

Innengekühlte Hohldrähte

# Die Erhöhung der Leistungsdichte im Fokus

Die Idee ist nicht neu und wird seit vielen Jahren schon bei Kraftwerksgeneratoren angewendet: die Hohlleiterkühlung. Die Firma Dynamic E Flow aus Valley bei München macht diese Technik nun auch für kleinere Motoren in der Leistungsklasse ab 5 kW wirtschaftlich nutzbar.

Gegründet wurde Dynamic E Flow im Jahr 2014 durch Michael A. Naderer, der nach dem Maschinenbaustudium in Wien die ersten Erfahrungen bei Herstellern von Werkzeugmaschinen machte. In den ersten Jahren konzentrierte man sich vornehmlich auf die Weiterentwicklung des Hohlleiters innerhalb eines kleinen Teams. Seit 2017 rückte auch die Produktion und der Verkauf kompletter Motoren in den Vordergrund. Das war auch das Jahr in dem Manuel Hartong als »Chief Technical Officer« (CTO) mit in die Firma einstieg (Bild 1). Es stand als Gesprächspartner zur Verfügung.

### Die Verluste reduzieren

Die größten Verluste in Motoren entstehen im Kupfer. Das wissen natürlich auch die Macher von Dynamic E Flow: »Alles was elektrisch isoliert, isoliert auch thermisch. Das muss zunächst bei einer Wassermantelküh-

lung überbrückt werden. Die Temperaturdifferenz zwischen Leiter und Kühlmittel ist sehr hoch bis ein gewisser Wärmefluss überhaupt stattfindet. Wir umgehen das mit unserem System komplett, da wir einen direkten Kontakt zwischen Leiter und Kühlmittel haben«, so Manuel Hartong.

Der Clou dabei: man kann damit eine wesentlich höhere Stromdichte erzielen und als Ergebnis daraus die Maschinen wesentlich kompakter bauen. Damit erhöht sich die Leistungsdichte teilweise drastisch.

### Demonstration der Wärmeverluste

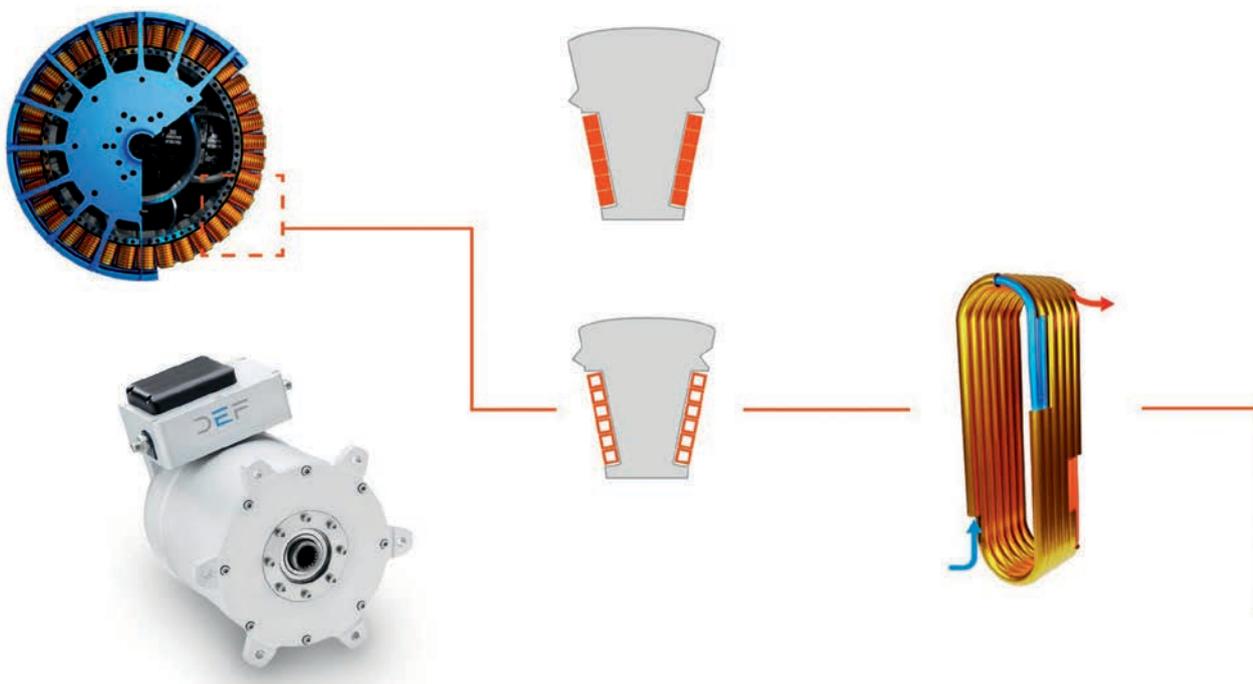
Um Interessenten und möglichen Kunden – beispielsweise auf Messen – das Prinzip im wahrsten Sinn greifbar zu machen, bedient man sich eines Demonstrators (Bild 2): »Man sieht hier auf der linken Seite einen Hohl Draht mit unserer Technik und hier rechts einen üblichen Draht. Die beiden sind elektrisch in Reihe geschaltet und unser Draht

wird mittels Pumpe gekühlt. Wenn wir nun den Schalter schließen, kommen etwa 100 A zum Fließen, was eine sehr hohe Stromdichte bedeutet. Zum Vergleich: der gekühlte Draht wird nur etwa 40°C warm, bei dem anderen würde ich Ihnen nicht empfehlen, den anzufassen.«

Ein weiterer Effekt: der Draht mit der sog. Capcool-Technik (siehe Kasten: Über »Capcooltech«) kühlt innerhalb einer Sekunde wieder auf Raumtemperatur ab: »Wir können somit die Temperatur im Motor nicht nur stark reduzieren, sondern wir können sie auch regeln und bewusst in einem bestimmten Bereich halten. Somit lässt sich auch die Ausdehnung oder Kontraktion des Kupfers in einem sich ändernden Leistungszyklus sehr reduzieren«, konstatiert Hartong.

### Arbeitsbereich Prüfstandsmaschinen

Entstanden ist die Idee, sich dem Thema Prüfstandsmaschinen (Bild 3) zu widmen,



Quelle: Dynamic E Flow



Quelle: Dynamic E Flow

**Bild 1:** Manuel Hartong, CTO bei Dynamic E Flow

auf einer Motorsport-Messe. Bei diesen Maschinen, die mit hoher Drehzahl fahren, ist die Lagerung ein kritischer Bereich. Je länger eine Welle ist, umso niedriger ist die Resonanzfrequenz/Steifigkeit. Dadurch reduziert sich die Drehzahl, die noch »sauber« gefahren werden kann. »Um es einfach auszudrücken: Wir können diese Aktivteile kompakt halten, die Lager rücken näher zusammen somit erhöht sich die Drehzahl und die Lebensdauer des gesamten Systems verlängert sich«, so der CTO.

Die Kunststoffvariante der Prüfstandmaschine (Bild 4) mit 800kW diente als Anschauung. »Das ist viel für diese Größe. Eine typische Dieselmaschine wäre gegenüber einer etwas schwächer ausgelegten Maschine, die wir

## Über »Capcooltech«

Bei der »Capillaries Cooling Technology« (Capcooltech) werden die Spulen eines Motors von innen gekühlt. Das geschieht durch die Hohldrahttechnik, mit der bis zu 75 A/mm<sup>2</sup> an Stromdichte erreicht werden können. Zwar geht die Stromdichte quadratisch in die Verluste ein, aber die Reduktion des Kupfervolumens bei höherer Ausnutzung bedeutet, dass die Verluste mit der Stromdichte nur proportional wachsen. Die Drähte sind zwischen 1 mm und ca. 3 mm im Durchmesser und sind vollständig wickelbar. Das Kühlmittel wird direkt im Kupfer geführt, da wo der Wärmeleitwert maximal ist. Durch das Pumpen direkt durch den Draht erreicht man eine enorme Wärmeabfuhr. Es wird dort

gekühlt, wo entscheidende Verluste entstehen: bei der Wicklung, der benachbarten Poloberfläche, den Magneten und Zähnen. Dabei macht man sich, wie erwähnt, den sehr guten Wärmeleitwert von Kupfer zunutze. Abhängig von der abzuführenden Wärme kann die entsprechende Versorgung mit Kühlmittel eingestellt werden. Eine Kombination mit der indirekten Kühlung die Eisenverluste betreffend ist möglich und teilweise auch sinnvoll. Die Technik ist unabhängig von der Maschinentopologie einsetzbar und besteht aus zwei Komponenten: dem schon angeführten Hohldraht und einer Anschlussbox für die elektrischen und hydraulischen Anschlüsse.

bei einem Kunden im Betrieb haben, etwa sechs Mal so groß«, betont Manuel Hartong nicht ohne Stolz. Die Lebensdauer der Lager ist bei einem Durchmesser von 80 mm ebenfalls größer. Die Schmierung erfolgt über eine Öl-Luft-Schmierung, die Welle wird aktiv mit Wasser gekühlt: »Das machen wir vor allem deswegen, damit wir die hohen Leistungsdichten, die wir im Stator erzielen, auch im Rotor managen können,« fasst er zusammen.

## Ausblick

Die Reduzierung der Größe und auch des Gewichts eines »Capcooltech«-Motors gegenüber einem herkömmlichen Motor gleicher Leistung (Bild 5) weckt natürlich Begehrlichkeiten in Bereichen wie etwa der Luftfahrt

oder Elektromobilität. Je nach Anwendung und Markt arbeitet man bereits mit den »Big Playern« zusammen. Grundsätzlich meint Manuel Hartong auf die Frage nach Elektromotoren für Pkws: »Das ist ein Bereich, den wir sehr offen angehen, aber unser Produktionsfokus liegt im Moment in den Nischenmärkten, wie den Prüfstandmotoren oder der Luftfahrt. Es laufen aber auch schon vielversprechende Aktivitäten im Bereich der elektrischen High-Performance-Fahrzeuge und Nutzfahrzeuge sowie auch im Bereich der Pkws.«



**Autor:**  
Autor: Marcel Diehl,  
Redaktion »ema«



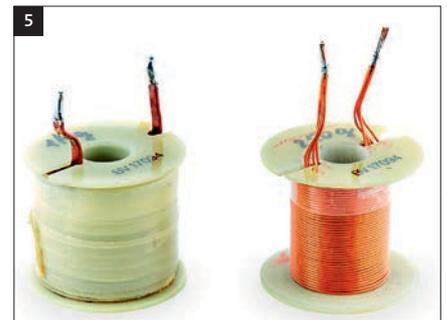
Quelle: Redaktion »ema«



Quelle: Dynamic E Flow



Quelle: Redaktion »ema«



Quelle: Dynamic E Flow

**Bild 2:** Mit dem Demonstrator lassen sich die großen Temperaturunterschiede der Spulen bei gleicher Stromdichte veranschaulichen

**Bild 3:** Beispiel eines Prüfstandmotors

**Bild 4:** Der Stator eines Prüfstandmotors in der Werkstatt

**Bild 5:** Der Größenvergleich einer herkömmlichen zu einer »Capcooltech«-Spule verdeutlicht die Gewichts- und Größeneinsparung