

Abschlussbericht

zum Teilvorhaben

3D-Druck Kühler für industrielle Anwendungen

innerhalb des Verbundvorhabens:

Korrosionskompatible Aufbau- und Verbindungstechnik für Leistungselektronik

Akronym:

„KoKo-Power“

Zuwendungsempfänger: IQ evolution GmbH
Förderkennzeichen: 16ME0370
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 – 30.04.2024
Berichtszeitraum: 01.05.2021-30.04.2024
Teilprojektleiter: Dr. Thomas Ebert

Inhalt:

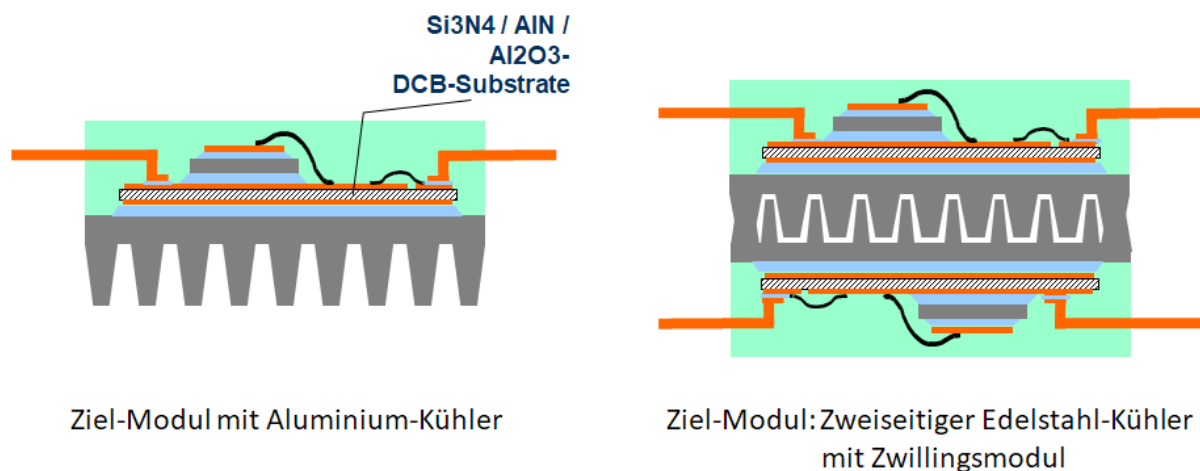
Inhalt:.....	2
1 Einleitung.....	3
1.1 Ziele und Aufgabenstellungen.....	3
1.2 Voraussetzungen.....	4
1.3 Stand der Technik vor Projektbeginn.....	4
1.4 Planung und Ablauf des Teilvorhabens.....	5
1.5 Zusammenarbeit mit den Projektpartnern.....	5
2 Ergebnisse.....	6
2.1 Ersatzbodenplatten.....	6
2.2 Funktionsmuster.....	6
2.2.1 Edelstahlkühler.....	6
2.2.2 Verwendung von Wasser/Glycol Gemisch als Kühlmedium.....	9
2.2.3 Aluminiumkühler.....	9
3 Verwertung.....	13
3.1 Umsetzung der Ergebnisse in Produkte.....	13
3.2 Fertigungsressourcen.....	13
3.3 Stückzahlen / Umsatz.....	13
3.4 Markteinführung.....	13
3.5 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit.....	13
3.6 Verwertung außerhalb des Vorhabens.....	13
4 Zusammenfassung und Ausblick.....	14

1 Einleitung

1.1 Ziele und Aufgabenstellungen

Korrosions-kompatible Antriebselektronik für elektrische Fahrzeuge und industrielle Leistungsmodul Kurzform: (KoKo-Power). Leistungsdichte, elektronische Antriebsmodule in elektrischen Fahrzeugen und industriellen Anwendungen wie medizinischen Großgeräten sind durch ein Glykol-Wassergemisch flüssiggekühlt. Die klassischen Materialien der Elektronik sind jedoch nicht ausreichend korrosionsgeschützt, um dem jahrelangen Einsatz im Flüssigkeitskreislauf zu widerstehen. So ist z.B. eine E-Maschine ebenfalls wassergekühlt und besteht aus Aluminium. Würde man den klassischen Elektronikwerkstoff Kupfer zur Kühlung des Antriebsmoduls einsetzen, würde im wassergetriebenen Bimetall-Korrosionsprozess das Aluminium der E-Maschine die Opferanode darstellen und rasch zerstörend korrodieren. Dies wird unweigerlich zum Ausfall der kostenintensivsten Baugruppen (E-Maschine und Motor-Drive) führen.

Das Projekterziel ist daher ein Antriebsmodul, welches mit wasserberührenden, 3D-strukturierten Aluminiumelementen und einem keramischen Substrat durch Niedertemperatursintern auf Basis von Silber realisiert wird. Damit wird der klassische Kupferkühlkörper, oft mit vernickelten Oberflächen, durch einen Aluminiumkörper ersetzt. Die Wahl von Aluminium führt jedoch zu einem enorm vergrößerten Dehnungsunterschied (CTE-Mismatch) zwischen allen Beteiligten Materialien im thermischen Stapel zwischen Halbleiter und Kühlkörper und damit zu einem erheblichen mechanischen Zerstörungspotential.



Im Projekt hat sich die IQE hauptsächlich mit den 3D-gedruckten Varianten aus Edelstahl (1.4404), siehe rechte Seite der Abbildung 1, beschäftigt. Dazu kommt das Laser Powder Bed Fusion Verfahren zum Einsatz in einer Variante, welche IQE hinsichtlich des Aufbaus von kleinen Strukturen verfeinert hat.

Bei diesem LPBF-Verfahren, es wird auch oft als Selektives Laserschmelzen bezeichnet, werden die im CAD-System konstruierten Bauteile in einzelne Schichten, den Layern, zerlegt. Dieses Schichtmodell wird über einen Umweg über die Datenaufbereitung direkt auf den „3D-Drucker“ gespielt. In der Datenaufbereitung werden sämtliche für den Aufbauprozess relevanten Daten festgelegt und in einem Ablaufprogramm zusammengefasst. In der 3D-Druck Anlage werden mittels eines Laserstrahls die einzelnen Schichten nacheinander in ein Pulverbett „geschrieben“. Dadurch entstehen ohne die Verwendung von weiteren Werkzeugen hoch komplexe Bauteile die

mit Innenstrukturen versehen werden können, welche mit keinem anderen Fertigungsverfahren hergestellt werden können. Die Kühler der IQE können von beiden Seiten bestückt werden, was hinsichtlich der Aufbau- und Verbindungstechnik besondere Anforderungen bedeutet, nicht nur was die Wahl der Verbindungsmaterialien betrifft, sondern auch die Positioniergenauigkeit der verwendeten Maschine und die Möglichkeit mehrere Bauteile gleichzeitig zu sintern.

Im Bereich der Aufbau und Verbindungstechnik sollen auch hier Sinterpasten zum Einsatz kommen. Das Sintern auf Edelstahl ist bis jetzt nicht möglich, es muss der Umweg über galvanische Vorbehandlungen gewählt werden. Ein Ziel des Projektes ist unter anderem diesen „Umweg“ zu vermeiden sowie die bereits oben angesprochenen Anforderungen zu erfüllen

1.2 Voraussetzungen

Die IQ evolution GmbH beschäftigt sich seit 14 Jahren mit dem Laser Powder Bed Fusion, LPDF oder früher SLM Verfahren. Innerhalb dieser Zeit hat sich IQ evolution auf die Herstellung kleiner Strukturen spezialisiert, die sie vorwiegend zum Design und Realisierung von Kühlstrukturen verwendet. Nach der erfolgreichen Implementierung dieser sogenannten Mikrokühler in der Lasertechnik, fokussiert sich die Entwicklungsarbeit auf Mikrokühler für den Bereich Leistungselektronik (Inverter, Konverter, Module) und passive Bauelemente (Spulen, Kondensatoren). Mit dieser Art Kühler können sehr hohe Verlustleistungen sicher entwärmt werden. Im Fokus der Arbeiten der IQ evolution stehen zwar auch Design und Herstellung von Prototypen und Kleinserien, durch die konsequente Weiterentwicklung des Verfahrens und der dazu gehörigen Anlagentechnik können aber auch hohe Stückzahlen, bis hin zur Serienfertigung von im Automotiv Bereich dargestellt werden.

1.3 Stand der Technik vor Projektbeginn

3D-gedruckte Kühlkörper wurden von der IQ evolution GmbH bereits für den Bereich der Leistungselektronik entwickelt und gefertigt. Dabei handelte es sich im Wesentlichen um Kühler zur Entwärmung von diskreten Bauelementen wie zum Beispiel Elektroniken in einem TO 247 Gehäuse. Größere Kühler zum Kühlen von ganzen Modulen waren in der Planung, wurden aber noch nicht erfolgreich umgesetzt. In beiden Fällen erfolgte die Anbindung der elektronischen Bauteile mechanisch durch Anschrauben und/oder anpressen durch einen entsprechenden Rahmen.

Eine Anbindung der elektronischen Bauelemente durch Sintern wurde bisher nicht durchgeführt.

1.4 Planung und Ablauf des Teilvorhabens

Die IQ evolution GmbH hat im Laufe des Projektes wie geplant an allen 6 Arbeitspaketen ihren Beitrag geleistet, siehe Balkenplan:

AP	Arbeitspakete IQE	1. Projektjahr				2. Projektjahr				3. Projektjahr				PM	
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		Gesamt
1.4	Spezifikationen Demonstratoren	2,0	2,0	2,0											6,00
2.5	Entwicklung 3D-Kühlungsstrukturen Bodenplatten			1,0											1,00
3.1	Konzept- und Strategieentwicklung: Prozesse und Werkzeuge	1,0	1,0	1,0											3,00
3.2	Entwurf, Planung und Fertigung ALL-in-ONE-Sintern			1,0	1,0		1,0	1,0	1,0						5,00
4.1	Unterstützung Maschinenauslegung für die Fügeprozesse				1,0										1,00
4.4	Unterstützung Sintertool-Soft Stempel mit Silikonkissen					1,0									1,00
4.6	Unterstützung Sintertool-all-in-one							1,0							1,00
6.1	Entwurf und Planung Demonstratoren und Dokumentation			1,0											1,00
6.2	Fertigung der benötigten Komponenten				1,0										1,00
6.3	Fertigung der Prüflinge für die grundlegenden Untersuchungen					1,0	2,0	2,0	1,0	1,0					7,00
6.5	Fertigung der Demonstratoren auf Modulebene					1,0		1,0		2,0	2,0	2,0	1,0		9,00
	PM pro Quartal	2,0	3,0	6,0	2,0	4,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0	2,0	1,0		36,00

Abbildung 1: Arbeitspakete der IQ evolution GmbH.

1.5 Zusammenarbeit mit den Projektpartnern

Im Laufe des Projektes stimmt sich die IQ evolution GmbH mit allen Partnern ab und arbeitet mit ihnen zusammen, siehe Abbildung 1/Abbildung 2:

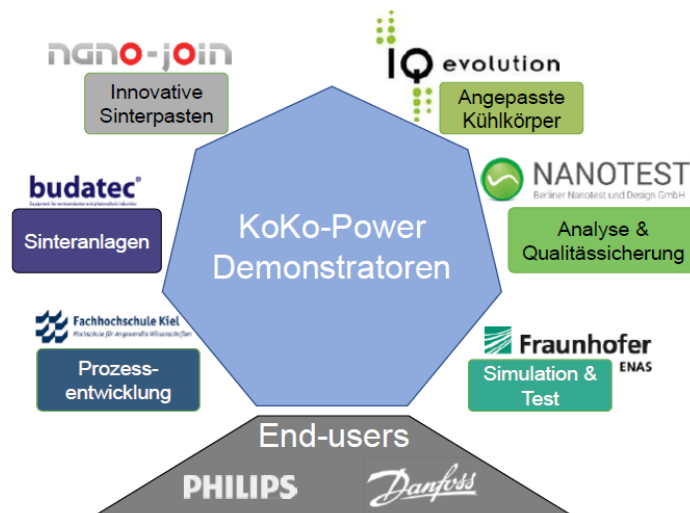


Abbildung 2: Arbeitsteilung innerhalb des KoKo-Power Konsortium

Innerhalb des Konsortiums bedingt die Aufgabenteilung eine intensivere Zusammenarbeit mit den Partnern Budatec, Nano-join und der FH-Kiel:

- Nano-Join, Entwicklung und Test der entwickelten Sinterpasten auf 3D-gedruckten Bauteilen der IQ evolution
- Budatec, Abstimmung von Werkzeugen und Anpassung der gedruckten Bauteilgeometrien hinsichtlich der Maschinen/Werkzeuganforderungen
- FH-Kiel, Prozessentwicklung und Abstimmung der Auslegung der gedruckten Bauteile für den Fügeprozess.

2 Ergebnisse

2.1 Ersatzbodenplatten

Versuchsträger für die Sinterpasten- und Prozessentwicklung (Ersatzbodenplatten)

Der Projektpartner Nanojoin hat für die Entwicklung der Sinterpasten und der entsprechenden Versuche eine DCB mit den Abmessungen 40mm x 29mm zur Verfügung gestellt. Dazu wurden zunächst 3D-gedruckte Ersatzbodenplatten mit diesen Abmessungen aus Edelstahl hergestellt. Auf den Platten wurden die ersten Sinterpasten getestet, um Aussagen über die Haftung der Paste auf der Edelstahloberfläche treffen zu können. Ebenfalls wurde untersucht, welcher galvanische Beschichtungsaufbau auf der Kühleroberfläche am besten geeignet ist, eine gute Verbindung zwischen Kühler und DCB herzustellen. Für die Durchführung der Prozessentwicklung, wurde den Projektpartnern zunächst ebenfalls Ersatz Bodenplatten gedruckt, die entsprechend den größeren verwendeten DCDs entsprechend größere Dimensionen haben. Diese wurden mechanisch bearbeitet, um eine glatte und ebene Oberfläche zu erhalten. Die so entstandenen Oberflächen wurden gemäß den Vorgaben der Projektpartner mit den verschiedensten Beschichtungen versehen.

Mit den so erstellten beschichteten Ersatzbodenplatten haben die Partner Haftungs- und Alterungsversuche durchgeführt in denen sich für die Edelstahlkühler die Beschichtung mit dem Aufbau 3-5 μm Nickel + 3-5 μm Sulf einer abschließenden Silberschicht von 2,5 μm herausgestellt haben.

Als Beschichtungsaufbau für das Sintern auf Aluminium Kühlern wurden die besten Ergebnisse mit 2,5 μm Nickel und einem Phosphorgehalt von unter 8% und einer abschließenden Silberschicht von 2,5 μm erzielt.

2.2 Funktionsmuster

Funktionsmuster für die Sinterpasten- und Prozessentwicklung(3D-gedruckter Edelstahlkühler)

2.2.1 Edelstahlkühler

Um zu ermitteln welchen Einfluss die extrem dünnen Wandstärken der Kühler auf den Sinterprozess haben wurden entsprechende Funktionsmuster in Form der 3D-gedruckten Kühler zur Verfügung gestellt. Auch diese wurden mechanisch bearbeitet und gemäß den Vorgaben der Projektpartner mit den bereits oben genannten Beschichtungen versehen.

Erste Versuche mit einer hydrostatischen Prozessführung führten durch den überall ausgeübten Druck auf die Kühleroberfläche zu einem Versagen der Kühleroberfläche.



Abbildung 3: Versuchsergebnis mit hydrostatischer Druckbeaufschlagung

Erst die Verwendung einer festen Platte für die Druckbeaufschlagung in Kombination mit einer DCB, welche den Rand der Kühler als Stützrahmen nutzt, führte zum Erfolg.

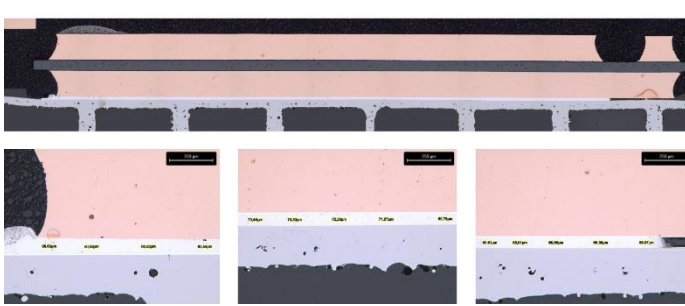


Abbildung 4: Schliffbild einer erfolgreichen Sinterverbindung von DCB und Edelstahlkühler

Nach Festlegung des Danfoss Modul DCB 1000 wurde ein entsprechender 3D- gedruckter Kühler entwickelt, der genau auf das erwähnte Modul passt. Um den großen Dimensionen des zu testenden Moduls Rechnung zu tragen, wurden zunächst angepasste Kühlstrukturen entwickelt, um für Kühler von Modulen dieser Dimension, bei Vorgabe der hydraulischen Randbedingungen im Automotive Bereich, eine ausreichende Kühlleistung zu erhalten. Dazu müssen die inneren Strukturen geeignet sein die für die Kühlung notwendigen Turbulenzen über die komplette Kühlfläche aufrechtzuerhalten, dies ist mit den bisherigen verwendeten Kühlstrukturen nicht möglich.

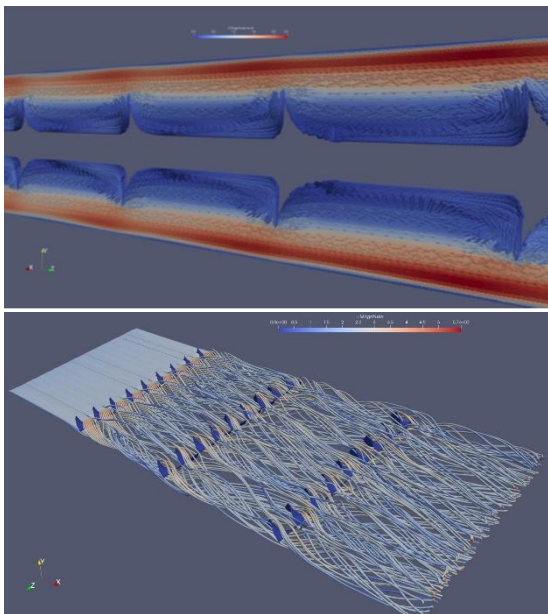


Abbildung 5: Oben herkömmliche Strukturen, unten neu entwickelte Rotatoren

Im oberen Bild ist deutlich zu sehen, dass sich „Taschen“ bilden, die über eine fast gleichmäßige Temperatur verfügen und nicht am Wärmeaustausch an der oberen und unteren Seite beteiligt sind. Dies hat zur Folge, dass lediglich der im Bild zu sehende schmale, rote Streifen am Wärmeaustausch beteiligt ist und die Wärme damit nur unzureichend abgeführt werden kann.

Bei den Rotatoren hingegen ist, neben der turbulenten Strömung, auch eine wesentlich bessere Durchmischung der einzelnen Strömungsfäden zu sehen. Damit verteilen die Rotatoren die Flüssigkeit über den ganzen Strömungsquerschnitt und sorgen dafür, dass ständig „frisches“ Wasser an die Wärmeabgebende Oberfläche gelangt.

Mit diesen Erkenntnissen wurde der Edelstahlkühler IQ-DCM 1000 konstruiert und gefertigt. Die Messungen der hydraulischen und thermischen Eigenschaften bei der Verwendung von reinem Wasser, wurden mittels eines modifizierten gebauten Prüfstands ermittelt:

Pressure [bar]	Flowrate [ml/min]
0,01	565
0,02	690
0,03	810
0,04	915
0,05	1015
0,06	1075
0,07	1140
0,08	1195
0,09	1270
0,1	1335
0,11	1410
0,12	1450
0,13	1505
0,14	1575
0,15	1620
0,20	1905
0,30	2355
0,40	2665
0,50	3000
0,60	3320

IQ-DCM 1000 1.4404 (Edelstahl)

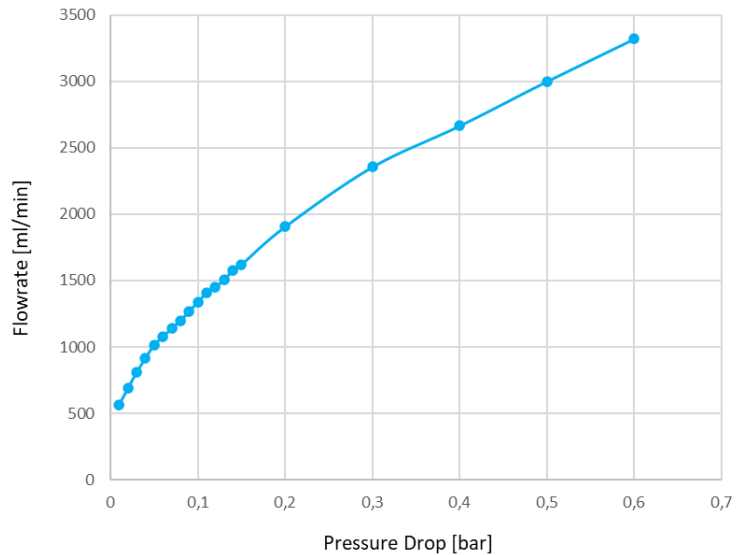


Abbildung 6: Durchflussrate in Abhängigkeit des Eingangsdruckes IQ-DCM 1000 Edelstahl

Pressure [bar]	Rth [K/W]
0,01	0,063
0,02	0,055
0,03	0,050
0,04	0,047
0,05	0,047
0,06	0,043
0,07	0,043
0,08	0,043
0,09	0,042
0,1	0,041
0,11	0,040
0,12	0,039
0,13	0,039
0,14	0,038
0,15	0,038
0,20	0,034
0,30	0,031
0,40	0,030
0,50	0,027
0,60	0,027

IQ-DCM 1000 1.4404 (Edelstahl) @ 2kW

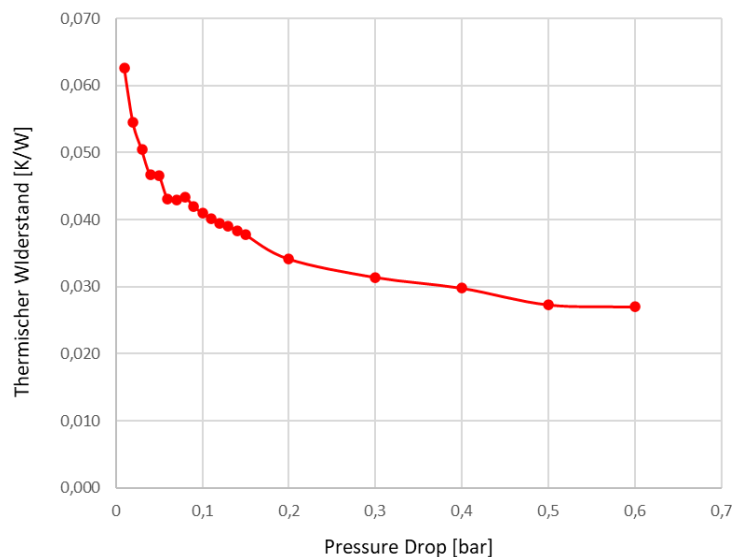


Abbildung 7: Thermischer Widerstand in Abhängigkeit des Eingangsdruckes IQ-DCM 1000 Edelstahl

2.2.2 Verwendung von Wasser/Glycol Gemisch als Kühlmedium

Auch im industriellen Einsatz wird vermehrt auf ein Wasser/Glykol Gemisch im Verhältnis von 50% zurückgegriffen, um Korrosion im Kühlkreislauf zu vermeiden. Dadurch ändert sich die Viskosität des Kühlmittels und das Auftreten von Turbulenzen verschiebt sich in Richtung höherer Drücke. Dabei werden nicht selten Eingangsdrücke von über 3 bar gefordert was auch für viele Industrieanwendungen mittlerweile zu aufwendig ist. Daher wurde für niedrigere Eingangsdrücke eine Aluminiumvariante (AlSi10Mg) entwickelt. Da auch bei den automobilen Anwendungen ein Aluminiumkühler eingesetzt wird um Korrosion, im Speziellen zwischen der Antriebsmaschine und dem Kühler, zu vermeiden, wurde der Aluminium Kühler hinsichtlich dieser Anwendung für den Eingangsdruck von 100 mbar ausgelegt.

2.2.3 Aluminiumkühler

Entwicklung von Kühlern aus Aluminium (AlSi10Mg)

Diese Herausforderungen führten zu der Entwicklung von Kühlern aus Aluminium, AlSi10Mg, welche eine gänzlich andere Art der Kühlung erforderten als die bei den Edelstahlvarianten. Hier wird auf die klassische Kühlung mittels Wärmeleitfähigkeit des Kühlermaterials zurückgegriffen. An die Stelle von Turbulenzen tritt nun das Design von PinFin Strukturen, deren Form, Anordnung und in der Strömung befindlichen Masse die Kühlperformance bestimmen. Erste Versuche mit solchen Kühlern zeigten bereits sehr gute Ergebnisse bei der Verwendung von reinem Wasser:

Pressure [bar]	Flowrate [ml/min]
0,01	415
0,02	540
0,03	660
0,04	750
0,05	845
0,06	915
0,07	985
0,08	1050
0,09	1110
0,1	1155
0,11	1205
0,12	1260
0,13	1310
0,14	1355
0,15	1405

IQ-DCM 1000 AlSi10Mg (Aluminium)

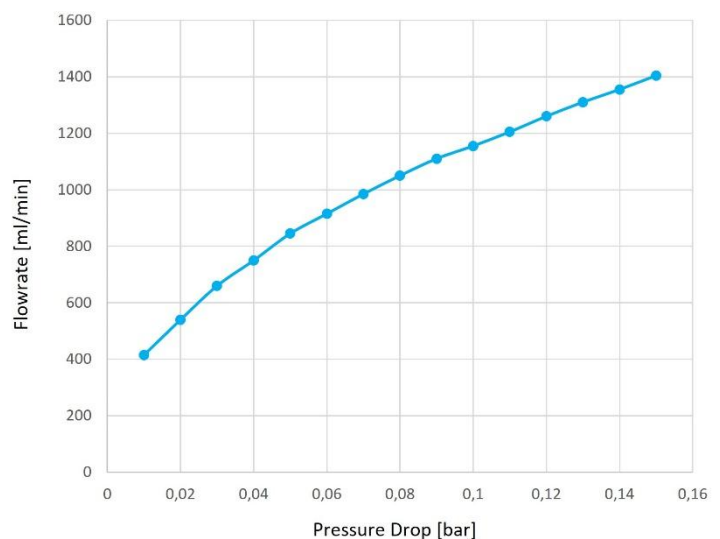


Abbildung 8: Druckverlustkurve IQ-DCM 1000 Aluminium bei Verwendung von reinem Wasser

Pressure [bar]	Rth [K/W]
0,01	0,049
0,02	0,040
0,03	0,036
0,04	0,034
0,05	0,032
0,06	0,031
0,07	0,030
0,08	0,030
0,09	0,029
0,1	0,028
0,11	0,028
0,12	0,028
0,13	0,027
0,14	0,027
0,15	0,027

IQ-DCM 1000 AlSi10Mg (Aluminium) @ 2kW

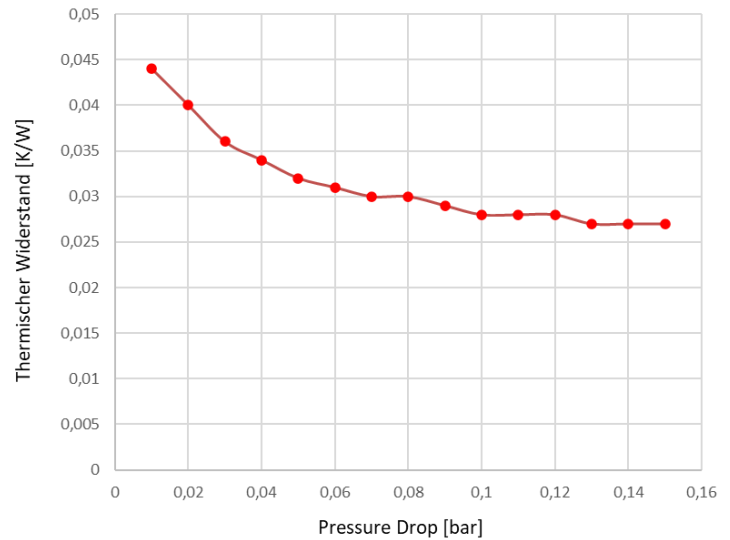


Abbildung 9: Thermischer Widerstand IQ-DCM 1000 Aluminium bei der Verwendung von reinem Wasser

Die folgende Tabelle verdeutlicht den Unterschied zwischen Edelstahl und Aluminiumkühler, der sich bereits bei der Verwendung von Wasser ohne Zusätze einstellt:

IQ-DCM 1000	Druck	Durchfluss	Rth
1.4404	100 mbar	1.355 l/min	0,041 K/W
AlSi10Mg	100 mbar	1.155 l/min	0,028 K/W

Abbildung 10: Unterschiede zwischen Edelstahlkühler und Aluminiumkühler IQ-DCM 1000

In einem zweiten Schritt wurde nun der Aluminium Kühler weiter optimiert. Durch Variation der Pin-Form, der Kanalhöhe, der Positionen der einzelnen Pins zueinander und weiterer Parameter, konnte die Leistungsfähigkeit des IQ-DCM 1000 Aluminium weiter gesteigert werden:

Pressure [bar]	Flowrate [ml/min]
0,01	520
0,02	920
0,03	1240
0,05	1790
0,07	2150
0,10	2600
0,13	3070
0,15	3270

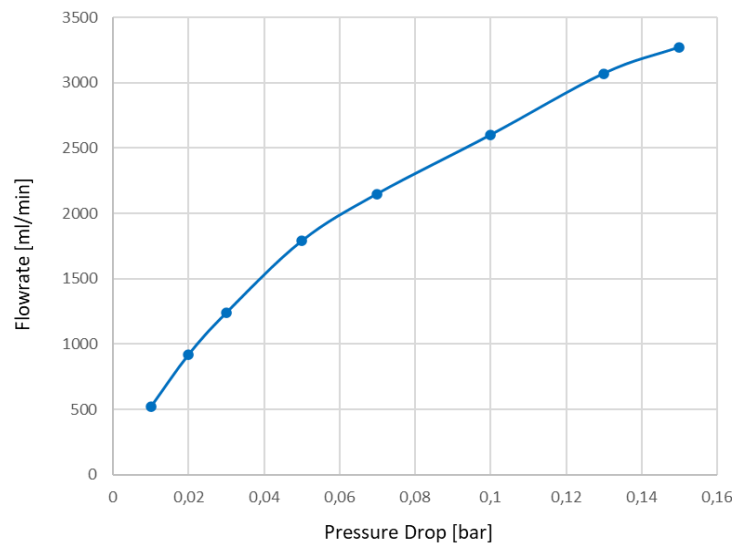


Abbildung 11: Druckverlustkurve IQ-DCM 1000 Aluminium bei Verwendung von reinem Wasser

Pressure [bar]	Rth [K/W] @ 2.000 Watt
0,01	0,040
0,02	0,026
0,03	0,022
0,05	0,020
0,07	0,019
0,10	0,019
0,13	0,018
0,15	0,017

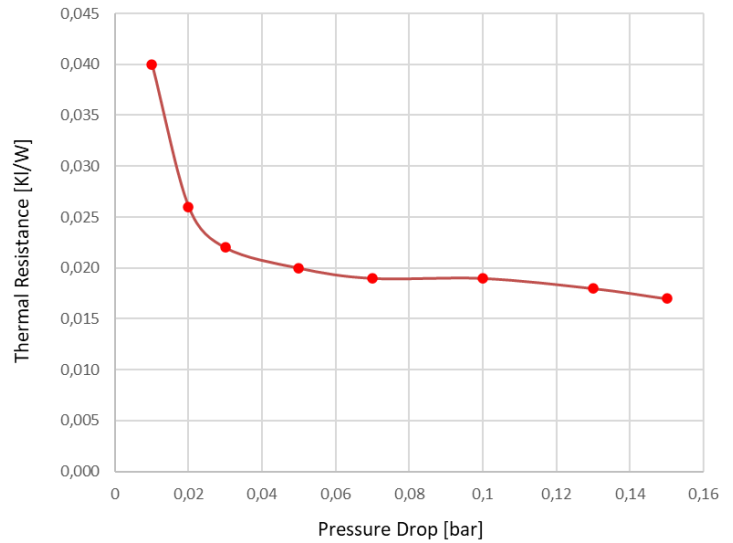


Abbildung 12: Thermischer Widerstand IQ-DCM 1000 Aluminium bei der Verwendung von reinem Wasser

Der Unterschied im thermischen Widerstand bei 100 mbar fällt deutlich aus:

IQ-DCM 1000	Druck	Durchfluss	Rth
AlSi10Mg _{Start}	100 mbar	1.155 l/min	0,028 K/W
AlSi10Mg _{Opt}	100 mbar	2.600 l/min	0,019 K/W

Abbildung 13: Unterschiede zwischen den Aluminiumkühler Versionen „Start“ und „Optimiert“, IQ-DCM 1000 Aluminium

Nachdem die Performance mit Wasser wie oben beschrieben optimiert wurde, erfolgten die Versuche mit einem Wasser/Glycol Gemisch im Verhältnis von 50%. Die gute Performance der optimierten Version des IQ-DCM 1000 Aluminium setzt sich auch bei der Verwendung des Glycol Gemisches fort:

Pressure [bar]	Flowrate [ml/min]
0,01	760
0,02	890
0,03	1020
0,05	1180
0,07	1360
0,10	1610
0,13	1830
0,15	1970

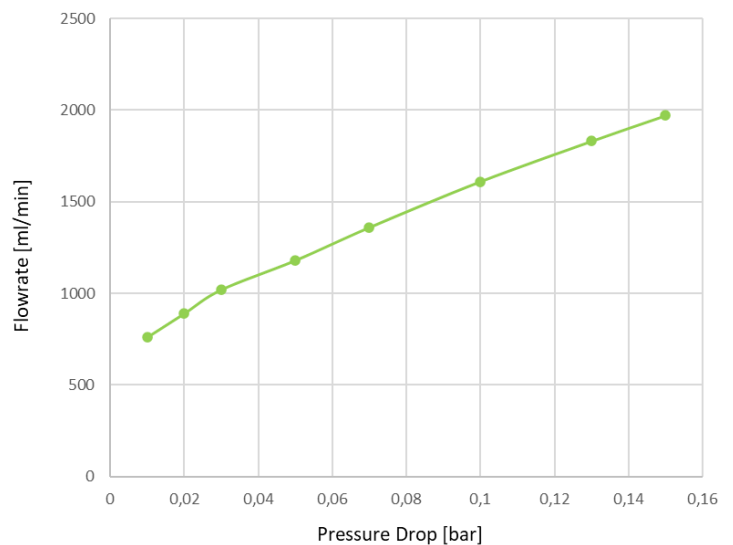


Abbildung 14: Druckverlustkurve IQ-DCM 1000 Aluminium bei Verwendung eines Wasser-Glycol Gemisches von 50%

Pressure [bar]	Rth [K/W] @ 2.000 Watt
0,01	0,040
0,02	0,035
0,03	0,032
0,05	0,029
0,07	0,027
0,10	0,026
0,13	0,025
0,15	0,024

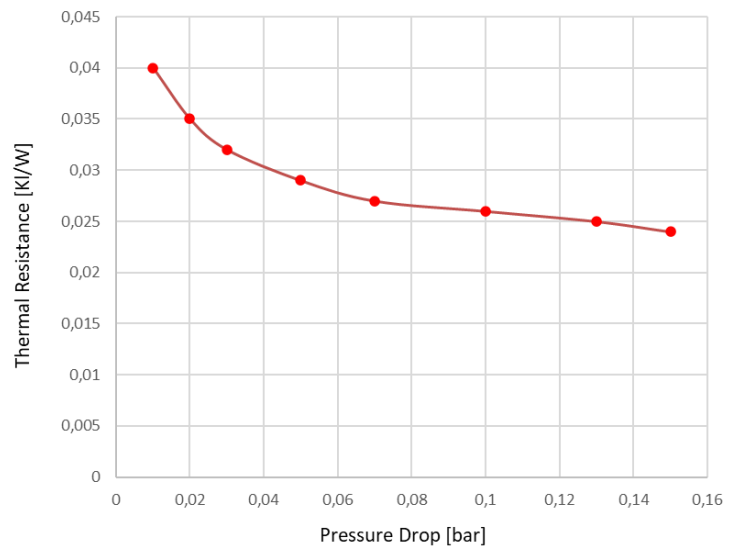


Abbildung 15: : Thermischer Widerstand IQ-DCM 1000 Aluminium bei einem Wasser-Glycol Gemisch von 50%

Die folgende Grafik macht den Unterschied zwischen der Verwendung von Wasser und Wasser / Glycol 50% deutlich:

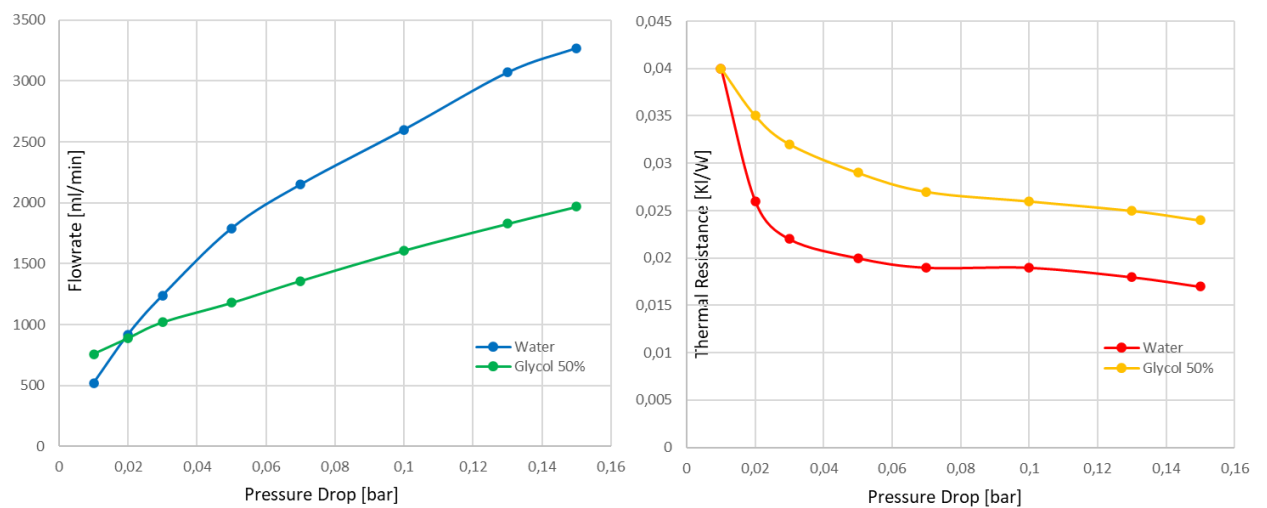


Abbildung 16: Unterschiede bei der Verwendung von Wasser und Wasser / Glycol 50%

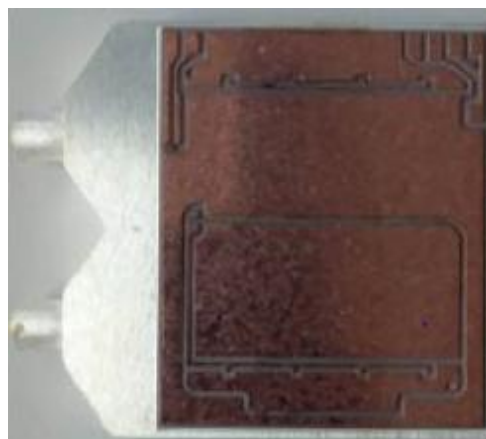


Abbildung 17: IQ-DCM 1000 mit DCB, Silbersintern
 16ME0370

3 Verwertung

3.1 Umsetzung der Ergebnisse in Produkte

Durch die der Demonstratoren Prototypen eröffnet sich ein großer Markt für unsere Produkte. Potenzielle Anwendungsfälle sind derzeit industrielle Anlagen Hersteller und durch die Entwicklung der Aluminiumkühler nun auch die Automobilindustrie im Bereich der Elektrofahrzeuge und der Ladestationen.

3.2 Fertigungsressourcen

Zu Projektbeginn verfügte die IQ Evolution über 2 Anlagen zur Herstellung von Prototypen und möglichen Produkten. Davon wurde eine Anlage behalten, die zweite Anlage wurde ausgemustert. Die verbliebene Anlage wird nur noch für Entwicklungen verwendet. Durch die überaus positive Entwicklung, nicht zuletzt auch durch dieses Projekt initiiert, wurden inzwischen zwei weitere Produktionsanlagen angeschafft, die zusammen ein Investitionsvolumen von circa einer Millionen € darstellen. Beide Maschinen sollen ausschließlich zu Produktionszwecken eingesetzt werden, eine davon für den Aufbau von Edelstahl Kühlern und die zweite für den Aufbau von Aluminium Kühler.

3.3 Stückzahlen / Umsatz

Derzeit beschränkt sich die Produktion noch auf Prototypen und kleinere Losgrößen zum Testen beim Kunden. Aber schon im nächsten Jahr zeichnen sich zwei kleinere Serien ab die über mindestens zwei Jahre laufen sollen, eine davon aus dem industriellen Sektor (Kühlung von LED Arrays zur Verwendung in Druckmaschinen) und einer weiteren aus dem Bereich der E Mobility (Antriebsinverter für den Rennsport). Beide zusammen stellen einen Jahresumsatz von ca. 500 T€ dar.

3.4 Markteinführung

Die Markteinführung ist bereits Mitte 2025 möglich, also ca. einem Jahr nach Projekt Ende.

3.5 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Neben der weiteren Vermarktung der Edelstahl- und Aluminiumkühler streben wir eine weitere Performance Verbesserung für beide Kühlerarten an. Dazu muss in Zusammenarbeit mit Herstellern von Modulen und diskreten Bauteilen der Wärmepfad zwischen den wärmeabgebenden Chips und dem Kühlfluid weiter optimiert werden. Die einzelnen Komponenten müssen aufeinander abgestimmt werden so dass in Summe der Wärmewiderstand des elektrischen Aufbaus reduziert, beziehungsweise an die Kühlperformance der 3D-gedruckten Kühler angepasst wird. Dazu arbeiten wir auch auf wissenschaftlicher Seite eng mit dem Fraunhofer ILT und dem Institut für Stromrichtertechnik und elektrische Antriebe der RWTH Aachen zusammen, und streben auch weitere gemeinsame Forschungsprojekte an.

3.6 Verwertung außerhalb des Vorhabens

Durch die bereits erwähnte Anpassung der Mikrokühler an die Spezifikationen der Automobilindustrie, hat sich für die IQ Evolution auch der Markt der E Mobility eröffnet. Zurzeit arbeiten wir mit einem namhaften Automobil Zulieferer zusammen mit dem Ziel, in zirka 4 Jahren eine Serienproduktion auf die Beine zu stellen die 6 Millionen Bauteile verteilt auf 5 Jahre beinhaltet. Ein entsprechendes Konzept wurde bereits mit dem Hersteller der 3D-Druck Anlagen und einem Automatisierungsspezialisten aus der Automobilindustrie erstellt und wurde von unseren Kunden als plausibel und umsetzbar bewertet.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Arbeiten in diesem Projekt haben neben der Optimierung von Edelstahlkühlern für die Industrie und der Entwicklung von Aluminiumkühlern vorwiegend für den Bereich der E Mobility, auch im Bereich der Aufbau und Verbindungstechnik eine weitere Verbesserung der 3D- gedruckten Kühler bewirkt.

Die Resonanz aus beiden Bereichen hinsichtlich der Performance, dem Gewicht der Kühler und dem Formfaktor, führen zurzeit zu einem erhöhten Interesse an kundenspezifischen Kühlern. Dabei handelt es sich, erfolgreiche Entwicklung und Aufbau von Prototypen bei gleichzeitiger wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit, um kleine und mittlere Serien bis hin zu der schon erwähnten Großserie im automobilen Maßstab.

Diese Entwicklungen sind dank dieses Projektes, für die IQ Evolution durchaus positiv und lassen uns zuversichtlich in die Zukunft blicken.

Kurzbericht zum Teilvorhaben:

3D-Druck Kühler für industrielle Anwendungen

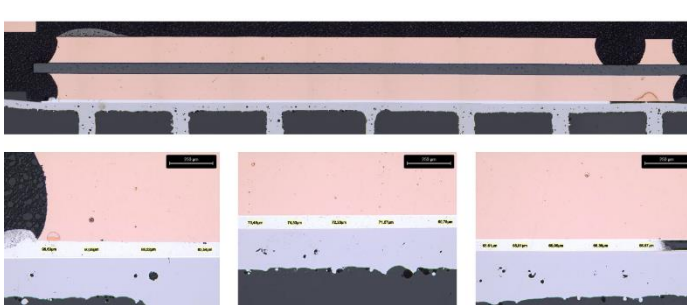
innerhalb des Verbundvorhabens:

Korrosionskompatible Aufbau- und Verbindungstechnik für Leistungselektronik „KoKo-Power“

Das Projektziel ist ein Antriebsmodul, welches mit wasserberührenden, 3D-strukturierten Elementen und einem keramischen Substrat, durch Niedertemperatursintern auf Basis von Silber realisiert werden sollte.

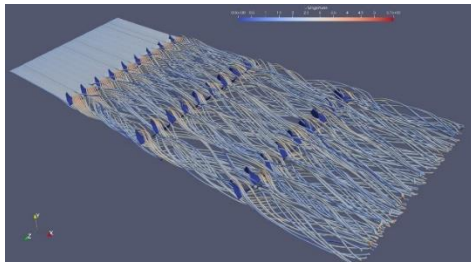
Im Projekt hat sich die IQE mit den 3D-gedruckten Varianten aus Edelstahl (1.4404) beschäftigt. Dazu kommt das Laser Powder Bed Fusion Verfahren zum Einsatz in einer Variante, welche IQE hinsichtlich des Aufbaus von kleinen Strukturen verfeinert hat. Bei diesem LPBF-Verfahren, es wird auch oft als Selektives Laserschmelzen bezeichnet, werden die im CAD-System konstruierten Bauteile mittels Laserstrahl in einem Pulverbett schichtweise erzeugt. Dadurch entstehen ohne die Verwendung von weiteren Werkzeugen hoch komplexe Bauteile die mit Innenstrukturen versehen werden können, welche mit keinem anderen Fertigungsverfahren hergestellt werden können. Die Kühler der IQE können von beiden Seiten bestückt werden, was hinsichtlich der Aufbau- und Verbindungstechnik besondere Anforderungen bedeutet, nicht nur was die Wahl der Verbindungsmaterialien betrifft, sondern auch die Positioniergenauigkeit der verwendeten Maschine und die Möglichkeit mehrere Bauteile gleichzeitig zu sintern.

Für die Verbindung der DCB mit dem Edelstahlkühler muss der Kühler zunächst mit einer geeigneten Beschichtung versehen werden, welche von den Projektpartnern getestet und anschließend bestimmt wurden. Mit dieser Grundlage konnten erste erfolgreiche Sinterungen auf 3D gedruckten Hohlkörpern hergestellt werden.



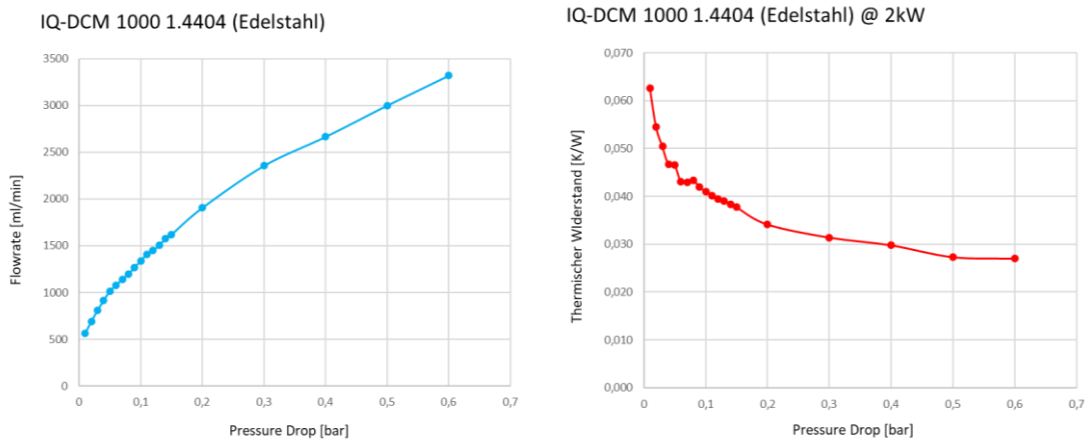
Schliffbild einer erfolgreichen Sinterverbindung von DCB und Edelstahlkühler

Nach Festlegung des Danfoss Modul DCB 1000 wurde ein entsprechender 3D- gedruckter Kühler entwickelt, der genau auf das erwähnte Modul passt. Um den großen Dimensionen des zu testenden Moduls Rechnung zu tragen, wurden zunächst angepasste Kühlstrukturen entwickelt, um für Kühler von Modulen dieser Dimension, bei Vorgabe der hydraulischen Randbedingungen im Automotive Bereich, eine ausreichende Kühlleistung zu erhalten. Dazu müssen die inneren Strukturen geeignet sein die für die Kühlung notwendigen Turbulenzen über die komplette Kühlfläche aufrechtzuerhalten, dies ist mit den bisherigen verwendeten Kühlstrukturen nicht möglich.



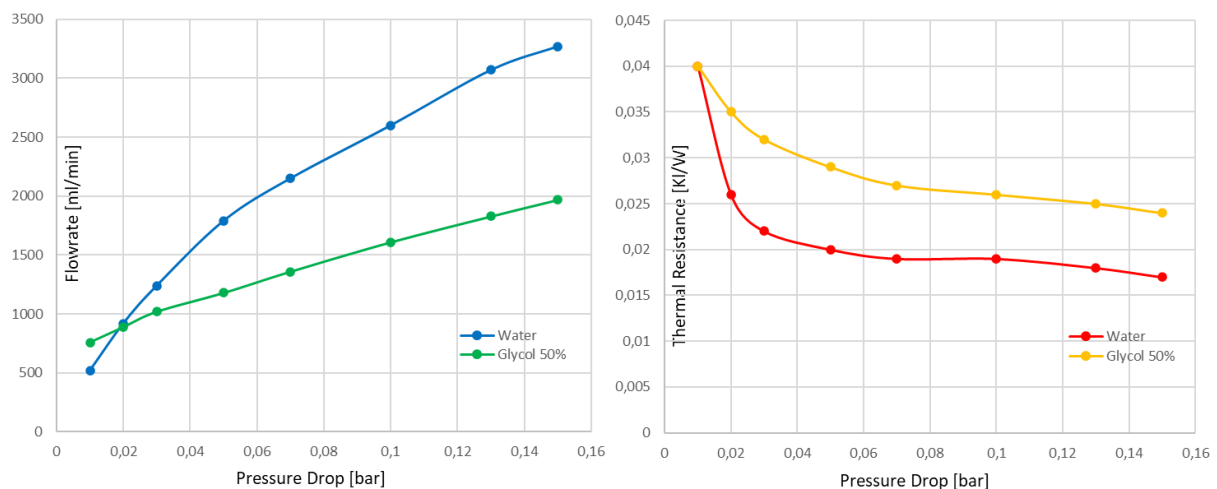
Simulation der neu entwickelte Rotatoren

Mit diesen Erkenntnissen wurde der Edelstahlkühler IQ-DCM 1000 konstruiert und gefertigt. Die Messungen der hydraulischen und thermischen Eigenschaften bei der Verwendung von reinem Wasser, wurden mittels eines modifizierten gebauten Prüfstands ermittelt:



Durchflussrate und thermischer Widerstand in Abhängigkeit des Eingangsdruckes IQ-DCM 1000 Edelstahl

Die speziellen Anforderungen der Automobilbranche führten zu der Entwicklung von Kühlern aus Aluminium, AlSi10Mg, welche eine gänzlich andere Art der Kühlung erforderten als die bei den Edelstahlvarianten. Hier wird auf die klassische Kühlung mittels Wärmeleitfähigkeit des Kühlermaterials zurückgegriffen. An die Stelle von Turbulenzen tritt nun das Design von PinFin Strukturen, deren Form, Anordnung und in der Strömung befindlichen Masse die Kühlperformance bestimmen. Erste Versuche mit solchen Kühlern zeigten bereits sehr gute Ergebnisse bei der Verwendung von reinem Wasser.



Durchflussrate und thermischer Widerstand in Abhängigkeit des Eingangsdruckes IQ-DCM 1000 AlSi10Mg