

Referenzmaterial-Set: VDZ500-VDZ524



Kalibriermaterial-Set für die Spurenelementbestimmung mittels RFA

Das Referenzmaterial-Set dient der Kalibrierung von Röntgenfluoreszenz-Spektrometern an Presstabletten-Präparaten hinsichtlich der Spurenelementgehalte von Zementen und Klinkern. Es besteht aus 25 Kalibrierproben, die gemahlene Portlandzementklinker und Zemente mit Kalkstein, Hüttensand, Ölschiefer, Steinkohlenflugasche und natürlichen Puzzolanen umfassen. Eine Einheit des Sets besteht aus 25 Proben mit mindestens 125 g je Zement oder Klinker.

VDZ Technology gGmbH

Postfach 30 10 63
40410 Düsseldorf

Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf

T +49 (0)211 45 78 0
F +49 (0)211 45 78 296

info@vdz-online.de
www.vdz-online.de

Sitz: Düsseldorf
Amtsgericht Düsseldorf
HRB-Nr. 66898

Hauptgeschäftsführer VDZ e.V.:
Dr. Martin Schneider

Geschäftsführer:
Dr. Christoph Müller
Dr. Jörg Rickert
Dr. Ute Zunzer

Hinweis: Die angebotenen Materialien sind formell keine zertifizierten Referenzmaterialien (CRM) gemäß Definition nach ISO Guide 30.

1 Produktbeschreibung

Materialien: 25 Materialien (Klinker und Zemente)

Produktcode: VDZ500 bis VDZ524

Das Referenzmaterial-Set dient der Kalibrierung von Röntgenfluoreszenz-Spektrometern an Presstabletten-Präparaten hinsichtlich der Spurenelementgehalte von Zementen und Klinkern. Es besteht aus 25 Kalibrierproben, die gemahlene Portlandzementklinker und Zemente mit Kalkstein, Hüttensand, Ölschiefer, Steinkohlenflugasche und natürlichen Puzzolanen umfassen. Eine Einheit des Sets besteht aus 25 Proben mit mindestens 125 g je Zement oder Klinker.

Die Methoden zur Festlegung der Referenzwerte und der informativen Werte sind in **Tabelle 1** bzw. **Tabelle 2** angegeben. Die Referenzwerte für die jeweiligen Elemente sind in **Tabelle 5**, **Tabelle 6** und **Tabelle 7** in Abschnitt 6 angegeben. Zusätzlich sind informative Werte in **Tabelle 8**, **Tabelle 9** und **Tabelle 10** in Abschnitt 7 angegeben, die im Wesentlichen zur Matrixkorrektur bei der Röntgenfluoreszenzanalyse verwendet werden können.

2 Methoden zur Festlegung der Referenzwerte und der Unsicherheiten

Die Referenzwerte wurden mit mindestens einer rückgeführten Methode ermittelt. Sofern mehrere Ergebnisse zur Verfügung standen, wurde der Referenzwert als arithmetischer Mittelwert aus den Einzelwerten berechnet.

Tabelle 1 Methoden für Referenzwerte

Elemente	Methode	
V, Cr, Mn, Co, Zn, As, Rb, Sr, Sb, Ba	ICP-MS INAA	VDZ500, VDZ501, VDZ502, VDZ504, VDZ505, VDZ507, VDZ508, VDZ509, VDZ510, VDZ511, VDZ518, VDZ519
V, Cr, Mn, Co, Zn, As, Rb, Sr, Sb, Ba, Ni, Cu, Mo, Sn, Pb	ICP-MS	VDZ500 bis VDZ524

Tabelle 2 Methoden für informative Werte

Elemente	Methode	Kalibriermaterialien
CO ₂ , H ₂ O	IR	VDZ500 bis VDZ524
SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , P ₂ O ₅ , SO ₃ , MgO, CaO, TiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, Na ₂ O	XRF	VDZ500 bis VDZ524
TiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Cl, K ₂ O, Na ₂ O	XRF INAA	VDZ500, VDZ501, VDZ502, VDZ504, VDZ505, VDZ507, VDZ508, VDZ509, VDZ510, VDZ511, VDZ518, VDZ519
Tl, Cd	ICP-MS	VDZ500 bis VDZ524
Cl	EN 196-2	VDZ500 bis VDZ524

ICP-MS Induktiv gekoppeltes Plasma-Massenspektrometer, Aufschluss EN 13656:2021

INAA Instrumentelle Neutronenaktivierungsanalyse

IR thermische Freisetzung bei 950°C im Inertgasstrom ohne Katalysator, Infrarot-Detektion

XRF Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse an Lithiumborat-Schmelztabletten

EN 196-2 Chloridbestimmung nach Vollhard gemäß EN 196-2

Die angegebene Unsicherheit berücksichtigt Anteile aus einer möglichen Materialinhomogenität sowie Unterschiede und Unsicherheiten der verwendeten, analytischen Methoden.

Als Unsicherheitsbeitrag für die Homogenität ($u_{r,i}$) des Elements i wurde die Standardabweichung jeweils für alle Haupt-, Neben- und die meisten Spurenelemente mittels Röntgenfluoreszenzanalyse herangezogen.

$$u_{r,i} = \sqrt{\frac{1}{N_i - 1} \sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}$$

Gleichung 1

mit:

$u_{r,i}$ = Unsicherheitsbeitrag aus Homogenität der Proben

N = Anzahl der untersuchten Abfüllungen

x_j = Beobachtungswert der j -ten Messung

$\bar{x}$ = arithmetisches Mittel der untersuchten Abfüllungen

Für Elemente, deren Konzentrationen überwiegend <5 µg/g waren, wurden die Ergebnisse dieses Elementes nicht in die Beurteilung der Homogenität einbezogen und keine Gesamtunsicherheit für dieses Element ausgewiesen.

Bei den Kalibrierproben und Elementen, bei denen die Referenzwerte auf mehreren Laboren bzw. Methoden basierten, wurde die Referenzwertunsicherheit ($u_{R,i}$) nach **Gleichung 2** berechnet:

$$u_{R,i} = \frac{\sqrt{\frac{1}{M_i - 1} \sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x})^2}}{\sqrt{M_i}}$$

Gleichung 2

mit:

$u_{R,i}$ = Referenzwertunsicherheit

M = Anzahl der Labore oder Methoden

x_j = Beobachtungswert der j -ten Labors / Methode

$\bar{x}$ = arithmetisches Mittel der Beobachtungswerte der verschiedenen Labore/ Methoden

Sofern das Ergebnis eines Elementes i nur auf der Analyse eines einzelnen Labors bzw. Verfahrens basierte, wurde die durch das Labor berichtete Standardunsicherheit für das entsprechende Element als Referenzwertunsicherheit ($u_{R,i}$) herangezogen.

Die Gesamtunsicherheit der angegebenen Referenzwerte wurde unter Berücksichtigung beider Beiträge und einem Erweiterungsfaktor $k = 1,96$ nach **Gleichung 3** berechnet und entspricht damit einer erweiterten Messunsicherheit mit einem Vertrauensniveau von rd. 95%.

$$u_{Gesamt,i} = \sqrt{u_{r,i}^2 + u_{R,i}^2} * k$$

Gleichung 3

3 Beschreibung der Kalibrierbereiche

Der Kalibrierbereich kann durch die minimale und maximale Konzentration der Elemente in den 25 Kalibrierzementen ausgedrückt werden. Dieser Bereich ist in **Tabelle 3** angegeben.

Tabelle 3 Kalibrierbereich für die RFA-Zementkalibrierung

Parameter	Einheit	Minimum	Maximum
CO ₂	M.-%	0,09	7,63
H ₂ O	M.-%	0,18	3,74
Cl	M.-%	<0,007	0,66
SiO ₂	M.-%	18,6	32,9
Al ₂ O ₃	M.-%	2,99	10,3
TiO ₂	M.-%	0,14	0,67
P ₂ O ₅	M.-%	0,04	0,43
Fe ₂ O ₃	M.-%	0,21	7,27
Mn ₂ O ₃	M.-%	0,02	1,43
MgO	M.-%	0,69	7,29
CaO	M.-%	38,5	66,5
SO ₃	M.-%	0,41	4,82
K ₂ O	M.-%	0,35	3,19
Na ₂ O	M.-%	0,07	1,54
V	µg/g	28,2	173
Cr	µg/g	10,9	255
Mn	µg/g	155	9915
Co	µg/g	2,0	23,3
Ni	µg/g	12,4	82,6
Cu	µg/g	22	391
Zn	µg/g	36,8	2137
As	µg/g	1,34	111
Rb	µg/g	9,16	111
Sr	µg/g	278	3191
Mo	µg/g	0,41	45,7
Cd	µg/g	0,08	4,35
Sn	µg/g	0,48	72,5
Sb	µg/g	0,63	52,3
Ba	µg/g	120	1383
Tl	µg/g	<0,02	3,03
Pb	µg/g	4,61	117

4 Überblick über die Zementarten in der Kalibrierung

Der Überblick über die Zementarten dient der groben Orientierung. Die Zementarten wurden bei Bedarf in das europäische Zementartensystem der EN 197-1 und EN 197-5 übersetzt und vereinfacht dargestellt. Die enthaltenen Hauptbestandteile neben Klinker wurden gemäß den Abkürzungen aus EN 197-1 ergänzend angefügt, auch wenn dies gemäß den Normbezeichnungen teilweise nicht üblich ist. Folgende Abkürzungen wurden verwendet: Hüttensand (S), Kalksteinmehl (LL), natürliches Puzzolan (P), siliziumreiche Flugasche (V), gebrannter Ölschiefer (T) (bei Zementen, die entweder P, V oder T enthalten, wurden alle drei Bestandteilabkürzungen P/V/T angegeben).

Tabelle 4 Zuordnung der Zementarten zu den Kalibrierproben

Kalibriermaterial	Zementart
VDZ500	CEM I
VDZ501	CEM I
VDZ502	CEM II (S)
VDZ503	CEM II (S)
VDZ504	CEM I
VDZ505	CEM I
VDZ506	CEM I
VDZ507	CEM III (S)
VDZ508	CEM I
VDZ509	CEM II-M (LL, P/V/T)
VDZ510	CEM I
VDZ511	CEM III (S)
VDZ512	CEM III (S)
VDZ513	CEM III (S)
VDZ514	CEM I
VDZ515	CEM II-M (S, P/V/T)
VDZ516	CEM II (P/V/T)
VDZ517	CEM II-M (LL, P/V/T)
VDZ518	CEM IV (P/V/T)
VDZ519	CEM II (P/V/T)
VDZ520	CEM I
VDZ521	CEM II (LL)
VDZ522	CEM II (LL)
VDZ523	Klinker
VDZ524	Klinker

5 Hinweise zur Handhabung

Die Homogenität der Proben wurde für übliche Probenmengen zur Presstablettenpräparation (rd. 10 g, je Tablette) nachgewiesen. Für kleinere Probenmengen wurde die Homogenität nicht untersucht.

Die Probe sollte fest verschlossen und vor Feuchtigkeit geschützt gelagert werden. Die Lagerungstemperatur sollte (20 ± 4)°C nicht überschreiten.

Nach dem Öffnen der Probe kann Luftfeuchtigkeit durch den Zement aufgenommen werden. Daher muss der Luft- bzw. Feuchtigkeitskontakt minimiert werden. Eine Trocknung der Proben bei 105°C wird nicht empfohlen. Bei Aufnahme von Feuchtigkeit oder anderen Kontaminationen nach dem ersten Öffnen des Probenbehälters kann die Gültigkeit der angegebenen Referenzwerte nicht mehr gewährleistet werden.

6 Referenzwerte

Tabelle 5 Referenzdaten für 25 Kalibrierzemente für die Parameter Vanadium (V), Chrom (Cr), Mangan (Mn), Kobalt (Co), Nickel (Ni) und Kupfer (Cu)

Kalibriermaterial	Vanadium (V)	Chrom (Cr)	Mangan (Mn)	Kobalt (Co)	Nickel (Ni)	Kupfer (Cu)
Einheit	mg/kg					
VDZ500	57,3 ± 4,8	104 ± 9	433 ± 21	12,1 ± 1,0	36,7 ± 4,2	291 ± 36
VDZ501	122 ± 9	118 ± 12	221 ± 26	8,89 ± 1,24	82,6 ± 8,9	39,8 ± 9,2
VDZ502	82,9 ± 8,2	57,0 ± 10,8	1042 ± 61	9,05 ± 1,56	37,9 ± 4,1	141 ± 18
VDZ503	41,9 ± 10,7	62,4 ± 17,2	752 ± 92	3,54 ± 0,80	21,8 ± 2,5	85,6 ± 11,7
VDZ504	95,1 ± 6,0	255 ± 23	4035 ± 261	6,69 ± 1,30	23,8 ± 3,3	82,6 ± 11,6
VDZ505	51,2 ± 4,2	43,8 ± 8,9	743 ± 112	23,3 ± 2,0	26,5 ± 3,3	85,2 ± 12,0
VDZ506	46,2 ± 12,1	10,9 ± 2,7	155 ± 53	2,74 ± 0,62	38,1 ± 4,3	22,0 ± 4,4
VDZ507	40,1 ± 2,1	82,3 ± 9,1	9915 ± 626	2,99 ± 0,07	16,2 ± 2,0	23,9 ± 6
VDZ508	86,0 ± 7,2	59,8 ± 13,8	555 ± 267	11,0 ± 1,4	44,7 ± 5,2	162 ± 20
VDZ509	61,3 ± 2,8	43,8 ± 6,6	321 ± 33	4,51 ± 0,33	26,7 ± 3,4	86,8 ± 1,01
VDZ510	45,2 ± 5,9	51,5 ± 13,0	262 ± 24	6,39 ± 1,6	23,5 ± 2,6	106 ± 14
VDZ511	173 ± 13	45,7 ± 5,9	962 ± 63	2,03 ± 0,22	12,4 ± 1,9	54,2 ± 7,0
VDZ512	77,6 ± 19,3	88,5 ± 24,4	1760 ± 207	3,23 ± 1,91	23,4 ± 3,5	48,5 ± 8,5
VDZ513	136 ± 33	56,5 ± 13,8	859 ± 101	2,78 ± 0,63	16,6 ± 1,7	93,3 ± 11,7
VDZ514	74,8 ± 18,5	61,6 ± 19,3	624 ± 75	10,5 ± 2,6	39,4 ± 4,3	160 ± 20
VDZ515	156 ± 38	60,5 ± 16,7	638 ± 76	9,41 ± 2,64	38,4 ± 4,2	77,8 ± 9,8
VDZ516	97,1 ± 24,0	78,9 ± 22,1	766 ± 91	9,40 ± 2,46	31,7 ± 3,5	91,2 ± 11,6
VDZ517	77,4 ± 19,1	63,9 ± 18,0	275 ± 38	11,5 ± 2,7	33,2 ± 3,5	93,8 ± 11,9
VDZ518	85,2 ± 7,3	82 ± 13,5	923 ± 66	9,90 ± 1,59	35,5 ± 4,4	103 ± 13
VDZ519	124 ± 7	67,5 ± 12,5	404 ± 20	18,7 ± 1,1	58,5 ± 6,2	82,4 ± 12,6
VDZ520	28,2 ± 7,6	123 ± 32	353 ± 49	8,18 ± 2,09	57,7 ± 6,3	391 ± 49
VDZ521	62,3 ± 15,5	81,2 ± 24,4	310 ± 37	6,83 ± 1,65	46,4 ± 5,1	122 ± 17
VDZ522	32,8 ± 8,9	41 ± 14,8	316 ± 39	5,09 ± 1,70	21,0 ± 2,7	67,5 ± 9,1
VDZ523	41,4 ± 10,5	61,7 ± 19,2	452 ± 58	5,08 ± 1,70	31,9 ± 3,8	133 ± 17
VDZ524	61,2 ± 15,4	116 ± 32	1710 ± 202	7,55 ± 2,14	41,3 ± 4,6	65,9 ± 8,7

Tabelle 6 Referenzdaten für 25 Kalibrierzemente für die Parameter Zink (Zn), Arsen (As), Rubidium (Rb), Strontium (Sr), Molybdän (Mo), Zinn (Sn)

Kalibriermaterial	Zink (Zn)	Arsen (As)	Rubidium (Rb)	Strontium (Sr)	Molybdän (Mo)	Zinn (Sn)
Einheit	mg/kg					
VDZ500	2137 ± 8	111 ± 2	15,9 ± 3	778 ± 18	10,0 ± 0,9	3,08 ± 1,64
VDZ501	100 ± 7	4,18 ± 1,20	12,1 ± 1,9	1506 ± 86	3,12 ± 0,27	0,511 ± 0,125
VDZ502	359 ± 6	59,7 ± 1,5	71,2 ± 2,9	1620 ± 19	41,3 ± 1,1	6,95 ± 1,13
VDZ503	487 ± 34	2,81 ± 1,15	22,8 ± 1,8	1190 ± 179	2,08 ± 0,18	0,481 ± 1,275
VDZ504	370 ± 2	3,71 ± 1,25	24,2 ± 2,9	525 ± 17	6,30 ± 0,67	4,04 ± 0,92
VDZ505	166 ± 5	35,7 ± 1,5	27,7 ± 2,2	1727 ± 77	1,85 ± 0,16	3,92 ± 1,32
VDZ506	36,8 ± 5,4	1,34 ± 0,79	14,5 ± 2,8	278 ± 43	0,582 ± 0,075	1,54 ± 0,33
VDZ507	111 ± 9	1,87 ± 0,92	37,8 ± 2,3	920 ± 16	<0,001	3,13 ± 0,83
VDZ508	359 ± 6	72,8 ± 1,8	75,1 ± 3,2	1986 ± 77	45,7 ± 1,9	7,21 ± 0,99
VDZ509	127 ± 11	3,54 ± 0,7	111 ± 4	2151 ± 72	0,872 ± 0,075	4,38 ± 1,16
VDZ510	147 ± 5	5,60 ± 0,66	30,2 ± 1,8	3191 ± 96	1,89 ± 0,16	5,42 ± 0,98
VDZ511	55,8 ± 4,6	1,74 ± 0,54	30,5 ± 2,3	873 ± 14	0,406 ± 0,075	2,71 ± 0,36
VDZ512	61,4 ± 5,5	6,52 ± 1,79	30,0 ± 2,5	663 ± 101	0,933 ± 0,779	1,49 ± 1,50
VDZ513	109 ± 8	2,49 ± 0,29	21,7 ± 0,1	789 ± 118	1,28 ± 0,11	3,68 ± 0,28
VDZ514	347 ± 24	66,6 ± 7,7	55,8 ± 2,5	1820 ± 273	45,6 ± 3,9	6,94 ± 1,08
VDZ515	224 ± 16	8,97 ± 1,16	39,1 ± 2,0	960 ± 145	9,30 ± 0,79	3,62 ± 1,06
VDZ516	270 ± 19	4,78 ± 0,81	52,1 ± 1,1	2010 ± 302	1,04 ± 0,09	4,74 ± 1,04
VDZ517	251 ± 18	13,0 ± 2,0	47,0 ± 2,4	1230 ± 185	2,66 ± 0,38	11,2 ± 1,1
VDZ518	237 ± 4	48,5 ± 1,1	93,7 ± 2,3	1672 ± 162	28,8 ± 1,1	72,5 ± 5,5
VDZ519	251 ± 7	11,9 ± 0,5	38,3 ± 1,7	1283 ± 26	6,43 ± 0,77	23,4 ± 2,4
VDZ520	255 ± 18	5,36 ± 0,89	9,16 ± 2,14	1010 ± 152	5,80 ± 0,49	17,5 ± 2,0
VDZ521	83,1 ± 7,7	5,83 ± 1,88	14,7 ± 1,7	510 ± 78	3,23 ± 0,27	6,52 ± 1,28
VDZ522	281 ± 22	2,95 ± 0,60	26,4 ± 3,5	1160 ± 174	0,743 ± 0,075	27,3 ± 2,4
VDZ523	743 ± 52	4,19 ± 0,80	20,2 ± 2,3	1400 ± 210	2,59 ± 0,22	6,21 ± 1,11
VDZ524	204 ± 14	4,07 ± 0,71	24,4 ± 1,9	1150 ± 173	3,13 ± 0,27	3,81 ± 1,97

Tabelle 7 Referenzdaten für 25 Kalibrierzemente für die Parameter Antimon (Sb), Barium (Ba), Blei (Pb)

Kalibriermaterial	Antimon (Sb)	Barium (Ba)	Blei (Pb)
Einheit	mg/kg		
VDZ500	52,3 ± 1,8	213 ± 43	77,6 ± 7,2
VDZ501	0,631 ± 0,300	1383 ± 19	4,61 ± 3,33
VDZ502	5,28 ± 2,05	370 ± 14	114 ± 11
VDZ503	4,55 ± 1,64	522 ± 58	51,4 ± 5,9
VDZ504	6,89 ± 1,69	185 ± 5	14,8 ± 3,9
VDZ505	32,3 ± 1,7	204 ± 5	22,4 ± 4,8
VDZ506	3,05 ± 0,92	220 ± 24	24,0 ± 3,6
VDZ507	2,51 ± 1,1	651 ± 15	11,9 ± 3,2
VDZ508	6,52 ± 1,05	255 ± 9	117 ± 11
VDZ509	8,10 ± 1,27	154 ± 5	62,5 ± 5,8
VDZ510	5,30 ± 1,50	169 ± 10	29,9 ± 3,1
VDZ511	3,43 ± 1,08	770 ± 19	7,65 ± 1,37
VDZ512	1,26 ± 1,69	982 ± 108	16,4 ± 5,2
VDZ513	4,68 ± 0,28	553 ± 61	11,8 ± 1,1
VDZ514	5,95 ± 1,24	281 ± 31	36,4 ± 3,6
VDZ515	4,32 ± 1,28	394 ± 44	17,9 ± 2,0
VDZ516	6,31 ± 1,43	373 ± 41	9,39 ± 1,4
VDZ517	7,42 ± 1,19	299 ± 33	21,9 ± 2,2
VDZ518	3,78 ± 1,47	444 ± 13	33,6 ± 3,2
VDZ519	4,86 ± 2,26	1066 ± 30	22,7 ± 2,3
VDZ520	13,6 ± 1,8	181 ± 25	8,25 ± 1,43
VDZ521	10,7 ± 1,4	120 ± 17	8,07 ± 5,78
VDZ522	4,56 ± 2,09	653 ± 78	12,6 ± 1,3
VDZ523	6,69 ± 1,42	260 ± 35	70,1 ± 6,5
VDZ524	4,58 ± 1,04	285 ± 42	14,4 ± 1,8

7 Informative Werte

Tabelle 8 Informative Werte für 25 Kalibrierzemente für die Parameter Kohlenstoffdioxid (CO₂), Wasser(H₂O), Siliciumdioxid (SiO₂), Aluminiumoxid (Al₂O₃), Phosphoroxid (P₂O₅), Schwefel als Sulfat (SO₃)

Zement	CO ₂	H ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃
Einheit	M.-%					
VDZ500	0,23	0,21	21,3 ± 0,4	4,01 ± 0,16	0,07 ± 0,01	2,81
VDZ501	0,92	1,05	20,7 ± 0,3	4,49 ± 0,17	0,43 ± 0,013	2,72
VDZ502	1,29	0,56	22,4 ± 0,3	6,60 ± 0,25	0,10 ± 0,009	3,49
VDZ503	0,41	0,44	25,5 ± 0,4	6,06 ± 0,23	0,11 ± 0,008	2,78
VDZ504	1,04	1,10	19,8 ± 0,3	3,71 ± 0,16	0,11 ± 0,01	3,59
VDZ505	2,03	0,72	19,4 ± 0,3	4,34 ± 0,17	0,09 ± 0,006	2,30
VDZ506	2,06	1,25	20,9 ± 0,3	4,48 ± 0,17	0,05 ± 0,008	3,03
VDZ507	2,33	0,87	27,9 ± 0,4	8,01 ± 0,32	0,06 ± 0,008	3,69
VDZ508	1,42	0,38	20,0 ± 0,4	5,69 ± 0,22	0,13 ± 0,01	2,93
VDZ509	2,02	0,37	20,1 ± 0,3	4,79 ± 0,18	0,15 ± 0,006	4,67
VDZ510	1,75	0,62	19,3 ± 0,4	4,43 ± 0,22	0,31 ± 0,012	3,28
VDZ511	1,04	0,21	30,9 ± 0,5	9,88 ± 0,38	0,08 ± 0,006	1,32
VDZ512	0,82	0,68	30,9 ± 0,5	9,36 ± 0,36	0,04 ± 0,01	3,54
VDZ513	1,06	0,27	29,4 ± 0,4	9,41 ± 0,35	0,08 ± 0,005	1,66
VDZ514	0,62	0,54	20,3 ± 0,3	5,87 ± 0,22	0,09 ± 0,01	3,73
VDZ515	2,06	0,69	26,8 ± 0,4	7,61 ± 0,29	0,21 ± 0,01	4,82
VDZ516	1,46	2,68	28,6 ± 0,4	8,35 ± 0,31	0,15 ± 0,008	2,75
VDZ517	5,73	0,59	22,5 ± 0,4	7,92 ± 0,31	0,18 ± 0,005	2,73
VDZ518	0,64	3,74	32,9 ± 0,5	10,3 ± 0,4	0,12 ± 0,009	3,17
VDZ519	0,78	0,35	31,0 ± 0,5	9,12 ± 0,34	0,28 ± 0,016	3,14
VDZ520	0,14	0,22	22,1 ± 0,3	3,78 ± 0,15	0,32 ± 0,009	0,71
VDZ521	3,95	0,49	19,1 ± 0,3	5,35 ± 0,21	0,22 ± 0,005	3,05
VDZ522	7,63	0,37	18,6 ± 0,3	2,99 ± 0,11	0,14 ± 0,012	3,60
VDZ523	0,09	0,18	22,4 ± 0,3	4,77 ± 0,19	0,16 ± 0,006	0,41
VDZ524	0,10	0,20	20,3 ± 0,3	5,66 ± 0,22	0,16 ± 0,011	0,68

Tabelle 9 Informative Werte für 25 Kalibrierzemente für die Parameter Calciumoxid (CaO), Chlorid (Cl), Kaliumoxid (K₂O), Natriumoxid (Na₂O), Titandioxid (TiO₂)

Kalibriermaterial	CaO	Cl	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
Einheit	M.-%				
VDZ500	63,0 ± 0,4	0,009 ± 0,001	0,563 ± 0,016	0,252 ± 0,039	0,219 ± 0,028
VDZ501	64,6 ± 0,5	0,007 ± 0,002	0,348 ± 0,016	0,107 ± 0,01	0,399 ± 0,028
VDZ502	56,8 ± 0,8	0,093 ± 0,010	1,62 ± 0,05	0,169 ± 0,012	0,362 ± 0,031
VDZ503	57,9 ± 0,5	0,031 ± 0,004	0,620 ± 0,056	0,25 ± 0,046	0,44 ± 0,012
VDZ504	61,1 ± 0,4	0,054 ± 0,002	0,677 ± 0,008	0,296 ± 0,003	0,251 ± 0,008
VDZ505	61,5 ± 0,3	0,019 ± 0,002	0,671 ± 0,01	0,132 ± 0,015	0,243 ± 0,02
VDZ506	66,3 ± 0,5	<0,007	0,620 ± 0,057	0,07 ± 0,015	0,14 ± 0,006
VDZ507	44,6 ± 0,5	<0,007	1,30 ± 0,02	0,311 ± 0,009	0,37 ± 0,012
VDZ508	61,2 ± 0,5	0,088 ± 0,010	1,70 ± 0,05	0,202 ± 0,011	0,257 ± 0,012
VDZ509	62,3 ± 0,2	0,656 ± 0,046	1,35 ± 0,15	0,291 ± 0,021	0,274 ± 0,019
VDZ510	63,6 ± 0,7	0,089 ± 0,011	0,951 ± 0,034	0,289 ± 0,01	0,23 ± 0,019
VDZ511	47,5 ± 0,6	0,065 ± 0,012	0,731 ± 0,03	0,384 ± 0,012	0,575 ± 0,014
VDZ512	45,6 ± 0,5	0,050 ± 0,007	0,770 ± 0,074	0,33 ± 0,059	0,67 ± 0,006
VDZ513	49,8 ± 0,4	0,057 ± 0,008	0,590 ± 0,053	0,36 ± 0,064	0,55 ± 0,005
VDZ514	60,9 ± 0,5	<0,007	1,51 ± 0,14	0,13 ± 0,026	0,27 ± 0,01
VDZ515	49,3 ± 0,4	0,030 ± 0,004	0,990 ± 0,092	0,300 ± 0,055	0,44 ± 0,009
VDZ516	47,1 ± 0,4	0,024 ± 0,003	1,79 ± 0,16	0,680 ± 0,120	0,47 ± 0,006
VDZ517	53,4 ± 0,6	0,084 ± 0,012	1,23 ± 0,12	0,270 ± 0,054	0,53 ± 0,005
VDZ518	37,6 ± 1,4	0,011 ± 0,003	3,19 ± 0,03	1,54 ± 0,07	0,371 ± 0,017
VDZ519	48,7 ± 0,5	0,020 ± 0,002	0,918 ± 0,017	0,354 ± 0,009	0,444 ± 0,033
VDZ520	61,9 ± 0,5	0,030 ± 0,004	0,510 ± 0,047	0,220 ± 0,041	0,22 ± 0,006
VDZ521	62,8 ± 0,6	0,059 ± 0,008	0,510 ± 0,047	0,090 ± 0,018	0,29 ± 0,005
VDZ522	63,6 ± 0,5	0,058 ± 0,028	0,560 ± 0,066	0,150 ± 0,027	0,17 ± 0,008
VDZ523	66,5 ± 0,5	0,024 ± 0,003	0,530 ± 0,05	0,240 ± 0,045	0,23 ± 0,008
VDZ524	64,7 ± 0,5	0,014 ± 0,002	0,720 ± 0,066	0,380 ± 0,069	0,29 ± 0,008

Tabelle 10 Informative Werte für 25 Kalibrierzemente für die Parameter Eisenoxid (Fe_2O_3), Magnesiumoxid (MgO), Thallium (Tl), Cadmium (Cd)

Kalibriermaterial	Fe_2O_3	MgO	Tl	Cd
Einheit	M.-%		mg/kg	
VDZ500	$4,64 \pm 0,07$	$2,46 \pm 0,04$	$<0,292$	2,29
VDZ501	$3,11 \pm 0,08$	$0,875 \pm 0,039$	$<0,144$	0,49
VDZ502	$2,65 \pm 0,05$	$3,16 \pm 0,14$	3,03	1,12
VDZ503	$2,36 \pm 0,08$	$2,51 \pm 0,14$	0,10	$<0,483$
VDZ504	$4,97 \pm 0,14$	$3,06 \pm 0,45$	0,07	0,33
VDZ505	$7,27 \pm 0,18$	$0,861 \pm 0,069$	0,33	0,50
VDZ506	$0,21 \pm 0,099$	$0,69 \pm 0,055$	$<0,028$	0,19
VDZ507	$2,14 \pm 0,06$	$7,29 \pm 0,2$	0,04	0,49
VDZ508	$2,6 \pm 0,05$	$2,37 \pm 0,17$	1,98	1,03
VDZ509	$1,96 \pm 0,05$	$1,08 \pm 0,05$	1,78	4,35
VDZ510	$2,12 \pm 0,09$	$1,96 \pm 0,09$	0,31	0,39
VDZ511	$0,944 \pm 0,05$	$5,66 \pm 0,18$	0,10	0,32
VDZ512	$1,31 \pm 0,07$	$5,25 \pm 0,29$	$<0,293$	0,49
VDZ513	$1,29 \pm 0,04$	$4,88 \pm 0,27$	0,17	0,30
VDZ514	$3,03 \pm 0,12$	$2,65 \pm 0,15$	0,13	0,32
VDZ515	$3,03 \pm 0,1$	$3,13 \pm 0,18$	1,23	0,77
VDZ516	$3,3 \pm 0,11$	$1,7 \pm 0,09$	0,13	0,10
VDZ517	$3,32 \pm 0,11$	$1,26 \pm 0,07$	0,33	0,34
VDZ518	$3,53 \pm 0,07$	$1,96 \pm 0,06$	$<0,296$	0,27
VDZ519	$3,17 \pm 0,13$	$1,02 \pm 0,14$	0,69	0,54
VDZ520	$5,41 \pm 0,17$	$4,11 \pm 0,23$	$<0,001$	0,08
VDZ521	$2,69 \pm 0,09$	$1,27 \pm 0,07$	0,34	0,24
VDZ522	$1,18 \pm 0,08$	$0,89 \pm 0,05$	$<0,292$	0,16
VDZ523	$3,15 \pm 0,11$	$1,01 \pm 0,07$	$<0,030$	0,70
VDZ524	$3,28 \pm 0,11$	$3,09 \pm 0,17$	$<0,029$	0,57