

NIEDRIGSCHMELZENDE LOTMATERIALIEN

Dr.-Ing. Nils Kopp

Vortragsveranstaltung der FED-Regionalgruppe Berlin

28.01.2019

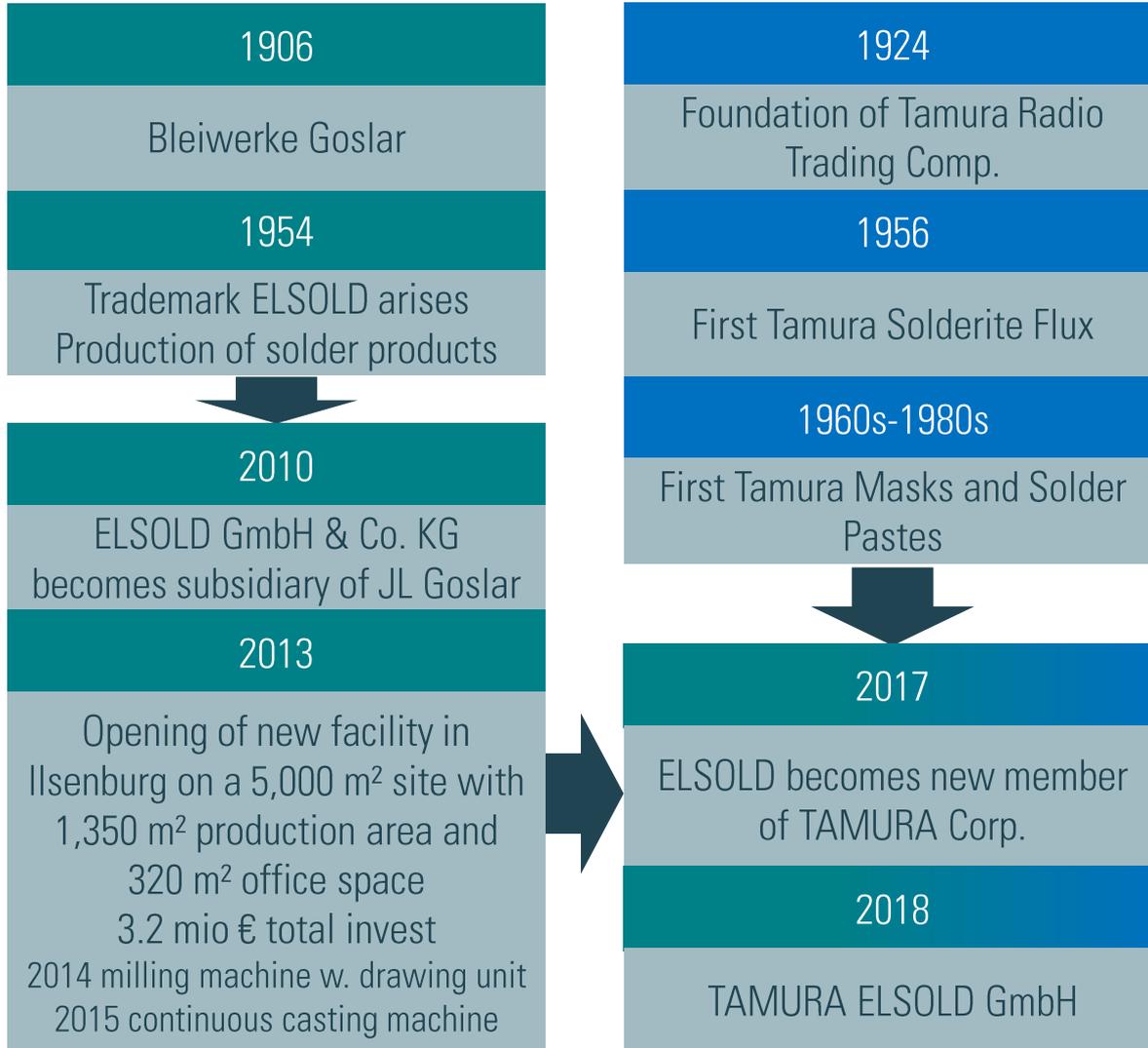


TAMURA ELSOLD PRODUKT PORTFOLIO

- Weichlote
 - Barren, Stangen
 - Massivdraht
 - Röhrenlote
- Lotpasten
- Flussmittel
- Technischen Support
- Dokumentation
- Analyse/Service



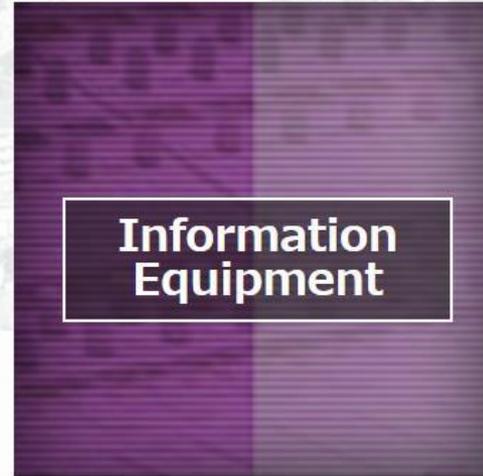
TAMURA ELSOLD HISTORIE



TAMURA ELSOLD PRODUKTION



TAMURA PRODUKT PORTFOLIO

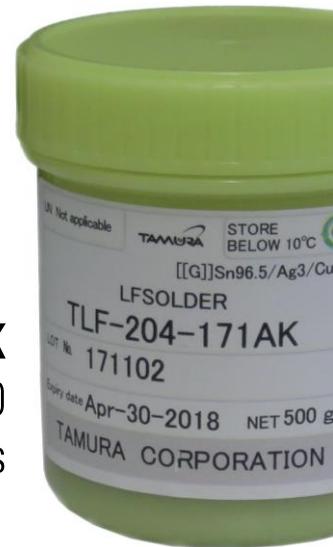


- Solder Pastes
- Solder Fluxes
- Solder Resists

HighLight TLF-204-171AK

SAC305 T4 ROLO

Excellent Printing and Wetting Properties



TAMURA CORP.

Capital: 11,829 million Yen
Number of employees: 5,248
Sales amount: 79,607 million Yen
President: Naoki Tamura
Listed in the first section of the Tokyo stock exchange

Sales amount=FY2016
Number of employees=Mar.2017



Japan

Sales amount: 36,280 million Yen
Numbers of employees: 1,170

Europe

Sales amount: 6,471 million Yen
Numbers of employees: 271

Asia

Sales amount: 33,244 million Yen
Numbers of employees: 3,638

Americas

Sales amount: 3,610 million Yen
Numbers of employees: 169

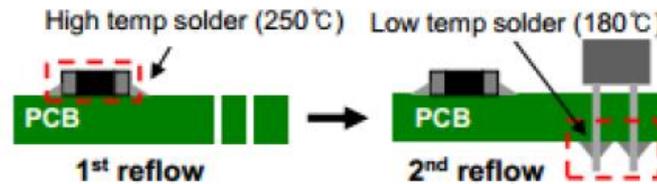
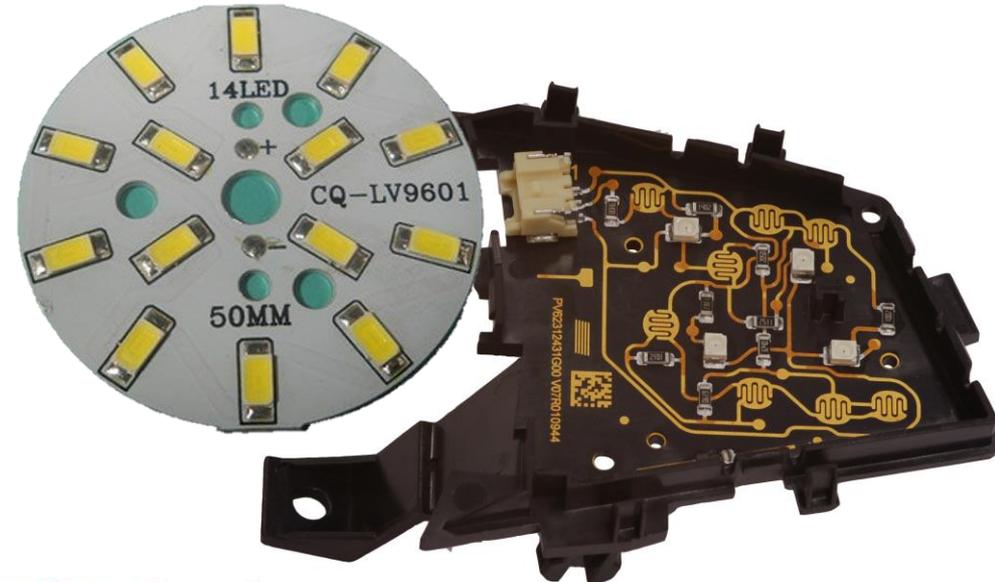
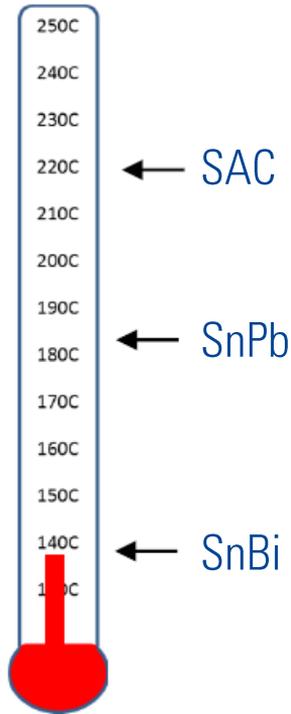
ÜBERSICHT

- Notwendigkeit von niedrigschmelzenden Loten
- Legierungen von Pasten und Loten
- Wie verhält sich der Bismutanteil in den Lotmaterialien
- Qualifikationen, Zuverlässigkeit

NOTWENDIGKEIT VON NIEDRIGSCHMELZENDEN LOTEN

- Temperaturempfindliche Bauteile
- 2-Stufen-Lötprozesse
- Energieeinsparungen
- Schmelzsicherungen

Schmelzbereich [°C]



NIEDRIGSCHMELZENDE LEGIERUNGEN

Legierung	Solidus [°C]	Liquidus [°C]	Dichte [g/cm ³]
In100	156,7	156,7	7,31
Sn53Pb37Bi10	150	168	8,65
In80Pb15Ag5	149	150	7,85
In97Ag3 – Eutektikum	144	144	7,38
Sn43 Pb43 Bi14	144	163	8,99
Bi58 Sn42 – Eutektikum	138	138	8,57
Sn54Pb26In20	136	152	8,05
Bi56Pb44	125	150	10,43
In51Sn49 – Eutektikum	120	120	7,3
Sn58In42	118	145	7,3
Sn50In50	118	125	7,3
In52Sn48 – Eutektikum	117	117	7,3
Bi55Pb44Sn1	117	120	10,4
Bi67In33	109	109	8,8
Bi50Pb31,3Sn18,7 – Eutektikum	96	96	9,7
Bi50Sn25Pb25 <i>Rose's-Metall</i>	96	98	9,32
Bi50Pb30Sn20 <i>Lichtenberg-Metall</i>	96	98	9,70
Bi57In26Sn17 – Eutektikum	78,9	78,9	8,54
In66Bi34	73	75	8,0
In51Bi33Sn16 – Eutektikum	60	60	7,88
Bi49In21Pb18Sn12 – Eutektikum	58	58	9,0

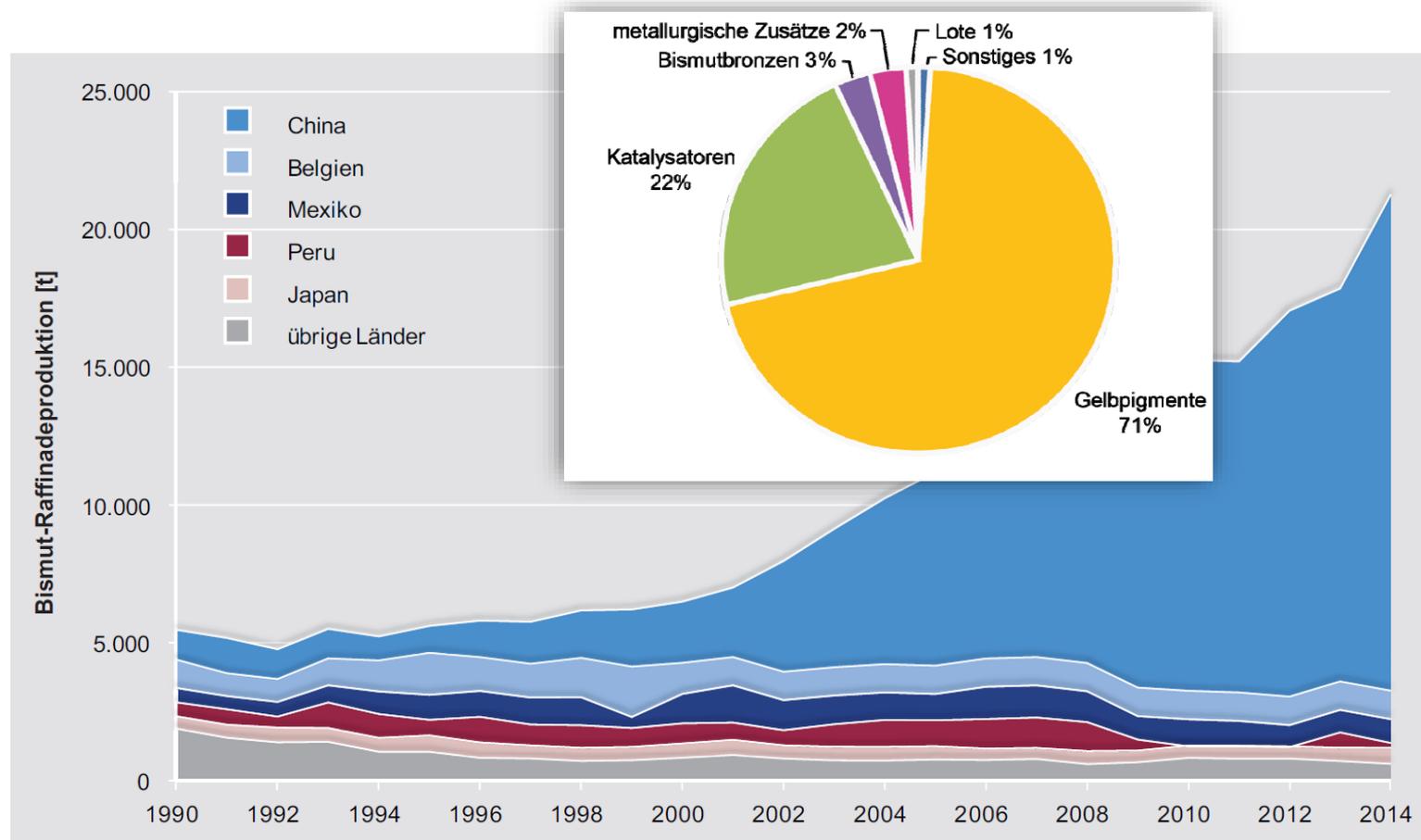
METALLKOSTEN

- Sn 17 €/kg
- Cu 5 €/kg
- Ag 485 €/kg
- Pb 2 €/kg
- **Bi 7 €/kg**
- In 390 €/kg

- Sn63Pb37 11 €/kg
- SC07 17 €/kg
- SAC305 31 €/kg
- **Bi58Sn42 11 €/kg**
- **Bi57Sn42Ag1 16 €/kg**
- Bi57Sn42Ag3 26 €/kg
- In52Sn48 211 €/kg



BISMUT – PRODUKTION & VERWENDUNG

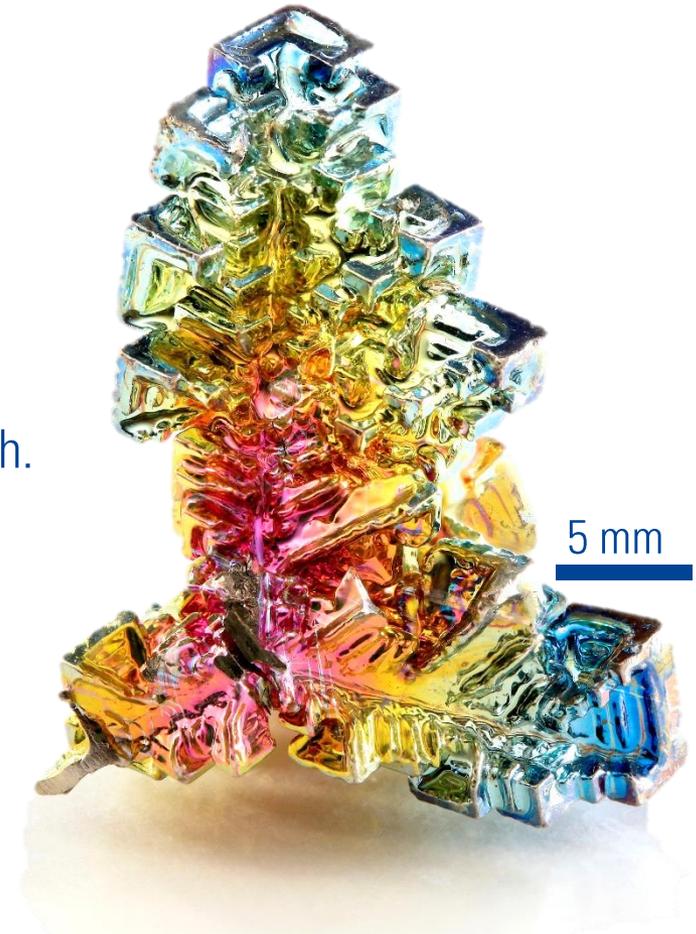


BISMUT – STRATEGISCHE BEWERTUNG

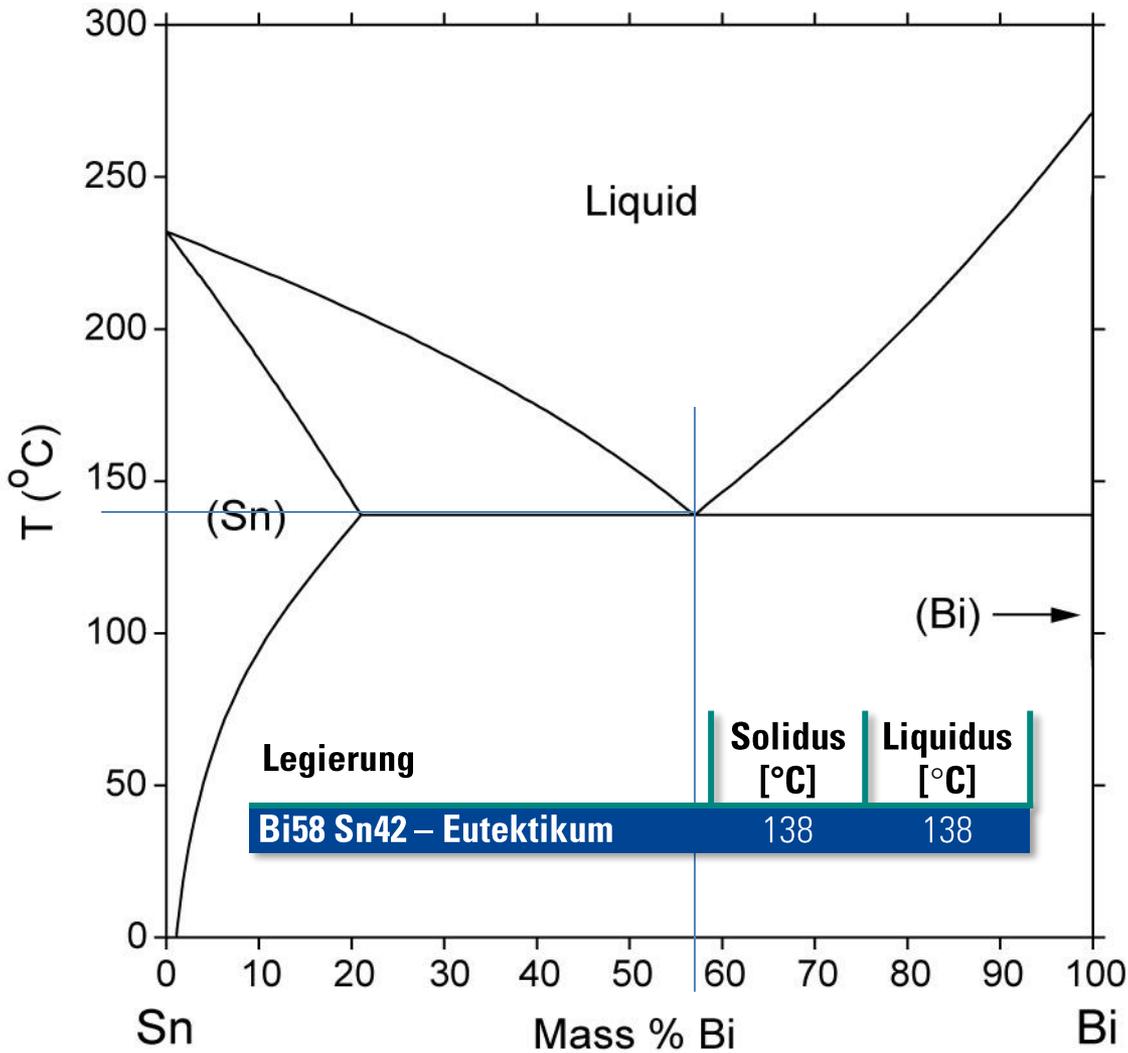
- ✓ **Deutschland ist weltweit drittgrößter Absatzmarkt für Bismut. Bismut ist weder typisches Industrie-, noch Hightech-, sondern Sondermetall.**
- ✓ **Bismut ist nicht selten. Es gibt große Primärlagerstätten und ausreichende Möglichkeiten der Gewinnung als Beiprodukt bei der Aufbereitung bzw. Raffinade von Blei, Kupfer, Zinn, Wolfram, Gold und anderen Metallen bzw. deren Erzen.**
- ✓ **Das weltweite Angebot und die Raffinadekapazitäten an Bismut übersteigen die Nachfrage um das Doppelte. Die Raffinadekapazitäten lassen sich bei Bedarf kurzfristig weiter erhöhen.**
- ✓ **Außer aufgrund künstlicher Verknappung (Fanya Metal Exchange) gibt es keine Hinweise darauf, warum Bismut kurz-, mittel- oder langfristig im Preis steigen sollte.**
- ✓ **Aber: Die Firmen- und Länderkonzentrationen bei Bismut steigen seit Jahrzehnten an!**
- ✓ **Aber: Der Bismutmarkt ist in Händen zahlreicher chinesischer und nur eines westlichen Produzenten (5N Plus Inc.) (börsennotiert = Übernahmegefahr)!**

BISMUT – EIGENSCHAFTEN

- Schmelztemperatur: 271,3 °C
 - Dichte: 9,78 g/cm³
 - Volumenausdehnung beim Erstarren: 3,9%
 - ➔ auch Legierungen mit > 47% Bi betroffen
 - ➔ Probleme beim Wellenlöten
 - ➔ Wellenlötprozesse sind nur eingeschränkt möglich.
 - Spröde:
 - ➔ auch Bi-Legierungen betroffen
 - ➔ Bi-Lotdrähte kaum möglich
- ➔ **Bevorzugter Einsatz für Lotpasten**



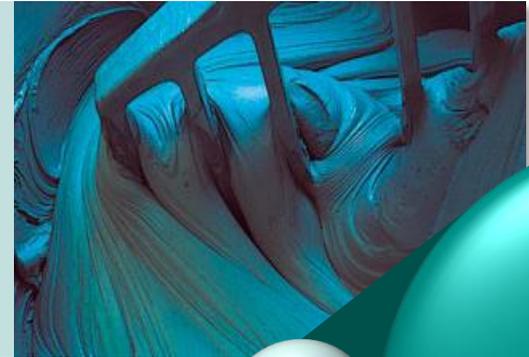
SNBI-PHASENDIAGRAMM



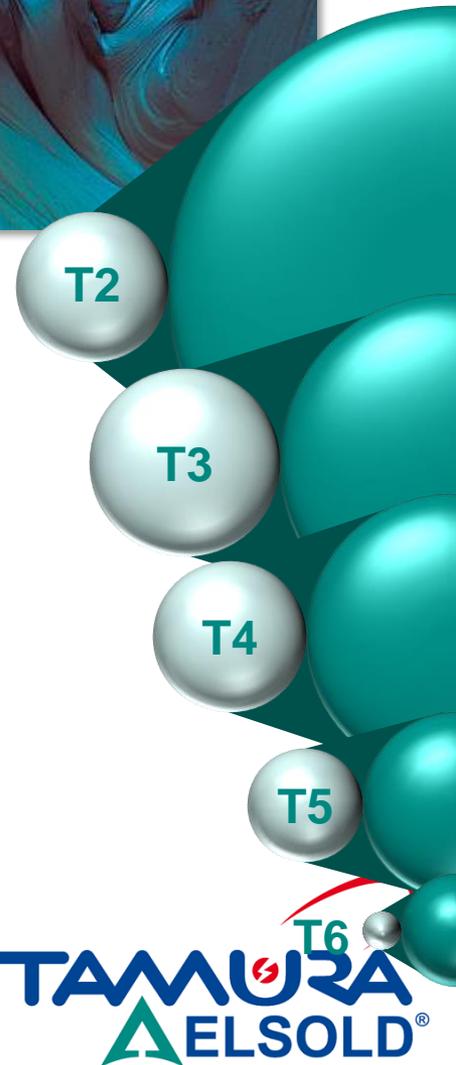
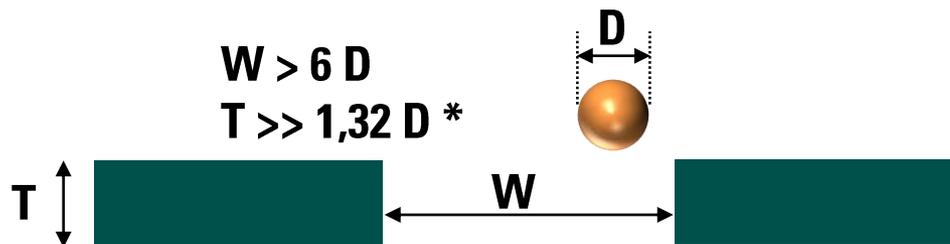
SNBI – LOTPASTEN

Lotpaste = Flussmittel + 85-91 % Lotpulver

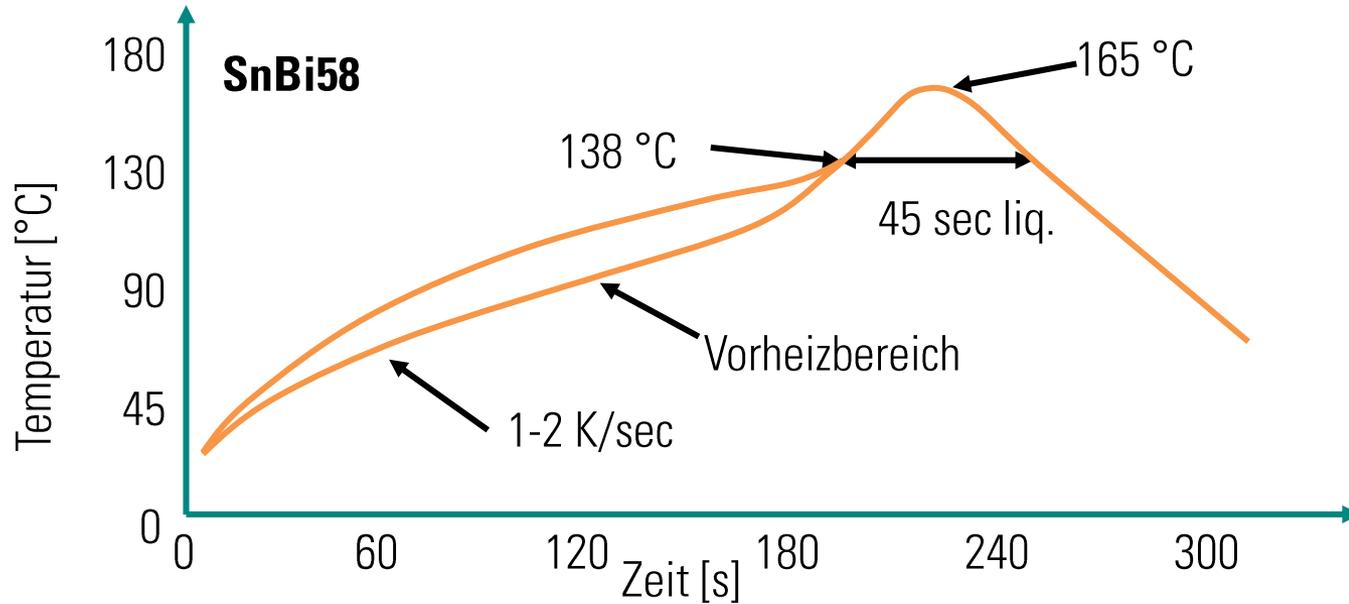
- Harze, Lösemittel, Korrosionsinhibitoren, Rheologieadditive, Aktivatoren
- Flussmittelwirkung
- ggf. angepasst an niedrigere Prozesstemperaturen
- Binder



- Typ 2: 20 – 75 μm i.d.R. nicht (mehr) eingesetzt
- **Typ 3: 25 – 45 μm** Standard
- Typ 4: 20 – 38 μm möglich
- Typ 5: 15 – 25 μm bei SnBi seltener, da Bi zu stärkerer Oxidation neigt
- Typ 6: 5 – 15 μm

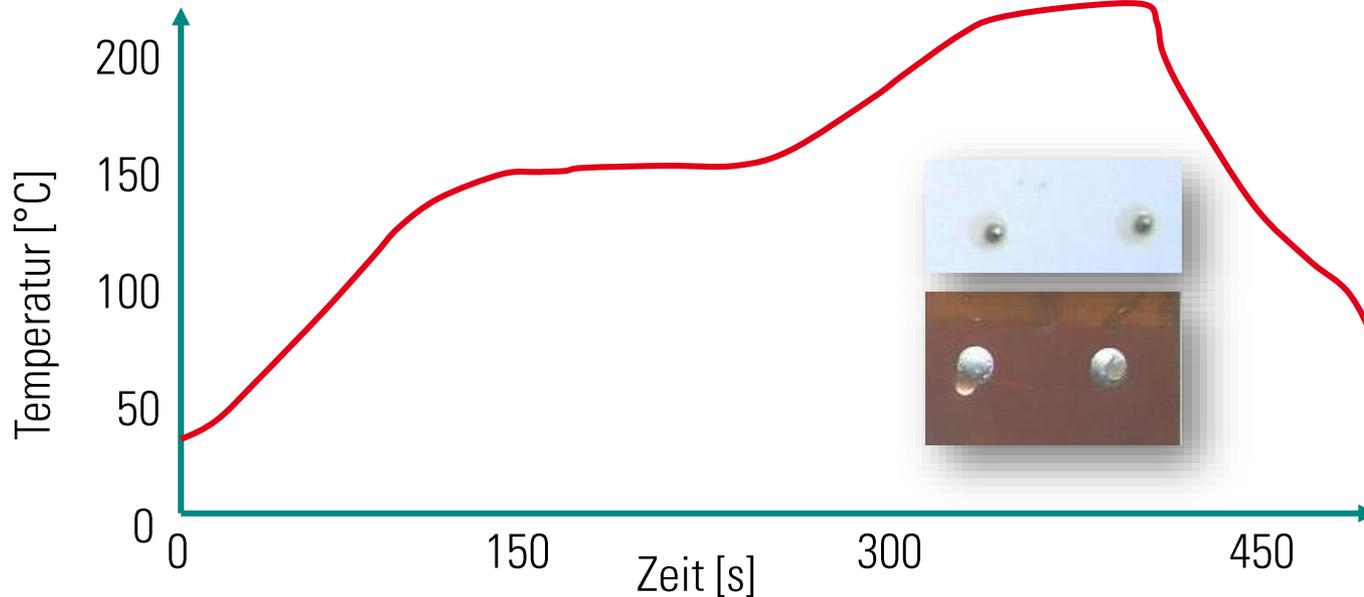


REFLOWLÖTEN



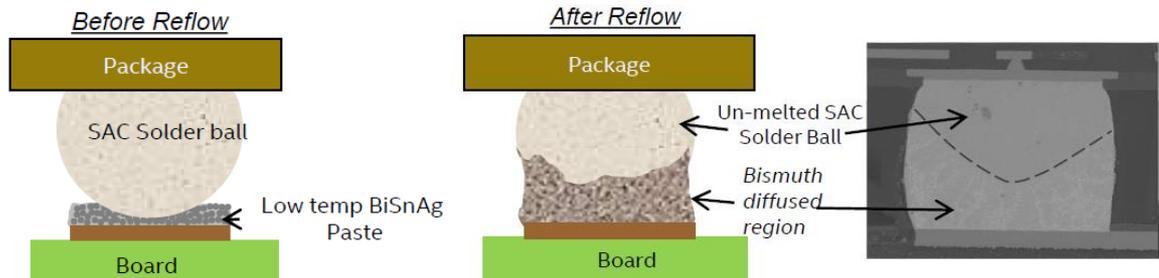
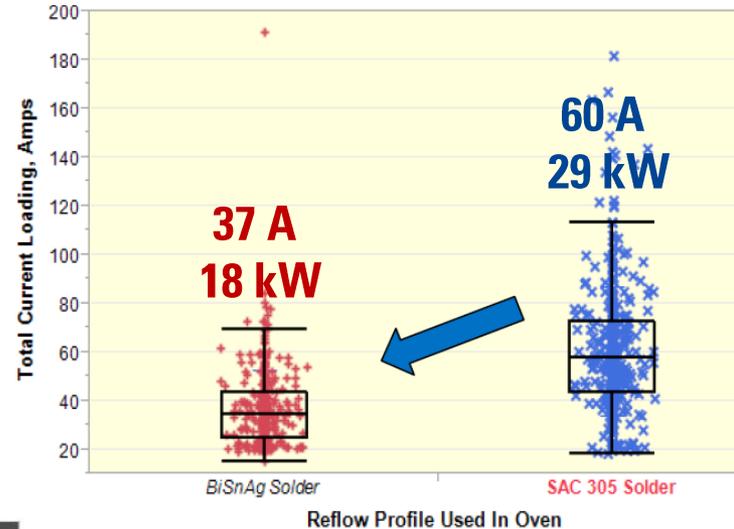
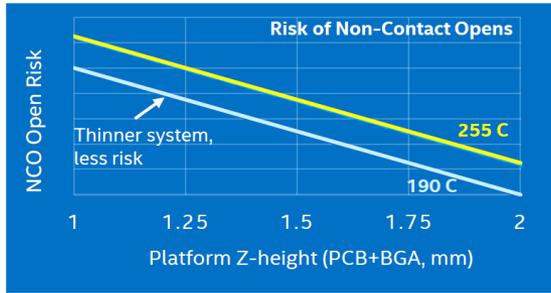
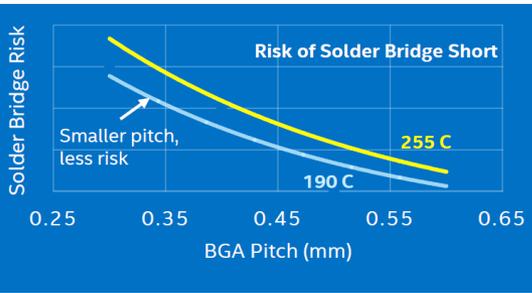
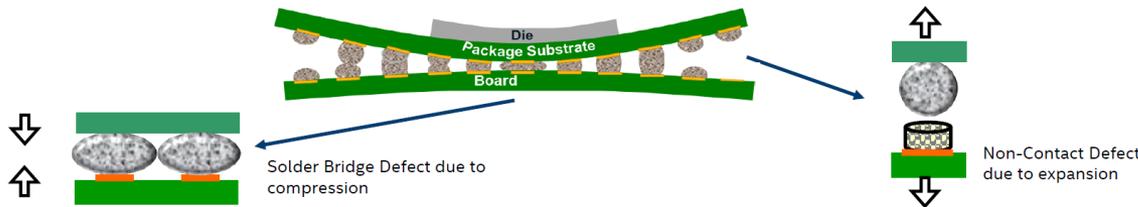
SNBI-SAC-MISCHLOTTPASTEN

	SBAC110	SBAC113	SBAC123	SBAC210	SBAC213
Legierung	Gemisch SnAg3Cu0,5 / Bi58Sn42	Gemisch SnAg3Cu0,5 / Bi55Sn42Ag3	Gemisch SnAg3Cu0,5 / Bi55Sn42Ag3	Gemisch SnAg3Cu0,5 / Bi58Sn42	Gemisch SnAg3Cu0,5 / Bi55Sn42Ag3
Pulver-Typ	T3 (25 – 45 µm)	T3 (25 – 45 µm)	T3 (25 – 45 µm)	T3 (25 – 45 µm)	T3 (25 – 45 µm)
Schmelzbereich	179 °C	165 – 180 °C	150 – 165 °C	188 – 192 °C	180 – 195 °C
Metallgehalt für Schablonen	87 – 89 %	87 – 89 %	87 – 89 %	87 – 89 %	87 – 89 %
Metallgehalt zum Dispensen	87 %	87 %	87 %	87 %	87 %



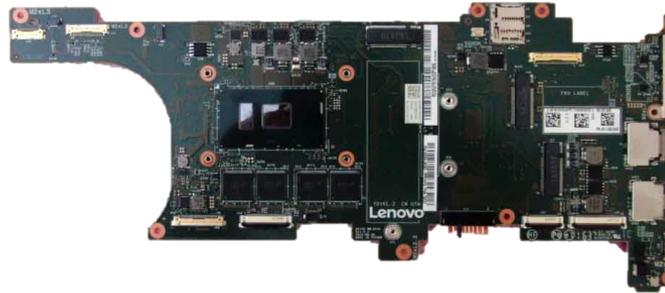
LTS: ÖKOLOGISCHE, ÖKONOMISCHE & TECHNOLOGISCHE VORTEILE (INTEL)

- 40% weniger Energieverbrauch
- 60 t pro Jahr CO₂-Einsparung pro Jahr und Ofen
- 35-50.000 t pro Jahr CO₂-Einsparungen bei Computerherstellern möglich
- Engerer Pitch dünnere Systeme möglich durch geringere Verformungsbedingte Risiken



LTS: ÖKOLOGISCHE, ÖKONOMISCHE & TECHNOLOGISCHE VORTEILE (LENOVO)

- 35 Prozent CO2-Emissionen Einsparung
- 50% weniger Verzug der Platinen



LENOVO PLANS TO REDUCE ANNUAL CO2 EMISSIONS BY
5956 METRIC TONS

WHAT DOES IT MEAN?

4

Greenhouse Gas Equivalencies



14,274,481 Miles driven by an average car



1,890 Tons of waste recycled instead of landfilled



670,192 Gallons of gasoline consumed



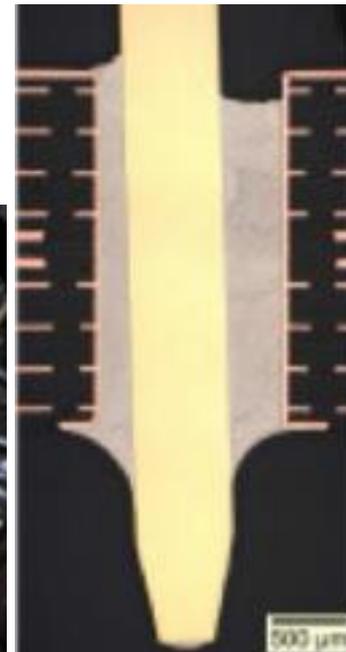
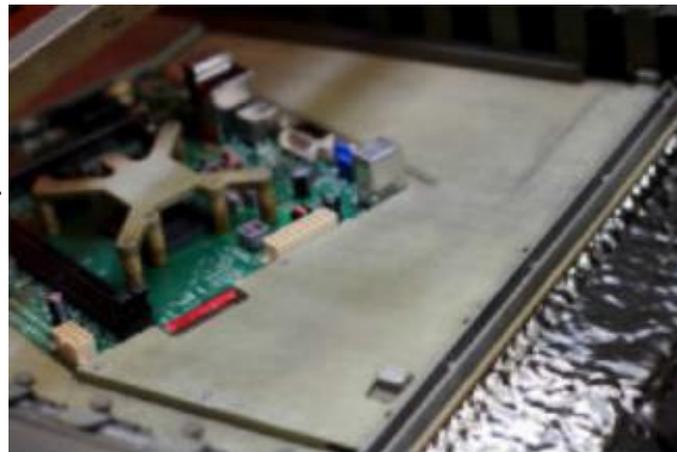
154,357 Tree seedlings grown for 10 years

1-3: Greenhouse gas emissions from
4: Carbon sequestered by
Source: EPA Greenhouse Gas Equivalencies Calculator

Lenovo

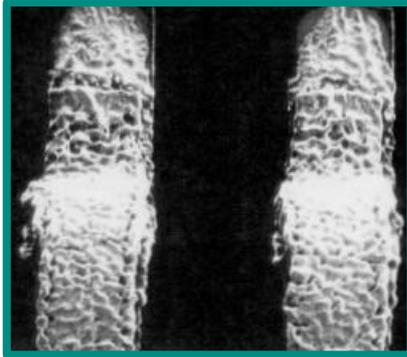
WELLENLÖTEN

- Wellenlöten in der Serie bei Fujitsu Technology Solutions Augsburg
- Bi57.6Sn42Ag0.4
- Tiegeltemperatur 180-190 °C
- Vorwärmtemperatur
Leiterplattenoberseite 125-130 °C
- Um Faktor 15 größeres Prozessfenster durch geringen Abstand von Leiterplatten- und Schmelztemperatur
- 50% höhere Produktivität
- 140 t CO₂ Einsparungen jährlich
- Weniger Krätze, Ausgasen, Fillet-Lifting, Kupferauflösung und sonstige thermische Schädigung durch niedrigere Prozesstemperaturen
- **ACHTUNG: Ausdehnung beim Erstarren berücksichtigen, um Maschinenschäden zu verhindern**

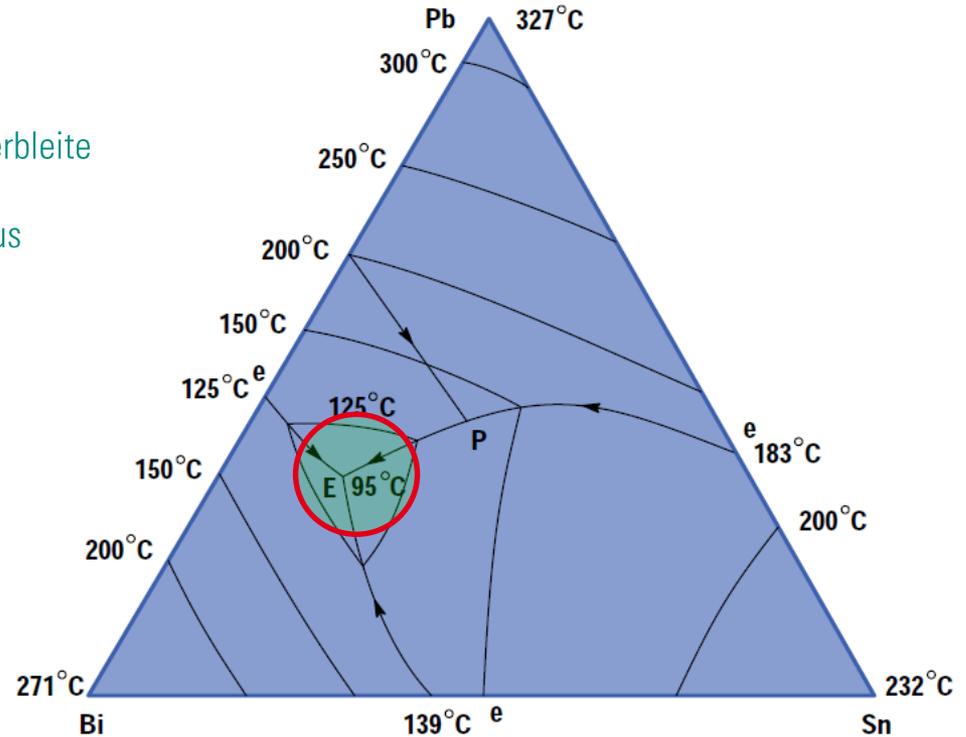


NiAu-Multilayer-
Leiterplatte
gelötet mit
BiSnAg

SNBI IN KOMBINATION MIT BLEIHALTIGEN MATERIALIEN



Mit SnBi gelötete verbleite Komponenten nach Thermowechselzyklus -45°C+100°C



	Sn	Cu	Ag	Bi	In	Sb	Ga	Pb	T_m	σ_y^*	σ_{TS}^*	E^*	ϵ_p^*	ϵ_s^*	N_f^*
AB	92	-	3.3	4.7	-	-	-	-	210-215	52	83	54	9	-	3850
AB+	91.5	-	3.3	4.7	-	-	-	0.5	210-216	57	79	40	4	-	2631
AB1	91.8	-	3.3	4.7	-	-	-	0.2	210-215	56	77	48	3	-	134
AB2	91.9	-	3.3	4.7	-	-	-	0.1	210-215	55	70	45	4	-	152
63/37	63	-	-	-	-	-	-	37	183	41	47	27	24	-	3650

T_m : melting temperature (°C); σ_y^* : 0.2% offset yield strength (MPa); σ_{TS}^* : tensile strength (MPa); E^* : Young's modulus (GPa); ϵ_p^* : plastic strain at fracture (%); ϵ_s^* : minimum strain rate at 20 MPa (s^{-1}); N_f^* : number of cycles-to-failure (50% load drop, 0.2% strain range).

SNBI IN KOMBINATION MIT BLEIHALTIGEN MATERIALIEN

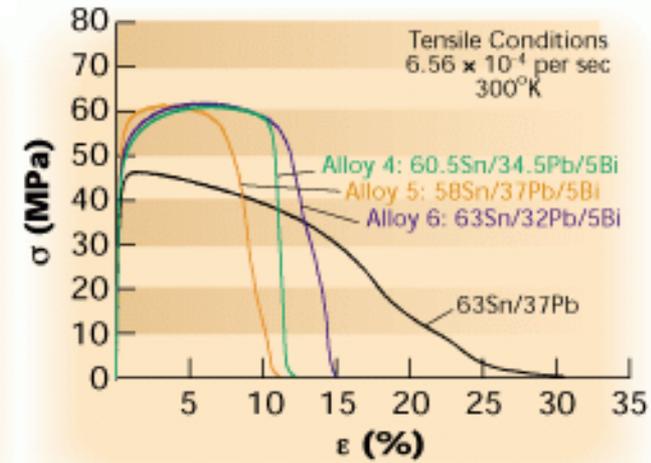
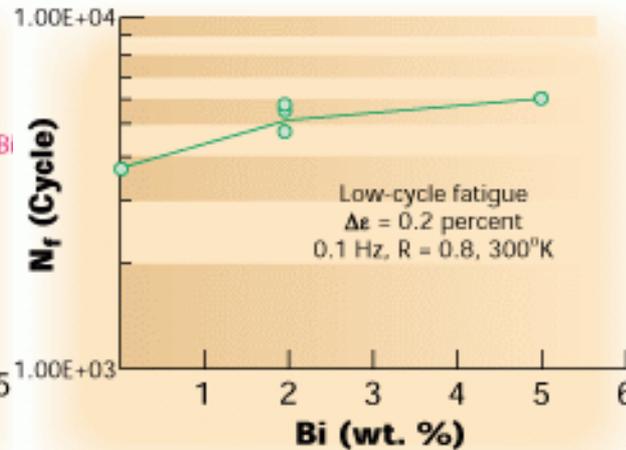
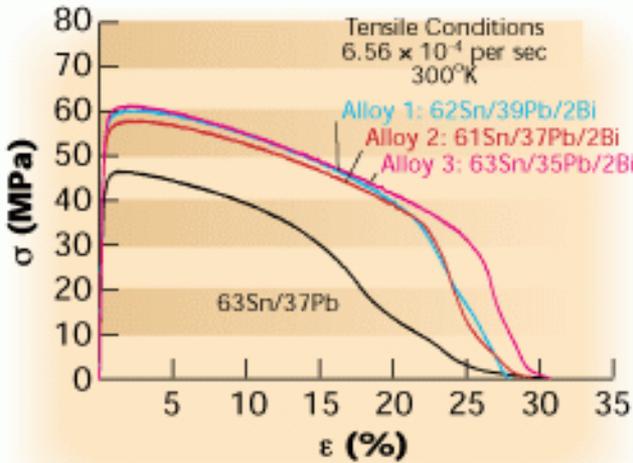


Figure 2. Tensile stress vs. strain curves at a strain rate of 6.56×10^{-4} per second and 300°K for alloy 1 (62Sn/39Pb/2Bi), alloy 2 (61Sn/37Pb/2Bi), alloy 3 (63Sn/35Pb/2Bi), and 63Sn/37Pb.

Figure 5. Bi effects on N_f for the Sn/Pb/Bi system at 58 to 63 percent Sn and 32 to 37 percent Pb.

Figure 3. Tensile stress vs. strain curves at a strain rate of 6.56×10^{-4} per second and 300°K for alloy 4 (60.5Sn/34.5Pb/5Bi), alloy 5 (58Sn/37Pb/5Bi), alloy 6 (63Sn/32Pb/5Bi), and 63Sn/37Pb.

EIGENSCHAFTEN: LOTAUSBREITUNG

Solder alloy (wt.%)	Spread factor (%) ^a			
	Cu-clad	Au–Ni plated	Ni plated	Solid Ni
Sn–52In	76	67	62	66
Sn–35In	73	82	48	67
Sn–58Bi	72	89	69	69
Sn–37Pb	91	86	99 +	81
Sn–40Pb	89	89	99 +	81
Sn–3.5Ag	71	80	74	72
100Sn	73	79	71	73
Sn–5Sb	66	78	68	68

^a Test conditions: temperature at 260°C, flux type RMA, hold time was 5 sec after solder perform melted.

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN (LOT/BULK)

TABLE 2 Comparison of the Bulk Properties of Solder Alloys

Properties	Sn-37Pb	Sn-57Bi	Sn-3.5Ag	Sn-5Sb	Sn-0.7Cu
Melting point (°C)	183	139	221	238	227
UTS (MPa)	31-46 [109] ^a	45-80 [24] ^a	55 [108] ^a	23-42 [107] ^a	31 [71] ^a
Elongation (%)	35-176 [109]	40-200 [24]	35 [108]	90-350 [107]	12 [71]
Shear strength (MPa)	28.4 [111]	48.3 [110]	32.1 [111]	31.8 [111]	
Hardness (HV)	12.9 [106]	20 [17]	17.9 [112]	17.2 [112]	14.4 [117]
Creep strength MPa) (75°C, 1000 hr)	2 [76]	—	11 [76]	—	3 [76]
Low cycle fatigue life (cycles)	16,000 [93]	8,500 [93]	—	6,300 [93]	—
Cu dissolution (µm/min)	0.085 [23]	0.055 [23]	> 0.2 [23]	> 0.2 [23]	—
Elec. resistivity (µΩ cm)	17.0 [112]	30-35 [117]	7.7 [112]	17.1 [112]	10-15 [118]
Elastic modulus (GPa)	29 [104]	35 [105]	37 [104]	58 [116]	—

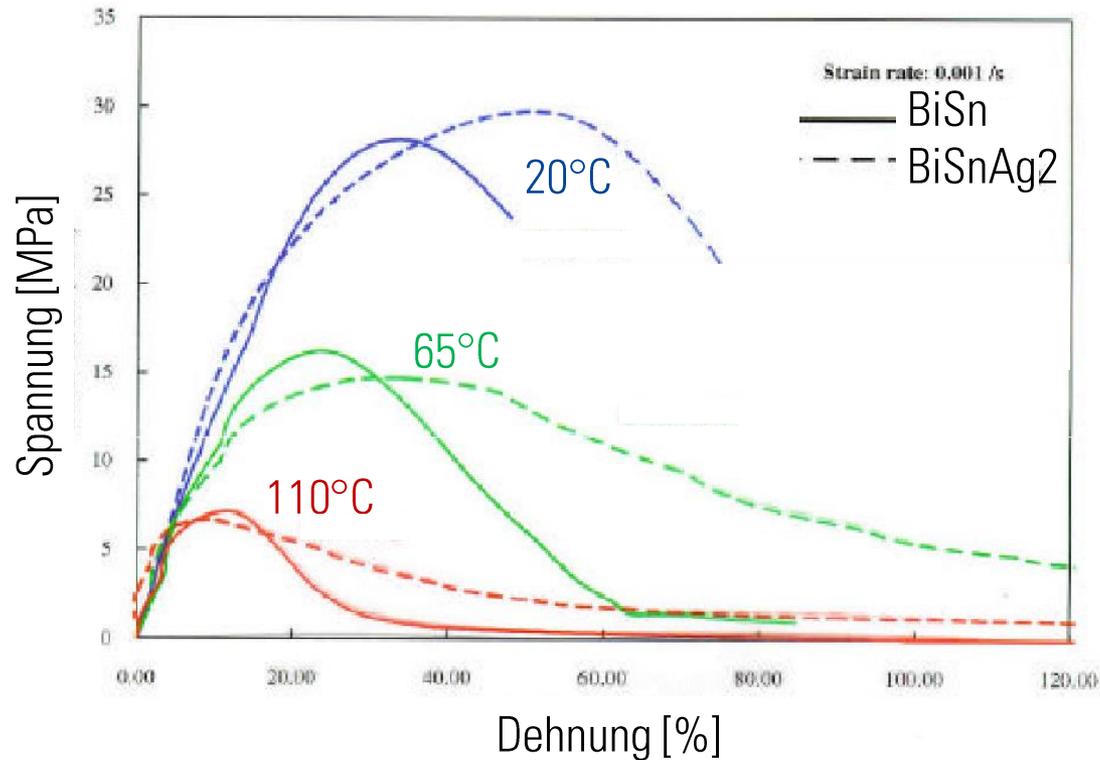
MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN

TABLE 3 Shear Strength of Solder Joints to Copper Substrate

Solder alloy (wt.%)	Strain rate (mm/min)	Shear strength (MPa)	Elongation (%)	Reference
Sn-57Bi	0.05	25.3	4.8	[113]
Sn-58Bi	0.10	46.2	—	[115]
Sn-57Bi	50.0	19.6	3.2	[113]
60Sn-40Pb	50.0	18.0	—	[114]
63Sn-37Pb	0.10	32.7	—	[115]
Sn-3.5Ag	0.05	26.8	10.2	[113]
Sn-3.65Ag	0.10	37.2	—	[115]
Sn-3.5Ag	50.0	36.8	7.8	[113]
Sn-5Sb	0.05	21.8	5.7	[113]
Sn-5Sb	0.10	31.6	—	[115]
Sn-5Sb	50.0	29.6	7.2	[113]
Sn-0.7Cu	0.10	27.0	—	[115]
Sn-9Zn	0.10	28.8	—	[115]
Sn-3.8Ag-0.7Cu	0.10	35.1	—	[115]

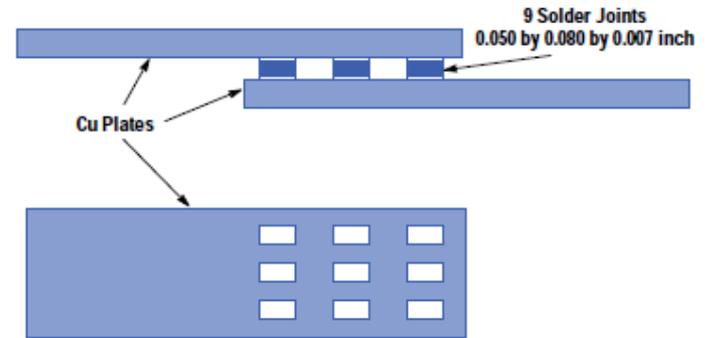
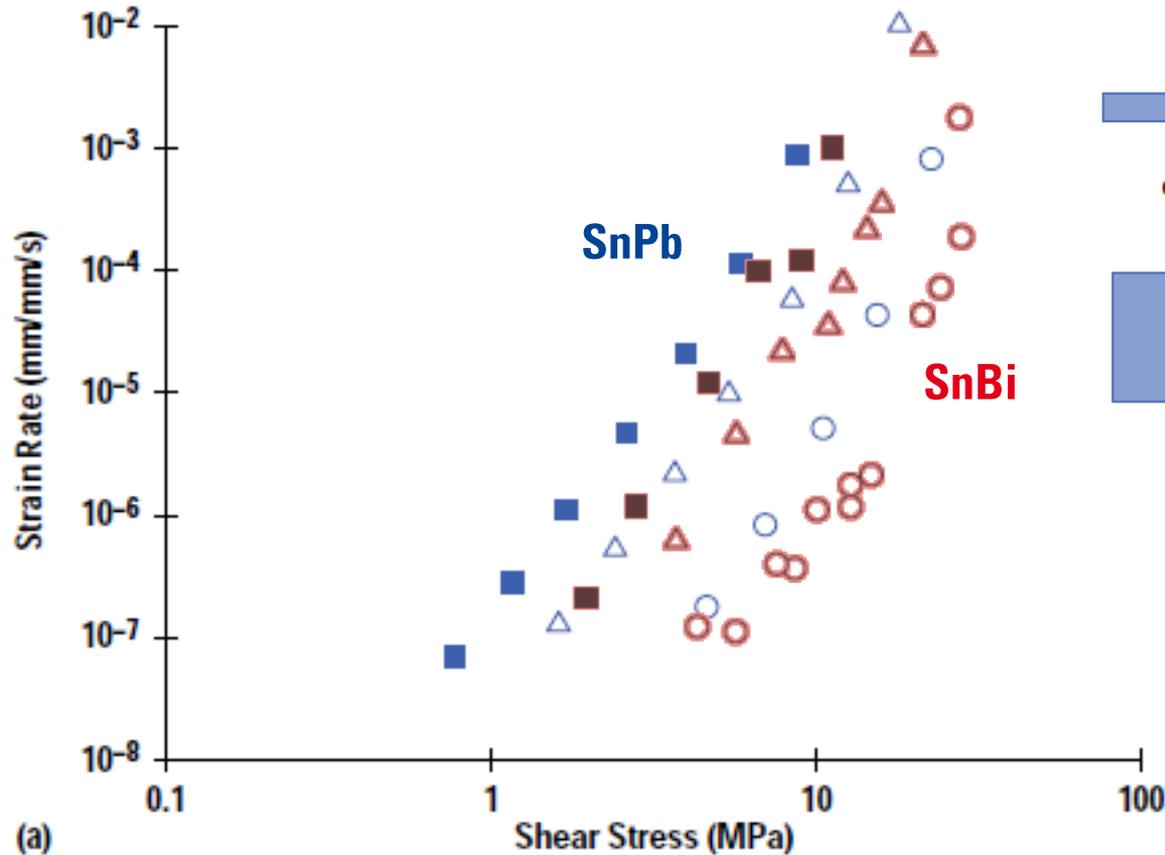
MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN

- Erhöhung der Duktilität bei Raumtemperatur durch Ag

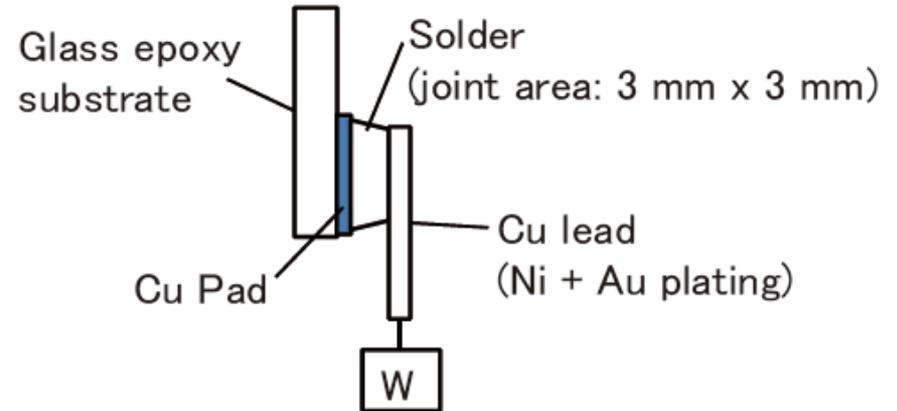
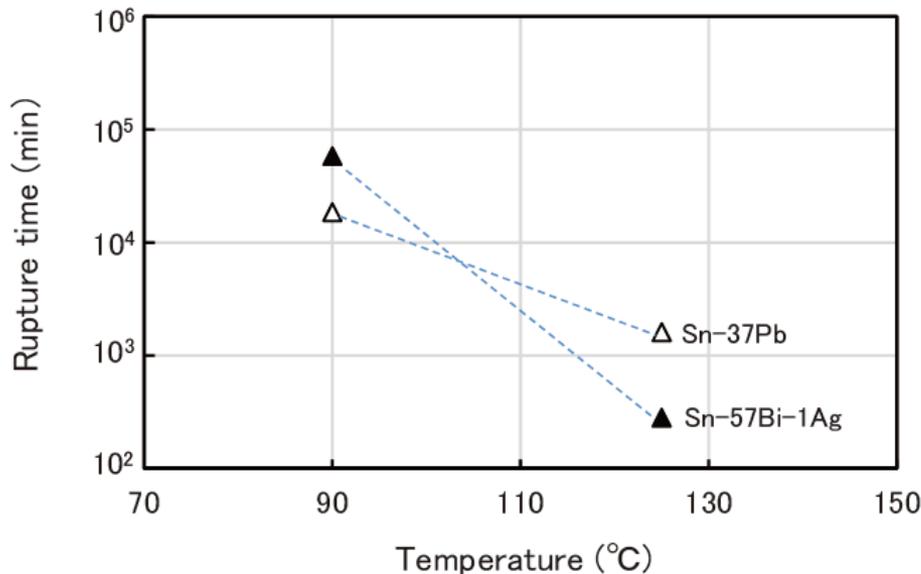
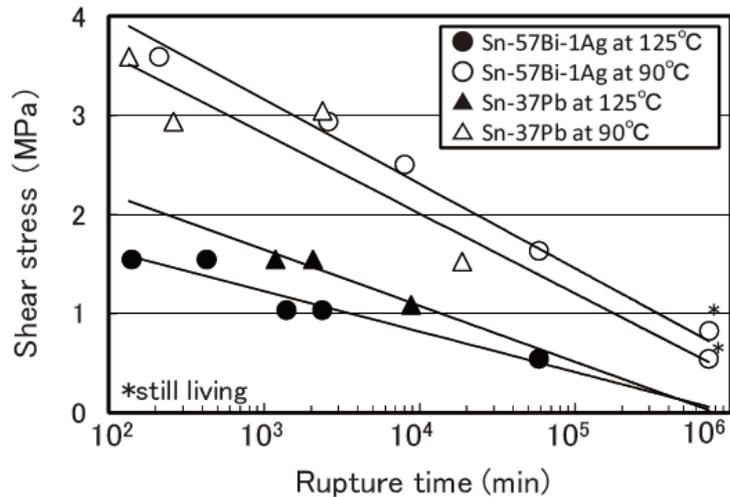


KRIECHEN

- Höhere Kriechfestigkeit von SnBi als SnPb bei 20°C, 65°C und 90°C



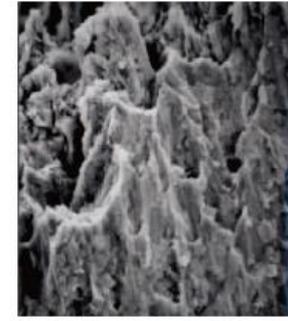
KRIECHEN



(1) Sn-57Bi-1Ag



(2) Sn-37Pb

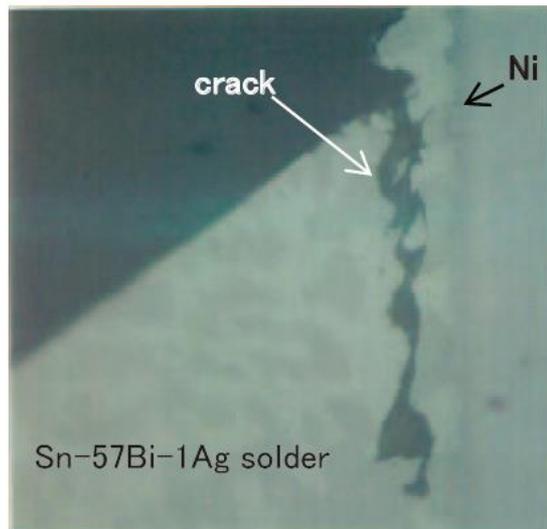
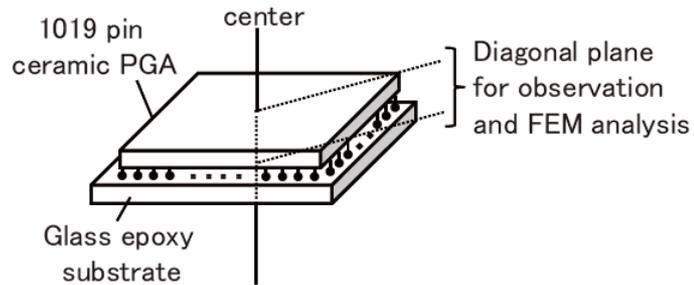


10 μ m

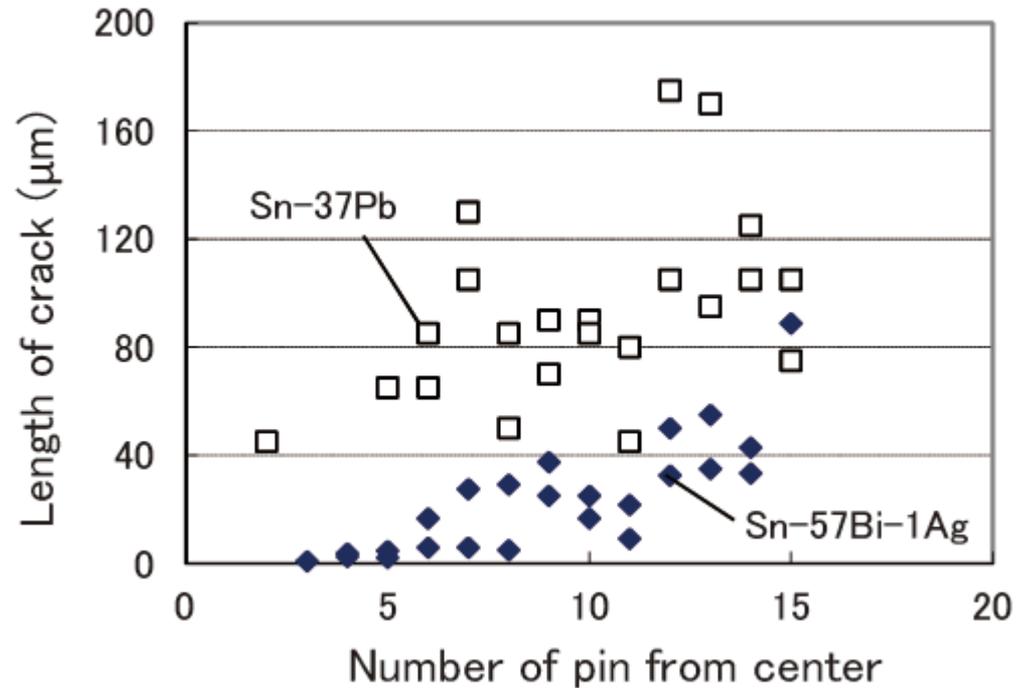
**Bis ca. 100 °C höhere
Kriechfestigkeit von
SnBiAg als SnPb**

ZUVERLÄSSIGKEIT: THERMOWECHSEL

- 1000 Thermowechselzyklen 0-90 °C
- Kürzere Risslängen bei SnBiAg als bei SnPb

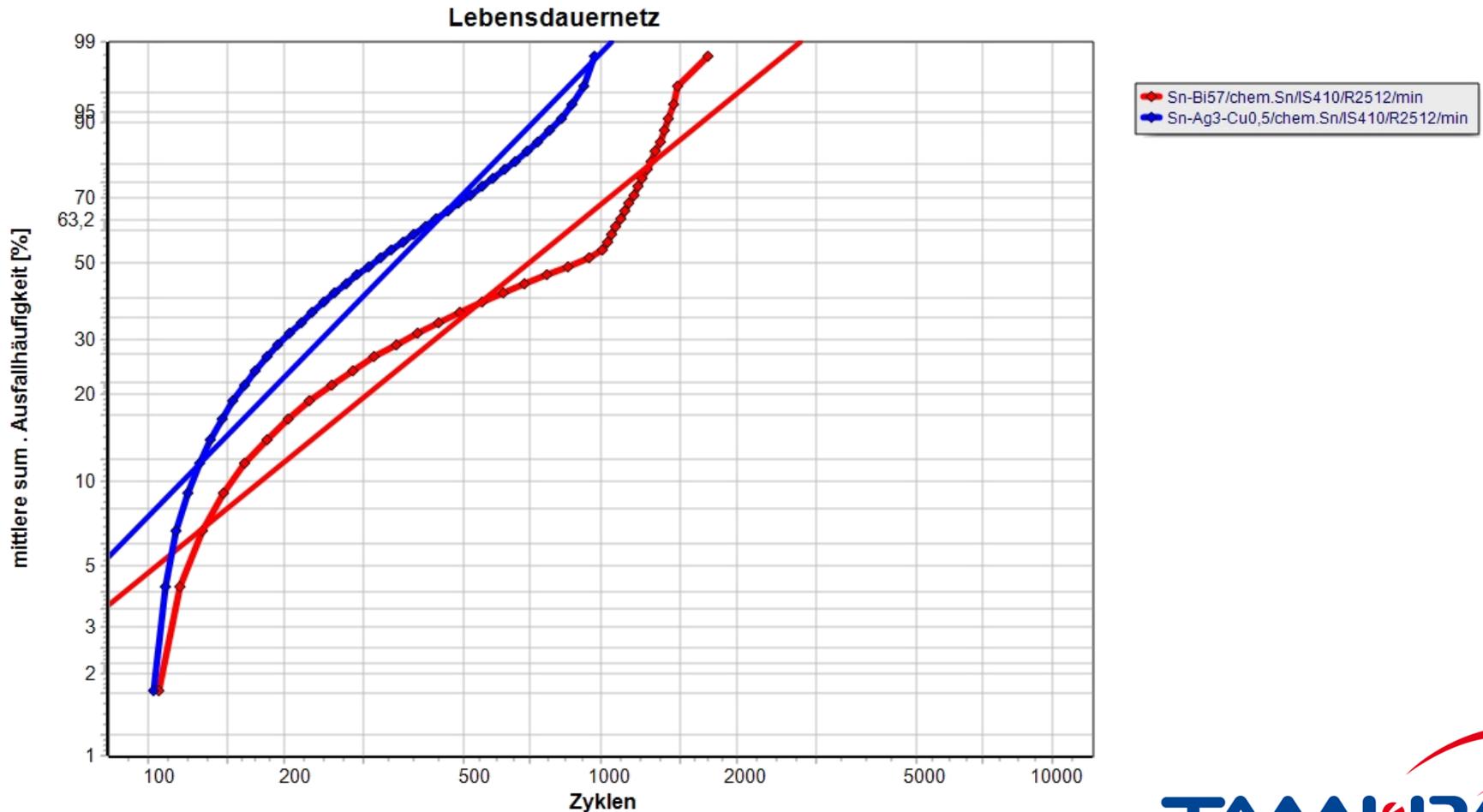


25 μm



ZUVERLÄSSIGKEIT: THERMOWECHSEL

- Thermozyklus $-55^{\circ}\text{C} + 125^{\circ}\text{C}$, Haltezeit je 30 min, Wechsel in < 10 sek
- Längere Lebensdauer bei SnBi als bei SAC305



ZUVERLÄSSIGKEIT: THERMOWECHSEL

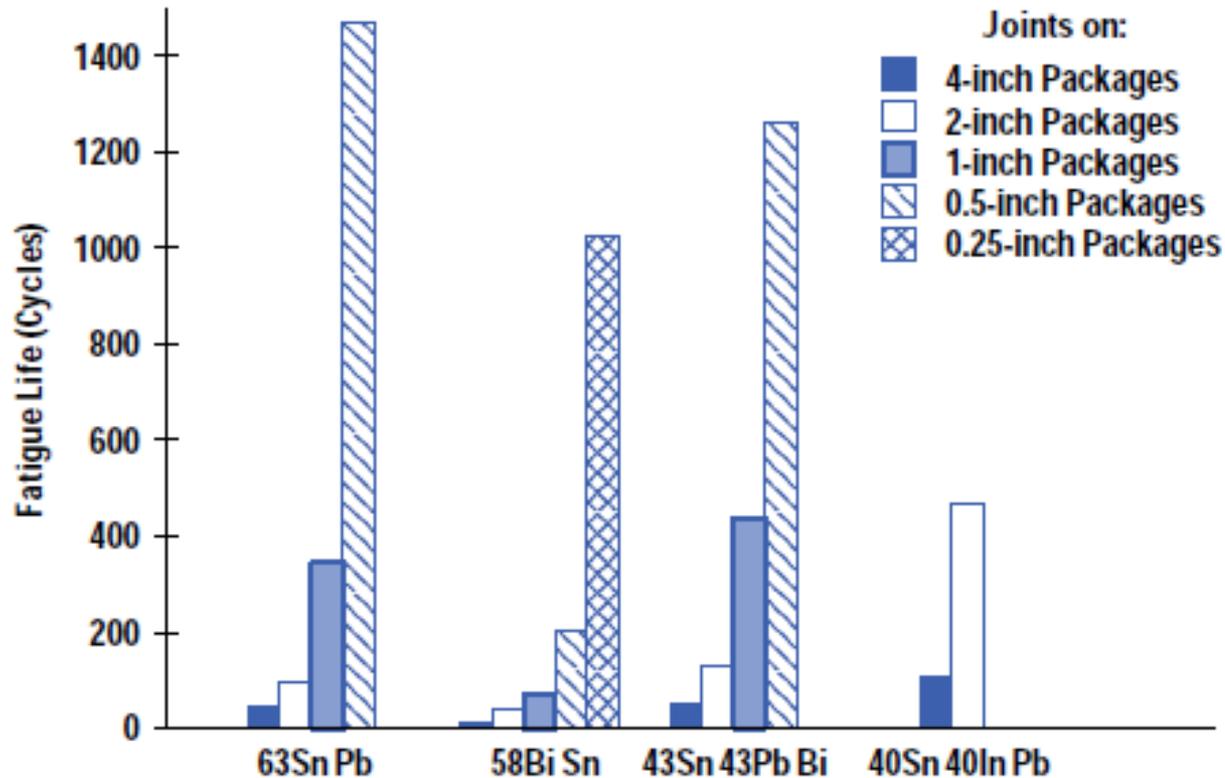
Solder alloy (wt.%)	Thermal cycles ^a					
	1	25	50	75	100	150 ^b
Sn-52In	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
Sn-58Bi	0.0	100	100	100	100	100
Sn-35In	8.3	91.6	100	100	100	100
Sn-37Pb	0.0	100	100	100	100	100
Sn-3.5Ag	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100Sn	0.0	0.0	18.2	27.3	27.3	27.3
Sn-5Sb	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

^a Test conditions: temperature cycling between -54°C and 75°C , soak time of 2 hr in each chamber.

^b Thermal fatigue failure rate (in percent) was determined by detecting a 360° crack around the solder fillet at a magnification of $40\times$ at the first cycle and every 25 cycles thereafter.

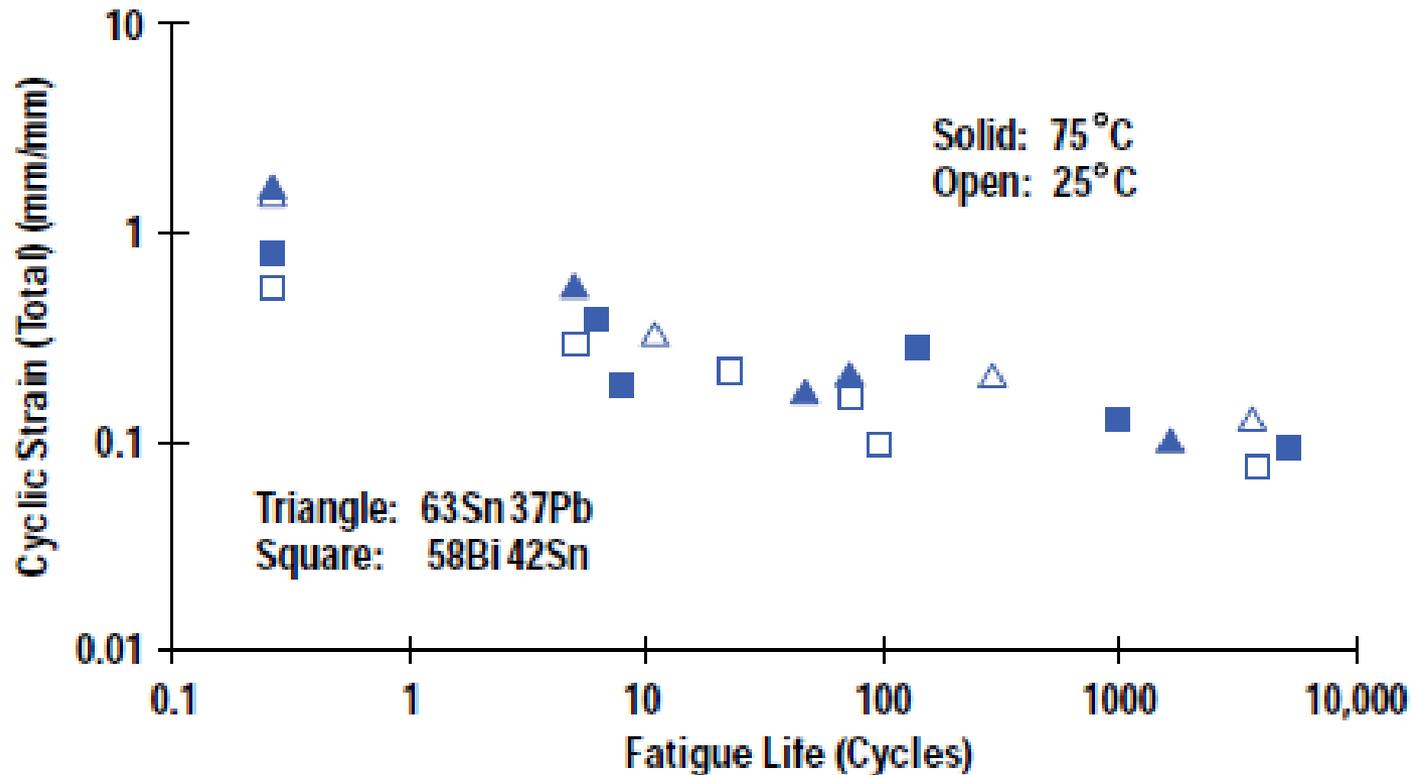
ZUVERLÄSSIGKEIT: THERMOWECHSEL

- Thermozyklus $-20^{\circ}\text{C} + 110^{\circ}\text{C}$
- Kürzere Lebensdauer bei SnBi als bei SnPb



ZUVERLÄSSIGKEIT: MECHANISCHE ERMÜDUNG

- Ähnliches Verhalten von SnBi und SnPb



ZUVERLÄSSIGKEIT: MECHANISCHE ERMÜDUNG

- Konkurrenzfähigere Eigenschaften von SnBi tendenziell bei höheren Temperaturen (bis 100°C), geringere Dehnungsamplituden und schnellere Belastungen

TABLE 5 Fatigue Life Comparison of Lap Shear Joints of Several Solder Materials

Solder alloy (wt.%)	Cycles to failure as a function of percent shear strain, frequency, and temperature ^a								
	1/15 CPM at 25°C			5 CPM at 25°C			5 CPM at 100°C		
Frequency									
Strain	20%	8.0%	3.0%	20%	8.0%	3.0%	20%	8.0%	3.0%
Sn-52In	200	1,800	17,000	130	300	6,700	700	150,000	—
Sn-58Bi	1.6	110	8,500	3.3	100	6,300	9.3	250	8,500
Sn-37Pb	30	630	16,000	13	180	3,000	13	160	1,900
Sn-5Sb	65	600	6,300	28	290	3,600	15	200	3,000

ZUSAMMENFASSUNG

- Verarbeitung insbesondere als Paste im Reflow, Wellenlötprozesse mit Einschränkungen möglich, Lötdraht nicht möglich
- Abhängig von genauen Bedingungen, bis 100°C (bzw. je nach Studie max. 125°C) durchaus gutes und zuverlässiges mechanisches Verhalten von BiSn Loten, besser noch BiSnAg
- Deutliche Reduktion von
 - Energieverbrauch/CO₂-Emissionen
 - Thermischer Schädigung/Verzug