



Der Graz Cycle – ein emissionsfreies fossiles Kraftwerk höchsten Wirkungsgrades

The Graz Cycle – an emission-free fossil fueled power plant of highest efficiency

Die Errichtung von geschlossenen Kraftwerksprozessen mit der Möglichkeit der CO₂-Rückhaltung stellt einen wichtigen Beitrag zur Einhaltung der Ziele des Kyoto-Protokolls dar. In diesem Sinne haben Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik seit den 90er-Jahren zum so genannten Graz Cycle geführt, einem emissionsfreien Kraftwerksprozess mit höchstem Wirkungsgrad. Er basiert auf der Verbrennung des fossilen Brennstoffs mit reinem Sauerstoff, was die Abtrennung des CO₂ durch Kondensation ermöglicht. Der zusätzliche Aufwand für die Sauerstoff-Bereitstellung wird teilweise kompensiert durch hohe Prozesswirkungsgrade um die 65 %.

1997 wurde in der Kyoto-Konferenz vereinbart, den globalen Ausstoß von Treibhausgasen, vor allem Kohlendioxid CO₂, um 5 % gegenüber 1990 zu verringern. Ungefähr ein Drittel des anthropogenen CO₂-Ausstoßes erfolgt durch den Kraftwerkssektor. Um CO₂-Reduktionen in diesem Sektor zu erreichen, wurde 2003 der CO₂-Emissionshandel beschlossen, der den CO₂-Ausstoß mit 10 – 20 €/t CO₂ bis 2010 belasten dürfte.

Deshalb wird nach wirtschaftlichen Lösungen zur CO₂-Vermeidung



Abb.1: Graz Cycle Kraftwerk der Zukunft?

bei der Stromerzeugung gesucht. Die Autoren haben gezeigt, dass Sauerstoff-Prozesse mit interner Verbrennung des fossilen Brennstoffs mit reinem Sauerstoff eine vielversprechende Technologie sind und glauben, dass der am Institut entwickelte Graz Cycle die wirtschaftlichste Lösung zur CO₂-freien Stromerzeugung darstellt (Abb. 1).

Das Prinzip des sogenannten Graz Cycles wurde vom früheren Institutsvorstand em. Univ.-Prof. Dr. Herbert Jericha bereits 1985 als Dampfprozess mit interner Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff vorgestellt. 1995 wurde der Prozess für die Feuerung mit Erdgas adaptiert, das Kreislaufmedium als Gemisch von Wasserdampf und CO₂ erlaubt die effiziente Abtrennung des CO₂ aus der Verbrennung durch Kondensation. In zahlreichen Veröffentlichungen wurde der Prozess auf die Verbrennung aller Arten fossiler Brennstoffe erweitert und Konstruktionskonzepte für einen Prototyp entwickelt.

Abb. 2 zeigt ein vereinfachtes Kreislaufschaltbild mit den wichtigsten Komponenten. Grundsätzlich besteht der Graz Cycle aus einem Hochtemperatur-Gasturbinenprozess (Kompressoren C1/C2, Brennkammer und Hochtemperaturturbine HTT) und einem Niederdrucktemperatur-Dampfprozess (Niederdruckturbine LPT, Kondensator, Abhitzekegel HRSG und Hochdruckturbine HPT). Der Brennstoff wird mit Sauerstoff bei 40 bar stöchiometrisch verbrannt, die Kühlung erfolgt mit Dampf und CO₂. Das heiße Abgas aus Dampf und CO₂ wird in der HTT auf 1 bar entspannt und im Abhitzekegel gekühlt. Nur 45 % des Kreislaufmediums wird in der LPT weiter unter Leistungserzeugung auf den Kondensatordruck von 0.04 bar entspannt. Ein Großteil des Dampfes kondensiert, der abgetrennte Gasstrom enthält das CO₂ aus der Verbrennung sowie Restdampf und wird auf Umgebungsdruck verdichtet, wo er für die weitere Verwendung oder Endlagerung zur Verfügung steht. Das kondensierte Wasser wird im Abhitzekegel verdampft und überhitzt, in

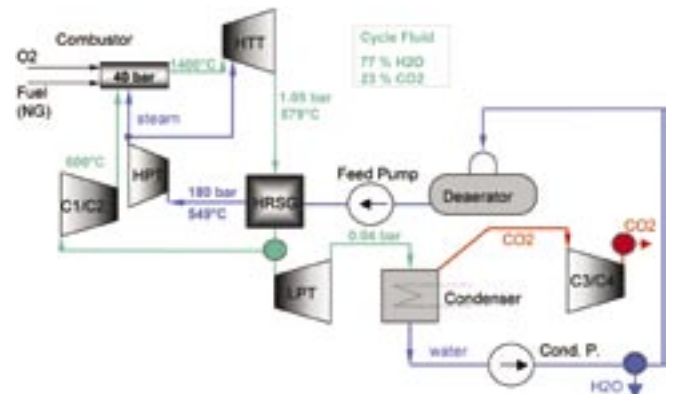


Abb.2: Vereinfachtes Kreislaufschaltbild des Graz Cycle

der HPT unter Leistungserzeugung entspannt und der Brennkammer zur Kühlung zugeführt. Der Kreislaufstrom, der nach dem Abhitzekegel abgetrennt wird, wird mit den Verdichtern C1 und C2 auf Brennkammerdruck verdichtet und ebenfalls der Brennkammer zugeführt.

Der Graz Cycle erlaubt die Wärmezufuhr auf sehr hohem Temperaturniveau, während die Expansion bis ins Vakuum erfolgt, sodass sich ein hoher thermischer Wirkungsgrad nach Carnot einstellt. Dies führt zu einem hohen elektrischen Wirkungsgrad von 65 %, während moderne Kombikraftwerke derzeit 58 % erreichen. Der hohe Aufwand für die Sauerstoffbereitstellung reduziert jedoch den Wirkungsgrad auf 55 %. Falls der Prozess mit dem Aufwand der CO₂-Verflüssigung bei 100 bar belastet wird, stellt sich ein Nettowirkungsgrad bei Erdgasfeuerung von 53 % ein. Dieser Wert liegt damit deutlich über den Wert anderer Technologien zur CO₂-Rückhaltung. Eine erste Wirtschaftlichkeitsstudie zeigt, dass die erhöhten Kosten für die CO₂-Rückhaltung bei 15 €/t CO₂ liegen und damit der Graz Cycle unter Berücksichtigung des CO₂-Zertifikatehandels wirtschaftlich betrieben werden kann. Diese günstigen Werte sind auch der Grund für das derzeitige weltweite Interesse am Graz Cycle. Mehrere Institutionen, namhafte Gasturbinenhersteller und Energieerzeuger analysieren den Prozess zur Zeit im Detail. Von den Ergebnissen dieser Studien hängt es ab, ob der Graz Cycle eine bedeutende Rolle in der zukünftigen Stromerzeugung spielen wird.

The Graz Cycle – an emission-free fossil fueled power plant of highest efficiency

The introduction of closed cycle gas turbines, capable of retaining combustion generated CO₂, can offer a valuable contribution to the Kyoto goal. Since the nineties, research at the Graz University of Technology has led to the Graz Cycle, a zero emission power cycle of highest efficiency. It burns fossil fuels with pure oxygen which enables the cost-effective separation of the combustion CO₂ by condensation. The expenditures for the oxygen supply in an air separation plant are partly compensated for by cycle efficiencies far higher than for modern combined cycle plants.

The net electrical cycle efficiency is 65 %, as compared to 58 % for modern conventional combined cycle plants. In consideration of the expenditures for the oxygen supply and the CO₂ compression for liquefaction, the net efficiency achieved is 53 %, a value higher than those of other CO₂ capture technologies. A first economic analysis of a Graz Cycle power plant shows low CO₂ mitigation costs in the range of 15 €/ton CO₂ captured, making this zero emission power plant a promising technology in the future CO₂ emission trading scenario.