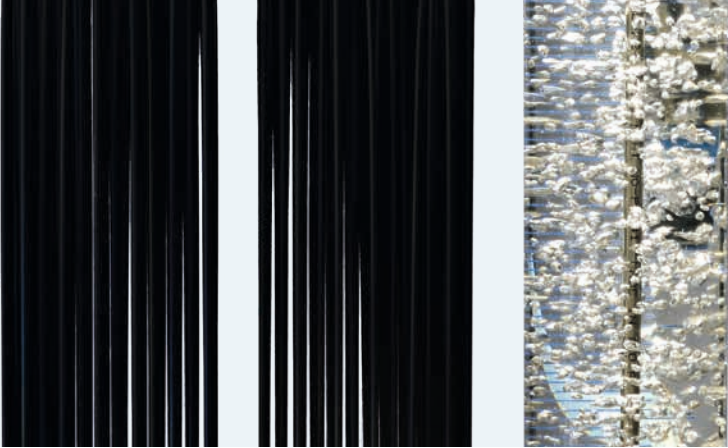




Fraunhofer
IKTS

Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und Systeme IKTS

Dezentrale Sauerstoffproduktion



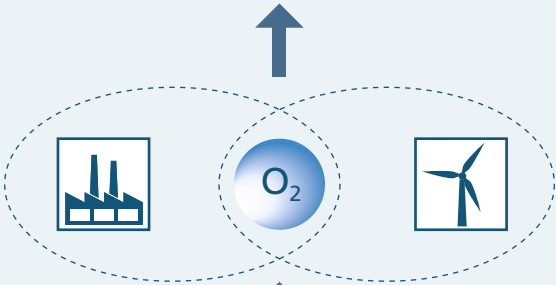
Vorteile der dezentralen Sauerstoffproduktion

Sauerstoff zählt mit einem weltweiten Verbrauch von ca. 500 Mio. Tonnen pro Jahr zu den am häufigsten benötigten Industriegasen. Großtechnisch wird Sauerstoff über die kryogene Luftzerlegung (Kryo LZA) hergestellt und in der Regel zum Kunden transportiert. Der Sauerstoffpreis steigt deshalb für geringe Abnahmemengen stark an. Zur lokalen Produktion wird die Druckwechseladsorption (PSA) oder deren Vakuumvariante (VPSA) eingesetzt. Allerdings ist die O₂-Reinheit dabei auf ca. 93 Vol.-% begrenzt und der hohe Stromverbrauch beeinträchtigt die Wirtschaftlichkeit des O₂-Einsatzes stark.

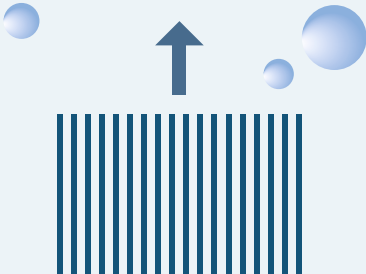
Zur kostengünstigen Sauerstofferzeugung vor Ort entwickelt das Fraunhofer IKTS sauerstoffpermeable keramische Membranen und darauf aufbauend Sauerstoffgeneratoren. Diese sogenannten mischleitenden Membranen (MIEC) benötigen zur Erzeugung von reinem Sauerstoff neben einer hohen Betriebstemperatur lediglich unterschiedliche O₂-Partialdrücke. Der Energiebedarf des Verfahrens ergibt sich demnach aus dem Wärmebedarf zur Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur und der erforderlichen Kompressionsenergie für die Gasverdichtung. Die Anwender der Sauerstoffgeneratoren bleiben unabhängig von Gaslieferanten.

Anwendungsbeispiele

Steigerung Prozesseffizienz
Senkung Betriebskosten
Reduktion Primärenergieverbrauch
Sektorenkopplung



Dezentrale prozessintegrierte
Sauerstofferzeugung



Mischleitende keramische Membran (MIEC)



Metallurgie

Durch Verbrennung mit Sauerstoff können in bestehenden Ofenanlagen zur Aluminium-, Kupfer- und Stahlproduktion wesentlich größere Energiemengen eingebracht und somit die Produktionskapazität gesteigert werden. Darüber hinaus wird eine Wärmerückgewinnung aus dem Abgas wegen der stark verminderten Abgasmengen überflüssig. Damit vereinfacht sich das Anlagendesign erheblich: Anlagenkosten, Brennstoffbedarf und CO₂-Emissionen sinken. Durch die Erzeugung des Sauerstoffs vor Ort fallen die zugehörigen Betriebskosten nur bei entsprechender Anlagenauslastung an. Sie sind wesentlich geringer als der Sauerstoffpreis bei einer Belieferung. Im Prozess entsteht außerdem konzentriertes CO₂, dessen Abtrennung normalerweise einen hohen Energieaufwand erfordert. Nachfolgende Prozesse zur Sektorenkopplung, d. h. zur Umwandlung von Strom in synthetische Grund- bzw. Kraftstoffe, könnten davon zukünftig immens profitieren.

Glas- und Keramikindustrie

Das Schmelzen von Glas und das Sintern von Keramik benötigen sehr hohe Temperaturen, die meist durch Verbrennung fossiler Brennstoffe erzeugt werden. Zur Senkung der thermischen Verluste und des Brennstoffbedarfs wird meist die Verbrennungsluft mit Abgas vorgewärmt. Dadurch wird der verbrennungstechnische Wirkungsgrad erhöht. Hohe Vorwärmtemperaturen werden dabei aufgrund der steigenden NO_x-Emissionen jedoch meist vermieden. Alternativ kann

der Wirkungsgrad durch Verbrennung mit sauerstoffangereicherter Luft oder mit reinem Sauerstoff (Oxyfuel-Technologie) erhöht werden. Durch die Integration von Sauerstoffmembranen kann der benötigte Sauerstoff so direkt am gasbefeuerten Industrieofen bedarfsgerecht bereitgestellt und somit insbesondere bei hohen Prozesstemperaturen ein Großteil an thermischer Energie eingespart werden. Der zusätzliche Strombedarf für die Beheizung der Membranen liegt dabei lediglich bei $0,2 \text{ kWh/m}^3 \text{ O}_2$ und damit nur bei einem Bruchteil der Einsparungen. Bei einer Verbrennung mit reinem Sauerstoff können die NO_x -Emissionen deutlich vermindert werden. Da außerdem reines CO_2 anfällt, wird wiederum eine hocheffiziente Sektorenkopplung möglich.

Zement- und Kalkindustrie

Die Kalk- und Zementproduktion ist aufgrund ihrer Prozesstemperaturen und der kontinuierlichen Fahrweise besonders gut für eine thermische Integration des Membrantrennprozesses geeignet. Der erzeugte Sauerstoff kann nicht nur zur Effizienzsteigerung der Verbrennung verwendet werden, sondern er fördert auch das Ausbrennverhalten schwieriger Ersatzbrennstoffe. Neben der Senkung des Brennstoffbedarfs und der brennstoffbedingten CO_2 -Emissionen kommt es durch eine Sauerstoff-Anreicherung der Verbrennungsluft zu einer Steigerung der CO_2 -Konzentration im Abgas und zur Senkung der Abgasmengen. Damit sinkt der Aufwand für eine CO_2 -Abtrennung mit konventionellen Verfahren.





(De)zentrale medizinische Versorgung

Der Sauerstoff-Trennprozess findet bei etwa 850 °C statt, so dass der erzeugte Sauerstoff stets steril anfällt. Brennbar oder biologisch aktive Substanzen werden dabei vollständig zerstört und die auf der Luftseite potenziell entstehenden Reaktionsprodukte gelangen nicht in den Sauerstoff. Die sehr hohe Reinheit des produzierten Sauerstoffs ermöglicht eine einfache Dosierung bzw. eine unkomplizierte Herstellung definierter Gasmischungen. Eine Versorgung einzelner Patienten ist ebenso möglich wie die von Krankenhäusern oder Lazaretten. Der aus den Investitions- und Betriebskosten resultierende Sauerstoffpreis liegt merklich unter dem einer Belieferung mit Sauerstoff.

Abwasserbehandlung

Kläranlagen verursachen etwa 20 % des kommunalen Energieverbrauchs, wobei etwa die Hälfte auf die Belüftung des Belebungsbeckens entfällt. Industriegasproduzenten haben bereits gezeigt, dass bei Verwendung von Sauerstoff anstelle von Luft die einzublasende Gasmenge auf ca. 4 % gesenkt werden kann, also auf den Eintrag von 40 l Sauerstoff anstelle von 1000 l Luft. Außerdem können mit Sauerstoff auch hochbelastete Industrieabwässer behandelt oder Kläranlagen mit stark wechselnder Belastung einfacher an die Befrachtung angepasst werden. Für eine dezentrale Sauerstoffherzeugung kann das in Faultürmen entstehende Klärgas vorteilhaft für die Beheizung der Sauerstoffgeneratoren



genutzt werden. Der verbleibende Elektroenergieverbrauch ist mit $0,2 \text{ kWh/m}^3 \text{ O}_2$ niedrig. Da die erforderliche Sauerstoffmenge deutlich geringer als die benötigte Luftmenge ist, kann dadurch der gesamte Stromverbrauch um mehr als 60 % gesenkt werden.

Aquafarming

In der professionellen Fischzucht kann durch Begasung mit Sauerstoff die Krankheitsresistenz verbessert, die Futteraufnahme und das Wachstum beschleunigt sowie die Besatzdichte erhöht werden. Bei Wassertemperaturen über $15 \text{ }^\circ\text{C}$ und sinkender Löslichkeit der Gase wird deshalb häufig Sauerstoff eingebracht. Die üblichen geringen Sauerstoffmengen von kleinen und mittleren Teichanlagen oder von Aquafarming-Betrieben führen bei einer Belieferung mit Sauerstoff jedoch aufgrund der aufwändigen Logistik zu hohen Kosten. Mit Sauerstoffgeneratoren auf Basis mischleitender Membranen kann der Fischzüchter den benötigten Sauerstoff preisgünstig selbst erzeugen.

Verfahrensvergleich

Während bei etablierten Verfahren die gesamte Energie als Elektrizität benötigt wird, können MIEC-Membranen durch Verbrennung von Gas oder mittels Abwärme von Hochtemperaturprozessen beheizt werden. Der Strombedarf liegt dann nur noch bei 40 % einer großindustriellen Luftzerlegungsanlage. Darüber hinaus ergeben sich weitere erhebliche Betriebskosteneinsparungen, da der Gaspreis häufig nur ein Viertel des Strompreises beträgt. Ein weiterer Vorteil liegt in der Reduzierung der CO₂-Emissionen. Bei der konventionellen Stromproduktion wird pro kWh deutlich mehr CO₂ erzeugt als bei der Verbrennung von Gas. Nachhaltig erzeugte Gase wie Biogas, Klärgas, Deponiegas oder Hochtemperatur-Abwärme ermöglichen eine CO₂-neutrale Beheizung.

Verfahrensvergleich bzgl. Energiekosten und CO₂-Emissionen für die Herstellung von 1 Nm³ O₂

Verfahren	kWh _{el} ^a	kWh _{th} ^b	€-Ct.	g CO ₂
Kryo LZA	> 0,46		11,5	184
LOx (Liquid O ₂)	> 0,86		21,5 ^e	344 ^e
PSA	> 0,90 ^c		22,5	360
Vakuum-PSA	> 0,36 ^c		8,5	136
Polymer-M.	> 0,35 ^d		8,8	140

MIEC-Membrananlagen nach Art der Beheizung

a) elektrisch	> 0,50		12,5	200
b) Gas	> 0,20	0,3	8,6	141
c) Abwärme	> 0,20		5,0	80

^a 30 Ct/kWh_{el}, 400 g CO₂/kWh_{el}, ^b 12 Ct/kWh_{th}, 202 g CO₂/kWh_{th},
^c < 95 Vol.-% O₂, ^d < 40 Vol.-% O₂, ^e ohne Gefahrgut-Transport

Membranherstellung und Prozessführung

Das Fraunhofer IKTS gehört zu den führenden Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Stofftrennung mit keramischen Materialien. Bei der O₂-Abtrennung aus Luft mit mischleitenden Keramikmembranen ist das IKTS der einzige Anbieter von kommerziell nutzbaren Membranmodulen und Pilotanlagen mit technisch relevanten Durchsätzen. Dabei sind das Gerätekonzept und die patentierte Verfahrensführung auf minimale Betriebskosten und eine lange Lebensdauer ausgerichtet. Die Keramikmembranen basieren auf gut verfügbaren Rohstoffen. Durch den Einsatz dünnwandiger Membranen wurden die erforderlichen Materialmengen bereits minimiert und der Sauerstoffdurchsatz gesteigert. Als Herstellungsverfahren wird das Strangpressen eingesetzt, das für große Stückzahlen ein hohes Potenzial zur weiteren Kostensenkung besitzt. Bei der Herstellung anfallendes Restmaterial wird vollständig recycelt. Die eingesetzten Membranen tolerieren hohe Heiz- und Kühlraten bzw. thermische Spannungen, sodass Membrananlagen mit kurzen Anfahrzeiten realisiert werden können. Bei Bedarf sind außerdem ein Stand-by-Betrieb sowie eine Variation des Sauerstoffdurchsatzes von ca. 10 bis 200 % gegenüber dem Normalbetrieb möglich.



Fraunhofer IKTS

Das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS betreibt anwendungsorientierte Forschung für Hochleistungskeramik. Die Institutsteile in Dresden und Hermsdorf (Thüringen) formen gemeinsam das größte Keramikforschungsinstitut Europas.

Als Forschungs- und Technologiedienstleister entwickelt das Fraunhofer IKTS moderne keramische Hochleistungswerkstoffe, industrierelevante Herstellungsverfahren sowie prototypische Bauteile und Systeme in vollständigen Fertigungslinien bis in den Pilotmaßstab. Darüber hinaus umfasst das Forschungsportfolio die Kompetenzen Werkstoffdiagnose und -prüfung.

Kontakt

Dr. rer. nat. Olga Ravkina
Telefon +49 36601 9301-4905
olga.ravkina@ikts.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS
Michael-Faraday-Straße 1, 07629 Hermsdorf
www.ikts.fraunhofer.de

