

NELA

„NELA – Neuartige Elektronische Luftfahrtsystem Ansätze“

Schlussbericht

Berichtszeitraum: 01.04.2012 – 30.06.2015

Zu dem Vorhaben

Verbundprojekt: Leistungsmodule mit
neuartigen Bauelementen und innovati-
ven Aufbau- und Verbindungstechniken

Zuwendungsempfänger: Siemens AG
Förderkennzeichen: 20Y1104G
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2012 – 30.06.2015
Erstellungsdatum: 22.02.2016

Berichtersteller: Karl Weidner/Dr. Kai Kriegel

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
1.1	Zusammenfassung der relevanten technischen Ergebnisse	3
1.2	Aussicht auf Erreichung der Ziele des Vorhabens.....	3
1.3	Relevante Ergebnisse Dritter.....	3
1.4	Änderungen in der Zielsetzung.....	3
1.5	Verwertung der Ergebnisse / Fortschreibung des Verwertungsplans.....	3
1.6	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	3
2	Technischer Bericht.....	4
3	Veröffentlichungen, Vorträge	21
4	Zusammenstellung der verwendeten Fachliteratur	21
5	Liste der erstellten Dokumentation	21
6	Patentanmeldungen	21

1 Zusammenfassung

1.1 Zusammenfassung der relevanten technischen Ergebnisse

Es wurden für die Anwendung eines PEM in der Luftfahrt Leistungsmodule untersucht und zur Verbesserung der thermischen und elektrischen Eigenschaften eine planare Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) erforscht und eingeführt. Bei ersten Modulen mit Silizium-IGBT wurde das Microsemi-Layout beibehalten und nur die planare AVT angewendet.

Hierdurch konnten der thermische Widerstand um rund 15% reduziert und die Modulinduktivität um über 5% reduziert werden.

In einem zweiten Schritt wurden Leistungsmodule mit SiC-MOSFET auf einem integrierten Mikrokanal-Kühler mittels planarer AVT aufgebaut und getestet. Zusätzlich wurde bei diesen Modulen die Strommessung integriert.

Die Messungen zeigen ein sehr gutes thermisches Verhalten und auch sehr gute elektrische Schalteigenschaften. Mit diesem Leistungsmodul lässt sich ein PEM mit einer sehr hohen Leistungsdichte und Vorteilen im Gesamtsystem realisieren.

1.2 Aussicht auf Erreichung der Ziele des Vorhabens

Das Ziel einer hochkompakten Leistungselektronik mit sehr hoher Leistungsdichte wurde erreicht.

1.3 Relevante Ergebnisse Dritter

Keine

1.4 Änderungen in der Zielsetzung

Keine.

1.5 Verwertung der Ergebnisse / Fortschreibung des Verwertungsplans

Eine Änderung des Verwertungsplans gibt es nicht. Der Trend in der Luftfahrt geht eindeutig zu einer stärkeren Elektrifizierung. Siemens beschäftigt sich auch mit Komponenten für den Luftfahrtbereich, speziell elektrischen Antrieben. Die Anwendung hochkompakter und leichter Antriebe wird mittelfristig in der Luftfahrt immer wichtiger.

1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit erfolgte wie geplant eng mit den Partnern Liebherr, Airbus und EADS. Bei Kühlungsthemen ist die TUHH im Unterauftrag von Airbus involviert. Es

wurden im Projekt mehrere Treffen zum Thema Kühlung und thermisches Management durchgeführt.

2 Technischer Bericht

Im Projekt NELA sollten neuartige Ansätze für die Leistungselektronik untersucht werden. Zusammen mit den Partnern im Teilprojekt 2.2 wurde das Vorgehen zu Beginn des Projektes vereinbart und bei den regelmäßigen Treffen wurde das Vorgehen überprüft und ggf. angepasst. Für ein Power Electronic Module (PEM) sollte die Leistungsdichte des Leistungsteils stark erhöht werden, ohne die Zuverlässigkeit zu beeinträchtigen. Das thermische Management eines Leistungsmoduls ist wesentlich für dessen Lebensdauer. Ein wichtiger Schlüssel hierzu ist die Aufbau- und Verbindungstechnik eines solchen Moduls. Die Anwendung einer planaren AVT ermöglicht eine bessere Ausnutzung der Bauelemente durch geringere Überspannungen und eine bessere Wärmeverteilung.

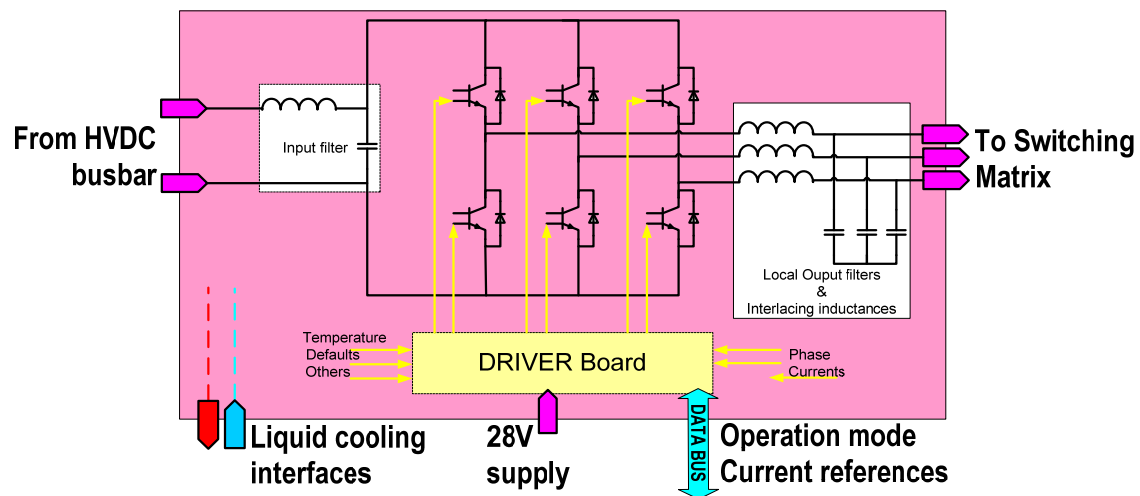


Abbildung 1 Prinzipskizze eines PEM

Die Arbeitsteilung zwischen Siemens und Liebherr ist in der nachfolgenden Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Arbeitsaufteilung im Projekt

<u>Siemens</u>	<u>Liebherr-Elektronik-GmbH (LEG)</u>
<u>AVT-Konzept SiPLIT</u>	
<u>Material</u>	<u>Auswahl von fertigen IGBT-Modulen</u>
1. <u>IGBT-Modul (Microsemi)</u> 2. <u>SiC-MOSFET (Typ: CREE)</u>	
<u>Design von einem hochkompakten SiC Modul mit integriertem Kühler und erweiterten Funktionalitäten</u>	<u>Entwicklung, Beschaffung und Produktion der Treiberboards, DC-link, Interface Boards</u>
<u>Beschaffung fertig bestückter DCBs mit IGBT-Chips (vermutlich von Microsemi)</u>	<u>Aufbau eines SiC- und eines IGBT-Wechselrichters</u>
<u>Beschaffung Mikrokanalkühler und SiC-Bauelemente</u>	
<u>Produktion IGBT Module</u> <u>Produktion SiC-Module</u>	<u>Test der Wechselrichter, Messungen</u>

Grundsätzlich wurde die Zusammenarbeit in zwei Stufen unterteilt. In der ersten Stufe wurde ein Leistungsmodul von Microsemi, das für Liebherr gefertigt wurde, untersucht und mit der planaren Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) aufgebaut. Durch den ansonsten gleichen Aufbau sollte der Einfluss der AVT auf das thermische und elektrische Verhalten des Leistungsmoduls untersucht werden.

In einer zweiten Stufe sollte dann ein Leistungsmodul aufgebaut werden, das die Vorteile von SiC-Bauelementen ausnutzt und eine sehr hohe Leistungsdichte hat.

a) Aufbau eines Leistungsmoduls mit planarer AVT zum Vergleich mit herkömmlicher AVT

Der Aufbau des ersten Moduls ist in Abb. 2 dargestellt.

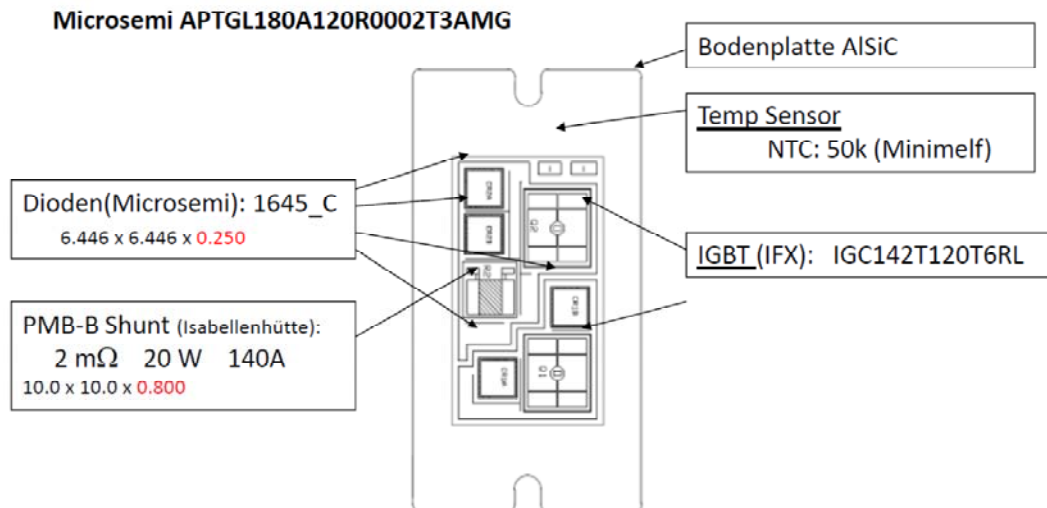


Abbildung 2 Aufbau des Microsemi Moduls

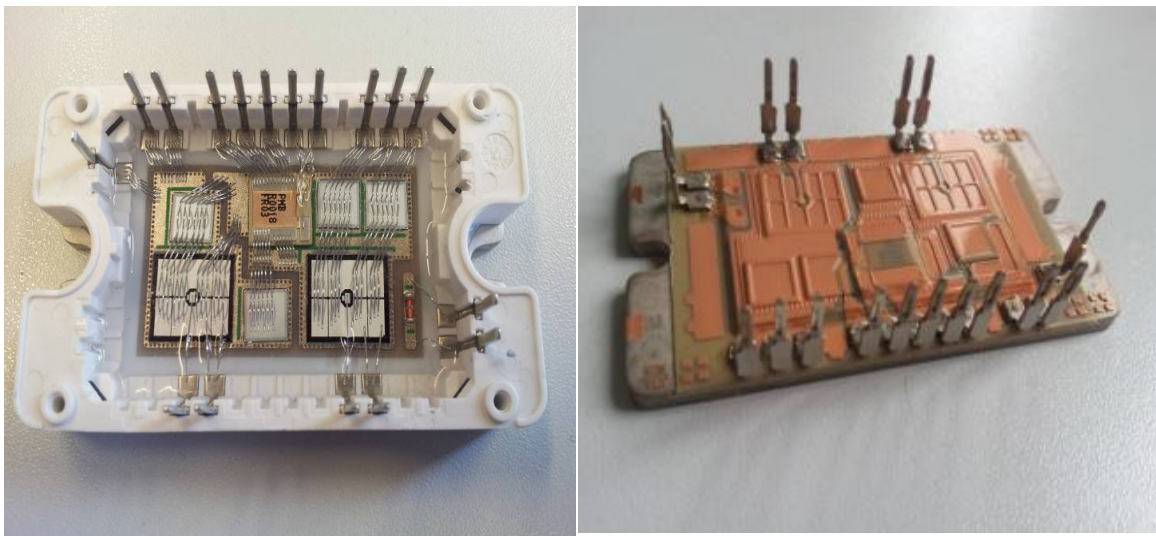


Abbildung 3 Microsemi Leistungsmodul: Links mit konventioneller AVT, rechts mit planarer AVT.

Das eingesetzte Leistungsmodul besteht aus zwei IGBTs, die eine Halbbrücke bilden. Zur Strommessung ist ein Shunt in das Modul integriert. Das Modul ist auf einer AISiC- Bodenplatte / AIN-Substrat aufgebaut. Es hat einen Nennstrom von 100A und eine Sperrspannung von 1200V.

Der Aufbau mit der planaren AVT ist bis auf die AVT und das Gehäuse identisch.

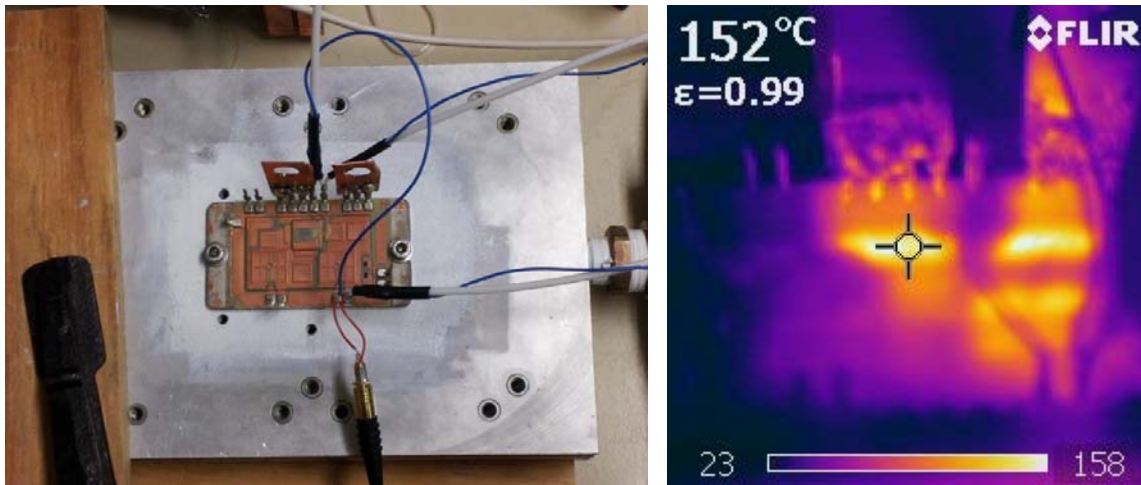


Abbildung 4 Thermische Vermessung des Leistungsmoduls mit planarer AVT (links); IR-Messung (rechts)

Zum Vergleich wurden des Referenzmodul und das Modul mit planarer AVT thermisch und elektrisch vermessen. Der Aufbau für die thermischen Untersuchungen ist in Abb.4 dargestellt.

Bei Liebherr wurden zur elektrischen Charakterisierung die entsprechenden Tests durchgeführt.

■ the SiPLIT technology reduces the total inductance by 2 nH (5%)

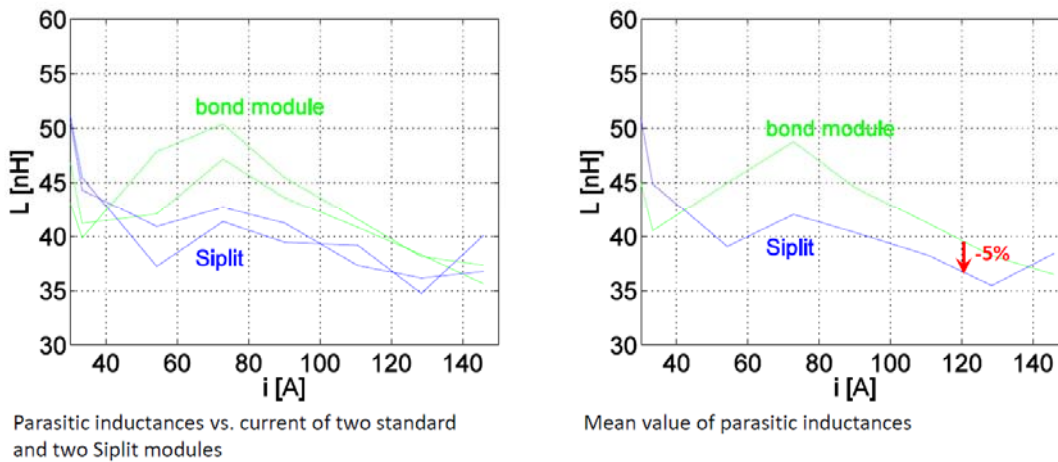


Abbildung 5 Ergebnisse der elektrischen Tests (Liebherr)

In Abb.5 werden die Modulinduktivitäten von beiden AVT-Varianten miteinander verglichen.

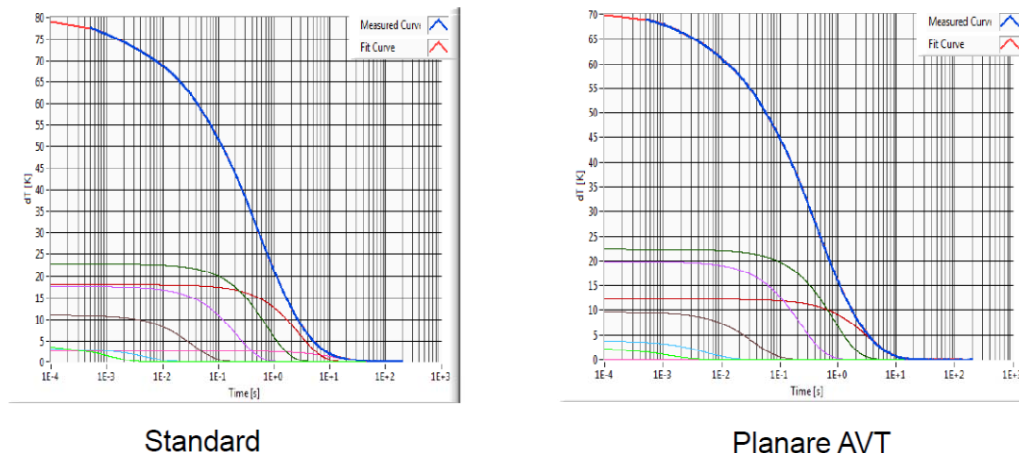


Abbildung 6 Thermische Vermessung (Zth) der beiden AVT-Varianten.

In Abb.6 wird das thermische Verhalten der beiden AVT-Varianten miteinander verglichen. Man sieht, dass bei ansonsten gleichen Bedingungen die Standard-AVT rund 10K wärmer wird, als die planare AVT. Eine hohe Temperaturdifferenz kann zu deutlichen Änderungen bei der Lebensdauer führen.

Zusammenfassung der Ergebnisse

- Es wurde zum Vergleich mit einer Standard-AVT mit Bonddrähten ein Aufbau mit einer planaren AVT durchgeführt.
- Die Modulinduktivität wurde um über 5% reduziert. Dadurch werden die Überspannungen beim Schalten geringer und die Bauelemente können besser ausgenutzt werden.
- Die Sperrschichttemperatur konnte um rund 15% reduziert werden. Hierdurch wird die Lebensdauer signifikant erhöht.

b) Aufbau eines hochkompakten Leistungsmoduls mit integriertem Kühler und SiC-Bauelementen

Um die Vorteile der planaren Aufbau- und Verbindungstechnik zeigen zu können wurde ein hochkompakter Aufbau mit SiC-Bauelementen und integriertem Mikrokanalkühler realisiert. SiC-Bauelemente haben deutlich geringere Verluste als Si-Bauelemente und erlauben tendenziell höhere Betriebstemperaturen. Daher sollten in der Stufe 2 u.a. folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Verwendung von SiC-Bauelemente
- Kompakter und leichter Aufbau
- Optimierte Kühlung mit integriertem Mikrokanal-Kühler
- Integrierte Strommessung mit eingebautem Shunt.

Als mögliche Zielanwendung wurde ein Antriebsumrichter gewählt. Es sollten aus Kosten- und Platzgründen SiC-Bauelemente ohne zusätzliche Freilaufdioden eingesetzt werden. Die Parallelschaltung wurde durch die niederinduktive Anbindung durch die planare AVT ermöglicht. Die Bodydiode der verwendeten SiC-MOSFETs ist ausreichend für Anwendung. Durch synchrone Gleichrichtung kann auf die separaten Freilaufdioden verzichtet werden.

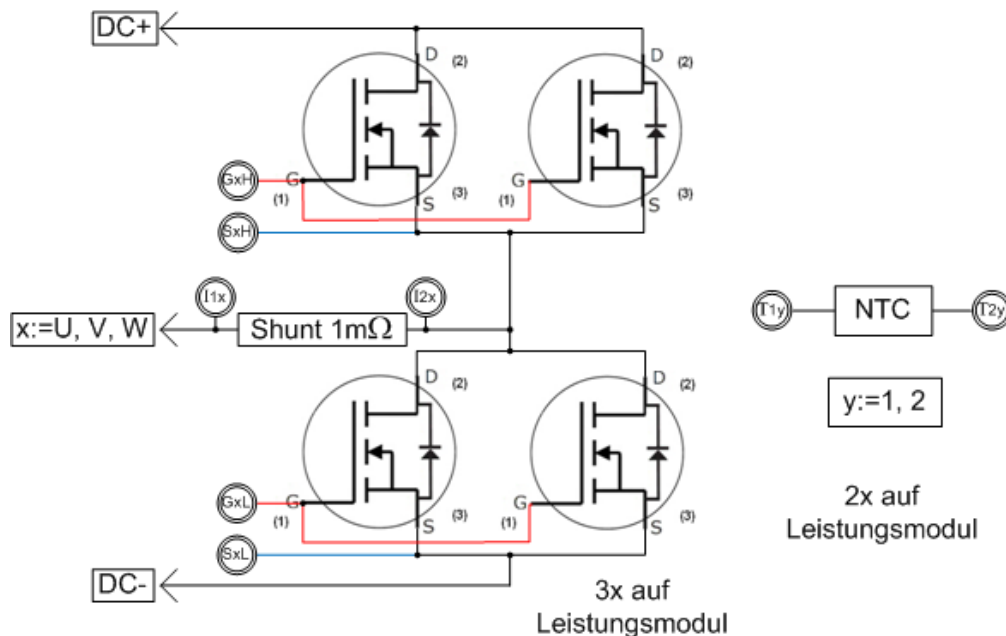


Abbildung 7 Topologie einer Phase auf dem Mikrokanal-Kühler-Modul

Es wurden drei Phasen (B6-Brücke) auf dem Mikrokanalkühler mit jeweils zwei parallelen SiC-MOSFET als Schalter realisiert. Zusätzlich wurden pro Phase ein Shunt an der AC-Seite zur Strommessung, NTC-Sensoren zur Temperaturmessung und Kondensatoren zwischen den DC-Anschlüssen vorgesehen.

Der Mikrokanalkühler wurde direkt vom Kühlfluid durchflossen. Es wurde zunächst Wasser-Glykol 50/50 Vol.% als Kühlmittel verwendet.

Als Bauelemente wurden SiC-MOSFETs CPM2-1200-0025B von Cree ausgewählt.

Gegenüber den zuerst aufgebauten Modulen wurde eine Reduzierung der Fläche um rund 50% erreicht. Die Auswirkungen hinsichtlich Verlusten und benötigtem Bauraum können erst nach Abschluss der Messungen abgeschätzt werden.

Als Material werden strukturierte Kupferbleche wie bei einem DCB-Prozess miteinander verbunden. Durch den Mikrokanal-Kühler werden die Bauelemente direkt am Keramiks substrat gekühlt. Dieses wird direkt von der Kühlflüssigkeit angeströmt. Gleichzeitig hat die innenliegende Kühlstruktur eine sehr große Oberfläche und er-

zeugt eine starke Verwirbelung. Hierdurch wird der Wärmeübergang verbessert und eine besonders effektive Kühlung erreicht.

Nachteile dieser Art von Kühlern sind:

- Als Material wird nur Kupfer verwendet. Dieses kann in einem Kühlkreislauf mit anderen Metallen chemisch reagieren.
- Mikrokanal-Kühler weisen aufgrund der relativ kleinen Strukturen einen hohen Druckabfall auf. Die Messung des Druckabfalls wird in diesem Bericht vorgestellt.
- Die Kosten eines Mikrokanal-Kühlers sind relativ hoch.

Der bestückte Mikrokanal-Kühler mit SiC-Bauelementen, Shunts und planarer AVT, aber ohne Lastanschlüsse ist in Abb. 8 dargestellt. Es sind noch weitere Felder für die Bestückung mit NTC für die Temperaturmessung und Keramik-Kondensatoren zur Optimierung des Schaltverhaltens vorgesehen. Eine Kontaktierung der Gate-Signale und Lastanschlüsse kann über angeschweißte Kupferlaschen bzw. Drähte erfolgen oder über Federkontakte.

Die Parallelschaltung von SiC-MOSFETs war möglich und zeigte keine Probleme.



Abbildung 8 Demonstrator mit SiC-Bauelementen

Es wurden zunächst mehrere Muster aufgebaut. Bei Funktionstests gab es Auffälligkeiten, z.B. waren Leckströme erhöht. Um die Fehlerursache zu finden, wurden umfangreiche Analysen durchgeführt. Hierzu wurden vor allem die Bauelemente untersucht, da die Fertigungsprozesse für die planare AVT als Ursache ausgeschlossen werden konnten.

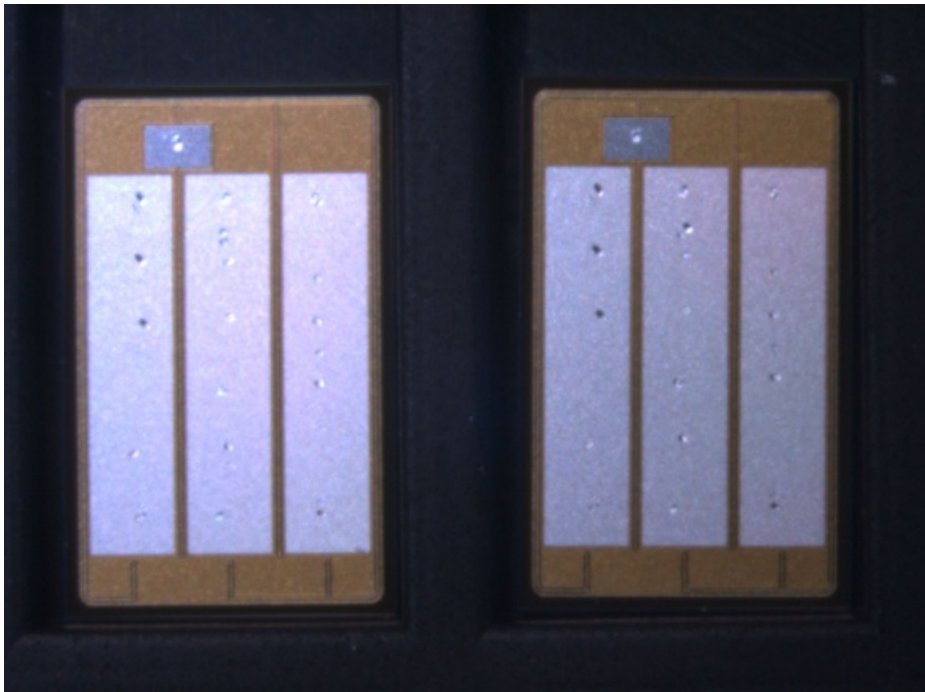


Abbildung 9 Chipoberflächen mit Prüfnadelabdrücken im Anlieferzustand

In Abb.9 sind die Chipoberflächen im Anlieferzustand dargestellt. Deutlich sind die Prüfnadelabdrücke zu erkennen. Prüfnadelabdrücke kommen von Messungen des Herstellers während des Herstellungsprozesses. Diese sind notwendig. Solange diese Prüfnadelabdrücke in der Chipmetallisierung liegen, sind diese unkritisch. Tiefere Prüfnadelabdrücke können jedoch durch Prozessschritte für die planare AVT Kurzschlüsse verursachen. Es werden hierdurch auch Kennlinien verändert. Daher mussten diese Prüfnadelabdrücke eingehend untersucht werden.

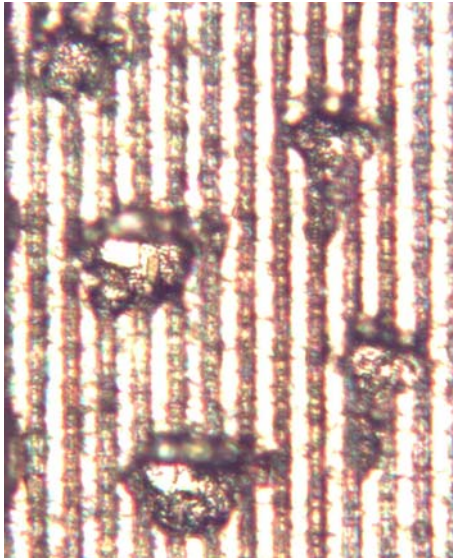


Abbildung 10 Vergrößerte Darstellung einzelner Prüfnadelabdrücke

Abb.10 zeigt die stark vergrößerte Oberfläche der angelieferten Bauelemente. Man sieht sehr tiefe Schädigungen durch die Prüfnadelabdrücke mit der Folge von Kurzschlussbildung. Man kann teilweise schon die Struktur unter der obersten Metallisierung erkennen.

Zusammen mit dem Hersteller wurden die Fehler diskutiert und die Ursachen identifiziert. In der Kombination mit Bonddrähten waren die Prüfnadelabdrücke bisher unauffällig. Der Hersteller hat zugesichert, dass er bei nachfolgenden Lieferungen auf den Zustand der Chip-Oberfläche achtet und die Chips vorselektiert. Der Hersteller lieferte anschließend eine neue Charge mit verbesserter Qualität. Die Chips wurden zunächst optisch inspiziert und für weitere Musteraufbauten freigegeben. Alle mit den geprüften Chips aufgebauten Muster waren ohne Beanstandung.

Es wurden Muster für Tests zu Liebherr geliefert. Die ersten Tests waren erfolgreich. In Abb. 11 ist der Testaufbau bei Liebherr für die thermische Vermessung dargestellt.

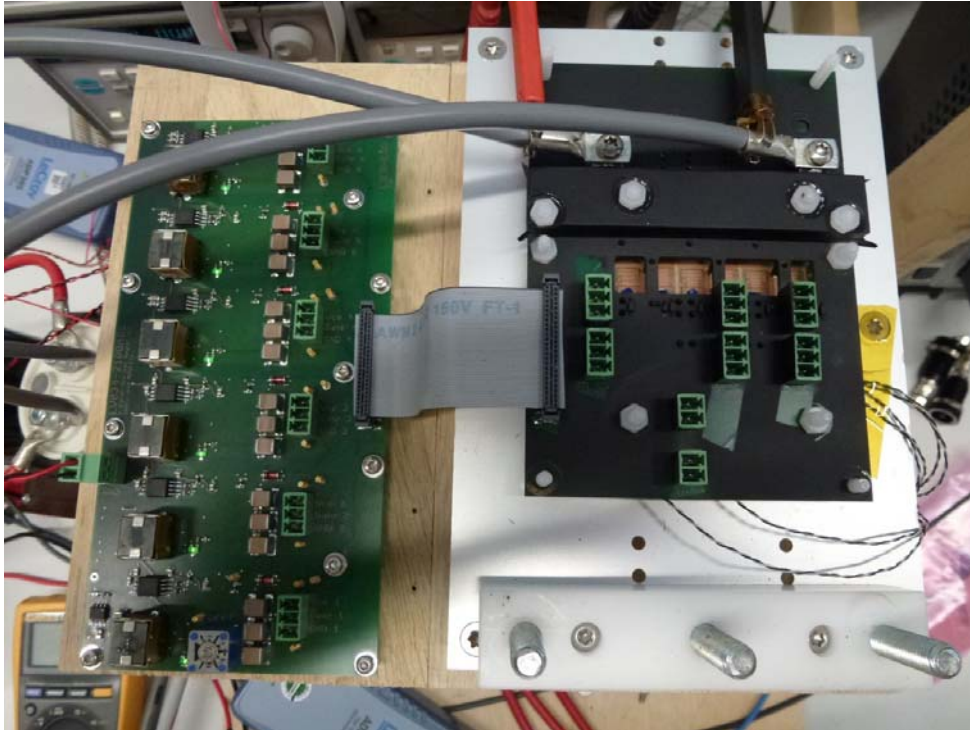


Abbildung 11 Testaufbau bei Liebherr

Bei diesem Aufbau wurde die Temperatur der Chips bei genau definierter Verlustleistung gemessen. Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Kühlwirkung. Die sehr gute Kühlwirkung wurde mit der thermischen Impedanzmessung bestätigt.

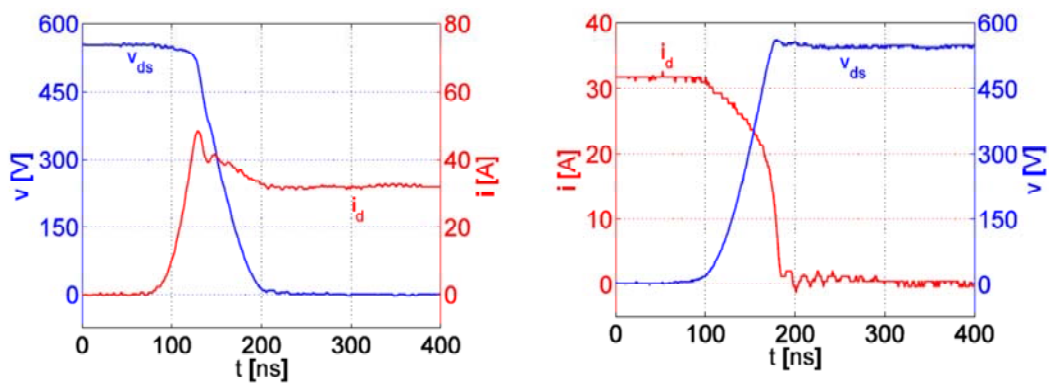


Abbildung 12 Schaltmessungen mit dem NELA-Modul

Neben der Kühlwirkung ist auch das Schaltverhalten der Bauelemente wichtig. Zwei Eigenschaften sind hier entscheidend:

- Die Induktivität des Moduls, um keine hohen Abschaltüberspannungen zu bekommen und
- Die Ein- und Ausschaltverluste der Bauelemente.

In Abb.12 kann man auf der rechten Seite sehen, dass die Überspannung kaum sichtbar ist. Dies kommt durch den niederinduktiven planaren Aufbau.

Wie schon erwähnt ist bei Mikrokanal-Kühlern ein höherer Druckabfall zu erwarten. Gleichzeitig ist das Kühlvermögen so groß, dass der erforderliche Durchfluss entsprechend gering gehalten werden kann. Die Untersuchungen in NELA sollten auch Daten für Gesamtsystembetrachtungen liefern, inwieweit das Gewicht des gesamten Systems optimiert werden kann.

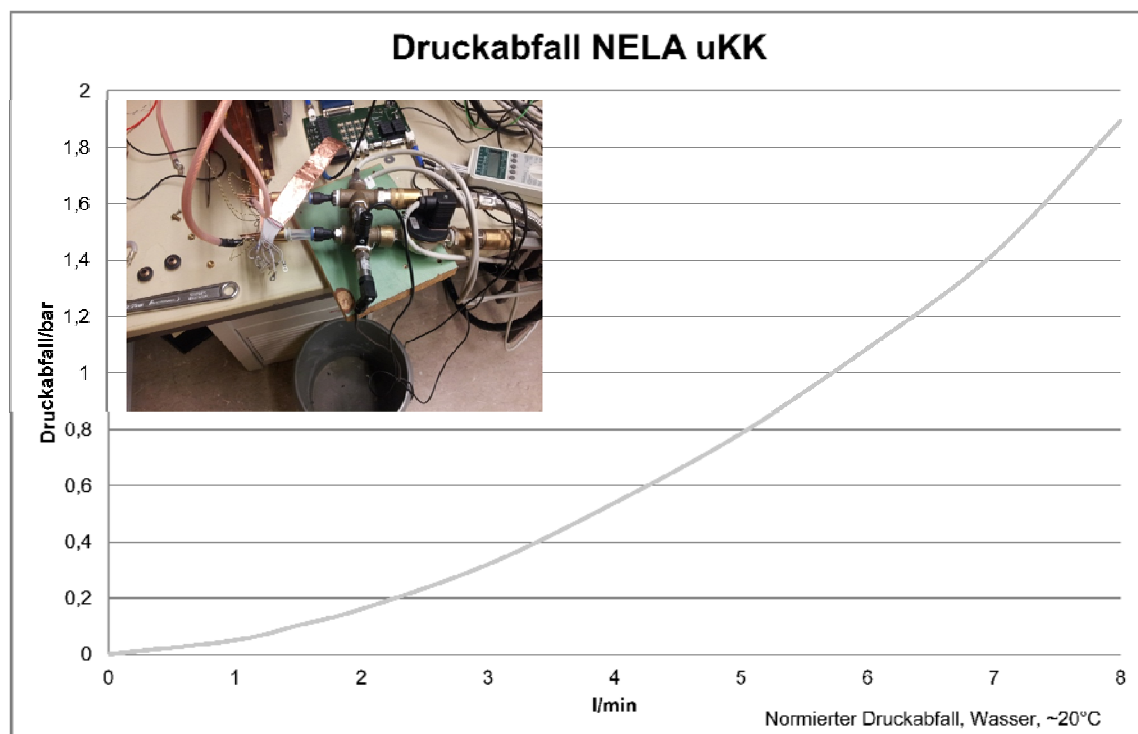


Abbildung 13 Messung des Druckabfalls im Mikrokanal-Kühler in Abhängigkeit vom Durchfluss

In Abb.13 wird die Abhängigkeit des Druckabfalls vom Durchfluss bei Wasser mit Raumtemperatur dargestellt. Im Vergleich zu Anwendungen im Automotive Bereich, wo oft ein Druckabfall von max. 200mbar bei einem Durchfluss von 8l/min gefordert wird, liegt der Druckabfall hier deutlich höher. Man kann aber in Abb.16 erkennen, dass die Abhängigkeit des thermischen Widerstandes vom Durchfluss relativ gering ist und auch bereits bei geringen Durchflussraten ein sehr geringer thermischer Widerstand erreicht wird.

In Abb.14 wird der Messaufbau zur Messung der thermischen Impedanz dargestellt. Hierbei wird das zu messende Bauelement ins thermische Gleichgewicht gebracht und anschließend abgekühlt. Als Temperatursensor dient idealerweise das Bauelement selbst. Dieses Verfahren funktioniert mit Silizium-Bauelementen sehr gut. Bei SiC-Bauelementen mussten noch Erfahrungen gesammelt werden.

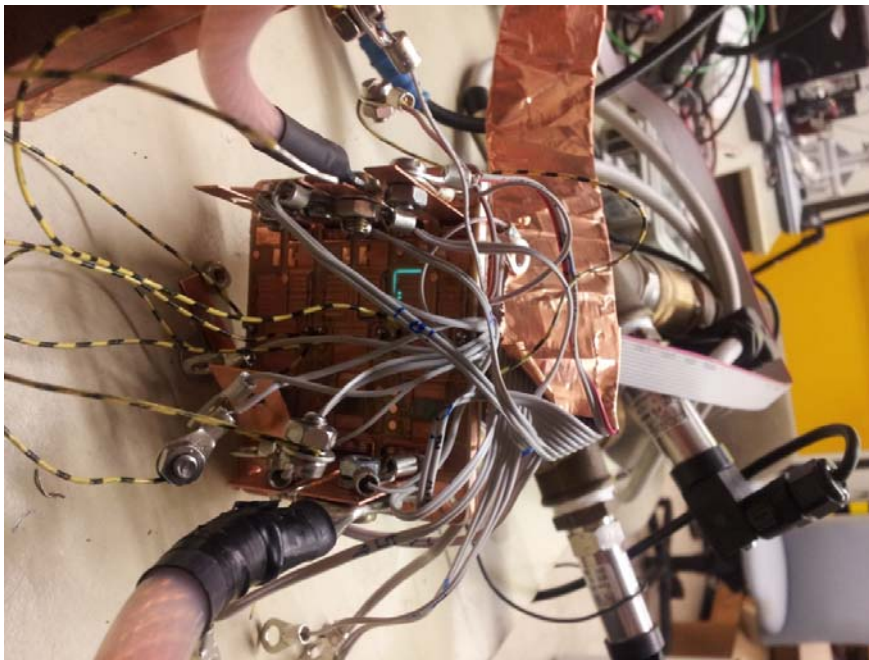


Abbildung 14 Messaufbau zur Messung der thermischen Impedanz

In Abb.15 werden Abkühlkurven bei verschiedenen Durchflüssen dargestellt. Man sieht, dass mit steigendem Durchfluss die Kühlwirkung verbessert wird.

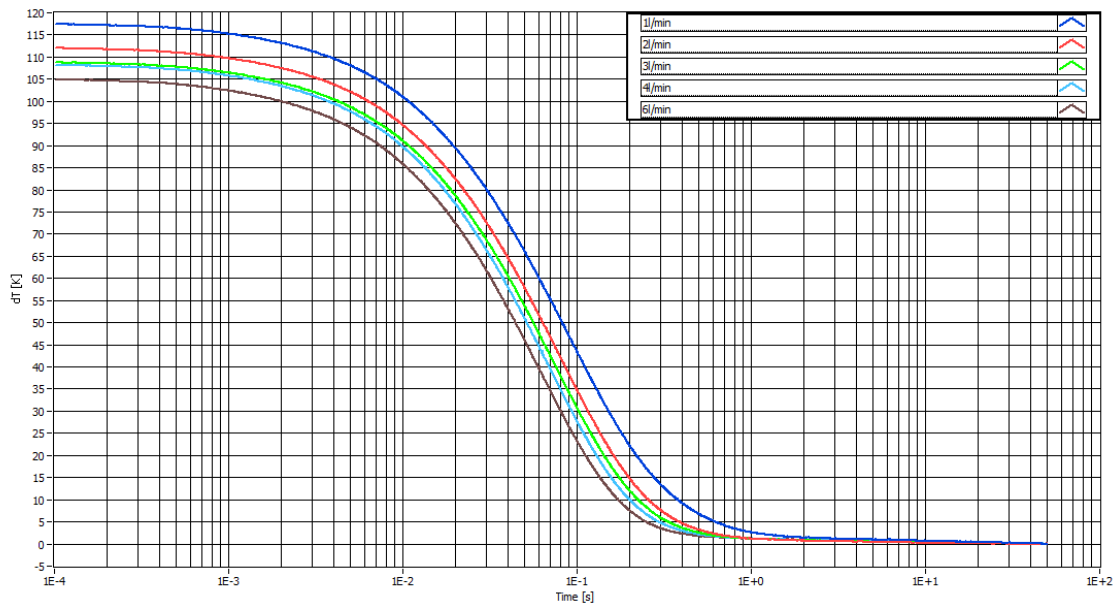


Abbildung 15 Abkühlkurven bei verschiedenen Durchflussraten

Die Werte der Ordinate sind ein Maß für das Kühlvermögen des Aufbaus. In Abb.16 wird die Verkoppelung von verschiedenen Bauelementen dargestellt. Durch das sehr hohe Kühlvermögen tritt kaum Wärmespreizung auf. Die Verlustwärme fließt fast ausschließlich senkrecht zum Kühlmedium. Während das geheizte Bauelement eine hohe Temperatur aufweist, liegt die Temperatur eines benachbarten Bauelementes kaum über der des Kühlmediums.

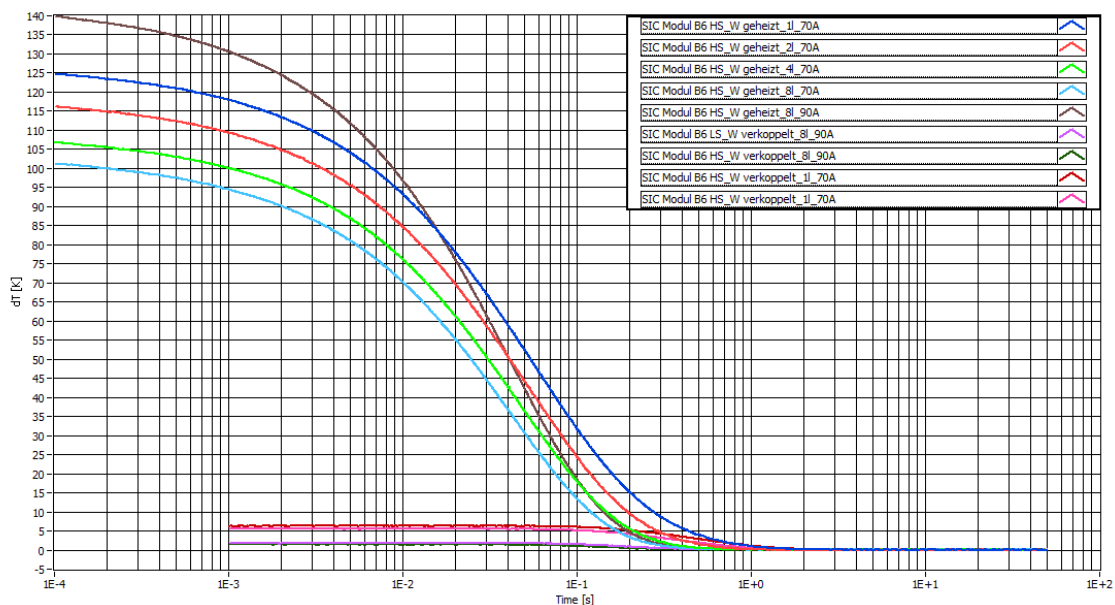


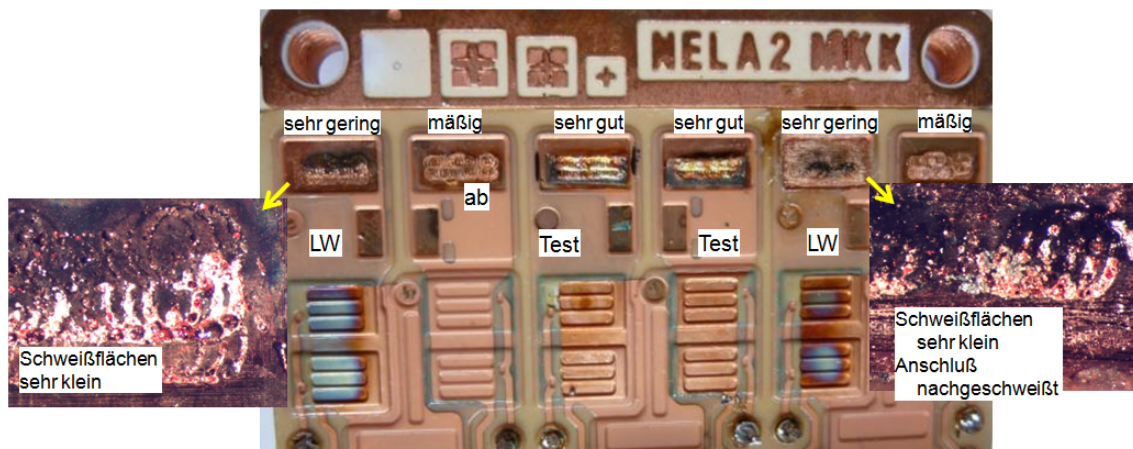
Abbildung 16 Abkühlkurven und verkoppelte Abkühlkurven

Nach den thermischen Vermessungen wurden erste Zuverlässigkeitstests durchgeführt. Die Ergebnisse waren aber nicht zufriedenstellend, da es schon nach relativ kurzer Zeit zu Ausfällen kam. Es wurden daher ausführliche Ausfallanalysen durchgeführt und folgende Haupt-Ursachen identifiziert:

- Unzulängliche Schweißungen der Lastanschlüsse (Abb. 18)
- Fehler in der Sinterschicht (Abb.19)

Vor allem die Fehler in der Sinterschicht sorgen für eine ungleichmäßige Erwärmung der Bauelemente und damit zu einem früheren Ausfall.

Die Schweißungen der Anschlüsse für die gezykelten Zweige waren sehr schwach



Die geringe Festigkeit ist nicht primär durch die Lastwechsel verursacht
 • ein geringer Beitrag zur UCE-Erhöhung ist nicht auszuschließen

Abbildung 17 Untersuchungen der Lastanschlüsse

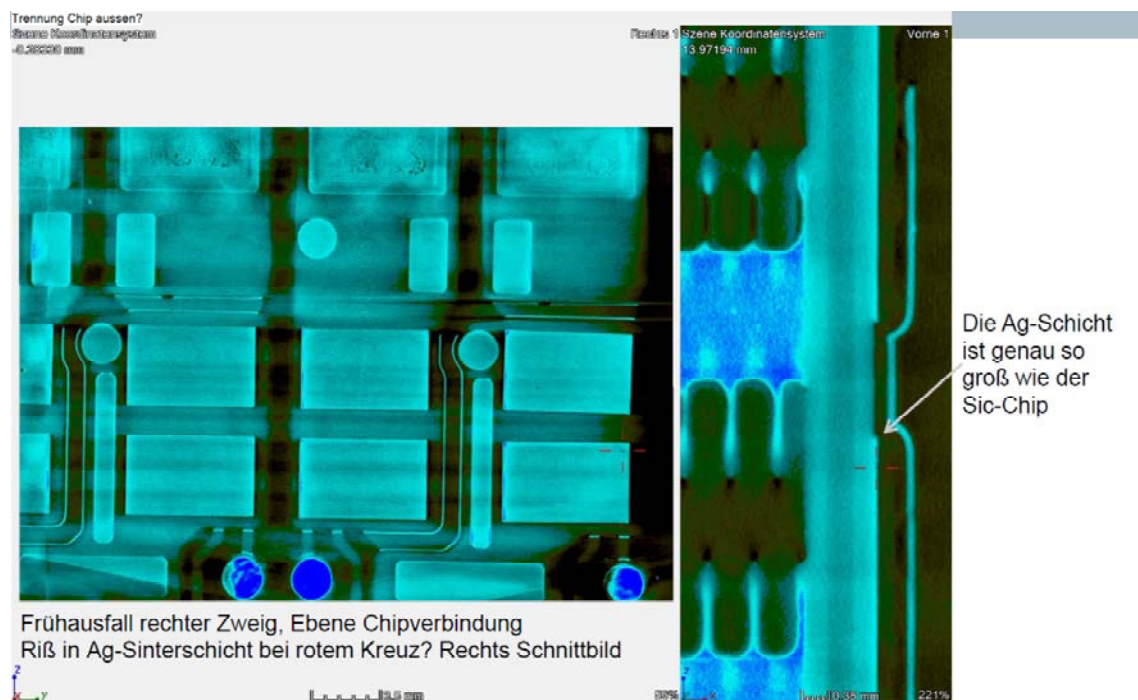


Abbildung 18 Untersuchungen der Sinterverbindungen

Als Maßnahmen wurden ein verbessertes Design der Lastanschlüsse und eine verbesserte Chipsinterung identifiziert.

Tabelle 2 Abschätzung der Systemleistung

Frequenz	20000	
Schaltverluste / Schalter (2*50A)	76	W
Leitungsverluste (100A) bei 25°C	107,5	W
Gesamtverluste pro Schalter	183,5	W
Rth im Mittel pro Schalter	0,4	K/W bei
DeltaT	73,4	4l/min
		K
Tinlet	75	°C
Tjmax	148,4	
Um(verkettet)	330,48	V
Im (effektiv)	100	A
P(Motor)	57	kVA

Als Zielapplikation war ein PEM von rund 45 kVA bei einer Zwischenkreisspannung von 540 V vorgesehen. Die Ergebnisse der thermischen Messungen ermöglichen eine Abschätzung der Systemleistung in Tabelle 2 mit dem neuentwickelten Leistungsteil.

Mit dem neuen NELA-Leistungsmodul ist eine deutliche Erhöhung der Leistungsdichte möglich, da die abgeschätzte Leistung rund 57 kVA beträgt. Die Grundfläche beträgt rund 73mm x 60 mm. Mit Gatetreibern, Controlboard und Zwischenkreis kann ein extrem kompaktes System aufgebaut werden.

Ausblick

Die erfolgreichen Arbeiten im Projekt NELA werden in zukünftigen Projekten weitergeführt werden.

3 Veröffentlichungen, Vorträge

Die Ergebnisse wurden auf der PCIM in Nürnberg vorgestellt.

Liebig, S.; Engstler, J.; Kriegel, K.; Weidner, K.:

Evaluation of enhanced power modules with planar interconnection technology for aerospace application.

PCIM Europe 2014, Nuremberg, Germany, 2014.

Liebig, S.; Nuber, M.; Kriegel, K.; Weidner, K.:

Ultra-compact SiC power module with sintered DCB on microchannel cooler.

PCIM Europe 2014, Nuremberg, Germany, 2015.

4 Zusammenstellung der verwendeten Fachliteratur

Keine

5 Liste der erstellten Dokumentation

Keine

6 Patentanmeldungen

Keine.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Verbundprojekt: Leistungsmodule mit neuartigen Bauelementen und innovativen Aufbau- und Verbindungstechniken	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Weidner, Karl Kriegel, Kai	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2015
	6. Veröffentlichungsdatum 26.02.2016
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Siemens AG CT REE ELE SPT-DE Otto-Hahn-Ring 6 81739 München	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 20Y1104G
	11. Seitenzahl 21
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 53107 Bonn	13. Literaturangaben 2
	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 18
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Ziel des Projektes NELA war die Untersuchung von neuartigen Aufbau- und Verbindungstechniken und neuer Bauelemente für Luftfahrtanwendungen. In der Luftfahrt ist Gewicht ein entscheidender Faktor, da sich eine Gewichtseinsparung direkt auf den Treibstoffverbrauch auswirkt. Gegenüber mechanischen oder hydraulischen Systemen verspricht ein vermehrter Einsatz von elektronischen Systemen eine Gewichtseinsparung. Leistungselektronische Systeme verursachen Verlustwärme, die mittels Kühlung entfernt werden muss. Die Temperatur der Leistungselektronik ist eine sehr wichtige Einflussgröße für die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer. Die Leistungselektronik für die Luftfahrt muss daher einen hohen Wirkungsgrad und ein hohes Leistungsgewicht aufweisen. Neuartige Bauelemente aus z.B. Siliziumkarbid (SiC) haben geringe Verluste, können schnell geschaltet werden und sind bei hohen Temperaturen einsetzbar. Zur Ausnutzung dieser Eigenschaften sind neue Ansätze für die Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) notwendig, z.B. eine planare AVT. Die Kombination von optimierten thermischen Managements, robuster und niederinduktiver AVT und verlustarmen Bauelementen ermöglicht eine deutliche Erhöhung des Leistungsgewichts. Es wurde für einen Vergleich bei einem vorhandenen Layout mit Silizium-IGBT/Dioden eine planare AVT angewendet. Es zeigte sich, dass der thermische Widerstand reduziert werden konnte und sich das Schaltverhalten verbesserte. Später wurde ein hochkompaktes Leistungsmodul mit SiC-MOSFET, integriertem Mikrokanalkühler und integrierter Strommessung aufgebaut. Nach der thermischen Vermessung und elektrischen Tests hat sich gezeigt, dass mit diesem Leistungsmodul Umrichter mit einer sehr hohen Leistungsdichte realisiert werden können	
19. Schlagwörter Luftfahrt, Leistungselektronik, Aufbau- und Verbindungstechnik, Umrichter	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report	
3. title Power modules with novel power devices and innovative packaging technologies		
4. author(s) (family name, first name(s)) Weidner, Karl Kriegel, Kai	5. end of project 30/06/2015	
	6. publication date 26/02/2016	
	7. form of publication	
8. performing organization(s) (name, address) SIEMENS AG CT REE ELE SPT-DE Otto-Hahn-Ring 6 D-81739 München	9. originator's report no.	
	10. reference no. 20Y1104G	
	11. no. of pages 21	
12. sponsoring agency (name, address) German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) D-53107 Bonn	13. no. of references 2	
	14. no. of tables 2	
	15. no. of figures 18	
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract In NELA novel packaging technologies and new devices were investigated for aerospace applications. Weight is crucial for aerospace due to direct impact on fuel consumption. The number of power electronics systems in aircrafts is increasing. The temperature is of the devices directly related to the lifetime and reliability. This requires more effective cooling and higher efficiency. SiC power devices promise less losses at operation. In order to exploit all benefits of these devices new packaging technologies are necessary. For low inductive design a planar packaging technology can improve the switching behaviour. In this project a planar packaging technology was applied to an existing layout for comparison. The thermal resistance was reduced and the switching losses improved. Later on a compact power module with SiC-MOSFET, integrated microchannel cooler and integrated shunts for current measurements was realized. Thermal measurements and electrical tests has shown that inverter with high power density can be realized with this power module.		
19. keywords Aerospace, power electronics, packaging, inverter, silicon carbide		
20. publisher	21. price	