

# Turboverdichter ermöglichen neue Formen der Mobilität

Nachhaltige Antriebssysteme sind eine der grossen Herausforderungen bei der Neugestaltung der Schweizer Energieversorgung. Zu der Vielzahl technischer Fragestellungen gehört die Entwicklung kompakter Turboverdichter, die zum Beispiel in Wasserstoff-betriebenen Elektro-LKW eine Rolle spielen. Die Firma Celeroton aus Volketswil (ZH) hat für Produkte den noch jungen Markt entwickelt.

Die Schlagzeile stammt aus dem Jahr 2008: «Rekordantrieb: Höchste Drehzahl der Welt», lautete damals ein Titel im deutschen Magazin «Focus». Der Doktorand Christof Zwysig, konnte man dort lesen, habe am Lehrstuhl für Leistungselektronik der ETH Zürich einen neuartigen Antrieb entwickelt, der die unglaubliche Zahl von einer Million Umdrehungen pro Sekunde erreicht.

Zwölf Jahre sind seit der Schlagzeile vergangen, und aus der damaligen Rekordmeldung ist eine wirtschaftlich selbsttragende Schweizer Industriefirma mit 38 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern hervorgegangen, die in Volketswil eine weitläufige Etage in einer Gewerbeliegenschaft belegt. Zwysig hatte Celeroton 2008 mit Martin Bartholet, ebenfalls Doktorand an der ETHZ, gegründet. Die Geschäftsidee sind Verdichter mit sehr hohen Drehzahlen. Die Turboverdichter lassen sich sehr kompakt bauen – und eignen sich damit für Anwendungen, wo wenig Platz vorhanden ist, wie beispielsweise in Fahrzeugen. Auch brauchen die Turboverdichter keine Schmiermittel, da ihre Welle nicht mehr auf Kugellagern ruht, sondern auf einem Gaslager «schwebt».

## Verdichter mit 150 bis 20'000 Watt

Die faustgrossen Turbokompressoren kommen in der dezentralen Druckluftversorgung zur Anwendung, dienen etwa der Reinigung von Linsen in Inspektionsanlagen. Das Haupteinsatzgebiet aber sind Brennstoffzellensysteme für Fahrzeuge, die Wasserstoff und Sauerstoff in elektrische Energie umwandeln. Für eine hohe Effizienz und damit eine hohe Leistungsdichte wird die Luft mit Turbokompressoren zugeführt. Diese Verdichter werden von einem Elektromotor angetrieben, der seine Leistung aus der Brennstoffzelle bezieht. Turbokompressoren mit dazugehöriger Elektronik sind neben Wasserstoff-Tanks, Befeuchter, Kühlkreislauf und Wasserstoff-Rezirkulation wichtige Komponenten, die den eigentlichen Brennstoffzellenstapel («Stack») ergänzen. Sie müssen so beschaffen sein, dass das Gesamtsystem effizient und kostengünstig arbeitet.



Martin Bartholet, CEO der Celeroton AG, mit einem 12-kW-Turbokompressor, wie er in der Brennstoffzelle eines Wasserstoff-betriebenen LKWs zum Einsatz kommt.

«Die Innovation von Celeroton ist das integrale System aus Turbokompressor und Steuerungselektronik», sagt Geschäftsführer Martin Bartholet und ergänzt: «Wir betreiben eine Miniaturisierung und erzielen erst noch eine höhere Effizienz.» Die Kompressoren decken einen Leistungsbereich von 150 Watt bis 20 kW ab. Im elektrisch angetriebenen Kastenwagen Renault Kangoo Z.E. steckt beispielsweise zusätzlich zur Batterie als Range Extender eine 10 kW-Brennstoffzelle mit einem 700 W-Turboverdichter. In einem 40-Tonnen-LKW von Hyundai Motor steckt typischerweise eine 190-kW-Brennstoffzelle mit einem Turboverdichter mit rund 20 kW Leistung. «Unser Zielmarkt sind europäische Hersteller von leichten Nutzfahrzeugen, wobei wir nicht die Fahrzeughersteller beliefern, sondern die Hersteller der Brennstoffzellensysteme», stellt Bartholet fest.

## Ansteuerungselektronik konstruktiv vereinfacht

Verdichter sind in stationären Industrieanwendungen weit verbreitet und gut erprobt. Der Bau schnelldrehender, kompakter Turbokompressoren für Mobilitätsanwendungen bedarf allerdings intensiver Anstrengungen in Forschung und Entwicklung. Im Gegensatz zu anderen Herstellern von luftgelagerten Turbokompressoren liefert Celeroton nicht nur den Verdichter, sondern auch die dazugehörige Elektronik zur Ansteuerung des Verdichtermotors als optimal aufeinander abgestimmtes System aus einer Hand. Unterstützt vom Bundesamt für Energie hat Celeroton in den letzten Jahren verschiedene Forschungsprojekte zu konstruktiven, betrieblichen und fertigungstechnischen Fragestellungen durchgeführt.

In einem bereits 2018 abgeschlossenen Projekt wurde eine neue, vereinfachte Elektronik zur Ansteuerung von Turbokompressoren im Leistungsbereich 3 bis 5 kW entwickelt. Früher wurden für die Ansteuerung

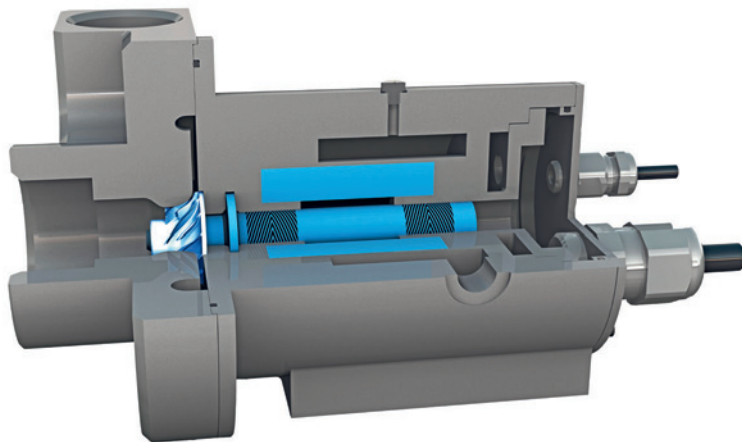
des Turbokompressors drei Elektronikkomponenten (eine Kompressorelektronik, zwei DC-DC-Umrichter) benötigt, um die Stromversorgung sicherzustellen. Durch Integration dieser drei Komponenten in einer einzigen Ansteuerungselektronik konnte das System vereinfacht werden. Auch wurde damit die Stromversorgung des Kompressors effizienter, und die Herstellungskosten konnten gesenkt werden. Der Prototyp der Ansteuerungselektronik wurde intern weiterentwickelt und ist heute unter der Bezeichnung CC-550-7500 auf dem Markt.

### Zuverlässiger Betrieb ohne Kondensation

Nicht nur die Konstruktion, auch der Betrieb von Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen wirft Fragen auf. Ausgangspunkt ist die Befürchtung, im Kompressor könnte es kurz nach dem Start, wenn dieser noch kalt ist, zu Kondensation kommen, wenn das Brennstoffzellenfahrzeug in einen Bereich mit warmer, feuchter Luft fährt, zum Beispiel in einen Tunnel oder eine Garage.

Kommt es zu Kondensatbildung, könnten die Wassertröpfchen das Gaslager und andere Bestandteile des Turboverdichters beschädigen und zu Korrosion führen. Untersuchungen haben gezeigt, dass eine kritische Akkumulation von Kondensation auftreten kann, wenn der Kühlwasserkreislauf des Kompressors zu träge reagiert, sich das Kühlwasser also nicht schnell genug erwärmt, um die Kondensation zu unterbinden. Mit geeigneten Gegenmaßnahmen lässt sich Kondensation vermeiden: Mögliche Massnahmen beinhalten Vorgaben für die Auslegung des Kühlsystems des Kompressors, Aufheiz- und Anfahrvorgänge im Kompressor und/oder Brennstoffzellensystem sowie konstruktive Anpassungen und Vorgaben für die Kompressoren selbst.

Celeroton



Das Herzstück des Turbokompressors ist die gasgelagerte Welle mit dem Schaufelrad, das die von links anströmende Luft radial ablenkt und damit komprimiert. Das Schaufelrad dreht mit bis zu 280'000 Umdrehungen pro Minute. Als Antrieb dient ein Synchronmotor mit Permanentmagnet.

### Kompakte Elektromotoren für die Serienproduktion

Bis vor zwei Jahren wurde Celeroton als Prototypen- und Engineering-Firma für Turbokompressoren wahrgenommen. «Wir entwickeln uns nun zu einem produzierenden KMU, das Turbokompressoren mit zugehöriger Steuerelektronik in Serie baut», sagt Geschäftsführer Bartholet. Damit rücken mehr und mehr auch fertigungstechnische Fragen in den Vordergrund wie eine optimierte Motorentopologie. Im Zentrum steht die Frage, wie der Stator des Elektromotors, der den Turbokompressor antreibt, gewickelt werden muss bzw. wie die einzelnen Spulen der Wicklung anzuordnen sind. Die Ergebnisse sollen es unter anderem ermöglichen, die leistungsstarken Turbokompressoren mit 12 kW und mehr noch kompakter zu bauen, dies auch in industrieller Serienfertigung.

### Nutzfahrzeug-Flotten von Unternehmen

Welchen Anteil die Wasserstofftechnologie in der Mobilität der Zukunft spielen wird, lässt sich im Moment nicht verlässlich sagen. Die Technologie muss noch kostengünstiger werden, und unabdingbar ist ein Netz aus Wasserstoff-Tankstellen. Celeroton setzt auf einen Durchbruch der Technologie bei leichten und schweren Nutzfahrzeugen, weil diese oft zu einer Flotte gehören, die an zentraler Stelle betankt werden kann. In einem aktuellen Projekt arbeitet die Firma aus Volketswil mit einem Unternehmen zusammen, das ab 2021 eine Flotte aus kleinen LKWs mit Wasserstoff einsetzen will. Im Idealfall wird das Projekt zu einem Leuchtturm, der andere Unternehmen von den Vorzügen der Technologie überzeugt. ●

Benedikt Vogel,  
im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

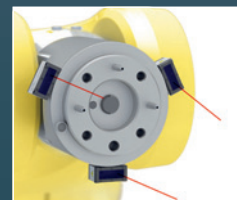


NEU

optoNCDT 1900

## Mehr Präzision. Laser-Wegsensor für Advanced Automation

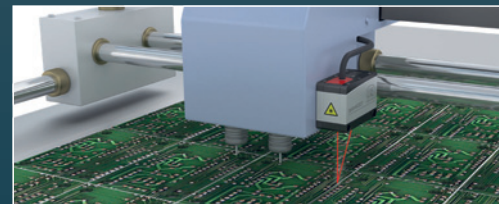
- Einmalige Kombination aus Größe, Geschwindigkeit und Genauigkeit
- Ideal für hochauflösende und dynamische Messungen
- Advanced Surface Compensation zur schnellen Messung auf wechselnden Oberflächen
- Einfache Montage & Inbetriebnahme
- Höchste Fremdlichtbeständigkeit seiner Klasse



Robotik



Schweißprozesse



Elektronik-Produktion

Kontaktieren Sie unsere  
Applikationsingenieure:  
Tel. +41 71 250 08 38

[micro-epsilon.ch/opto](http://micro-epsilon.ch/opto)