

Die elektrolytische Wasserstoffherstellung in der Industrie

VON B. STORSAND

Oberingenieur der Maschinenfabrik Oerlikon

Einleitung

Die elektrolytische Herstellung von Wasserstoff bietet eine Reihe Vorteile gegenüber den auf chemischem oder thermo-chemischem Wege basierenden Methoden. Vor allem ist das elektrolytisch erzeugte Gas sehr rein — in heutigen Elektrolysen werden Gasreinheiten von 99,9—100 % H_2 erreicht — und es sind keine Spuren von Schwefel oder Kohlenoxyd, zwei für Synthesenanlagen sehr unerwünschte Katalysatorenstoffe, vorhanden.

Die Bedienung der Anlagen ist einfach und sauber

und die Produktion ist eine kontinuierliche. Dazu kommt, daß sowohl die Anlagekosten, Errichtungskosten wie der Platzbedarf moderner Elektrolyseanlagen sehr günstig sind.

Die wesentlichsten Unkosten bei der elektrolytischen Wasserstoffherstellung fallen auf die für die Elektrolyse aufgewendete Energie, indem pro Normalkubikmeter Wasserstoff 4,5—5,5 kWh Gleichstromenergie benötigt werden.

Es ist somit verständlich, daß die großen Wasserstoffelektrolysen vor allem in Ländern mit billiger hydroelektrischer Energie gebaut werden.

Heute bildet der Elektrolytwasserstoff in diesen Ländern in der Stickstoffindustrie die Grundlage der Ammoniaksynthese. Aus Luftstickstoff und Wasserstoff wird Ammoniak hergestellt, das wieder als Basis für eine große Menge Stickstoffprodukte für die Industrie und Landwirtschaft dient.

Salpetersäure, Ammoniumverbindungen, Kunstdünger, Sprengstoffe und neuerdings eine Reihe Kunststoffe werden auf diesem Wege erzeugt.

Aber auch in der allgemein chemischen Industrie besteht nach reinem und billigem Wasserstoff eine große Nachfrage, die zur Erstellung einer Reihe Elektrolyseanlagen kleinerer und mittlerer Größe geführt hat.

In der Fetthärtungsindustrie dient der Elektrolytwasserstoff der Veredelung von organischen Ölen, wie Walfischtran, Fischöl, Pflanzenöle usw., zur Erzeugung hochwertiger Industrie- und Speisefette.

In der Metallurgie wird der Wasserstoff zu Reduktionszwecken bei der Herstellung von Schwermetallen wie Wolfram, Molybdän usw. verwendet und dient außerdem als Schutzgas bei der Wärmebehandlung von Spezialstählen.

Die Erzverhüttung mittels Wasserstoff ist zurzeit in Entwicklung begriffen und bietet interessante Aussichten für die Herstellung von hochwertigem Eisen direkt aus den Erzen.

Die synthetische Herstellung von flüssigen Motor-treibstoffen erwies sich insbesondere während des Krieges als außerordentlich wertvoll für die Versorgung unserer Transportmittel und der Armee.

Obwohl die Kosten synthetischer Brennstoffe heute noch wesentlich höher liegen als die auf der Rohölbasis gewonnenen, scheint es doch durchaus möglich, daß dies nicht immer so bleiben wird.

Die ständige Zunahme des Verbrauches an flüssigen Brennstoffen — in Verbindung mit den doch einigermaßen begrenzten Weltvorräten dieser wertvollen Stoffe — wird mit der Zeit wohl dazu führen müssen, daß deren Preise steigen.

Andererseits werden die verbesserten Synthesemethoden eine Verbilligung der aus Wasserstoff und Kohle direkt erzeugten Kohlenwasserstoffe ermöglichen, so daß einmal — und wahrscheinlich nicht einmal in allzuferner Zukunft — die Kohlenwasserstoffherstellung mit billiger hydroelektrischer Energie und entsprechend geeigneter Kohle von wirtschaftlichem Interesse sein wird.

Technische Grundlagen

Die Spaltung des Wassers durch den elektrischen Strom wurde uns in der Schule mittels des Knallgasvoltameters (Abb. 1) vordemonstriert.

Die mengenmäßigen Verhältnisse ergaben sich aus dem FARADAYSchen Gesetz, wonach 96500 Ampere-skunden 1 Grammäquivalent Wasserstoff (1,008 g H₂) bzw. Sauerstoff (8,000 g O₂) abscheidet.

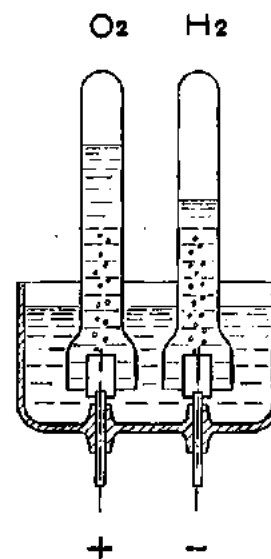


Abb. 1

Schematische Darstellung eines Knallgasvoltameters

Die Erklärung dieser Gesetzmäßigkeit fanden wir im Zusammenhang der Anzahl Atome bzw. Moleküle pro Grammatom bzw. Grammmolekül, $N = 6,1 \cdot 10^{23}$ — und der Einheitsladung des elektrischen Elementarquantums $e = 1,58 \cdot 10^{-19}$ As — indem $N \cdot e = 96500$ As.

Unter Berücksichtigung des spezifischen Gewichtes von Wasserstoff 0,08987 g/Liter — ergibt sich, daß 2,39 Ah benötigt werden, um 1 Liter H₂ bei 0 °C und 760 mm Hg elektrolytisch abzuspalten.

In der Technik rechnet man praktisch mit 2400 Ah pro Normalkubikmeter H₂ bei 0 °C und 760 mm Hg.

Währenddem somit das Verhältnis zwischen der für die Elektrolyse benötigten Strommenge und der erzeugten Gasmenge klar liegt, ist dies bei der Betrachtung der für die Spaltung benötigten Energie nicht ganz so einfach.

Aus der oberen Verbrennungswärme des Wasserstoffes (3050 g cal/Liter) und der oben angegebenen für die Abspaltung benötigten Strommenge ergibt sich aus der Energiobilanz die für den Prozeß benötigte Spannung e_0 :

$$e_0 \cdot 2,39 \text{ Ah} \cdot 860 \text{ g cal/Wh} = 3050 \text{ cal}$$

$$e_0 = \frac{3050}{2,39 \cdot 860} = 1,48 \text{ V.}$$

Mit dieser Spannung sollte demgemäß die Abspaltung gasförmigen Wasserstoffes und Sauerstoffes bei der Elektrolyse möglich sein, währenddem theoretisch schon bei 1,23 V die Zersetzung des Wassers ohne Freigabe der Gase, entsprechend der sogenannten unteren Verbrennungswärme, möglich sein sollte. Leider ist dies praktisch nicht der Fall, indem erst bei 1,6—1,7 V die Gasbildung an den Elektroden eines Elektrolyseurs anfängt. Der Mehrwert dieser praktisch festgestellten Zersetzungsspannung gegenüber dem theoretisch bedingten

Wert von $e_0 = 1,48 \text{ V}$ — die sogenannte Überspannung — wird zur besseren Beurteilung in eine kathodische und eine anodische Überspannung aufgeteilt. Die Überspannung ist vom Elektrodenmaterial, Elektrolyten, Temperatur desselben und von der Feringebung und Ausbildung der Elektroden abhängig. Zu der praktischen Zersetzungsspannung kommt noch der Ohmsche Spannungsabfall in den Elektroden selbst und im Elektrolyten zwischen den Elektroden.

Die Zellenspannung e_z kann somit wie folgt erlaßt werden:

$$e_z = 1,48 \text{ V} + e_{KA} + e_{AK} + I \cdot R,$$

wobei I der totale Zellenstrom und R der resultierende totale Zellenwiderstand ist. Da R bei einem gegebenen Elektrolyten außer von der Temperatur und Konzentration auch von der Menge der darin suspendierten Gasblasen und somit von der Strombelastung und der Anordnung der Zellen abhängt, ist dieser Wert rechnerisch schwer zu ermitteln und muß für jede Konstruktion experimentell erlaßt werden.

Weiter scheint es, daß sowohl die Überspannungen wie der Widerstandswert mit der Betriebszeit der Zelle zunehmen. Wird aber die Zelle abgestellt, «erholt» sich dieselbe teilweise, und beim Wiederanfahren erhält man eine niedrigere Zellenspannung als bei der Abstellung. Es kann somit von Vorteil sein, bei einer großen Anlage einen Teil der Elektrolyse wechselweise abzustellen, um damit eine tiefere Zellenspannung und einen günstigeren Energieverbrauch zu erzielen.

Wird bei der Abstellung die Stromrichtung umgekehrt, erfolgt die «Erholung» der Zellen rascher, nur ist die damit verbundene Gefahr der Knallgasbildung für den Betrieb unerwünscht.

Man kann jedoch die Umpolarisierung mit einer Spannung unter $1,48 \text{ V/Zelle}$ erfolgen lassen, bei welcher Spannung sich auch keine Gase entwickeln, wobei der oben erwähnte Nachteil größtenteils vermieden wird.

Die Ursachen der kathodischen und anodischen Überspannungen sind noch nicht völlig aufgeklärt — und man ist, wie es bei den Werten des Zellenwiderstandes der Fall ist, weitgehend auf die Resultate von Versuchen mit verschiedenen Materialien für Elektroden und Elektrolyt angewiesen. Daß die Zwischenvorgänge bei der Elektrolyse — die Abscheidung des Kations und Anions (z. B. $\text{K}^+ - [\text{OH}]^-$) an den Elektrodenoberflächen und die Reaktion derselben mit dem Wasser zur Bildung von H_2 und KOH an der Kathode und O_2 und H_2O an der Anode, und die damit erzeugten Konzentrationsdifferenzen, sowie die Lösungsstendenz, insbesondere des atomaren Wasserstoffes im Elektrodenmaterial — hier eine wichtige Rolle spielen, muß als sehr wahrscheinlich betrachtet werden.

Eine gründliche, theoretische, zahlenmäßige, exakte Abklärung der verschiedenen Vorgänge an den Elektroden bei der Elektrolyse würde hier sicher wertvolle Resultate zeitigen und für die weitere Entwicklung der technischen Elektrolysen von großer Bedeutung sein.

Um sich über die Vorgänge an den Elektroden ein direkt sichtbares Bild machen zu können, hat sie der Verfasser unter dem Mikroskop beobachtet und auch im Film festgehalten. Als Elektroden dienten zwei feine Nadelspitzen, die sich in einer 10prozentigen SodaaLösung befanden und unter dem Mikroskop in 50—100facher Vergrößerung betrachtet wurden.

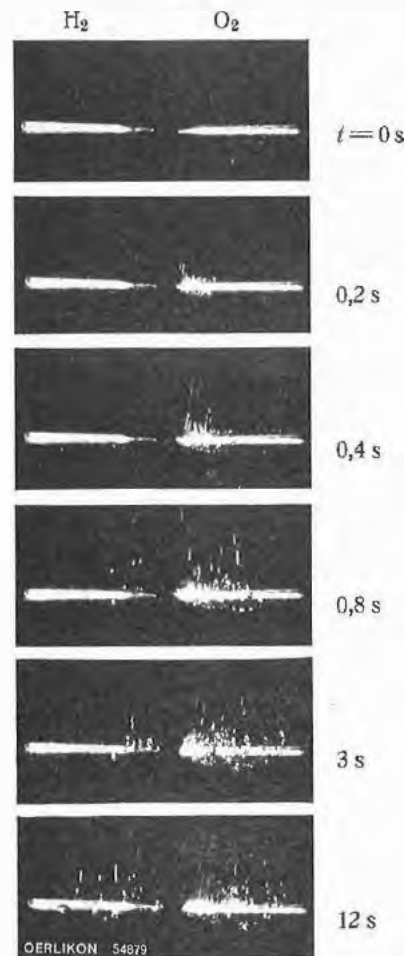


Abb. 2. Wasserstoff und Sauerstoffentwicklung während des Einschaltvorganges an Nadelelektroden (Filmaufnahme H. TRÄBER, Heerbrugg)

Abb. 2 zeigt einige Bilder eines solchen Filmstreifens und zwar vom Moment des Einschaltens an nach 0, 0,2, 0,8, 3, 10 und 12 s.

Auffallend ist, daß die Gasbildung an der Anode sofort einsetzt — in Form feinsten Blases —, während an der Kathode zuerst keine Gasbildung ersichtlich ist. Erst nach einigen Sekunden fängt diese an, und man erhält den Eindruck, daß das Gas nicht gleichmäßig über die ganze Oberfläche entwickelt wird, sondern aus dem Material an he-

stimmten Stellen herausquillt unter Bildung sehr großer Blasen. — Die Erklärung dieser Beobachtung ergibt sich aus dem an und für sich bekannten Vorgang, wobei der atomar abgeschiedene Wasserstoff sich zuerst im Eisen der Kathode löst und erst nach Sättigung desselben aus dem Material in molekularer Form herausquillt.

Wir begegnen diesem Phänomen an mehreren Orten in der Elektrolyse, u. a. in der sogenannten Wasserstoffbrüchigkeit von gewissen Konstruktionsteilen, die geschlossene Hohlräume im Strukturbild aufweisen, vor allem bei Teilen, die einer Kaltreckung und damit einer Bildung interkristalliner Hohlräume im Gefüge ausgesetzt waren (Schweißen!). Der sich im Metall atomar lösende Wasserstoff tritt leider nicht nur an der äußeren Oberfläche in molekularer Form aus dem Material heraus, sondern auch in den verschiedenen kleinen und kleinsten Hohlräumen des Metalls. Wenn man überlegt, daß die Wärmeerhöhung beim Übergang vom atomaren zum molekularen Wasserstoff gleicher Größenordnung ist wie die Verbrennungswärme, läßt sich ein theoretischer Gegendruck errechnen, bei welchem dieser Vorgang im Gleichgewicht bleibt.

Dieser Druck ergibt sich in der Größenordnung zu mehr als 10 000 Atm., ein Druck, der die Zerstörung der Metalle durch die «Wasserstoffbrüchigkeit» wohl erklären kann.

Es ist deshalb bei der Herstellung von Elektrolyseuren den einzelnen Teilen größte Sorgfalt zu widmen und überall, wo die Gefahr der Wasserstoffbrüchigkeit vorliegt, dieser durch geeignete Gegenmaßnahmen zu begegnen. Außer der Wasserstoffbrüchigkeit sind bei der Elektrolyse die Korrosionserscheinungen an den Elektroden, Zellenrahmen, Gas- und Laugenleitungen usw. durch Wahl geeigneter Materialien und Konstruktion zu eliminieren. Während bei der alkalischen Elektrolyse die Kathode und alle kathodisch polarisierten Teile aus gewöhnlichem Eisen hergestellt werden können, müssen die Anoden und alle anodisch beanspruchten Teile durch geeignete Schutzmaßnahmen gegen die Korrosionszerstörungen geschützt werden.

Eine sorgfältig nach einem Spezialverfahren niedergeschlagene und geprüfte Nickelschicht sichert allen diesen Teilen eine praktisch unbegrenzte Lebensdauer. Durch forcierte Umwälzung des Elektrolyten werden alle örtlichen Konzentrationszunahmen, die zu erhöhten Beanspruchungen führen können, verhindert.

Technische Ausführung

Die in Abb. 1 gezeigte Form einer elektrolytischen Zelle ist für die praktische Anwendung nicht brauchbar, da die Belastbarkeit zu klein und die Spannungsabfälle zu groß wären, um eine wirtschaftliche Elektrolyse zu ermöglichen.

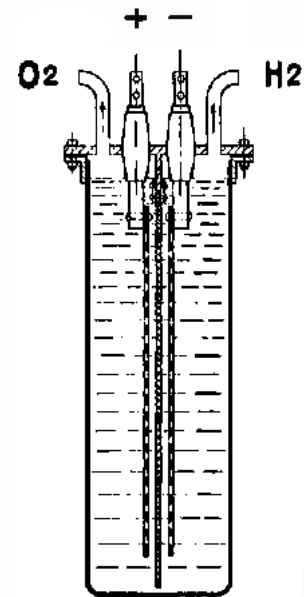


Abb. 3 Unipolarelektrolyseur

Man muß, um technisch brauchbare Elektrolyseure zu erhalten, die Elektrodenflächen so nahe wie möglich aneinander bringen, ohne die Zufuhr des Elektrolyten zur aktiven Oberfläche und ohne die Abfuhr der gebildeten Gase zu verunmöglichen. Damit sich aber die Gase der sehr nahe gegenüberstehenden Elektroden nicht vermischen, werden die Elektroden durch ein Diaphragma — heute meistens aus einem hochwertigen Asbestgewebe bestehend, unter Umständen mit eingesponnenen und eingewohlenen Verstärkungsdrähten aus Nickel — voneinander getrennt. Als Elektrolyt findet heute meistens eine KOH-Lösung von 24 % Verwendung. Obwohl auch eine NaOH-Lösung von 18 % als Elektrolyt verwendbar ist, entstehen infolge höherer Zellenspannungen und erhöhter Angriffe der Isolier- und Packungsmaterialien ungünstigere Betriebsverhältnisse als mit der KOH-Lösung.

Werden die Elektroden in je einem Behälter pro Zelle untergebracht, so entstehen sogenannte Trogzellen oder Unipolarzellen (Abb. 3). Diese Bauart bietet gewisse Vorteile in bezug auf niedrige Her-

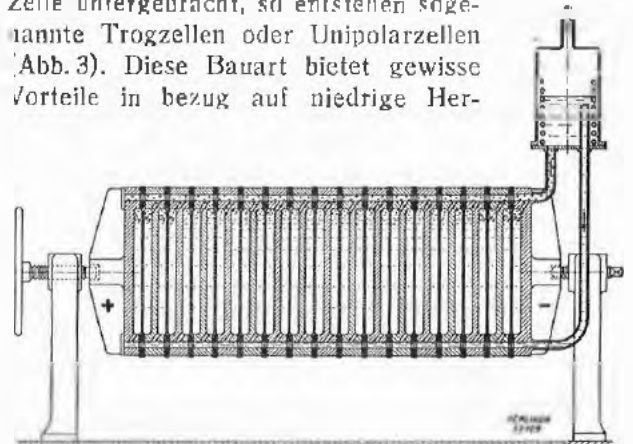


Abb. 4

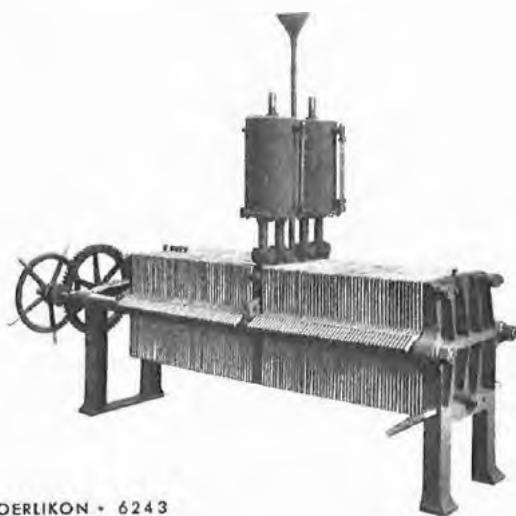
Schnittzeichnung eines Oerlikon-Schmitt-Elektrolyseurs

stellungskosten der Zellen selber, und stellt keine großen Anforderungen an die Fabrikationseinrichtungen des Herstellers. Andererseits ist der Materialaufwand sowohl für die Zellen selber wie für die elektrischen Verbindungen, die Gasleitungen, Spelwasserleitungen, Kühlanlagen und für die Elektrolytfüllung sehr groß. Da auch der Platzbedarf derartiger Zellen und damit die Gebäudekosten, insbesondere für Großanlagen, hoch sind, werden bei den heutigen Installationen meistens sogenannte Bipolar- oder Filterpresszellen verwendet, die weitgehend alle diese Mängel vermeiden, jedoch an die Herstellung größere Ansprüche stellen.

Die Bipolarzelle wurde vor ungefähr fünfzig Jahren durch den sogenannten Oerlikon-Schmidt-Elektrolyseur (Abb. 4 und 5) in die Industrie eingeführt und hat durch ihre Einfachheit und Zuverlässigkeit eine sehr große Verbreitung gefunden.

Es ist von Interesse festzustellen, daß der Oerlikon-Elektrolyseur, der in den Jahren 1902—1920 in mehr als vierhundert Exemplaren über die ganze Welt Verbreitung fand, schon damals eine Reihe der wesentlichen Merkmale der späteren Bipolar-konstruktionen aufwies.

Das Prinzip der Filterpressenbauart mit isolierenden Dichtungen zwischen den Elektroden und den Diaphragmen ist heute noch die Grundanordnung aller Bipolarelektrolyseure. Geändert hat sich bei einigen Konstruktionen die Gasabscheidung und die Zufuhr des Elektrolyten, die bei den Oerlikon-Elektrolyseuren durch Längskanäle in den Elektrodenplatten und Dichtungen erfolgte. Weiter konnte durch die Einführung von meistens perforierten Vorelektroden die spezifische Belastbarkeit der Elektrolyseure um ein Mehrfaches erhöht werden.



OERLIKON - 6243

Abb. 5

Oerlikon-SCHMIDT-Elektrolyseur aus dem Jahre 1905

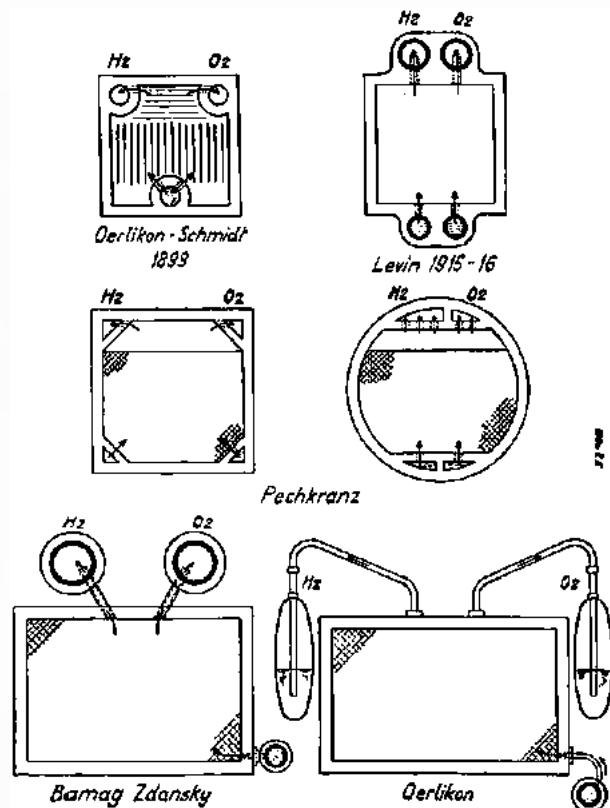


Abb. 6. Entwicklung der verschiedenen Typen von Bipolarelektrolyseuren

Abb. 6 gibt eine schematische Übersicht über die Entwicklung der Konstruktion von Bipolarelektrolyseuren anhand einiger bekannter Ausführungen.

LEVIN (USA) gab im Jahre 1915 die Verbesserung der Gasreinheit durch Isoliereinlagen in den Laugen- und Gaskanälen bekannt und verlegte gleichzeitig die Längskanäle über bzw. unter die Elektrodenflächen.

PECHKRANZ (Soc Hydroxygène, Genf) führte das perforierte Nickeldiaphragma ein und entwickelte einen Elektrolyseur, der heute noch in verbesserter Ausführung — in einigen der größten Stickstoffwerken der Welt Verwendung findet.

ZDANSKY (Bannag) entwickelte sehr große Einheiten mit außenliegenden Gas- und Laugenkanälen, die gute Betriebsergebnisse ergaben.

Oerlikon griff ungefähr 1935 die Konstruktion der Elektrolyseure — die während etwa fünfzehn Jahren zugunsten anderer Produktionszweige fallengelassen wurde — wieder auf und entwickelte einen Bipolarelektrolyseur ohne längsgehende Gaskanäle, der in bezug auf Herstellung, Montage und Betriebseigenschaften eine Reihe von Vorteilen aufweist.

Grundidee bildete die banliche Trennung des Elektrolyseurzellenblockes von den Gasableitungen und den Laugenzufuhrleitungen, wodurch eine sehr einfache Montage und Herstellung, und vor allem eine Erleichterung der Unterhalts- und Revisionsarbeiten erzielt wurde.

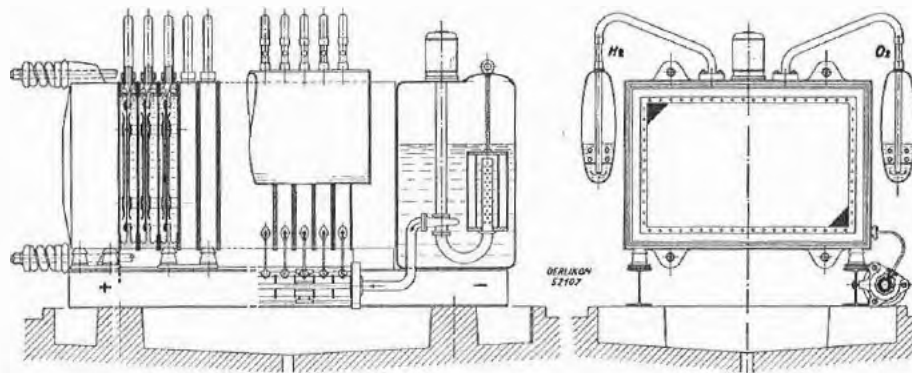


Abb. 7
Schnittzeichnung
eines Oerlikon-Elektrolyseurs

52107/108

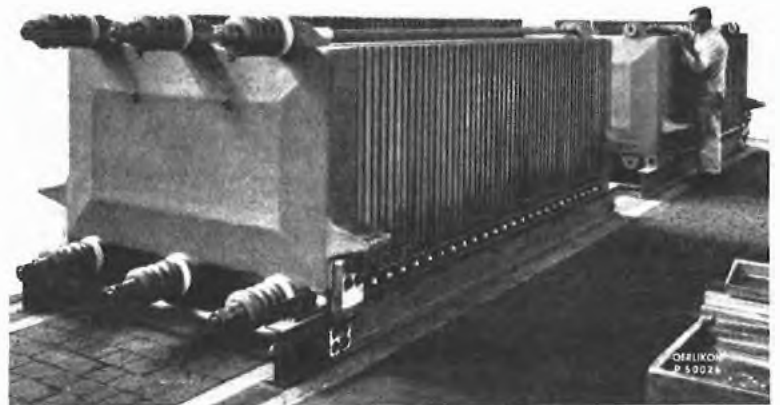


Abb. 8. Oerlikon-Elektrolyseurblock
in Montage

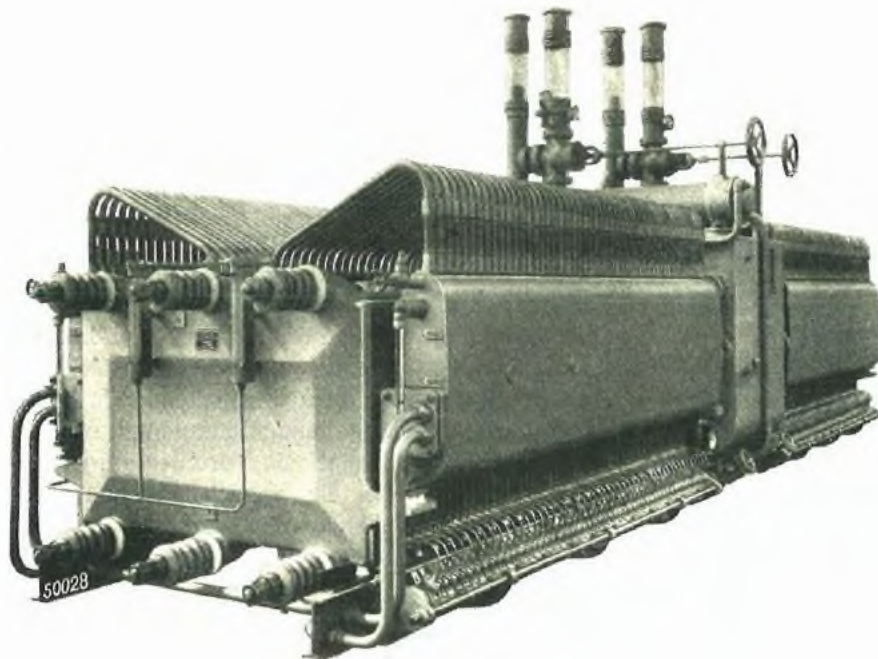


Abb. 9. Oerlikon-Elektrolyseur
fertig montiert

Elektrolyseur darstellen. Dieser Typ wird heute in praktisch jeder Größe von 1–500 m³ H₂/Std. hergestellt. Abb. 10 zeigt einen kleinen Elektrolyseur, 4 m³ H₂/Std., für Laboratorien und kleinere Anlagen.

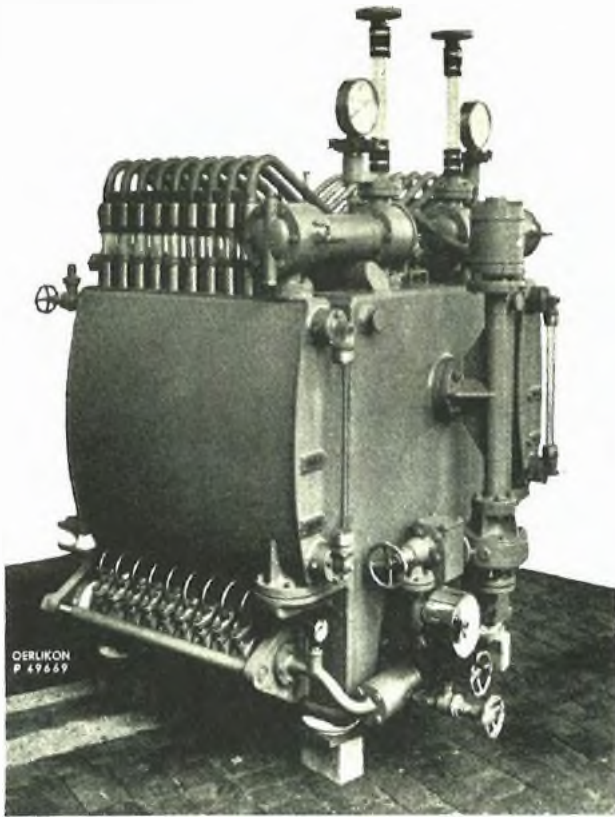


Abb. 10. Oerlikon-Kleinelektrolyseur für 4 m³ H₂/Std.

Abb. 7 zeigt einen kleineren Oerlikon-Elektrolyseur im Schnitt, währenddem Abb. 8 einen Oerlikon-Elektrolyseurblock in Montage und Abb. 9 den fertigen

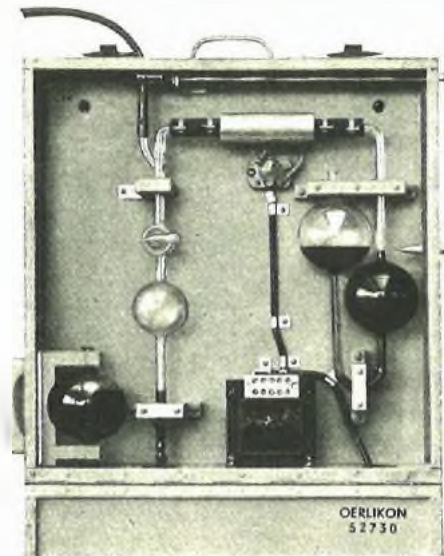


Abb. 12. Gasanalysenapparat für H₂ und O.

Die Oerlikon-Elektrolyseure besitzen eine mittels Umwälzpumpe erzwungene Laugenzirkulation und weisen großdimensionierte, im Betrieb leicht zu reinigende Elektrolytfilter auf.

Abb. 11 zeigt die Ansicht einer Oerlikon-Elektrolyseuranlage in einem Stickstoffwerk.

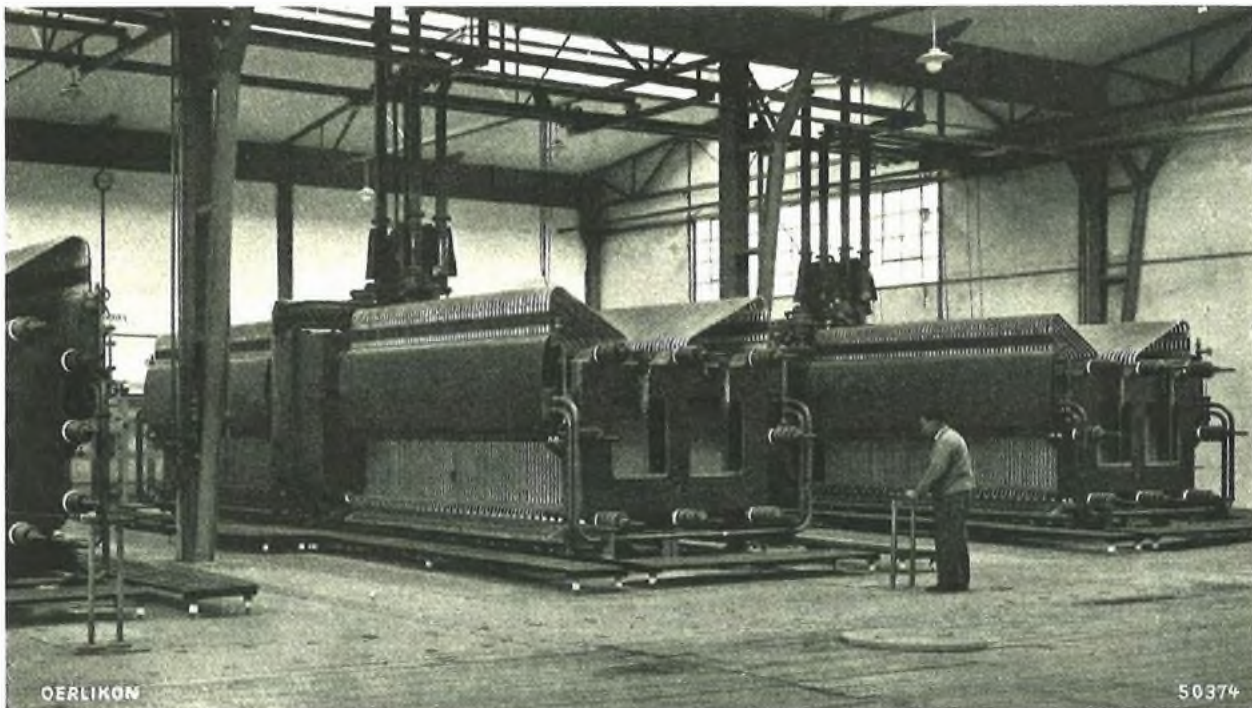


Abb. 11. Oerlikon-Elektrolyseure in einem Stickstoffwerk

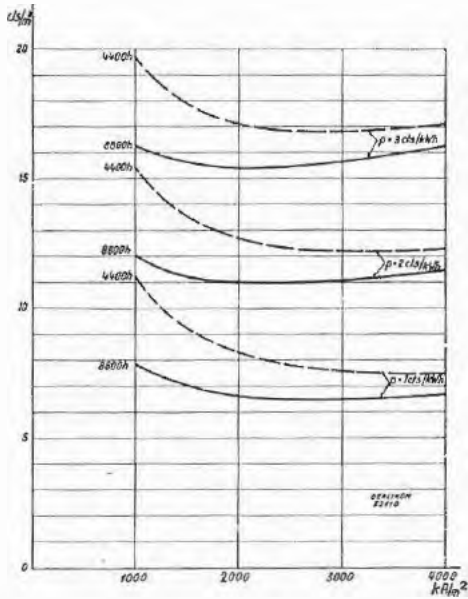


Abb. 13. Erzeugungskosten für Wasserstoff in Abhängigkeit der spezifischen Elektrodenbelastung

Die Reinheit des erzeugten Wasserstoffes erreicht durchwegs 99,8–100 %, während die Sauerstoffreinheit etwa 99,6–99,8 % beträgt.

Die Messung der Gasreinheit erfolgt in einem

Verbrennungsanalysenapparat mit Palladiummasse als Katalysator (Abb. 12).

Die Zellenspannung der Oerlikon-Elektrolyseure liegt, je nach Typ und Beanspruchung, zwischen 2,1–2,3 V, wobei es eine Frage der Stromkosten, der jährlichen Betriebsdauer und der Anlage- und Unterhaltskosten ist, welche Belastung die günstigsten Wasserstoffkosten ergibt. Abb. 13 zeigt typische Kurven, welche die Kosten des erzeugten Wasserstoffes in Funktion der spezifischen Elektrodenbelastung der Elektrolyseure darstellen.

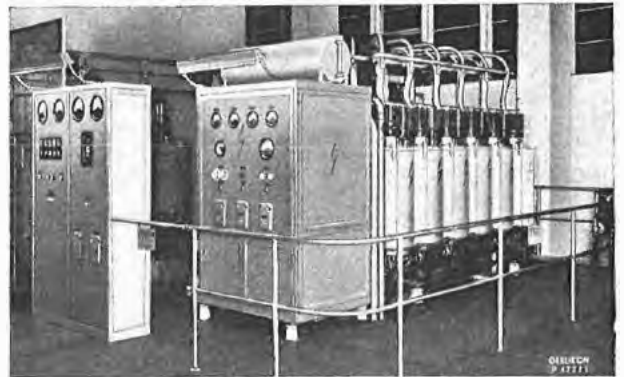


Abb. 14. 8000-Ampere-Oerlikon-Einanecken-Gleichrichtergruppe für die Speisung einer Elektrolysenanlage

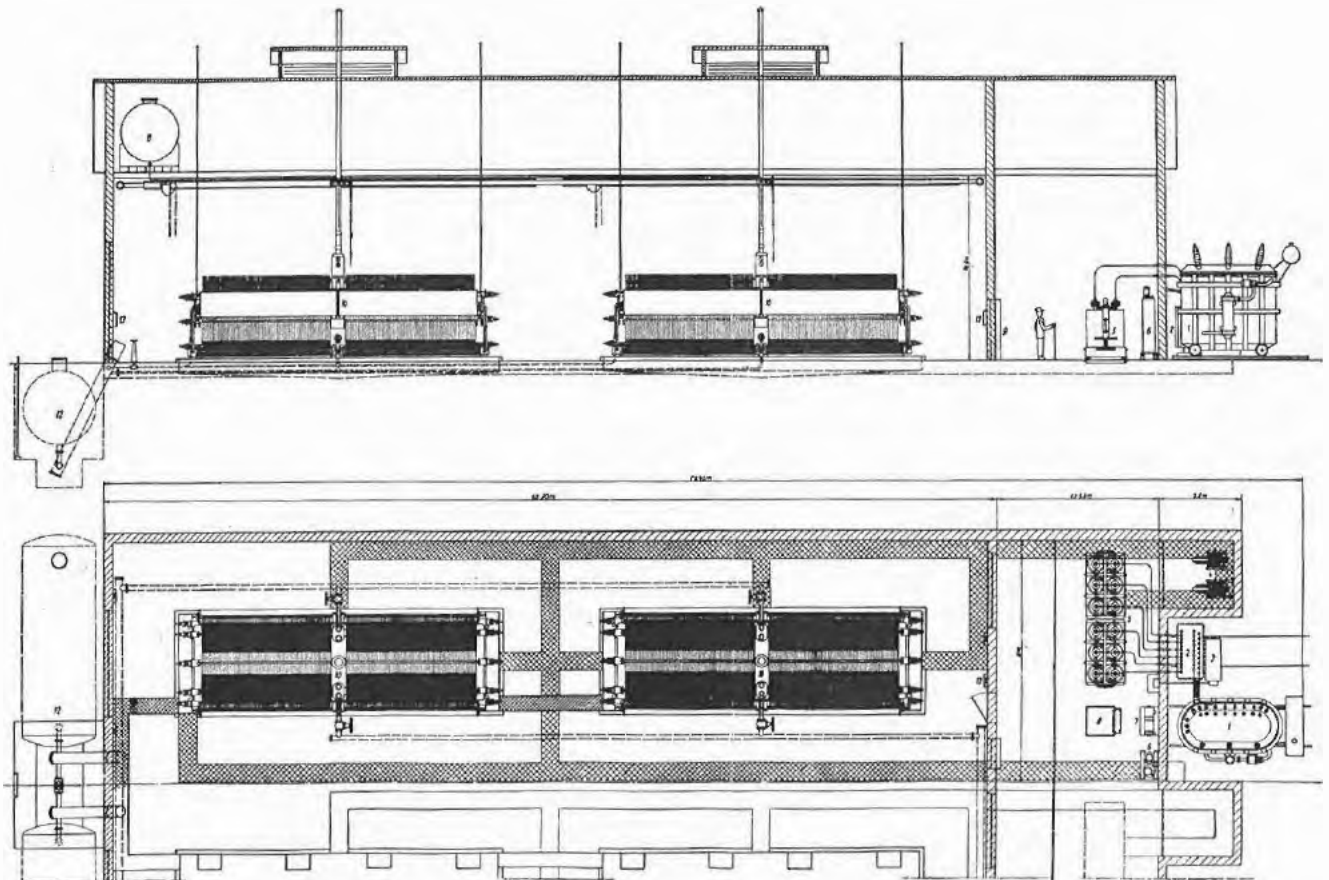


Abb. 15. 5000-kW-Elektrolyseanlage mit Gleichrichteranlage

Stromversorgung

Die Stromversorgung der Wasserstoffelektrolysen erfolgt heute für größere Anlagen fast durchwegs mittels Hg-Dampf-Gleichrichter. Für die Hochstrom-Gleichrichter mit Strömen von 8—10 000 A pro Einheit hat die Maschinenfabrik Oerlikon seit Jahren mit Erfolg die Einanodenbauart verwendet.

Abb. 14 zeigt die erste von Oerlikon im Jahre 1943 gelieferte 8000-A-Einanodengruppe für eine Wasserstoffanlage in der Stickstoffindustrie.

Heute werden Einheiten von 5000 kW — bestehend aus einer 12-Anoden-Gleichrichtergruppe für 8000 A 625 V und zwei Elektrolyseuren, jede für 2500 kW in Serie — als die wirtschaftlichsten und kompaktesten Einheiten vorgeschlagen (Abb. 15).

Für kleinere und mittlere Anlagen werden heute meistens Umformergruppen aufgestellt, die sich durch kleinen Platzbedarf und geringe Wartungs- und Unterhaltskosten auszeichnen.

Entwicklungstendenzen

Die Forschungen auf dem Gebiete der Elektrolyseure für Wasserstoffherstellung bezwecken alle eine weitere Steigerung ihrer Wirtschaftlichkeit. Senkung der Gewichte, der Anlage- und Unterhaltskosten und vor allem Reduktion der Zellenspannung sind die Bestrebungen aller Konstrukteure. Da die praktisch erzielten Zellenspannungen von 2—2,5 V noch wesentlich über dem theoretisch möglichen Minimum von 1,48 V liegen, bleibt hier sicher Raum für weitere Verbesserungen.

Die Aufgabe, bei Elektrodenbelastungen von 2—3000 A/m² Zellenspannungen von unter 2 V zu erzielen, ist wohl zurzeit noch nicht gelöst, sollte aber mit den vereinigten Kräften von Wissenschaft und Technik wohl lösbar sein. Die wirtschaftliche Bedeutung einer solchen Verbesserung läßt sich am besten beurteilen, wenn man überlegt, daß bei einem

jährlichen Energieaufwand von etwa 300 Mill. kWh in der Schweiz für die Wasserstoffelektrolyse eine Reduktion der Zellenspannung von 10 % eine jährliche Energieersparnis von 30 Mill. kWh bedeuten würde.

Der von einigen Konstrukteuren zu diesem Ziel befürwortete Weg über die Druckelektrolyse scheint jedoch bis anhin nicht den erhofften Gewinn an Zellenspannung und Anlagekosten zu bringen und bildet dazu für die Anlagen noch ein wesentliches Gefahrenmoment.

Nach Dafürhalten des Verfassers liegt die Lösung eher in einer konstruktiv vorteilhaften Ausbildung der Elektroden und der Zellen selber, in Verbindung mit geeigneter Materialwahl für die Elektroden und der Diaphragmen, wobei vor allem das Augenmerk auf die Einfachheit und die Betriebssicherheit der Elektrolyseure zu richten ist.

Erschwert wird das Problem dadurch, daß erfahrungsgemäß eine Beurteilung der Wirksamkeit einer bestimmten Maßnahme nicht aus einem Laboratoriumsversuch möglich ist, sondern erst der Betriebsversuch in vollem Maßstabe, über längere Zeit, die verlangten Auskünfte gibt.

Unter Berücksichtigung des Energiebedarfs eines Gro ßelektrolyseurs, der jährlich 10—20 Mill. kWh pro Einheit verbraucht, ersieht man, daß derartige Entwicklungsversuche nur in engster Zusammenarbeit mit der elektro-chemischen Industrie selber möglich sind.

Für die Gewährung dieser Entwicklungsmöglichkeiten, die zu Resultaten führten, welche für beide Parteien, d. h. Hersteller und Verbraucher, von Nutzen waren, sind die Firmen, welche Elektrolyseure herstellen, vor allem der schweizerischen elektro-chemischen Industrie zu Dank verpflichtet, und es wird der Hoffnung Ausdruck gegeben, daß auf diesem Wege der gegenseitigen Anregungen und Mithilfe weitere Fortschritte erzielt werden können.