

Kompressorlose Gasturbine

Detonationsbrenner verbessert Wirkungsgrad bei Energieumwandlung mit Wasserstoff

Neue Maßstäbe für die Nutzung von Wasserstoff in der Energieversorgung setzt eine innovative kompressorlose Gasturbine. Sie basiert auf der Druckgewinnverbrennung: Detonationswellen in der Brennkammer erzeugen den notwendigen hohen Druck. Dies spart Energie, erhöht die Effizienz und reduziert bewegliche Teile. Zwar ist die Technologie nicht auf Wasserstoff begrenzt, dieser eignet sich allerdings besonders gut dafür. Wasserstoff lässt sich anders als Erdgas mit erneuerbaren Energien produzieren. Mit der kompressorlosen Gasturbine ist daher ein Durchbruch für die grüne Stromerzeugung mit Wasserstoff gelungen.

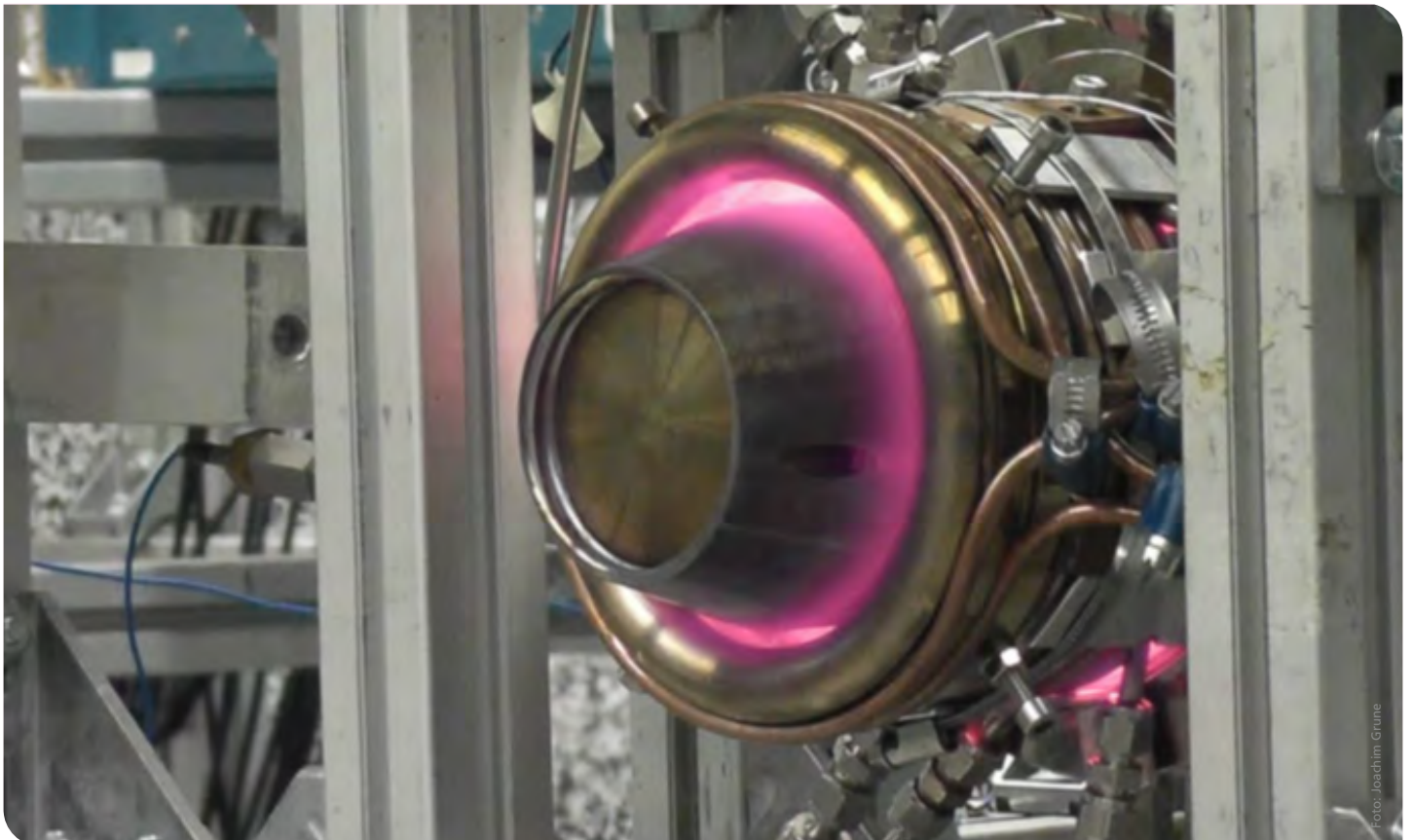
Höhere Energieeffizienz – geringere Anlagenkomplexität

Druckgewinnverbrennung (pressure gain combustion) ist seit einiger Zeit Gegenstand intensiver internationaler Forschung. Bei den untersuchten innovativen Verbrennungsprozessen wird der für eine

thermodynamisch effiziente Verbrennung erforderliche hohe Druck über Detonationswellen hergestellt. Das bedeutet, dass sich die energetisch und technologisch aufwendige Verdichtung mit mechanischen Verdichtern erübrigt.

Der gekoppelte Verdichtungs- und Verbrennungsprozess, der über die Detonationswelle erreicht wird, kann getaktet am gleichen Ort (Pulsed Detonation Engine – PDE) oder im Kreislauf in einem Ringspalt arrangiert werden (Rotating Detonation Engine – RDE).

Die entsprechenden Technologien waren bisher vorrangig für Anwendungen im Bereich Luft- und Raumfahrt gedacht. Sie bieten jedoch auch wesentliche Vorteile für stationäre Anwendungen, wie Gaskraftwerke, weil sie die Energieeffizienz verbessern und die Komplexität der Anlagen reduzieren.



Austrittsdüse der Detonationsbrennkammer im Betrieb mit Wasserstoff-Luft-Mischung.

Durchbruch für grüne Stromerzeugung mit Wasserstoff

Die Abteilung Wasserstoff am Institut für Thermische Energietechnik und Sicherheit (ITES) des KIT verfügt vor allem dank ihrer sicherheitstechnischen Arbeiten über ausgezeichnete Erfahrungen und Kenntnisse, was gasdynamische Prozesse betrifft. Diese sind mit komplexen transienten Verbrennungsphänomenen verbunden, vor allem Detonationen. Diese Expertise haben die Forschenden beim Aufbau eines einzigartigen RDE Experiments und eines Demonstrators genutzt.

Wesentliche Besonderheiten sind die geometrische Ausgestaltung des Vormischungsbereichs, der Zündmechanismus und die Wasserkühlung gekoppelt mit einer Dampfinjektion.

Mit dieser Maschine haben die Forschenden des KIT einen Laufzeitrekord aufgestellt: Der Brenner mit der revolutionären Druckgewinnverbrennungstechnologie lief 303 Sekunden. Das übertrifft den bisherigen Rekord der NASA von 250 Sekunden. Bereits zuvor war es den Forschenden gelungen, erstmals mit einer Wasserstoff-Gasturbine ohne mechanischen Kompressor Strom zu erzeugen.

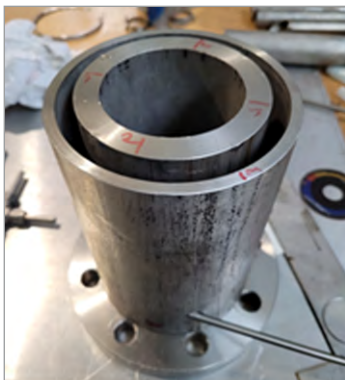
Effizienzen im Vergleich

Die kompressorlose Gasturbine basiert auf der Druckgewinnverbrennung: Anders als bei klassischen Gasturbinen (Brayton-Prozess), die rund die Hälfte ihrer Leistung für die Luftkompression benötigen,

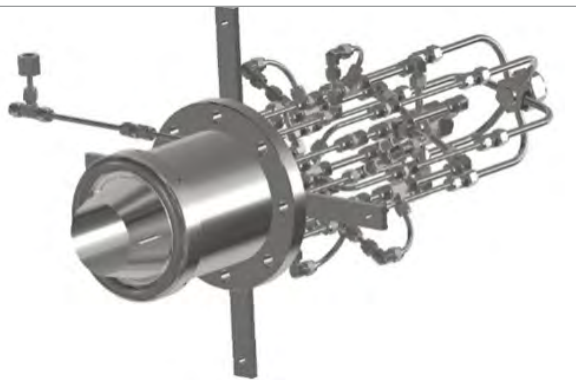
erzeugen Detonationswellen in der Brennkammer den notwendigen hohen Druck (Fickett-Jacobs-Prozess). Diese Wellen entstehen durch eine Verbrennung, die selbst durch eine Stoßwelle initiiert wird. Die durch die Verbrennung freiwerdende Energie treibt wiederum die Stoßwelle weiter an. Der nominell erzielbare Wirkungsgrad einer mit Erdgas betriebenen Gasturbine lässt sich damit fast verdoppeln.

Von der Komponente zum System

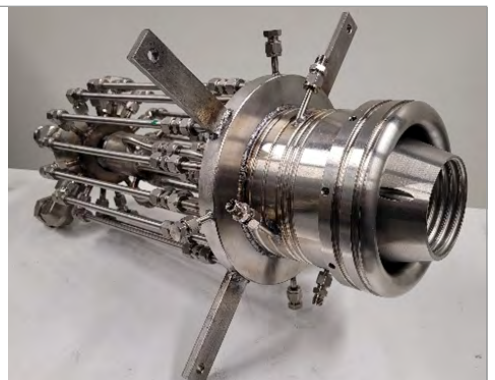
Am KIT befindet sich die Entwicklung hin zur Anwendung in einer Demonstrationsphase. Die Forschenden haben mittlerweile die dritte Generation von Detonationsbrennkammern entwickelt. Die Entwicklung wird von numerischen Simulationen mit KIT-eigener CFD-Software und detaillierten Messkampagnen begleitet. Dank der intensiven wissenschaftlichen Begleitung hat das KIT innerhalb von nur drei Jahren eine Technologieführerschaft bei RDEs erreicht. Besonders die Kopplung der Brennkammer mit einer Turbine stellte eine technische Herausforderung dar. Die extrem schnellen und intensiven, jedoch instabilen Verbrennungsvorgänge in der Brennkammer erschwerten eine verlässliche Energieübertragung an die Turbine. Durch Analyse der diversen Einflussfaktoren gelang es dem Team am KIT, Ende 2025 erstmals eine solche Turbine erfolgreich zu betreiben und dabei Strom zu erzeugen.



Detonationsbrennkammer der ersten Generation: ohne Kühlung, für Tests diverser Treibstoffmischungen.



Detonationsbrennkammer der zweiten Generation: mit Kühlung und verbesserter Strömungsführung (Exponat).



Detonationsbrennkammer der dritten Generation: mit verbesserter Kühlung und Dampfinjektion zur Kopplung mit einer Turbine. (Fotos: Joachim Grune/KIT)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Thermische Energietechnik und Sicherheit (ITES)

Prof. Dr. Daniel Banuti
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
E-Mail: daniel.banuti@kit.edu
Telefon: +49 721 608-23451
Fax: +49 721 608-24837
Web: www.ites.kit.edu

DI Joachim Grune
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
E-Mail: joachim.grune@kit.edu



Karlsruher Institut für Technologie (KIT) · Präsident Professor Dr. Jan S. Hesthaven · Kaiserstraße 12 · 76131 Karlsruhe

Karlsruhe © KIT 2026