

# InREC

Stoffströme der metallurgischen Industrie –  
Zukünftiges Potential zur Versorgung mit kritischen Metallen

Stefan Steinlechner

# Inhalt

1. Forschungsbereich – Industrielle Stoffströme der metallurgischen Industrie
2. Rohstoffbedarf vs. Bereitstellung
3. InREC - Projekt
  - Ursprung des untersuchten Materials
  - Wissenschaftliche Herausforderung
  - Methodenansatz (selektive Chlorierung)
  - Ergebnisse
4. Schlussstatement

# Forschungsbereich – Industrielle Stoffströme der metallurgischen Industrie

## Projekte

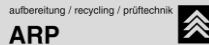
„IMAGINE III“



„HydroStäube“



„InRec“



## Wiss. Kooperationen



MAX-PLANCK-INSTITUT  
für Eisenforschung GmbH



KTH Royal Institute of Technology  
Dept. of Chemical Engineering  
Division of Resource Recovery



Department of Materials  
Engineering



Metallurgisches  
Kompetenzzentrum



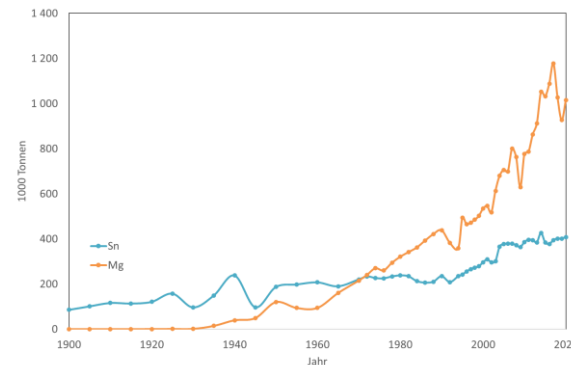
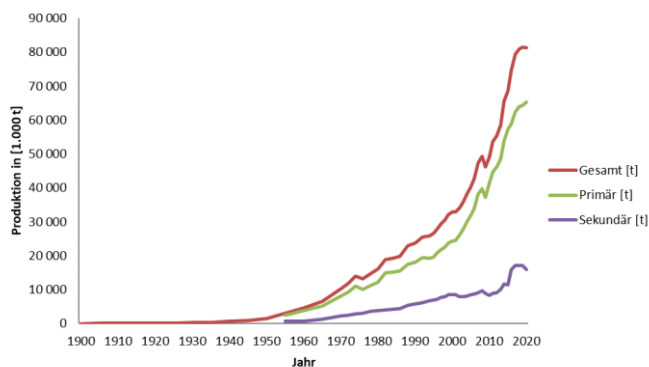
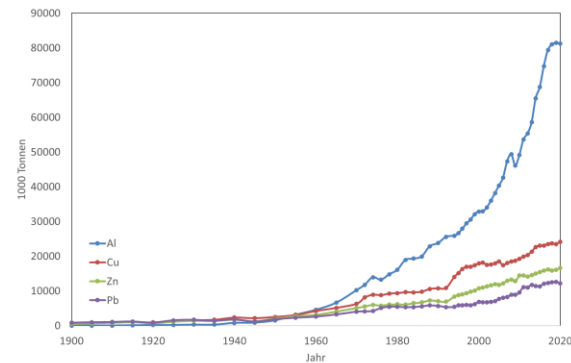
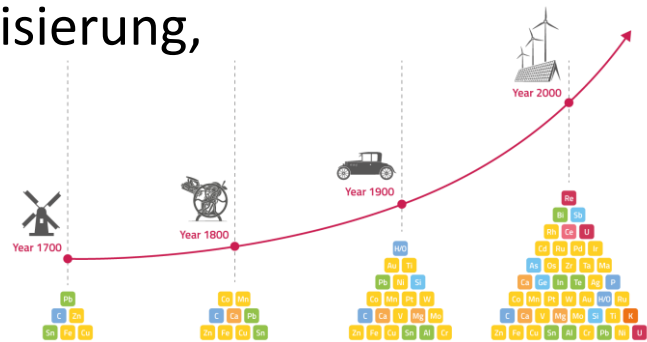
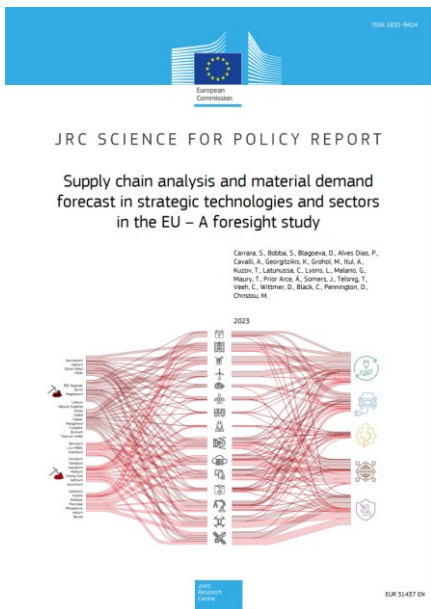
for Inclusion Metallurgy



EURECA-PRO Alliance  
9 Europäische Universitäten  
Light House Mission III  
Sustainable Materials and Products

# Rohstoffbedarf - Warum sind Metalle so wichtig für uns?

- Technologischer Fortschritt
- Energiewende, Digitalisierung, EU-Verteidigung, usw.



# Rohstoffbedarf - Beispiel Energiewende

## The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions



McKinsey & Company

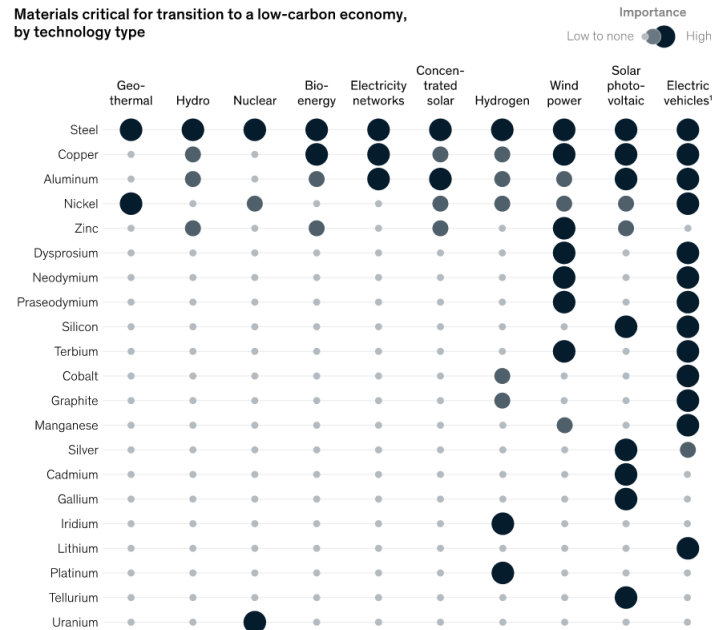
[Sign In](#) | [Subscribe](#)



World Energy Outlook Special Report



Materials critical for transition to a low-carbon economy, by technology type



- Neue Bergwerke
- Recycling
- Substitution
- Neue ungenutzte Rohstoffquellen

Source:

<https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/the-raw-materials-challenge-how-the-metals-and-mining-sector-will-be-at-the-core-of-enabling-the-energy-transition>  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>

Stakeholderdialog Kreislaufwirtschaft – Von der Forschung in die Umsetzung, 13.April 2023

# Rohstoffbedarf - Bereitstellung

## IST-Situation:

- Extraktion aus Konzentraten nur teilweise vorhanden (Nebenprodukt)
- Wenige Europäische Minen
- Anreiz der Extraktion von Begleitelementen in der Vergangenheit teils gering

## FOLGE:

- Prozessströme mit ungenutzten Spezialmetallen vorhanden
- Reststoffe mit Spezialmetallen aus der Vergangenheit auf Deponien

## ZIEL der Forschung:

- Gewinnung aus existierenden industriellen Prozessströmen bzw. Nebenprodukten sowie Reststoffen

Hitchhiker metal	Sources of production	Share of production	Recovery efficiencies	Max. share of total revenues
<b>Cobalt</b>	Nickel	55 %	75-90 %	≈15 %
	Copper	35 %		≈15 %
	Primary	10 %	-	-
<b>Gallium</b>	Alumina	90 %	10 %	≈4 %
	Zinc	10 %	-	-
<b>Germanium</b>	Zinc	70 %	≈12 %	≈2 %
	Coal	25 %	-	-
<b>Gold</b>	Primary	≈90 %	-	-
	Copper	≈10 %	>99 %	≈20 %
<b>Indium</b>	Zinc	≈100 %	25-30 %	≈3 %
<b>Palladium</b>	Platinum	60 %	40-60 %	≈15 %
	Nickel	40 %	-	≈15 %
<b>Platinum</b>	Nickel	15 %	-	≈10 %
<b>Rare Earths</b>	Iron	45 %	-	-
	Primary	55 %	-	-
<b>Rhenium</b>	Copper	100 %	≈75 %	≈0.3 %
<b>Silver</b>	Lead-Zinc	35 %	>95 %	≈45 %
	Primary	30 %	-	-
	Copper	23 %	>99 %	≈25 %
	Gold	12 %	-	-

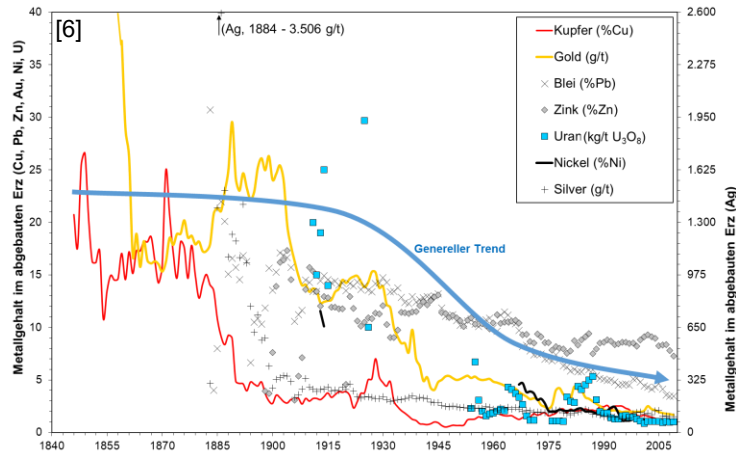
Source:

Adrian Chapman, Josephine Arendorf, Tecla Castella, Paul Thompson, Peter Willis, Luis Tercero Espinoza, Stefan Klug and Eva Wichmann: Study on Critical Raw Materials at EU Level.

Internet: <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/5605/attachments/1/translations/en/renditions/native>, November 24th 2017.

Stakeholderdialog Kreislaufwirtschaft – Von der Forschung in die Umsetzung, 13.April 2023

# Rohstoffbedarf – Erschließung neuer Rohstoffquellen (Stäube, Schlacken, Schlämme, Abwässer, Neben- und Zwischenprodukte)



- Industrielle Prozesse gewinnen nicht immer Begleitmetalle mit
- Erzzusammensetzung wird komplexer
- Infolgedessen enthalten industrielle Prozessströme nicht gewonnene Metalle (= Potentielle zukünftige neue Ressource)

materials [5]	Ag	Au	PGM	Cu	Pb	Zn	In	Cr	Ni	As	Sb	Co
iron precipitate	+	+	-	-	++	++	+	+	+	+	-	-
goethite	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
neutral leaching residue (NLR)	++	+	+	-	++	++	+	-	-	+	-	-
fly ash from sec. copper ind.	+	++	++	++	++	++	-	-	+	+	+	+
slag from lead production	+	-	-	-	++	++	+	-	-	-	+	-
dust from steel industry	-	-	-	-	++	++	-	++	+	-	-	-
Fe-precipitate from nickel plant	+	+	+	++	-	+	-	+	++	+	-	+
pickling residues	-	-	-	+	-	++	-	+	+	-	-	+

[5] S. Steinlechner: unpublished, own research

[6] Gavin M Mudd: An Assessment of the Sustainability of the Mining Industry in Australia, Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering, 2005, 5 (1), pp 1-12.

# InREC Projekt

Nachhaltige Rückgewinnung von kritischen Metallen  
durch kombinierte Aufarbeitung komplexer Reststoff

Bridge 1, 31. Ausschreibung



aufbereitung / recycling / prüftechnik

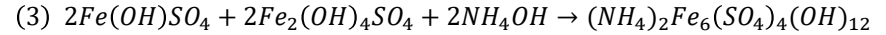
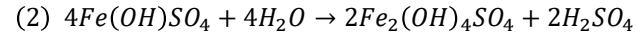
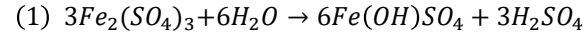
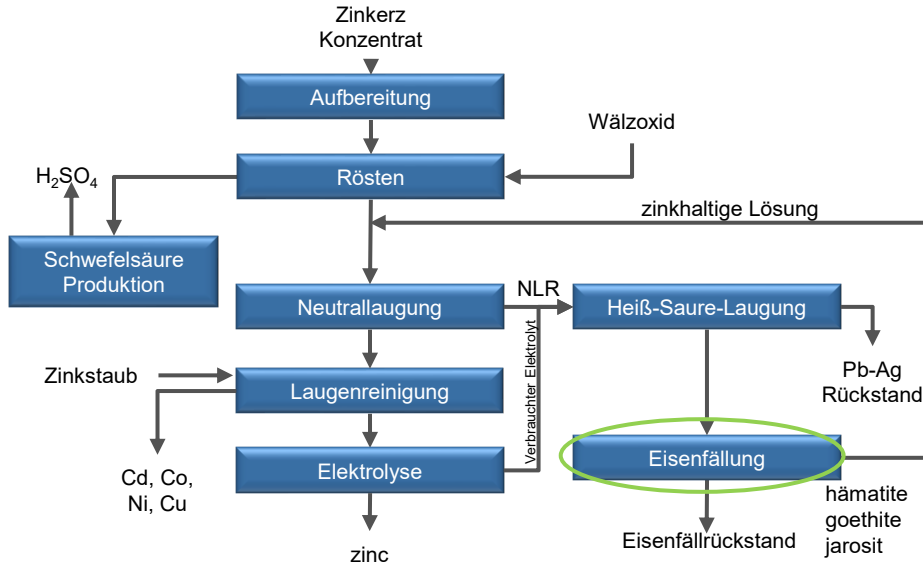
**ARP**





# InREC - Materialursprung

## ■ Primäre Zinkindustrie



### UNTERSUCHTES MATERIAL:

Basisches Eisensulfat ...  $R_2Fe_6(OH)_{12}(SO_4)_4 \cdot nH_2O$

R ...  $K^+, Na^+, NH_4^+, Ag^+, H_3O^+$

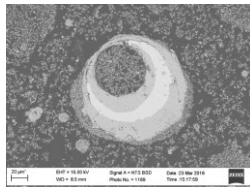
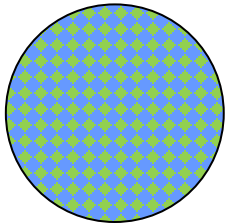
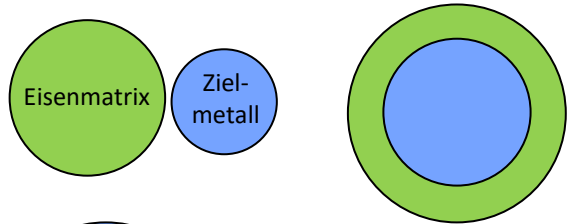
R<sub>2</sub> ...  $Pb^{2+}$

Ca. 0.6 - 1 t<sub>Rückstand</sub> / t<sub>Zink</sub>

# InREC - Wissenschaftliche Herausforderung



- Geringe Konzentration der Zielelemente
- Wechselwirkungen und Elementvielfalt
- Zersetzung des betrachtete Materials bei Temperaturerhöhung
- Inhomogene Verteilung
- Komplexe Struktur und Zusammensetzung
- Mangelndes Know-how zur Kinetik

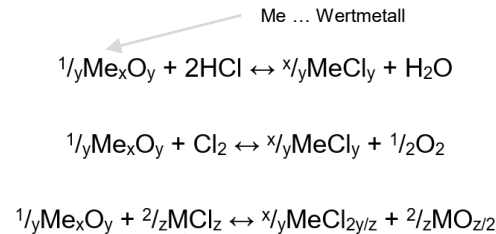
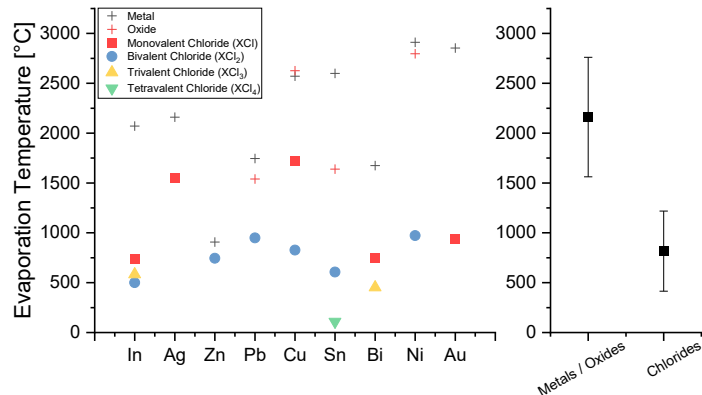
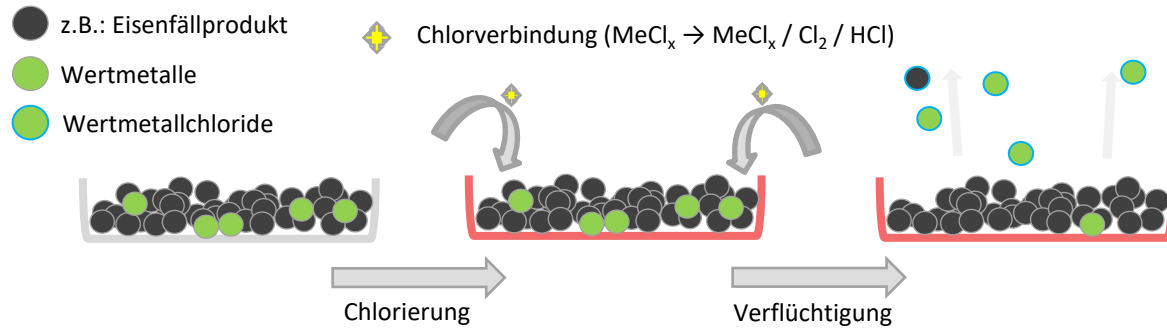


Concentration [wt%]	Jarosite	Goethite	Jarosite calcined	Goethite calcined	Laboratory	Analytical methods
<b>Structural elements</b>						
Fe	25.6±1.8	29.1±1.9	39.9±1.7	36.6±1.3	AL	IN
S	13.83±0.24	7.16±0.33	7.86±0.04	6.61±0.02	AL	IOM
K	2.77±0.05	0.2	4.03±0.05	0.23±0.05	AL	IOM
Na	1.46±0.06	<0.05	2.24±0.15	0.06±0.01	AL	IN
Ca	0.53±0.02	4.78±0.24	0.78±0.01	6.08±0.03	AL	IOM
Mg	0.19	0.15	0.30	0.18	AL	IOM
Si	1.49±0.2	1.34±0.1	2.26±0.3	1.65	AL	IOM
Al	0.37	0.89±0.03	0.56	1.10	AL	IOM
<b>Valuable elements</b>						
Zn	3.57±0.07	9,60±0.21*	5.37±0.05	11.90±0.08*	AL / AM*	IN / IO *
Pb	1.26	0.68	1.9	0.84	AL	IOM
<b>[ppm]</b>						
In	591±3	410±9	882±11	495±9	AL	IOM
Ag	282±40	136±32	403±79	194±26	AL	IN
Cu	2713±25	9113±67	4053±5	11000	AL / AM*	IOM / IO*
Sn	1703±26	308±6	2617±52	376±5	AL	IOM
Bi	941±8	181±2	1440±20	224±3	AL	IOM
<b>[ppb]</b>						
Au	367±9	264±13	547±18	333±103	AL	IN

Actlabs: AL, INAA: IN, ICP-OES + ICP-MS: IOM; AMCO: AM, ICP-OES: IO

# InREC – Methodenansatz (selektive Chlorierung)

- Nur möglich bei passender Affinität der Matrix zur Bildung flüchtiger Chlorverbindungen



MCl = Chlorverbindung, e.g. Mg in  $\text{MgCl}_2$

Unterschiedliche Salze:

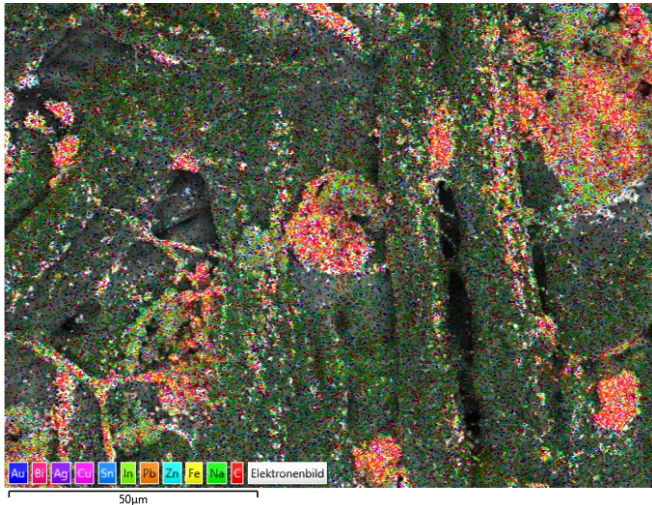
$\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  
 $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$

Substitution mit salzhaltigen Reststoffen:

- Salzschlacken aus Al-, Mg-Industrie
- Eisenbeizrückstände
- Rückstände aus der Ti-Herstellung

# InREC – Ergebnisse

- Extraktion von Wertmetallen (In, Ag, Zn, Pb) aus eisenhaltigen Materialien bei gleichzeitig geringer Eisenextraktion möglich
- Kein Reduktionsmittelzusatz erforderlich (kein CO<sub>2</sub> aus dem Prozess)
- Substitution der Chlorträger mit salzhaltigen Reststoffen möglich



Element Extraktionsrate [%]	Bi	98.20	99.80	99.80	92.60	95.10	94.60	98.10	99.00	99.40
	Au	98.90	98.60	98.40	63.60	69.30	78.10	99.00	98.80	98.60
	Sn	42.90	62.00	82.20	9.00	39.30	37.80	51.80	95.80	97.70
	Cu	37.00	70.20	64.30	30.00	33.90	38.60	33.40	38.30	45.40
	Pb	85.10	99.20	99.10	42.30	44.40	58.70	45.50	63.10	77.50
	Zn	79.80	98.10	97.70	39.60	48.40	50.90	50.80	67.20	71.70
	Ag	55.50	45.10	32.30	13.40	43.10	36.00	32.00	47.00	38.50
	In	78.50	98.10	99.10	42.20	54.10	63.70	43.10	78.70	88.40
	Stöchiometrie / Chlorid	1 x Mg	2 x Mg	3 x Mg	1 x Al	2 x Al	3 x Al	1 x Fe	2 x Fe	3 x Fe

Beispiel der Extraktionsraten [%] der Wertmetalle für die Versuche mit unbehandeltem Jarosit bei 1100 °C

# Schlussstatement

- Industrielle Stoffströme der metallurgischen Industrie repräsentieren eine interessante potentielle neue Rohstoffquelle für kritische Metalle.
- Die erfolgreichere Aufarbeitung trägt nicht nur zur Sicherung der Rohstoffversorgung in Europa bei, sondern vermindert den Erzabbau und kann gleichzeitig Deponieraum schonen.
- Dies trägt durch bessere Ressourcennutzung zum Klima- und Umweltschutz bei und schließt nachhaltig Stoffkreisläufe.
- Zusätzlich sind diese Materialien sofort und innerhalb der EU vorhanden und verfügbar.

# Danke für Ihr Interesse!

## Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie

Department Metallurgie

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. mont Stefan Steinlechner  
stefan.steinlechner@unileoben.ac.at

Tel. +43(0)3842 402-5254

Fax +43(0)3842 402-5202

<https://www.nichteisenmetallurgie.at>

<https://en.cdl-special-metals.at>

