

Schlussbericht zum 12.02.2026

Titel des Verbundprojektes:

**Central Car Server – Supercomputing für Automotive – Mannheim
CeCaS**

Kurzbezeichnung (Akronym):

CeCaS

Teilvorhaben:

**Robuste Aufbau- und Verbindungstechnik für die
Hochleistungsbauteile der Central Car Server**

ZE: HELLA GmbH & Co. KGaA

Kontakt:

HELLA GmbH & Co. KGaA
Beckumer Straße 130
59555 Lippstadt / Germany
Dr.-Ing. Petrik Lange
Telefon: 02941 38 8267
Email: petrik.lange@forvia.com

Förderkennzeichen: 16EM0806

Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2022 bis 30.11.2025

Inhaltsverzeichnis

Kurzbericht CeCaS – Teilvorhaben HELLA	4
1 Ziele des Teilvorhabens	6
2 Projektplanung und durchgeführte Arbeiten	6
2.1 Erste Versuche mit Serienbaugruppen	7
2.2 Fortsetzung der Versuche mit Serienbaugruppen	8
2.3 Testboardentwicklung (für Hochleistungskomponenten)	9
2.4 Versuche an Testboards	9
2.5 Analyse der Testboards und Bewertung der Ergebnisse.....	10
3 Darstellung der wissenschaftlichen bzw. technischen Ergebnisse.....	10
3.1 Versuche an Serienbauteilen / Vorversuche.....	10
3.2 Versuche an Testboards.....	12
3.2.1 Thermoschocktests an Mustern mit polymerem Underfill	12
3.2.2 Muster mit anorganischer Vergussmasse	17
3.2.3 Feuchte -Wärme-Lagerung / Elektrochemische Migration	18
4 Gegenüberstellung der gesetzten Ziele und der erreichten Ergebnisse	20
5 Vergleich zu Fortschritten bei anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen.....	21
6 Anwendungsmöglichkeiten und wirtschaftliche Verwertung	21
7 Veröffentlichungen.....	21

Kurzbericht CeCaS – Teilvorhaben HELLA

Robuste Aufbau- und Verbindungstechnik für Hochleistungsbauteile der Central Car Server

Das Teilvorhaben von HELLA im Verbundprojekt CeCaS hatte das Ziel, die Zuverlässigkeit der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) großformatiger, flächenkontakterter Halbleiterbauteile auf Automotive-Niveau zu heben. Im Zentrum standen BGAs, deren Einsatzbedingungen im Fahrzeug, wie z. B. schnelle Temperaturwechsel, mechanische Verformungen und Feuchtebeaufschlagung, deutlich rauer sind als in stationären IT-Umgebungen. Untersucht wurden polymere Underfiller (in PFAS-haltiger und PFAS-freier Variante), Edgebonds sowie anorganischer Verguss.

Da die im Gesamtprojekt vorgesehenen Chipllets erst spät verfügbar wurden, startete die Untersuchung mit Serienbaugruppen aus Radarsensoren (u. a. bestückt mit Aurix BGAs und QFN48), bevor für systematische Tests Daisy-Chain-Testboards aufgebaut wurden. Diese Daisy-Chain-Testboards erlaubten die zeitaufgelöste Widerstandsüberwachung der Lötstellen während der Thermoschockprüfungen. Ergänzend wurden spezielle Leiterplatten zur Bewertung der elektrochemischen Migration unter Feuchte-Wärme-Bedingungen entwickelt. Die Prüfungen umfassten Thermoschocks bis zu 4000 Zyklen (typisch $-40\text{ °C}/125\text{ °C}$ und in Teilen $-40\text{ °C}/140\text{ °C}$) mit und ohne mechanische Überlagerung durch definierte Vorspannung ($\approx 1300\text{--}1400\text{ }\mu\text{m/m}$), Feuchte-Wärme-Lagerungen ($85\text{ °C}/85\text{ \% r. H.}$ und $40\text{ °C}/93\text{ \% r. H.}$), sowie analytische Verfahren wie CT, Schlitze und die Bestimmung thermomechanischer Kennwerte (z. B. CTE).

In den Vorversuchen mit Radarsensor-Baugruppen zeigte sich, dass insbesondere ein vollflächig applizierter, polymerer Underfiller die Lötstellen von BGAs deutlich stabilisiert: Nach bis zu 3000 Thermoschockzyklen traten an mit Underfill verstärkten BGAs keine kritischen Schädigungen auf, selbst dann nicht, wenn zusätzlich eine hohe mechanische Dehnung eingekoppelt wurde. Edgebonds reduzierten die Beanspruchung ebenfalls, erreichten jedoch nicht die Wirksamkeit eines vollflächigen Underfills. QFN48-Bauteile profitierten in geringerem Maß als BGAs, zeigten aber ebenfalls verbesserte Zustände gegenüber Referenzen ohne Zusatzmaßnahme.

Ein unerwarteter Befund ergab sich bei der später eingesetzten PFAS-freien Variante des zuvor favorisierten Underfills. Trotz nominell gleichwertiger Spezifikation führten Muster mit PFAS-freiem Underfill zu früheren Ausfällen als Referenzen ohne Underfill. Schliffbilder legten nahe, dass das Material während der Aushärtung teilweise aus dem Spalt unter dem BGA herausfloss, sodass große Bereiche ohne Unterfüllung verblieben. Die Ursache liegt ggf. in geänderten rheologischen Eigenschaften. Der PFAS-freie Underfill bildete zwar einen ausgeprägten Meniskus an der Bauteilaußenkante, benetzte die BGA-Unterseite jedoch nicht mehr vollflächig. Temperaturabhängige Effekte (Überschreiten der T_g bei 140 °C) konnten durch Vergleichstests bei 125 °C als Hauptursache ausgeschlossen werden, da die Verkürzung der Lebensdauer auch dort erkennbar war.

Die Untersuchungen zur mechanischen Vorspannung zeigten, dass Muster mit eingesetzter Vorspannvorrichtung eine hohe, aber im Vorzeichen konstante Dehnung erfahren, während Muster ohne Vorspannung geringere, jedoch zyklisch wechselnde Dehnungen aufweisen. Für Referenzmuster ohne Underfill wirkte die konstante, höhere Dehnung leicht beschleunigend im Vergleich zur wechselnden, geringeren Dehnung. Das Verhalten der Underfill-Muster wurde durch die beschriebenen Verteilungsprobleme der PFAS-freien Variante überlagert, sodass hieraus keine belastbaren zusätzlichen Beschleunigungseffekte ableitbar waren.

Der anorganische Verguss erwies sich im Projektstand als technologisch nicht reif für den vorgesehenen Einsatzzweck. CT-Aufnahmen zeigten, dass das Material die BGAs lediglich umschloss und nicht in den Spalt unter den Bauteilen eindrang. Die Bestimmung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten ergab etwa 6 ppm/K in der Ebene und somit einen deutlichen Mismatch

zur Leiterplatte (≈ 14 ppm/K). Bereits nach rund 100 Thermoschockzyklen kam es zum Abplatzen des Vergusses von der Leiterplatte. Ebenso ungünstig fiel die Bewertung der Isolationswerte unter Feuchte-Wärme-Belastung aus. Mehrere Vergussmuster unterschritten frühzeitig die geforderten Widerstandswerte, während Underfill-Muster selbst in der nicht optimalen PFAS-freien Variante stabile Ergebnisse zeigten.

Gegenüber der ursprünglichen Planung ergaben sich drei wesentliche Abweichungen: Erstens war der anorganische Verguss nicht in einem anwendungsreifen Zustand, sodass geplante Zuverlässigkeitsuntersuchungen nicht im ursprünglich geplanten Umfang durchgeführt werden konnten. Zweitens wechselte der Hersteller des favorisierten Underfills während der Laufzeit von einer PFAS-haltigen auf eine PFAS-freie Rezeptur, was ungeplante Vertiefungsanalysen und die geschilderten Performanceabweichungen nach sich zog. Drittens verzögerten sich die Chipllets der Partner so stark, dass Tests mit den finalen, großformatigen Chipllets nicht mehr möglich waren. Als Ersatz dienten Aurix-BGAs vergleichbarer Technologie, aber kleinerer Abmessungen. Trotz dieser Einschränkungen konnten durch die Vorversuche belastbare Aussagen zur Wirksamkeit und Prozesssensitivität polymerer Underfiller gewonnen werden.

Die aus dem Teilvorhaben abgeleiteten Empfehlungen sind unmittelbar relevant für die künftige Integration großformatiger Bauteile in Central Car Servern und werden darüber hinaus in bestehende Serienentwicklungen wie Radarsensoren, BCMs und Zonenmodule einfließen. Mit Blick auf die steigenden Kundenanforderungen und den wachsenden BGA-Anteil können die gewonnenen Erkenntnisse in den nächsten zwei bis drei Jahren einen substantziellen Anteil des HELLA-Elektronikportfolios adressieren. Kernbotschaft bleibt: Ein vollflächig und prozesssicher applizierter polymerer Underfill bietet die größte Hebelwirkung für die Lötstellenzuverlässigkeit, während Edgebonds eine nur begrenzte Entlastung liefern und der untersuchte anorganische Verguss im aktuellen Reifegrad nicht empfohlen werden kann.

Zusammenfassend hat das Projekt gezeigt, dass die AVT-Robustheit großer BGAs im Fahrzeugumfeld signifikant durch geeignete Underfill-Konzepte gesteigert werden kann. Die Beobachtungen zur Rezepturumstellung liefern wertvolle Leitplanken für den künftigen Material- und Prozessauswahlprozess (Stichworte: Rheologie, Benetzung, Aushärtfenster). Für den anorganischen Verguss besteht weiterer Entwicklungsbedarf in Bezug auf Fließverhalten, Haftung und CTE-Anpassung.

1 Ziele des Teilvorhabens

Das Ziel des Teilvorhabens „Robuste Aufbau- u. Verbindungstechnik für die Hochleistungsbauteile der Central Car Server“ ist es, Maßnahmen zu untersuchen, mit denen die Robustheit der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) von Hochleistungsbauteilen (insbesondere großformative BGAs) auf Automotive-Niveau gehoben werden kann.

Die Arbeiten von Forvia Hella liefern dabei einen Beitrag zur Erreichung des Ziels 7 des Gesamtvorhabens, der Automotive tauglichen zuverlässigen Aufbau- und Verbindungstechnik. Die Arbeiten sind eingebettet in das übergeordnete AP 6 (Core-Modul-HW und AVT mit optimiertem Thermo- und Zuverlässigkeitsmanagement) und angesiedelt im AP 6.1 (Design und AVT für die Modul-Integration). Innerhalb des AP6.1 wird die Technologie-Route #1, die leiterplattenbasierte Integration von Hochleistungsbauteilen, bearbeitet. Bei diesen Hochleistungsbauteilen handelt es sich hauptsächlich um großformatige BGAs, die bisher nicht im Automotive-Anwendungen eingesetzt wurden. Die Gründe hierfür sind die rauen Einsatzbedingungen im Fahrzeug, die sich durch starke und schnelle Temperaturwechsel sowie mechanische Schwingungs- und Verformungsbeanspruchungen auszeichnen, die mit den bisherigen Applikationsumgebungen solcher Hochleistungsbauteile (z. B. in stationären Zentralrechnern) nicht vergleichbar sind. Weiterhin unterscheiden sich auch die klimatischen Bedingungen im Fahrzeug von stationären Bedingungen. So kann z. B. eine hohe Luftfeuchtigkeit oder Kondensation zu einem elektrischen Ausfall durch elektrochemische Migration führen.

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen des Teilvorhabens die Wirkung verschiedener robustheitssteigernder Maßnahmen auf die Lötstellen-Zuverlässigkeit der Hochleistungsbauteile untersucht und bewertet. Zu den Maßnahmen gehören neben einer anorganischen Vergussmasse, die vom Projektpartner Fraunhofer IMWS zur Verfügung gestellt wird, auch weitere polymere Zusatzmaßnahmen wie z. B. Underfiller oder Edgebonds.

2 Projektplanung und durchgeführte Arbeiten

Im Teilvorhaben sollen die Empfindlichkeit dieser Hochleistungsbauteile auf die für Automotive-Anwendungen üblichen Umwelteinflüsse untersucht werden und Maßnahmen zur Robustheitssteigerung entwickelt und erprobt werden. Da die speziellen Hochleistungsbauteile im Projekt erst entwickelt und bemustert werden, wurde in einer ersten Phase auf Serienbausteine zurückgegriffen, um die grundsätzlichen Bedingungen nachzubilden, so dass bereits mit diesen Bauteilen und dafür erstellten Testboards Erfahrungen und Lösungsansätze erprobt werden können. Diese sollen dann auf die eigentlichen Hochleistungskomponenten übertragen werden und im letzten Drittel des Projektes über entsprechende Testboardaufbauten und Umweltprüfungen verifiziert werden. Der Projektablauf orientierte sich dabei an dem im Antrag dargestellten Zeitplan.

Nr	Tätigkeiten AP6.1
1	Zuverlässigkeits- und erste Robustheitssteigerungsversuche an repräsentativen Serienbaugruppen mit kleineren Hochleistungsbauteilen (Radarsensoren)
2	Umweltsimulation und physikalische Analyse an diesen Vorerprobungsmustern
3	Testboardentwicklung (für Hochleistungskomponenten)
4	Versuchsplanung zur Robustheitsvalidierung
5	Musterfertigung zur Erforschung der Versagensmechanismen
6	Erforschung von Fehlerursachen und Umsetzung zusätzlicher Robustheitsmaßnahmen (z.B. Verguss, Underfiller, Edgebond) zur Optimierung der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems
7	Umweltprüfungen / Stresssimulation (Feuchte, Temperaturschocktest)
8	Finale physikalische Analyse der Probanden

2.1 Erste Versuche mit Serienbaugruppen

Nach der Beschaffung der notwendigen Materialien wurden erste Testmuster aufgebaut, an denen die Wirkung verschiedener Underfiller, Edgebonds und Vergussmaterialien auf die Lötstellenzuverlässigkeit von BGAs und QFNs untersucht wurde. Als Testbaugruppe wurde ein Radarsensor verwendet, auf dem sich ein Infineon Aurix BGA und ein QFN48 befinden. Die folgenden Materialien wurden hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Lötstellenzuverlässigkeit untersucht (siehe Abbildung 1).

- Underfill 1
- Underfill 2 (PFAS-haltig und PFAS-frei) ¹
- Edgebond 1
- Verguss vom IMWS

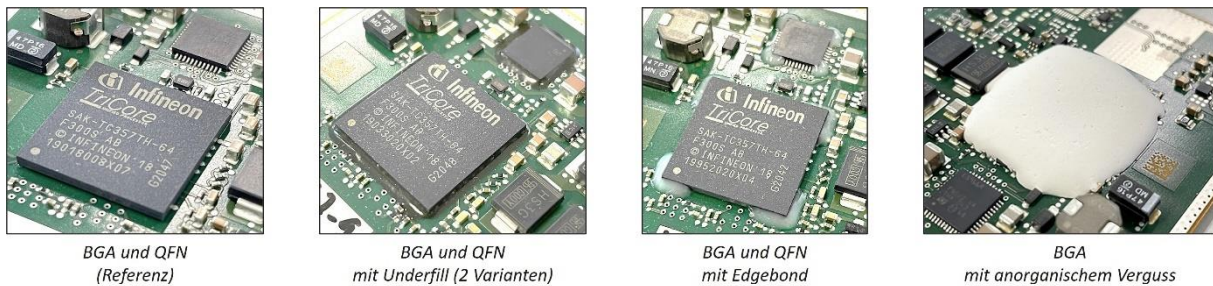


Abbildung 1: Beispiele für applizierte Underfill, Edgebond und Vergussmaterialien

Die derart aufgebauten Baugruppen wurden im Anschluss einem Temperaturschocktest bis 1000 Zyklen unterzogen, um den Effekt der Maßnahmen auf die Lötstellenzuverlässigkeit bewerten zu können. Um den Einfluss einer möglichen Leiterplattenverformung auf die Lötstellenzuverlässigkeit zu analysieren, wurden diese Versuche zusätzlich mit einer überlagerten mechanischen Belastung durchgeführt.

Hierzu wurde in den Leiterplattenträger eine Schraube eingebracht, mit der man eine beliebige mechanische Belastung auf die Leiterplatte aufbringen konnte (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Leiterplattenträger mit Vorspannvorrichtung

¹: Die Zusammensetzung des Underfillers wurde vom Hersteller während der Projektlaufzeit geändert.

Nach dem Abgleich der gemessenen Durchbiegung an einer Ecke des BGAs mit den daraus resultierenden Dehnungen (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4) konnte an den zahlreichen Versuchsmustern eine Dehnung von ca. 1400 $\mu\text{m}/\text{m}$ eingebracht werden, ohne dass an jedem Einzelmuster Dehnungsmessungen vorgenommen werden mussten.

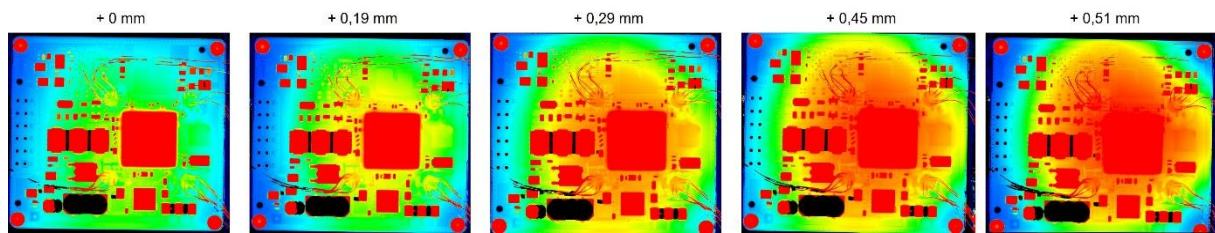


Abbildung 3: Verwölbung der Leiterplatte in Abhängigkeit der Einschraubtiefe

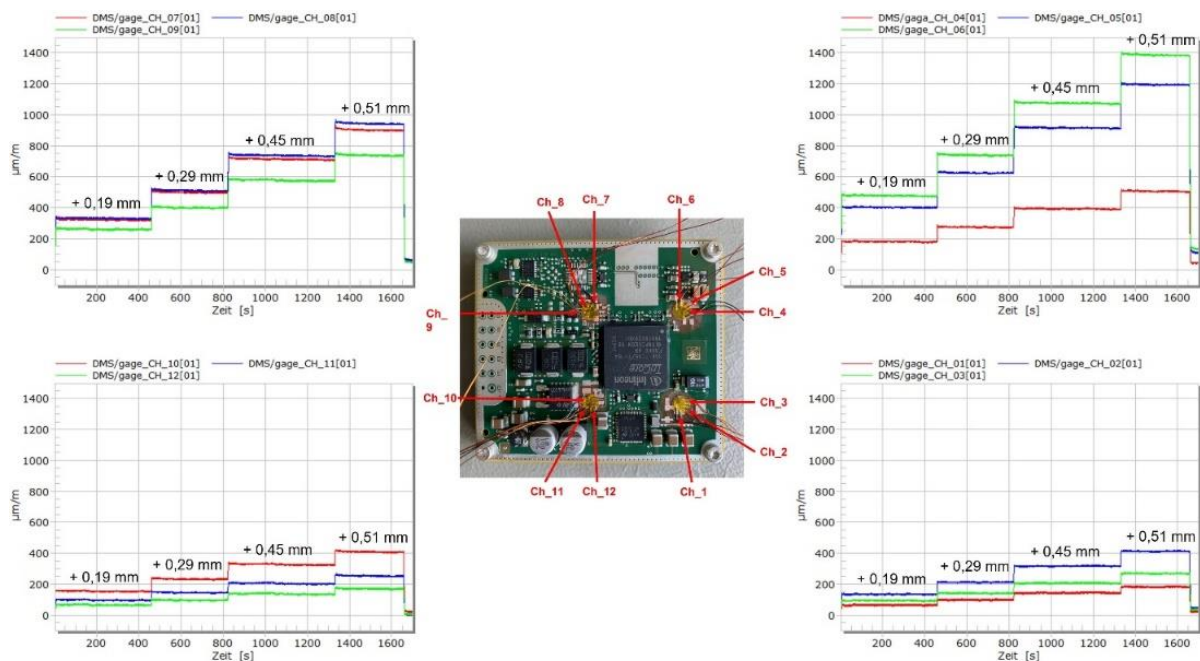


Abbildung 4: Dehnung am BGA in Abhängigkeit der Einschraubtiefe

Da der Verguss sehr spröde und schwierig zu applizieren ist, wurden mit diesem Material keine Thermoschocktests durchgeführt.

2.2 Fortsetzung der Versuche mit Serienbaugruppen

Nach einer ersten Auswertung der Versuche zur Wirkung von Underfillmaterialien auf die Lötstellenzuverlässigkeit von BGAs und QFNs wurden die Versuche erweitert, um zu ermitteln, ab welcher thermomechanischen Belastung es zu Lötstellenrissen kommt. Hierzu wurde wieder die Leiterplatte aus einem Radarsensor verwendet auf dem sich ein Infineon BGA Aurix 292, ein eWLB-Package (BGA) und ein QFN48 befinden. Als Underfill wurde der, auf Basis der Vorversuche, vielversprechendste Underfill 2 (PFAS-haltig) verwendet. Ein geeigneter Verguss vom Projektpartner Fraunhofer IMWS stand zu dem Zeitpunkt noch nicht zur Verfügung.

Die derart aufgebauten Baugruppen wurden im Anschluss einem erweiterten Temperaturschocktest bis 3000 Zyklen unterzogen, um den Effekt der Maßnahmen auf die Lötstellenzuverlässigkeit bewerten zu können. Um den Einfluss einer möglichen überlagerten Leiterplattenverformung auf die Lötstellenzuverlässigkeit zu analysieren, wurden diese Versuche ebenfalls mit einer überlagerten mechanischen Belastung durchgeführt.

2.3 Testboardentwicklung (für Hochleistungskomponenten)

Da im Bearbeitungszeitraum noch keine Chipllets verfügbar waren, wurden Testboards auf Grundlage verfügbarer Infineon Aurix BGAs mit DaisyChain-Funktion entworfen, die vom Projektpartner Infineon zur Verfügung gestellt wurden. Mit diesen Testboards (siehe Abbildung 5) konnte der Einfluss der Underfillmaterialien auf die Lötstellenzuverlässigkeit zeitaufgelöst untersucht werden, indem der elektrische Widerstand durch die DaisyChain während des Tests gemessen wurde.

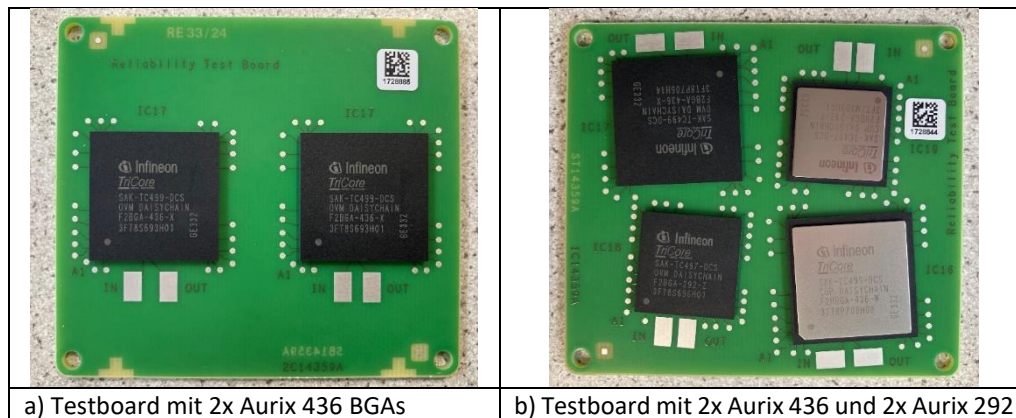


Abbildung 5: Testboards zur Untersuchung der Lötstellenzuverlässigkeit

Weiterhin wurde ein Testboard entworfen, mit denen die Underfillmaterialien hinsichtlich elektrochemischer Migration bewertet werden können (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Testboard zur Bewertung der Underfiller und des Vergusses hinsichtlich elektrochemischer Migration

2.4 Versuche an Testboards

Nach der erfolgten Fertigung der in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellten Testboards wurden Umweltprüfungen zur Bewertung der Lötstellenzuverlässigkeit und der elektrochemischen Migration in Abhängigkeit des Underfillers und des anorganischen Vergusses vom Fraunhofer IMWS durchgeführt.

Da in den Vorversuchen eine sehr hohe Lötstellenzuverlässigkeit der mittels Underfiller verstärkten Lötstellen festgestellt wurde, wurden die Thermoschocktests sowohl bei 125 °C als auch bei einer erhöhten Testtemperatur von 140 °C durchgeführt. Die Versuche hinsichtlich der elektrochemischen Migration wurden sowohl bei den Automotive typischen Bedingungen 40 °C / 93 % r. H. als auch bei 85 °C / 85 % r. H. durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass nur eine sehr kleine Anzahl an Mustern mit dem anorganischen Verguss aufgebaut werden konnte, lag der Schwerpunkt der Versuche auf den verfügbaren polymeren Underfillern. Aufgrund der beschränkten Anzahl an Messkanälen zur Online-

Widerstandsmessung (80 Messkanäle) konnten diese langlaufenden Tests zur Bestimmung einer Weibullverteilung nur mit einem Material durchgeführt. Die Wahl fiel dabei auf den Underfill 2, da er in den Vorversuchen am vielversprechendsten abgeschnitten hatte.

2.5 Analyse der Testboards und Bewertung der Ergebnisse

Nach dem Aufbau der Versuchsmuster und dem Abschluss der Umweltprüfungen erfolgte die Auswertung der Versuchsdaten und die Aufbereitung der Ergebnisse.

3 Darstellung der wissenschaftlichen bzw. technischen Ergebnisse

3.1 Versuche an Serienbauteilen / Vorversuche

Die Ergebnisse der ersten Versuche an Serienbauteilen sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengefasst. Da sich der zu dieser Zeit verfügbare anorganische Verguss nicht applizieren ließ, konnten hiermit keine Versuche durchgeführt werden. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse des Aurix 292 zusammengefasst.

Material	max. Dehnung [$\mu\text{m}/\text{m}$]	Aurix 292 (Defekte in den äußeren Ballreihen)
Referenz	0	OK
	1400	A20_I40, A3_I20, A2_I20, A1_C100, Y20_I40
	1400	A20_I50, A20_C100, A19_C50I10, A18_C40I30, A17_C20, A2_I20, A1_I60
Underfill 1	0	A20_I30
	1400	OK
	1400	OK
Edgebond 1	0	A1_I50
	1400	A2_C10, A1_C90, A20_I10
	1400	Y20_I20, Y20_I50, B20_C10, A20_C80I30
Underfill 2	0	OK
	0	OK
	1400	OK
	1400	Y20_I10

Tabelle 1: Ergebnisse des Thermoschocktests am Aurix nach 1000 Zyklen (-40 °C / 125 °C, < 10 s, 30 min/30 min)

Es ist zu erkennen, dass es durch den Einsatz der Underfiller zu einer deutlichen Verbesserung des Lötstellenzustandes gekommen ist. Der Edgebond zeigt hingegen eine geringere Wirkung.

Die aufgetretenen Fehlermodi am Aurix waren „Pad Cratering“, das Ausreißen der Pads aus der Leiterplatte, An- und Durchrisse der Lötstellen sowie sichtbare Risse im Edgebond. Die Fehlermodi werden in der Tabelle 1 folgendermaßen dargestellt:

„Name des Balls“_“Fehlermode“+“ Länge des Defekts in %“

C: Pad Cratering

I: Riss in der Lötstelle

Beispiele: Y20_C100 → Ball Y20 mit 100 % Pad Cratering

A20_C80I30 → Ball A20 mit 80 % Pad Cratering und 30 % Anriss im Ball

In Abbildung 7 sind die Fehlermodi beispielhaft dargestellt.

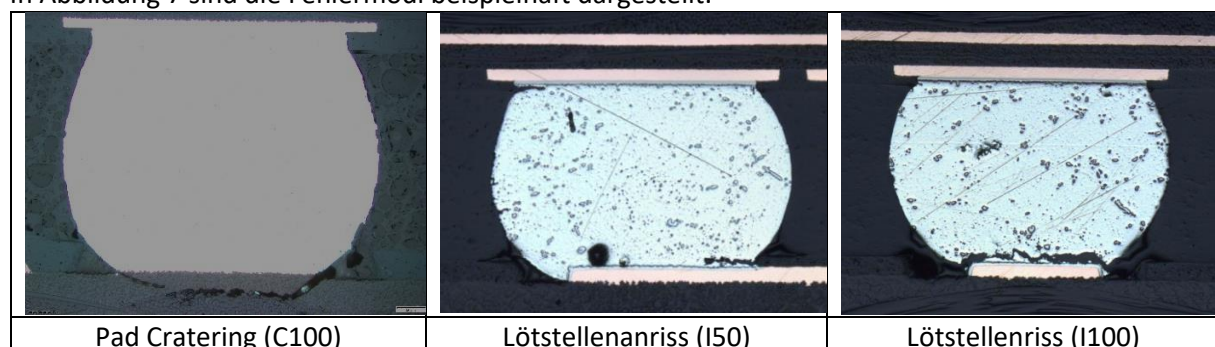


Abbildung 7: Fehlermodi an beispielhaften Lötstellen

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse am QFN48 zusammengefasst.

Material	max. Dehnung [µm/m]	QFN48 (Risslängen in % in den Eckpins)			
		Pin 12: <25 %	Pin 25: <25 %	Pin 36: <25 %	Pin 1: <50 %
Referenz	0	Pin 12: <25 %	Pin 25: <25 %	Pin 36: <25 %	Pin 1: <50 %
	1400	Pin 12: <25 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: n. a.	Pin 1: n. a.
	1400	Pin 24: >50 %	Pin 37: <25 %	Pin 48: >50 %	Pin 13: <50 %
Underfill 1	0	Pin 12: <25 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: <50 %	Pin 1: <25 %
	1400	Pin 12: n. a.	Pin 25: n. a.	Pin 36: >50 %	Pin 1: <25 %
	1400	Pin 24: <25 %	Pin 37: <25 %	Pin 48: >50 %	Pin 13: <50 %
Edgebond 1	0	Pin 12: <25 %	Pin 25: <25 %	Pin 36: >50 %	Pin 1: >50 %
	1400	Pin 12: <50 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: <25 %	Pin 1: <25 %
	1400	Pin 24: <50 %	Pin 37: <50 %	Pin 48: >50 %	Pin 13: >50 %
Underfill 2	0	Pin 12: <50 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: <50 %	Pin 1: <50 %
	0	Pin 24: <50 %	Pin 37: <50 %	Pin 48: <25 %	Pin 13: n. a.
	1400	Pin 12: <50 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: <25 %	Pin 1: <50 %
	1400	Pin 24: <25 %	Pin 37: <25 %	Pin 48: <50 %	Pin 13: <25 %

Tabelle 2: Ergebnisse des Thermoschocktests am QFN48 nach 1000 Zyklen (-40 °C / 125 °C, < 10 s, 30 min/30 min)

Es ist zu erkennen, dass es nach 1000 Thermoschockzyklen durch den Einsatz des Underfill 2 zu einer Verbesserung des Lötstellenzustandes des QFNs gekommen ist. Aus diesem Grund wurde beschlossen, mit diesem Material weitere Thermoschocktests am BGA und QFN bis maximal 3000 Zyklen durchzuführen. Die Ergebnisse am Aurix BGA292 sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Material	max. Dehnung [µm/m]	Zyklenzahl	Aurix BGA (Lötstellenzustand in den äußeren Ballreihen)
Referenz	0	1000	OK
	0	2000	A13_I25, A12_I20, A11_I15, A5I_15, A4_I10, Y2_I10, Y13_I20, Y16_I20
	0	2000	A20_I25, B1_I10, G1_I25, J1_I10, P1_I10, U1_I20
	0	3000	A20_I60, ..., A1_I90, Y1_I70, Y2_I20_Y3_I40, Y5_I40, ..., Y20_I80
	0	3000	Y20_I20, U20_I10, T20_I10, L20_I30, H20_I20, G20_I20, A20_I40, D1_I30, F1_I20, G1_I25, K10_I20, M1_I20, ..., W1_I20, Y1_I40
	1400	1000	A20_I40, A3_I20, A2_I20, A1_C100, Y1_I40
	1400	1000	A20_I50, A1_C100, B1_C50I10, C1_C40I30, D1_C20, W1_I20, Y1_I60
	1400	2000	A20_I40, A4_I20, A3_C30I30, A2_C20I100, A1_C20, Y1_C30, Y2_I25, ..., Y18_I25, Y19_I15
	1400	2000	A20_I40, A1_C100, B1_C25I10, L1_I20, M1_I10, P1_I10, V1_I30, Y1_I30
	1400	3000	A20_I70, ..., A2_I100, A1_C100, Y1_C40I40, Y2_I60, ..., Y18_I50, Y20_I30
	1400	3000	Y20_I10, W20_I20, K20_I25, G20_I25, E20_I30, A20_I70, A1_C100I20, B1_I50, C1_I60, D1_I50, E1_I50, ..., P1_I60, V1_I80, W1_I80, Y1_I100
Underfill 2	0	1000	OK
	0	1000	OK
	0	2000	Y1_I60, W1_I20
	0	2000	OK
	0	3000	A20_I10, A7_I10, A2_I30, Y1_I30, Y2_I30, Y3_C10, Y8_I20, Y9_I30, Y10_I30, Y16_I40, Y18_C40, Y19_C20, Y20_C30
	0	3000	A1_C10, E1_I10, N1_I10, V1_I10, W1_I30, Y1_C10I40
	1400	1000	OK
	1400	1000	Y1_I10
	1400	2000	OK
	1400	2000	OK
	1400	3000	A20_I10, Y1_C20I30, Y2_C20, Y9_I40, Y10_I30, Y15_I40, Y19_C10, Y20_C10I30
1400	3000	Y20_C20, N20_I25, Y1_C10	

Tabelle 3: Ergebnisse des Thermoschocktests am Aurix nach 3000 Zyklen (-40 °C / 125 °C, < 10 s, 30 min/30 min)

Es ist ersichtlich, dass es durch den Einsatz des Underfillers zu einer deutlichen Verbesserung des Lötstellenzustandes gekommen ist. So kommt es auch nach 3000 Zyklen zu keinen kritischen Schädigungen der Lötstellen, selbst für den Fall einer hohen zusätzlichen mechanischen Belastung.

Durch den Einsatz des Underfillers kommt es auch am QFN48 zu einer Verbesserung des Lötstellenzustandes im Vergleich zu den Referenzwerten, wobei der Effekt jedoch weniger stark ausgeprägt ist als beim BGA (siehe Tabelle 4).

Material	max. Dehnung [µm/m]	Zyklenzahl	QFN48 (Risslängen in % in den Eckpins)			
			Ebene 1 - links	Ebene 1 - rechts	Ebene 12 - links	Ebene 12 - rechts
Referenz	0	1000	Pin 12: <25 %	Pin 25: <25 %	Pin 36: <25 %	Pin 1: <50 %
	0	2000	Pin 12: <50 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: 73 %	Pin 1: <50 %
	0	2000	Pin 24: <50 %	Pin 37: <50 %	Pin 48: 66 %	Pin 13: <50 %
	0	3000	Pin 12: <50 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: 70 %	Pin 1: 70 %
	0	3000	Pin 24: <25 %	Pin 37: <50 %	Pin 48: 100 %	Pin 13: 70 %
	1400	1000	Pin 12: <25 %	Pin 25: <25 %	n. a.	n. a.
	1400	1000	Pin 24: >50 %	Pin 37: <25 %	Pin 48: >50 %	Pin 13: <50 %
	1400	2000	Pin 12: <25 %	Pin 25: 100 %	Pin 36: 43 %	Pin 1: 45 %
	1400	2000	Pin 24: <50 %	Pin 37: 35 %	Pin 48: 50 %	Pin 13: <25 %
	1400	3000	Pin 12: <50 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: 40 %	Pin 1: 60 %
	1400	3000	Pin 24: 70 %	Pin 37: 70 %	Pin 48: 70 %	Pin 13: 100 %
Underfill 2	0	1000	Pin 12: <50 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: <50 %	Pin 1: <50 %
	0	1000	Pin 24: <50 %	Pin 37: <50 %	Pin 48: <25 %	n. a.
	0	2000	Pin 12: 75 %	Pin 25: <25 %	Pin 36: <50 %	Pin 1: 86 %
	0	2000	Pin 24: <25 %	Pin 37: 48 %	Pin 48: 75 %	Pin 13: 63 %
	0	3000	Pin 12: <50 %	Pin 25: <25 %	Pin 36: 80 %	Pin 1: 70 %
	0	3000	Pin 24: >50 %	Pin 37: <25 %	Pin 48: 70 %	Pin 13: 80 %
	1400	1000	Pin 12: <50 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: <25 %	Pin 1: <50 %
	1400	1000	Pin 24: <25 %	Pin 37: <25 %	Pin 48: <50 %	Pin 13: <25 %
	1400	2000	Pin 12: 70 %	Pin 25: <50 %	n. a.	n. a.
	1400	2000	Pin 24: 66 %	Pin 37: 55 %	n. a.	n. a.
	1400	3000	Pin 12: <50 %	Pin 25: <50 %	Pin 36: 60 %	Pin 1: 70 %
1400	3000	Pin 24: >50 %	Pin 37: <50 %	Pin 48: <50 %	Pin 13: 80 %	

Tabelle 4: Ergebnisse des Thermoschocktests am QFN48 nach 3000 Zyklen (-40 °C / 125 °C, < 10 s, 30 min/30 min)

3.2 Versuche an Testboards

3.2.1 Thermoschocktests an Mustern mit polymerem Underfill

Mit Hilfe der Testboards war es möglich, die Wirkung des Underfillers auf die Zuverlässigkeit der Lötstellen auf Grundlage einer größeren Stichprobenanzahl zu bewerten. Hierzu wurde der elektrische Widerstand durch die DaisyChain während des Thermoschocktests überwacht. Eine Widerstandsänderung von 20 % im Vergleich zum Initialwert wurde gemäß den Vorgaben in der IPC-9701 als elektrischer Ausfall gewertet. Die Ergebnisse der Thermoschocktests mit den Testbedingungen -40 °C / 140 °C und je 30 min Haltezeit sind in Abbildung 8 zusammengefasst. Als Underfill wurde der Underfill 2 (PFAS-frei) verwendet, der in den Vorversuchen in der PFAS-haltigen Variante das beste Ergebnis gezeigt hatte. Es wurden Versuche ohne und mit einer mechanischen Vorspannung von 1300 µm/m durchgeführt. Dies entspricht einer Durchbiegung in der Mitte der Leiterplatte von 0,5 mm. Als Leiterplatte wurde die in Abbildung 5a) dargestellte Leiterplatte verwendet.

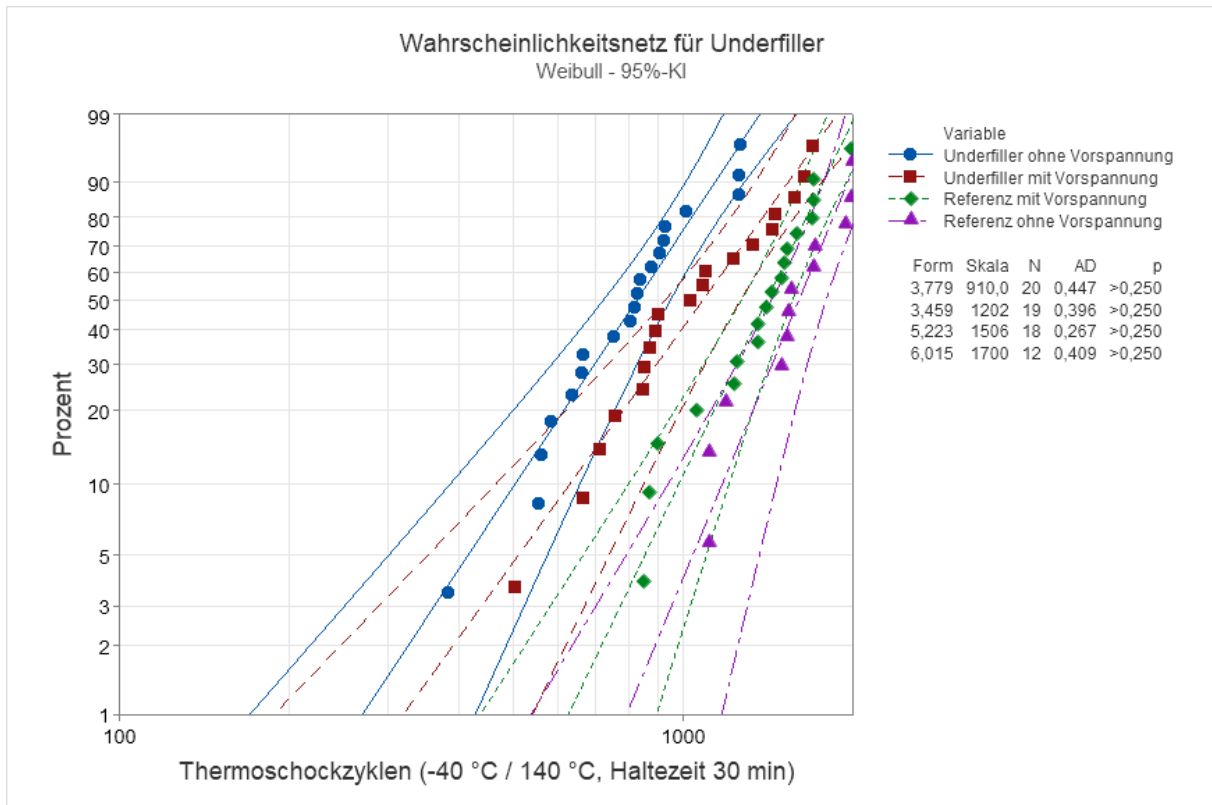


Abbildung 8: Ergebnisse des Thermoschocktests am Aurix 436 (-40 °C / 140 °C, < 10 s, 30 min/30 min)

Die Ergebnisse entsprachen dabei nicht den Erwartungen auf Basis der Vorversuche, da die Muster mit Underfill früher ausgefallen sind als die Referenzteile ohne Underfill. Als mögliche Ursachen für dieses Verhalten wurden die folgenden Einflussfaktoren näher untersucht:

- a) Die Art der mechanischen Vorspannung und ihre Wirkung auf die Lötstellendegradation
- b) Die Überschreitung der Glasübergangtemperatur ($T_g = 131 \text{ °C}$) des Underfillers bei einer Testtemperatur von 140 °C
- c) Umstellung der Underfiller-Rezeptur durch den Lieferanten.

Die Vorversuche wurden mit der PFAS-haltigen Standardzusammensetzung des Underfiller durchgeführt und die späteren Versuche mit den Testboards mit einer laut Herstellerangaben gleichwertigen PFAS-freien Rezeptur.

a) Die Art der mechanischen Vorspannung und ihre Wirkung auf die Lötstellendegradation

Die mechanische Vorspannung wurde mit dem Ziel aufgebracht, die mechanischen Dehnungen im Bereich der Lötstellen zu erhöhen, um so die Schädigungswirkung zu verstärken, die auf dem Kriechen des Lotwerkstoffes resultiert. Allerdings zeigten Analysen der Oberflächenverformung der Leiterplatte in Abhängigkeit der Temperatur, dass es einen Nebeneffekt gab. In Abbildung 9 ist der Vergleich der Oberflächenprofile der Testleiterplatten in Abhängigkeit der Vorspannung und der Temperatur dargestellt, die mittels eines FRTs und einer Temperatorkammer durchgeführt wurden.

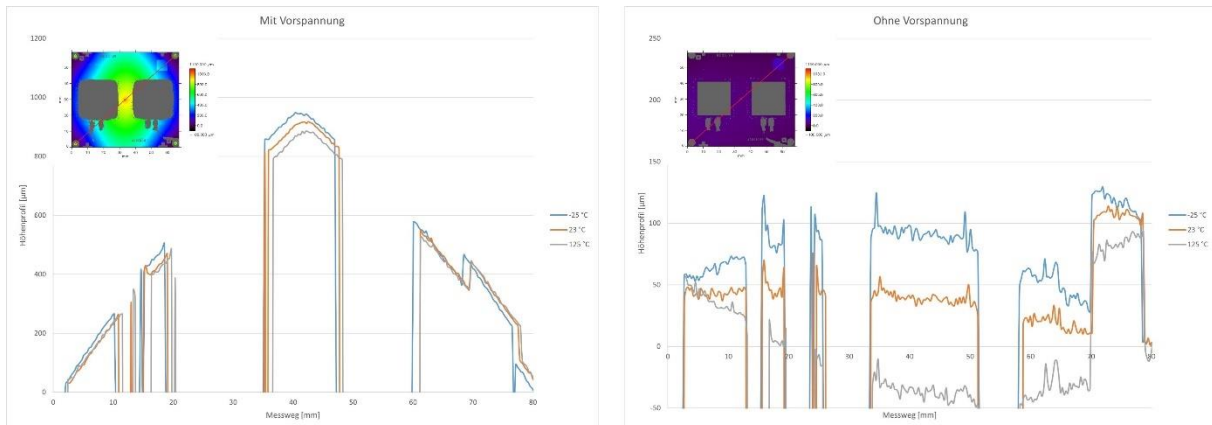


Abbildung 9: Vergleich der Oberflächenprofile der Testleiterplatten in Abhängigkeit der Vorspannung (links: mit Vorspannung, rechts: ohne Vorspannung) und der Temperatur

Es ist zu erkennen, dass es bei den Mustern mit Vorspannung nur eine kleine Änderung des Höhenprofils gibt, die zwischen -25 °C und 125 °C ca. $50\text{ }\mu\text{m}$ beträgt. Im Vergleich dazu kommt es beim Versuchsaufbau ohne Vorspannung zu einer Änderung des Höhenprofils von $130\text{ }\mu\text{m}$ und darüber hinaus zu einem Wechsel der Leiterplattenwölbung (konvex / konkav), die zu einer Wechselbelastung der Lötstellen führt. Somit zeichnen sich die Muster mit Vorspannung durch eine hohe, aber nicht im Vorzeichen wechselnde Dehnung aus, während die Muster ohne Vorspannung eine niedrigere Dehnung aufweisen, die jedoch mit jedem Thermoschockzyklus das Vorzeichen wechselt.

Bei Betrachtung der Ausfallzeitpunkte der Referenzmuster ohne Underfiller in Abbildung 8 sieht man, dass die Muster mit Vorspannung etwas früher ausfallen als die Muster ohne Vorspannung. Somit scheint es für Muster ohne Underfill einen kleinen beschleunigenden Effekt der Vorspannung zu geben, bzw. die konstant hohe Dehnung wirkt schädigender als die kleinere wechselnde Dehnung. Das Verhalten der Muster mit Underfill muss jedoch von anderen Einflussfaktoren überlagert sein.

- b) Die Überschreitung der Glasübergangstemperatur ($T_g = 131\text{ °C}$) des Underfillers bei einer Testtemperatur von 140 °C

Um den Einfluss der Testtemperatur auf den Underfiller bzw. die Lötstellenzuverlässigkeit zu untersuchen, wurde ein weiterer Thermoschocktest mit Widerstandsüberwachung bei 125 °C durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Versuchs sind Abbildung 10 zusammengefasst.

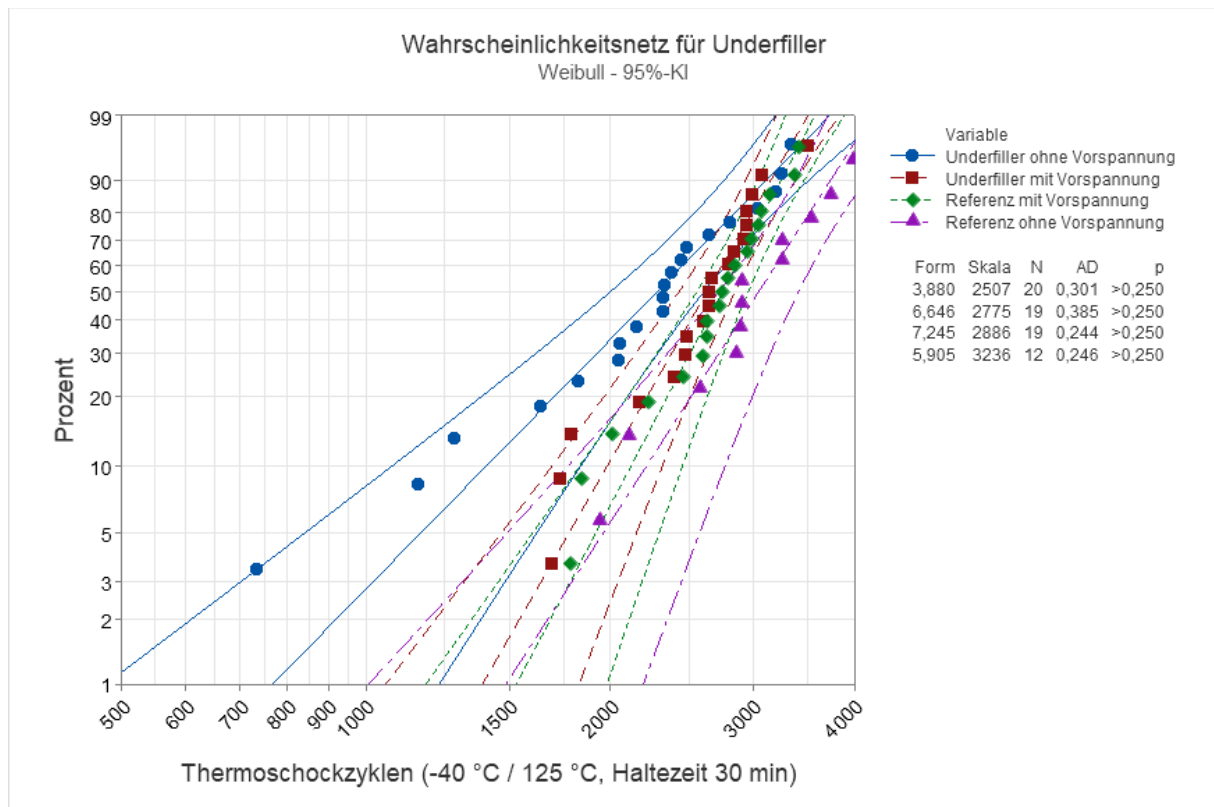


Abbildung 10: Ergebnisse des Thermoschocktests am Aurix 436 (-40 °C / 125 °C, < 10 s, 30 min/30 min)

Es ist zu erkennen, dass die charakteristische Lebensdauer der Referenzmuster bei 125 °C Testtemperatur ca. 1,9x größer ist als bei 140 °C Testtemperatur, wobei die Muster mit Vorspannung, ebenso wie bei dem 140 °C Test, früher ausfallen als die Muster ohne mechanische Vorspannung. Die Muster mit Underfiller zeigen jedoch ebenso wie bei dem 140 °C Test einen früheren Ausfall der Muster ohne Vorspannung. Der Grund hierfür scheint somit nicht die Testtemperatur bzw. die Überschreitung der Glasübergangstemperatur zu sein.

- c) Umstellung der Underfiller-Rezeptur durch den Lieferanten.

Die Vorversuche wurden mit der Standardzusammensetzung durchgeführt und die späteren Versuche mit den Testboards mit einer laut Herstellerangaben gleichwertigen PFAS-freien Rezeptur.

Das unterschiedliche Verhalten der beiden Underfiller-Varianten (mit PFAS vs. ohne PFAS) wurde anhand von Horizontalschliffen von BGAs untersucht. Zur besseren Unterscheidung werden sie im weiteren Verlauf wie folgt bezeichnet:

- UF2-OP → Underfiller 2 ohne PFAS
- UF2-MP → Underfiller 2 mit PFAS

Der Auftrag der Materialien erfolgte unter kontrollierten Bedingungen: Vorwärmung der Leiterplatten auf 80 °C, mehrstufige Applikation in L-Form, kontinuierliche Temperaturhaltung zur Sicherstellung der Fließfähigkeit sowie Aushärtung im Ofen, nachdem ein durchgehender Meniskus an allen vier Außenkanten des BGAs sichtbar war. Die Lotpaste blieb unverändert, sodass prozessbedingte Einflüsse ausgeschlossen werden können.

Nach der Aushärtung der Muster im Ofen war besonders auffällig, dass sich bei UF2-OP eine deutliche Meniskusvergrößerung eingestellt hat. Als Ursache für den vergrößerten Materialmeniskus wurde vermutet, dass der Underfiller während der Aushärtung teilweise wieder aus dem Spalt unter dem BGA herausgeflossen ist.

Um diese Vermutung zu überprüfen, wurde horizontale Schliffe des Bereichs unter dem BGA mit beiden Materialvarianten erstellt (siehe Abbildung 11).

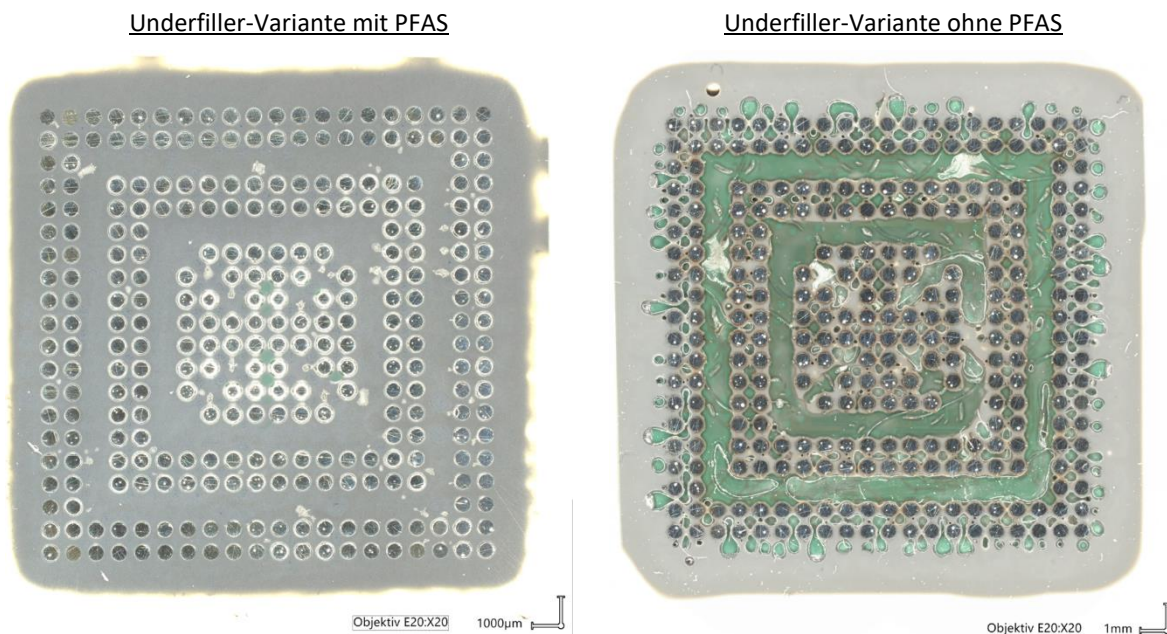


Abbildung 11: Horizontalschliffe eines BGAs mit der Underfiller-Variante mit PFAS (links) und ohne PFAS (rechts)

Die Schliffbilder belegen großflächige Bereiche ohne Underfiller unter dem BGA mit der PFAS-freien Underfiller-Variante, während im Fall von UF2-MP eine vollflächig benetzte Unterseite zu sehen ist. Dieses Ergebnis bestätigt die Vermutung des Materialaustritts während der Aushärtung und erklärt zudem die reduzierte mechanischen Performance. Zudem deutet es darauf hin, dass die rheologischen Eigenschaften der PFAS-freien Variante maßgeblich für die beobachteten Performanceprobleme sind.

Somit scheint die Ursache für das unerwartete vorzeitige Versagen der Underfill-Muster die Underfiller-Verteilung unter und um den BGA zu sein. Da die nicht optimale Underfiller-Verteilung erst zu einem späten Zeitpunkt aufgefallen ist, konnte kein neuer Langzeitversuch mit PFAS-freiem Underfiller mehr im Rahmen des Projektes durchgeführt werden.

3.2.2 Muster mit anorganischer Vergussmasse

Die anorganische Vergussmasse wurde vom Projektpartner Fraunhofer IMWS auf die Testboards (siehe Abbildung 5b) aufgebracht und anschließend für Tests und Analysen zur Verfügung gestellt. Die Eingangsuntersuchung zeigte jedoch, dass der Verguss nicht unter die BGAs geflossen ist, sondern diese nur umschloss. Dies ist gut in der CT-Aufnahme in Abbildung 12 zu erkennen.

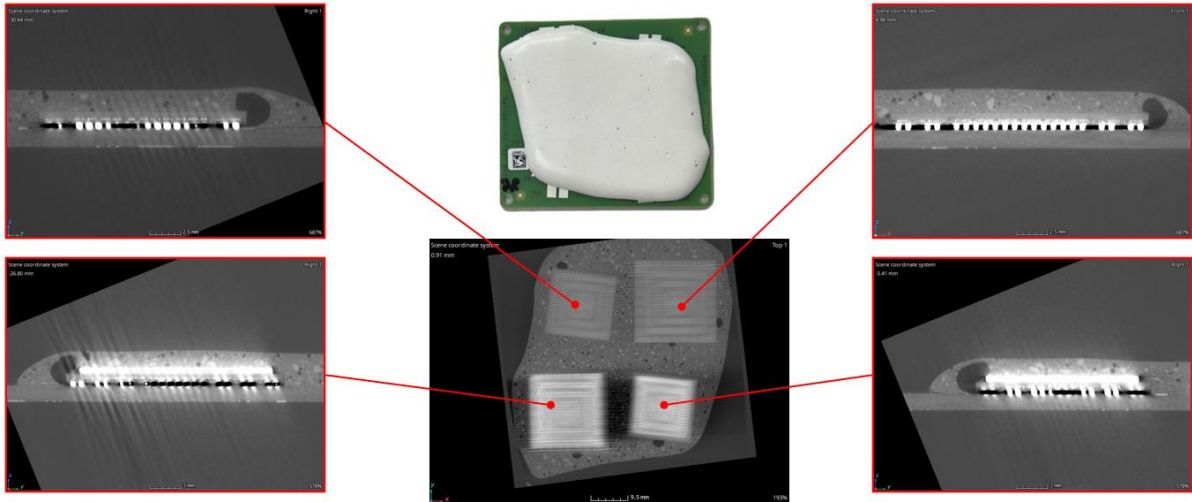


Abbildung 12: CT-Aufnahme von BGAs mit anorganischem Verguss

Die Messung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten (CTE) des anorganischen Vergusses wurde mit einem MicroDac TL im Temperaturbereich von 30 °C bis 150 °C durchgeführt (siehe Abbildung 13).

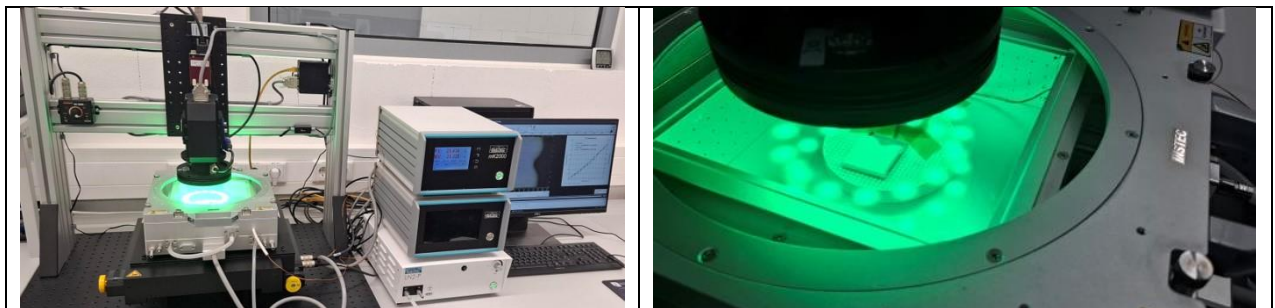


Abbildung 13: Versuchsaufbau zur Bestimmung des CTEs des anorganischen Vergusses

Die Messung ergab einen CTE von ca. 6 ppm / °C in x-y-Richtung (siehe Abbildung 14). Der Wert ist somit deutlich geringer als der CTE der Leiterplatte in x-y-Richtung (~14 ppm / K) und begünstigt somit ein Ablösen des Vergusses von der Leiterplatte.

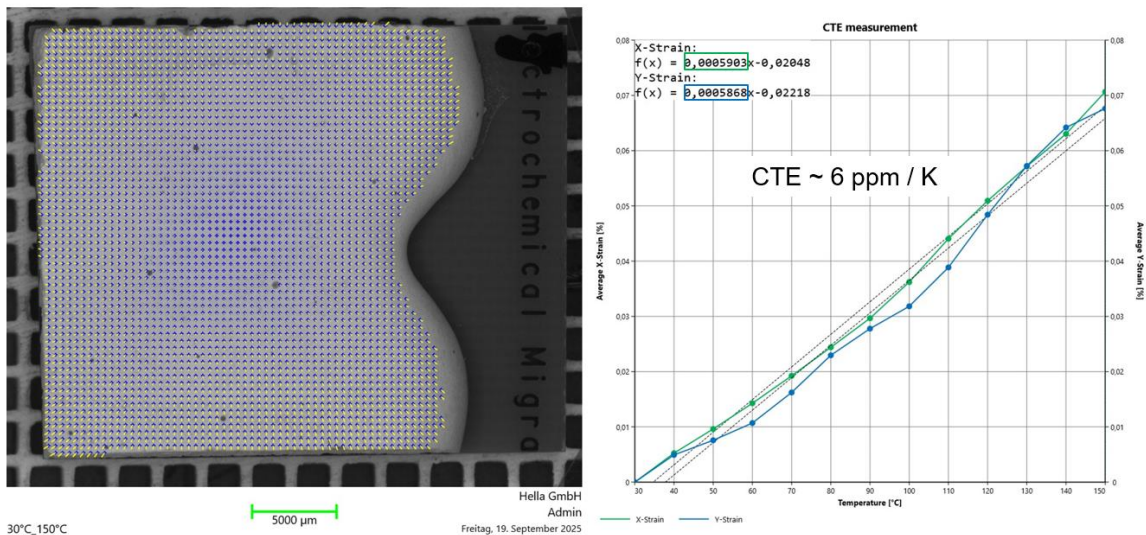


Abbildung 14: CTE-Messung am anorganischen Verguss

Aufgrund der begrenzten Haftung am Bauteil und der Leiterplatte sowie des nicht an das Leiterplattenmaterial angepassten thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Vergusses zeigte sich schon nach 100 Thermoschockzyklen (-40 °C/ 140 °C) ein Abplatzen des Vergusses von der Leiterplatte (siehe Abbildung 15). Die Zuverlässigkeitstests mit dem anaorganischen Verguss wurden daraufhin als nicht zielführend beendet.

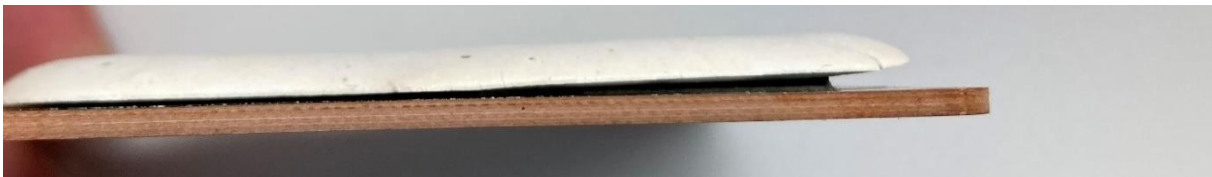


Abbildung 15: Anorganischer Verguss – Abplatzen im Thermoschocktest

3.2.3 Feuchte -Wärme-Lagerung / Elektrochemische Migration

Zur Bewertung des Einflusses des Underfillers und des anorganischen Vergusses auf die Entstehung von elektrochemischer Migration wurden Lagerungsversuche unter feuchter Wärme durchgeführt. Für die Versuche wurde das in Abbildung 6 dargestellte Testboard verwendet, das in Anlehnung an ein B-52 Testboard gemäß IPC-9202 designt wurde. In Abbildung 16 sind die Testboards im Referenzzustand und mit appliziertem Underfill und Verguss dargestellt.



Abbildung 16: Testboards für Feuchte-Wärme Tests

Die Feuchte-Wärme-Tests wurden bei den Automotive typischen Bedingungen 40 °C / 93 % r. H. als auch bei 85 °C / 85 % r. H. durchgeführt, wobei die Spannung 10 V betrug. Als Bewertungskriterium OK / NOK gemäß IPC-9202 wurde ein Mindestwiderstand von $> 10^8$ Ohm nach 168 h Stunden angesetzt.

Die ersten 24 Stunden des Tests dienen zur Akklimatisierung und wurden nicht bewertet. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse des 85 °C / 85 % r. H. Tests zusammengefasst. Es wurden vier gleiche Referenzmuster, vier gleiche Muster mit Underfill (PFAS-frei) und drei gleiche Vergussmuster getestet. Die Zeitangaben in der Tabelle stellen die Zeiten dar, zu denen der Widerstandswert die Grenze von 10^8 Ohm unterschritten hat. Die Auswertung des Versuchs wurde nach 350 h durchgeführt.

	Großer BGA – Aurix 436		Kleiner BGA – Aurix 292	
	ohne Heatspreader	mit Heatspreader	ohne Heatspreader	mit Heatspreader
Referenz #1	277 h	257 h	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Referenz #2	288 h	235 h	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Referenz #3	281 h	256 h	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Referenz #4	297 h	259 h	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Underfill 2 # 1	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Underfill 2 # 2	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Underfill 2 # 3	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Underfill 2 # 4	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Verguss 1 #1	228 h	237 h	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Verguss 2 #2	125 h	226 h	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm
Verguss 3 #3	23 h h	239 h	> 10^8 Ohm	> 10^8 Ohm

Tabelle 5: 85 °C / 85 % r. H. Test – Ergebnisse nach 350 h

Es ist zu erkennen, dass der Verguss einen negativen Einfluss auf die Isolationswerte hat, da bei zwei von drei Mustern der Grenzwert von 10^8 Ohm bereits 23 h bzw. 125 h nach Messbeginn unterschritten wurde. Weiterhin ist sichtbar, dass auch die Referenzmuster mit großem BGA noch vor Erreichen des Test-Endes von 350 h Widerstandswerte kleiner 10^8 Ohm zeigten. Der Underfill zeigt trotz einer nicht optimalen Aufbringung (PFAS-freie Variante) einen positiven Effekt. Die Widerstandswerte am kleinen BGA lagen alle über dem Grenzwert. In Abbildung 17 ist exemplarisch der Verlauf der Widerstandswerte an einem BGA 436 dargestellt.

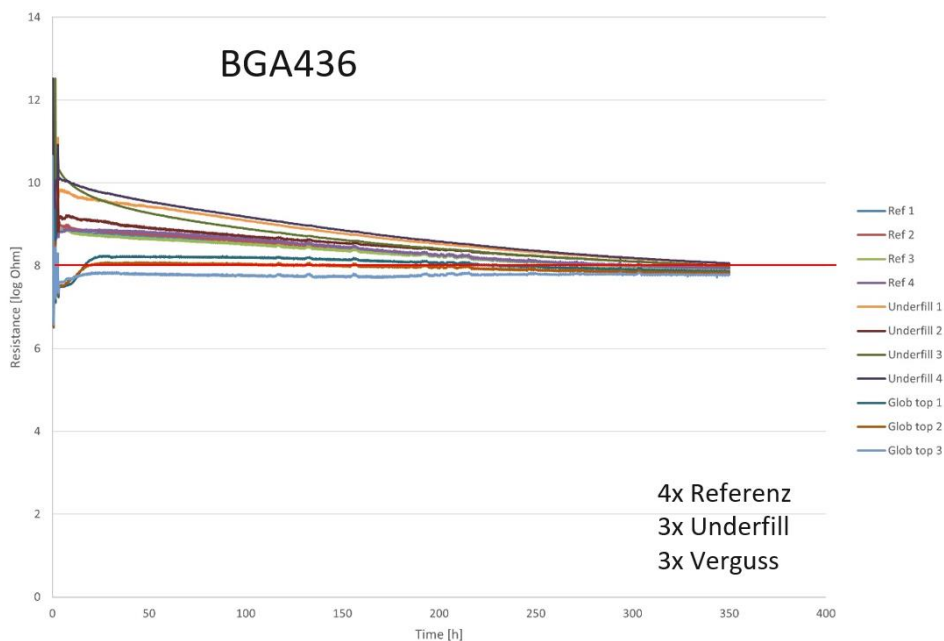


Abbildung 17: Verlauf der Widerstandswerte an einem BGA 436

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse des 40 °C / 93 % r. H. Tests dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Verguss auch bei den unkritischeren Testbedingungen einen negativen Einfluss zeigt.

	Großer BGA – Aurix 436		Kleiner BGA – Aurix 292	
	ohne Heatspreader	mit Heatspreader	ohne Heatspreader	mit Heatspreader
Referenz #1	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm
Referenz #2	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm
Referenz #3	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm
Referenz #4	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm
Underfill 2 # 1	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm
Underfill 2 # 2	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm
Underfill 2 # 3	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm
Underfill 2 # 4	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm
Verguss # 1	46 h	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	56 h
Verguss # 2	56 h	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm	>10 ⁸ Ohm

Tabelle 6: 40 °C / 93 % r. H. Test – Ergebnisse nach 350 h

Somit lässt sich zusammenfassen, dass der anorganische Verguss bei beiden Testbedingungen einen negativen Einfluss auf die Isolationswerte zeigt, wohingegen der Underfiller trotz einer nicht optimalen Aufbringung einen positiven Effekt zeigt.

4 Gegenüberstellung der gesetzten Ziele und der erreichten Ergebnisse

Gegenüber der ursprünglich im Antrag gesetzten Ziele hat es projektbedingt einige Änderungen gegeben. Diese Abweichungen resultierten dabei auf den folgenden Faktoren:

- Es stellte sich heraus, dass der anorganische Verguss noch nicht die technologische Reife besaß, um mit diesem die geplanten Zuverlässigkeitsuntersuchungen durchzuführen. So zeigte sich u. a, dass der Verguss nicht unter die BGAs geflossen ist und dass es durch seine noch nicht angepassten Ausdehnungseigenschaften zu einem vorzeitigen Abplatzen des Vergusses von der Leiterplatte gekommen ist. Weiterhin ergaben die Messungen des Isolationswiderstandes unter Feuchte-Wärme-Lagerung, dass der Verguss einen negativen Einfluss auf die Isolationswiderstände hat. Aufgrund dieser technologischen Einschränkungen war es nicht sinnvoll alle mit dem Verguss geplanten Untersuchungen durchzuführen.
- Weiterhin führte die herstellerseitige Umstellung der Materialzusammensetzung des bis dahin favorisierten Underfillers von einer PFAS-haltigen zu einer PFAS-freien Rezeptur zu zusätzlichem Untersuchungsauswand, aber auch zu unerwarteten Erkenntnissen. So stellte sich heraus, dass die PFAS-frei Variante unerwartet, und im Gegensatz zu den in den Vorversuchen erzielten Ergebnissen mit PFAS-haltigem Material, zu schlechteren Zuverlässigkeitsergebnissen führte als die Referenzteile ohne Underfill. Der Grund hierfür scheint die unzureichende Unterfüllung des BGAs durch geänderte rheologische Eigenschaften zu sein. Da die nicht optimale Underfiller-Verteilung erst zu einem späten Zeitpunkt aufgefallen ist, konnte kein neuer Langzeitversuch mit PFAS-freiem Underfiller mehr im Rahmen des Projektes durchgeführt werden, um die geplanten statistischen Zuverlässigkeitsdaten (Weibulldiagramm) zu dem PFAS-haltigem Material zu erhalten.

- Infolge der sehr späten Fertigstellung der Chipllets durch die Kooperationspartner konnten keine Tests mit den im Rahmen des Projektes entwickelten und gefertigten großformatigen Chipllets durchgeführt werden. Da diese Verspätung absehbar war, wurden alternativ Versuche mit verfügbaren BGAs vom Kooperationspartner Infineon durchgeführt, die jedoch hinsichtlich ihrer Abmessungen nicht Chipllet-Größe aufgewiesen haben.

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass nicht alle ursprünglich geplanten Projektziele vollumfänglich erreicht werden konnten. Es wurden jedoch wertvolle Aussagen zu den Eigenschaften von anorganischem Verguss und polymeren Underfillern gewonnen, die in Zukunft genutzt werden können, um die Zuverlässigkeit von Lötstellen großformatiger elektronischer Bauteile, wie z. B. Chipllets, zu verbessern. So konnte in den Vorversuchen durch umfangreiche Schliifuntersuchungen gezeigt werden, dass durch den Einsatz polymerer Underfiller und Edgebonds eine deutliche Verbesserung der Lötstellenzuverlässigkeit möglich ist, sofern diese Materialien die richtige Zusammensetzung aufweisen. Die Wirksamkeit im Hinblick auf eine Steigerung der Lötstellenzuverlässigkeit ist dabei bei vollflächig aufgetragenen Underfillern am größten.

5 Vergleich zu Fortschritten bei anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen

Während der Projektlaufzeit sind keine FuE-Ergebnisse Dritter bekannt geworden, die den durchgeführten Arbeiten entsprechen.

6 Anwendungsmöglichkeiten und wirtschaftliche Verwertung

Die erarbeiteten Lösungen für eine ausreichende automotivgerechte Lötstellenzuverlässigkeit großer flächenkontakterter Bauteile (BGAs) sind eine Voraussetzung für die erfolgreiche und zuverlässige Einführung der im Projekt entwickelten Hochleistungskomponenten (Chipllets) in Central Car Servern. Das bedeutet, dass mit der Einführung dieser Bordnetzstrukturen die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von BGAs unmittelbar eingesetzt werden.

Neben dem zukünftigen Einsatzgebiet Central Car Server sind auch die bereits bei Hella in Entwicklung befindlichen Fahrerassistenzsysteme (wie z. B. Radarsensoren) und Karosserieelektroniken, wie z. B. Body Control Modules (BCMs) und Zonenmodule (als Vorläufer der Central Car Server), ein unmittelbares Einsatzgebiet. Der Einsatz der Underfiller und anderen die Zuverlässigkeit erhöhenden Maßnahmen richtet sich dabei nach dem Bauteilportfolio des Produktes sowie den Kundenanforderungen. Infolge von steigenden Kundenanforderungen und dem verstärkten Einsatz von großen BGAs könnten somit bis zu ca. 50 % des Elektronikumsatzes bei Hella in den nächsten 2-3 Jahren von den im Projekt gewonnen Erkenntnissen profitieren.

Da die oben genannten Produkte auch in vielen Fahrzeugen deutscher OEMs verbaut werden, wäre der Nutzen für die deutsche Automobil- und Zulieferindustrie beachtlich und zeitnah.

7 Veröffentlichungen

Es wurden keine Veröffentlichungen vorgenommen.