



# EFFIZIENTERE SAUERSTOFF-PRODUKTION MIT KERAMISCHEN MEMBRANEN

Dr. Ralf Kriegel

Die globale Produktion von Sauerstoff ( $O_2$ ) beträgt derzeit ca. 530 Millionen Tonnen pro Jahr bei einem Umsatz von 34 Milliarden Euro pro Jahr. Über 90 % wird durch kryogene Luftzerlegungsanlagen (Kryo LZA) erzeugt und muss i. d. R. zum Kunden transportiert werden. Zur lokalen Produktion wird die Druckwechseladsorption (PSA – Pressure Swing Adsorption) oder deren Vakuum-Variante (VPSA) eingesetzt. Die  $O_2$ -Reinheit ist meist begrenzt, höhere Reinheiten erfordern mehr Energieeinsatz. Bei hohem  $O_2$ -Bedarf wird der  $O_2$ -Preis vom Energiebedarf dominiert, bei Kleinmengen vom logistischen Aufwand des Transports.

Eine kostengünstige Alternative ist die Erzeugung von reinem  $O_2$  direkt vor Ort mit keramischen Membranen. Das Verfahren basiert auf der gekoppelten Leitfähigkeit der Membranmaterialien für Oxidionen und für elektronische Ladungsträger (Elektronen oder Defektelektronen) bei hoher Temperatur. Diese Membranen werden deshalb auch als MIEC-Membranen (Mixed Ionic Electronic Conductor) bezeichnet. Da nur Oxidionen über die Vakanzen des Kristallgitters transportiert werden, entsteht stets reiner  $O_2$ . Der Energiebedarf des Verfahrens ergibt sich aus dem Wärmebedarf zur Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur und der erforderlichen Kompressionsenergie für die Gasverdichtung. Bei dem am Fraunhofer IKTS entwickelten Vakuumverfahren werden minimal ca. 0,2 kWh/Nm<sup>3</sup>  $O_2$  für die Vakuumpumpe und ca. 0,25 kWh/Nm<sup>3</sup>  $O_2$  für die Beheizung benötigt. Die Anlagentechnik wurde bis in einen Maßstab von 10 Nm<sup>3</sup>/h  $O_2$  pilotiert. Den Vergleich zu den etablierten Verfahren zeigt die nebenstehende Tabelle.

Bei den etablierten Verfahren wird die gesamte Energie als Elektrizität benötigt. MIEC-Membranen können jedoch auch durch Verbrennung von Gas oder mittels Abwärme von Hochtemperaturprozessen beheizt werden. Da der Gaspreis nur ca.

## Verfahrensvergleich bzgl. Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Herstellung von 1 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>

Verfahren	kWh <sub>el</sub> <sup>a</sup>	kWh <sub>th</sub> <sup>b</sup>	€-Ct.	g CO <sub>2</sub>
Kryo LZA	> 0,38		4,1 <sup>a</sup>	290 <sup>c</sup>
PSA	> 0,90 <sup>d</sup>		9,0	540
Vakuum-PSA	> 0,36 <sup>d</sup>		3,6	216
MIEC-Membrananlagen nach Art der Beheizung				
a) elektrisch	> 0,45		4,5	270
b) Gas	> 0,20	0,25	2,6	185
c) Abwärme	> 0,20		2,0	120

<sup>a</sup> 10 Ct/kWh<sub>el</sub>, 600 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>; <sup>b</sup> 2,5 Ct/kWh<sub>th</sub>, 260 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>th</sub>; <sup>c</sup> inkl. Transport; <sup>d</sup> < 95 Vol.-% O<sub>2</sub>

33 bis 25 % des Strompreises beträgt, ergeben sich für entsprechende MIEC-Membrananlagen erhebliche Kostenvorteile. Hinzu kommen die verringerten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die  $O_2$ -Produktion mit MIEC-Membrananlagen, da pro kWh bei der Stromproduktion deutlich mehr CO<sub>2</sub> erzeugt wird als bei der Verbrennung von Gas. MIEC-Membrananlagen können deshalb nutzbringend in Prozessen eingesetzt werden, bei denen die etablierten  $O_2$ -Herstellungsverfahren nicht mehr sinnvoll sind.

- 1 Funktionsprinzip der MIEC-Membrantrennung.
- 2 BSCF-Kapillaren für die  $O_2$ -Produktion.
- 3 CAD-Entwurf eines Geräts mit 10 Nm<sup>3</sup>  $O_2$ /h.