

Bleifreie Lote mit oder ohne Silber?



Bilder 1 und 2: Stark steigende Börsennotierungen für Zinn und Silber

Nahezu 15 Jahre sind seit der Umstellung auf die RoHS-konforme Elektronikproduktion vergangen. Ausreichend Zeit, um sich mit den Eigenschaften bleifreier Lote vertraut zu machen und individuell dem eigenen Lötprozess entsprechend anzupassen. Erhöhte Prozesstemperaturen, Einbußen bei Benetzung und Durchstieg, erhöhte Metallablegierung galten u.a. als „Nebenwirkungen“ dieser gesetzlich vorgeschriebenen Technologieumstellung. Neben den weit verbreiteten silberhaltigen Legierungen SAC305 und SAC387 und der Zinn-Kupfer-Legierung Sn99Cu1 (Sn99,3Cu0,7) haben dotierte Varianten wie z.B. „Sn100Ni+“, „Sn99Ag+“ oder „Sn100403C“ die Auswahl an bleifreien Lotes stark erweitert. Zugaben von Nickel, Kobalt, Germanium, Wismut, Indium etc. in ppm-Höhe beeinflussen Fließverhalten, Oxidbildung und Viskosität des schmelzflüssigen Lotes. Einige dieser „Dotierungen“ gelten als „Glanzbildner“, andere machen den Einsatz von Schutzgas in Wellen- und Selektivlötanlagen nahezu überflüssig oder verlängern die Standzeiten von Anlagenteilen (Wellendüsen, Lotpumpen). Im Verlauf der letzten 6 Monate haben die stark steigenden Börsennotierungen für Zinn und Silber (Bilder 1 und 2) eine weitere Diskussion angeregt. Insbesondere Silber hat sich, im Ver-

gleich zum Jahresdurchschnitt, in den letzten 3 Monaten um ca. 65 % verteuert! Jedes Prozent Silber im Lot kostet aktuell ca. 8 € / kg.

Wie viel Silber braucht das Lot?

Die Eigenschaften silberfreier SnCu- sowie hoch silberhaltiger SAC305- bzw. SAC387-Lote sind seit dem Beginn des neuen Jahrtausends in zahlreichen Veröffentlichungen ausgiebig beschrieben worden. Anfang 2005 wurde das niedrig silberhaltige, bleifreie Lot „SACX0307“ (SnAg0,3Cu0,7BiX - 217-227°C) vorgestellt. Bereits im November 2005 berichtete „Intel“ in seinem „Technology Journal“, Volume 09, Issue 04, CASE STUDY 3: „SAC OPTIMIZATION“ [1] von Vergleichstests zwischen SAC305 (217-220°C) und SAC105 bzw. SAC105Ni (217-226°C). In diesen Tests wies SAC105 mit nur 1 % Silberanteil den niedrigsten E-Modul-Wert aller getesteten SAC-Lotes auf (Tabelle 1).

Zusätzlich konnte durch die Zugabe von Nickel die Ausprägung der intermetallischen Phase positiv beeinflusst, sowie das Wachstum einer spröden Phase unterdrückt werden (Bilder 3a/b). Diesen Effekt konnte man auf allen gängigen Oberflächen auf Kupferbasis beobachten. Diese Cu₃Sn-(Spröd)-Phase bildet sich bei Alterung bzw. nach Mehrfachlötungen auf der kupfernahen Seite der Cu₆Sn₅-Phase und

ist sehr schockempfindlich. Daraus lässt sich folgern, dass eine gleichmäßige Cu₆Sn₅-Phase zwar für die Grenzflächenanbindung unumgänglich ist, die Bildung einer Cu₃Sn-Phase möglichst gering gehalten werden sollte um die Zuverlässigkeit der Lötstelle zu optimieren.

JEITA-Report: „The 2nd generation lead free wave alloys“

Wie bereits erwähnt erlangen diese „Low-SAC“-Lotes seit kurzem wieder mehr Aufmerksamkeit, obwohl diese bereits seit 2005 erfolgreich eingesetzt werden. „Low-SAC-Lotes“ werden als bleifreie Lotes der 2. Generation bezeichnet. Der „Lead-free activity report“ [2] der JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association) vom 28. Februar 2007 beschreibt ein Forschungsprojekt das diverse niedrig silberhaltige bleifreie Lotes auf folgende Eigenschaften beurteilt hat:

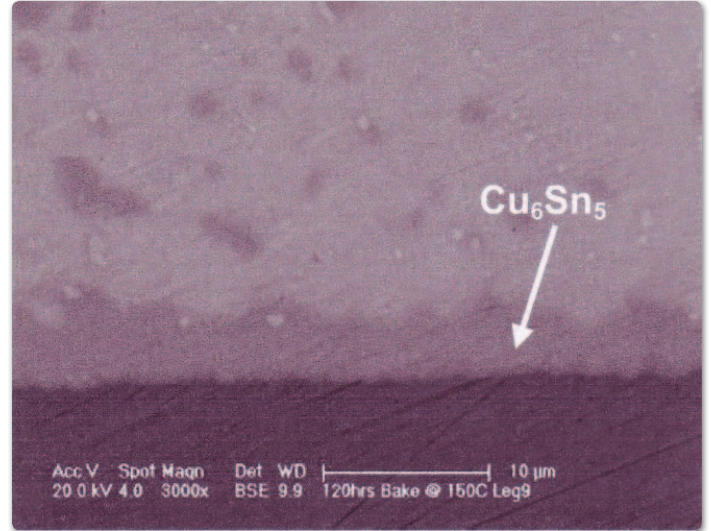
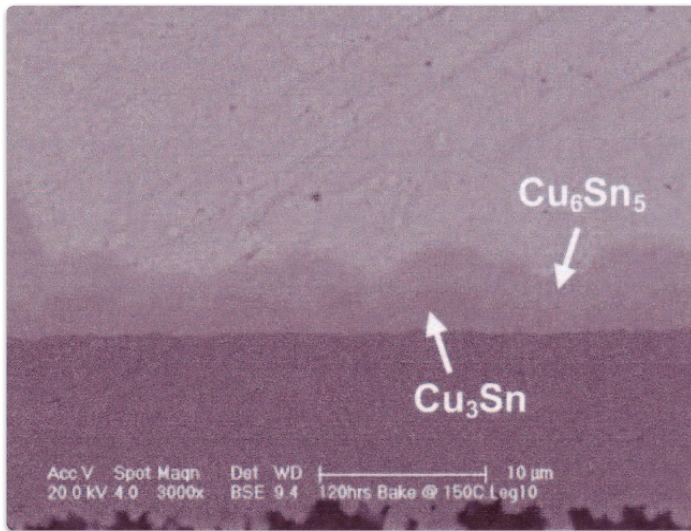
1. Benetzung
2. Durchstieg
3. Kupferablegierung
4. Temperaturwechselbeständigkeit (Tabelle 2)
5. Oberflächenspannung
6. Kriechfestigkeit
7. Ausbreitung

Hier sollen ausschließlich die Ergebnisse der Temperaturwechseltests genauer betrachtet werden,

Alloy	SAC405	SAC305	SAC105	Sn63Pb37
E [GPa]	53.3	51.0	47.0	40.2

Tabelle 1

Autor:
Udo Grimmer-Herklotz,
FELDER GMBH
www.felder.de



Bilder 3a/b: Zugabe von Nickel beeinflusst die Ausprägung der intermetallischen Phase positiv, das Wachstum einer spröden Phase wird unterdrückt

da diese das abschließende Ranking in besonderem Maße beeinflusst haben (Tabelle 2).

Auch in dieser Darstellung (Bild 4) zeigt sich eindeutig der positive Einfluss von Nickeldotierungen. Im Vergleich Sn99Cu1 und Sn99CuNi0,05 ergibt sich eine Erhöhung der Thermo-Zyklen-Anzahl um 40 (+14 %).

Fazit (Auszug aus o.g. Jeita-Report)

SAC0307: Auch in diesem JEITA-Report bestätigte sich

der positive Einfluss von Silber auf die Benetzungseigenschaft der getesteten Lote. Die offensichtlich reduzierte Benetzungsleistung von SAC0307 erfordert eine erhöhte Löttemperatur im Vergleich zu SAC305... Löttemperaturschwankungen in den Wellenlötanlagen bis max. ±2.5 °C werden toleriert. Die reduzierte Temperaturwechselbeständigkeit ist individuell zu beurteilen. Die Benetzung ist zwar messbar besser als bei SnCu, ein 100 %iger Durch-

stieg ist allerdings nur begrenzt erreichbar.

SAC107 ist aufgrund seiner Ausgewogenheit von der Benetzung und der Temperaturwechselbeständigkeit nahezu auf SAC305-Niveau. Aufgrund der reduzierten Dichte im Vergleich zu SAC 305 sind geringfügige Änderungen der Lötparameter (Wellenhöhe, Lötwinkel) erforderlich.

Im abschließenden Ranking belegte die Legierung SAC107 den ersten Platz vor SAC0307.

Getestete Dotierungen

Neben der Beurteilung des Silbergehaltes wurden auch Einflüsse von Dotierungen überprüft.

Hierbei wurde Nickel (getestete Dotierung lag bei 0,05 %) zur Reduzierung der Kupferablegierung empfohlen. Kobalt reduzierte zwar ebenfalls die Ablegierung von Kupfer, wirkte sich aber negativ auf die Benetzung und den Durchstieg aus.

Benetzung

Da Germanium bei diesen beiden Projekten nicht zu den Probanden

Nr.	Legierungsbestandteile					Thermo-Zyklen bis zum Erreichen einer Fehlerrate von 1%
	Sn	Cu	Ag	Bi	Ni	
1	Rest	0,5	3			450
2	Rest	0,7				280
3	Rest	0,7	0,3			320
4	Rest	0,7	0,5			290
5	Rest	0,7	1			400
6	Rest	0,7	1	1		320
7	Rest	0,7	0,3	0,1		250
8	Rest	0,7	0,3	1		320
9	Rest	0,7			0,03	270
10	Rest	0,7			0,05	320

Tabelle 2

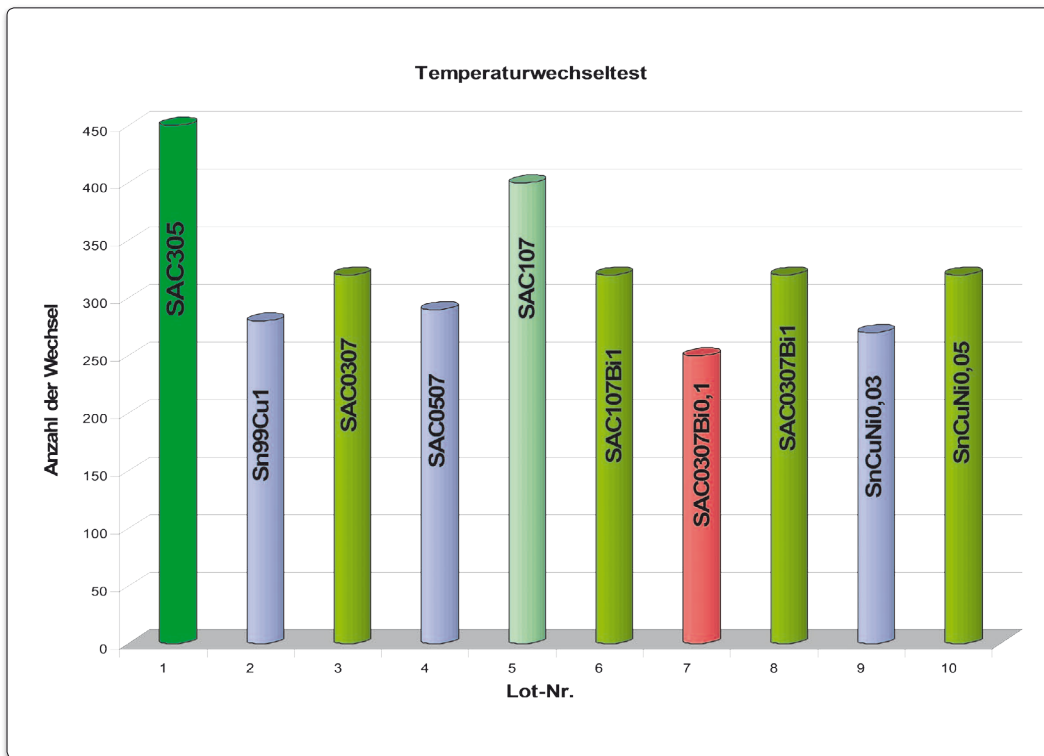


Bild 4: Positiver Einfluss von Nickeldotierungen

zählte, wurden von der Fuji Electric Co., Ltd. und der FELDER GMBH weitere Benetzungsuntersuchungen an diversen SAC- und 5-Stofflegierungen (SACNiGe) durchgeführt.

Bild 5 zeigt den Einfluss von Silber auf die Benetzungszeit. Bei diesen Benetzungstests konnte eine Reduzierung der Benetzungszeit zwischen Loten mit 0% Ag und 1,2 % Ag um 50 % festgestellt werden. Zwischen 1,2 % Ag-Anteil und 3,5 % Ag-Anteil lag der Reduzierungsfaktor noch bei ca. 7 %!

Benetzungskraft

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die Benetzungskraft diverser bleifreier Lotlegierungen untersucht. Auch hier konnte sich Sn98Ag+ hervorheben. Im direkten Vergleich von Sn98Ag+ und SAC305 zeigt sich der positive Einfluss der Germaniumdotierung auf die Benetzungskraft. Die Benetzungskurven (Bild 6a/b) beider Lote sind trotz des reduzierten Silbergehaltes im Sn98Ag+ (Sn98Ag1,2Cu0,7NiGe) nahezu identisch.

Pro und Kontra

Auf Basis dieser Informationen, sowie der in den letzten Jahren erworbenen Erfahrungen im Umgang mit diversen bleifreien Lotlegierungen haben wir die Vor- und

Nachteile einzelner bleifreier Lote wie folgt aufgeführt:

Sn99,25Cu0,7Ni0,05Ge (Sn100Ni+, Sn100403C)

Zinn-Kupfer-Lote mit NiGe-Dotierung

Pro

- preisgünstig
- hohes Erfahrungspotential
- geringe Krätzbildung
- reduzierte Kupferablegierung
- Einsetzbar in „alten“ Lötanlagen

Kontra

- relativ hohe Löttemperatur (bis zu 275°C!)
- geringe Ausbreitung
- begrenzter Durchstieg
- Schmelzbereich (10 K) 217°C – 227 °C

Fazit

Hier herrscht Handlungsbedarf! Wellenlöttemperaturen über 260°C stehen im Widerspruch zu den maximalen thermischen Belastbarkeiten diverser elektronischer Bauteile! Zwar werden Durchstiege ab 75 %igem Füllgrad laut IPC-A-610D für die Klassen 1-3 als zulässig klassifiziert, die Praxis lässt eine solche Einstufung aber nur begrenzt zu!

SAC305 / SAC387

Nicht dotierte Zinn-Silber-Kupfer-Lote

Pro

- niedrige Löttemperatur (ab 255°C)
- hohes Erfahrungspotential
- guter Durchstieg
- gute Benetzung

Kontra

- hohe Lotkosten (+4,00 EUR/kg Lot je % Ag-Anteil)

- in der Regel Schutzgas erforderlich
- hoher Kupferabtrag
- matte Lötstellen (SAC305)

Fazit

Auch hier herrscht Handlungsbedarf! Hohe Lot- und Fertigungskosten stehen im Widerspruch zum vorherrschenden Preisdumping in der Elektronikfertigung. Insbesondere beim Selektivlöten werden aufgrund der höheren Prozesstemperaturen Metallisierungen (Cu, Ni, Au) stärker abgetragen die sich im Lötbad als Verunreinigungen anreichern. Dies ist nur mit regelmäßigem, kostenintensivem Lotaustausch zu korrigieren!

Sn99Cu0,7Ag0,3NiGe (Sn99Ag+)

Dotierte „Low-SAC“-Legierung mit 0,3%igem Silberanteil

Pro

- moderate Löttemperatur (260-265°C)
- Durchstieg besser als SnCu
- meist kein Schutzgas erforderlich
- ca. 40% günstiger als SAC387

Kontra

- Schmelzbereich (10K) 217°C - 227°C
- matte Lötstellen

Fazit

Ein preisgünstiges, bleifreies Lot mit guten Benetzungseigenschaften. Der Durchstieg kann mit diesem Lot um bis zu 15 % verbessert werden.

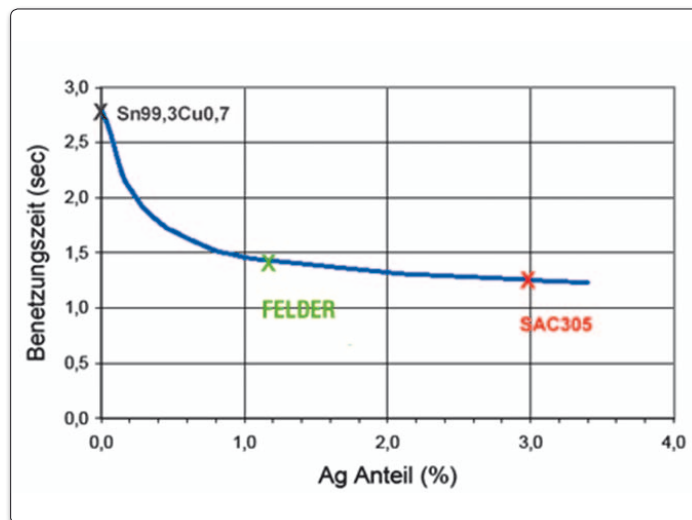


Bild 5: Einfluss von Silber auf die Benetzungszeit bleifreier Lote

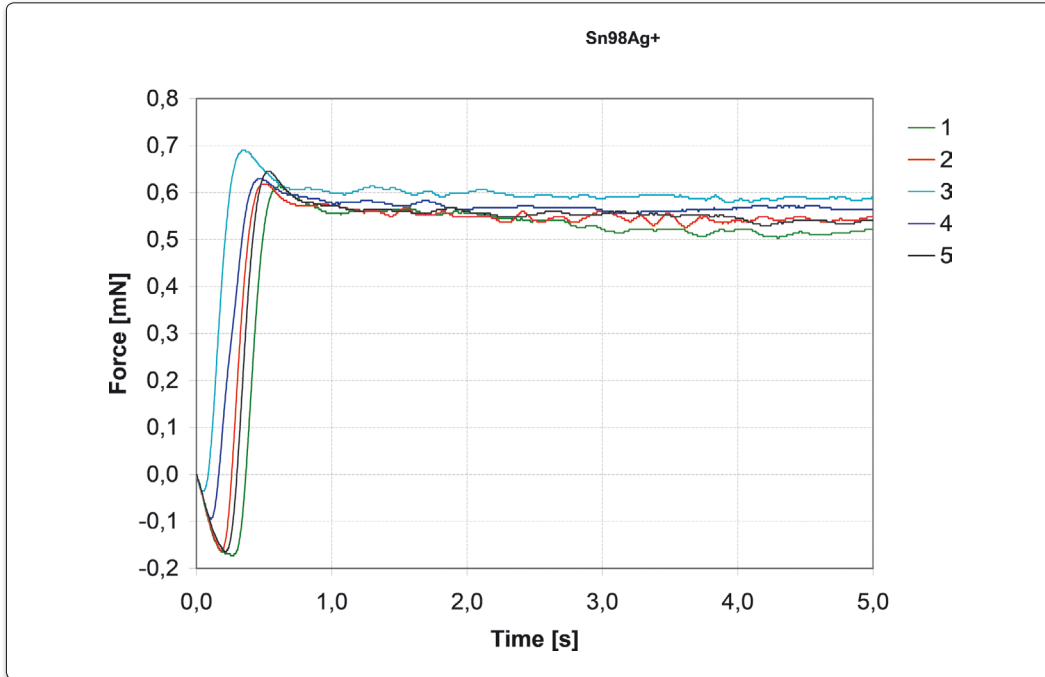


Bild 6: Benetzungstest Sn98Ag+® (Sn98Ag1,2Cu0,7NiGe)

Sn98Ag1,2Cu0,7NiGe (Sn98Ag+)

Dotierte „Low-SAC-Legierung“ mit 1,2 %igem Silberanteil

Pro

- Löttemperatur analog SAC305
- Benetzung analog SAC305
- Durchstieg bis 100 % erreichbar
- kein Schutzgas erforderlich
- ca. 25 %ige Lotkostenreduzierung

Kontra

- matte Lötstellen

Fazit

Bleifreies Lot mit hervorragendem Preis-Leistungs-Verhältnis! Dieses Lot steht dem wesentlich teureren SAC305/SAC387 in nichts nach. Im Gegenteil: die Werte von Benetzung, Löttemperatur, Durchstieg und Zuverlässigkeit sind gleichwertig und besser!

Umstellung von bestehenden Lötbädern

Der Umstieg auf ein „neues“ Lot ist natürlich mit praktischem Aufwand verbunden. Es ist allerdings in der Regel nicht erforderlich das komplette Lotbad auszutauschen. Eine Umstellung von SAC305 auf z.B. SnAg98+ macht eine Reduzierung des Silbergehaltes erforderlich. In diesem Fall wird nur ein

Teil des vorhandenen Lotbades entnommen und durch spezielle Upgrade-Legierungen ersetzt (Aufwand max. 1/2 Arbeitstag). Eine im Vorfeld der Umstellung genommene Lotbadprobe informiert über den Ist-Zustand der Legierung. Bezogen auf das Badvolumen werden dann Ni- und Ge-Konzentrate dem Bad zugegeben. Nach wenigen Minuten haben sich die neuen Bestandteile

bei laufenden Pumpen gleichmäßig im Lotbad verteilt und sind nun nutzbar. Sicherheitshalber wird empfohlen umgehend eine weitere Lotbadprobe durchzuführen um die Lot-Umstellung zu überprüfen.

Entsprechend der neuen Legierung können nun auch die neuen Parameter wie Tiegeltemperatur, Transportgeschwindigkeit, Pumpenleistung, soweit erforderlich, verän-

dert werden sowie die Schutzgaszufuhr reduziert oder vollständig eingestellt werden.

Zusammenfassung

Die bleihaltige Löttechnik hat sich über einen Zeitraum mehrerer 100 Jahre entwickelt. Die Lote die heute noch in der Elektronikfertigung eingesetzt werden sind das Ergebnis jahrzehntelanger Forschung und Entwicklung. Ähnlich sehen wir die Zukunft der bleifreien Löttechnik. Die Anforderungen der Elektronik bezüglich Miniaturisierung, Packungsdichte, Leistungssteigerung, Kostenreduzierung usw. werden ständig weitere Entwicklungen bei den Löttechnologien erforderlich machen. Ein „Technologiestau“ ist kostenintensiv und führt langfristig zum Verlust der Wettbewerbsfähigkeit. Kleine (Fort-)Schritte sind leicht umzusetzen und meist nur mit sehr geringen Kosten verbunden. Grundsätzlich sollte jede Verbesserungsmöglichkeit genutzt werden.

Literatur

[1] „Technology Journal“, Volume 09, Issue 04, CASE STUDY 3: „SAC OPTIMIZATION“, 09.11.2005, INTEL Corporation.

[2] „Lead-free activity report“, 28.02.2007, JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association) ◀

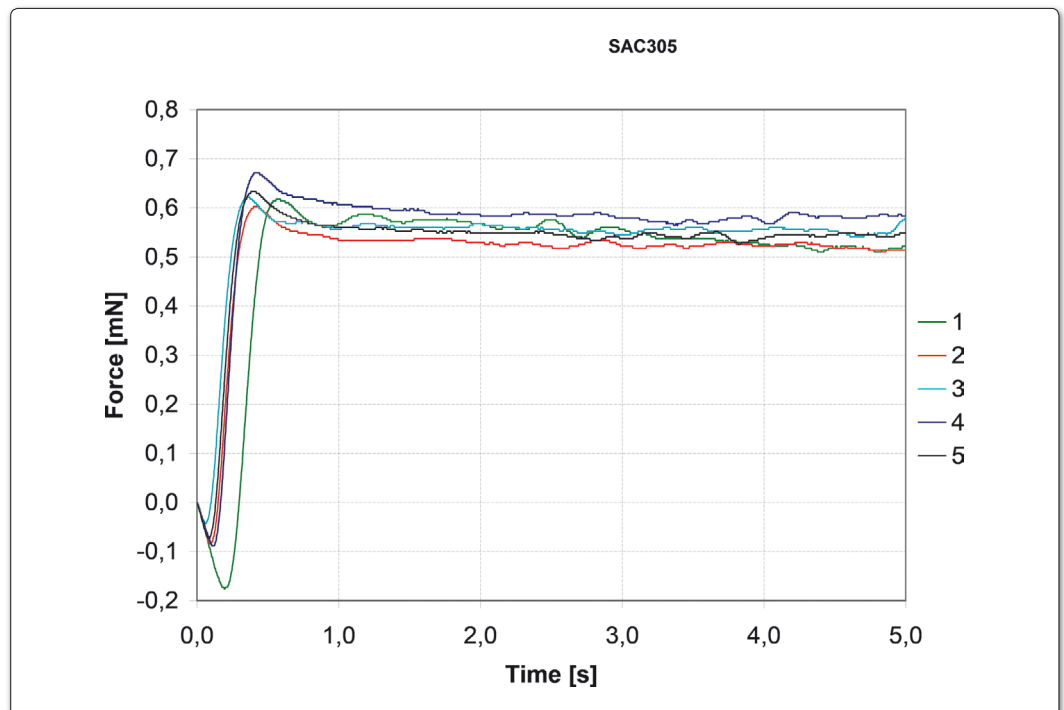


Bild 7: Benetzungstest SAC305