



A U F G A B E N S T E L L U N G

Theoretische Masterarbeit

Thermodynamische Simulation der Wasserstoffverflüssigung

Das Energiesystem steht in Deutschland in einem grundlegenden Wandel. Ein System, das auf die konstante Bereitstellung durch fossile Energieträger ausgerichtet ist, soll durch die umfangreiche Integration erneuerbarer Energien eine nachhaltigere Energieversorgung gewährleisten. Energiespeicher sind eine Möglichkeit, das zeitlich stark fluktuierende Angebot der erneuerbaren Energien, insbesondere bei Windenergiekonvertern und Photovoltaikanlagen, mit der Nachfrage zur Deckung zu bringen. Während Batterien und Pumpspeicher ihre Anwendung im Minuten- und Stundentakt haben, eignet sich Wasserstoff als chemischer Energiespeicher wegen seiner hohen massenspezifischen Energiedichte auch für die mittel- und langfristige Speicherung von großen Energiemengen. Großes Potenzial hat „grüner Wasserstoff“, der in der Regel mit Hilfe von Elektrolyseuren aus erneuerbaren Energien gewonnen wird, als Kraftstoff im Straßenverkehr in Brennstoffzellenfahrzeugen, für die Energieversorgung netzferner Anwendungen, bei der Rückverstromung, bei der Einspeisung in das Erdgasnetz und als Chemierohstoff.

Aktuell gibt es noch erhebliche Unklarheiten über die optimale Speicherung und den Transport von größeren Wasserstoffmengen. Insbesondere bei größeren Entfernungen haben chemische Wasserstoffspeicher wie Methanol (CH_3OH) und Ammoniak (NH_3) beim Transport in Behältern wegen ihrer höheren Energiedichte Vorteile gegenüber dem Druckwasserstoff. Dies gilt auch für flüssigen Flüssigwasserstoff, der zur Verflüssigung unter seine Siedetemperatur abgekühlt werden, die bei Atmosphärendruck bei -253 °C liegt. Problematisch ist dabei die Tatsache, dass ein Großteil der Wasserstoffmoleküle bei der Abkühlung eine innere Umwandlung durchmacht und die freiwerdende exotherme Reaktionswärme zu einer erhöhten Verdampfung des flüssigen Wasserstoffs führt. Bei Raumtemperatur liegt der Wasserstoff zu 75 % als ortho-Wasserstoff (Kernspin parallel) und zu 25 % als para-Wasserstoff (Kernspin entgegengesetzt) vor. Bei tiefen Temperaturen verschiebt sich das Gleichgewicht zum para-Wasserstoff, so dass für die Abführung der Reaktionswärme eine zusätzliche Kühlleistung notwendig wird. Zur Verflüssigung haben sich die Verfahren der isentropen Entspannung und der Entspannung unter Ausnutzung des Joule–Thomson Effekts durchgesetzt. Eine aufwändige Verfahrenstechnik ist bei der Wasserstoffverflüssigung notwendig, da die Inversionstemperatur von Wasserstoff unterhalb der Raumtemperatur liegt. Daher muss der Wasserstoff zunächst mit flüssigem Stickstoff und/oder Wasserstoff unter seine Inversionstemperatur abgekühlt werden, erst dann kühlt er sich bei Entspannung in einer Turbine oder einem Ventil ab. Der Energiebedarf von Wasserstoffverflüssigungsanlagen wird in Abhängigkeit der Anlagengröße zu 10 – 15 kWh/kg H_2 angegeben, durch verbesserte Prozessführung sind Werte von 7 kWh/kg H_2 für zukünftige Anlagen erreichbar. Im Rahmen einer Masterarbeit soll der aktuelle Stand der Wasserstoffverflüssigung recherchiert und mit Hilfe einer ASPEN-Simulation analysiert und nachgebildet werden. Dabei sollen kritische Prozessschritte identifiziert und Optimierungspotenziale aufgezeigt werden.

Die Arbeit ist unter Berücksichtigung der einschlägigen Normen sowie unter Beachtung der Hinweise der Mitarbeiter des Lehrstuhls für Energietechnik bezüglich der Bearbeitung von Studien- und Diplomarbeiten anzufertigen.