

## Von der Elektrolysezelle zum Elektrolyseblock

Bei jeder bekannten Elektrolysetechnologie wird in jeder Zelle an der Kathode gasförmiger Wasserstoff und anodenseitig Sauerstoff erzeugt. Über das Coulombsche Gesetz ist die produzierte Gasmenge direkt abhängig von der der Elektrolysezelle zu geführten elektrischen Ladung. Pro Mol erzeugtem gasförmigem Wasserstoff ( $6,02 \times 10^{23}$  Atome) aus Wasser benötigt man eine Ladungsmenge von 96.485 C (Einheit C = Coulomb). Die Ladungsmenge pro Elektrodenfläche ist jedoch begrenzt. In heutigen alkalischen Elektrolyseuren, die maximale Elektrodenflächen von ca.  $3 \text{ m}^2$  für den drucklosen und bis zu  $2 \text{ m}^2$  für den Druck-Betrieb haben, beträgt die zellbezogene Gasproduktionsmenge ca.  $4 - 6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ . Die wesentliche Flächenvergrößerung der Elektroden ist aus verschiedenen Gründen kaum möglich. Bei den PEM-Elektrolyseuren liegt heute die Elektrodenfläche sogar noch im Bereich um ca.  $1000 \text{ cm}^2$  Elektrodenfläche.

Die einfache technische Lösung zur Erhöhung der produzierbaren Gasmenge pro Elektrolyseur ist die Zusammenfassung vieler Elektrolysezellen zu einem Elektrolyseblock. Es gibt zwei elektrische Verschaltungsarten für mehrere Zellen zu einem Block, die sog. **unipolare** parallele Zellenverschaltung, d.h. Blockspannung ist gleich Zellspannung und der Blockstrom ist die Summe der Zellströme, sowie die sog. **bipolare** Verschaltung mit serieller elektrischer Verschaltung, so dass alle Zellen vom gleichen Blockstrom durchflossen werden und die Blockspannung die Summe der Zellspannungen ist. Die bipolare Verschaltung von Elektrolyseblockverschaltung hat sich bis auf wenige Sonderfälle durchgesetzt. Abb. 1 zeigt das Prinzipbeispiel eines Elektrolyseblocks mit drei bipolar verschalteten Einzelzellen.

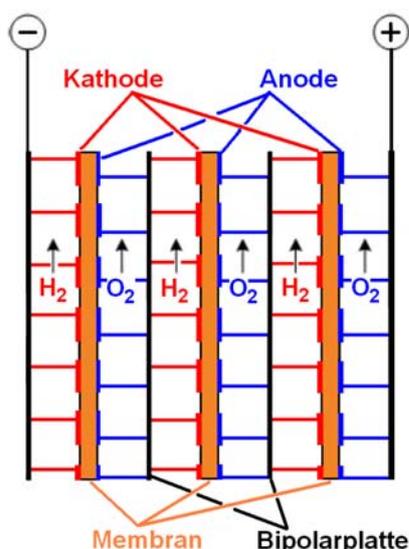


Abb. 1: Prinzipbild eines bipolaren 3-zelligen Elektrolyseblocks;  
Quelle: A. Brinner, ZSW.

Die drei Zellen in Abb. 1 werden Rücken an Rücken mit wechselnder elektrischer Polarität (Kathode, Zelle 1 – Anode, Zelle 1 – Kathode, Zelle 2, usw.) aufeinandergeschichtet. Elektrisch gut leitende und gasdichte Bipolarplatten stellen die elektrische Verbindung zwischen den verschiedenen Zellenseiten der aufeinanderfolgenden Zellen sicher. Prinzipiell ist in dieser Abbildung auch die wichtigste Optimierungsmaßnahme eines Elektrolyseurs, die Minimierung des Elektrodenabstandes in einer Zelle, dargestellt. Diese Bauform wird **Nullabstandszelle** genannt. Anode und Kathode sind soweit zusammengerückt, dass sie nur noch durch die gasdichte Membran voneinander getrennt sind.

Die Produktgase werden zwar auf den einander zugewandten Elektroden-Vorderseiten produziert, gelangen aber durch die Löcher oder Schlitze in den Elektroden direkt nach hinten in die sogenannten Gassammelräume.

Durch die Ausbildung dieser Gasräume ist zwischen den Bipolarplatten und den zugeordneten Elektroden ein Abstand notwendig, der mit sogenannten Stromübertragern überwunden werden muss, da funktionsbedingt Bipolarplatten und Gaselektroden elektrisch leitend verbunden sein müssen. Die Stromübertrager (Metallgestricke, Streckmetalle, Bolzen, usw.) können lose eingelegt oder auch fest verbunden sein. Das variiert von Hersteller zu Hersteller.

Die Produktgase werden aus den Einzelzellen in Gassammelkanälen zusammengeführt, die in Abb. 2 oberhalb der Zellen getrennt für  $H_2$  (rot) und  $O_2$  (dunkelblau) dargestellt sind.

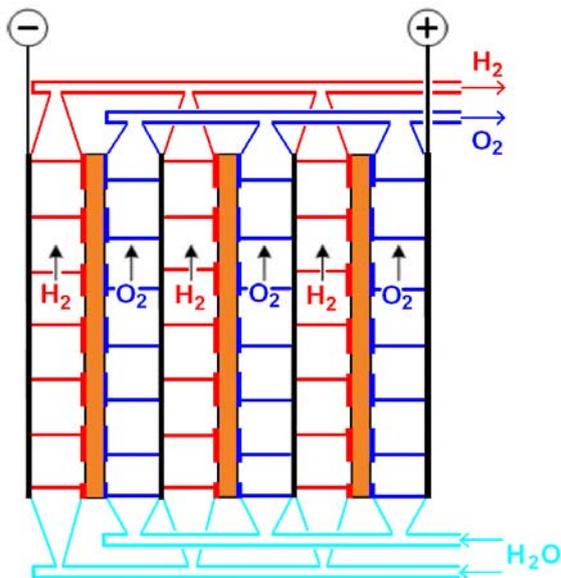


Abb. 2: 3-zelliger Elektrolyseblocks mit Gas- und Elektrolyt-Sammelkanälen; Quelle: A. Brinner, ZSW

Bei einem alkalischen Elektrolyseur wird der Elektrolyt (Kalilauge-Wasser-Gemisch) für den Elektrolyseprozess und als Kühlmedium den Einzelzellen aus getrennten Sammelkanälen für die Wasserstoff- und Sauerstoffseite (hellblau) zugeführt, die in Abb. 2 gezeigt sind.

Die Sammelkanäle können sowohl blockintern realisiert werden als auch als externe Verrohrung mit separaten Abzweigen in jede Zelle. Beide technischen Lösungen werden in drucklosen Elektrolyseuren eingesetzt. Bei Druckelektrolyseuren wird nur das Prinzip mit blockinternen Sammelkanälen eingesetzt.

Eine einzelne Zelle hat nur wenige Bauteile, die häufig lösbar mechanisch miteinander verbunden sind, ineinandergesteckt oder aufeinander geschichtet werden als

sogenannte Filterpressanordnung. Eine Zelle besteht im einfachsten Fall aus einem Zellrahmen, einer umlaufenden Dichtung, einer Zellmembran, zwei Gasproduktions-Elektroden, zwei Stromübertragern und zwei Bipolarplatten, die sich jede Zelle mit ihren Nachbarn funktionell teilt. Abb. 3 zeigt beispielhaft alle Funktionsbestandteile einer Druckelektrolysezelle.

In der Abbildung ist noch der sogenannte Druckring als weiteres Bauteil gezeigt. Er dient als Gas-Abdichtung einer Bipolarplatte oder einer Zellmembran im Zellrahmen. Der Druckring gehört zum Zellrahmen und wird beim Einbau fest mit ihm verbunden.

Der Zellrahmen ist das äußere „Gefäß“ jeder Elektrolysezelle. Sowohl rechteckige Formen meist für drucklose Elektrolyseure als auch runde Formen hauptsächlich für Druckelektrolyseure sind gängig. Bei der Materialauswahl muss neben den wichtigen mechanischen Eigenschaften auch primär auf seine Eignung im direkten Kontakt mit den elektrochemischen Prozesschemikalien geachtet werden.

Dichtungen und Dichtungsringe nach außen oder innerhalb und zwischen den Elektrolysezellen sind den denselben elektrochemischen Angriffen der Prozesschemikalien ausgesetzt.

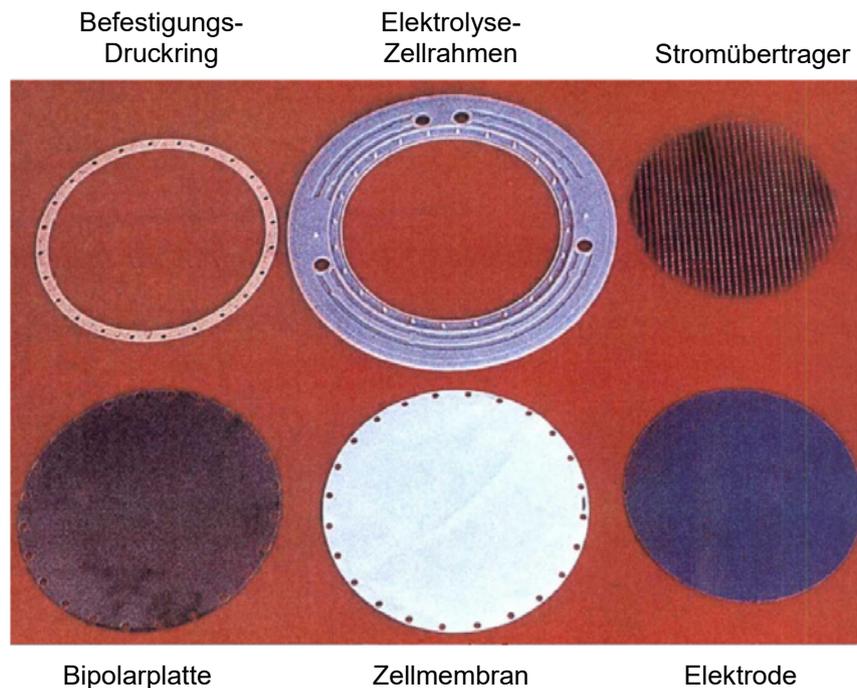


Abb. 3: Komponenten einer Druckelektrolysezelle; Quelle: H2Nitidor, Italien.

Die Gasproduktionselektroden müssen aus leitfähigem Material mit den notwendigen katalytischen Eigenschaften je nach Elektrolyseurtyp (Alkalischer oder PEM-Elektrolyseur) und nach Polarität (Kathoden- oder Anodenseite) sein. Falls auf die Elektroden noch katalytisch aktive Beschichtungen aufgebracht werden müssen, ist auch auf die Mindestdicke abhängig vom Beschichtungsprozess und auf ausreichende Lochdurchmesser zu achten.

Als Stromübertrager zwischen Bipolarplatte und Gaselektroden kommen je nach Elektrolyseur sogenannte Streckmetallbleche vergleichbar dünnen Elektrodenblechen, Metallgestricke und dünne Drahtgewebe bei alkalischen bzw. Graphitfasergewebe oder Graphit-Lochplatten bei PEM-Elektrolyseuren zum Einsatz.

Die Zellmembran muss dieselben Beständigkeitseigenschaften haben wie die vorgenannten Bauteile. Jedoch muss die Membran in einer alkalischen Zelle, entweder mit Kalilauge durchtränkbar sein oder auf andere Weise  $\text{OH}^-$ -ionenleitfähig sein. Die Membran muss eine hohe mechanische Zähigkeit haben, damit die Elektroden von beiden Seiten aufgepresst werden können. Zusätzlich ist eine möglichst hohe Temperaturbeständigkeit gefordert. Eine ganze Reihe von Kunststoffmaterialien und auch Naturstoffen wie Wollfilz sind als Membranen geeignet.

Die Bipolarplatte muss eine durchgängig gasdichte Platte sein und entspricht bezüglich ihrer elektrochemischen Beständigkeits- und Leitfähigkeits-Eigenschaften den Elektroden.

Zellblöcke werden aus identischen, geschichteten Bauteilen mit 5 bis 350 Zellen pro Block zusammengesetzt. Elektrolyseblöcke für den Flüssigkeits-Naturumlauf ohne Pumpe haben üblicherweise eine wesentlich geringere Zellenzahl als gepumpte Elektrolyseblöcke. Abb. 4 zeigt als 3D-Zeichnungsmodell den schematischen Aufbau eines Zellenstapels für den Druckbetrieb aus Zellkomponenten wie sie in Abb. 3 gezeigt sind.

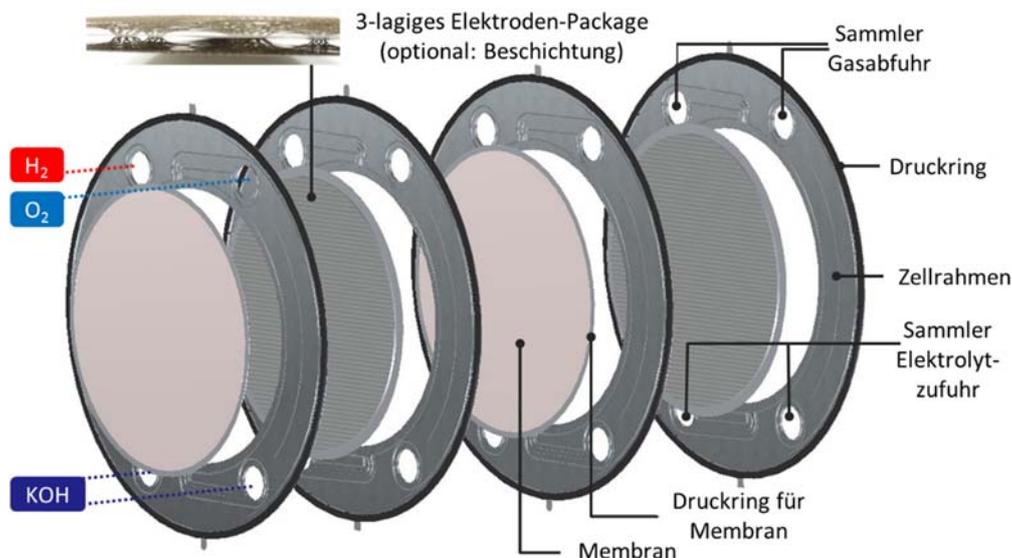


Abb. 4: Bauelemente eines alkalischen Druckelektrolyseblocks des ZSW - schematischer Zellenstapel-Aufbau mit lose geschichteten Zellkomponenten

Die Schichtung loser Zellkomponenten zu einem Stapel ergibt noch keinen flüssigkeits- und druckdichten, funktionsfähigen Elektrolyseblock fertig für den Anschluss von Rohrleitungen und elektrischen Leistungskabeln. Der anoden- und kathodenseitige Abschluss eines Elektrolyseblocks wird üblicherweise mit je einer metallischen druckfesten Endplatte hergestellt. Zum einen können daran die Leistungskabel angeschlossen werden. Andererseits können die Endplatten auch mit den Rohrverbindern für die externen Produktgas-, Elektrolyt- und Kühlleitungen versehen werden. Die Endplatten und die Zellen werden zumeist mit einer Zuganker-Federpaket-Kombination gleichmäßig mechanisch verspannt, um den sicheren elektrischen Kontakt und die interne und externe Dichtigkeit zu gewährleisten

Abb. 5 zeigt das Beispiel eines 63-zelligen Druckelektrolyseblocks mit 0,27 m<sup>2</sup> Elektrodenfläche. Er ist aus Komponenten zusammengesetzt, die denen in Abb. 4 gleichen.

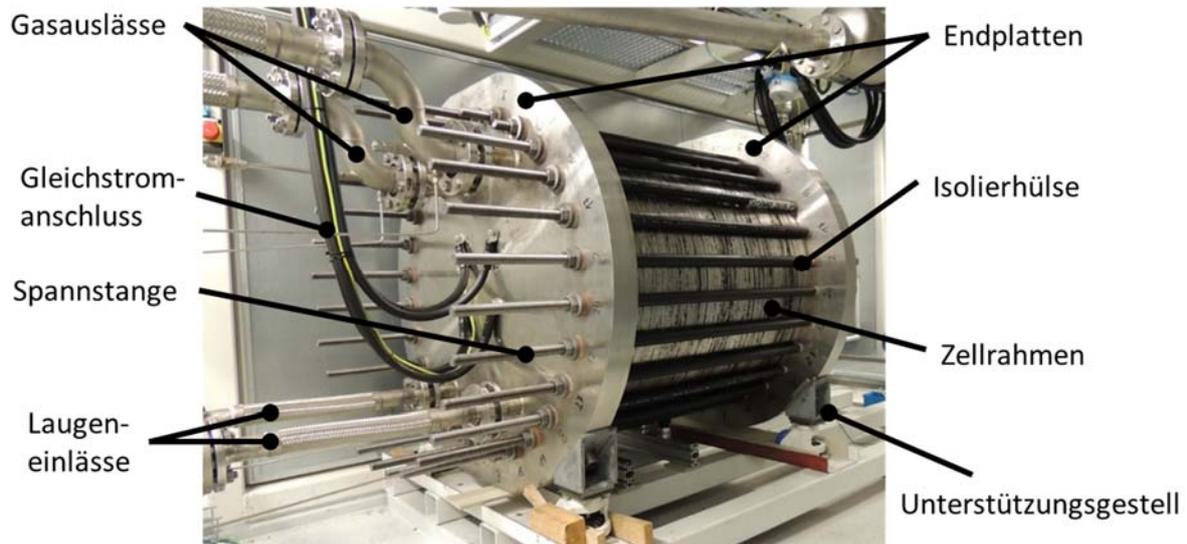


Abb. 5: 63-zelliger Druckelektrolyseblock für den dynamischen Solarbetrieb; Quelle: A. Brinner, ZSW

Die sichtbare Druck-Endplatte ist die Block-Kathodenseite mit den mittig angeordneten 4 Anschlussbolzen für die Leistungskabel des Minuspols. Die oberen Flansche sind die Anschlüsse der Produktgasleitungen. Die beiden unteren Flanschverbindungen sind die Zuläufe des Elektrolyt-Kreislaufs.