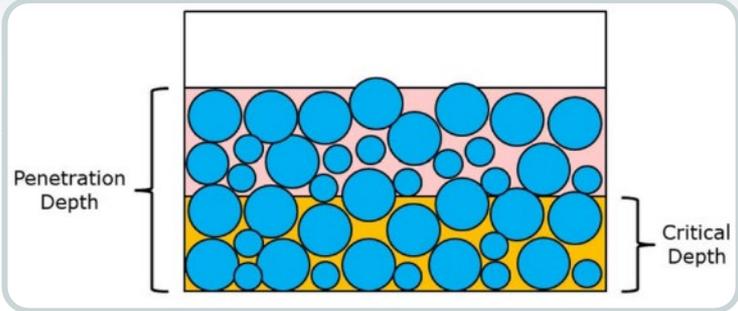
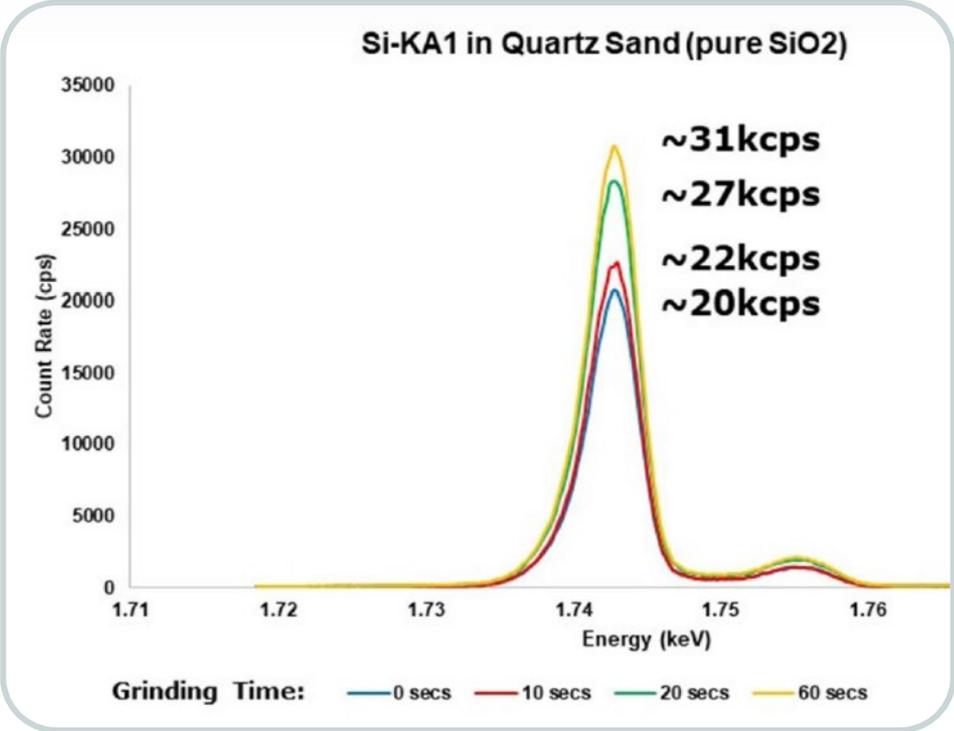
Proben nicht flach:

→ Abstand, Schatten-Effekt



Probenpräparation

Beispiel: Einfluss der Korngröße



Probenpräparation Schmelzling



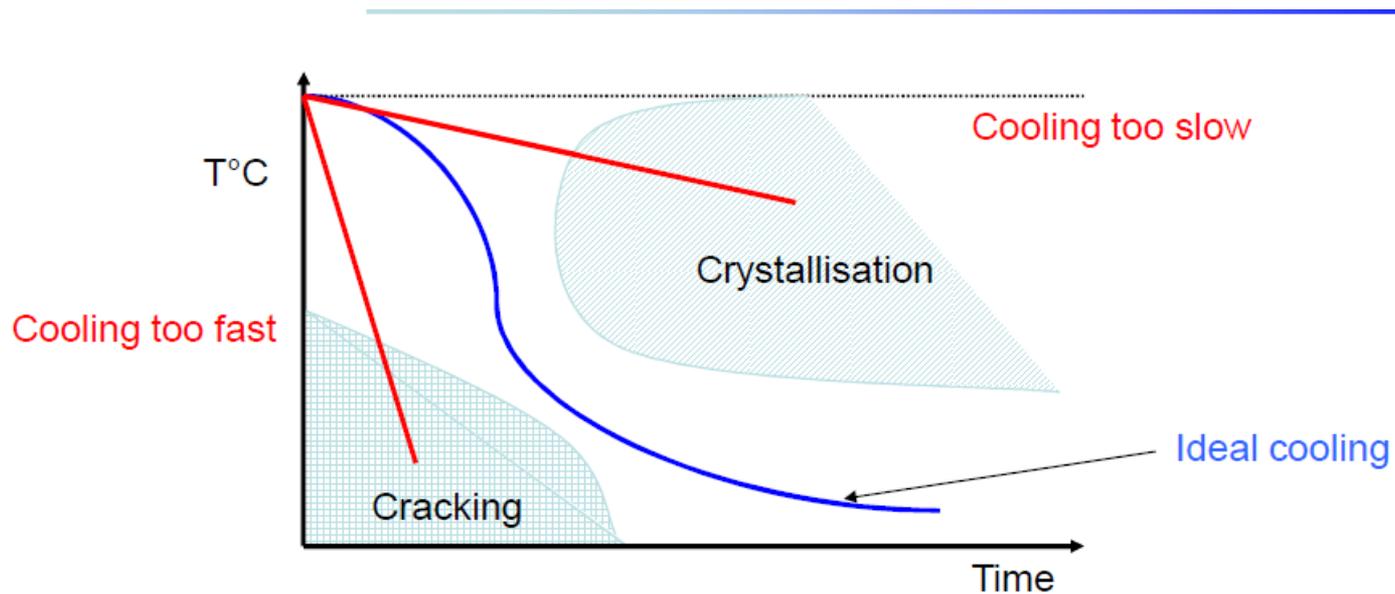
- Probenmenge z.B.: 1g
- Schmelzen in elektrischen, Induktions- oder Gasgeräten (ca. 1000°C), kann (halb-)automatisiert werden
- Platingefäße erforderlich (Tiegel und Formen)
- Vorgeschmolzene Flussmittel
 - Lithiumtetraborat $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (920° C)
 - Lithiummetaborat LiBO_2 (850° C)
 - Mischungen von $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ und LiBO_2
- Oxidationsmittel: für Ferrolegierungen, Sulfide
 - Nitrate von NH_4 , Li, Na, K und Sr
- Effizienz von Schmelzen und Gießen
 - Senkung der Schmelztemperatur
 - LiF , B_2O_3 , Na_2CO_3 / Li_2CO_3
- Nicht-benetzende Mittel für besseres Gießen
 - Iodide, Bromide, Perjodide von Li oder NH_4 als Salz oder Lösung
- Schwere Absorber - Verringerung von Matrixeffekten
 - La-, Ce-, Ba-Oxide, werden heutzutage nicht mehr häufig verwendet, da gute Matrixkorrekturen verfügbar sind
- Interner Standard



Probenpräparation Schmelzling



- Nicht nur der Schmelzprozess ist kritisch, sondern auch die Abkühlphase



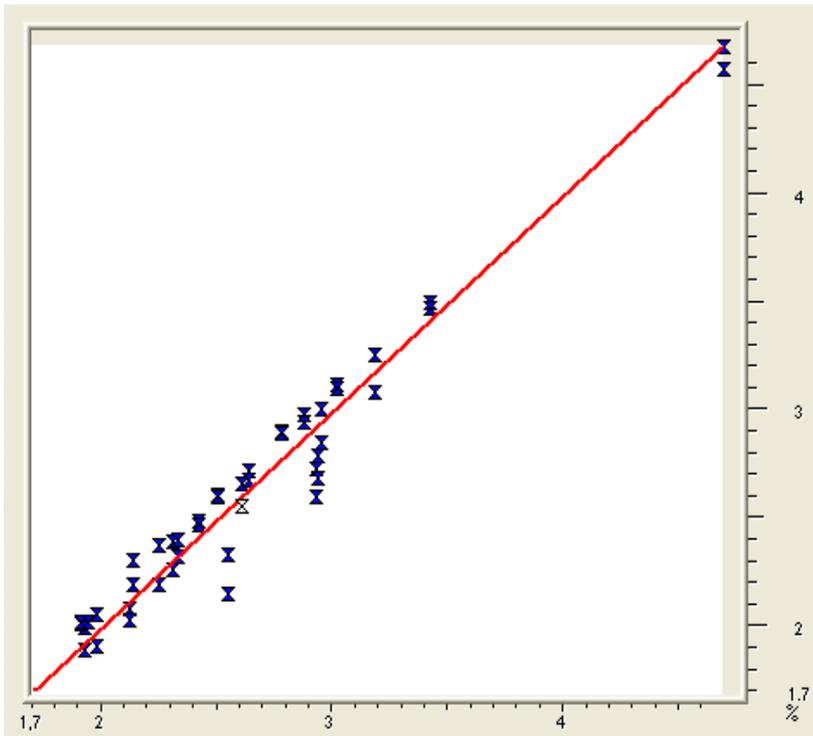
Quelle: XRFScientific

Probenpräparation Schmelzling - Test

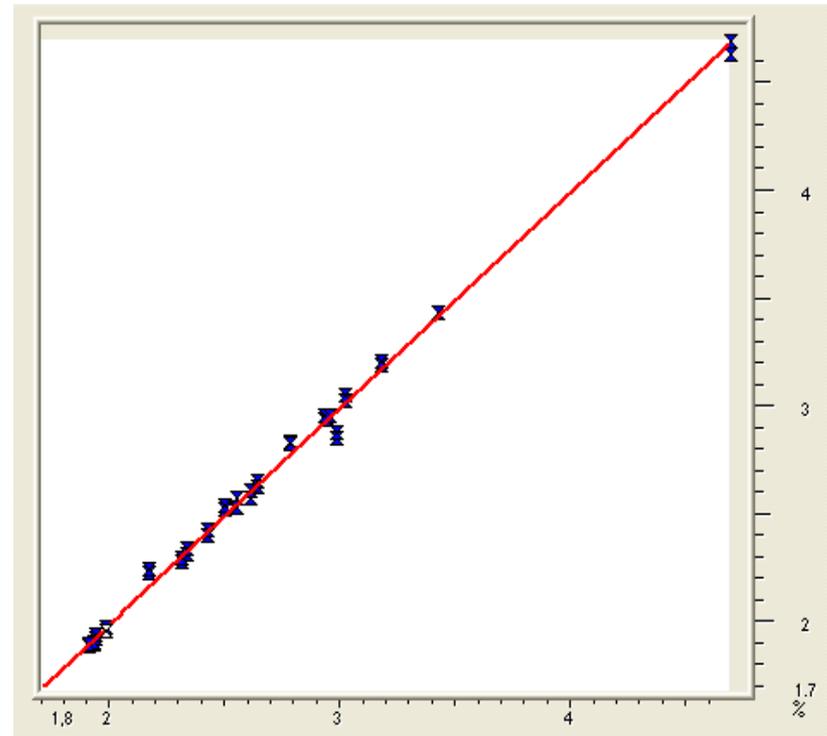


Vorbereitung:
Gleiche Standards
Gleiches Fusionsmodell
Gleiches Rezept und Flussmittel

SD: 1.3%



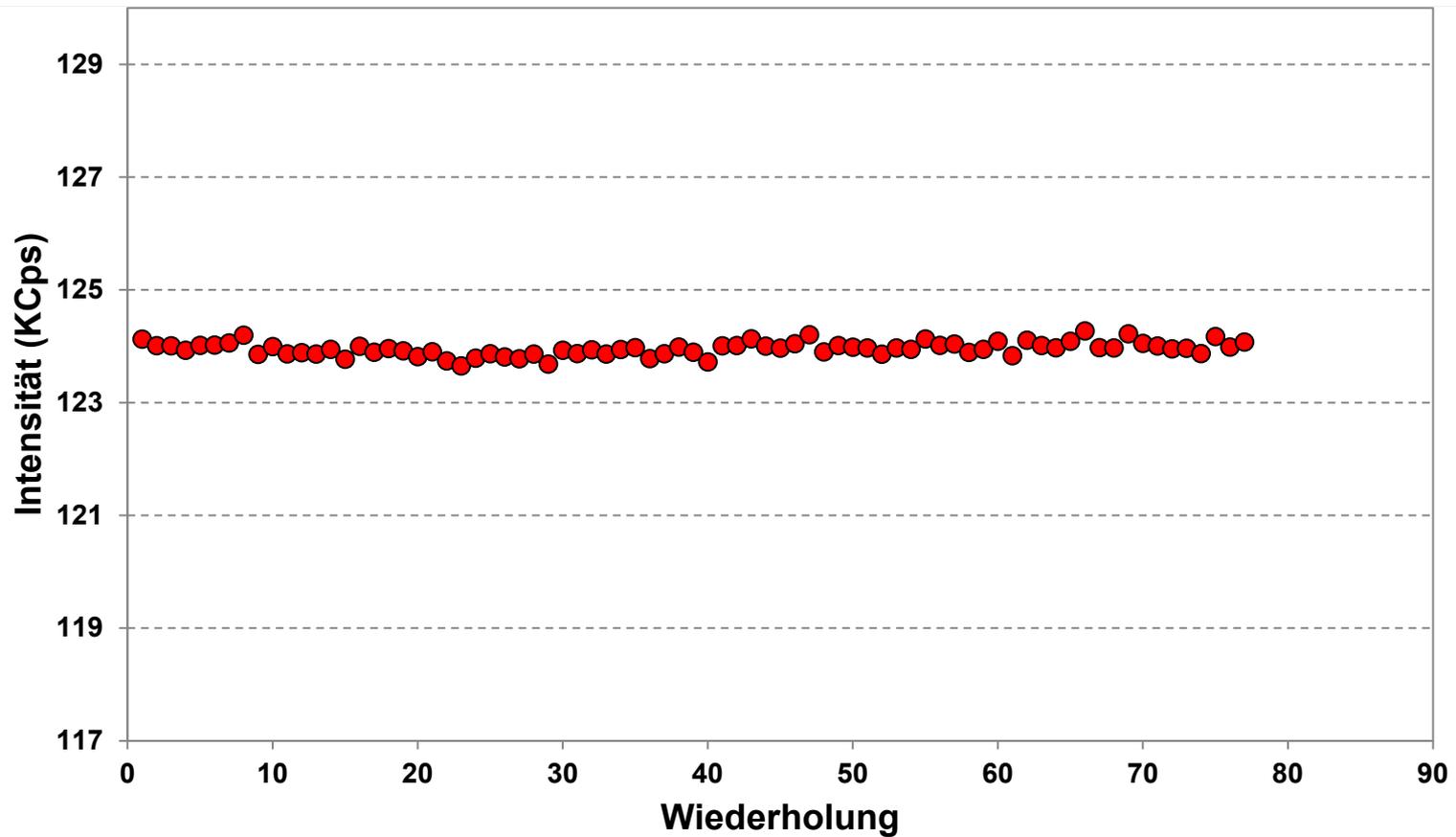
SD: 0.036%



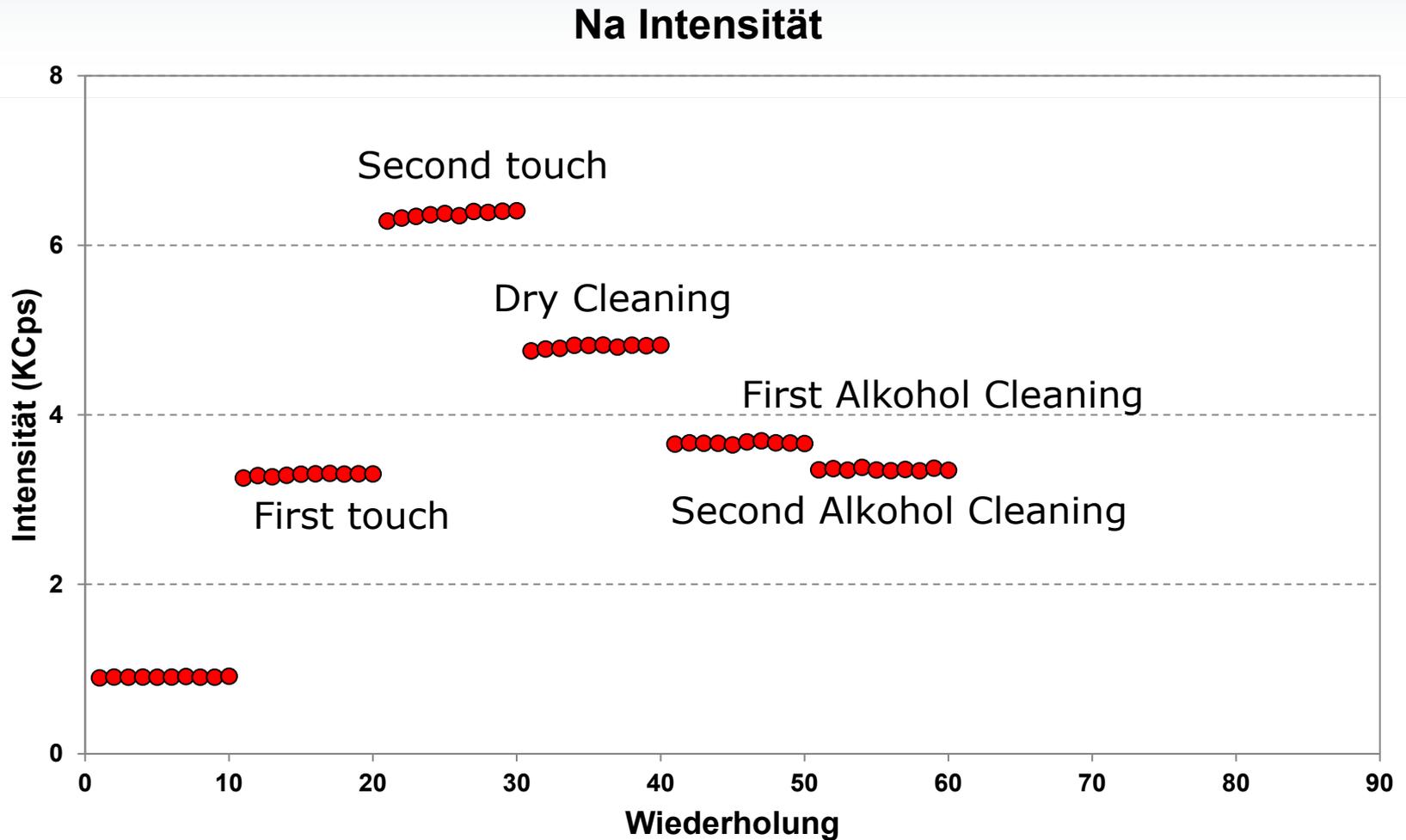
Probenpräparation Schmelzling – Test -> Ca alles OK



Ca Intensität



Probenpräparation Schmelzling – Test → Na – Oh Gott!



Interessantes Wissen



Welche Bauwerke aus Zement/Beton sind Weltrekordhalter?

- Trump Tower (Chicago)
- Lakhta Center Multifunctional Complex (Russland)
- Hoover Damm (Arizona)
- Seikan-Tunnel (Japan)
- Pantheon (Rom)
- Viaduc de Millau (Frankreich)



S2 PUMA & S6 JAGUAR

Moderne EDRFA & WDRFA



Kompakte Röntgenfluoreszenzgeräte sind aufgrund neuer Detektortechnologien mittlerweile sehr leistungsstark

- Verbesserte spektrale Auflösung
- Hohe analytische Präzision durch höhere Zählraten
- Einfache Bedienung und dadurch schnelle Integration in die Qualitätskontrolle



Entscheidung über die Technologie (ED oder WD) durch:

- Elementbereich, Anzahl der Elemente
- Erforderliche Präzision
- Nachweisgrenzen
- Geforderte Probenflexibilität

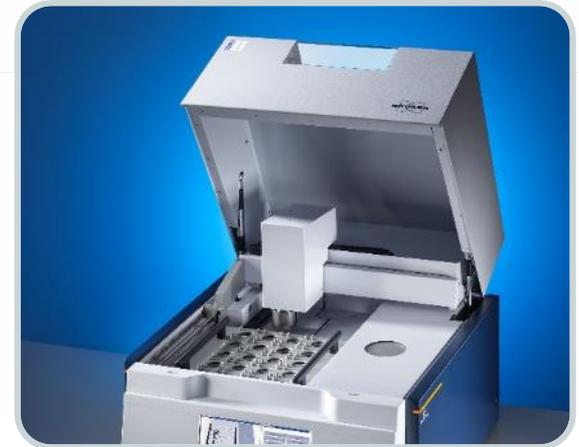


S2 PUMA Series 2

Ideales Backup System – voll automatisiert



- Single
- XY Autochanger
- XY Automation
- Carousel
- Mapping-Stage



S2 PUMA Series 2 XY Autochanger



- EasyLoad™ XY-Probentablett mit 20 Positionen; +2 fixe Positionen
- Verschiedene Probentypen können in einer Sequenz geladen werden (Flüssigkeiten, Pulver, Feststoffe)
- Neue Proben können jederzeit in das hinzugefügt werden
- SampleCare™ garantiert höchste Geräteverfügbarkeit

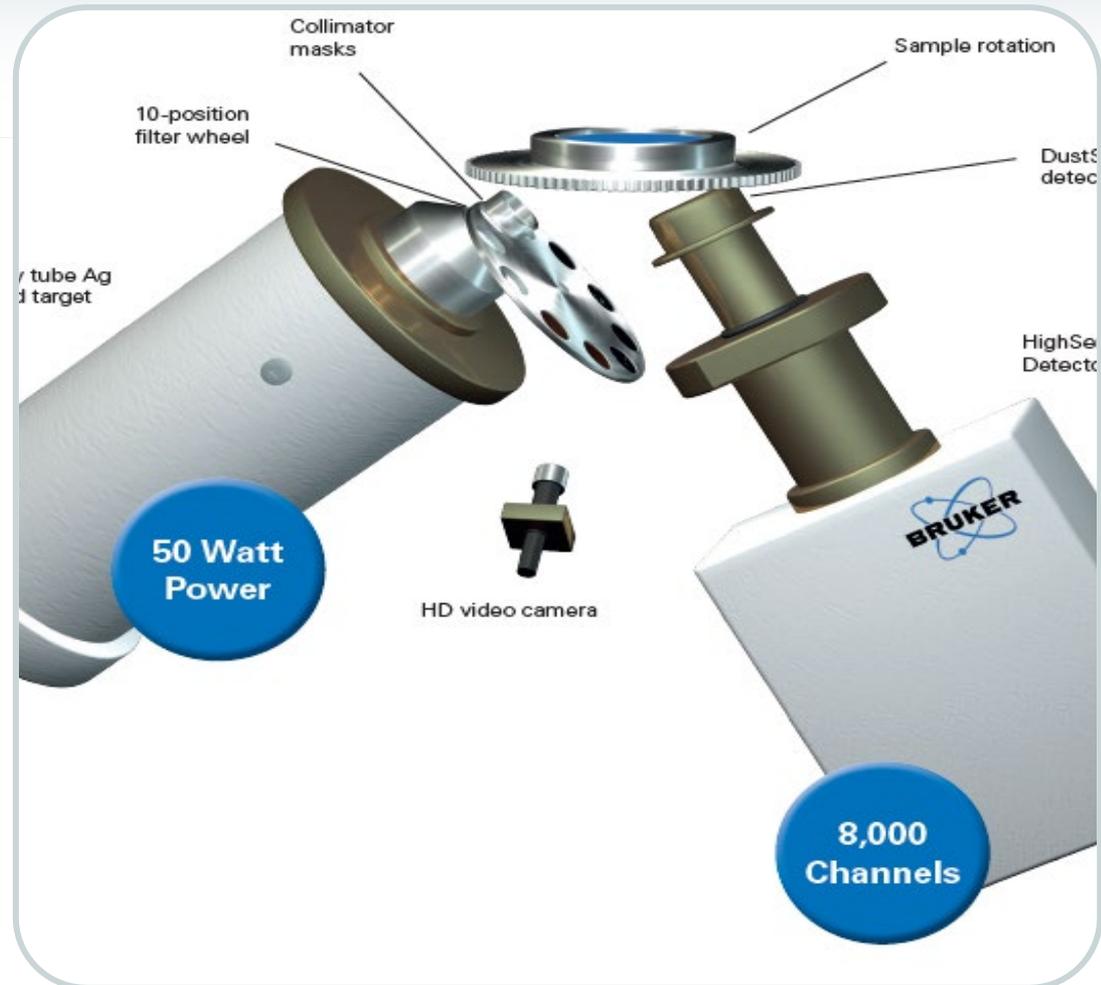
S2 PUMA Series 2 Mit HighSense™ Technologie



Eine optimale Anregung der Probe wird gewährleistet durch:

- Hochleistungs-50-Watt-Röntgenröhre
- Bis zu 2 mA und 50 kV
- Optionale 30-kV-Version
- Eng gekoppelte Optik
- Primärstrahlfilter mit 10 Positionen
- Die Siliziumdriftdetektoren (SDD) der nächsten Generation mit sehr hoher Zählrate und ausgezeichneter Energieauflösung

HighSense™ ist der Schlüssel zur vortrefflichen analytischen Leistung des S2 PUMA Series 2



S2 PUMA EDRFA

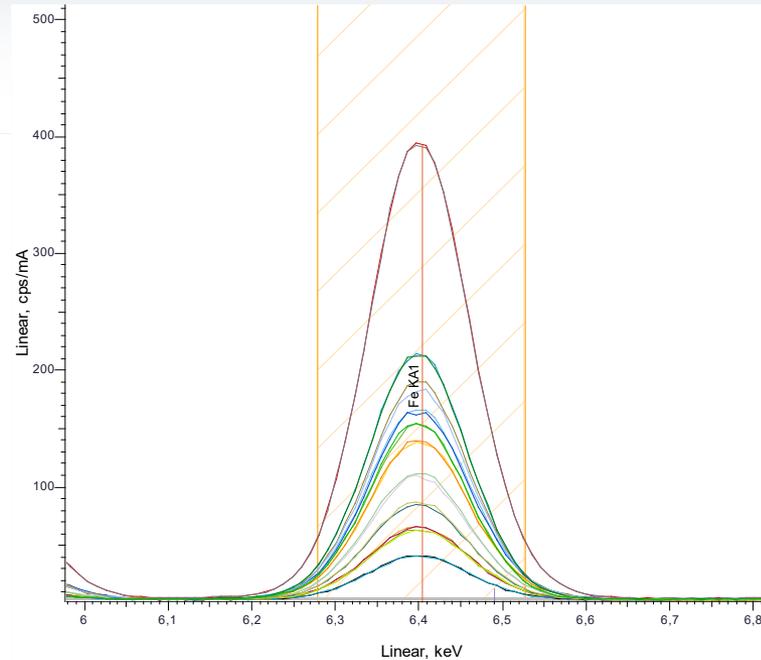
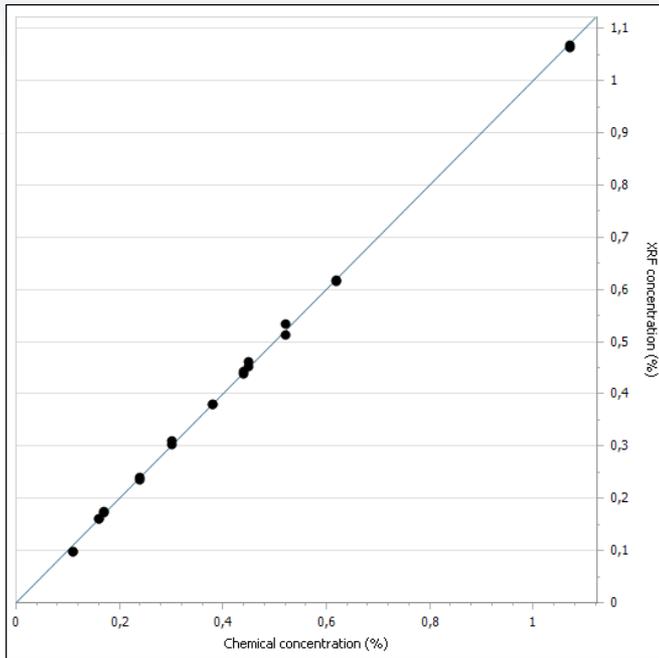
Elementanalyse von Rohmaterialien



- Die Qualität der Rohmaterialien (Kalkstein, Quarzsand, ...) spielt eine wesentliche Rolle in der Zementproduktion,
- Die Elementzusammensetzung der einzelnen Rohmaterialien beeinflusst die Eigenschaften des Endprodukts und auch dessen Wert,
- Für eine kosteneffiziente und zuverlässige Zementproduktion muss die Qualität der Rohmaterialien überwacht werden,

S2 PUMA EDRFA

Elementanalyse von Rohmaterialien



- Kalibration: Fe (KA1) in Kalkstein gemessen mit dem S2 PUMA Series 2
- Messbedingungen: **Vakuum**, Al-Filter, 40 kV, automatischer Strom
- Konzentrationen: 0,1 – 1,1 % Fe_2O_3
- Statistik: $R^2 = 0,99939$

S2 PUMA EDRFA

Elementanalyse von Rohmaterialien



Rep-#	CaO (%)	MgO (%)	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	Mn3O4 (%)	SO3 (%)	Sum (%)
1	97,058	1,117	1,137	0,452	0,302	0,048	0,066	100,18
2	97,034	1,075	1,147	0,435	0,300	0,047	0,067	100,11
3	97,092	1,139	1,135	0,447	0,303	0,047	0,067	100,23
4	97,012	1,079	1,145	0,443	0,300	0,046	0,067	100,09
5	97,005	1,078	1,152	0,442	0,301	0,048	0,067	100,09
6	97,046	1,075	1,146	0,437	0,301	0,047	0,067	100,12
7	97,052	1,120	1,142	0,441	0,301	0,047	0,066	100,17
8	97,027	1,083	1,139	0,439	0,302	0,048	0,066	100,10
9	97,055	1,122	1,137	0,447	0,302	0,047	0,069	100,18
10	96,800	1,079	1,173	0,437	0,301	0,046	0,067	99,90
11	96,627	1,098	1,200	0,432	0,300	0,047	0,068	99,77
Min	96,627	1,075	1,135	0,432	0,300	0,046	0,066	99,77
Max	97,092	1,139	1,200	0,452	0,303	0,048	0,069	100,23
Mittelwert	96,983	1,097	1,150	0,441	0,301	0,047	0,067	100,09
SD	0,134	0,022	0,019	0,006	0,001	0,001	0,001	0,13
RSD(%)	0,14	2,04	1,62	1,28	0,31	1,42	1,27	0,13

- Exzellente Datenqualität für die 7 wichtigsten Haupt- und Nebenelemente in Kalkstein (Summe bei 100,1 %)
- **Sehr gute Präzision auch bei niedrigen Konzentrationen** (RSD: 0,1 -2 %)

Röntgenfluoreszenzanalyse RFA Elementbereiche



Röntgenfluoreszenzanalyse RFA (Röntgenspektrometrie)

Verfahren zur qualitativen und quantitativen Analyse der Elementzusammensetzung durch Anregung von Atomen und Nachweis ihrer charakteristischen Röntgenstrahlen

- Hochleistungs-WDRFA (4 – 1 kW):
Be (B) – Am
- Mittlere WDRFA (400 W):
O (F) – Am
- Moderne EDRFA:
C (F) – Am
- EDRFA mit niedriger Leistung:
Na (Mg) – Am

H																	He		
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Ac																	
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am											

- Elementbereich RFA allgemein:
(Be) B bis U
- Konzentrationsbereich:
Sub-ppm bis 100 %

S6 JAGUAR

Kompakte Benchtop WDRFA

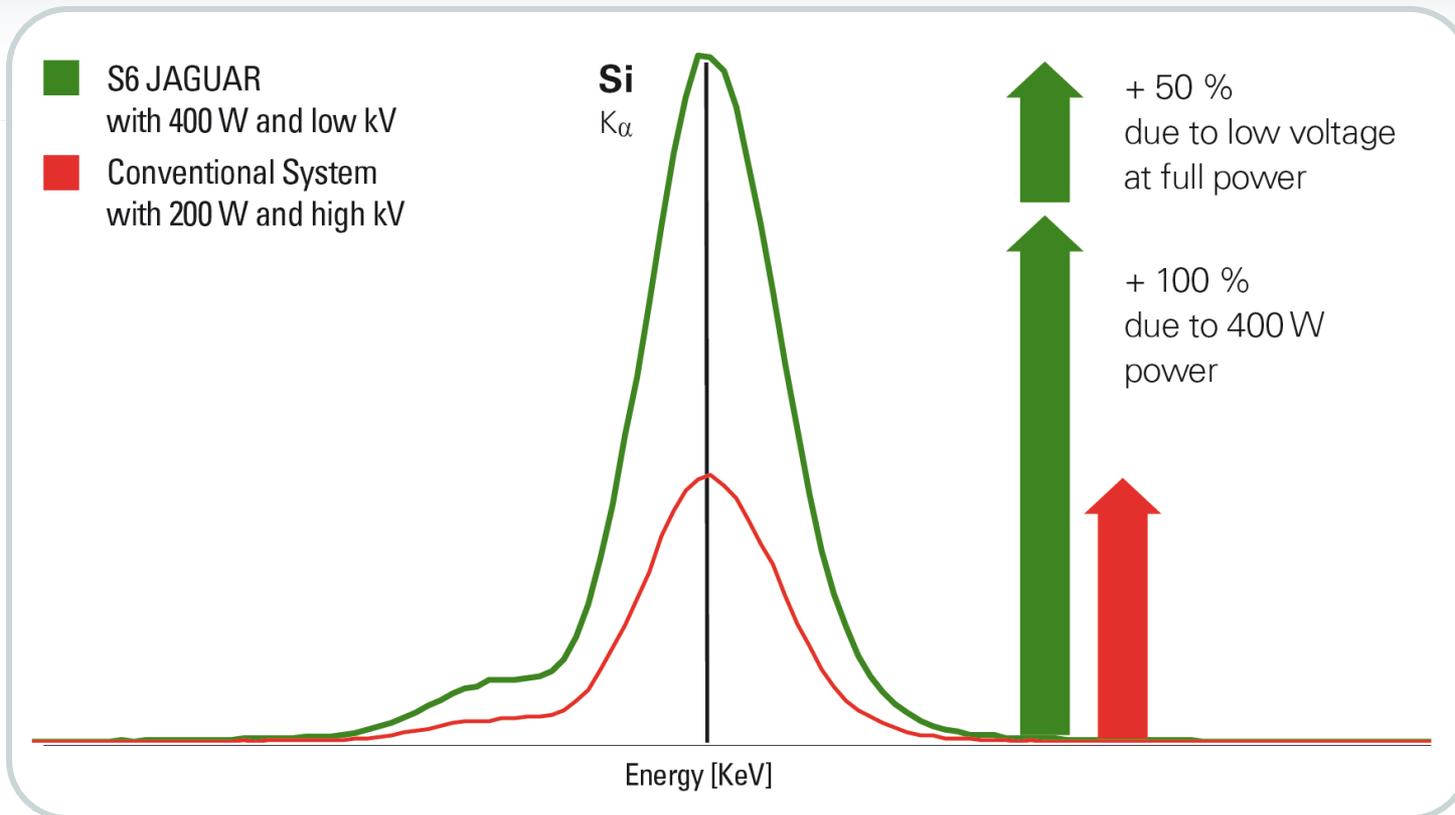


Aufbau eines kompakten WDRFA mit hoher Auflösung

- Kompaktes Goniometer mit hochpräzisen Getriebe und kompaktem Strahlengang
- 3 optimierte Analysatorkristalle für den gesamten Elementbereich und 1 Kristall für spezielle Anwendungen
- Beibehaltung der analytischen Präzision und Sensibilität:
- Röntgenröhre mit höherer Leistung im Vergleich zur EDRFA
- Es gibt keine Sättigung aufgrund der Detektion einzelner Elemente)
- HighSense-Detektoren mit einer Zählrate von 2 Mcps
- HighSense XE-Detektor für mittlere und schwere Elemente

S6 JAGUAR

HighSense™: Leichte Elemente



Nicht nur die Gesamtleistung ist wichtig! Auch die Anregungsparameter: Das S6 JAGUAR analysiert leichte Elemente mit optimaler Niederspannung und vollen 400 W Leistungseinstellungen!

Beispiel: S6 JAGUAR Weisser Portland Cement



Absolut normkonform:

- ASTM C114
- ISO 29581-2
- DIN EN 196-2

Analyse der wichtigsten Elemente:

Ca, Al, Si, S, Fe

Bewertung von Nebenbestandteilen:

Na, Mg, P, K, Ti, Cr, Mn, Zn, Sr

Schmelzperlenpräparation für
optimale Genauigkeit

Eliminierung mineralogischer Effekte



RFA - Röntgenfluoreszenzanalyse

Präzision und Zählstatistik

Präzision durch Zählung statistischer Fehler begrenzt

$$\Delta c / c = \frac{\text{SQRT}(N)}{N} = \frac{1}{\text{SQRT}(N)}$$

N = 100	SQRT(N) = 10	3*SQRT(N) / N = 30 %
N = 1000	SQRT(N) = 30	3*SQRT(N) / N = 10 %
N = 10 000	SQRT(N) = 100	3*SQRT(N) / N = 3 %
N = 100 000	SQRT(N) = 300	3*SQRT(N) / N = 1 %
N = 1 000 000	SQRT(N) = 1000	3*SQRT(N) / N = 0.3 %
N = 10 000 000	SQRT(N) = 3000	3*SQRT(N) / N = 0.1 %

Ein kompaktes WDRFA Spektrometer, wie das S6 JAGUAR, liefert präzisere Ergebnisse aufgrund der erreichten Intensitäten:

- 400 W Leistung, eng gekoppelte Optik
- Optimale Anregung
- Erhöhte Empfindlichkeit mit optimalen Analysatorkristallen
- HighSense-Detektoren und Zählelektronik mit bis zu 2 Mcps

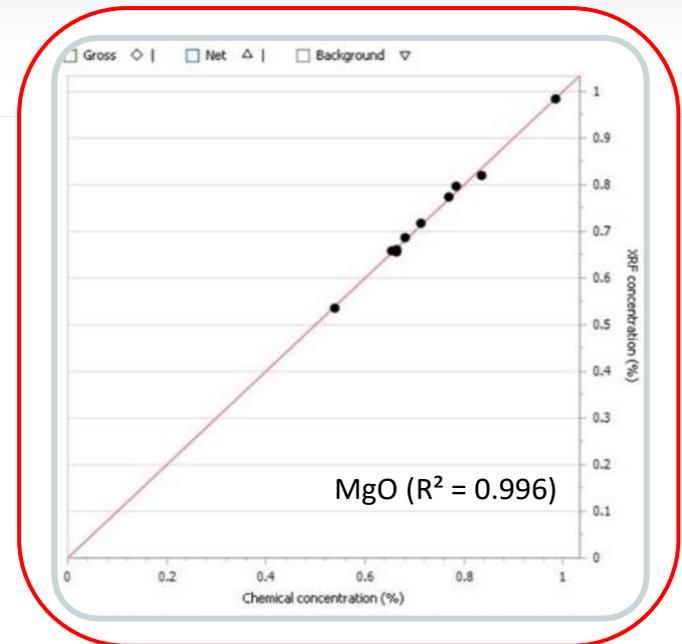
Beispiel: S6 JAGUAR Weisser Portland-Zement



Farblich relevante Nebenbestandteile (z.B. Fe, Mn) müssen unter einem bestimmten Schwellenwert gehalten werden.

Einfache Probenvorbereitung mit gepressten Pellets

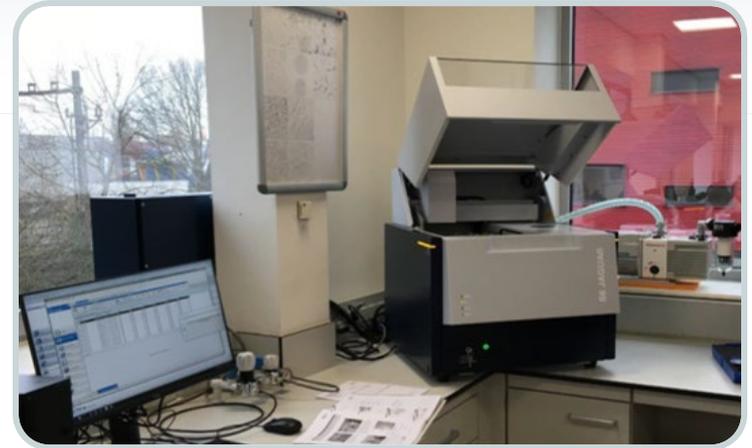
Sehr geringe Standardabweichungen für Spuren von Fe ($0,162 \pm 0,001$ Gew.-% Fe_2O_3) und Mn (72 ± 1 ppm MnO)



	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
Average	0.156	0.665	2.496	15.83	0.018	0.041	429	0.331	44.09	0.091	72	0.162
Abs. Std. Dev.	0.003	0.005	0.005	0.02	0.000	0.000	6	0.001	0.02	0.001	1	<0.001
Known composition	0.138	0.663	2.51	15.9	0.019	0.048	423	0.334	44.21	0.092	74	0.164
Abs. diff.	0.018	0.002	0.014	0.07	0.001	0.007	6	0.003	0.12	0.001	2	0.002

S6 JAGUAR

Kundenfeedback

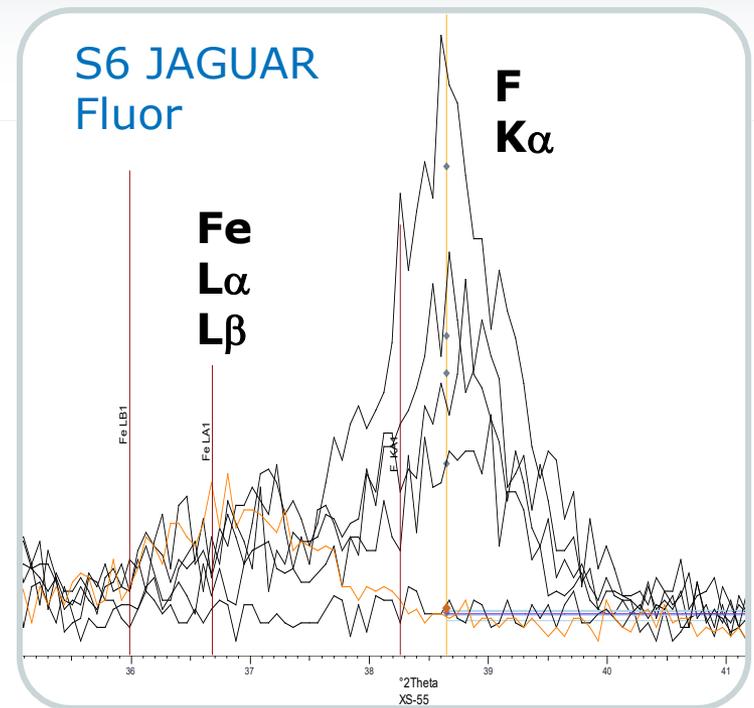
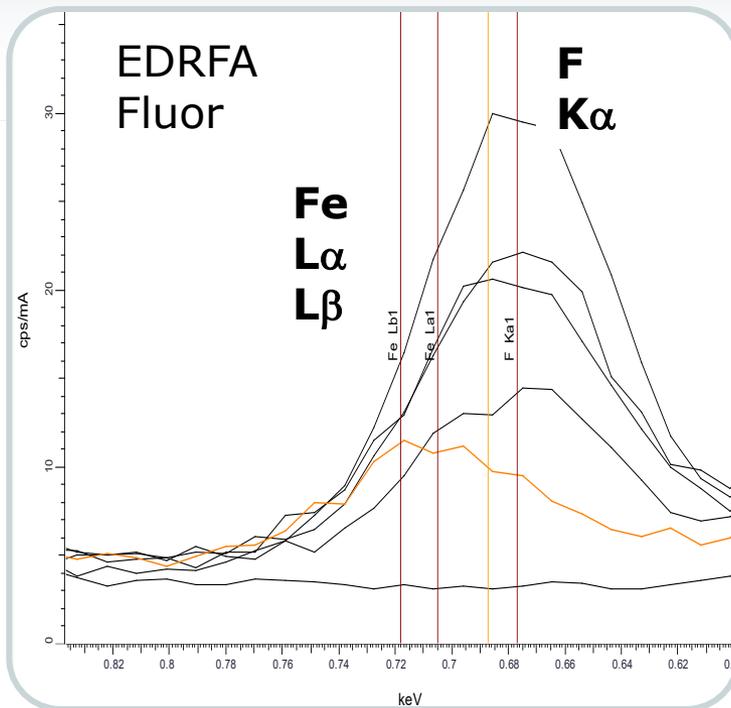


Ein weltweit bekannter Hersteller von Feuerfest- und Gießereiprodukten suchte ein Spektrometer für die Analyse von Hauptelementen in Magnesiten, etc,...

- Neben Spuren war aber auch die Analyse von Fluor wichtig – Wird ein grosses WDRFA Spektrometer benötigt, obwohl nur wenig Proben am Tag analysiert werden müssen?

Der S6 JAGUAR zeigte ausgezeichnete Leistung für leichte und wichtige Elemente mit optimaler Genauigkeit, übertrifft die EDRFA aufgrund der besseren Auflösung von Fluor in Gegenwart von hohem Eisen (Fe $L\alpha$ -Überlagerung) -> Präferenz für WDRFA

S6 JAGUAR Kundenfeedback



Starke Überlagerung von F K α und Fe L α mit EDXRF -> führt zu mittlerer Genauigkeit und Präzision:

Min 3,59 % -> 3,78 % <- Max 4,07 %

S6 JAGUAR: Optimale Auflösung, klare Trennung der beiden Linien, hohe Empfindlichkeit mit 400 W Leistung:

Min 3,97 % -> 4,03 % <- Max 4,07 %

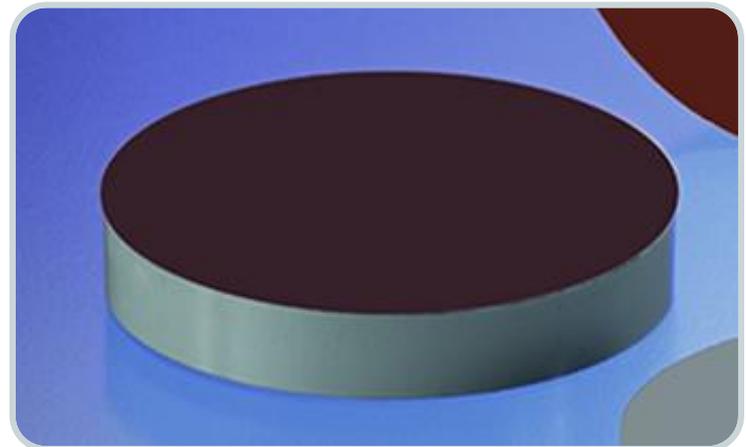
Benchtop WDRFA in Brennstoffen -> Kohle, Koks, Kohlenstoffprodukte



Kohle wird in der Metallherstellung (Aluminium, Stahl) und bei der Stromerzeugung (Elektrizität) weit verbreitet eingesetzt

Die Analyse von Kohle, Koks und Kohlenstoffprodukten ist von entscheidender Bedeutung:

- Verhinderung der Kontamination von Metallen (Verunreinigungen)
- Korrosion inhibieren (Überwachung von Cl)
- Reduzierung der Umweltbelastung (Verringerung der S-Konzentration)



Benchtop WDRFA in Industriemineralen & Bergbau -> Kohle, Koks, Kohlenstoffprodukte



Element	XRF conc.	Cert. Conc.	Abs Std Dev.	Rel Std Dev.
S [%]	3.40	3.30	0.02	0.72
Ni [ppm]	128.00	124.00	4.48	3.50
Si [ppm]	24.00	28.00	1.15	4.80
Fe [ppm]	276.00	266.00	2.65	0.96
Na [ppm]	623.00	645.00	43.61	7.00
Al [ppm]	153.00	150.00	5.66	3.70
Ca [ppm]	112.00	107.00	2.35	2.10
K [ppm]	17.00	17.00	1.84	10.80
Cl [ppm]	100.00	n.a.		
Ti [ppm]	5.00	4.00	0.31	6.10
Zn [ppm]	40.00	41.00	0.10	0.25
V [ppm]	302.00	300.00	2.33	0.77

Optimale Richtigkeit

- Nebenbestandteile, wie S
- Spuren, wie Si, Cl, Fe

S6 JAGUAR & S2 PUMA

Manual: Schneller Probenwechsel



- Leichter Zugang zum großen Probenraum
- Für alle Arten von Proben:
 - Feststoffe
 - Gepresste Pulver
 - Schmelztabletten
 - Flüssigkeiten (He-Modus)
 - Lose Pulver (He-Modus)
- Wirtschaftliche Option für geringeren Probendurchsatz



S6 JAGUAR & S2 PUMA EasyLoad™: Hohe Produktivität



- Automatische Messung von Probensätzen für hohen Durchsatz
- Laden und Priorisierung neuer Proben zu jeder Zeit
- Laden ganzer Chargen durch einfaches Austauschen kompletter Tablett
- Automatische Erkennung von Flüssigkeitsproben
- Automatisierung für Roboter und Band



EasyLoad: 20 Positionen auf einem Tablett

EasyLoad ONLINE: 20 Positionen auf einem Tablett (51,5-mm-Ringe)
2 feste Positionen für QC-Proben



Element Analyse: Zement

Darf es noch ein bisschen mehr sein,



- Bereit für die Automatisierung: Professionelle Integration in vollautomatische Umgebungen
- Die Proben werden direkt vom automatischen Probenvorbereitungssystem zugeführt
- AXSCOM-Kommunikationsschnittstelle zur Verbindung mit der Steuerungssoftware
- EasyLoad™ Tablett mit 20 Positionen für externe Proben: Hinzufügen, Ersetzen, Entfernen und Priorisieren von Proben zu jeder Zeit
- **CEMENT-QUANT**: Out-of-the-box-Lösung für die Analyse von Prozessmaterialien in der Zementindustrie:
- Vollständig konform mit ASTM C114 und ISO 29581-2 / DIN EN 196-2
- 20 zertifizierte Referenzmaterialien (CRM)
- 2 Proben zur Driftkorrektur
- 1 Stichprobe zur Qualitätskontrolle
- Deckt 14 Elemente ab



Rund um Zement

Welche Analytik soll ich wählen?



Im modernen RFA-Labor in der Zementindustrie mit den Anforderungen nach Elementspuren und Schwermetallen sind folgende Strategien erfolgreich:

Mehrkanal-WDRFA Spektrometer S8 LION:

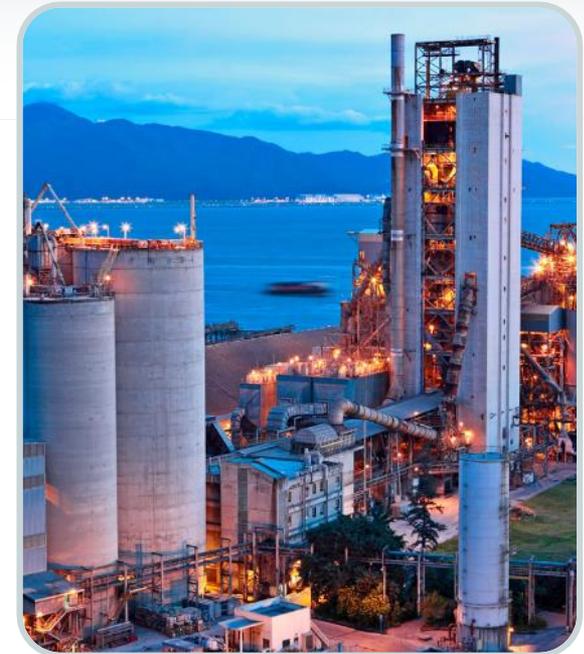
- Bei sehr hohem Probenaufkommen an Prozessproben

Sequentielle WDRFA Spektrometer:

- S8 TIGER: Schnell und flexibel, auch für AFRs (Schwermetalle), Schlacken (F), Heissmehl (Alkali-Chloride), S Speziation
- S6 JAGUAR -> Backup, zusätzliche WDRFGA Kapazität in der Routine, u.a. auch für F in Schlacken

Tisch-EDRFA S2 PUMA:

- Schnell für Rohmehl an der Mühle, Backup, auch in der Automatisierung



In Zahlen (2019)
Über 70 % der
Zementwerke in
Deutschland nutzen
Bruker RFA und XRD

Interessantes Wissen



Welche Bauwerke aus Zement/Beton sind Weltrekordhalter?

- Trump Tower Chicago → Burj Khalifa (Höhe)
- Lakhta Center Multifunctional Complex → Sharja (UAE) größter zusammenhängender Betonguss (21,580m³)
- Hoover Damm (Arizona) → 3 Schluchten Damm (Hubei) – schwerstes Betonbauwerk
- Seikan-Tunnel (Japan) → Gotthard Basistunnel (Schweiz)
- Pantheon (Rom) → größte freitragende Kuppel ohne Bewehrung
- Viaduc de Millau (Frankreich) → Höchster Betonbrückenpfeiler



Bruker AXS Total Cement Solutions



- **S2 PUMA**
 - Backup
 - Rohmehl
- **S6 JAGUAR**
 - Mahlwerke
 - Backup
 - Zentral. Lab



- **S8 TIGER**
 - Prozess/Qualitätskontrolle
 - Flexibilität, AFR
 - Process & Central Lab.
- **S8 LION**
 - Prozess/Qualitätskontrolle
 - Durchsatz



- **D2 PHASER**
 - Backup
 - spot test
- **D8 ENDEAVOR**
 - Prozess/Qualitätskontrolle
- **D8 ADVANCE**
 - Zentral. Lab

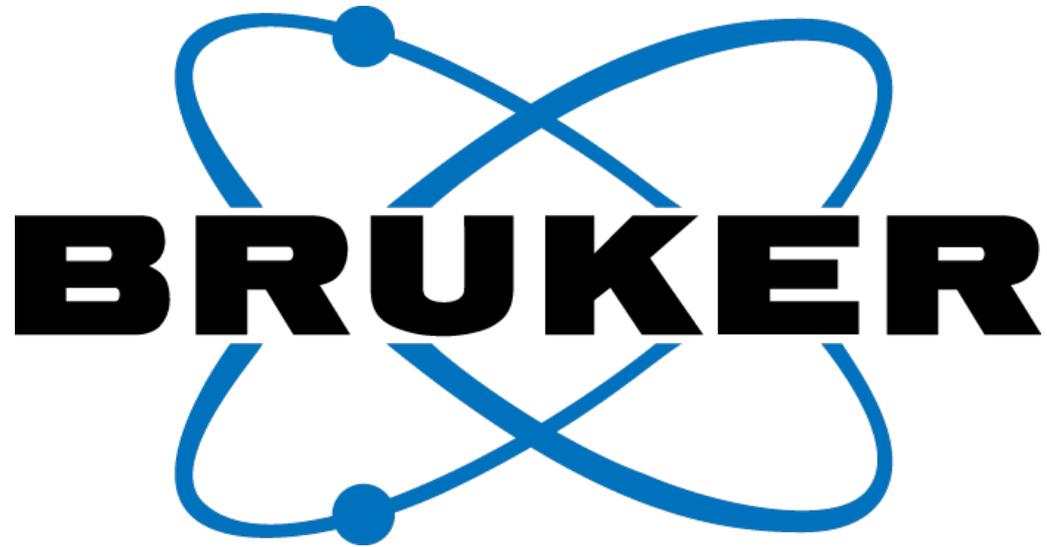


Haben Sie Fragen?



Vielen Dank für Ihr Interesse!





Innovation with Integrity