

Schlussbericht für das Projekt 3CCar

Zuwendungsempfänger: Siemens AG Otto-Hahn-Ring 6 81739 München	Förderkennzeichen: 16EMOE004
Vorhabenbezeichnung: “Integrated Components for Complexity Control in affordable electrified cars – 3CCar” Teilvorhaben der Siemens AG: „Hochintegrierter vernetzter Antrieb mit smarten Leistungsmodulen in der Elektromobilität“	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2015 bis 31.10.2018	
Berichtszeitraum: 01.01.2018 bis 31.10.2018	
Datum: 29.04.2019	
Vorgelegt beim Projektträger: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH Projektträger für das Bundesministerium für Bildung und Forschung Elektronik; Autonomes elektrisches Fahren Steinplatz 1 10623 Berlin Ansprechpartner: Herrn Simon Brunner	
Vorgelegt durch: Dr. Kai Kriegel CT REE ELM SPT-DE Otto-Hahn-Ring 6, 81739 München, Germany Telefon: +49 89 636-634390 Email: kai.kriegel@siemens.com	

Inhalt

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse.....	3
1.1. Überblick.....	3
1.2. Ergebnisse WP1: Requirements.....	3
1.3. Ergebnisse WP2: System Level Design.....	3
1.4. Ergebnisse WP3: Nanoelectronic Devices and Modules.....	4
1.5. Ergebnisse WP4: Embedded Systems and Computing Algorithms	10
1.6. Ergebnisse WP5: System Integration and Demonstration	10
1.7. Ergebnisse WP6: Validation and Tests.....	12
1.8. Ergebnisse WP7: Dissemination, Exploitation and Standardization	13
1.9. Ergebnisse WP8: Project Management and Project Clustering.....	13
2. Vergleich des Vorhabenstandes mit der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung.....	14
3. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtszeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert (Begründung)?	15
4. Sind inzwischen von dritter Seite FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind (auch Darstellung der aktuellen Informationsrecherchen nach Nr. 6.1 NKBF 98)?.....	16
5. Notwendige Änderungen in der Zielsetzung.....	17
6. Fortschreibung des Verwertungsplans	18
6.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.ä.) und weitere Verwertungsmöglichkeiten.....	18
6.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont), Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen	18
6.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont).....	18
6.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FE-Ergebnisse	18
7. Literaturverzeichnis	19
8. Abbildungsverzeichnis	20

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse

1.1. Überblick

Im Projekt 3CCar wurden neuartige integrierte Komponenten zur Komplexitätskontrolle in erschwinglichen intelligenten Elektroautos bereitgestellt. Die Siemens AG arbeitete im Verbund mit den anderen Projektpartnern am integrierten Antrieb für ein Elektrofahrzeug. Die Arbeiten von Siemens waren den Arbeitspaketen WP1, 2, 3, 5, 6 und insbesondere der SupplyChain SC2 zugeordnet. Sie umfassten die thermische Charakterisierung der Halbleiterleistungsmodule, die Motorenentwicklung sowie die Entwicklung, Aufbau und Test des integrierten Antriebsstranges.

1.2. Ergebnisse WP1: Requirements

Ziele in WP1

In diesem Arbeitspaket wurden die Anforderungen an den integrierten Antriebstrang ermittelt.

Ergebnisse in WP1

Die Anforderungen des Antriebstranges wurden aus den geforderten Fahrleistungen und den zugrundgelegten Fahrzeugdaten – beides festgelegt durch den OEM - ermittelt. Daraus wurden bereits in 2016 entsprechende Lastenhefte für den Antrieb und die Systemintegration erstellt, die in den Deliverables 1.3 und 1.12 dokumentiert sind.

1.3. Ergebnisse WP2: System Level Design

Ziele in WP2

In diesem Arbeitspaket wurden verschiedene Antriebskonzepte entwickelt und hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen verglichen.

Ergebnisse in WP2

Im Rahmen der SupplyChain2-Aktivitäten wurden verschiedene Maschinenkonzepte und Integrationskonzepte von Maschinen, Invertern und Getriebe entwickelt, um in dem sehr begrenzten Bauraum die hohe Systemleistung unterzubringen (Task 2.1). Die Auswahl des Antriebskonzeptes erfolgte gemeinsam mit den Projektpartnern und ist als Pflichtenheft im Deliverable 2.6 beschrieben.

Mehrere Topologien von E-Maschinen werden berücksichtigt und hinsichtlich Leistung, Effizienz und Leistungsdichte vorab bewertet. Zwei E-Maschinentopologien (1. Luftspalt-Spulmaschine mit oberflächenmontiertem Permanentmagnetrotor und 2. eine Maschine mit innenliegendem Permanentmagneten) werden entsprechend den Anforderungen im Detail konzipiert, simuliert und optimiert. Die Maschinen sind mit 2x3-Phasen-Wickelsystemen ausgestattet, die an das Wechselrichterdesign angepasst sind. Mehrere Wickelsysteme wurden hinsichtlich ihrer Sicherheitseigenschaften und Ausfallfähigkeit analysiert.

Ein Maschinenkonzept mit getrennten 2x3-Phasen-Wicklungssystemen in Kombination mit einem IPM-Rotor erfüllt die Anforderungen an Leistung und Drehmoment sowie das Ausfallverhalten gleichzeitig (s. Abbildung 1). Die Kompaktheit der Hochgeschwindigkeitsmaschine ermöglicht mehrere Integrationskonzepte auf dem bei gegebenem Bauraum.

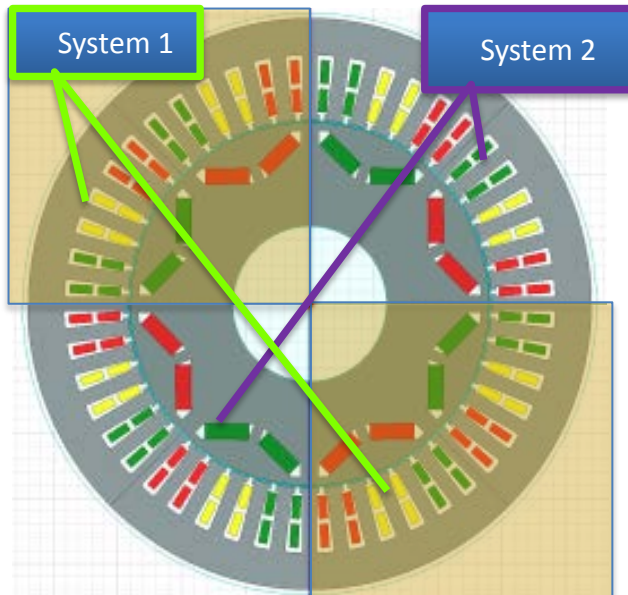


Abbildung 1 Darstellung des Maschinenkonzeptes

1.4. Ergebnisse WP3: Nanoelectronic Devices and Modules

Ziele in WP3

Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Entwicklung von Halbleiterlösungen, die die Komplexität steuern, Kosten reduzieren und die Funktionalität erhöhen. Gerade für den Automobilbereich ist die Zuverlässigkeit der elektronischen Komponenten besonders wichtig. Das thermische Management ist hinsichtlich der Zuverlässigkeit von herausragender Bedeutung. Im WP3 wurden daher viele thermische Untersuchungen durchgeführt.

Ergebnisse in WP3

Thermisches Management Leistungsmodule

Das thermische Management des Inverters ist sehr wichtig, um die Leistungshalbleiter gut ausnutzen zu können. Infineon hat neue Leistungsmodule entwickelt, die mit einer PinFin-Bodenplatte eine sehr gute Kühlung ermöglichen. Ein Projektziel ist die Reduktion der Gesamtkosten. Die PinFin-Bodenplatte ist relativ teuer in der Herstellung, da diese speziell umgeformt wird. Im Projekt wurde daher auch untersucht, inwieweit Kosten für die Bodenplatte gesenkt werden können, ohne die Kühlung des Leistungsmoduls zu gefährden. Ein Ansatz ist hier die Verwendung von Bändchenbonds auf der Bodenplatte zur Erzeugung von

effizienten Kühlstrukturen. Die verschiedenen Kühlstrukturen sind in Abbildung 2 dargestellt



Abbildung 2 Bodenplatten mit Kühlstrukturen (links: plan; mittig: PinFin-Struktur; rechts: Bändchenbond)

Siemens hat in einem realitätsnahen Versuchsaufbau die verschiedenen Strukturen thermisch vermessen.

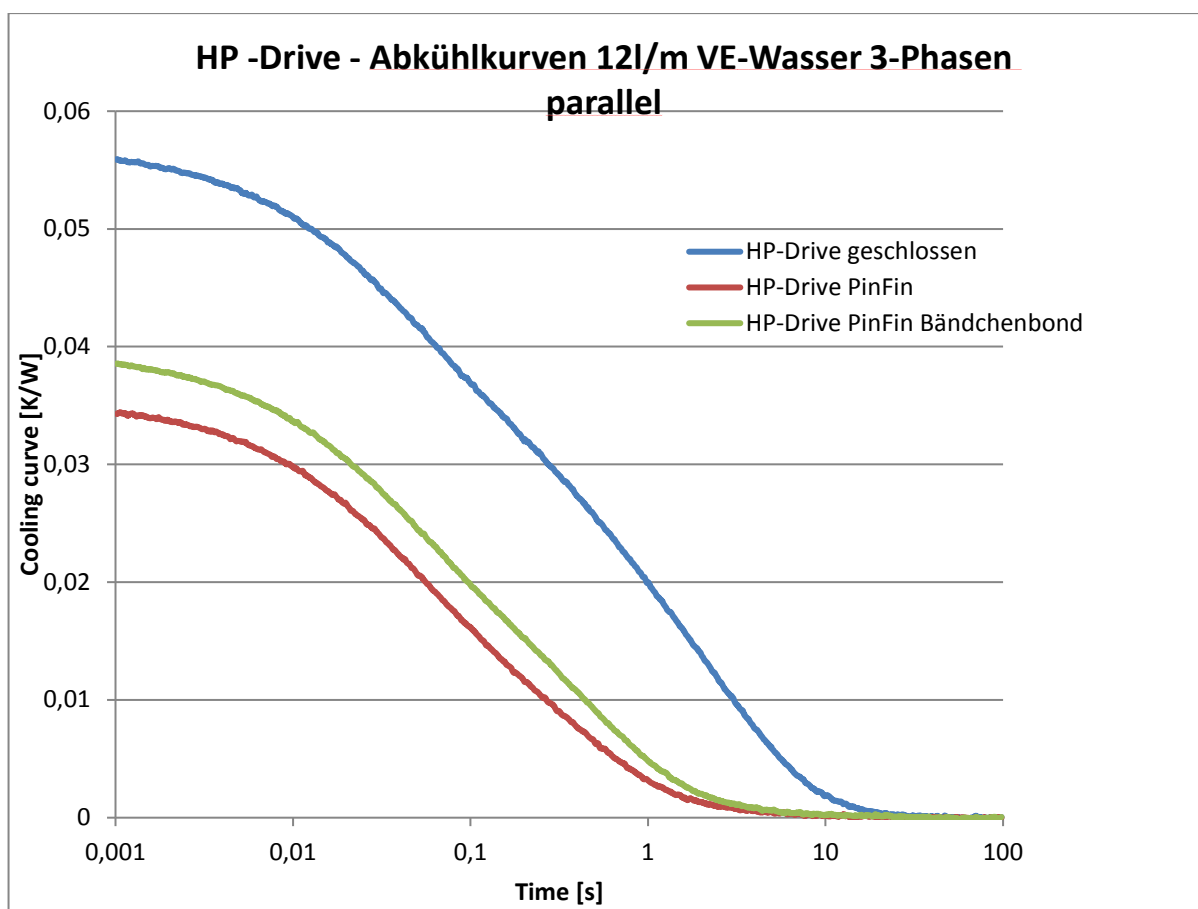


Abbildung 3 Abkühlkurven mit den verschiedenen Kühlstrukturen

Die Ergebnisse zeigen, dass der thermische Widerstand nur leicht gegenüber der PinFin-Struktur erhöht ist.

Im Berichtszeitraum wurde der finale Kühler thermisch vermessen, um die thermischen Simulationen zu verifizieren und um ein thermisches Modell für eine schnelle Simulation zu parametrieren. Für den Umrichter wurden zwei HP Drive-Module von Infineon mit einer thermisch optimierten Keramik eingesetzt. Die thermischen Parameter wurden mit beiden eingebauten Leistungsmodulen bestimmt.

Der Messaufbau ist im folgenden Bild dargestellt.

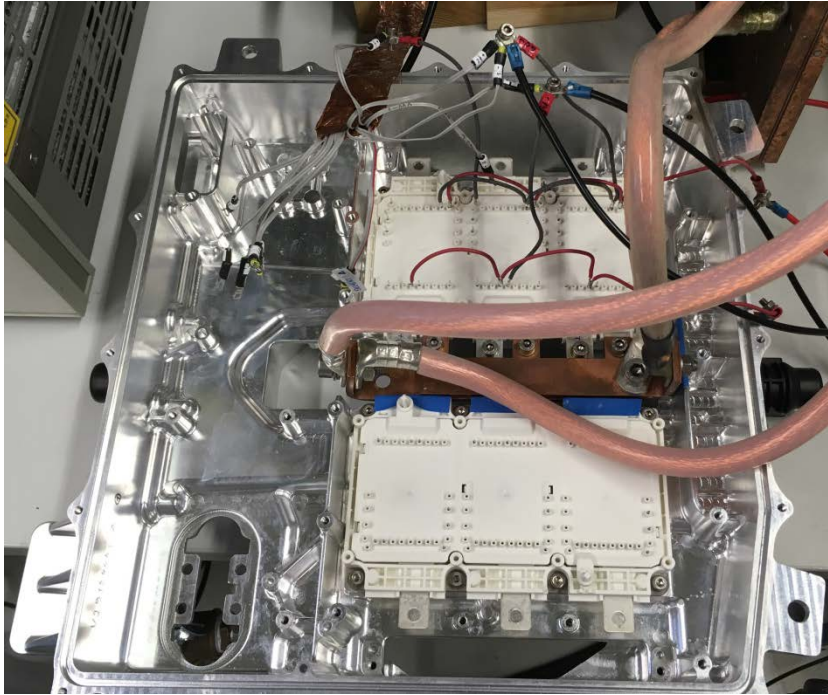


Abbildung 4 Messaufbau des Kühlers mit Leistungsmodulen

Bei den Messungen wurde der thermische Widerstand R_{th} gemessen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

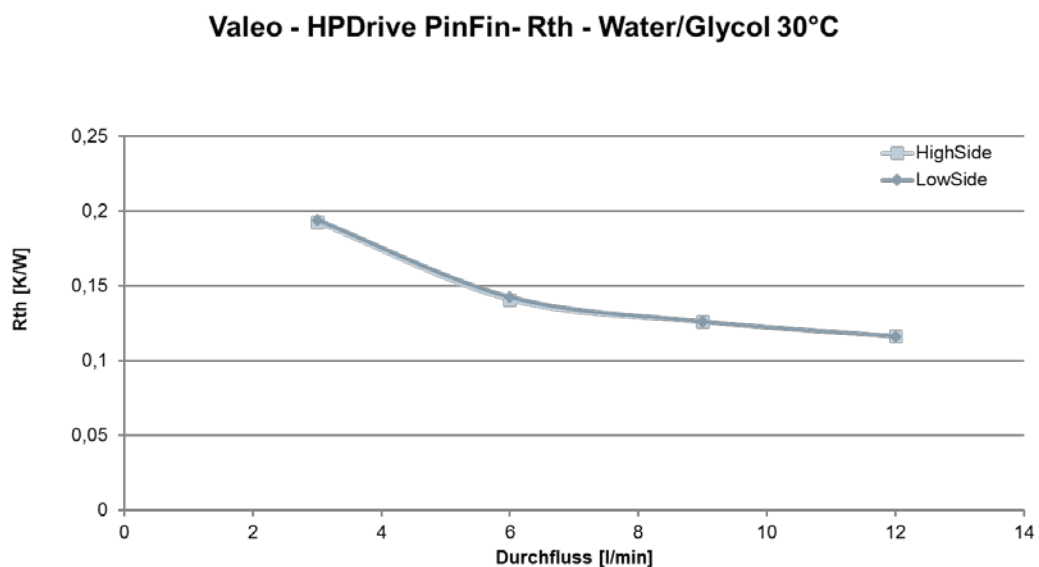


Abbildung 5 Ergebnisse der Messungen des thermischen Widerstands eines Moduls beim Highside- und Lowside-Schalter

Die Kühlwirkung ist sehr gleichmäßig im Modul. Mit den Daten dieser Messungen konnte das thermische Modell parametrisiert werden. Zusätzlich wurden bei diesen Untersuchungen auch der Druckabfall gemessen.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Grafik dargestellt:

Druckabfall- Wasser/Glykol- 30°C

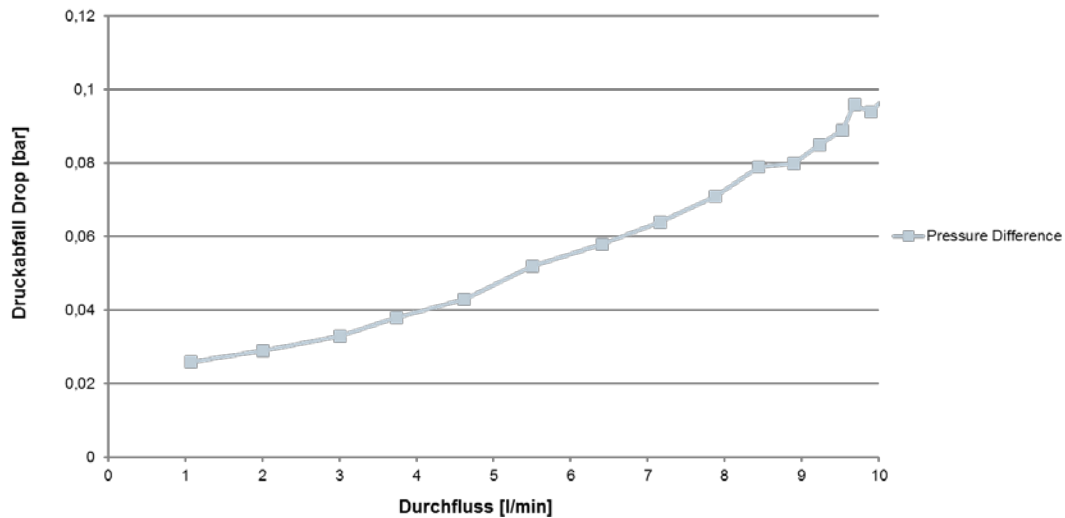


Abbildung 6 Druckabfall bei verschiedenen Durchflussraten

Der Druckabfall liegt innerhalb der Spezifikationen.

Für grundlegende Forschungen zur Kühlung von Leistungsmodulen hat Siemens mit der Universität Paderborn als Unterauftrag einen Prüfstand zur Siedebadkühlung aufgebaut (Abbildung 7). Dieser wurde gegen Ende 2017 geliefert und im Berichtszeitraum in Betrieb genommen. Anschließend wurden Messungen von verschiedenen Strukturen durchgeführt, um die Kühlung von Leistungsmodulen zu optimieren und damit die Zuverlässigkeit und die Ausnutzung der Halbleiter zu erhöhen.

Bei der Siedebadkühlung wird eine 2-Phasen-Kühlung eingesetzt, bei der das Kühlmedium einen Phasenübergang von flüssig zu gasförmig durchläuft. Hierbei wird Wärme besonders gut transportiert. Als Kühlmedium wird Flourinert verwendet, ein inertes Material, das chemisch nicht mit anderen Stoffen reagiert und elektrisch isoliert. Die Kühlwirkung hängt hauptsächlich von Materialparametern des Kühlmediums, Zustandsgrößen (Druck, Temperatur) und der Oberflächenbeschaffenheit (Struktur) der Kühlfläche ab.

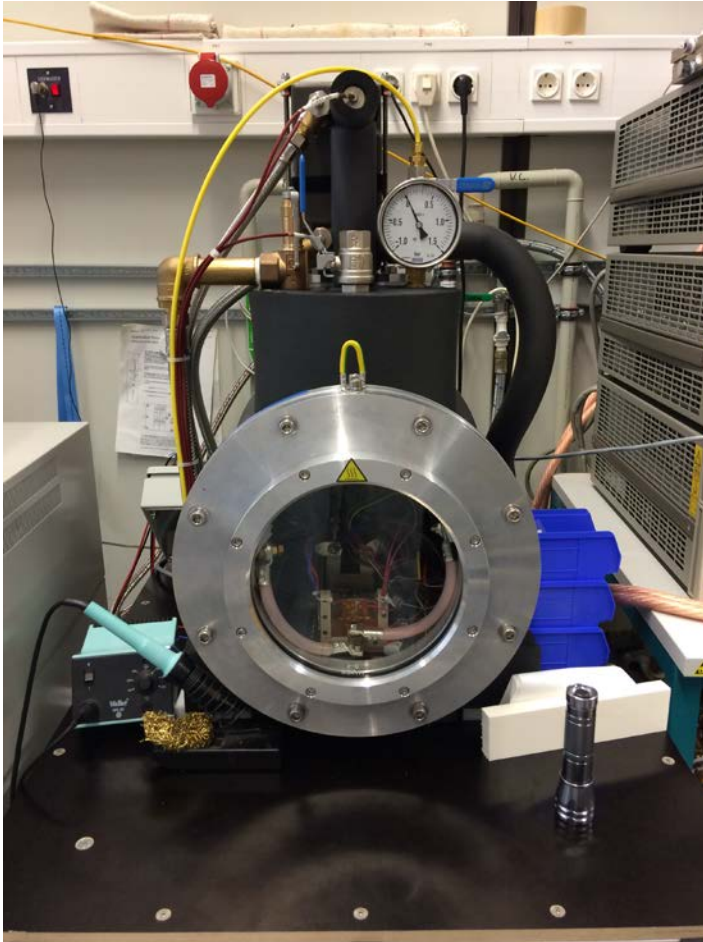


Abbildung 7 Prüfstand zur Untersuchung der Siedebadkühlung

Die Kühlwirkung wurde durch die Messung der thermischen Impedanz bestimmt. Zur Einstellung der Zustandsgrößen wurde zusätzlich ein Heizelement eingesetzt. Der Messaufbau ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

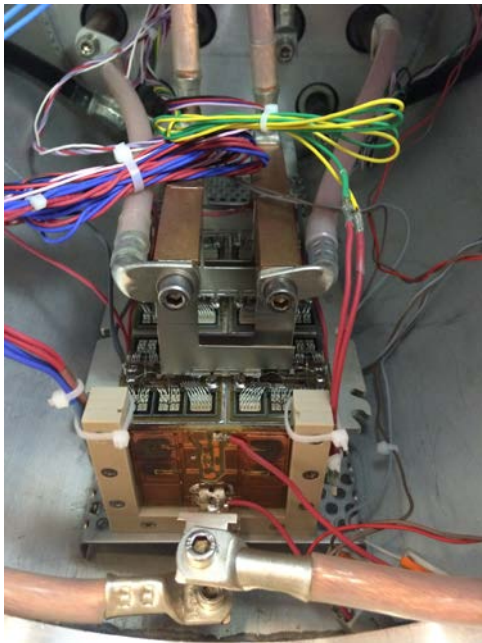


Abbildung 8 Prüfling mit Heizelement

Ein direkter Vergleich der Siedebadkühlung mit konventioneller Flüssigkeitskühlung mit einem konventionellen Leistungsmodul (Abbildung 9) zeigt, dass in diesem Fall die Siedebadkühlung eine schlechtere Kühlwirkung erzielt, da die Oberflächen nicht für die Siedebadkühlung optimiert sind.

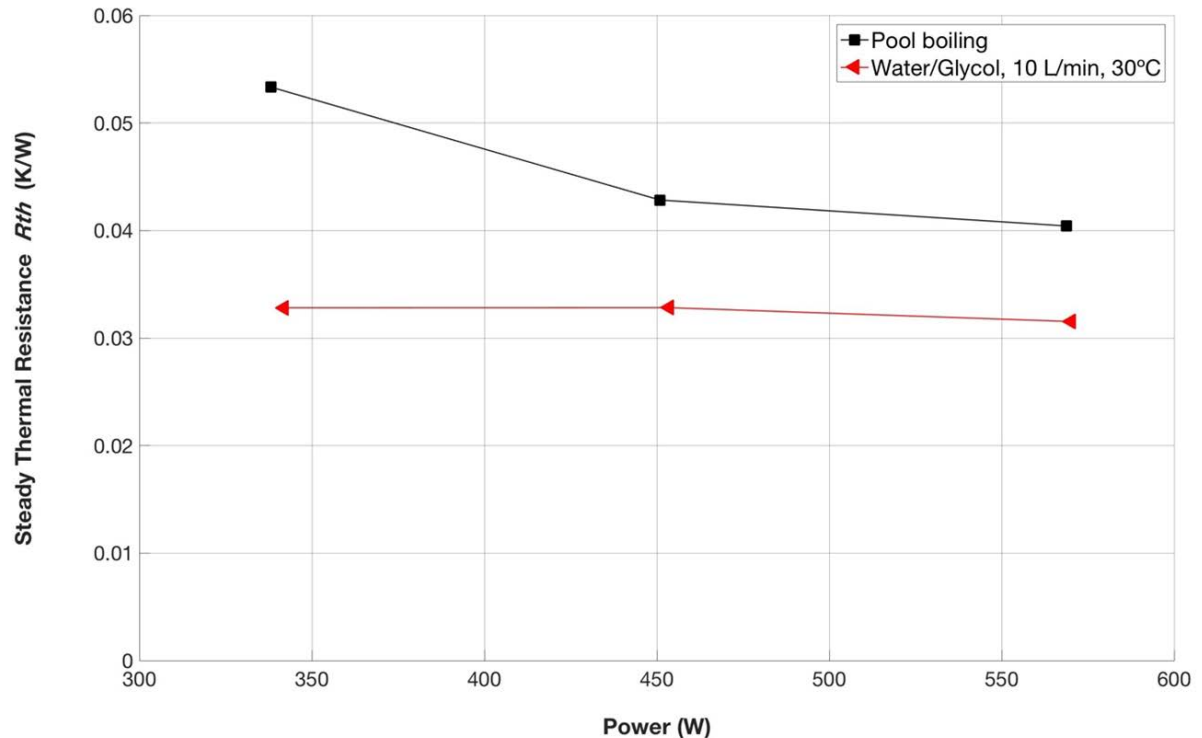


Abbildung 9 Vergleich Siedebadkühlung mit einer Flüssigkeitskühlung bei einem HP Drive Modul

Es zeigte sich, dass die Oberflächenstruktur entscheidend für die Kühlwirkung ist. Es wurden daher unterschiedliche Strukturen auf ihre Kühlwirkung bei Siedebadkühlung untersucht. Hierzu wurden Referenzsubstrate mit verschiedenen Strukturen versehen und die thermische Impedanz gemessen. Eine Übersicht ist in Abbildung 10 dargestellt.

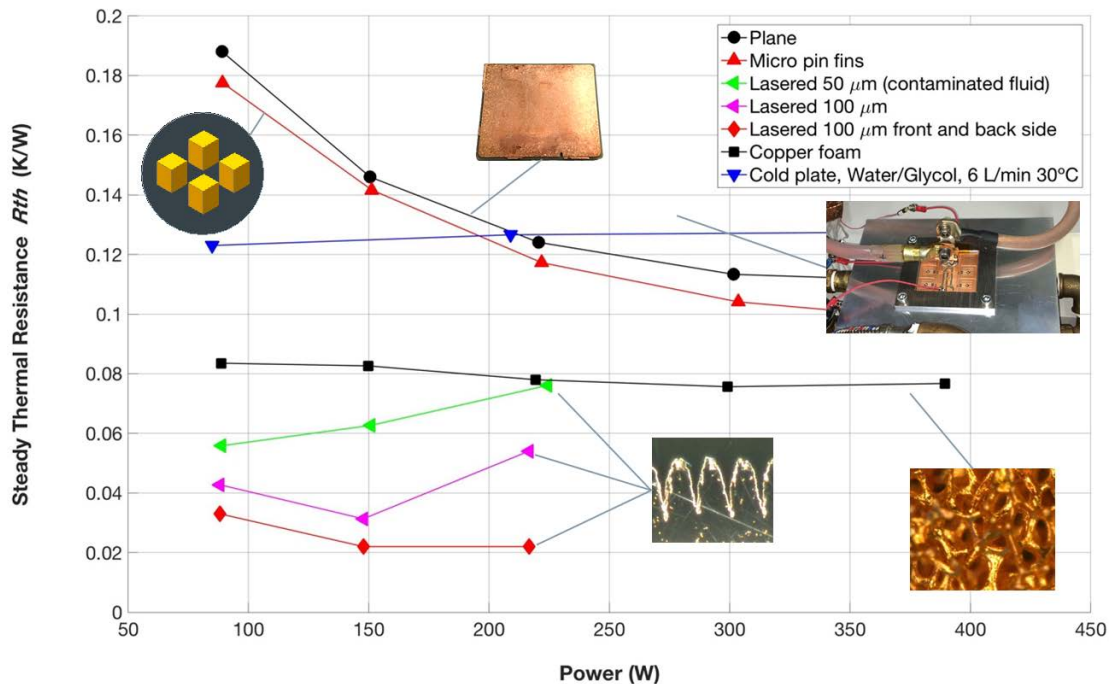


Abbildung 10 Ergebnisse der Untersuchungen mit verschiedenen Oberflächenstrukturen

Man sieht in der Übersicht deutlich, dass die Kühlwirkung stark von der Beschaffenheit der Oberflächenstrukturen abhängt. Bei geeigneten optimierten Bedingungen kann die effektive Kühlwirkung deutlich verbessert werden, auch gegenüber konventioneller Flüssigkeitskühlung. Eine endgültige Beurteilung muss aber auf Systemebene erfolgen.

1.5. Ergebnisse WP4: Embedded Systems and Computing Algorithms

Ziele in WP4

Das Arbeitspaket konzentriert sich auf die Entwicklung von Algorithmen, Methoden und Technologien zur Reduktion der Anzahl von ECUs, und ermöglicht neuartige Funktionalitäten, wie beispielsweise ein Advanced Driver Assistance System (ADAS).

Ergebnisse in WP4

Es wurden Maschinenparameter aus Simulationsrechnungen zur Verfügung gestellt, die zur Regelung im Normalbetrieb und im Fehlerfall benötigt werden (für Task 4.6).

1.6. Ergebnisse WP5: System Integration and Demonstration

Ziele WP5

Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Integration aller entwickelten Lösungen zur Anwendung im Elektrofahrzeug.

Ergebnisse WP5

Siemens ist Workpackage-Leiter von WP5 und organisiert den Austausch von Informationen zwischen den Supply-Chains und überprüft regelmäßig den Status der Arbeiten. Innerhalb des, diesem Arbeitspaket zugeordneten, Task 5.2 erfolgte die detaillierte Konstruktion der Maschine und des Integrationskonzeptes der Komponenten zum integrierten Antriebsstrang. Siemens hat dazu die elektromagnetische Auslegung der Maschine in verschiedenen Varianten ausgeführt und stellt die Aktiveile der Maschine (Statorn mit Wicklungen und Permanentmagnet-Rotoren) bereit. Die aktiven Teile von vier elektrischen Maschinen wurden aus der Kombination von drei verschiedenen Statorn und zwei Rotortypen gebaut und montiert. Dies ermöglichte es, einige Varianten von Motoren mit unterschiedlichen Leistungen zu testen.



800V - 6-phase Stator



IPM Rotor

Abbildung 11 Stator und Rotor

In Zusammenarbeit mit der TUD wurden die aktiven Teile der elektrischen Maschinen zusammen mit dem Gehäuse montiert und zum Testen zur Verfügung gestellt.

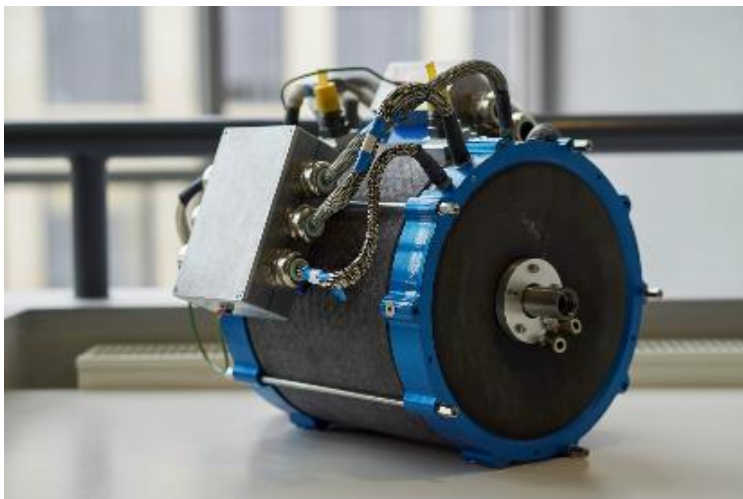


Abbildung 12 Maschine mit Gehäuse



Abbildung 13 Stator mit Wicklungen und Kühlmantel

1.7. Ergebnisse WP6: Validation and Tests

Ziele WP6

Das Ziel dieses Arbeitspakets ist es, die integrierten Lösungen und Teilsysteme zu validieren und für die Tests vorzubereiten.

Der integrierte Antrieb wird hinsichtlich verschiedener Teilaspekte von mehreren Projektpartnern auf deren Prüfständen getestet werden.

Ergebnisse WP6

Im Rahmen des Task 6.2 erfolgte eine Abstimmung der Projektpartner in Supply-Chain 2 und 8 zur Vorbereitung der Prüfstandtests mit verschiedenen Zielsetzungen (Passiv- und Inbetriebnahme der Maschine, Inbetriebnahme des Inverters, Untersuchung der Fehlertoleranz, Hochleistungs- und Drehzahltests) und angepasst auf die technischen Einschränkungen der jeweiligen Prüfstände. Auf einem Prüfstand bei Siemens in Erlangen sollen die Maschinen verschiedenen Passivtests unterzogen werden und eine Inbetriebnahme erfolgen. Dazu wurden angepasste Prüfstandadapter zur Aufnahme der Maschine konstruiert und gefertigt.

Die im Elektromaschinenbau üblichen Hochspannungs- und Stoßspannungstests wurden an der Maschinenkomponente Stator durchgeführt.

Maschinendaten zur Konstruktion, Aufbau und Material wurden für das kombinatorische Testen nach dem Load-Matrix-Ansatz im Rahmen des Tasks 6.14 Projektpartnern zur Verfügung gestellt.

1.8. Ergebnisse WP7: Dissemination, Exploitation and Standardization

Ziele WP7

Siemens wird in Kooperation mit den Konsortiumspartnern von 3CCar dazu beitragen, die vom Konsortium definierten Ziele in diesem Arbeitspaket zu erreichen.

Ergebnisse WP7

Siemens ist in verschiedenen Standardisierungsgremien vertreten, z.B. in einem ZVEI-Arbeitskreis zur Qualifikation von DC-link-Folienkondensatoren für Automobilantriebe. Hier wurde an einem Qualifikationsdokument zur Qualifizierung von Folien-Zwischenkreiskondensatoren mitgearbeitet [1].

1.9. Ergebnisse WP8: Project Management and Project Clustering

Ziele WP8

Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Gesamtprojektleitung:

- Einhaltung der Vorschriften und Abschluss von Verträgen
- Zeitnahe und effiziente Umsetzung des Arbeitsplans sowie die kontinuierliche Überwachung aller Projektaktivitäten,
- Verfolgung der Meilensteine, Berichte und die Zurverfügungstellung der Demonstratoren.
- Erstellung der periodischen Abschlussberichte
- Verwaltung des Projektes, einschließlich der Verteilung der finanziellen Beteiligung an dem Konsortium gemäß der Finanzhilfevereinbarung

Ergebnisse WP8

Es wurden Beiträge zur Berichterstattung und für Deliverables geliefert.

2. Vergleich des Vorhabenstandes mit der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung

Die durchgeführten Arbeiten und Aufwände entsprachen dem ursprünglichen Plan. In Summe wurde im Berichtszeitraum ein Aufwand von rund 28 Personenmonaten erbracht.

Weitere Details zu den Finanzen sind in den regelmäßigen Abrechnungen von Siemens an den Fördergeber aufgeführt.

3. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtszeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert (Begründung)?

Eine Anpassung des Arbeitsplans hinsichtlich des beantragten und bewilligten Ausgaben-/ Kostenzeitraums war aus Sicht der Siemens AG erforderlich.

Der Zeitplan hatte sich durch die Änderung des ursprünglichen Radnabenkonzeptes zu einem radnahen Antrieb mit deutlich vergrößerter Leistung und daraus folgenden Verzögerungen bei den Spezifikationen um ca. 4-5 Monate verzögert. Es wurde versucht, diese Verzögerungen soweit wie möglich in der übrigen Zeit des Projektes aufzuholen. Für die Zuverlässigkeit der Leistungselektronik ist die Kühlung essentiell. Zur thermischen Charakterisierung wurde daher ein Unterauftrag für eine Siedebadkühlung an eine Universität vorbereitet, der 2017 durchgeführt wurde. Die Projektziele und der Kostenrahmen wurden hierdurch nicht verändert.

Durch die Verzögerungen bei dem Antrieb und der Lieferung der Siedebadkühlung und weitere Verzögerungen im Projekt wurde in einem Amendment eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung bis zum 31.10.2018 bei Ecsel beantragt und genehmigt. Anschließend wurde eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung bis zum 31.10.2018 auch beim nationalen Projektträger beantragt und genehmigt.

4. Sind inzwischen von dritter Seite FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind (auch Darstellung der aktuellen Informationsrecherchen nach Nr. 6.1 NKBF 98)?

Während der bisherigen Laufzeit sind keine Ergebnisse Dritter bekannt geworden, die auf die Projektdurchführung Einfluss nahmen.

5. Notwendige Änderungen in der Zielsetzung

Für die Siemens AG waren keine Änderungen in der Zielsetzung erforderlich.

6. Fortschreibung des Verwertungsplans

6.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.ä.) und weitere Verwertungsmöglichkeiten

Im aktuellen Berichtszeitraum sind keine projektbezogenen Anmeldungen erfolgt. Relevante Schutzrechte wurden nicht erteilt oder in Anspruch genommen.

6.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont), Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen

Die wirtschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten von integrierten Antrieben (Leistungselektronik, Maschine, Getriebe) für Automotive sind weiterhin sehr gut. Die integrierten Antriebe werden zunehmend auch in Industrieanwendungen gefordert.

6.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)

Unverändert zur Antragstellung ist die Integration der Leistungselektronik an die elektrische Maschine weiterhin stark im Fokus der Entwicklungen.

6.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FE-Ergebnisse

Unverändert soll bei erfolgreichem Projektabschluss der integrierte Antrieb zu einem A-Muster bei einem Leit-Kunden entwickelt, getestet und eingeführt werden. Eine Erweiterung des Leistungsbereichs ist anschließend durch Skalierung vorgesehen.

7. Literaturverzeichnis

[1] Qualifikation von Zwischenkreiskondensatoren für den Einsatz in Komponenten von Kraftfahrzeugen, ZVEI, Januar 2017

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Darstellung des Maschinenkonzeptes	4
Abbildung 2 Bodenplatten mit Kühlstrukturen (links: plan; mittig: PinFiN-Struktur; rechts: Bändchenbond).....	5
Abbildung 3 Abkühlkurven mit den verschiedenen Kühlstrukturen	5
Abbildung 4 Messaufbau des Kühlers mit Leistungsmodulen.....	6
Abbildung 5 Ergebnisse der Messungen des thermischen Widerstands eines Moduls beim Highside- und Lowside-Schalter.....	6
Abbildung 6 Druckabfall bei verschiedenen Durchflussraten.....	7
Abbildung 7 Prüfstand zur Untersuchung der Siedebadkühlung.....	8
Abbildung 8 Prüfling mit Heizelement	8
Abbildung 9 Vergleich Siedebadkühlung mit einer Flüssigkeitskühlung bei einem HP Drive Modul.....	9
Abbildung 10 Ergebnisse der Untersuchungen mit verschiedenen Oberflächenstrukturen	10
Abbildung 11 Stator und Rotor	11
Abbildung 12 Maschine mit Gehäuse	11
Abbildung 13 Stator mit Wicklungen und Kühlmantel.....	12

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title Integrated Components for Complexity Control in affordable electrified cars – 3CCar Highly integrated and connected electric drive train with smart power modules for e-mobility	
4. author(s) (family name, first name(s)) Diehl, Dirk Kriegel, Kai Mitic, Gerhard Spagnolo, Aristide	5. end of project 31/10/2018
	6. publication date 29/04/2019
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) SIEMENS AG CT REE ELM SPT-DE Otto-Hahn-Ring 6 D-81739 München	9. originator's report no.
	10. reference no. 16EMOE004
	11. no. of pages 20
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)	13. no. of references 1
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 13
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract For e-mobility electric drive trains are crucial. In the project 3CCar a high power drivetrain for electric vehicles was developed. For the power electronics of the inverter the thermal management was optimized and for the electric machine new failsafe concepts were investigated.	
19. keywords Electric drive train, e-mobility, power electronics, electric machine, thermal management	
20. publisher	21. price