

EEE-Bauteile

Kleine Teile – große Wirkung

Von Guido Joormann und Dr. Andreas K. Jain

Sie sind klein, maßgeschneidert und unersetzbar – EEE-Bauteile. EEE steht für elektrisch, elektronisch und elektromechanisch. Ohne diese winzigen Bestandteile könnte kein Raumfahrzeug unsere Erde verlassen, die Internationale Raumstation ISS würde nicht um die Erde kreisen und Neil Armstrong hätte den Mond nie betreten. Die Anforderungen, die an diese Bauteile gestellt werden, sind allerdings sehr hoch: Sie müssen zuverlässig sein, eine hohe Lebensdauer aufweisen, extreme Temperaturschwankungen und hohe Strahlungsdosen aushalten. 60 Prozent dieser Bauteile wird allerdings in den USA hergestellt und unterliegt den strengen Exportbestimmungen des US-Außenministeriums. Das nationale Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramm für EEE-Bauteile des DLR soll deutschen Firmen helfen, Hightech-Bauteile zu entwickeln, herzustellen, zu qualifizieren und den Markt für ihre Produkte zu öffnen.

EEE Components

Small Parts – Great Effects

By Guido Joormann and Dr. Andreas K. Jain

They are small, they are custom-made, and they are irreplaceable – EEE components. EEE stands for electrical, electronic and electromechanical. Without these minute parts, no spacecraft would be able to leave our Earth, the International Space Station would not be in orbit, and Neil Armstrong would never have set foot on the Moon. The requirements which these components have to meet are stringent indeed: they must be reliable, have a long life, and be capable of withstanding extreme temperature fluctuations and high radiation doses. 60 per cent of these components are made in the USA and subject to the strict export regulations of the US Department of State. DLR's national technology development and qualification programme for EEE components is designed to assist German companies in developing and manufacturing high-tech components and opening markets for their products.

Drei Millimeter breit und fünf Millimeter lang: Mehrere EEE-Bauteile sind in etwa so groß wie ein Daumennagel.

Three millimetres wide and five millimetres long: a few EEE components are as small as a thumbnail.



Autoren: **Dr. Andreas K. Jain** leitet die Abteilung Normung und EEE-Bauteile des DLR und führt im Auftrag des DLR-Raumfahrtmanagements das deutschen Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramm für EEE-Bauteile durch. **Guido Joormann** arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Normung und EEE-Bauteile. Er ist mit der Durchführung, Überwachung und Aufrechterhaltung von Qualifikationen deutscher Bauteilhersteller betraut und vertritt das DLR Raumfahrtmanagement in den Arbeitsgruppen und Gremien der ESCC.

Authors: **Dr. Andreas K. Jain** heads DLR's Standardisation and EEE Parts Division. Acting on behalf of the DLR Space Administration, he is responsible for the German Technology Development and Qualification Programme for EEE Parts. **Guido Joormann** works as a scientific assistant at the Standardisation and EEE Parts Division. He is responsible for the implementation, supervision and maintenance of the qualification of German EEE component manufacturers and represents the DLR Space Administration in the working groups and boards of the ESCC.

Während ihres gesamten Einsatzes sind die winzigen EEE-Bauteile extremen Situationen ausgesetzt: starken Vibrationen während des Starts, erhöhter Strahlung und massiven Temperaturschwankungen im Orbit. Da im Weltall Reparaturen kaum durchführbar sind, ist eine hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer gefordert. Raumfahrt stellt aus diesen Gründen besondere Anforderungen an die Qualität von EEE-Bauteilen. Ihre Historie muss über die gesamte Lieferkette im Herstellungsprozess lückenlos zurückverfolgbar sein, um im Fehlerfall mögliche Ursachen ermitteln und in Zukunft gleichartige Pannen vermeiden zu können. Fehler werden in einem weltweiten Alarmsystem aufgeführt. Teuere Systemausfälle sollen so der Vergangenheit angehören.

Kostspielige Kleinteile

Fehlervermeidung vergrößert den Aufwand einer Qualifikation von EEE-Bauteilen und nimmt großen Einfluss auf die Gesamtkosten eines Raumfahrtssystems: Bis zu 30 Prozent der Hardwarekosten kann deren Anteil betragen. Für den Satelliten Meteosat Second Generation 4 (MSG4) liegt er sogar bei 37 Prozent. Laut einer Marktanalyse des Herstellers TESAT müssten beim Bau des MSG 4-Satelliten von einem Gesamtvolumen von 135 Millionen Euro rund 24,2 Millionen Euro für Bauteile ausgegeben werden. In den Satelliten Herschel-Planck stecken EEE-Produkte im Wert von insgesamt 35 Millionen Euro. Für die ExoMars-Mission geht die Prognose von 20 Millionen Euro aus. Auch in den europäischen Raumtransportern ATV sind viele kleine Bauteile verbaut: Alleine 38.551 Transistoren wurden für die ersten vier Flugmodelle beschafft, was anzahlmäßig 1,77 Prozent aller Bauteile ausmacht und mit mehr als zwei Millionen Euro 7,3 Prozent der gesamten Bauteilkosten entspricht. In den Raumtransportern sind spezielle Transistoren verbaut, die bis zu 300 US-Dollar pro Stück kosten. Alleine für den Transporter ATV-1 lieferte TESAT im Zeitraum 2000 bis 2006 EEE-Bauteile im Wert von insgesamt 9,3 Millionen Euro. Im Galileo-Programm müssten laut der Marktanalyse 87 Millionen Euro für 28 Navigationssatelliten (3,1 Millionen Euro pro Satellit) ausgegeben werden. Der Start einer Ariane 5 fällt mit einem EEE-Bauteilvolumen von 1,5 Millionen Euro dagegen verhältnismäßig günstig aus. Dies liegt laut der Analyse daran, dass bei Ariane 5 keine Solarzellen und kein Thermalsystem verwendet werden und aufgrund der kurzen Betriebslaufzeit ein anderes Qualitätsniveau mit geringeren Anforderungen zugrunde liegt.

During their entire active life, these minute EEE components are exposed to extreme conditions: intense vibrations during take-off; increased radiation levels and massive temperature fluctuations in orbit. As it is hardly possible to repair anything in space, high reliability and a long service life are of the essence. This is why the use of EEE components is subject to particular requirements. Their production history must be traceable without a single break along the entire supply chain so that the potential causes of any defect can be identified and similar breakdowns avoided in the future. Such defects are documented in a global alarm system so that costly system failures may soon become a thing of the past.

Small but expensive

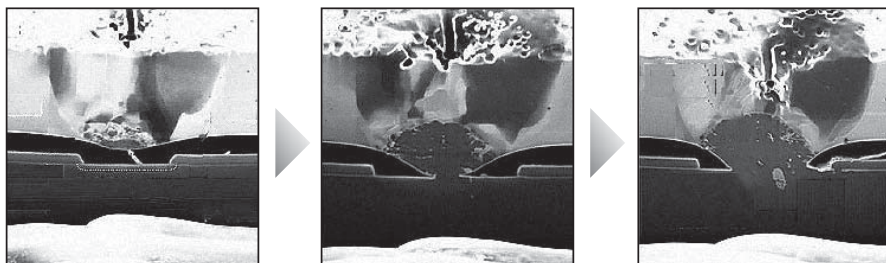
Defect avoidance increases the expense of qualifying EEE components, and therefore greatly influences the cost of space systems. In fact, it may account for up to 30 per cent of the hardware cost. In the Meteosat Second Generation 4 (MSG4) satellite its share is as high as 37 per cent. In a market analysis, the manufacturer TESAT estimated the total expense of building the MSG 4 satellite at 135 million euros, with components accounting for approx 24.2 million. The Herschel-Planck satellites contain EEE products worth 35 million euros in total. For the ExoMars Mission, 20 million euros are forecast. The European ATVs (Automated Transfer Vehicles) similarly contain a large number of small components: no fewer than 38,551 transistors were procured for the first four flying ATVs, accounting for 1.77 per cent of the total number of components and, at more than 2 million euros, for 7.3 per cent of the sum spent on components. Some of the transistors integrated in the ATVs are special variants that cost up to 300 US dollars apiece. For ATV-1 alone, TESAT supplied EEE components worth a total of 9.3 million euros in the period from 2000 to 2006. According to the aforementioned market analysis, 87 million euros will have to be spent on the 28 navigation satellites of the Galileo programme (3.1 million euros per satellite). By comparison, the 1.5 million euro bill for the EEE components involved in an Ariane 5 launch is relatively modest. The reason for this, the analysis says, is that Ariane 5 features neither solar cells nor a thermal system, and that the components are made to less stringent quality standards and requirements because of their brief overall transmission time.

Nur wenige europäische Betriebe sind in der Lage, die spezifischen, raumfahrttauglichen Bauteile im Rahmen der strengen Qualitätsanforderungen zu produzieren. Das führt zu einem Herstellermonopol, das die Liefersituation dominiert: Circa 60 Prozent der ITAR-relevanten Bauteile (International Trade in Arms Regulation) produzieren US-amerikanische Firmen. Ein Großteil der Produkte unterliegt den dortigen ITAR-Exportbeschränkungen. Dadurch entstehen für die europäische Raumfahrtindustrie große Hemmnisse in Sachen fristgerechte Verfügbarkeit und Performance.

Europa ergreift die Initiative

Die europäischen Raumfahrtagenturen, die Anwender von Bauteilen aus der europäischen Raumfahrtindustrie sowie die EEE-Hersteller haben dieses Problem erkannt und 2002 die European Space Components Coordination (ESCC) gegründet. Ziel dieses Verbandes ist die gemeinsame Standardisierung von Anforderungen an EEE-Raumfahrtbauteile, die Evaluation neuer Technologien sowie die Harmonisierung von allgemeinen Qualifikationsprogrammen. Die allgemeine Qualifikation bietet im Gegensatz zur projektspezifischen Qualifikation Kostenvorteile, da sie verschiedene Anforderungen einer Vielzahl von Projekten berücksichtigt. Dadurch entsteht zwar zunächst ein erhöhter Aufwand, der sich aber durch eine gute Verfügbarkeit, größere Stückzahlen und eine höhere Zuverlässigkeit bezahlt macht. So sinken die Beschaffungskosten in den einzelnen Projekten. Aus diesem Grund werden nationale und europäische Programme zur Bauteilequalifikation erstellt und aufeinander abgestimmt. Die gemeinsamen Maßnahmen umfassen alle relevanten Bauteilgruppen (Widerstände und Thermistoren, Sicherungen, Spulen, Kondensatoren, Kabel, Steckverbinder, Relais und Schalter, Quarze und SAW-Komponenten, passive Bauteile, diskrete Halbleiter, integrierte Schaltungen und optoelektronische Bauteile) und beschreiben die Anforderungen für die Qualifikation, die Beschaffung und Freigabe von EEE-Bauteilen.

Die europäischen Raumfahrtagenturen stimmen außerdem die verschiedenen nationalen Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramme aufeinander ab. Parallelentwicklungen und Konkurrenzsituationen lassen sich so vermeiden und alle Ressourcen optimal nutzen. In der sogenannten European Preferred Parts List (EPPL) werden diese Bauteile gelistet und stehen den Entwicklern zur Auswahl von geeigneten Bauteilen für Ihr Schaltungsdesign zur Verfügung.



CoolMos-Technologie, die nicht strahlungsgehärtet ist, übersteht kosmische Strahlung nicht. Die Bildserie zeigt ein SEE Fehler von nicht strahlungsresistenter Infineon CoolMos-Technologie.

CoolMos technology which is non radiation hardened will not endure cosmic radiation. The pictures show an SEE failure of Infineon non radiation hardened CoolMos technology. (Infineon)

Only few European companies are capable of producing specific spaceworthy components under strict quality requirements. Consequently, the supply situation comes close to a manufacturing monopoly: approx. 60 per cent of all components are made by American companies, which means that a large proportion of these products are subject to export restrictions imposed by the International Trade in Arms Regulation (ITAR), leaving the European space industry confronted with great obstacles in terms of performance and availability on schedule.

Europe seizes the initiative

Having recognised this problem, the European space agencies, component users from the European space industry, and EEE manufacturers joined together in 2002 to establish an association called ESCC, or European Space Components Coordination. Its aim is to standardise requirements applying to EEE space components, evaluate new technologies, and harmonise general qualification programmes. Compared to project-specific qualification, general qualification is more cost-effective because it addresses requirements from a multitude of projects. The additional effort involved is offset by good availability, larger production volumes, and greater reliability, all of which helps to reduce the cost of procurement for individual projects. This is why national and European component qualification programmes are being developed and harmonised. Common regulations cover all relevant component categories (resistors, thermistors, fuses, coils, capacitors, cables, plug-and-socket connectors, relays, switches, quartz crystals, SAW and passive components, discrete semiconductors, integrated circuits, and optoelectronic components) and lay down the requirements applying to the qualification, procurement, and release of EEE components.

In addition, the European space agencies are harmonising their respective national technology development and qualification programmes. In this way, parallel developments and competition may be avoided, and all resources may be exploited optimally. The so-called European Preferred Parts List (EPPL) provides developers with a tool for selecting suitable components.

Laufende Vorhaben des DLR

Eine vollständige Liste inklusive der abgeschlossenen Vorhaben und Kurzbeschreibungen ist der DLR-Webseite zu entnehmen

• Evaluation und Qualifikation von Quarzen und Oszillatoren	2004 - 2011
• Evaluation und Qualifikation von HF-Steckverbindern	2005 - 2011
• Evaluation und Qualifikation eines Assembly- und Testhauses	2006 - 2011
• Entwicklung eines GaN-1000V-Schalttransistors	2007 - 2011
• Evaluation und Qualifikation eines MMIC-Lokaloszillators	2007 - 2011
• Evaluation und Qualifikation von Dioden und HF-Transistoren	2008 - 2011
• Evaluation des UMS-PPH15x-Prozesses	2008 - 2011
• Evaluation und Qualifikation der Infineon PowerMOSFETs	2009 - 2011
• Tauglichkeitsuntersuchung einer kommerziellen ASIC-Technologie bezüglich der Einsetzbarkeit für Raumfahrtanwendungen mit anschließendem ESCC Capability Approval	2011 - 2013
• Evaluation und Qualifikation von HF-Zirkulatoren / Isolatoren	2011 - 2013
• Prozess-Zertifizierung einer vorhandenen LTCC-Technologie zur Fertigung hochintegrierter, hybrider Mikrowellenmodule (RF-SiP) für die Raumfahrtanwendung	2011 - 2014
• Evaluation des SG13-Prozesses	2011 - 2014
• Entwicklung, Evaluation und Qualifikation von SiC Hochvolt-Dioden	2011 - NN

2004 wurde die European Components Initiative (ECI) der ESA ins Leben gerufen, um die Abhängigkeit von den USA bei der Bauteilebeschaffung zu verringern, die Wettbewerbsposition der europäischen Industrie zu verbessern und ungenutzte Potenziale in der Beschaffung im europäischen Raum zu erschließen. Bisher wurden mehr als 40 Millionen Euro für dieses Programm aufgewendet, wobei der überwiegende Teil von den nationalen Raumfahrtagenturen in Form verschiedener Technologieentwicklungs- und Qualifikationsvorhaben beigesteuert wurde. Durch diese Aktivitäten konnte eine Trendwende in der Bauteilliefersituation erreicht werden: Der US-Importanteil von EEE-Raumfahrtbauteilen ging in den letzten fünf Jahren von 70 auf 60 Prozent zurück.

Nationale Aktivitäten

Das DLR will diesen Trend fortsetzen und führt mit der deutschen Raumfahrtindustrie regelmäßige Anwenderkonferenzen durch, um den nationalen Bedarf an EEE-Raumfahrtbauteilen festzustellen. Auf dieser Basis wird innerhalb eines Fünfjahreszeitraums ein nationales Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramm erstellt, das laufend aktualisiert sowie mit den europäischen Programmen abgestimmt wird.

Wenn ein deutscher Hersteller verfügbar ist, wird eine Bauteileentwicklung und/oder -qualifikation durch das DLR eingeleitet und durch Audits und Betreuung begleitet und unterstützt. Bei Bestehen der umfangreichen sowie anspruchsvollen Evaluations- und Qualifikationstests wird durch das DLR das ESCC-Zertifikat erteilt, das regelmäßig erneuert werden muss. Qualifizierte Bauteile werden dann in die Qualified Parts List (QPL) aufgenommen. Das DLR erstellt im europäischen Verband Spezifikationen und nimmt eine Vorreiterrolle ein, um neue Markttrends aufzugreifen.

Doch die Zusammenarbeit beschränkt sich nicht auf Europa: Kooperationen mit Raumfahrtagenturen wie zum Beispiel Japan und China sollen die Verfügbarkeit von EEE-Bauteilen weiter erhöhen und nationalen Bauteileherstellern neue Absatzmärkte erschließen.

Aktuelle EEE-Vorhaben des DLR

Um mehr Effektivität und die engere Zusammenarbeit mit der deutschen Raumfahrtindustrie zu erreichen, hat sich das DLR für eine Kooperation mit der Firma TESAT entschieden. Die Aufgabenteilung sieht vor, dass TESAT vor allem für die technische Betreuung der Qualifikationen und die Kontakte zu Herstellern und Anwendern verantwortlich ist, während das DLR die exekutive Funktion im ESCC und den Kontakt zur europäischen Raumfahrtorganisation ESA wahrnimmt.

Current DLR projects

A complete list including brief descriptions and completed projects may be found on the DLR website

• Evaluation and Qualification of Quartz Crystals and Oscillators	2004 - 2011
• Evaluation and Qualification of HF Connectors	2005 - 2011
• Evaluation and Qualification of an Assembly- and Test House	2006 - 2011
• Development of a GaN 1000V Switching Transistor	2007 - 2011
• Evaluation and Qualification of an MMIC Local Oscillator	2007 - 2011
• Evaluation and Qualification of Diodes and HF Transistors	2008 - 2011
• Evaluation of the UMS PPH15x Process	2008 - 2011
• Evaluation and Qualification of Rad-Hard Infineon PowerMOSFETs	2009 - 2011
• Suitability Examination of a Commercial ASIC Technology regarding the Usability for Space Application including a subsequent ESCC Capability Approval	2011 - 2013
• Evaluation and Qualification of HF Circulators/Isolators	2011 - 2013
• Process certification of an existing LTCC Technology to manufacture high-integrated, Hybrid Microwave Modules (RF-SiP) for Space Application	2011 - 2014
• Evaluation of the SG13 Process	2011 - 2014
• Development, Evaluation and Qualification of SiC High Voltage Diodes	2011 - NN

In 2004, ESA set up its European Components Initiative (ECI) in order to reduce the dependency from the US market in component procurement, improve the competitiveness of the European industry, and develop hitherto unused procurement potentials in the European region. So far, more than 40 billion euros have been spent on this programme, with national space agencies contributing the lion's share through various technology development and qualification projects. These activities have turned the tide in the component supply situation: in the last five years, the share of US imports in the sale of EEE space components declined from 70 to 60 per cent.

National activities

Intending to foster this trend, DLR regularly organises user conferences together with the German space industry in order to determine the national demand for EEE space components. On that basis, a national technology development and qualification programme will be developed over the next five years which is constantly updated and harmonised with European programmes.

Where a German manufacturer is available, DLR will initiate a component development and/or qualification process and support it by providing advice and performing audits. Once a component has passed the extensive and demanding evaluation and qualification tests, a certificate will be issued which must be renewed regularly. Components once qualified will be included in the Qualified Parts List (QPL). Within the European network, DLR participates in developing specifications and plays a pioneering role in exploring new market trends.

However, cooperation is not limited to Europe alone. By collaborating with the Japanese and Chinese space agencies, for example, it is intended to improve the availability of EEE components and open up new markets for national component manufacturers.

DLR's current EEE projects

To achieve greater efficiency and closer collaboration with the German space industry, DLR has decided to cooperate with a company called TESAT. Among the duties assigned, TESAT will be mainly responsible for the technical implementation of qualifications and for contacts with manufacturers and users, while DLR will be in charge of executive functions under the ESCC as well as contacts with the European Space Agency (ESA).