



Deutsches
Kupferinstitut
Copper Alliance

Bismut in der Metallurgie von Kupfer und seinen Legierungen

Dr.-Ing. Anton Klassert



Das Anliegen

Cu



Kupferwerkstoffe sind die wichtigsten Funktionsmetalle der Menschheit

1 Bedeutung des Kupfers

1.1 Anwendungen

1.2 Das Metall und seine Legierungen

2 Gründe für den Einsatz von Bismut

3 Auswirkungen von Bismut

4 über das DKI

5 Zusammenfassung

1 Bedeutung des Kupfers

1.1 Anwendungen

1.2 Das Metall und seine Legierungen

2 Gründe für den Einsatz von Bismut

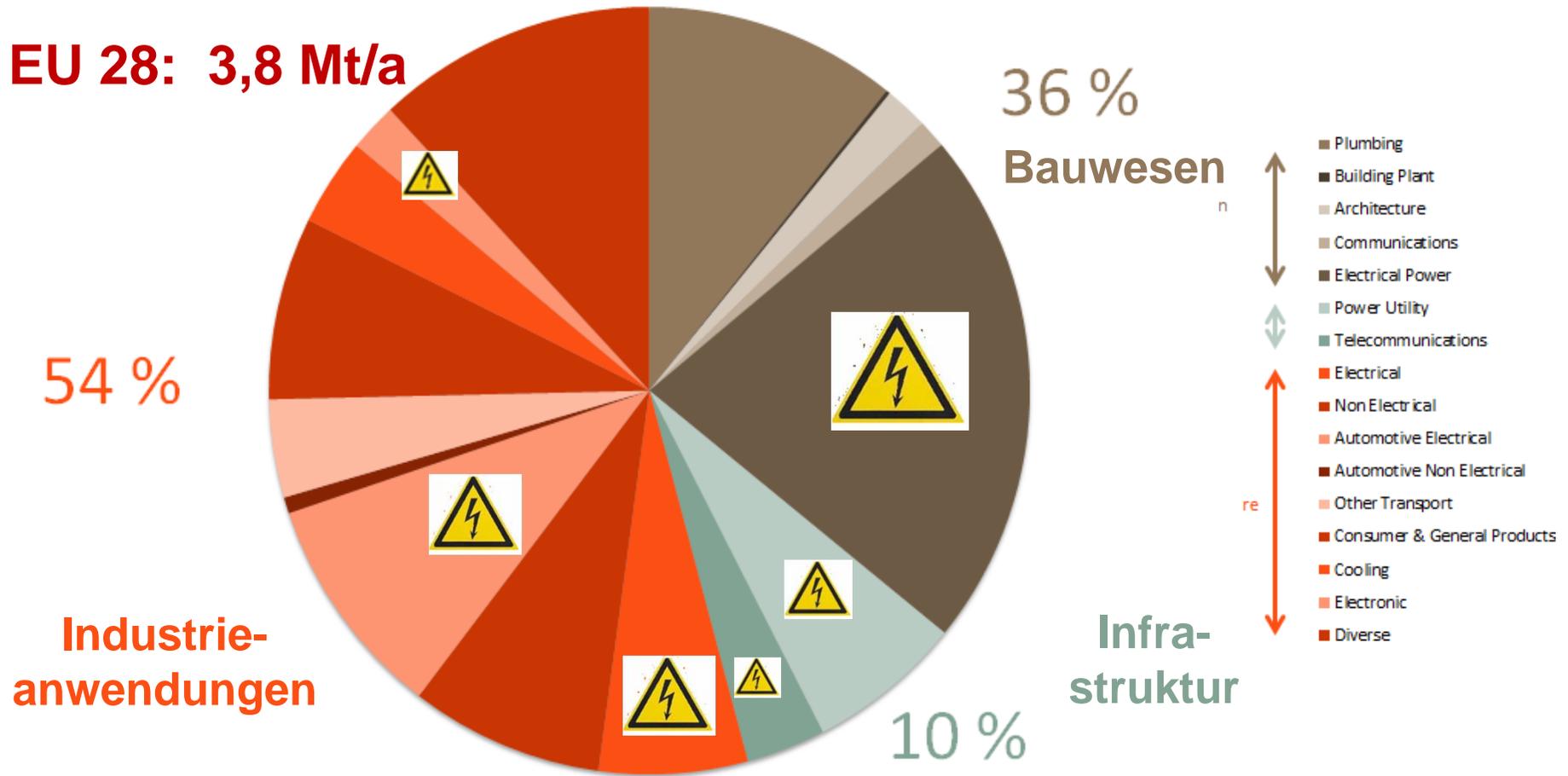
3 Auswirkungen von Bismut

4 über das DKI

5 Zusammenfassung

Anwendungen Kupfer

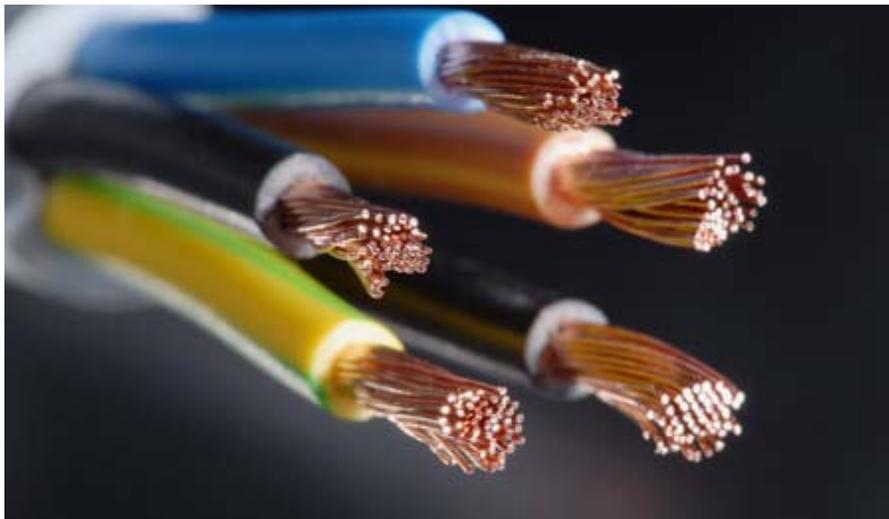
Märkte in Europa 2013



Anwendungsbeispiele Kupfer

Cu

Von erneuerbaren Energien bis zum Smartphone



1 Bedeutung des Kupfers

1.1 Anwendungen

1.2 Das Metall und seine Legierungen

2 Gründe für den Einsatz von Bismut

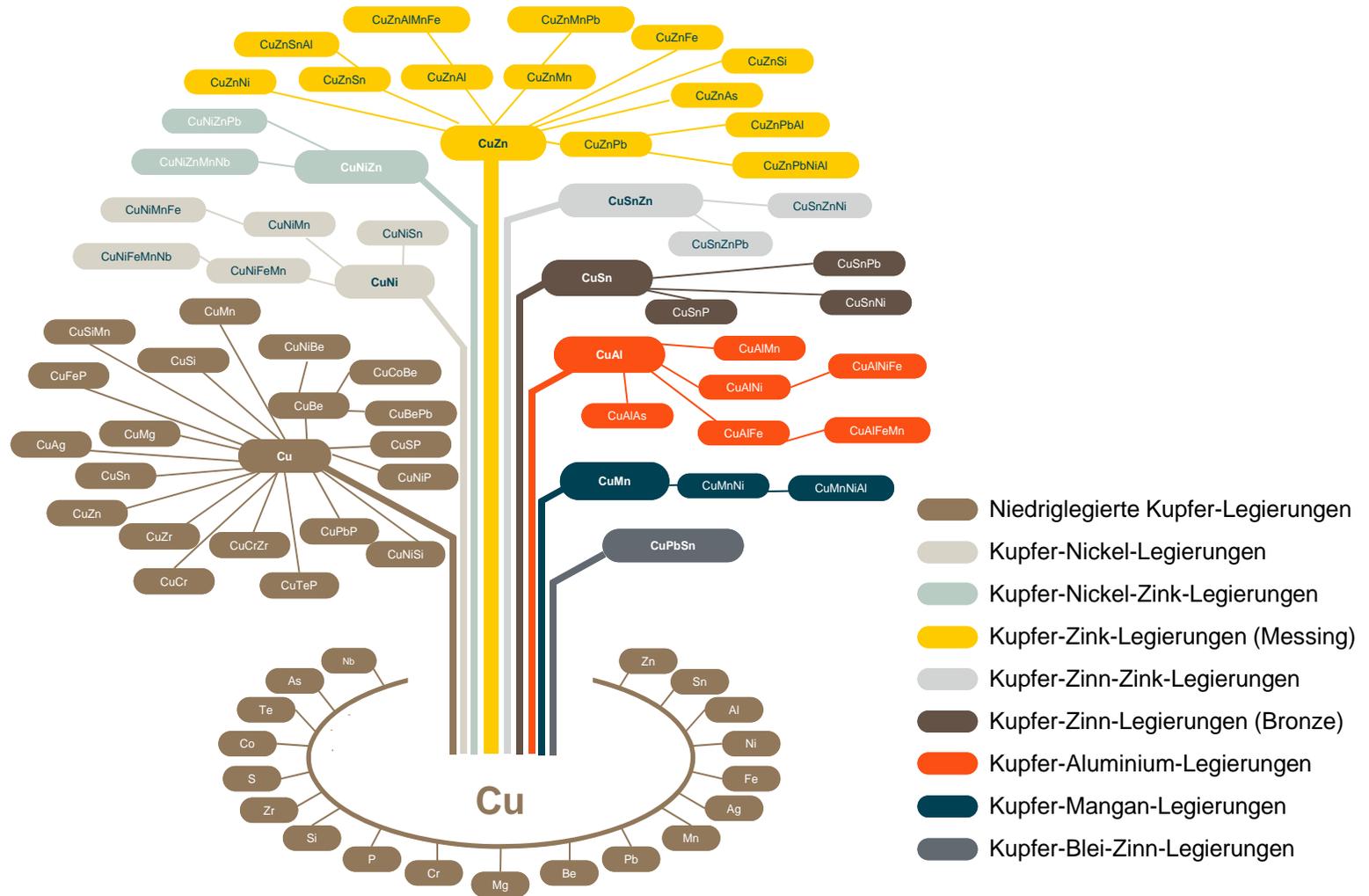
3 Auswirkungen von Bismut

4 über das DKI

5 Zusammenfassung

DKI-Kupferstammbaum

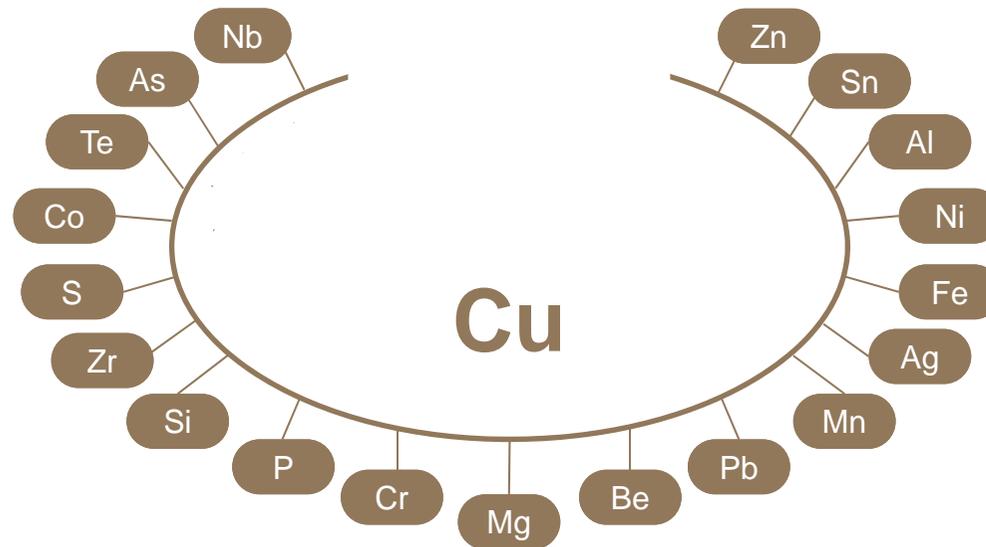
Übersicht



DKI-Kupferstammbaum

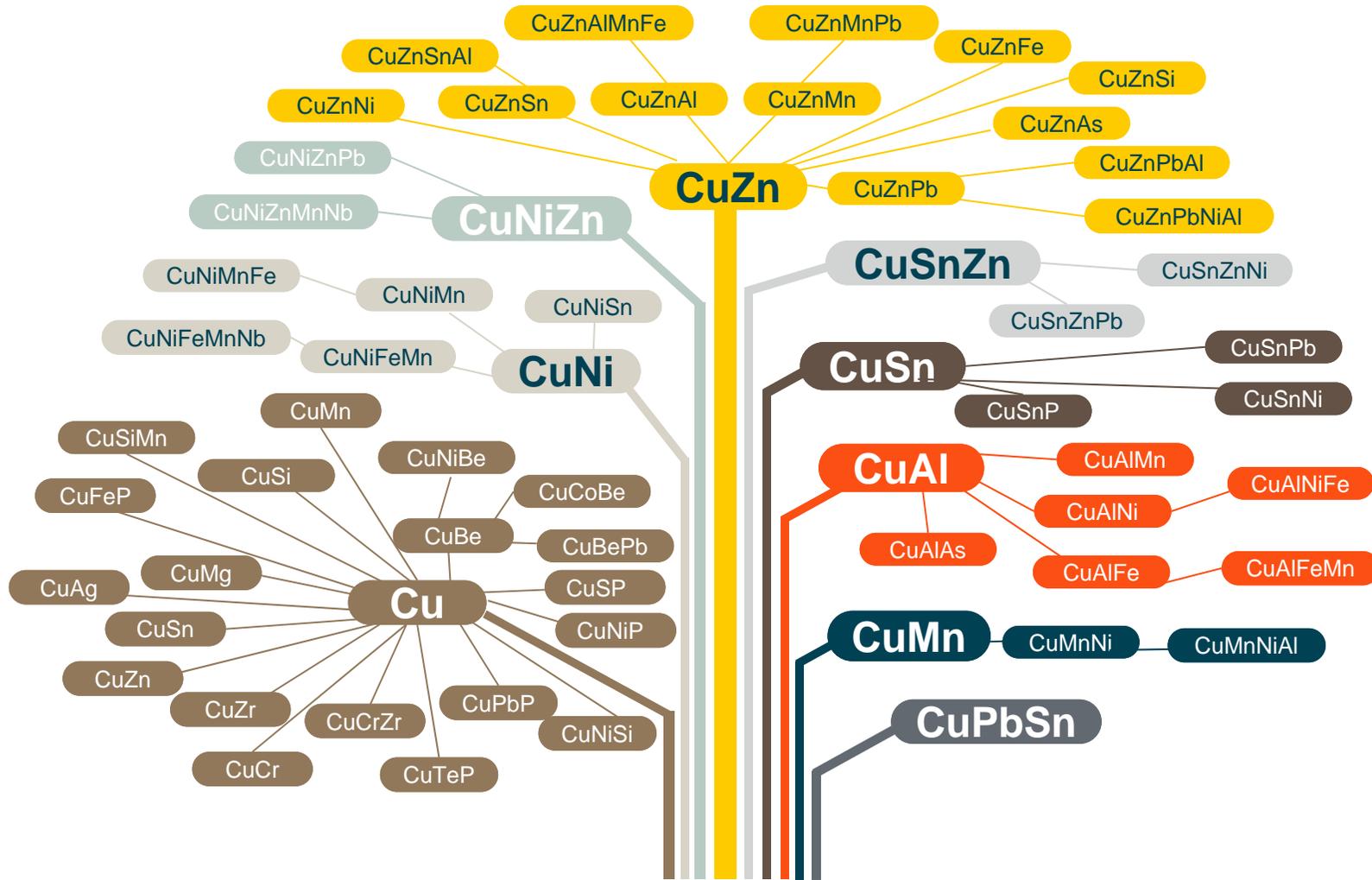


Die Wurzeln - Legierungselemente des Kupfers



DKI-Kupferstammbaum

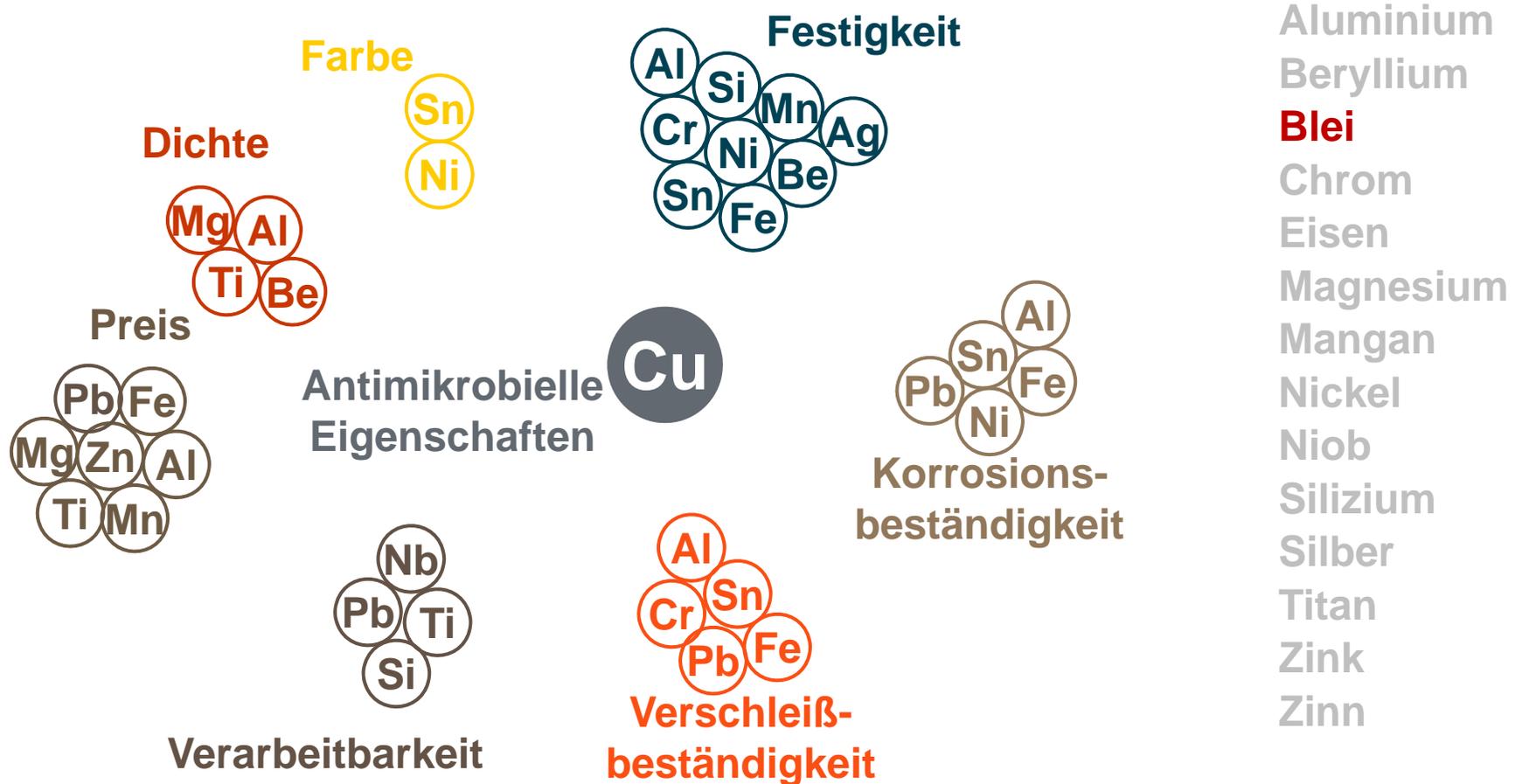
Die Legierungsfamilien



Kupferwerkstoffe



Legieren - Steuern von Eigenschaften

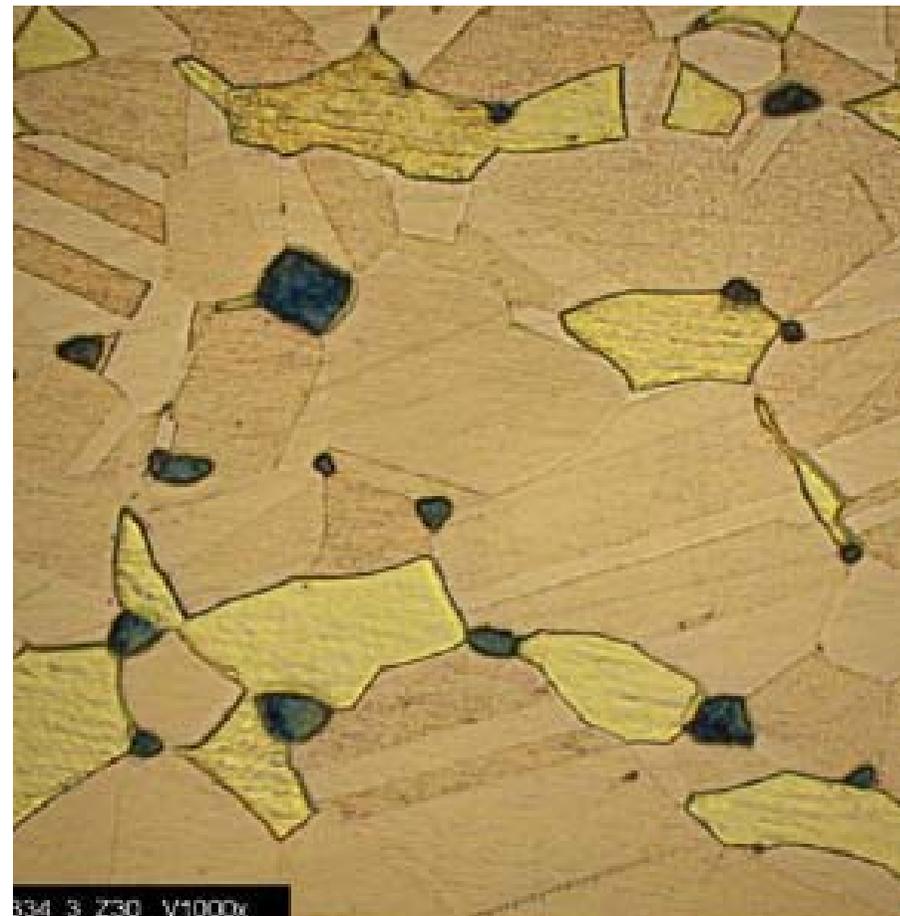


Auswirkungen des Legierungselements Blei

Blei :

- fördert die **Zerspanbarkeit** von Knet- und Gusswerkstoffen
- beeinflusst das **Reib- und Verschleißverhalten** von Gleitflächen
- Verbessert die **Dichtheit** von Bauteilen
- verringert die **Übergangswiderstände** elektrischer Kontakte
- verbessert das **Korrosionsverhalten** von Werkstoffen

- erniedrigt die **Schmelztemperatur** von Loten



Vortragsübersicht

Cu

- 1 Bedeutung des Kupfers
- 2 Gründe für den Einsatz von Bismut
- 3 Auswirkungen von Bismut
- 4 über das DKI
- 5 Zusammenfassung

Regulatorische Aspekte

Cu

Verschiedene Regelwerke rund um die Welt, Beispiele

Trinkwasser

- Europäischer 4-MS-Ansatz
- Positivlisten
- Metalle: 2,2 % Pb
- TTIP - USA 0,25 % Pb



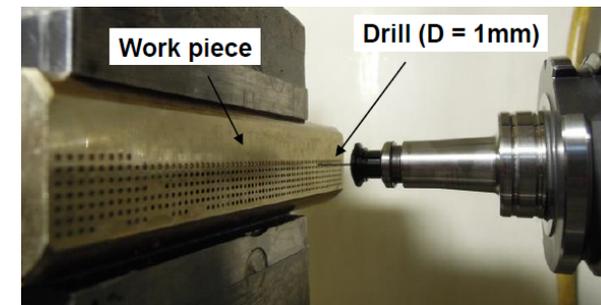
ELV und RoHS2

- 4 %-Ausnahme von 0,1-%-Regel
- Regelmäßige Prüfung
- Langfriststrategie



REACH

- SVHC
- Ansatz 0,03 %
- wissenschaftliche und politische Erörterung



Legieren



Alternativen zu Blei

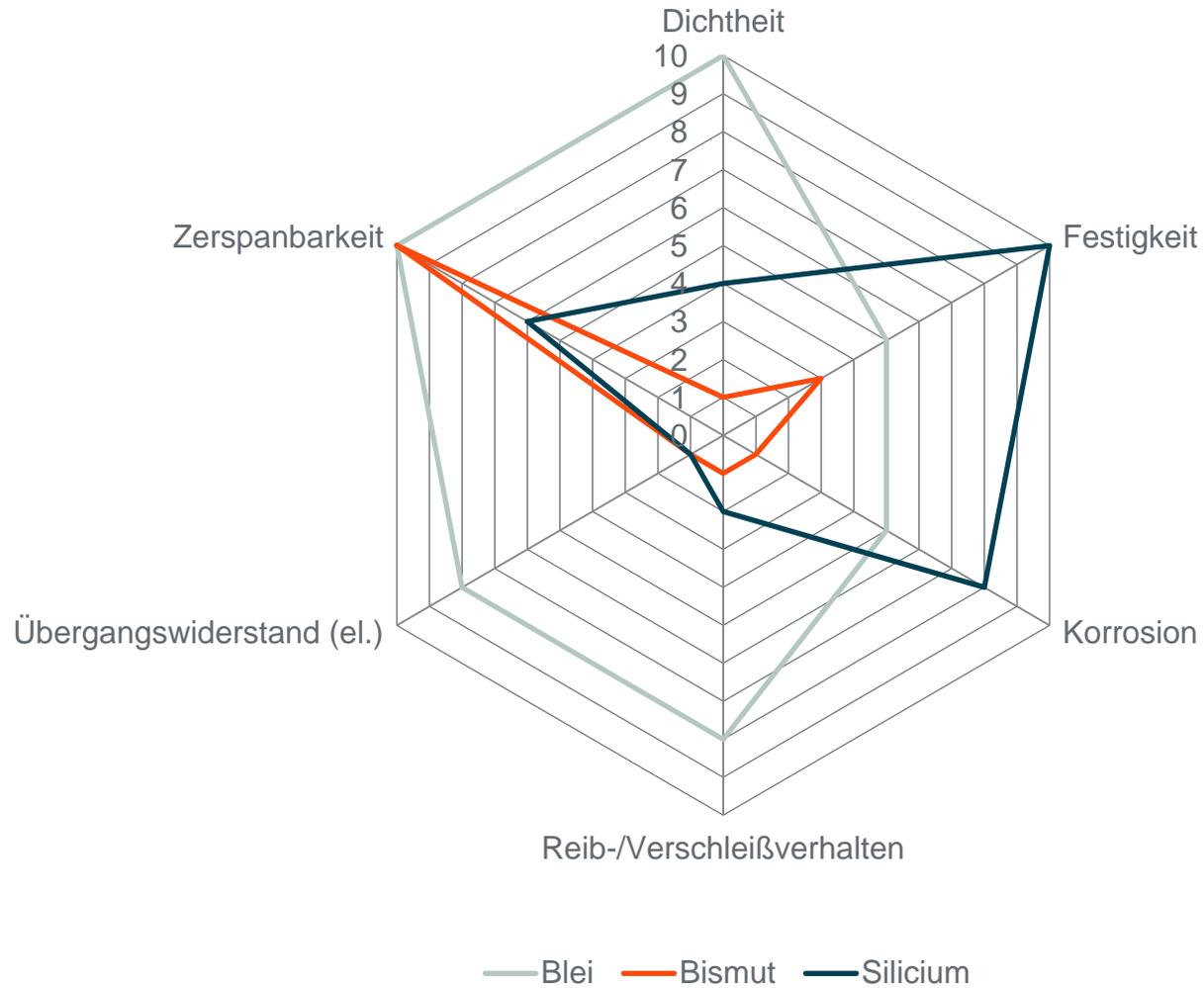
Haupt-												gruppen								
I		II												III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	H																			He
2	Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Nebengruppen										Al	Si	P	S	Cl	Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
6	Cs	Ba	La ...	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
	Fr	Ra	Ac ...	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt										



Legieren



Vergleich von Blei, Bismut und Silicium



- 1 Bedeutung des Kupfers
- 2 Gründe für den Einsatz von Bismut
- 3 **Auswirkungen von Bismut**
 - 3.1 Ökologie
 - 3.2 Produktqualität
 - 3.3 Wirtschaftlichkeit
- 4 über das DKI
- 5 Zusammenfassung

- 1 Bedeutung des Kupfers
- 2 Gründe für den Einsatz von Bismut
- 3 **Auswirkungen von Bismut**
 - 3.1 **Ökologie**
 - 3.2 Produktqualität
 - 3.3 Wirtschaftlichkeit
- 4 über das DKI
- 5 Zusammenfassung

Gewinnung von Primärkupfer

Abtrennung von Begleitelementen

Cu



Raffinationselektrolyse 99,99+ % Cu

Feuerraffination 98,5+ % Cu

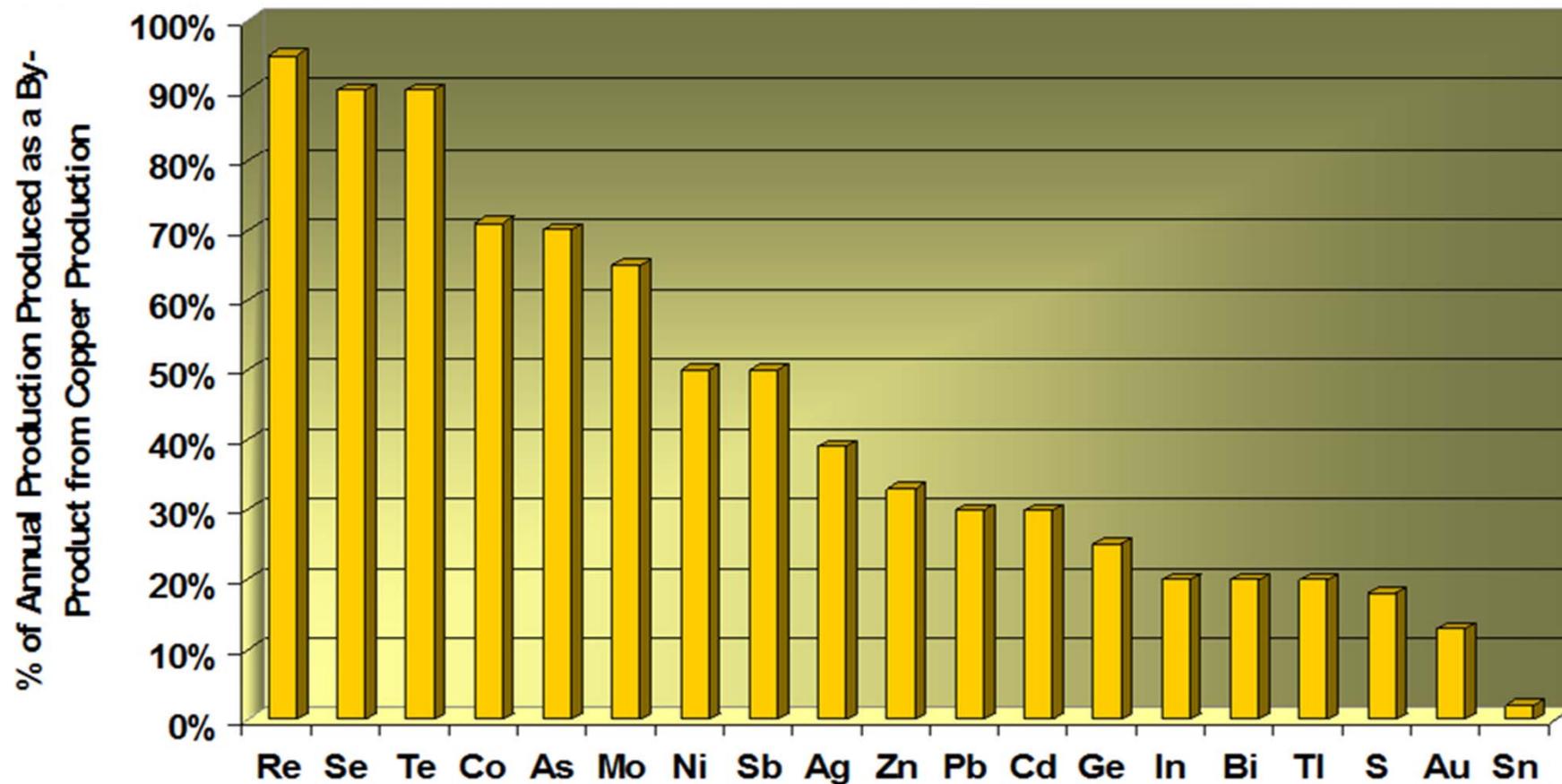
Aufkonzentrierung ca. 32 % Cu

Erzabbau ca. 1 % Cu

Gewinnung von Primärkupfer



Begleitelemente



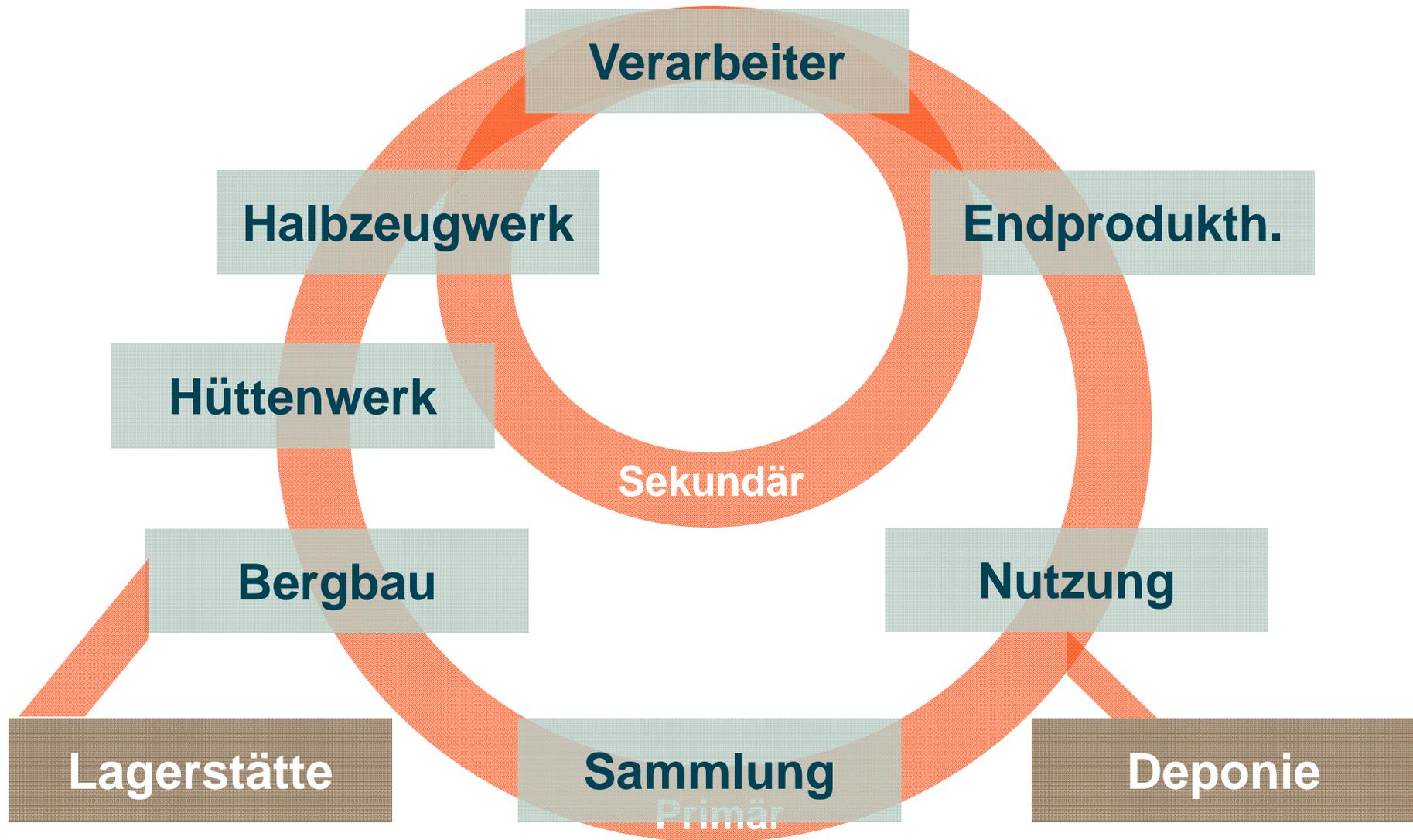
Datenquelle : USGS 2012



Gewinnung von Primär- und Sekundärkupfer

Stoffkreisläufe

Cu

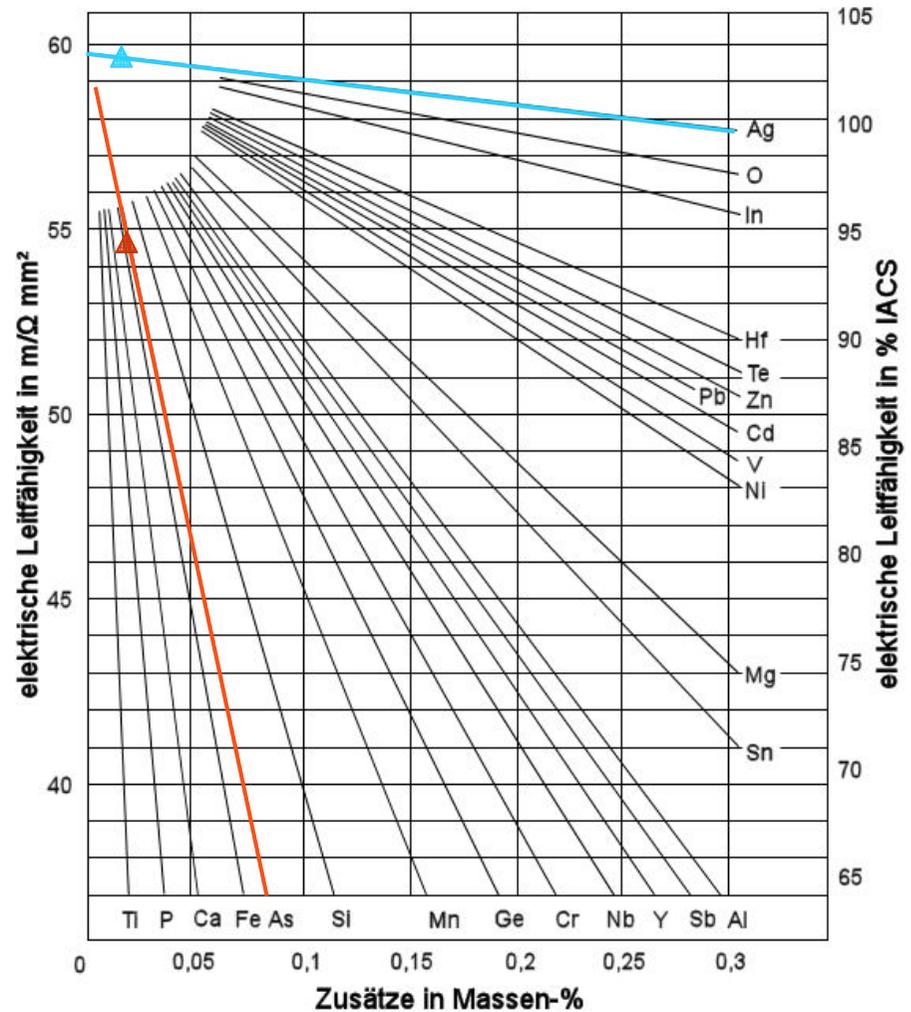


Gewinnung von Primär- und Sekundärkupfer

Verunreinigungen



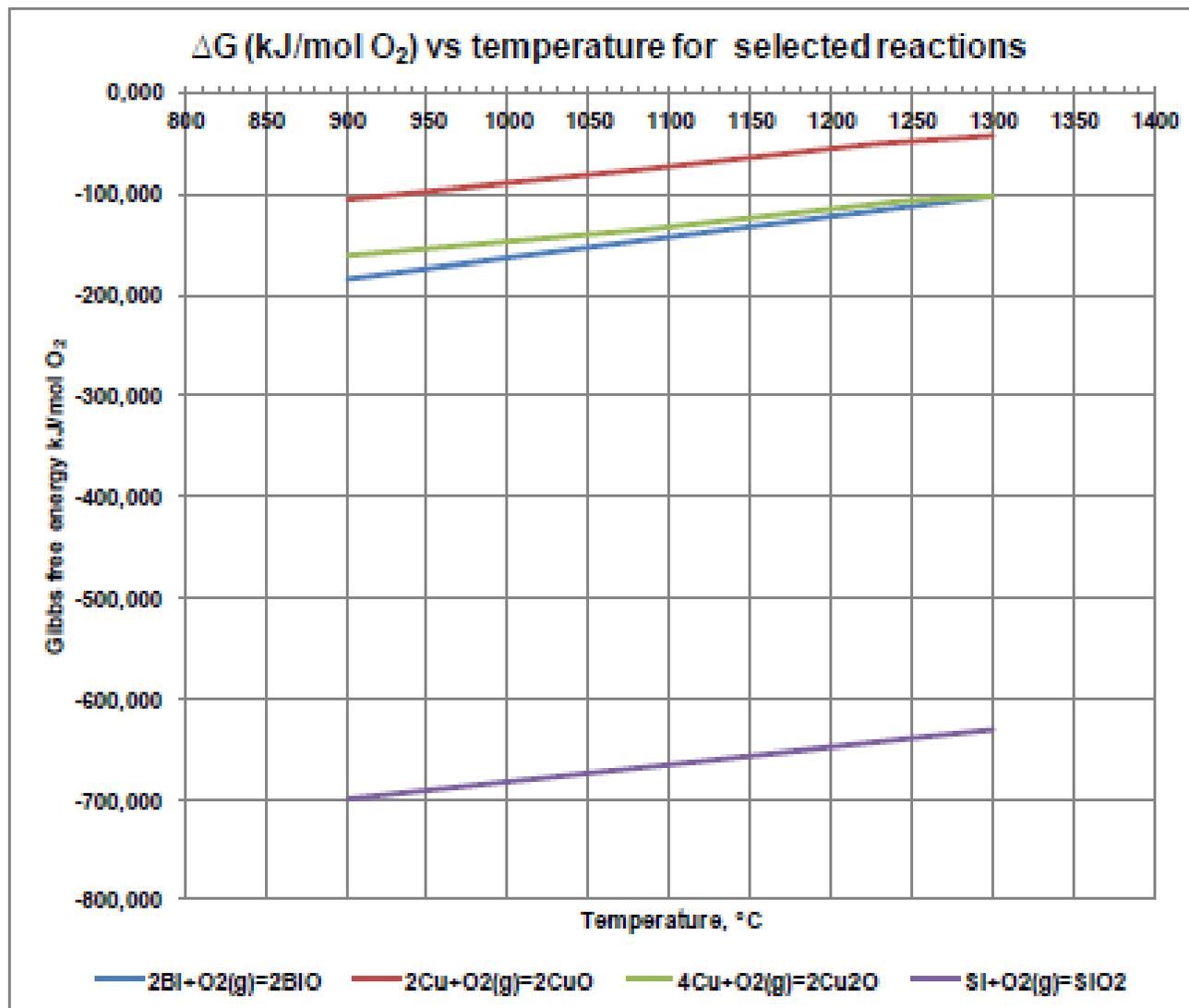
Konz	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Mittelwert	Messbereich
Ag %	0,0017	0,0021	0,0015	0,0017	0,0017	0,0003 - 0,450
Al %	[C<]0,0003	[C<]0,0003	[C<]0,0003	[C<]0,0003	[C<]0,0003	0,0003 - 0,0400
As %	0,0012	0,0023	0,0022	0,0019	0,0019	0,0002 - 0,330
Au %	[C<]0,0005	[C<]0,0005	[C<]0,0005	[C<]0,0005	[C<]0,0005	0,0005 - 0,1000
B %	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	0,0002 - 0,0350
Be %	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	0,0001 - 0,0210
Bi %	[C<]0,0005	[C<]0,0005	[C<]0,0005	[C<]0,0005	[C<]0,0005	0,0005 - 0,0700
Cd %	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	0,0001 - 1,20
Co %	[C<]0,0004	[C<]0,0004	[C<]0,0004	[C<]0,0004	[C<]0,0004	0,0004 - 0,175
Cr %	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	0,0002 - 1,000
Cu %	99,97	99,97	99,97	99,98	99,97	
Fe %	0,0033	0,0018	0,0031	0,0016	0,0024	0,0002 - 0,180
Mg %	0,0003	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	0,0001	0,0001 - 0,0300
Mn %	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	[C<]0,0001	0,0001 - 0,0850
Ni %	0,0031	[C<]0,0002	0,001	0,0018	0,0015	0,0002 - 0,440
P %	0,0011	0,0013	[C<]0,0002	0,001	0,0009	0,0002 - 0,0850
Pb %	0,0028	0,0018	0,0009	0,0021	0,0019	0,0003 - 1,60
Pt %	[C<]0,0020	[C<]0,0020	[C<]0,0020	[C<]0,0020	[C<]0,0020	0,0020 - 0,0550
S %	0,0014	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	0,0005	0,0002 - 0,0800
Sb %	0,0076	0,0114	0,0106	0,0061	0,0069	0,0010 - 0,350
Se %	0,0003	0,0005	0,0011	0,0004	0,0006	0,0003 - 0,120
Si %	[C<]0,0005	[C<]0,0005	[C<]0,0005	[C<]0,0005	[C<]0,0005	0,0005 - 0,0900
Sn %	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	0,0002 - 0,330
Te %	[C<]0,0003	[C<]0,0003	[C<]0,0003	[C<]0,0003	[C<]0,0003	0,0003 - 0,120
Ti %	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	0,0002 - 0,1000
Zn %	[C<]0,0015	[C<]0,0015	[C<]0,0015	[C<]0,0015	[C<]0,0015	0,0015 - 0,300
Zr %	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	[C<]0,0002	0,0002 - 0,240



Bismut-Abtrennung



Pyrometallurgisch nicht möglich



Bismut-Abtrennung

Elektrometallurgisch nicht möglich

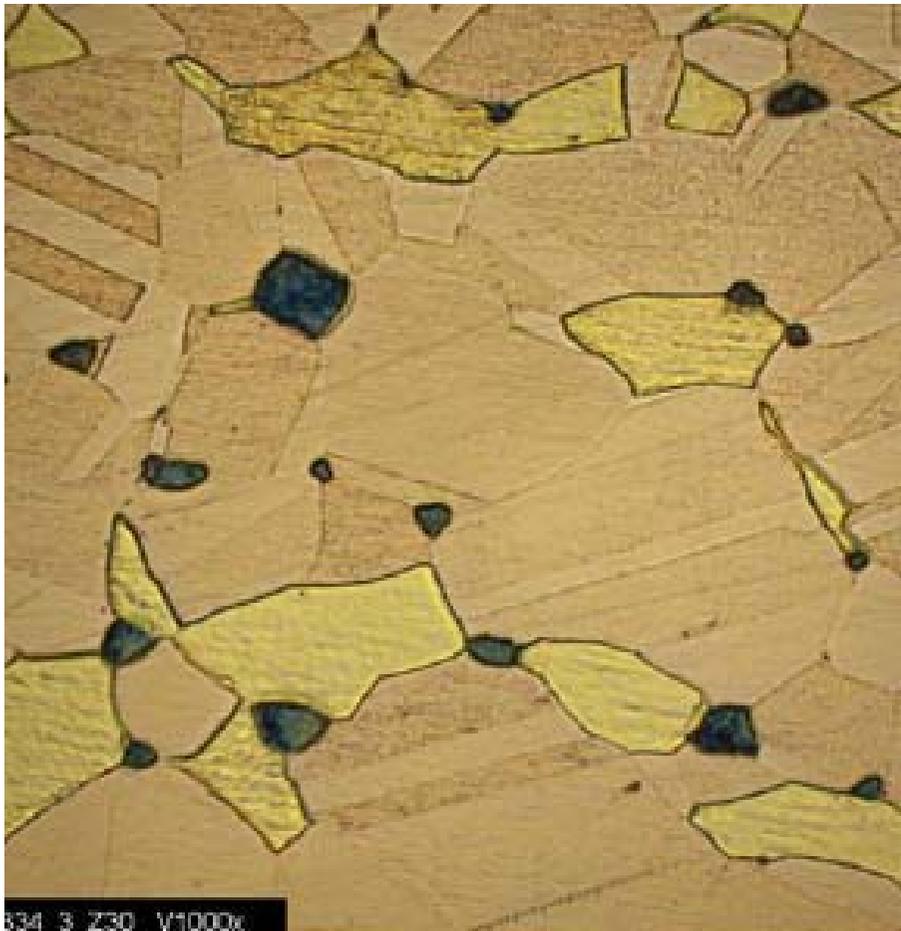
Electrochemical reaction	Standard reduction potential (25°C), volts
$Au^{3+} + 3e^{-} \rightarrow Au^{\circ}$	1.5
$Ag^{\circ} + e^{-} \rightarrow Ag^{\circ}$	0.80
$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu^{\circ}$	0.34
$BiO^{+} + 2H^{+} + 3e^{-} \rightarrow Bi^{\circ} + H_2O$	0.32
$2AsO_2 + 3H^{+} + 3e^{-} \rightarrow As^{\circ} + 2H_2O$	0.25
$SbO^{+} + 2H^{+} + 3e^{-} \rightarrow Sb^{\circ} + H_2O$	0.21
$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$	0.0000
	(pH = 0; p _{H₂} = 1 atmosphere)
$Pb^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Pb^{\circ}$	-0.13
$Ni^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Ni^{\circ}$	-0.26
$Co^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Co^{\circ}$	-0.28
$Fe^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Fe^{\circ}$	-0.45

- 1 Bedeutung des Kupfers
- 2 Gründe für den Einsatz von Bismut
- 3 **Auswirkungen von Bismut**
 - 3.1 Ökologie
 - 3.2 **Produktqualität**
 - 3.3 Wirtschaftlichkeit
- 4 über das DKI
- 5 Zusammenfassung

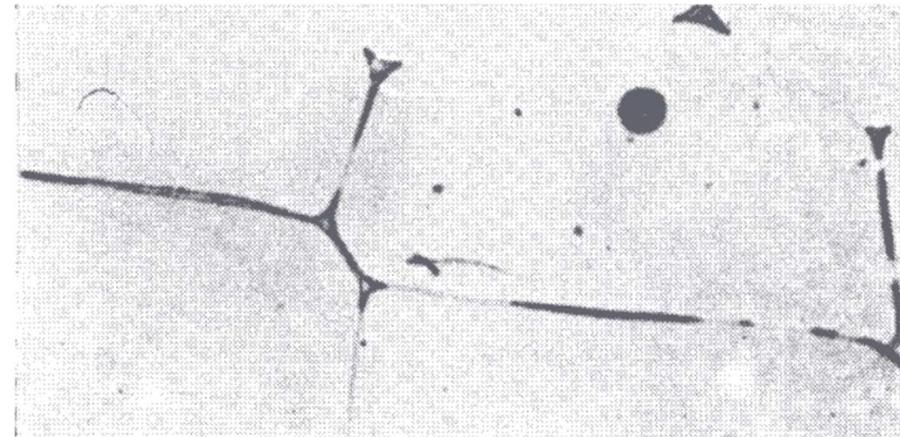
Bismut und Kupferwerkstoffe

Cu

Ursachen der Wirkung



Blei – globular



- Bismut hat einen Schmelzpunkt bei 281 °C (Blei bei 327 °C)
- Wismut lagert sich **filmartig** an den **Korngrenzen** an
- Wismut dehnt sich beim Erstarren aus (**Dichteanomalie**)

Bismut und Kupferwerkstoffe

Cu

Auswirkungen bei Knet- und Gusslegierungen

- Bismut wirkt in Kupfer und Kupferwerkstoffen bereits in kleinsten Gehalten **versprödend**, bei Knetwerkstoffen ab folgenden Gehalten:
 - > 5 ppm Reinkupfer
 - > 4 ppm Bronzen
 - > 10 ppm Neusilber
 - > 20 ppm Messinge
 - Bei Gusslegierungen entstehen **Dichtigkeitsprobleme**
- **Bismut entfernen oder Schrotte getrennt halten !**



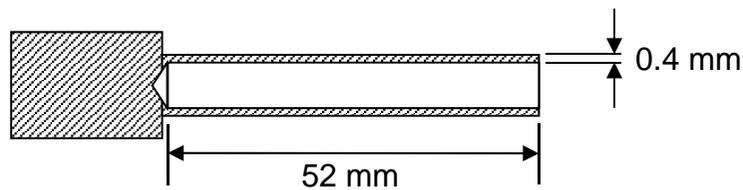
Produktqualität bei Verwendung von Bismut

Beispiele von Knetlegierungen



Harte Bismut - Einschlüsse erhöhen den Werkzeugverschleiß

Bauteile mit dünnen Wandungen sind nicht prozesssicher herstellbar



Turning: $vc = 111 \text{ m/min}$, $f = 0,1 \text{ mm}$
Drilling: $vc = 80 \text{ m/min}$, $f = 0.2 \text{ mm}$
no lubricants



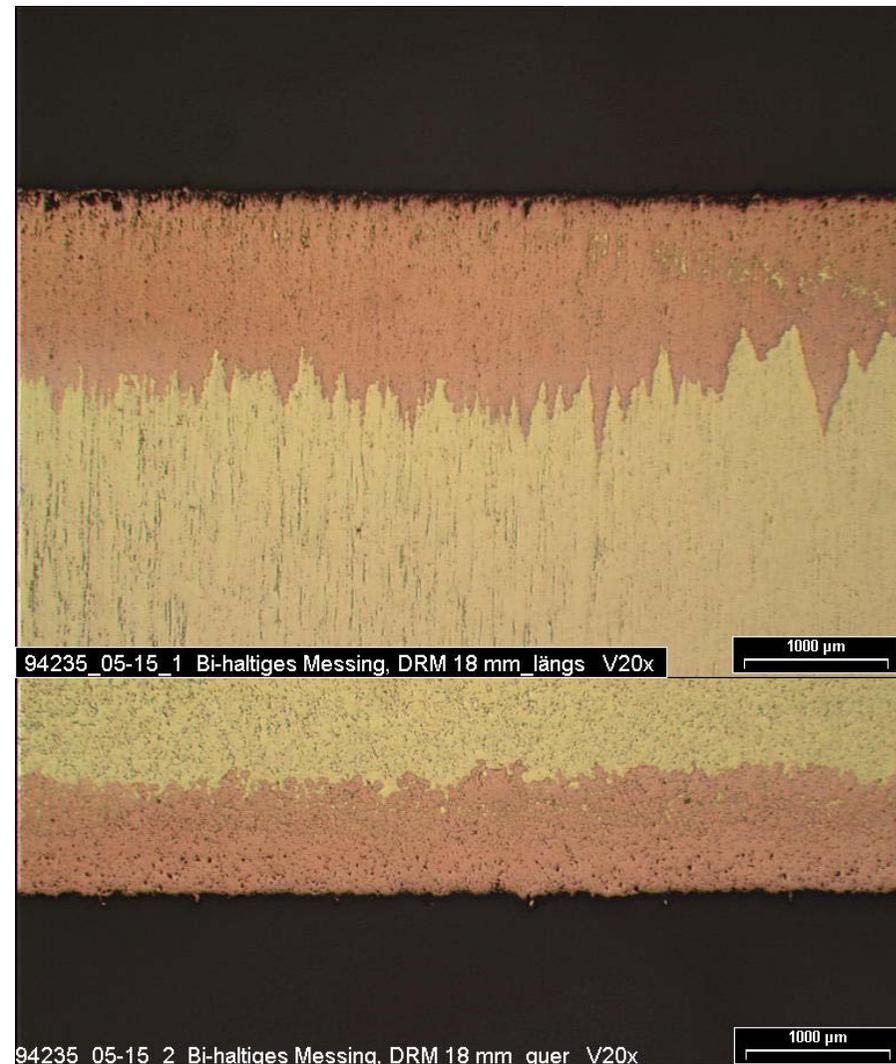
- 1 Bedeutung des Kupfers
- 2 Gründe für den Einsatz von Bismut
- 3 **Auswirkungen von Bismut**
 - 3.1 Ökologie
 - 3.2 Produktqualität
 - 3.3 **Wirtschaftlichkeit**
- 4 über das DKI
- 5 Zusammenfassung

Wirtschaftliche Grenzen des Bismut-Einsatzes

Cu

Überblick

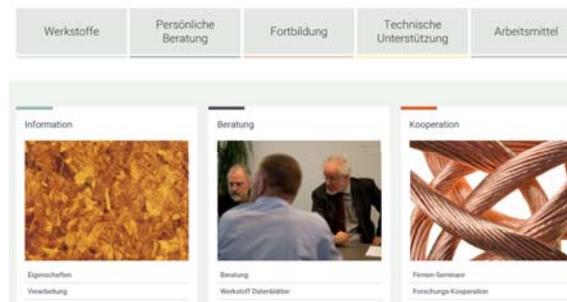
- **Bismutgehalte** in Cu-Legierungen 1 bis 5 %
- **Mehrbedarf** an Bismut pro 1 Mio. t/a 30.000 t Bi/a
- Aktuelle Verwendungen = kleine Mengen Bi in Produkten mit hoher Wertschöpfung - **Preiselastizität !**
- **Metallmehrpreis** pro Tonne Legierung bei 20.000 €/t Bi = 600 €/t Legierung
- Ausreichende **Produktqualität** nur mit höherem Herstellungsaufwand überhaupt möglich



- 1 Bedeutung des Kupfers
- 2 Gründe für den Einsatz von Bismut
- 3 Auswirkungen von Bismut
- 4 über das DKI
- 5 Zusammenfassung

Vorstellung DKI

Übersicht Tätigkeitsbereiche



Technologische Plattform Kupfer



Antworten zu allen Bereichen von Industrie und Forschung



Vortragsübersicht

Cu

- 1 Bedeutung des Kupfers
- 2 Gründe für den Einsatz von Bismut
- 3 Auswirkungen von Bismut
- 4 über das DKI
- 5 Zusammenfassung

Zusammenfassung

- **Bismut und seine Salze können Nierenschäden, Haut- und Schleimhauterscheinungen, gastrointestinale Beschwerden und thromboembolische Komplikationen verursachen.**
- **Hohe Dosen können tödlich sein.**
- **Eine Bismutvergiftung ähnelt einer Quecksilbervergiftung.**

- **Bismut gilt als nicht umweltgiftig.**

Zusammenfassung

Der Einsatz von Bismut in Kupferlegierungen als Ersatz für Blei verursacht vielfältige Probleme, bietet aber keine Vorteile

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Ihre Fragen sind sehr willkommen

Kontaktdaten:

Dr. Anton Klassert

Anton.Klassert@Kupferinstitut.de

+49 211-4796-311

