

# Präzisionsrecycling

Einsatz innovativer LIBS-Technologie zur Erzielung hoher  
Sortenreinheit in der Metallsortierung

# Inhalt

**1**

**Funktionalität LIBS-Spektroskopie**

**2**

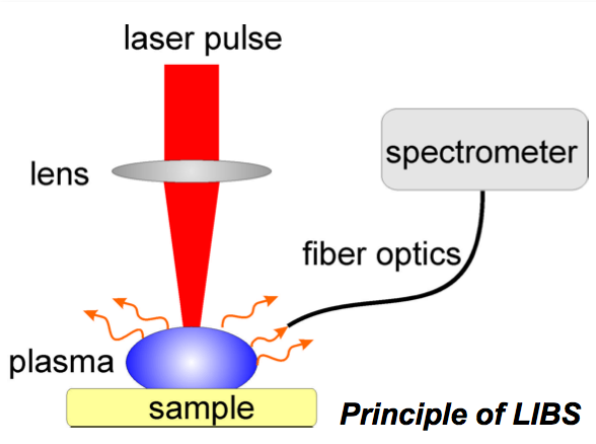
**LIBS- Gerätetechnik und Einsatzbereiche**

**3**

**Applikationsbeispiel AI-Sortierung**

# LIBS-Spektroskopie

## Funktionalität



Analyse der Elemente des Periodensystems

↓

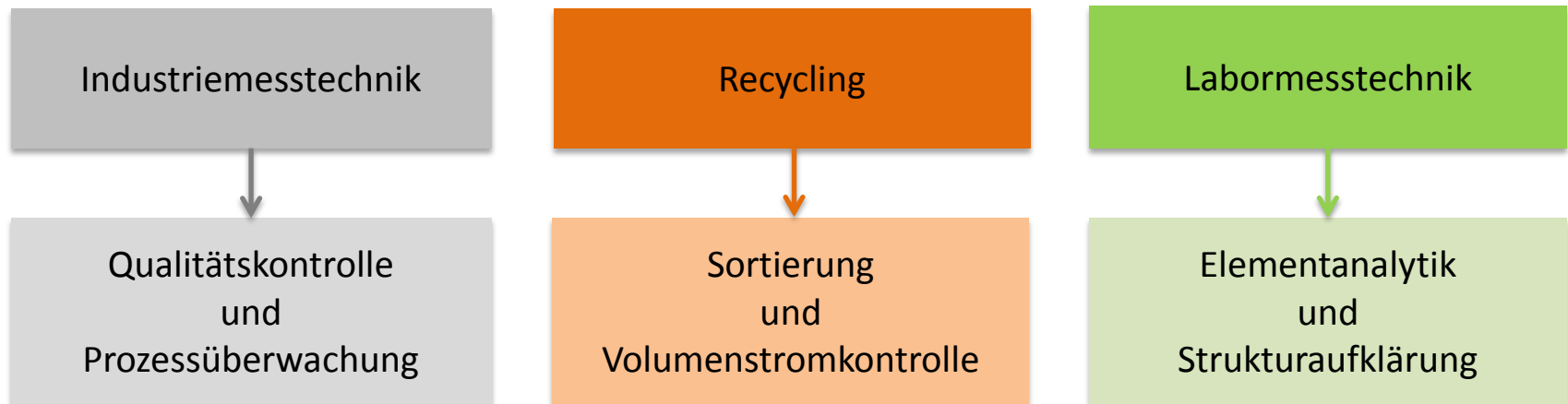
Bestimmung der chemischen Zusammensetzung einer Probe



1 H Hydrogen																	2 He Helium
3 Li Lithium	4 Be Beryllium											5 B Boron	6 C Carbon	7 N Nitrogen	8 O Oxygen	9 F Fluorine	10 Ne Neon
11 Na Sodium	12 Mg Magnesium											13 Al Aluminum	14 Si Silicon	15 P Phosphorus	16 S Sulfur	17 Cl Chlorine	18 Ar Argon
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titanium	23 V Vanadium	24 Cr Chromium	25 Mn Manganese	26 Fe Iron	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Copper	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Selenium	35 Br Bromine	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdenum	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silver	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Tin	51 Sb Antimony	52 Te Tellurium	53 I Iodine	54 Xe Xenon
55 Cs Cesium	56 Ba Barium	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantalum	74 W Tungsten	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platinum	79 Au Gold	80 Hg Mercury	81 Tl Thallium	82 Pb Lead	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Uut Ununtrium	114 Fl Flerovium	115 Uup Ununpentium	116 Lv Livermorium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium
57 La Lanthanum	58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium			
89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium			

# Einsatzbereiche

Elementanalytoren FiberLIBS und MopaLIBS



Metalle



Mineralien



Organik

# Labormesssystem FiberLIBS

Analyse inhomogener Materialien

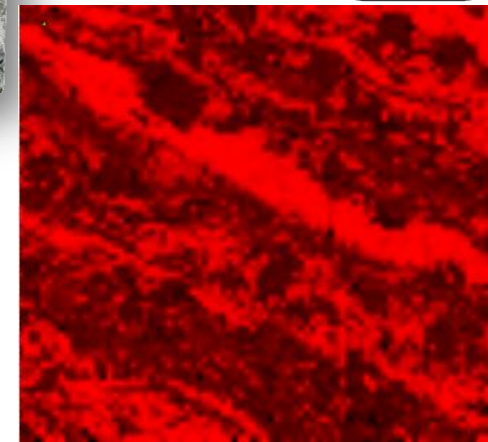
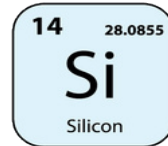
**FiberLIBS Messkammer**  
mit integriertem Messkopf



- Kamerabild
- Positionscursor
- Messbereichsdefinition
- Definition der Ortsauflösung
- Spektren der Messung
- Elementanalytik
- 2D-Mapping

**Anwendungen**

- 2D-Scann über die Materialoberfläche
- Definition von Schichten im Tiefenprofil



High concentration Low

# Labormesssystem FiberLIBS + Messkammer

Analyse inhomogener Materialien

## Schlackeprüflinge

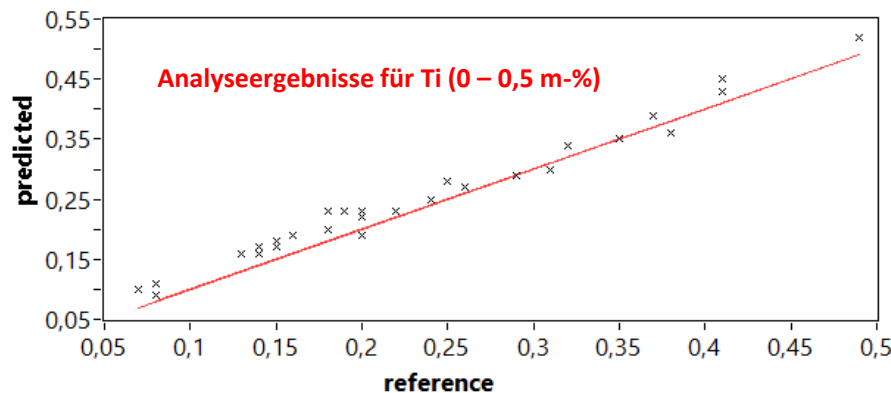
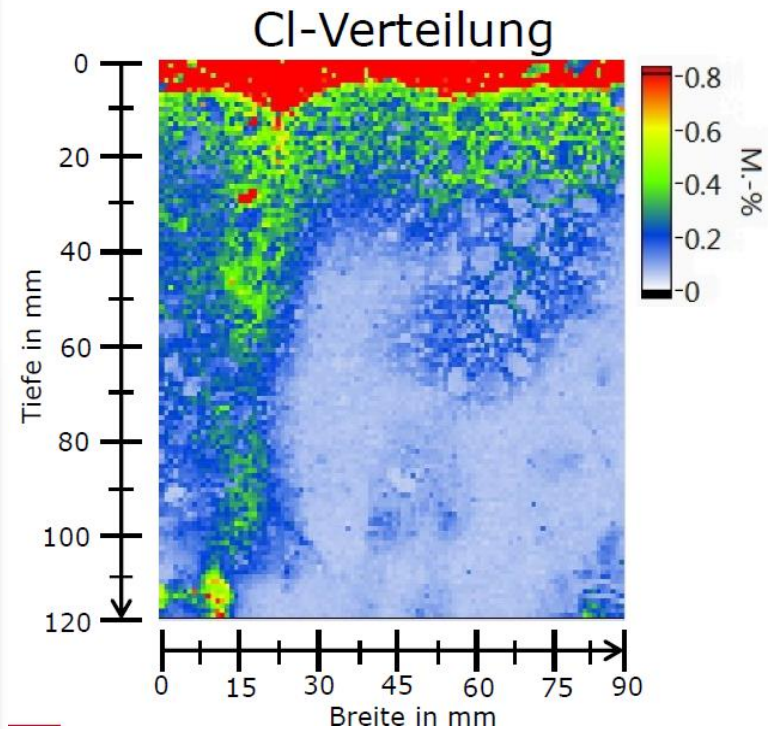
Analyse der Durchschnittskonzentration der Elementverbindungen



$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$
$\text{MgO}$	$\text{Mn}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$
$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$

## Betonmauerwerk

Quantitative Verteilung von Chloriden



**SECOPTA**

laser based sensor systems

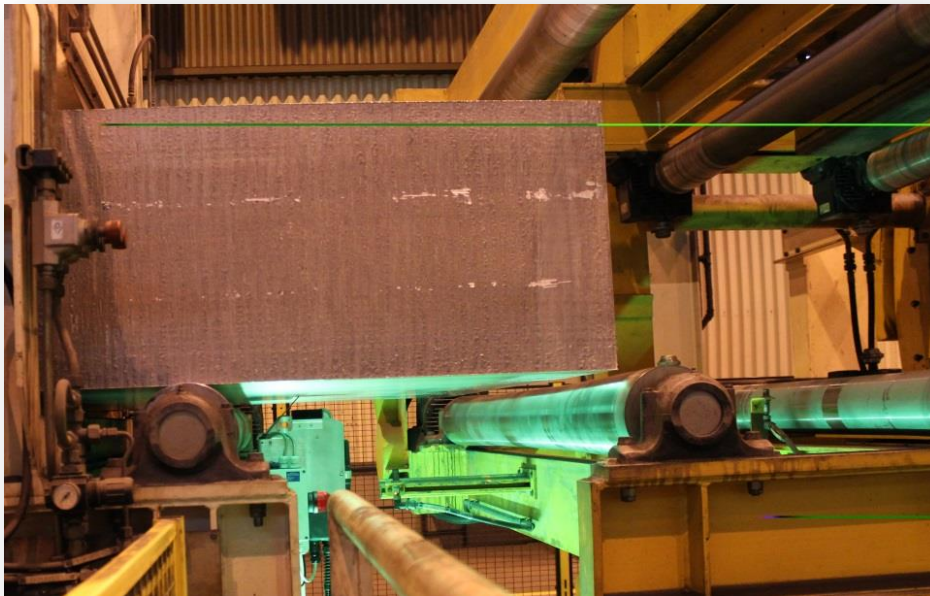
# Industriemesssystem FiberLIBS

Beispiel: Messung in der Schmelze



# Industriemesssystem FiberLIBS

Beispiel: Qualitätskontrolle in der Aluminiumherstellung



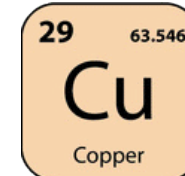
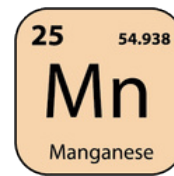
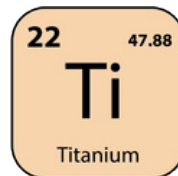
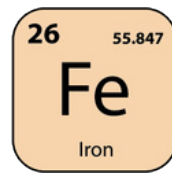
## Inline-Analytik

für Aluminium-Brammen  
direkt in der Herstellung



## Verwechslungskontrolle

auf Basis der Bestimmung der  
chemischen Zusammensetzung





# MopaLIBS Prozessmesstechnik

Elementanalysator für den Einsatz im Recycling

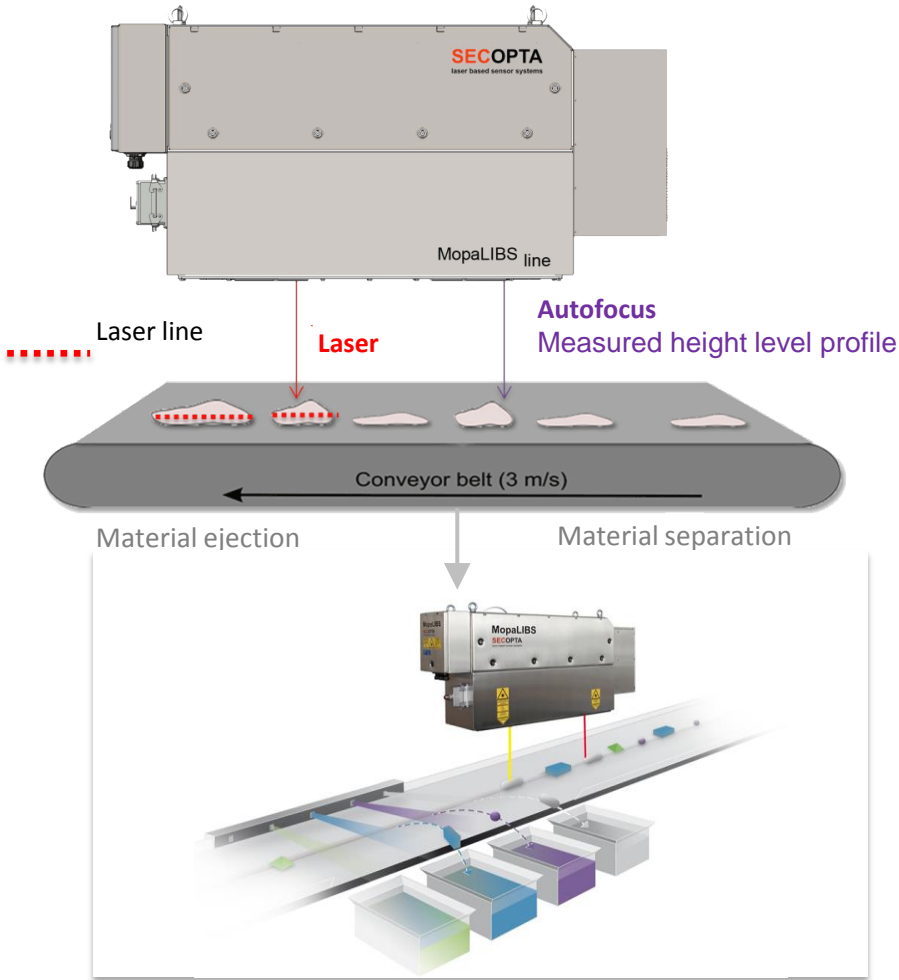


**MopaLIBS – Elementanalysator (Maser Oscillator Power Amplifier)**

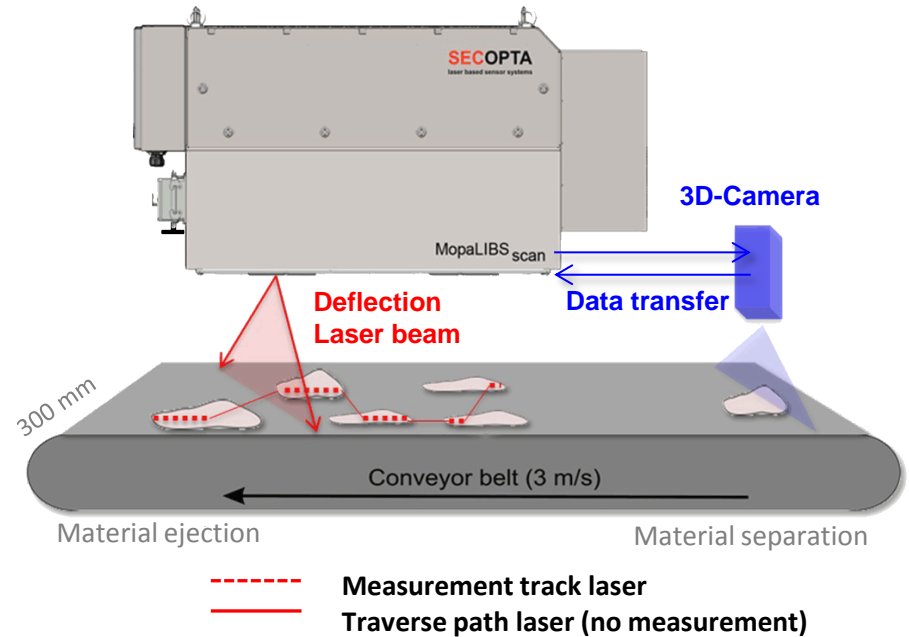
Laserwiederholfrequenz: 20 – 100 kHz

# Funktionsschemata MopaLIBS

MopaLIBS line - Messung in einer Spur



MopaLIBS scan  
Messung über 300 mm Bandbreite



# MopaLIBS mit Vorablation (VA)

## Laser VA: 100 kHz

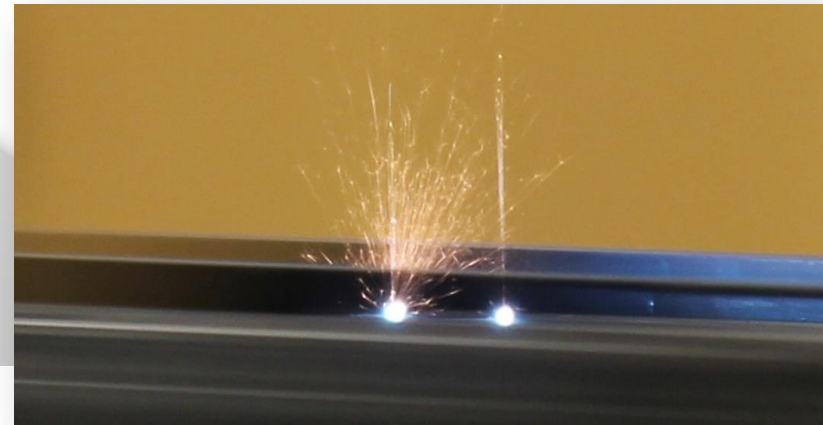
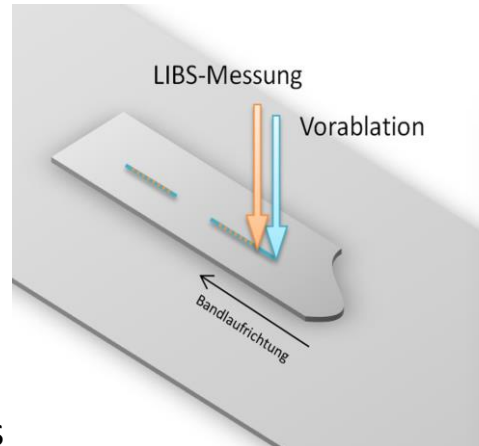
Bandgeschwindigkeit: 3m/s

- alle 30  $\mu\text{m}$  ein Laserschuss

## Messlaser: 20 kHz

Bandgeschwindigkeit: 3m/s

- alle 150  $\mu\text{m}$  ein Laserschuss



- In dieser Konfiguration trägt der Vorablationslaser Oberflächenmaterial in einer Linie ab und erzeugt eine Reinigungsspur.
- Anschließend schießt der Analyselaser exakt in diese Spur.
- Mit diesem Verfahren kann ausgeschlossen werden, dass Kontaminationen auf der Oberfläche das Analyseergebnis verfälschen.

Der Einsatz eines Vorablationslasers führt zu einer deutlichen Verbesserung der Genauigkeit der Analyseergebnisse

# Elementanalytik für Feuerfestmaterialien

2015: Inbetriebnahme der ersten automatischen Sortieranlage



Sortierung nach Hauptkomponenten:

$\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZrO}_2$

Abtrennung von Fremdstoffen:

$\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Component part	Precision of measurement
MgO	1 m%
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1 m%
$\text{SiO}_2$	3 m%

# Elementanalyse für metallische Produkte

## Applikationsübersicht

### Aluminum

Elementanalytik:  
Si, Mg, Mn, Cr, Zn,  
Fe, Cu



### Titan

Klassifizierung:  
Ti Al6 V4 / Ti Al3 V2.5  
Ti 99 / Ti 10V 2Fe 3Al  
Ti 6Al 2Sn 4Zr 2Mo



### Niedrig legierte Stähle

Elementanalytik:  
Mn, Cr, Ti, Al, Si, Cu,  
Mo, Ni, V, Co, C



### Hoch legierte Stähle

Elementanalytik:  
Mo, Cr, Si, Mn, Cu, P  
Klassifizierung:  
V2A / V4A



# Aluminiumrecycling

## Analyse der Hauptlegierungselemente

Priorität	Element	Konzentrationsbereich nach EN537	
		Min. [m-%]	Max. [m-%]
1	Si	0,01	25,00
1	Mg	0,01	5,00
1	Mn	0,01	3,00
1	Cu	0,01	6,00
1	Zn	0,01	11,00
1	Fe	0,01	2,00
1	Cr	0,01	0,20
1	Zr	0,01	0,20
2	Ni	0,01	3,00
2	Ti	0,01	0,50
2	Pb	0,01	2,00
2	Li	0,00	0,20

### Was wird gewünscht?

- Klassifizierung in Al-Knet / Al-Guss (4.xxx) / Al-Guss
- Klassifizierung in Hauptgruppen 1.xxx – 7.xxx
- Klassifizierung in Untergruppen
  - 3004.x / 3103.x
  - 6082.x / 6016.x / 6061.x
  - 7050.x / 7075.x

### Vorhandene LIBS-Kalibrierungen für die zu analysierenden Elemente

Si: 0 – 15 / 0 - 5 / 5 - 15 m-%

Mg: 0 – 5 / 0 - 2 / 2 - 5 m-%

Mn: 0 - 1,2 m-%

Cu: 0 – 6 / 0 – 1,2 / 0 – 0,16 m-%

Zn: 0 – 10 m-%

Fe: 0 – 1,1 m-%

Cr: 0 – 0,25 m-%

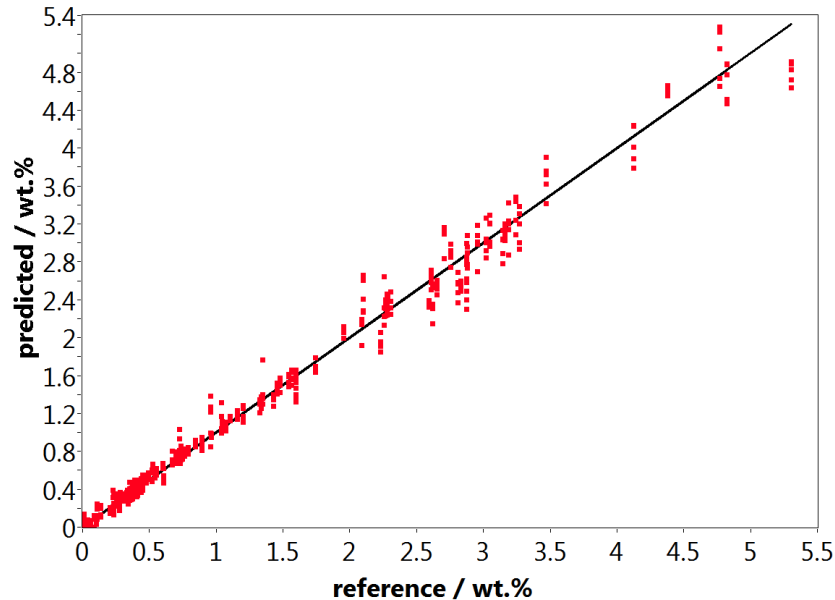
# Aluminiumrecycling

## Analyse der Hauptlegierungselemente

### Ergebnisse Validierung Mg 0 – 5 m-%

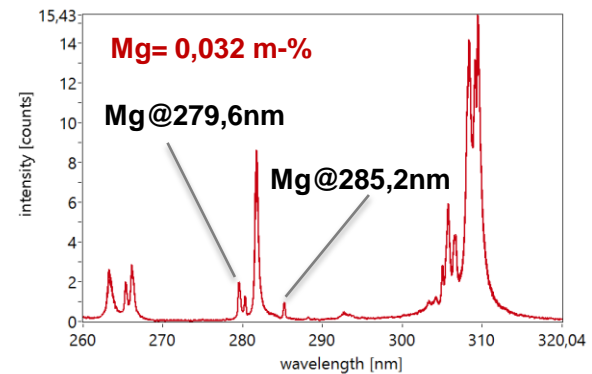


cv graph



Fehler der Validierung RMSEP 1 $\delta$ :  $\pm 0,13$  m-%  
 $R^2$ : 0,98

### Nachweisgrenze xNg: 0,03 m-%



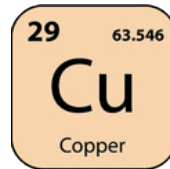
Ergebnisse für Messungen  
bei 3m/s Bandgeschwindigkeit

# Aluminiumrecycling

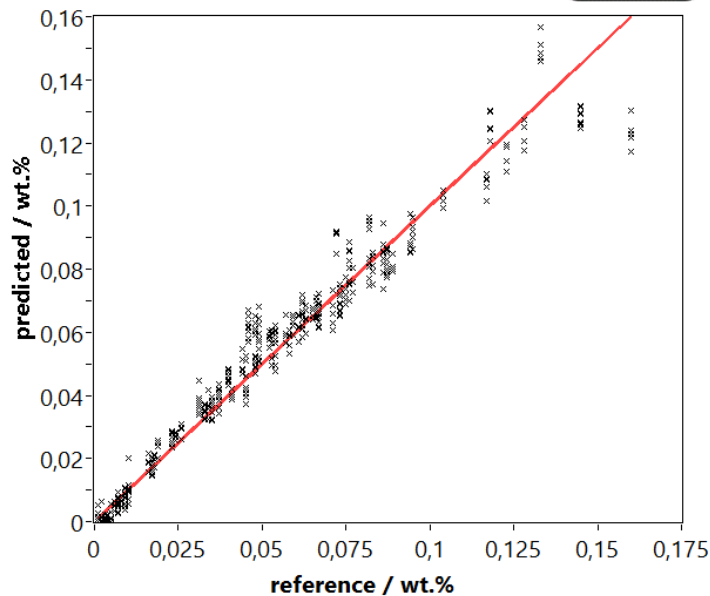
## Analyse der Hauptlegierungselemente

### Ergebnisse Validierung Cu

0 – 0,17 m-%



cv graph

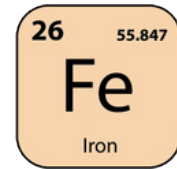


Fehler der Validierung RMSEP 1 $\delta$ :  $\pm 0,007$  m-%

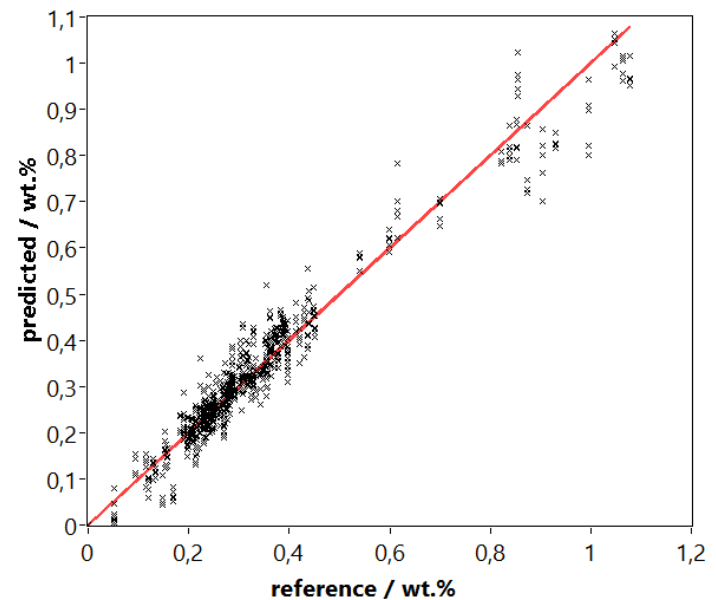
R<sup>2</sup>: 0,96

### Ergebnisse Validierung Fe

0 – 1,2 m-%



cv graph



Fehler der Validierung RMSEP 1 $\delta$ :  $\pm 0,046$  m-%

R<sup>2</sup>: 0,95



# Aluminiumrecycling

Trennkriterien der Legierungsgruppen 1.xxx – 7.xxx

<b>Klasse</b>	<b><u>Cu</u></b>	<b><u>Fe</u></b>	<b><u>Mg</u></b>	<b><u>Mn</u></b>	<b><u>Si</u></b>	<b><u>Zn</u></b>	<b><u>Cr</u></b>
1.xxx	0-0.1		0-0.3	0-0.3	0-0.2	0-0.1	
2.xxx	1.8 - 100					0 - 3.5	
3.xxx			0-0.5	0.3 - 100		0 - 0.2	
4.xxx					1.5 - 100		
5.xxx			1.2 -100			0 - 0.2	
6.xxx			0.3 - 1.2		0.2 - 1.5	0-0.5	
7050						3.5 - 100	0-0.1
7075						3.5 - 100	0.1-100
7.xxx						3.5 - 100	
<u>other</u>	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100



# Aluminiumrecycling

„Problemfraktionen“



- ✓ Beschichtungen (Eloxate)
- ✓ Kontaminationen Schwimm/Sinkanalgen
- ✓ Farbbeschichtungen (nicht weiß)
- Farbbeschichtungen (weiß)
- Polymerbeschichtungen
- Rückstände aus der Verbrennung

**Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit**