

# DAS NATIONALE TECHNOLOGIEENTWICKLUNGS- UND QUALIFIKATIONSPROGRAMM DES DLRs FÜR ELEKTRONISCHE BAUTEILE FÜR RAUMFAHRTANWENDUNGEN

Dr.-Ing. Andreas K. Jain, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
51147 Köln, Deutschland e.V.

Jürgen Tetzlaff, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
51147 Köln, Deutschland e.V.

## Zusammenfassung

Elektronische Raumfahrtbauteile unterliegen aufgrund ihres Einsatzzweckes im Weltraum besonderen Anforderungen u.a. bezüglich Strahlungsfestigkeit, Zuverlässigkeit und Lebensdauer. Die Bauteileigenschaften müssen über den ganzen Herstellungsprozess lückenlos nachverfolgbar sein, um Fehler-Ursachen zu ermitteln und um gleichartige Fehler und kostspielige Systemausfälle verhindern zu können. Aus diesem Grund erfolgt eine spezielle Qualifikation der Bauteile nach allgemeinen oder projektspezifischen Anforderungen.

Des Weiteren werden heutzutage ca. 60% der verwendeten elektronischen Raumfahrtbauteile in den USA hergestellt und unterliegen US-Exportrestriktionen. Dies erschwert den Herstellern von Raumfahrtsystemen die Beschaffung und Verwendung von qualifizierten elektronischen Bauteilen bis hin zu Einschränkungen von Exportmöglichkeiten der Gesamtsysteme.

Um diesen Missständen entgegenzuwirken hat das DLR in Zusammenarbeit mit anderen europäischen Raumfahrtagenturen die European Space Components Coordination (ESCC) gegründet. Dieser Verband erstellt gemeinsame Spezifikationen und harmonisiert alle Qualifikationsanforderungen an elektronische Bauteile. Des Weiteren erfolgt eine Abstimmung mit den einzelnen nationalen Qualifikationsprogrammen um Parallelarbeiten zu verhindern und Synergien zu nutzen.

Im Folgenden wird eine Übersicht über die Anforderungen, Liefersituation und -restriktionen von elektronischen Raumfahrtbauteilen gegeben. Es werden Gegenmaßnahmen und Lösungsansätze beschrieben und die Aktivitäten des nationalen Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramms des DLRs für elektronische Raumfahrtbauteile vorgestellt. Ebenso wird auf die Einbindung in die europäischen Programme eingegangen.

## 1. ANFORDERUNGEN UND LIEFERSITUATION VON EEE-BAUTEILEN FÜR DEN RAUM- FAHRTEINSATZ

Die Raumfahrt stellt besondere Anforderungen an die Verwendung von elektrischen, elektronischen und elektromechanischen (EEE) Bauteilen in Raumfahrtsystemen. Da im Betrieb Reparaturen kaum durchführbar sind, ist eine hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer gefordert. Die Anbindung der Bauteile auf der Platine und der interne Bauteileaufbau müssen die starken Vibratoren des Startvorgangs für eine Vielzahl von Launchern überstehen. Im Orbit ist für die gesamte Lebensdauer eine Strahlungsfestigkeit vorzusehen, die üblicherweise 100 krad beträgt. Auch darf die Funktionsfähigkeit des Bauteils durch Temperaturschwankungen nicht beeinträchtigt werden.

Diese Bauteile-Eigenschaften müssen über die gesamte Lieferkette im Herstellungsprozess lückenlos rückverfolgbar sein, um im Fehlerfall die möglichen Fehlerursachen ermitteln zu können und in Zukunft gleichartige Fehler zu

vermeiden. Solche Fehler werden in einem weltweiten Alertsystem aufgeführt damit kostspielige Systemausfälle vermieden werden können.

Qualifizierte elektronische Raumfahrtbauteile haben aufgrund des Qualifikationsaufwands einen großen Einfluss auf die Gesamtkosten eines Raumfahrtsystems. Deren Anteil kann bis zu 30% der Hardwarekosten betragen.

EEE-Bauteile, die eine Schlüsselfunktion für die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit eines Raumfahrtgerätes oder -systems haben, werden als **strategische Bauteile** bezeichnet. Strategische Bauteile sind in der Regel nicht durch andere Bauteile komplett zu ersetzen.

Die Liefersituation von strategischen Bauteilen zeichnet sich durch eine Monopolsituation der Hersteller aus. Der Großteil der Bauteile wird in den USA hergestellt und unterliegt den US-amerikanischen Exportbeschränkungen ITAR (International Trade and Arms Regulation). Dort werden relevante Technologiefelder beschrieben, nach denen jedes Bauteil, auch nach seiner Auslieferung, unter

diese Beschränkungen fallen kann. Da dies eine Fall-zu-Fall-Entscheidung ist, kann diese Liste beliebig erweitert werden. Diese Exportbeschränkungen verursachen umfangreiche Genehmigungsverfahren mit detaillierten Informationen über das Zielsystem und Meldepflichten und haben einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und Unabhängigkeit eines Unternehmens. Zurzeit werden ca. 60% der strategischen EEE-Raumfahrtbauteile in den USA hergestellt. Nach Ansicht der europäischen Raumfahrtindustrie sind die größten Hemmnisse die Einschränkungen durch die US-Exportbeschränkungen, die Verfügbarkeit zum gewünschten Liefertermin und die verfügbare Bauteile-Performance.

In Deutschland gibt es aufgrund des hohen Qualifikationsaufwandes und des geringen Marktanteils nur wenige Raumfahrtbauteile-Hersteller, die bis auf wenige Ausnahmen aus der mittelständischen Industrie kommen.

Die projektspezifische Qualifikation erfolgt ausschließlich nach den Anforderungen, die sich aus einer bestimmten Anwendung im Rahmen des Raumfahrtprojektes ergeben. Im Gegensatz dazu bietet die allgemeine Qualifikation Kostenvorteile, da diese die verschiedenen Anforderungen einer Vielzahl von Projekten berücksichtigt. Der erhöhte Aufwand macht sich aufgrund der Verfügbarkeit, der größeren Stückzahl und der damit verbundenen höheren Zuverlässigkeit durch geringere Beschaffungskosten in den Projekten bezahlt. Aus diesem Grund werden nationale und europäische Programme zur Bauteilequalifikation erstellt und aufeinander abgestimmt.

## 2. EUROPÄISCHE HARMONISIERUNG

2002 gründeten die europäischen Raumfahrtagenturen, die Anwender von Bauteilen aus der europäischen Raumfahrtindustrie und die Hersteller von EEE-Raumfahrtbauteilen die **European Space Components Coordination (ESCC)**.

Ziel dieses Verbandes ist die gemeinsame Standardisierung von Anforderungen an EEE-Raumfahrtbauteile, die Evaluation neuer Technologien und die Harmonisierung von Qualifikationsprogrammen.

Die gemeinsamen Spezifikationen umfassen alle relevanten Bauteilegruppen:

- Widerstände und Thermistoren,
- Sicherungen,
- Spulen,
- Kondensatoren,
- Kabel,
- Steckverbinder,
- Relais und Schalter,
- Quarze und SAW-Komponenten,
- Passive Bauteile,
- Diskrete Halbleiter,
- Integrierte Schaltungen,
- Optoelektronische Bauteile

und beschreiben die detaillierten Anforderungen für die Qualifikation, die Beschaffung und Freigabe von EEE-Bauteilen. Die Verwendung dieser Bauteile im Rahmen

von Raumfahrtprojekten ist in den Standards der **European Cooperation for Space Standardization (ECSSs)** im Zweig ECSS-Q-ST-60 „EEE-Bauteile“ beschrieben.

Weiterhin werden strategische Bauteile identifiziert und neue Bauteiletechnologien und Markttrends auf ihre Anwendbarkeit in der Raumfahrt evaluiert. Auf der Basis dieser Erkenntnisse und des Bedarfs der Anwender werden die verschiedenen nationalen Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramme der europäischen Raumfahrtagenturen aufeinander abgestimmt um Parallelentwicklungen und Konkurrenzsituationen zu vermeiden und eine optimale Nutzung der Ressourcen zu ermöglichen. Die Ergebnisse werden gegenseitig zur Verfügung gestellt. Die verfügbaren Bauteile werden dem Entwickler in der European Preferred Parts List (EPPL) zur Verfügung gestellt.

2004 wurde die **European Components Initiative** der ESA aufgestellt. Ziel dieser Initiative ist es, die Abhängigkeit der Bauteilebeschaffung, insbesondere vom US-Markt, zu verringern, die Wettbewerbsposition der europäischen Industrie zu verbessern und bisher ungenutzte Potenziale in der Bauteilebeschaffung im europäischen Raum zu stimulieren. Dadurch soll eine Verbesserung der Qualitätskontrolle und der Planbarkeit von Beschaffungsmaßnahmen ermöglicht werden. Als Basis wurde eine umfangreiche Marktanalyse auf der Grundlage aktueller und geplanter Projekte für strategische Bauteile durchgeführt. Der ermittelte Bauteilebedarf wurde nach folgenden Kriterien priorisiert:

- ITAR-betroffenes Bauteil,
- Single Source,
- Marktpotential,
- Technologischer Reifegrad,
- Potenzieller Entwicklungs- und Qualifikationsaufwand.

Bisher wurden mehr als 40 Mio.€ für dieses Programm eingesetzt, wobei der überwiegende Teil von den nationalen Raumfahrtagenturen in Form von verschiedenen Technologieentwicklungs- und Qualifikationsvorhaben beigesteuert wurde. Diese Initiative wurde mit einer Aktualisierung der Marktanalysen in der dritten Phase verlängert.

Durch diese Aktivitäten in Verbindung und Abstimmung mit den nationalen Programmen konnte die Verschlechterung der Bauteileliefersituation aufgehalten und eine Trendwende erreicht werden. So hat sich der US-Importanteil von EEE-Raumfahrtbauteilen in den letzten fünf Jahren von 70% auf 60% verringert obwohl in dem davorliegenden Zeitraum ein weiter ansteigender Trend zu verzeichnen war.

### 3. NATIONALE AKTIVITÄTEN

Das DLR ermittelt den nationalen Bedarf an EEE-Raumfahrtbauteilen und führt dazu mit der deutschen Raumfahrtindustrie regelmäßige Anwenderkonferenzen durch. Diese dienen als Informationsplattform, um:

- die Verfügbarkeit von EEE-Bauteilen und die Auswirkungen von Exportbeschränkungen zu ermitteln,
- Qualifizierungsverfahren und Technologieentwicklungen vorzustellen und deren Akzeptanz beim Anwender zu ermitteln,
- Bauteileprobleme und Alerts zu diskutieren.

Auf dieser Basis wird ein nationales Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramm erstellt, priorisiert und mit den europäischen Programmen abgestimmt. Dieses Programm wird auf der Basis eines 5-Jahreszeitraums erstellt und laufend aktualisiert. Das nationale Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramm ist in einer Übersicht (Bild 1) dargestellt.

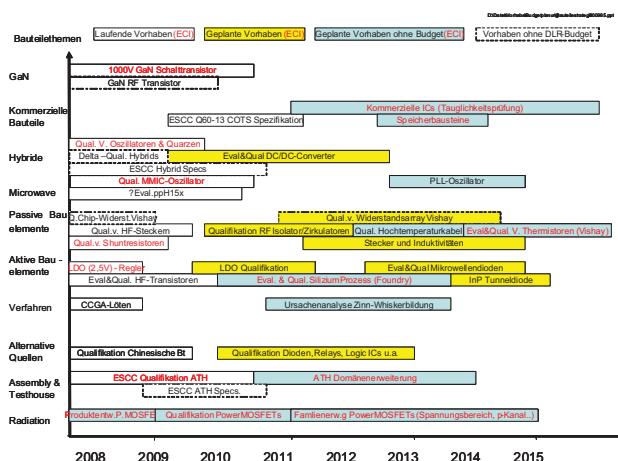


Bild 1. Nationales Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramm für EEE-Bauteile

Wenn ein deutscher Hersteller verfügbar ist, wird eine Bauteileentwicklung oder –qualifikation durch das DLR initiiert. Die Qualifikation wird durch Audits vom DLR begleitet, und bei Einhaltung der Spezifikationen wird das Zertifikat erteilt. Dieses Zertifikat ist in regelmäßigen Rezertifizierungsaudits zu erneuern. Das DLR beantragt dann die Aufnahme der qualifizierten Bauteile in die European Preferred Parts List (EPPL).

Das DLR arbeitet an der Erstellung von Spezifikationen im europäischen Verband mit und nimmt eine Vorreiterrolle ein, um neue Marktrends aufzunehmen und in die Spezifikationen aufzunehmen.

Es werden Kooperationen mit Raumfahrtagenturen außerhalb Europas wie z.B. Japan und China eingegangen, um die Verfügbarkeit von EEE-Bauteilen zu erhöhen, aber auch um nationalen Bauteileherstellern weitere Absatzmärkte für Ihre Produkte zu erschließen.

Da die Zuverlässigkeit von kommerziellen Bauteilen inzwischen einen hohen Grad erreicht hat, baut das DLR ein „Assembly and Test House“ auf, um kommerzielle Produkte verschiedener Hersteller für die Anwendung in der Raumfahrt zu qualifizieren und die Verfügbarkeit zu erhöhen.

Es werden neuartige Technologien auf Ihre Einsatzfähigkeit im Raumfahrtbereich untersucht. So werden neuartige Lötverfahren oder die Verwendungsfähigkeit von Transistoren auf der mehr strahlungsfesten GaN-Basis untersucht, die möglicherweise die Silizium-Chips in der Zukunft ablösen können.

Da mittelständische Hersteller oft von Übernahmen betroffen sind und eine fortlaufende Verfügbarkeit der Produkte oft nicht gewährleistet werden kann, wird das nationale Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramm auch an der Bereitstellung einer „Second Source“ ausgerichtet. Dies hat u.a. den Vorteil dass durch mehrere Anbieter die Preise sinken, Übernahmen unattraktiver werden und das technologische Know-how in Europa gewahrt bleibt.

### 4. AKTUELLE EEE-VORHABEN DES DLRs

Um mehr Effektivität und die engere Zusammenarbeit mit der deutschen Raumfahrtindustrie zu gewährleisten, hat sich das DLR für eine Kooperation mit der Firma TESAT (ehemalig BOSCH Satcom) entschieden, die bereits umfangreiche Erfahrungen zum Thema Beschaffung von EEE-Bauteilen aufweisen kann. Eine optimale Unterstützung der DLR-Bauteileaktivitäten ist durch die verschiedenen TESAT-Experten aus den unterschiedlichen Bauteile-Fachbereichen gegeben. Die Aufgabenteilung sieht vor, dass die Firma TESAT vor allem für die technische Durchführung der Qualifikationen und die Kontakte zu Herstellern und Anwendern verantwortlich ist, während das DLR die exekutive Funktion im ESCC und den Kontakt zur europäischen Raumfahrtagentur ESA wahrnimmt.

An dieser Stelle werden kurz die laufenden Vorhaben vorgestellt. Eine vollständige Liste inklusive der abgeschlossenen Vorhaben ist der DLR-Webseite zu entnehmen.

#### 4.1. Erstellung von Spezifikationen zur Hybrid-Qualifikation

Im ESCC-System gab es seinerzeit noch keine Spezifikationen für Standard-Hybrid-Schaltungen. Bei Standard-Hybrid-Schaltungen werden verschiedene elektronische Bauteile in einem Gehäuse vereint, so dass resultierend diese Schaltung als ein Bauteil betrachtet und auch qualifiziert werden kann. In Deutschland benötigten verschiedene Hersteller genau diese Hybrid-Spezifikationen. Zu Beginn wurden sie für die erfolgreiche Qualifikation von Quarzoszillatoren benötigt, welche die deutsche Firma KVG durchführt. Das Vorhabensziel ist im Wesentlichen erreicht worden, allerdings musste der anfangs vorgesehene Projektverlauf aufgrund vielfältiger

Diskussionen und differierender Meinungen im ESCC mehrfach verändert werden, sodass anstatt der ursprünglich geplanten generellen Spezifikationen für Hybride „nur“ Spezifikationen für Oszillatoren verabschiedet wurden.

#### 4.2. Evaluation und Qualifikation von Quarzen und Oszillatoren



Quarze und Oszillatoren werden in nahezu jedem Raumfahrtprojekt benötigt. Für raumfahrt zugelassene FCPs (Frequency Controlled Products)

steht zurzeit weltweit nur eine sehr begrenzte Auswahl qualifizierter Lieferanten zur Verfügung, die fast alle in den USA ansässig sind und entsprechenden Exportbeschränkungen unterliegen. Im Rahmen dieses Vorhabens soll eine Qualifizierung von Quarzen und Oszillatoren durch die Firma KVG durchgeführt werden.

#### 4.3. Evaluation und Qualifikation von HF-Steckverbindern

Dieses Vorhaben soll für die europäischen Raumfahrtanwender die Bauteilverfügbarkeit im Bereich von Hochfrequenzsteckverbindern verbessern. Aus dem Bauteil-Anwenderkreis der deutschen Raumfahrtgeräte-Hersteller kam der Wunsch nach qualifizierten HF-Steckern für den Einsatz im Raumfahrtbereich, da diese Stecker in vielen Raumfahrtgeräten benötigt werden.



Bild 2. Verschiedene Hochfrequenzsteckverbindern

Durch den Einsatz der dann ESCC-qualifizierten HF-Stecker werden sich zukünftige Projekte zeit- und kosten-effizienter durchführen lassen, weil die bisher gesonderten und aufwendigen Stecker-Qualifikationen für jedes einzelne Projekt entfallen. Für die Qualifikation von HF-Steckern kommen nur die Firmen in Frage, die den Qualitätsansprüchen genügen und das hierfür notwendige technische Know-how besitzen. Hinzu kommen die erforderlichen Kenntnisse über Bauteile-Anforderungen, die in der Raumfahrt eingesetzt werden. Für dieses Vorhaben wurde schließlich die Firma Rosenberger als geeignete Firma identifiziert, die durch ihre Produktionsbedingungen den weiteren Vorteil einer großen Fertigungstiefe und somit die Unabhängigkeit von Zulieferern vorweisen kann.

#### 4.4. Evaluation und Qualifikation eines Assembly- und Testhauses



Viele Halbleiterhersteller können derzeit zwar für die Raumfahrt geeignete Chips liefern, sind aber nicht Willens oder in der Lage die aufwendige Chipmontage in raumfahrttaugliche Gehäuse und die notwendigen umfangreichen Tests für die Qualifikation durchzuführen. Damit diese kostenintensiven

Arbeiten nicht bei vielen Firmen parallel betrieben werden müssen, sollen diese Prozesse in einem Assembly- und Testhaus (ATH) durchgeführt werden. Das ATH übernimmt die Montage der Chips in geeignete Gehäuse, das Screening, den Vertrieb und die Produktverantwortung für die Bauteile.

Nach erfolgreicher Durchführung soll der Einsatzbereich durch eine Domänenerweiterung vergrößert werden.

#### 4.5. Strahlungscharakterisierung kommerzieller PowerMOSFETs

Zur Verbesserung der Verfügbarkeit bei MOSFET-Leistungstransistoren erfolgte hier die Strahlungscharakterisierung unter anwendungsnahen dynamischen Betriebsbedingungen im Gegensatz zu den normalerweise durchgeföhrten statischen Messungen. Die Ergebnisse ermöglichen es, für Raumfahrtanwendungen mit reduzierten Strahlungs-Anforderungen und kurzen Missionszeiten preiswerte Alternativbauteile einzusetzen.



#### 4.6. Verschiedene Vorhaben zur Verbesserung der Verfügbarkeit von MOSFET-Leistungstransistoren



MOSFET-Leistungstransistoren werden in nahezu jedem Raumfahrtgerät benötigt, allerdings sind diese Bauteile empfindlich gegenüber der im Orbit auftretenden Weltraumstrahlung. Derzeit gab es weltweit nur einen US-Hersteller von MOSFET-Leistungstransistoren, der eine strahlungsfeste Technologie besitzt und raumfahrtqualifiziert ist. Abgesehen davon, dass hier eine Monopolisituation besteht, unterliegen die Produkte auch noch den sehr strengen Exportbestimmungen des amerikanischen Außenministeriums. Durch diese Situation ist der Erfolg der europäischen Raumfahrtindustrie von den Zulieferungen aus den Vereinigten Staaten abhängig. In Europa wird deshalb seit längerer Zeit versucht, diese Technologie selbst zu entwickeln. Auch das DLR ist seit einigen Jahren

bestrebt, Entwicklungsvorhaben auf diesem Gebiet durchzuführen und kann mittlerweile auf positive Ergebnisse verweisen.

Das Unternehmen Infineon, einer der bedeutenden deutschen Halbleiterhersteller in der Welt, liefert für kommerzielle Anwendungen MOSFET-Leistungstransistoren mit vergleichbaren elektrischen Eigenschaften, wie sie in Raumfahrtgeräten benötigt werden. Das Verhalten dieser Bauteile unter Einwirkung der im Weltraum existierenden Strahlung wurde in einem ersten Vorhaben untersucht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Strahlentoleranz der vorhandenen Bauteile nicht ausreicht und dass der Herstellungsprozess und das Bauteildesign modifiziert werden müssen, um die für Raumfahrtanwendungen benötigte Strahlungsfestigkeit zu erreichen. In einem Anschlussvorhaben wurden grundlegende Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, die am besten geeignete Technologie bei Infineon auszuwählen und einfache Prozessmodifikationen zu identifizieren, mit denen die gewünschte Verbesserung der Strahlungsfestigkeit erreicht werden kann. Für die Untersuchungen wurde der CoolMOS-Transistor als das für strahlungshärtende Maßnahmen am besten geeignete Bauteil identifiziert. Die Ergebnisse zeigten, dass es keine singuläre Maßnahme gibt, mit der kurzfristig das Ziel eines strahlungsgehärteten MOSFETs basierend auf der bestehenden Prozesslinie erreicht werden kann. Vielmehr wurde erkannt, dass einige grundsätzliche Änderungen gegenüber dem kommerziellen Prozess eingeführt werden müssen, um die gewünschte Strahlungsfestigkeit für den CoolMOS-Transistor zu realisieren.



In einem weiteren Vorhaben wurden für die als Erfolg versprechend erkannten Maßnahmen geeignete Lösungswege untersucht. Unter anderem überprüfte man den Einfluss der Gateoxiddicke und die Vermeidung von hohen Prozesstemperaturen bei

der Herstellung und Bearbeitung des Gateoxids. Parallel dazu fanden Untersuchungen an Teststrukturen aus dem vorangegangenen Vorhaben statt, mit denen die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen nachgewiesen und widersprüchliche Messergebnisse interpretiert werden konnten. Die gewonnenen Erkenntnisse führten schließlich zur Entwicklung neuer Teststrukturen und zu einem neuen Maskensatz, mit dem modifizierte CoolMOS-Transistoren hergestellt und in mehreren aufeinander folgenden Waferläufen optimiert werden konnten. Mit diesen Maßnahmen war es möglich, ein neues Herstellungskonzept zu entwerfen und infolgedessen zu realisieren. Unter Verwendung vorhandener Prozesse konnten so funktionsfähige CoolMOS-Transistoren hergestellt werden. Beim eigentlichen Herstellungsprozess konnte die für die Raumfahrtanwendungen geforderte niedrige Drift der Schwellspannung nach Bestrahlung vorgewiesen werden, gleichzeitig wurden die vorteilhaften elektrischen Parameter beibehalten.

Ein neues Vorhaben beschäftigt sich jetzt mit der Weiterentwicklung der CoolMOS-Transistoren zu Bauteilen in raumfahrtüblichen Gehäusen und der für den Einsatz in Raumfahrtgeräten erforderlichen Evaluation und Qualifikation.

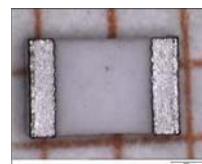
Aufgrund der erfolgreich abgeschlossenen Vorphasen und der bisher erhaltenen Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass voraussichtlich Mitte 2010 erste Leistungs-MOSFETs aus Deutschland für Raumfahrtanwendungen zur Verfügung stehen werden.

#### 4.7. Verwendbarkeitsuntersuchung von chinesischen Raumfahrtbauteilen und deren Evaluation und Qualifikation

Die Liefersituation der EEE-Bauteile für Raumfahrtanwendungen mit ihrer starken Abhängigkeit von amerikanischen Herstellern erfordert die dringende Überprüfung aller Alternativen zur Beschaffung von EEE-Bauteilen und die Markttöffnung zu neuen internationalen Bauteile-Lieferanten.

China entwickelt und fertigt seit vielen Jahren Bauteile für ihre eigenen Raumfahrtprojekte und hat unterdessen Interesse daran, diese Produkte auch im Ausland zu vermarkten. Die Qualität der Bauteile ist mit denen aus den USA zu vergleichen, insbesondere weil die Überprüfungen der Bauteile nach den amerikanischen Standards erfolgt, die in chinesischer Sprache zur Verfügung stehen.

Eine Kooperation mit China auf diesem Gebiet könnte eine alternative Liefermöglichkeit erschließen. Ein weiterer Vorteil einer Kooperation mit China ist die Erweiterung des Marktes für europäische Hersteller von Bauteilen, was zu höherer Rentabilität, höheren Stückzahlen und günstigeren Preisen führt. Die Kooperation soll sich ausschließlich auf zivile Bereiche beschränken. Ein Know-how-Transfer nach China wird nicht erfolgen, ebenso wenig die Verletzung von amerikanischen Export-Kontrollvorschriften. Eine Kooperation mit China wird sowohl von der ESA als auch von der Kommission der europäischen Gemeinschaften befürwortet.



Im ersten Vorhaben zu dieser Thematik wurde eine kleine Auswahl von Bauteilen auf ihre Tauglichkeit hin überprüft, die Kooperation und die Liefermöglichkeiten der chinesischen Seite untersucht und die chinesischen Fertigungsmöglichkeiten beurteilt. Auf Basis der positiven Ergebnisse des ersten Vorhabens wurde im Nachfolgevorhaben mit der Evaluation und Qualifikation chinesischer Bauteile (Chip-Widerstände, Tantal-Kondensatoren; s. Bilder) begonnen. Hauptaufgaben sind hier: die Erstellung von Spezifikationen und Testplänen, die Durchführung der Evaluations- und Qualifikationstests, die Firmen-Auditierungen, die Unterstützung bei der Etablierung eines Zertifizierungssystems, die Fertigung von Qualifikationsmustern, die Durchführung von Screening- und Qualifikationstests, die Bewertung der Ergebnisse und Freigabe der Bauteile.



#### 4.8. Entwicklung und Qualifikation eines CCGA (Ceramic Column Grid Array)-Lötverfahrens

In immer größerem Umfang werden hochkomplexe und damit vielpolige elektronische Bauteile in Gehäusen mit Column Grid Arrays (CGAs) von den Bauteile-Herstellern, auch unter Förderung der ESA, entwickelt und angeboten. Gerade bei neuen Prozessortypen und FPGAs gibt es keine alternativen Gehäuseformen wie z.B. Ceramic Quad Flatpacks (CQFPs), für die zuverlässige Lötprozesse erprobt sind.

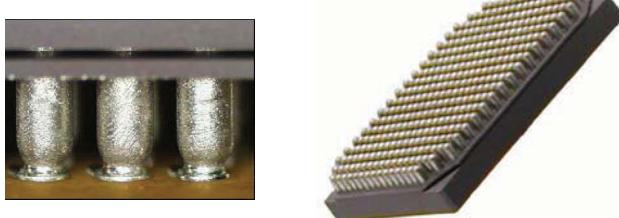


Bild 3. CCGA mit Montagedetail

Recherchen haben gezeigt, dass es in Deutschland momentan keine Firma gibt, die einen für das Ceramic-CCGA-Löten qualifizierten Prozess besitzt. Um weiterhin konkurrenzfähige Produkte für den Raumfahrt Einsatz zu entwickeln, wird die Anwendung dieses Prozesses für die Firmen in allernächster Zukunft unumgänglich sein. Daher soll ein entsprechendes Löt- und Montageverfahren für den Raumfahrt Einsatz entwickelt und nachfolgend entsprechende Voraussetzungen für dessen Qualifizierung festgelegt werden. Der Lötprozess soll die neuen Zuverlässigkeitssanforderungen für den Weltraumeinsatz erfüllen.

#### 4.9. Evaluation und Qualifikation eines MMIC-Lokaloszillators

Europa befindet sich in einer sehr kritischen Situation hinsichtlich der Verfügbarkeit der benötigten Raumfahrtbauteile und ist weitgehend vom Wohlwollen der amerikanischen Regierung und deren Exportbeschränkungen abhängig. Einen Oszillator, der dem zu qualifizierenden Lokal-Oszillator (LO) ähnlich ist, gibt es zurzeit nur in den USA.

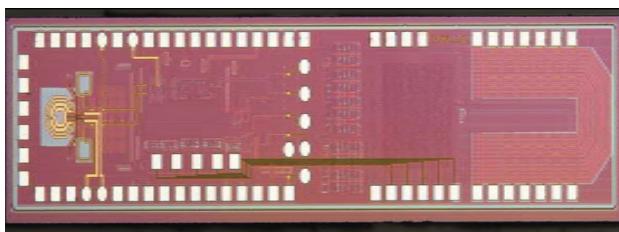


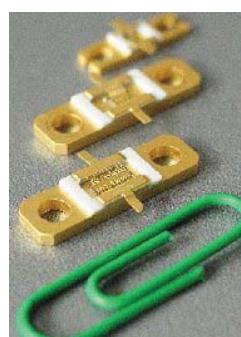
Bild 4. MMIC-Lokaloszillator

Das neue deutsche Bauteil übertrifft das amerikanische auch deutlich im Hinblick auf dessen Bauteileigenschaften. Eine von der ESA beauftragte Applikationsuntersuchung

hat gezeigt, dass der Kommunikationsmarkt für High Definition Television (HDTV) und Interaktivität Breitband-Übertragungen benötigt. Für die vielen erforderlichen Hochfrequenz-Satellitenkanäle sind eine große Anzahl von MMIC-LOs (Monolithic Microwave Integrated Circuit) erforderlich. Eine weitere ESA-Technologieuntersuchung zeigte, dass die Anforderungen am besten durch hoch integrierte SiGe (Siliziumgermanium) MMICs bedient werden können. Bei dem vorgesehenen Untertragnehmer, der IHP GmbH (Institut für innovative Mikroelektronik) in Frankfurt/Oder, ist diese Technologie vorhanden und verfügbar. Die Entwicklung des MMIC-LO ist weitgehend abgeschlossen, und im geplanten Vorhaben soll nun eine ESCC-Qualifikation erreicht werden.

#### 4.10. Entwicklung eines GaN-1000V-Schalttransistors

Leistungs-Schalttransistoren werden in nahezu jedem Raumfahrtgerät benötigt und dienen dort meist als Schaltelemente für Ströme im Bereich mehrerer Ampere bei geringen Verlusten (Durchlasswiderständen) und hoher Durchbruchsspannung. Zurzeit werden hierfür strahlungsharte Power Metal-Oxid-Semiconductor Feldeffekttransistoren (Rad-Hard Power-MOSFET) auf Siliziumbasis eingesetzt (Nachteile: ITAR, Monopolsituation).



Als aussichtsreichste Alternative bieten sich derzeit Heterostrukturfeldeffekttransistoren auf der Basis des Galliumnitrid (GaN)-Materialsystems an (AlGaN/GaN-HFET). Derartige Transistoren gelten als inhärent strahlungsfest und weisen theoretische Vorteile bezüglich Durchlasswiderstand und Durchbruchsspannung gegenüber Siliziumtransistoren im Bereich mehrerer Größenordnungen auf. Unter dem Stichwort Energieeinsparung können GaN-Schalttransistoren aufgrund des zu erwartenden hohen Wirkungsgrads auch für andere Märkte interessant werden. Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung der Prozesstechnik und der Transistor-Strukturen in Gallium-Nitrid sowie die Herstellung von Testmustern. Weiterhin wird die Aufbautechnik in geeignete Gehäuse untersucht.

#### 4.11. Evaluation und Qualifikation von Dioden und HF-Transistoren

Das Unternehmen Infineon stellt unter anderem hochwertige Dioden und Transistoren unterschiedlicher Typen her, die im Automotiv- und Wirelessbereich eingesetzt werden und herausragende Leistungsmerkmale besitzen.

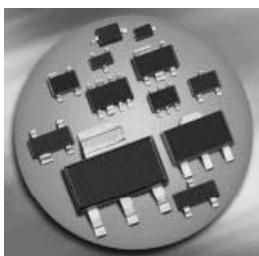
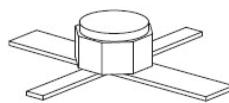


Bild 5. Dioden



HF-Transistor im Micro-X Gehäuse

Im Raumfahrtbereich benötigt man in fast allen Raumfahrtgeräten Dioden und HF-Transistoren. Um diese innovativen Bauteile der Firma Infineon für den europäischen Raumfahrtmarkt verfügbar zu haben, soll in diesem Vorhaben deren Evaluation und Qualifikation im ESCC-System durchgeführt werden. Nach erfolgreicher Qualifikation können diese Bauteile direkt und ohne zusätzliche Nachweise in neuen Raumfahrtanwendungen eingesetzt werden, was zukünftig vor allem zu Kosteneinsparungen und Verringerung des Zeitaufwandes innerhalb von Projekten führen wird.

#### 4.12. PPH15-und PPH15x-Evaluation

PPH15 steht für Power PHEMT (Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor), einer Halbleitertechnologie mit 0,15 Mikron Gate Länge. Das für MESFET- und HEMT-Technologie führende europäische Unternehmen ist UMS mit Firmenstandorten in Orsay, Frankreich und Ulm, Deutschland. PPH15 ist eine technische Weiterentwicklung der PH15- und PH25-Prozesse für höhere Leistungen. Das ESCC-CTB (Component Technology Board) hat die Förderung seitens des DLR empfohlen. In einem ersten Vorhaben wurde gemäß den ESCC-Evaluationsrichtlinien der PPH15-Herstellungsprozess für Leistungstransistoren zur Qualifikationsreife gebracht. Damit ist die Beurteilung des Herstellungsprozesses sowie Definition und Durchführung der erforderlichen Tests gemeint. Es wurden hierbei die zu verwendenden Herstellungs- und Testverfahren beschrieben und festgelegt.

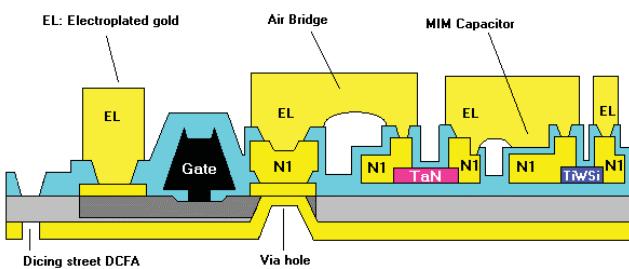


Bild 6. PPH15 Aufbau

PPH15x ist eine Weiterentwicklung des PPH15-Herstellungsprozesses mit einer HF-Leistungsdichte größer als 500 mW/mm für hochlineare Ka-Band-Raumfahrtanwendungen und für Betriebsspannungen von 6V. Diese Halbleitertechnologie enthält neuartige Strukturen, die zunächst im Rahmen des Vorhabens hinsichtlich Lebensdauer und Zuverlässigkeit untersucht werden sollen. Nach erfolgreichem Abschluss dieser Untersuchungen wird in einer zweiten Phase der PPH15x-Herstellungsprozess bei der Firma UMS zunächst intern qualifiziert und an-

schließend einer ESCC-Evaluation unterzogen. Bei diesen Untersuchungen und Tests kann auf frühere Ergebnisse von ESCC-Evaluationen aufgebaut werden, sodass eine kostengünstige Delta-Evaluation durchführbar ist.

#### 4.13. Evaluation und Qualifikation von Kabeln

Für die bisher in vielen Raumfahrtprojekten eingesetzten, aber nicht qualifizierten Kabel sind aufwendige und kostspielige Projektqualifikationen erforderlich. Um Einzelqualifikationen zu vermeiden, soll zur Sicherstellung einer europäischen Liefer- und Konkurrenzfähigkeit das verfügbare Produktspektrum an qualifizierten Kabeln erweitert werden.



Die Entwicklung der Produkte ist schon abgeschlossen, jedoch ist für den generellen Einsatz in der Raumfahrt darüber hinaus die Evaluation und Qualifikation erforderlich. Der Auftragnehmer trägt in diesem Vorhaben die Qualifikationskosten selbst und wird durch das DLR als Teil der ESCC-Executive unterstützt.

Weitere Projekte sind zurzeit in der Bewertung wie z.B.:

- Ursachen und Verhinderung der Whiskerentstehung,
- Evaluation und Qualifikation eines HF-Zirkulators/Isolators,
- Evaluation und Qualifikation eines DC/DC-Konverters.

#### 5. WEITERFÜHRENDE LINKS

Weitere Informationen sind unter den folgenden Links zu finden:

ESCC: <https://spacecomponents.org/splash.html>

ESCIES: <http://escies.org/>

EPPL: <https://escies.org/ReadArticle?docId=166>

IBARA: <http://www.ibara.de/>  
(PW-geschützt nur für Raumfahrtanwenderfirmen)

DLR-QP Laufend aktualisierte Übersicht über alle Vorhaben: [http://www.dlr.de/qp/desktopdefault.aspx/tabcid\\_3091/4699\\_read-6884/](http://www.dlr.de/qp/desktopdefault.aspx/tabcid_3091/4699_read-6884/)

ITAR: [http://pmddtc.state.gov/regulations\\_laws/itar\\_consolidated.html](http://pmddtc.state.gov/regulations_laws/itar_consolidated.html)

ECSS: <http://www.ecss.nl/>