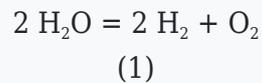


Anders als bei **fossilen Brennstoffen** werden bei der Wasserelektrolyse nur Wasser und Strom zur Erzeugung von Wasserstoff verwendet. Durch Zufuhr einer ausreichend großen elektrischen Energie ($>286 \text{ kJ mol}^{-1}$) wird die Bindung im Wassermolekül aufgespalten und Sauerstoff und Wasserstoff entstehen (Gl. 1).



In der Praxis unterscheidet man in drei Arten der Wasserelektrolyse, die sich vor allem in der Art des Elektrolyten und der Prozesstemperatur unterscheiden. Es wird in **alkalische**, **Hochtemperatur-** und **PEM-Elektrolyse** eingeteilt.

Alkalische Elektrolyse von Wasser

Die älteste und am weitesten verbreitete Art der Wasserelektrolyse ist die alkalische Elektrolyse. Die Konfiguration einer einfachen industriellen Einheit (Abbildung 1) besteht aus einer Nickelanode und Stahlkathode, welche gleichstrom nutzen. Diese sind durch eine **anorganische Membran** getrennt. Des Weiteren kommt ein **Elektrolyt** zum Einsatz, meist 25-30% **Kaliumhydroxid** (KOH), das leitfähiger als reines Wasser ist (es wird weniger Energie benötigt). In der Vergangenheit bestand die Membran aus Asbest, neuere Technologien verwenden bereits umweltfreundliche Keramik- und Verbundwerkstoffe.

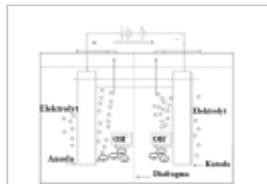
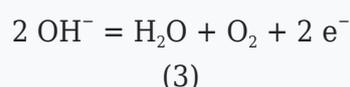
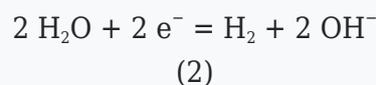


Abbildung 1:
Flussdiagramm des
alkalischen
Wasserelektrolysepro-
zesses

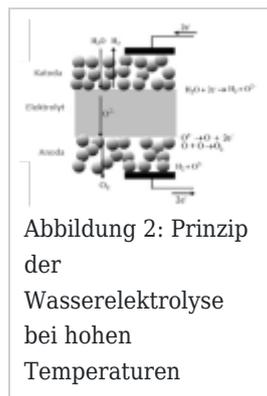
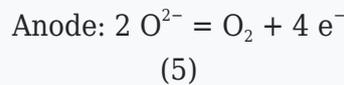
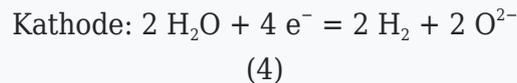
Die industrielle alkalische Elektrolyse von Wasser erfolgt bei einer Temperatur von $80 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Spannung von $1,8\text{-}2,4 \text{ V}$. An der Kathode wird Wasser zu Wasserstoff reduziert (Gl. 2). Die entstehenden Hydroxidionen (OH^-) gelangen durch das Diaphragma zur Anode, wo sie zu einem Sauerstoff- und Wassermolekül oxidiert werden (Gl. 3).



Hochtemperaturelektrolyse von Wasser

Bei der Wasserelektrolyse bei hohen Temperaturen wird ein fester Elektrolyt verwendet, um die Ladung zu übertragen. In diesem Fall ist es oft Zirkoniumdioxid (ZrO_2), das mit Yttriumoxid (Y_2O_3), kurz YSZ, dotiert ist. Als Kathodenmaterial wird wie beim Elektrolyten ein festes YSZ verwendet, das mit Nickel (Ni-YSZ) dotiert ist. Die Anode besteht aus Mischoxiden wie $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$.

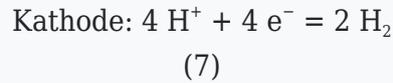
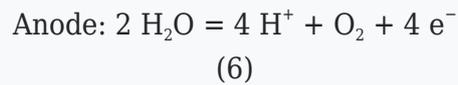
Abbildung 2 zeigt den Hochtemperatur-Elektrolysemechanismus. Wasserdampf wird der porösen Kathode zugeführt, wo er direkt zu Wasserstoff reduziert wird (Gl. 4). Die entstehenden Sauerstoffionen (O^{2-}) gelangen über einen Festelektrolyten zur Anode (Gl. 5)



Die Arbeitstemperatur der Hochtemperatur-Wasserelektrolyse beträgt ca. 800 ° C. Aufgrund erhöhter Temperaturen wird ein Teil der benötigten Energie in Form von Wärme zugeführt. Kern- und Geothermiekraftwerke erzeugen überschüssige Wärme. Diese Energie kann verwendet werden, um die gewünschte Temperatur bei der Wasserelektrolyse bei hoher Temperatur zu erreichen. Andererseits erfordert der Betrieb bei hohen Temperaturen die Verwendung spezieller keramischer Materialien, die den langfristigen Arbeitsbedingungen der Wasserelektrolyse bei hohen Temperaturen standhalten. Die Entwicklung und Anwendung dieser Materialien befindet sich jedoch noch in der Phase der Labor- und Pilotforschung.

PEM-Wasserelektrolyse

Die PEM-Wasserelektrolyse (Protonenaustauschmembran) wird bei Temperaturen von 50 bis 80 ° C und Drücken von bis zu 3 MPa durchgeführt. Die Spannung an der Elektrolysezelle liegt im Bereich von 1,8 bis 2,2 V. Eine nicht poröse Polymermembran, die nur positiv geladene Ionen übertragen kann, dient als Anoden- und Kathodenraum-Separator. An der Anode entsteht Sauerstoff aus Wasser (Gl. 6). Die entstehenden H^+ -Ionen gelangen durch eine ionenleitende Membran zur Kathode, wo sie zu Wasserstoff reduziert werden (Gl. 7).



Aufgrund der korrosiven Umgebung im PEM-Elektrolyseur müssen an beiden Elektroden Platinmetalle als Katalysatoren verwendet werden. Die Anode wird durch einen mit IrO₂ modifizierten Träger auf Titanbasis gebildet. Die am häufigsten verwendete Kathode ist ein Kohlenstoff- oder Eisenträger, der mit einer Platinschicht beschichtet ist.

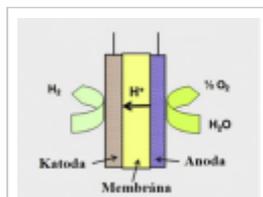


Abbildung 3: Schema der PEM-Wasserelektrolyse

Die Vorteile der PEM-Elektrolyse von Wasser gegenüber anderen Typen bestehen hauptsächlich in der hohen Prozessflexibilität, der erreichten Stromausbeute und der Kompaktheit der Vorrichtung. Im Allgemeinen verläuft der Protonentransport durch die Polymermembran sehr schnell. Das Diaphragma verhindert das Vermischen der entstehenden Gase und erhöht so deren Reinheit erheblich. Einige Anlagen sind in der Lage, Wasserstoff mit einem Druck von bis zu 35 MPa zu produzieren, was die Kosten für den weiteren Transport und die Lagerung reduziert.

Die säurekorrosive Umgebung stellt hohe Anforderungen an die verwendeten Katalysatoren, das Elektrodenmaterial und die Membran. Nur wenige Materialien können diesen hohen Spannungen standhalten (Platinkatalysatoren, Elektroden auf Titanbasis und perfluorierte Membranen), was sich negativ auf ihre Verfügbarkeit und Kosten der Anlage auswirkt.

Reale Anwendungen einzelner Wasserelektrolyse-Technologien:



Alkalische Elektrolyse von Wasser



Hochtemperaturelekt
rolyse von Wasser



PEM-
Wasserelektrolyse

<HR>