



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 05.04.2016

Weiterentwicklung eines ultrahochdrehenden Turbokompressors für mobile Brennstoffzellentauglichkeit

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energieforschung
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Celeroton AG
Industriestrasse 22
CH-8604 Volketswil
www.celeroton.com

Autoren:

Christof Zwysig, Celeroton AG, christof.zwysig@celeroton.com
Martin Bartholet, Celeroton AG, martin.bartholet@celeroton.com

BFE-Bereichsleiter:	Stefan Oberholzer
BFE-Programmleiter:	Stefan Oberholzer
BFE-Vertragsnummer:	SI/501296-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Hochdrehende Turbokompressoren sind dank ihrer kompakten Bauweise und hohen Wirkungsgraden ideal geeignet für mobile Brennstoffzellensystem in Fahrzeugen, und haben daher ein grosses Energieeinsparungspotential gegenüber Standardkompressoren. In diesem Projekt wurde ein Turbokompressor basierend auf den Spezifikationen für den mobilen Einsatz weiterentwickelt, ein Prototypsystem aufgebaut, die Auslegung mittels Messungen validiert und das Energieeinsparungspotential aufgezeigt.

Résumé

Turbocompresseurs à grande vitesse sont idéals pour les systèmes de pile à combustible mobiles dans les véhicules, grâce à leurs designs compacts et leurs hauts rendements. D'ailleurs ils ont de grand potentiel pour économiser d'énergie par rapport à les compresseurs standards. Dans ce projet, un turbocompresseur a été développé sur la base des spécifications pur une utilisation mobile, un prototype a été construit, le dimensionnement à été validé par des mesures et le potentiel d'économie d'énergie à été montré. Dans ce projet, le développement d'un turbocompresseur à été poursuit sur la base des spécifications pour une utilisation mobile, un prototype a été construit, le dimensionnement a été validé par des mesures et le potentiel d'économie d'énergie a été montré.

Abstract

High-speed turbo compressors are ideally suited for mobile fuel cell systems in cars thanks to their compact size and high efficiency. Thus, they offer a high potential for energy savings compared to standard compressors. In this project, a turbo compressor has been further developed based on the specifications for mobile applications, a prototype system has been realized, the design has been experimentally validated and the potential for energy savings has been shown.

Ausgangslage

Hintergrund

Anstrengungen zur Förderung erneuerbarer Energien und der Reduktion der Umweltbelastung führen zu verstärkter Forschung im Bereich Brennstoffzellen, speziell für Antriebssysteme für Kleinlastwagen für die Paket- und Briefzustellung, Gabelstapler, Reinigungsfahrzeuge, aber auch zur Initiierung zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich PKW. Weitere Anwendungsgebiete für Brennstoffzellen finden sich in Hilfsbetriebsversorgungen für Flugzeuge und LKW's oder auch als Ersatz für Batterien für den portablen Einsatz. Diverse Forschungs- und Entwicklungsprojekte zielen auf die Reduktion der Herstellungskosten der Brennstoffzellenstacks- und systeme und auf die Steigerung der Effizienz. Damit wird auch der Druck immer grösser die Kosten der Zusatzkomponenten, auch als Balance of Plant (BoP) bezeichnet, zu senken und den Wirkungsgrad der Zusatzkomponenten zu steigern. Insbesondere betrifft dies den Kompressor für die Luftversorgung der Brennstoffzelle, welcher in gegenwärtigen Systemen 10 – 20 % der Ausgangsleistung der Brennstoffzelle verbraucht, und einen Grossteil des Volumens und Gewichts und auch der Kosten eines Brennstoffzellensystems, und insbesondere der BoP, ausmacht. Ein Brennstoffzellensystem inklusive Subsystem (Kompressor des BoP) ist in Abbildung 1 gezeigt.

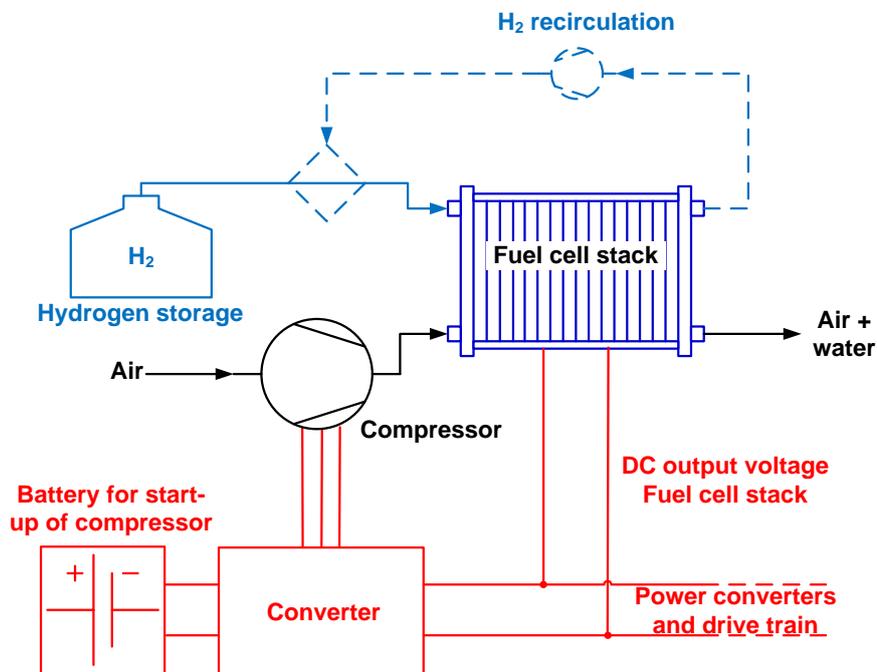


Abbildung 1: Brennstoffzellensystem inklusive Subsystem Kompressor.

Im Automobilbereich und allgemein im Bereich der Mobilität unterscheiden sich die benötigten Leistungsdaten der Brennstoffzellensysteme folgendermassen:

- 60 - 120 kW: Brennstoffzellenkapazität für volle Antriebsleistung (Kompressor mit 10 – 20 kW Leistung)
- 30 - 50 kW: Hybride Elektro- (Batterie) und Brennstoffzellenfahrzeuge (PKW, Gabelstapler, Kleinlastwagen, Reinigungsfahrzeuge, etc.) (Kompressor mit 3 – 5 kW Leistung)
- 5 - 15 kW: Hilfsantrieb (range extender) für Elektrofahrzeuge (Batterie) und Gabelstapler, Kleinlastwagen, Reinigungsfahrzeuge, etc. (Kompressor mit 0.5 – 2 kW Leistung)

Stand der Technik

Die meisten Brennstoffzellensysteme werden mit Scrollkompressoren (z.B. von airsquared), Seitenkanalverdichtern (z.B. von Vairex) oder Verdrängerkompressoren (z.B. von Thomas) betrieben. Eine Auswahl solcher Kompressoren 5-15 kW range extender Brennstoffzellensysteme ist in Abbildung 2

gezeigt.

Verdrängerkompressoren sind wiederum aufgeteilt in diverse Unterarten (Kolbenkompressoren, Membrankompressoren, Taumelscheibenkompressoren, etc.). Sie werden bereits im Automobilbereich für Klimaanlage eingesetzt. Sie haben Limiten bezüglich Miniaturisierung, der Wirkungsgrad ist stark Abhängig von der Optimierung der Auslegung und der Fertigungstoleranzen, und daher der Kosten, und reicht über das ganze Spektrum anderer Kompressortechnologien. Verdrängerkompressoren gibt es für praktisch den ganzen Bereich an Druckverhältnissen und Massenströmen.

Seitenkanalverdichter können durch Drehzahlsteigerung Miniaturisiert werden. Sie haben jedoch konstruktiv bedingt einen schlechten Wirkungsgrad, vor allem bei Steigendem Druckverhältnis. Daher sind Seitenkanalverdichter nur bis limitierte Druckverhältnisse erreichbar, typischerweise im Bereich 1 bis 1.3 für einstufige Systeme.

Scrollkompressoren sind eigentlich auch Verdrängerkompressoren, werden aber separat aufgeführt da sie häufig als eigene Technologie ausgewiesen werden. Scrollkompressoren weisen einen mittleren bis hohen Wirkungsgrad auf der stark von den Fertigungstoleranzen abhängt. Scrollkompressoren lassen sich nur bedingt durch Drehzahlsteigerung miniaturisieren da die Drehzahl limitiert werden muss abhängig von der konstruktiven Ausführung des Rotors.

Turbokompressoren weisen die höchsten Wirkungsgrade auf. Sie sind zudem miniaturisierbar durch eine Drehzahlsteigerung. Jedoch ist der Betriebsbereich eingeschränkt, Drehzahl, Massenstrom und Druckverhältnis können nicht beliebig gewählt werden. Druckverhältnisse bis ca. 2 sind einstufig möglich im Bereich von Massenströmen von Brennstoffzellen.

Weitere Details zu den unterschiedlichen Kompressortechnologien finden sich auch in [1] und [2].



Seitenkanalverdichter
(Vairex VRB8², [3])



Scrollkompressor
(airsqured P32H58N2.25, [4])



Verdrängerkompressor
(Thomas QR-0100, [5])

Abbildung 2: Standard-Kompressoren für 5-15 kW range extender Brennstoffzellensysteme.

Motivation des Projektes

Hochdrehende Turbokompressoren sind ideal geeignet für Brennstoffzellen-Anwendungen in den einleitend genannten Leistungsbereichen: Insbesondere betreffend Wirkungsgrad und Kompaktheit schneiden diese klar besser ab als andere Kompressor-Technologien (Scroll-, Verdränger Kompressor, Seitenkanalverdichter). Ein Vergleich unterschiedlicher Kompressoren für Brennstoffzellen ist in [1] und [2] gegeben, dabei werden auch die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Technologien aufgezeigt. Die Analyse verdeutlicht das grosse Potential von hochdrehenden Turbokompressoren bei Brennstoffzellen. Die höchsten Drehzahlen ermöglichen den Bau von sehr kompakten, leichten und effizienten Turbokompressoren.

Gegenwärtig bietet Celeroton mit dem Turbokompressor CT-17-700 einen Kompressor an, welcher die Anforderungen an Druck und Volumenstrom für Range Extender Brennstoffzellen im Bereich 10 kW erfüllt. Aufgrund der verwendeten Kugellager und der dadurch limitierten Lebensdauer ist dieser Kompressor jedoch nicht geeignet für den kommerziellen Einsatz in mobilen Brennstoffzellensystemen im Automobilbereich. Einen ersten Schritt hin zur Erfüllung der geforderten Spezifikationen hat Celeroton mit der firmeninternen Entwicklung eines Turbokompressors mit Luftlagerung und daher verlängerten Lebensdauer unternommen. Jedoch ist auch dieser Kompressor aufgrund der folgenden Punkte nicht tauglich für mobile (automotive) Brennstoffzellenanwendungen:

- Die Drehzahl ist durch das verwendete Luftlagerkonzept auf 190'000 U/min begrenzt und daher der maximale Druck limitiert,
- Das Luftlager ist nicht für die in Automotive-Anwendungen geforderte Vibrationen ausgelegt und getestet,
- Die Anzahl Start/Stop-Zyklen ist abhängig vom Zusammenbau (Assembling) des spezifischen Kompressors und somit nicht genügend gut reproduzierbar für eine Serienfertigung,
- Der Temperaturbereich der Luft am Einlass und des Kühlwassers reicht nicht aus für Automotive-Anwendungen.

Ziele der Arbeit

Ziel dieses Projektes ist die Realisierung eines Turbokompressors für den Einsatz in mobilen Brennstoffzellenanwendungen. Damit soll das theoretische Energieeinsparungspotential gegenüber heute eingesetzten Kompressoren auch praktisch aufgezeigt werden. Dies erfordert diverse Entwicklungsschritte auf Seite des luftgelagerten Turbokompressors um die geforderten Spezifikationen zu erreichen.

Als Hauptergebnis wird erwartet, dass fünf lauffähige Kompressor-Prototypen gemäss den Spezifikationen in Tabelle 1 realisiert werden, mit denen im Anschluss an dieses Projekt ausgiebige Tests bei Celeroton intern und bei Kunden von Celeroton in Brennstoffzellensystemen durchgeführt werden.

	Stand bestehender luftgelagerter Kompressor von Celeroton	Automobil- und Umweltspezifikationen	Zielsetzung in diesem BfE Projekt
Temperaturbereich der Luft am Einlass sowie der Umgebungsluft	nicht getestet	-20°C bis 40°C	Ausgelegt und vorbereitet für automotiv Tests
Luftqualität am Auslass	Ölfrei	Ölfrei	keine Änderung nötig
Kühlung	Aktive Wasserkühlung mit 25°C	Aktive Wasserkühlung mit max. 65°C	Thermisch Auslegung angepasst
Lebensdauer ohne Wartung	>3'000 h	>3'000 h	keine Änderung nötig
Anzahl Start/Stop-Zyklen	100-1'000	15'000	Materialwahl und vereinfachter Zusammenbau
Druckverhältnis (Nenn / Maximal)	1.3 / 1.3	1.5 / 1.7	Steigerung Maximaldrehzahl
Nenn-Massenfluss / Bereich	5 g/s (4-10 g/s)	5 g/s (4-10 g/s)	keine Änderung nötig
Eingangsleistung	minimal	so tief wie möglich	keine Änderung nötig
Vibration, Shock, Beschleunigung	nicht getestet	Gemäss ISO 16750-3: Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment, Part 3: Mechanical loads	Ausgelegt und vorbereitet für automotiv Tests

Tabelle 1: Zielspezifikationen für einen Kompressor für ein 10 kW Brennstoffzellensystem.

Vorgehen / Methode

Weiterentwicklung Luftlagerkompressor

Die Weiterentwicklung beinhaltet folgende Arbeitspakete:

Konzeption:

- Ein neues Luftlagerkompressor-Konzept wurde erarbeitet welches einen einfachen und reproduzierbaren Zusammenbau erlaubt. Damit wird erreicht dass der Rotor innerhalb des Luftlagers immer gleich ausgerichtet ist und damit die geforderte Anzahl Start/Stop-Zyklen gemäss Auslegung erreicht werden.
- Verschiedene Materialien für das Luftlager wurden in einer theoretischen Studie untersucht auf ihre Eigenschaft bezüglich Reibung und Abnutzung bewertet. Eine Materialkombination wurde selektiert die gemäss Auslegung die geforderte Anzahl Start/Stop-Zyklen in Tabelle 1 erreicht.

Detailauslegung:

- Das Luftlager wurde so ausgelegt, dass ein Betrieb bei den definierten Spezifikationen möglich ist:
 - Erhöhte Drehzahl um den geforderten Druck in Tabelle 1 zu erreichen

- Erhöhte Vibrationen
- Erhöhte Temperaturen gemäss thermischer Auslegung
- Die thermische Auslegung zeigt dass die Temperaturen im Luftlager und Motor innerhalb des tolerierbaren Bereichs gehalten werden können, unter Beachtung des in Tabelle 1 spezifizierten Temperaturbereichs am Einlass des Kompressors und des Kühlwassers
- Die Detailauslegung des Elektromotors zeigt dass die geforderte Drehzahl und Leistung und damit die erfordernten Spezifikationen gemäss Tabelle 1 erreicht werden können.
- Die thermodynamische Auslegung des Turbokompressors (Impeller und Spiralgehäuse) wurde vom existierenden Turbokompressor CT-17-700 übernommen.

Validierung der Auslegung

Die Validierung der Auslegung beinhaltete folgende Arbeitspakete:

Fertigung von 5 Prototyp-Systemen:

- Einzelteile des Turbokompressors wurden bei Celeroton und mit Unterlieferanten gefertigt
- Der Zusammenbau wurde bei Celeroton realisiert

Ausmessen der Systeme:

- Folgende Messungen wurden bei Celeroton durchgeführt:
 - Messung des Kennfeldes (Druck und Massenstrom)
 - Messung des Motor-, Kompressor- und Gesamtwirkungsgrads
 - Validierung der Auslegung des Luftlagers mittels Betrieb bei verschiedenen Eintritts- und Austrittsbedingungen
 - Validierung der thermischen Auslegung mittels Betrieb bei verschiedenen Kühlwassertemperaturen
- Folgende Messungen wurden in einem externen Testcenter durchgeführt:
 - Validierung der Auslegung des Luftlagers mittels Betrieb auf einem Vibrationstisch. Dazu wurde ein Positionssensor in die Prototypkompressoren eingebaut.

Darstellung der Projektresultate und des energetischen und wirtschaftlichen Potentials

Aus den Projektresultaten entstanden folgende Unterlagen:

- Dieser Schlussbericht
- Eine Präsentation um die Vorteile von Turbokompressoren an möglichen Kunden und Projektpartnern für spätere Projektzusammenarbeiten vorzustellen
- Eine Informationsblatt mit den wichtigsten Spezifikationen des Prototypsystems

Ergebnisse / Erkenntnisse

Weiterentwicklung und Validierung

Das Ergebnis der Weiterentwicklung ist die Auslegung und Konstruktion des Kompressor-Prototypen gemäss Abbildung 3. Dieses wurde danach gefertigt gemäss Abbildung 4. In Abbildung 5 bis 7 zeigen die Resultate der Messungen bei Celeroton. Diese und weitere Tests inklusive Validierung der Auslegung des Luftlagers und der thermischen Auslegung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

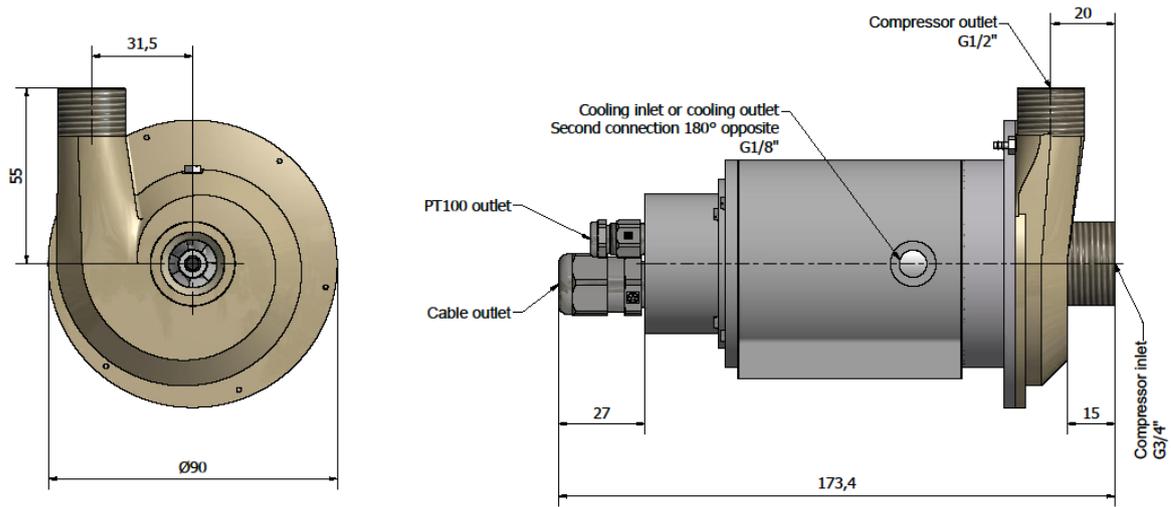


Abbildung 3: CAD Visualisierung des ausgelegten Luftlager-Turbokompressor-Prototypen.



Abbildung 4: Foto des gefertigter Luftlager-Kompressor-Prototyp.

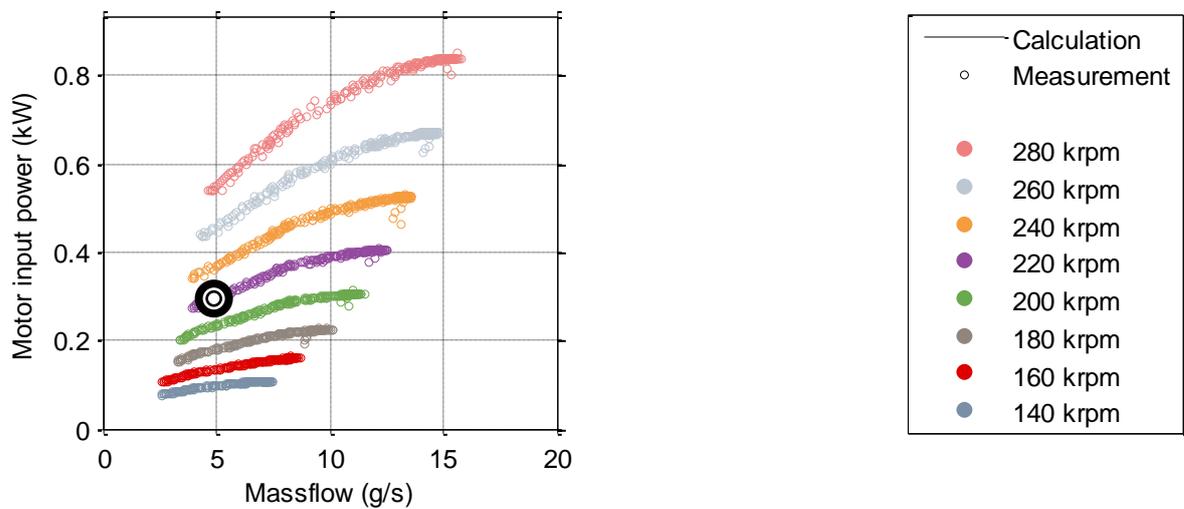


Abbildung 5: Gemessene Kompressor-Eingangleistung. Arbeitspunkt für Vergleich in Tabelle 3 markiert.

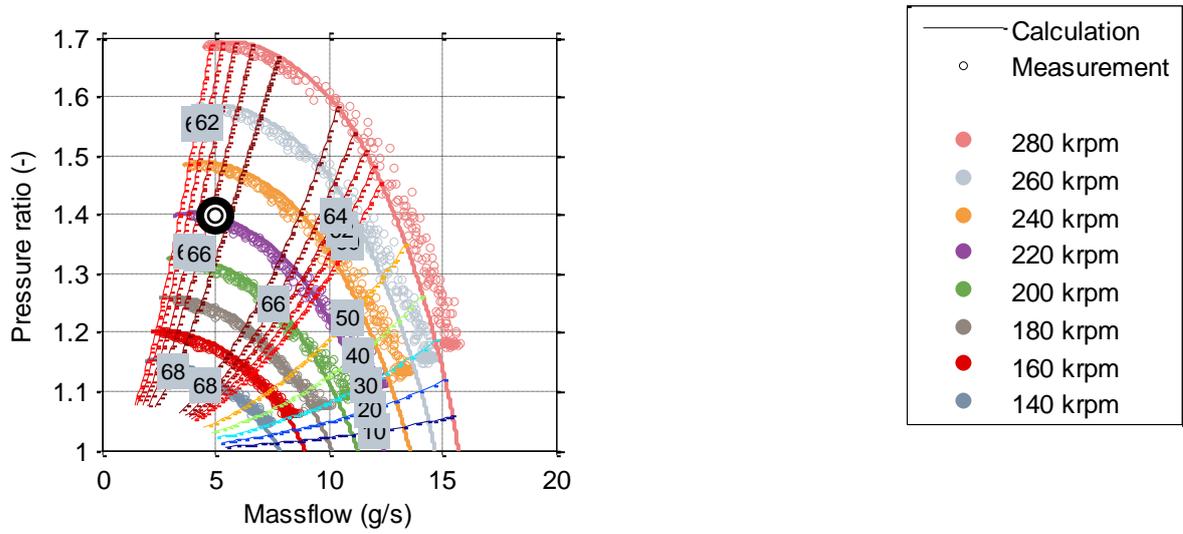


Abbildung 6: Gemessenes Kompressorkennfeld. Arbeitspunkt für Vergleich in Tabelle 3 markiert.

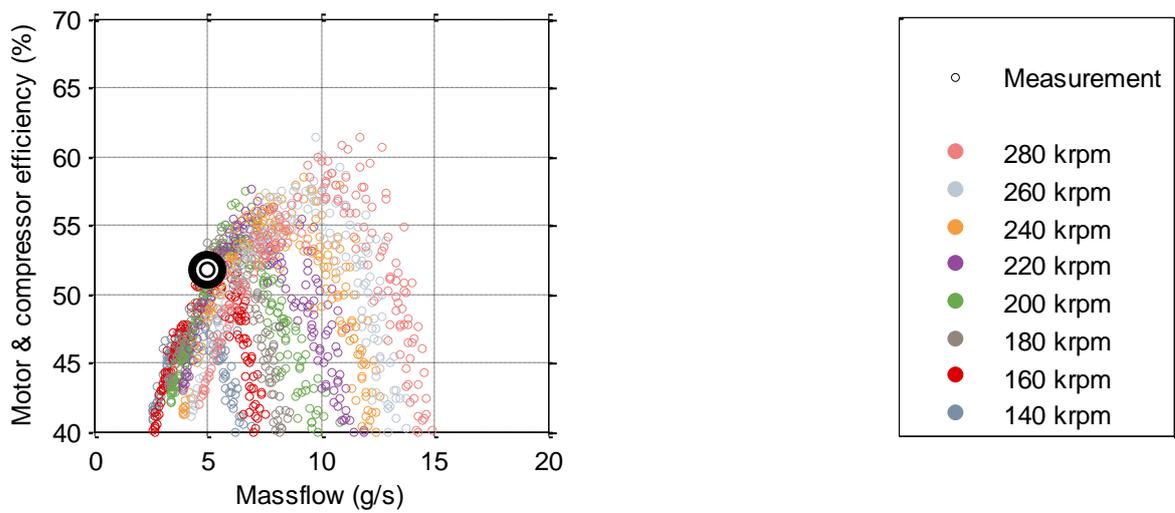


Abbildung 7: Gemessener Kompressor- und Motorwirkungsgrad (elektrische Eingangsleistung über isentrope Ausgangsleistung). Arbeitspunkt für Vergleich in Tabelle 3 markiert.

Test	Zielspezifikation	Getesteter Wert	Ergebnis	Erkenntnis
Start-stop test	15'000	50'000	bestanden	Luftlagerkonzept validiert
Test mit erhöhter Kühlwassertemperatur	65°C	70°C	Geforderte maximale Kühlwassertemperatur wird erreicht	thermische Auslegung validiert
Test in Klimakammer	-20°C	-30°C	Geforderte minimale Eintrittstemperatur wird erreicht	thermische Auslegung validiert
Kennfeld, Eingangsleistung	Kennfeld gemäss Abbildung 6	Gemäss Abbildung 5,6,7	Gefordertes Druckverhältnis und Massenstrom wird erreicht, Eingangsleistung bleibt minimal	Nachfolgend an Projekt: Testen der Funktionalität und Energieeinsparung in Brennstoffzellenfahrzeugen möglich
Langzeittest	3'000 h	3'000 h	bestanden	Nachfolgend an Projekt: Testen der Funktionalität und Energieeinsparung in Brennstoffzellenfahrzeugen möglich
Vibrationstest	Ausgelegt und vorbereitet für automotive Tests	Schock bis 25g	bestanden	Luftlagerauslegung validiert, nachfolgend an Projekt: automotive Tests

Tabelle 2: Zielspezifikationen und getestete Werte für einen Turbokompressor-Prototypen für ein 10 kW Brennstoffzellensystem.

Darstellung des energetischen und wirtschaftlichen Potentials

Bezüglich Vergleichs mit dem Stand der Technik wurde der Kompressor des in diesem Projekts weiterentwickelten luftgelagerten Turbokompressor von Celeroton mit heutzutage in Brennstoffzellensystemen eingesetzten Kompressoren verglichen. In Tabelle 3 ist der Vergleich zusammengefasst.

Bezüglich Gewicht (und Grösse) schneidet der Turbokompressor von Celeroton um bis zu Faktor 3-17 besser ab als die typischen Brennstoffzellenkompressoren. Der Seitenkanalverdichter schneidet mit einem Faktor 3 am zweitbesten ab und wird daher sehr häufig in mobilen Brennstoffzellensystemen eingesetzt, dieser hat jedoch den grossen Nachteil eines weniger als halb so hohen Wirkungsgrades wie der Turbokompressor und daher der hohen Eingangsleistung. Bei gleichbleibender Tankfüllung und Brennstoffzelle kann mit einem Kompressor mit Celeroton-Technologie der Leistungsverbrauch des Kompressors von ca. 20% der Ausgangsleistung der Brennstoffzelle auf ca. 10% halbiert werden, und damit die Reichweite des Fahrzeugs um ca. 10% gesteigert werden. Bei gleichbleibender Fahrdistanz verbraucht ein Kompressor mit Celeroton-Technologie über eine Laufzeit von 3'000 h somit 1'260 kWh weniger Energie als ein Seitenkanalverdichter. Wird die Erzeugung (Elektrolyse, ca. 70% Wirkungsgrad) und Umwandlung von Wasserstoff (Brennstoffzelle, ca. 50%) miteinberechnet steigt die Energieeinsparung aus der Steckdose auf 3'600 kWh. Weiter führt auch das reduzierte Gewicht

des Kompressors im zu beschleunigenden Fahrzeug zu einer weiteren Energieeinsparung. Obwohl schwierig zu berechnen kann von einer Einsparung von Netzenergie von mehr als 4'000 kWh über eine Laufzeit von 3'000 h pro eingesetztem Turbokompressor gegenüber einem Seitenkanalverdichter ausgegangen werden.

				
Typ	Seitenkanalverdichter (Vairex VRB8 ²)	Scrollkompressor (airsquared P32H58N2.25)	Verdrängerkompressor (Thomas QR-0100)	Turbokompressor (Celeroton CT-17-700.GB)
Arbeitspunkt Druckverhältnis / Massenstrom	1.4 / 5 g/s	1.4 / 5 g/s	1.4 / 5 g/s	1.4 / 5 g/s
Drehzahl (rpm)	12'000	1'000	1'725	220'000
Gewicht (kg)	4	25	25	1.5
Wirkungsgrad (%)	21	29	26	52
Leistungsverbrauch (W)	700	500	560	280
Ölfrei	Nein	Nein	Nein	Ja
Geschätzte Energieeinsparnis (kWh) ¹	0 (Referenz)	1'700	1'200	3'600

Tabelle 3: Vergleich der Kompressortechnologie. ¹ Geschätzte Energieeinsparung berechnet mit 3'000 h Laufzeit im definierten Arbeitspunkt, einem Brennstoffzellenwirkungsgrad von 50% und einem Elektrolysewirkungsgrad von 70%.

Diskussion / Würdigung der Ergebnisse / Erkenntnisse

Die gesteckten Ziele des Projektes wurden entweder erreicht oder übertroffen. Insbesondere konnten mehr Validierungsmessungen durchgeführt werden als bei Projektstart geplant war.

Kritische Punkte in der Weiterentwicklung waren die Konzeption, insbesondere der Zielkonflikt zwischen der technischen besten Lösung zur Erreichung der technischen Ziel-Spezifikationen und einer Lösung, die eine spätere Kostenreduktion erlaubt und damit das wirtschaftliche Potential vergrössert. Das Ziel der technisch besten Lösung wurde höher gewichtet. Das Ziel der Kostenreduktion muss in späteren, nachfolgenden Projekten verstärkt angegangen werden. Verminderte Anforderungen an Wirkungsgrad, Druck, Vibrationsbeständigkeit und Miniaturisierung erlauben auch eine kostengünstigere Realisierung. Die Erkenntnis daraus ist das der Zielkonflikt zwischen technisch optimaler Lösung und Kosten eine mehrkriterielle Optimierung (mit Zielgrösse A technische Performance und Zielgrösse B Kosten), auch Pareto-Optimierung genannt, durchgeführt werden muss da zum Teil durch Kunden und Märkte die technische Performance vorgegeben ist, aber vielfach auch die Kosten vorgegeben sind und die technische Performance ein Resultat davon ist.

Kritische Punkte in der Validierung der Auslegung waren die Messung mit erhöhter Kühlwassertemperatur. Die Validierung der Auslegung zeigte zwar, dass die Verluste gemäss Berechnung stimmen, jedoch zeigte die Validierung der thermischen Auslegung dass die Verluste im Kompressor weiter reduziert werden müssen um den vollen Leistungsbereich des Kompressors bei erhöhter Eintritts- und Kühlwassertemperatur ausfahren zu können. Eine Möglichkeit dazu besteht in der Optimierung der Ansteuerverfahren durch den Umrichter. Diese neuen Verfahren sollen weniger Verluste im Motor zur Folge haben. Dies wird ebenfalls in nachfolgenden Projekten verstärkt angegangen. Die Erkenntnis daraus ist das das Verschieben von Verluste aus dem Kompressor (und spezifisch aus dem Motor

des Kompressors) in den Umrichter eine verbesserte Performance des Kompressors erlaubt, z.B. ein erhöhtes Druckverhältnis, eine erhöhte Eintritts- oder Kühlwassertemperatur, oder aber auch erhöhte Vibrationen (durch eine Lagerauslegung mit erhöhter Tragfähigkeit und daraus resultierenden erhöhten Verlusten).

Das energetische Potential von Turbokompressoren für die Luftversorgung von Brennstoffzellen konnte dargestellt werden. Jedoch braucht es weitere Schritte bei Celeroton (Kostenreduktion) und in Zusammenarbeit mit Partnern und möglichen Kunden (Testen in Brennstoffzellensystemen) um das gesamte energetische Reduktionspotential in Brennstoffzellensystemen aufzuzeigen und speziell um das wirtschaftliche Potential aufzeigen zu können.

Schlussfolgerungen, Ausblick, nächste Schritte nach Projektabschluss

Schlussfolgerung

Die gesteckten Ziele des Projektes wurden erreicht, kritische Punkte identifiziert und daraus nächste Schritte für nachfolgende Projekte abgeleitet.

Ausblick

Im Anschluss an dieses Projekt plant Celeroton das Testen der Funktionalität und der Energieeinsparung in Brennstoffzellenfahrzeugen. Dies erfolgt zusammen mit potentiellen nationalen und internationalen Kunden für Kompressoren für Brennstoffzellensysteme. Sowohl Forschungszusammenarbeiten wie auch Kunden sind vertraulich und können daher nicht kommuniziert werden.

Ebenfalls nachfolgend zu diesem Projekt ist vorgesehen eine Kostenoptimierung der Kompressoren durchzuführen um den Einsatzbereich der Luftlager-Turbokompressor-Technologie zu vergrößern. Zudem plant Celeroton die Anwendung der Technologie auf Brennstoffzellensysteme mit grösseren Leistungen, und die Bearbeitung der Thematik der Reduktion der Verlustleistung im Motor mittels verbesserter Ansteuerverfahren im Umrichter.

Referenzen

- [1] B. Blunier, A. Miraoui, "Proton Exchange Membrane Fuel Cell Air Management in Automotive Applications", Journal of Fuel Cell Science and Technology, 2010
- [2] W. Yu, X. Sichuan, H. Ni, "Air Compressors for Fuel Cell Vehicles: An Systematic Review," SAE International Journal of Alternative Powertrains, 2015
- [3] Online: <http://vairex.com/products/index.htm>
- [4] Online: <http://airsquared.com/products/scroll-compressors/p32h058a-bldc/>
- [5] Online: <http://www.qd-thomas.com/templates/pages/product.aspx?id=2403>

Anhang

Keine Anhänge