

Der Energiewandler der Zukunft, basierend auf einem Mikrogasturbinen-Brennstoffzellen-Kreisprozess (MGT-SOFC), liefert die Lösung für die hocheffiziente Rückverstromung. Diese erfolgt bei der MGT-SOFC mit einem elektrischen Wirkungsgrad von über 65%. Hier sollen zum Teil bereits existierenden Teilanlagen für den Einsatz angepasst und weitere Subsysteme mit erforderlichen Eigenschaften entwickelt werden. Ein aus den entstehenden Komponenten projektiertes System könnte dann durch ein schnelles Ansprechverhalten (Lastsprung von 100 kW/s bei einer 270 kW Anlage) zur Stabilisierung der Stromnetze der Zukunft einen sehr wichtigen Baustein bilden. Durch die erreichbare Brennstoffflexibilität wird mit dem System ein hoher Beitrag für die Wasserstoffwirtschaft der Zukunft geschaffen.

Power Technology
System Architecture
E-Efficiency
FC-Technology
Entry into Service

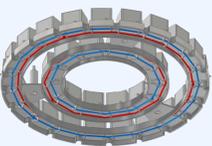
270 kW
MGT-SOFC-Hybrid / Vertikal
Berg @ BTU
65 % (1.0), 72 % (2.0)
MK 352 - Planar SOFC (IKTS Fraunhofer)
15. September 2026

Rekuperator BTU Cottbus-Senftenberg



Nach der Verdichtung im Powerhead durchläuft die komprimierte Frischluft den Wärmetauscher, wo sie im Gegenstrom zum Abgas vorgewärmt wird. Anschließend wird der aufgeheizte Luftstrom über den Hochtemperaturwärmetauscher des MLC in die Brennstoffzellen-Traube eingeleitet. Die Restwärme der Rekuperator-Abluft wird weiter für die Vorwärmung bzw. Verdampfung des Prozesswassers für die Reformierung eingesetzt. Abschließend kann die Restenergie des Abgases bis zur Nutzung des Brennstoffwertes des eingesetzten Brennstoffes zu Heizzwecken oder als Niedertemperatur-Prozesswärme genutzt werden.

Festoxid-Brennstoffzelle Fraunhofer IKTS, BTU Cottbus-Senftenberg



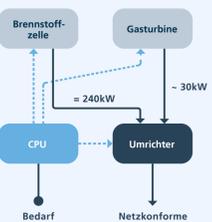
In der Brennstoffzellen-Traube liegt der Kern des Prozesses der Energieerzeugung. Sie besteht aus zwei konzentrischen Zylindern, die aus symmetrisch aufeinander gestapelten oxidkeramischen SOFC-Brennstoffzellenstacks (1 Stack = 30 Brennstoffzellen) bestehen.

Jede dieser Zellen verfügt über 2 Phasenräume, die durch eine keramische Membran voneinander getrennt sind. Auf der Anodenseite strömt das Synthesegas aus dem Reformer und auf der anderen Seite die erwärmte Kathoden-Zuluft aus dem Wärmetauscher. Dem keramischen Material wohnt die Eigenschaft inne, bei der vorherrschenden Prozess Temperatur leitfähig für Sauerstoff-Ionen O^{2-} zu werden. Es kann deshalb ein Transfer von Sauerstoff-Ionen von der Frischluftseite durch die keramische Membran auf die Synthesegasseite der Brennstoffzelle erfolgen.

Anschließend reagieren die Sauerstoffionen unter Abgabe von Elektronen auf der Anodenseite mit dem Wasserstoff und dem Kohlenmonoxid aus dem Synthesegas zu Wasser und Kohlendioxid. Weiter wird Reaktionswärme freigesetzt, die für eine interne Nachreformierung, die Vorwärmung der Kathodenluft, für die Reformierungsreaktion und schließlich, ergänzt um den Restenergieumsatz im Afterburner, für das Anreiben der Radialturbine genutzt werden kann. Die freigesetzten Elektronen werden von der Kathodenseite über die als Elektrode fungierende Membranoberfläche abgeleitet und können auf der Frischluftseite, nach Durchlaufen eines elektrischen Verbrauchers, wieder zugeführt werden. Die dabei entstehende Potentialdifferenz kann als Spannung gemessen und für einen Stromfluss genutzt werden.

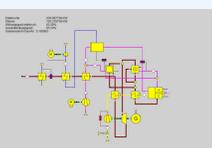


Steuerung, Konverter BTU Cottbus-Senftenberg

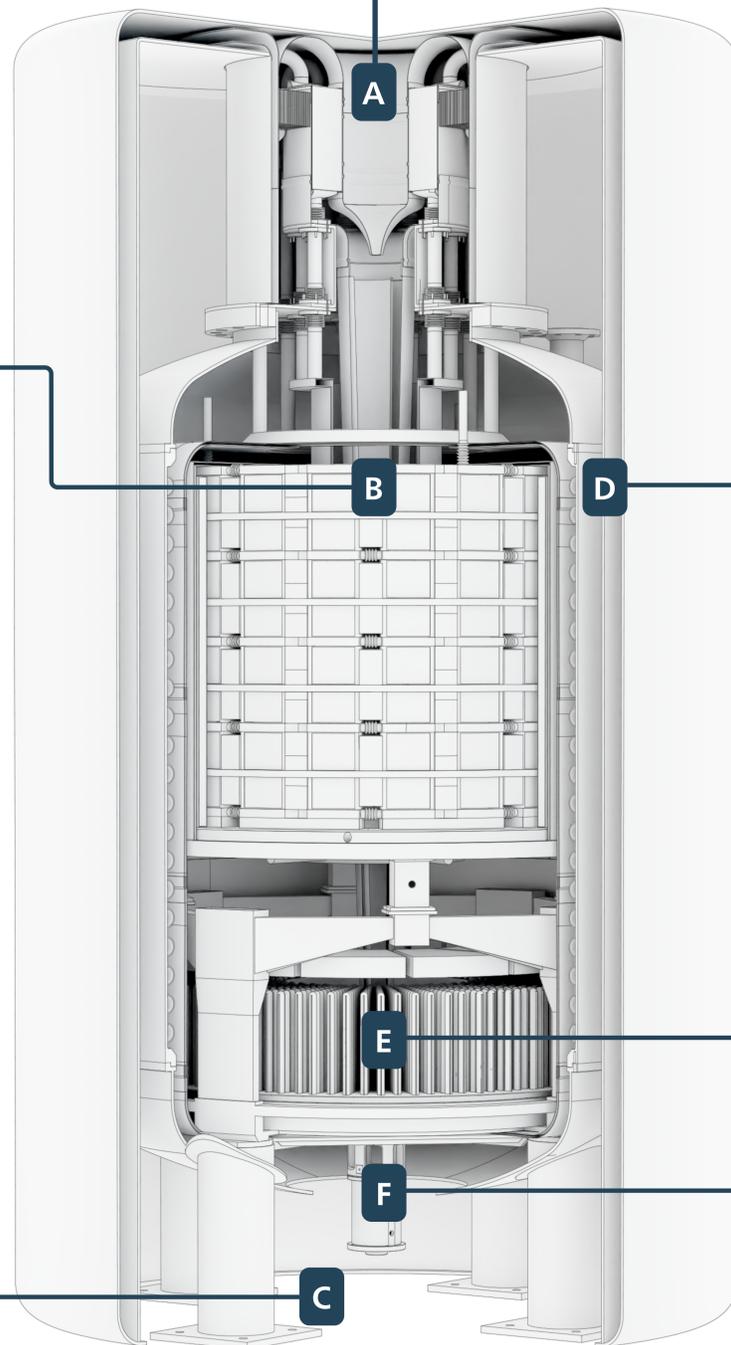
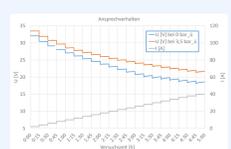
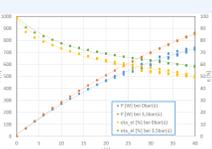


Die Regelung des Gesamtsystems soll so ausgelegt werden, dass ein hocheffizienter Betrieb des Systems sowohl im Voll- als auch im Teillastbereich möglich wird. Dabei werden insbesondere die gesteigerte Flexibilität der Brennstoffzellen unter druckaufgeladenem Betrieb, wie auch das gute Teillastverhalten der Mikrogasturbine MGT ausgenutzt.

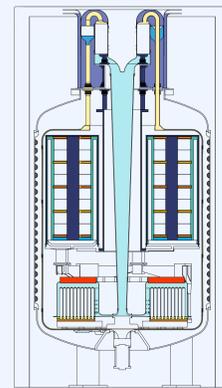
Messergebnisse / Simulationen



Mit Hilfe von Ebsilon-Simulationen wurde die Verschaltung der Energieströme optimiert und eine Vorauslegung von Anlagenkomponenten durchgeführt. Durch Vermessung von Brennstoffzellen unter Druckaufladung bis zu 4 bar (ü) konnte eine Steigerung von Leistung, Effektivität und ein verbessertes Ansprechverhalten der Zellen nachgewiesen werden.



MLC-Behälter BTU Cottbus-Senftenberg



Maßgeblich für das Funktionieren des beschriebenen Prozesses ist das kompakte, mehrlagige Wand- und Behältersystem (Multi-Layer-Containment, MLC), das alle Komponenten umfasst. Durch eine temperaturgerechte Schichtung der Stoffkreisläufe vereinfacht es die zu erfüllenden Zulassungsbedingungen für den Druck-Außenbehälter und das Einhalten einer nach außen wirkenden Temperatur. Isoliermaßnahmen und Wärmeverluste werden durch integrative Maßnahmen minimiert. Die durch den Rekuperator vorgewärmte Luft erfährt vor Eintritt in die Festoxid-Brennstoffzelle an der inneren MLC-Wand eine Erhitzung auf die erforderliche Betriebstemperatur. Im Außenmantel ist eine Heißwasser-Erwärmung integriert, deren Wärmeabgabe zu Heizzwecken genutzt werden kann.

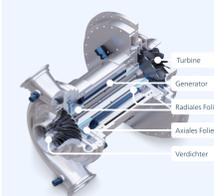
Rekuperatorabgas	Wasser	Methan
Rekuperatorluft	Synthesegas	Andenabgas
Wasserdampf	Verdichtungsluft	Nachverbrennung
Abgas		
Kathodenluft		
Methan + Dampf		

Afterburner & Reformer BTU Cottbus-Senftenberg



Im Reformer wird der Brennstoff, z.B. Grün- oder Erdgas, mit Wasserdampf zum Teil in ein wasserstoffhaltiges Synthesegas umgewandelt. Dieses Synthesegas wird als Brennstoff in die SOFC-Brennstoffzellen eingeleitet. Da die Brennstoffzellen-Traube nicht die gesamte Menge des Synthesegases konvertieren wird, erfolgt nach dem Durchströmen dieses Apparates eine vollständige Nachverbrennung der Synthesegase mit der Kathodenluft im sogenannten Afterburner. Die dabei gewonnene Wärme wird teilweise als Prozesswärme an den Reformer zur Herstellung des Synthesegases abgegeben. Der Restwärmestrom aus Brennstoffzellen-Traube und Afterburner wird zur Radialturbine überführt und dort in mechanische Energie für den Verdichterantrieb und für eine zusätzliche Stromerzeugung von bis zu 40kW in einem angeflanschten Generator umgewandelt.

Powerhead BTU Cottbus-Senftenberg, Fraunhofer IKTS

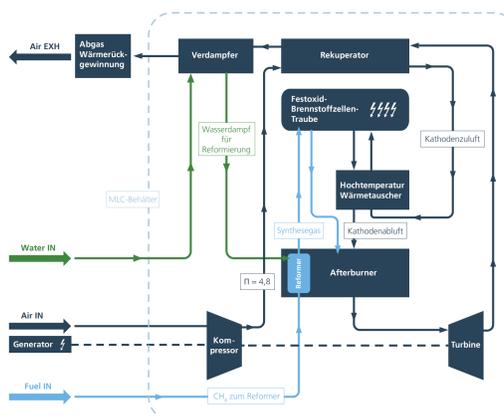


MTG mit integriertem Generator (in Entwicklung)



MGT-Powerhead

Der am unteren Abschluss der Maschine angeordnete Powerhead beherbergt drei Komponenten: Kompressor, Radialturbine und elektrischen Generator. Betrachtet man die Energieerzeugung in der T-Cell in linearer Abfolge, beginnt diese beim Kompressor mit der Verdichtung der Prozessluft. Die angesaugte Frischluft wird komprimiert und kann durch das höhere Druckniveau die Effizienz insbesondere der SOFC-Brennstoffzellen erhöhen. Nach dem Durchströmen und dem energetischen Umsatz in der Brennstoffzelle, sowie der Restgasverbrennung im Afterburner-Reformer erfolgt die Expansion der heißen Verbrennungsgase in der Turbine. Die dabei gewonnene Arbeit wird zum Antrieb des Verdichters und eines Hochenergiemagneten eingesetzt. Letzterer bildet als Teil eines Generators die zweite stromerzeugende Komponente der T-Cell und liefert hochfrequenten Wechselstrom. Der Zyklus der Stromerzeugung ist damit nach einer Transformation in einspeisefähigen Strom abgeschlossen.



www.b-tu.de/t-cell

Quellen

- Berg H P, Himmelberg A, Lehmann M, Dückerhoff R, Neumann M IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 297 (2018) 012004
- Berg H P, Dückerhoff R, Lehmann M, Pechavut N 2017 12th European Conference on Turbomachinery Fluid dynamics & Thermodynamics ETCT 2, April 3-7, 2017, Stockholm, Sweden, ETCT 21-26
- Henke M, Willich C, Westner C, Friedrich K A et al 2012 Electrochimica Acta 66 158
- Kurzweil P 2016 Brennstoffzellentechnik (Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH)
- STAG System Technologies 2018 EBILON® Professional User Manual (Zwingenberg, STEAG Energy Services GmbH)
- Vorgahl M 2020 Versuchsdurchführung sowie Auswertung und wissenschaftliche Analyse der experimentell erhaltenen Messdaten druckaufgeladener Hochtemperaturbrennstoffzellen Master Thesis BTU Cottbus-Senftenberg, Germany
- Berg H P, <https://www.b-tu.de/t-cell/>, Die T-Cell als Energieerzeuger der Zukunft, abgerufen 22.09.2020
- Fraunhofer IKTS Dresden, keramische Energiewandler, Dr. Ing. Stefan Megel, https://www.ikts.fraunhofer.de/de/abteilungen/energiesysteme/werkstoffe/komponenten/keramische_energiewandler.html, abgerufen 22.09.2020

