

## FIT4H2

# Brennstoffzelle und Elektrolyseur

- Typen
- Vergleich



# BRENNSTOFFZELLE UND ELEKTROLYSEUR

## Agenda

---

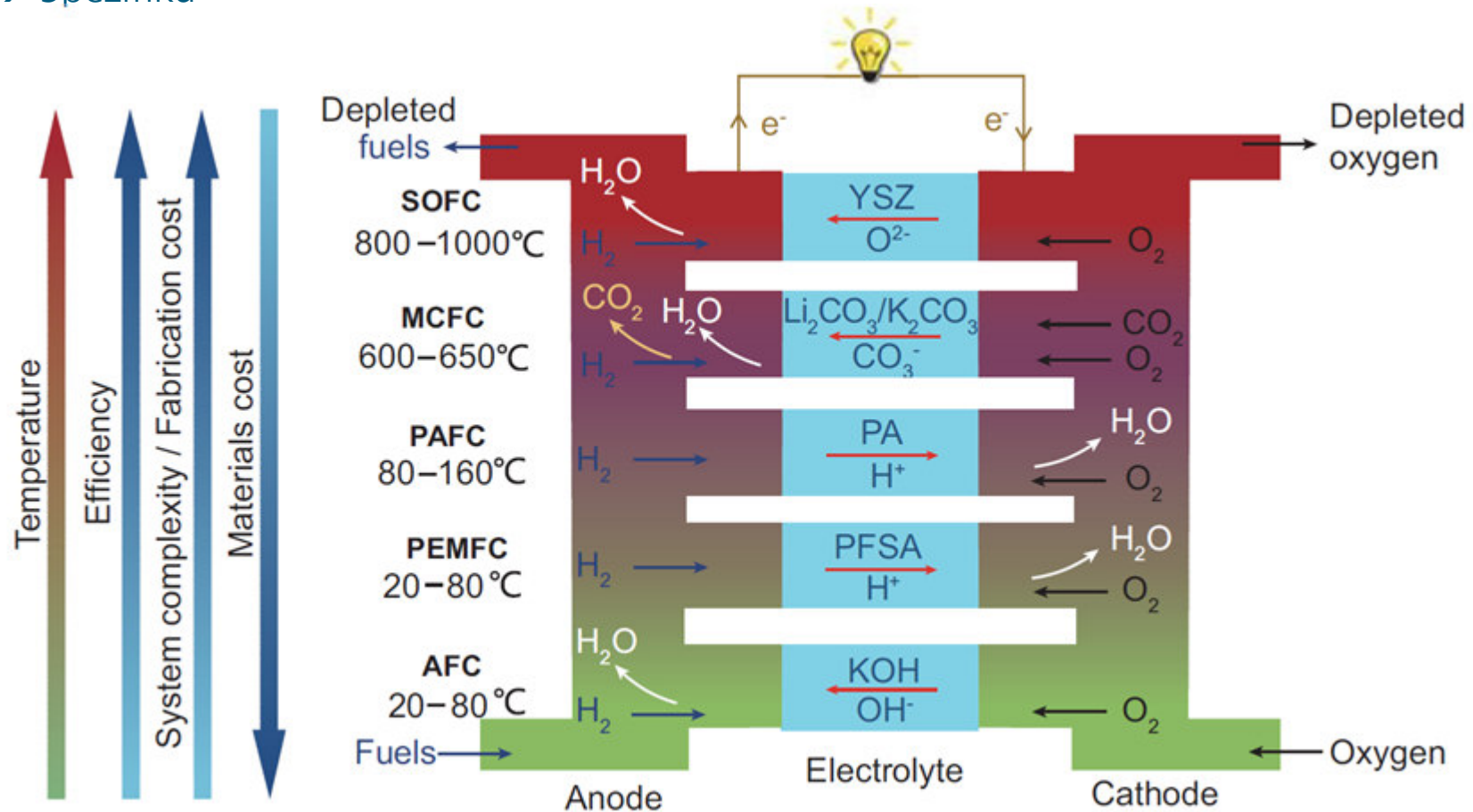
TYPEN

VERGLEICH



# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

Überblick → Spezifika



# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Protonenaustauschmembran - PEMFC

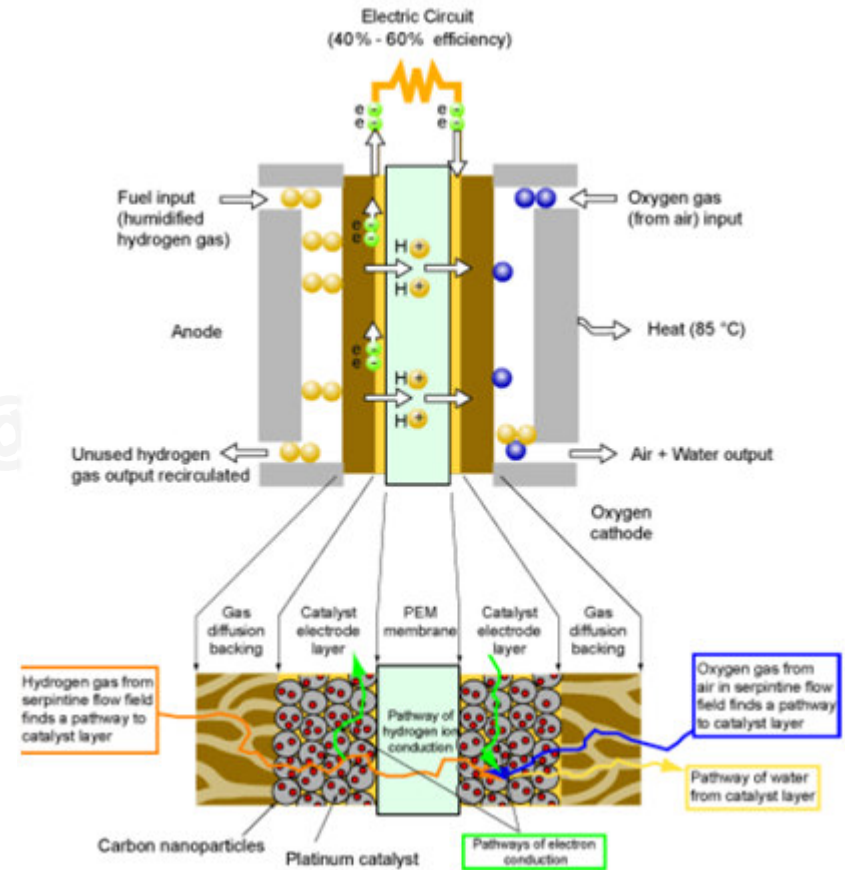
Die PEMFC führte den Brennstoffzellenmarkt mit einem Anteil von 55 % im Jahr 2021 an, was auf die hohe Nachfrage bei Mikro-KWK- und Transportanwendungen zurückzuführen ist.

Stromspannung einer einzelnen PEM-Brennstoffzelle im Bereich von 0,6-0,7 V. Um eine nutzbare Spannungsversorgung zu erreichen, müssen mehrere dieser Zellen zu einem Stapel kombiniert werden

- **leichtes Gewicht**
- **niedrige Betriebstemperatur (60 - 100°)**
  - Arbeitstemperatur über 100 °C verdampft das Wasser verdampft das Wasser, was zu einer Dehydrierung der Membran führt und was zu einer Verringerung der Protonenleitfähigkeit der Membran führt.
- **schneller Startvorgang**
- **weniger Wartung, einfachen Betriebssystems**
- **Leistung bis MW**
- **Effizienz: bis 75%**

### Anwendungen

- **Verkehrssektor:** Pkw, Lkw, Aviation, Schiff
- **Stationär:** KWK-Anwendungen in Privathaushalten

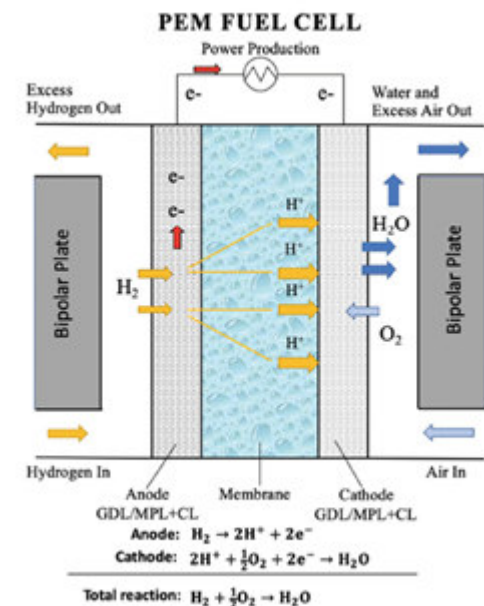


DEGRADATION ANALYSIS  
 2015: 10 % / 3900 H  
 2020: 10 % / 8000 H

# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Protonenaustauschmembran - PEMFC

Komponente	Funktion	Material	andere entwickelte Materialien
Protonenaustauschmembran (PEM)	Ladungsträger für Protonen die reaktiven Gase trennen elektronischer Isolator	Nafion PBI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membranen aus sulfonierten aromatischen Kohlenwasserstoffpolymeren</li> <li>- anorganisch-organische Verbundmembranen</li> <li>- Polymermischungsmembranen</li> <li>- Säure-Base-Membranen auf PBI-Basis (Polibenzinimidazol)</li> </ul>
Elektroden und Katalysatorschichten	Ort der Halbzellenreaktionen	Platin Platinlegierungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pt electrodes with lower Pt content</li> <li>- Total/partial substitution of Pt with other materials</li> </ul>
Gasdiffusionsschichten	stellt sicher, dass die Reaktanten effektiv in die Katalysatorschicht diffundieren elektrischer Leiter für Elektronen zur/von der Katalysatorschicht	poröser Kohlenstoff Papier oder Kohletuch	- Kontinuierliche Gasdiffusionsmaterialien auf Kohlenstofffaserbasis
Bipolar-Platten (BPP)	Stromleitung zwischen den Zellen Erleichterung des Wasser- und Wärmemanagements in der Zelle Bereitstellung von Leitungen für die Reaktanten	Titan Teflonbeschichtung Graphit Stahl	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nicht-Metalle: nicht-poröser Graphit/Elektrographit</li> <li>- Metalle: nicht beschichtete Edelmetalle, nicht beschichtete Metalle, beschichtete Metalle</li> <li>- Verbundwerkstoffe: Polymer-Kohlenstoff und Polymer-Metall</li> </ul>

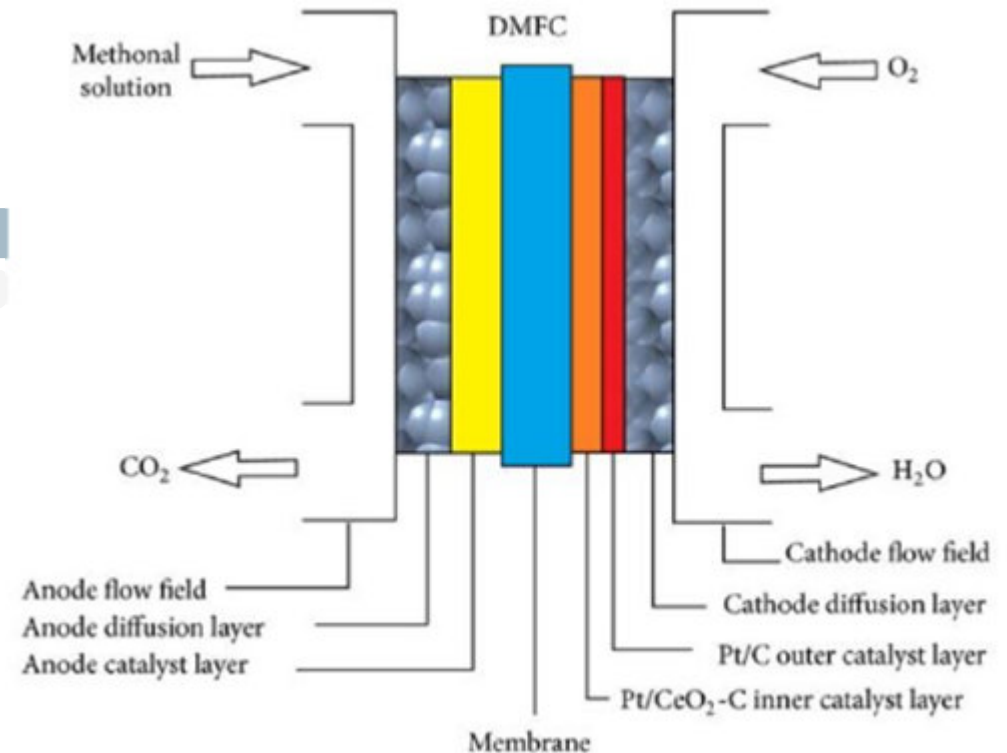
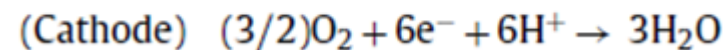
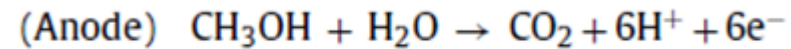


# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Direkt Methanol - DMFC

### DEGRADATION ANALYSIS 20 % / 1000 H

- Geeignet für **mobile und häusliche** Stromversorgungen
- Methanol ist leicht zu beschaffen: flüssigen und gasförmigen Stoffen
- Anwendungen mit geringerem Stromverbrauch, die **1 W oder weniger benötigen.**
- Betriebstemperatur: bis **120°C**
- Methanol ist mit Wasser mischbar: Korrosion und Abgasprobleme auf der Kathodenseite
- der Methanolübergang von der Anode zur Kathode und die Ausgasung an der Oberfläche des Elektrokatalysators führen zu einer geringeren Leistung der Flüssigspeisezellen



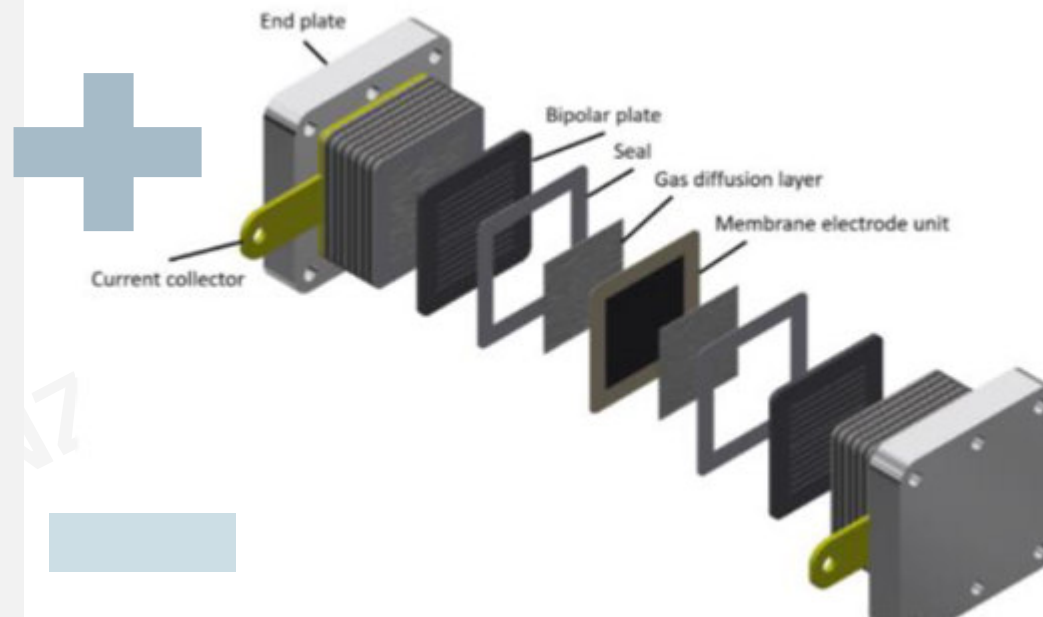


# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Festoxid - SOFC

### Betriebssystem

- Temperaturen von über **800°C**
- Leistung kann bis ca **100MW**
- Yttriumoxid-stabilisiertes Zirkoniumdioxid (YSZ) ist der am häufigsten verwendete Elektrolyt
  - hohe chemische und thermische Stabilität und reine Ionenleitfähigkeit
- Anwendung: Stationär, häuslich und Verkehr (F&E)
- Hohen Energieeffizienz (KWK)
- Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Brennstoff in Elektrizität liegt bei etwa 50%



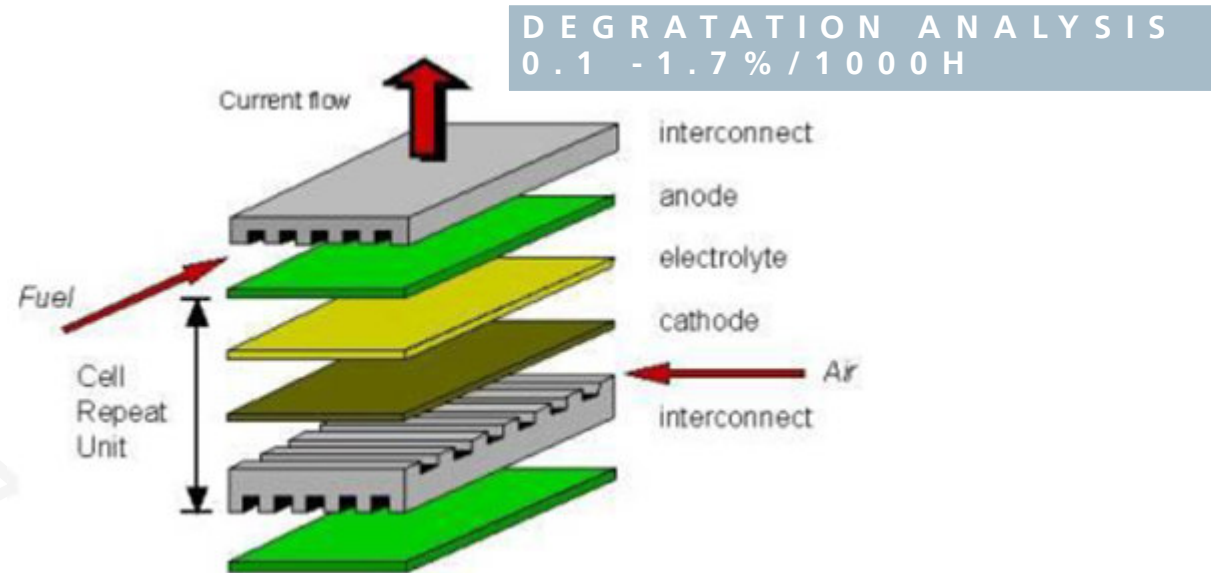
- lange Anfahr- und Abkühlzeiten sowie verschiedene mechanische und chemische Kompatibilitätsprobleme begrenzen die Einsatz von SOFCs

# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Festoxid - SOFC

### PLANAR

- Die typischen Betriebstemperaturen liegen bei 850-1000°C.
- Planare SOFC erzeugen eine **höhere Stromdichte** im Vergleich zu röhrenförmigen SOFCs und sind relativ einfach herzustellen.
- Konstruktion:
  - Es wird erwartet, dass **die Konstruktion mechanisch robust ist, eine hohe Leistungsdichte aufweist und kostengünstig ist.**
- Da diese Keramikplatten in ihrer Größe begrenzt sind, erfordern sie hohe Sintertemperaturen und haben ein unterschiedliches Wärmeausdehnungsverhalten bei der Oxidation. Der Vorteil der keramischen Platten ist die vernachlässigbare Korrosion und damit die geringe Degradation.
- Dicke von etwa 100-200 µm und eine Fläche von 10x10 cm²



#### Anwendung:

Kraft-Wärme-Kopplung; Stromerzeugungssysteme (wegen der hohen Temperatur)

#### Nachteile:

- instabile Abdichtung** → Brennstoff- und Oxidationsmittelleckagen
- schlechte Temperaturwechselbeständigkeit**
- relativ hohe Produktionskosten



# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Festoxid - SOFC

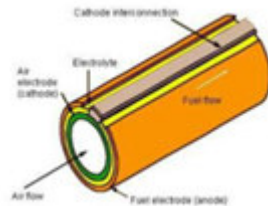
### THIN-FILM



**Anwendung:** Stromerzeugungsanlagen (Aufgrund der hohen Temperatur)

Dünnschicht-SOFC-Designs arbeiten bei mittleren Temperaturen (700-800°C) und erhalten gleiche Leistungsdichte wie bei elektrolytgestützten Zellen bei 950°C.

### TUBULAR



**Anwendung:** Stromquelle für den Haushalt; elektronische Geräte und APU in Kraftfahrzeugen.

Die Betriebstemperatur liegt bei 950°C (1.742°F). Je niedriger die Temperatur, desto geringer sind im Allgemeinen die Kosten.

Einfache Stapelung, Widerstandsfähigkeit Beständigkeit gegen thermische Spannungen und höhere mechanische Festigkeit

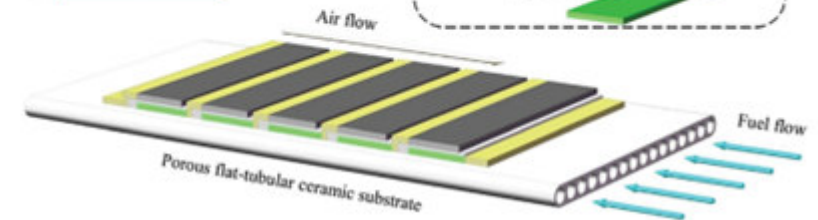
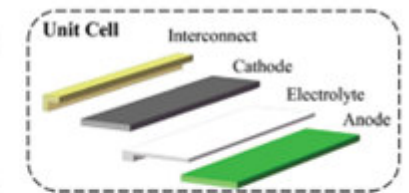
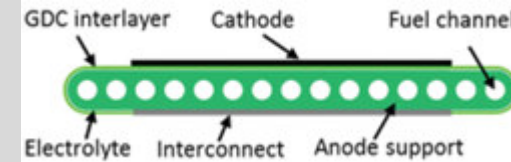
Röhrenförmige SOFCs haben die Nachteile geringere Leistungsdichte im Vergleich zu planaren SOFCs und relativ hohe Produktionskosten.

## FLAT-TUBULAR

Enthält die Vorteile sowohl des planaren als auch des röhrenförmigen Typs:

- FT-SOFC bietet einen geringeren ohmschen Widerstand und eine höhere Leistungsdichte.

- einfach gasdichten Abdichtung
- thermischer Robustheit
- einfacher Herstellung im Vergleich zu planaren SOFCs



### VERGLEICH

Property	Planar	Tubular	Flat tubular
Power density	High	Low	High
Start-up and shutdown	Slow	Fast	Fast
Interconnect fabrication	Easy	Difficult	Easy
Thermal robustness	Low	High	High
High temperature sealing	Difficult	Easy	Easy

# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

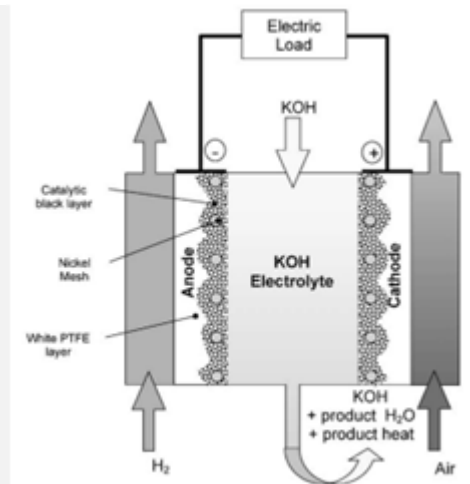
## Alkalische BZ (AFC) und Anionenaustauschermembran (AEM)

AFC

- Flüssige Elektrolytlösung von KOH
- Niedertemperatur BZ: **von minus bis 200°C**; Leistung: **bis ca 200kW**.
- **elektrischer Wirkungsgrad** bis zu **60%** und **KWK höher als 80%**
- Anwendung: Raumfahrt, Unterseeboote, Boote, Gabelstapler.
- Brennstoff: H<sub>2</sub> und Ammoniak
- Verwendung von **Nicht-Edelmetall**-Elektrokatalysatoren
- In der Regel wird zusätzlich zum Wasserstoff ein Strom aus **reinem Sauerstoff verwendet**. (Nachteil)
  - Bei **Anwesenheit von CO<sub>2</sub> in der Brennstoffzufuhr bilden sich Karbonate**, die ausfallen und zu einer potenziellen Verstopfung des Elektrolytwegs führen können.

AEM

- AFC-Version mit größerer CO<sub>2</sub>-Toleranz und Ähnlichkeiten mit der PEMFC, da sie ebenfalls eine Polymermembran hat.
- Reifegrad: niedrig
- höherer Wirkungsgrad und längere Lebensdauer im Vergleich zu AFC



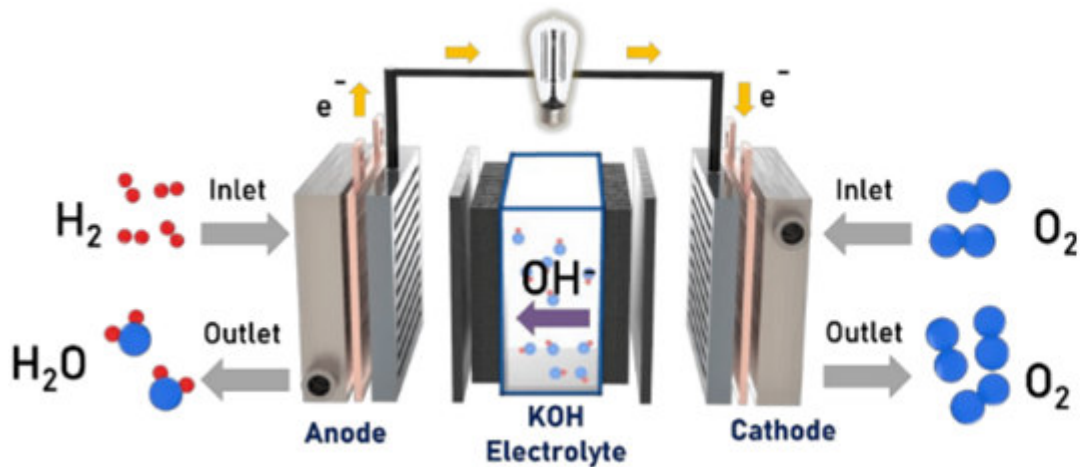
KOSTENGÜNSTIGEN  
MATERIALIEN

LEBENSDAUER <15.000  
STUNDEN.

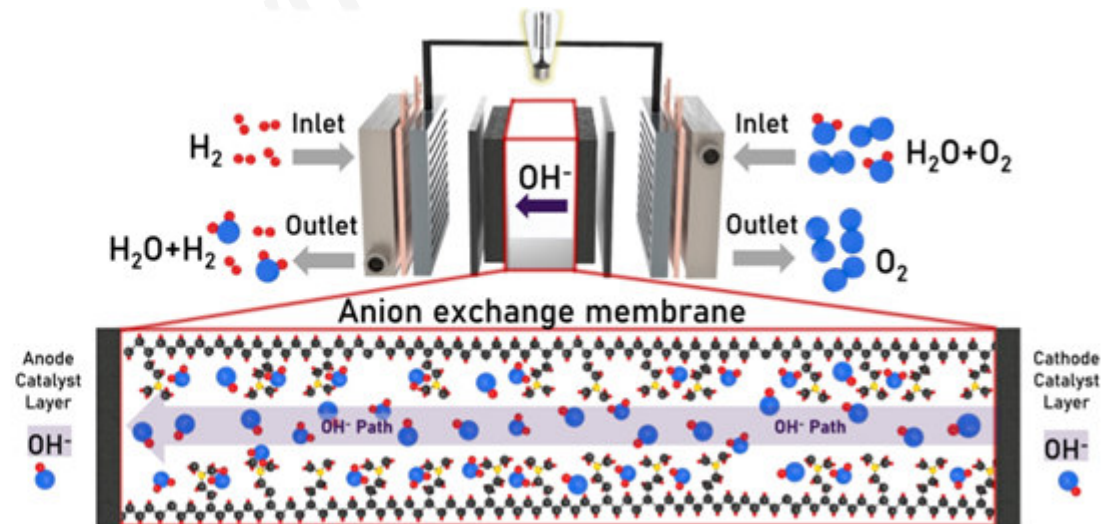
# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

Alkalische BZ (AFC) und Anionenaustauschermembran (AEM)

AFC



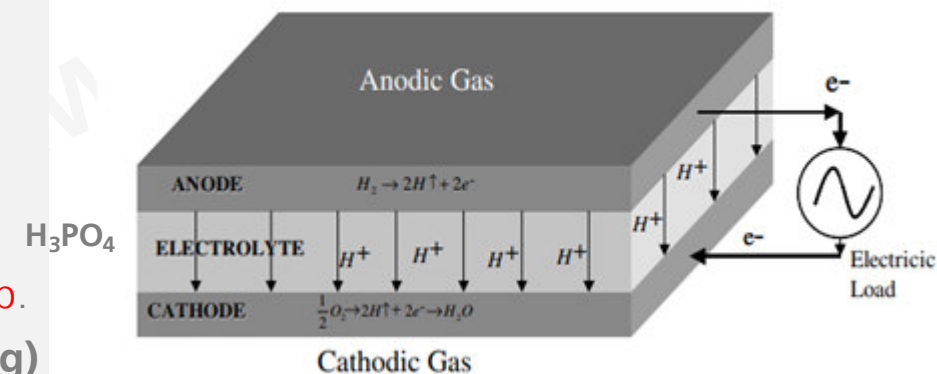
AEM



# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Phosphorsäure Brennstoffzelle - PAFC

- USA und Asien: in stationären Systemen mittlerer Leistung.
  - PAFC waren die ersten Brennstoffzellen, die die kommerzielle Schwelle überschritten. (Stationär)
- Effizienz: 40% (elektrisch) bis 85% (KWK)
- Elektrolyt:  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Betriebstemperatur: bis 200°C.
  - Die Leitfähigkeit des Elektrolyten nimmt mit der Temperatur zu, aber die Lebensdauer der Zellen nimmt ab.
- Anwendung: Häuslich. Micro KWK (Kraft-Wärme-Kopplung) bis 10MW
- Vergiftungswirkung von CO auf den Pt-Elektrodenkatalysator.
- PAFC benötigen für ihren Betrieb keinen reinen Sauerstoff, da  $\text{CO}_2$  weder den Elektrolyten noch die Zelleistung beeinträchtigt.

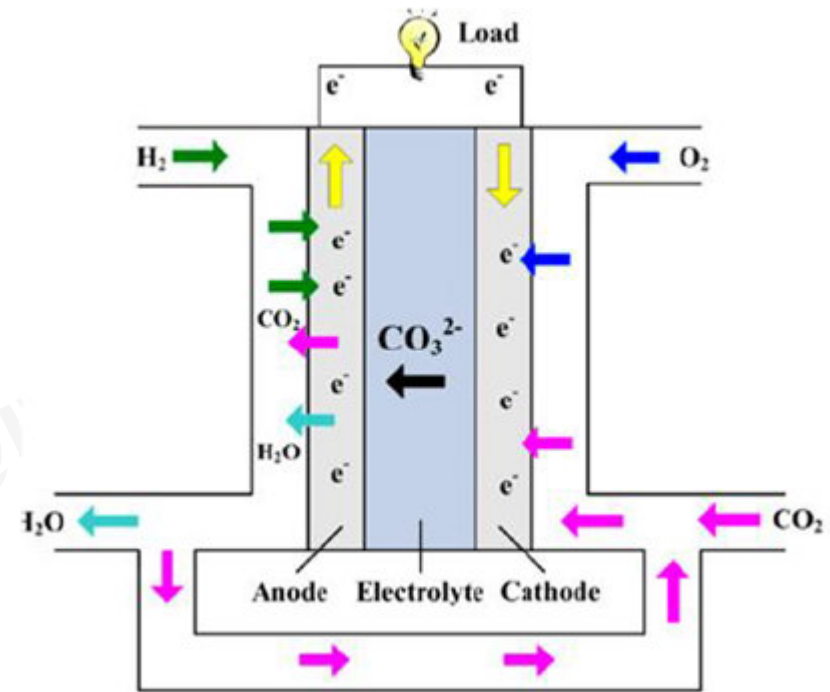


LEBENSDAUER STUDY-CASE: 10MW > 230.000H / 6 YEARS STUNDEN.

# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle - MCFC

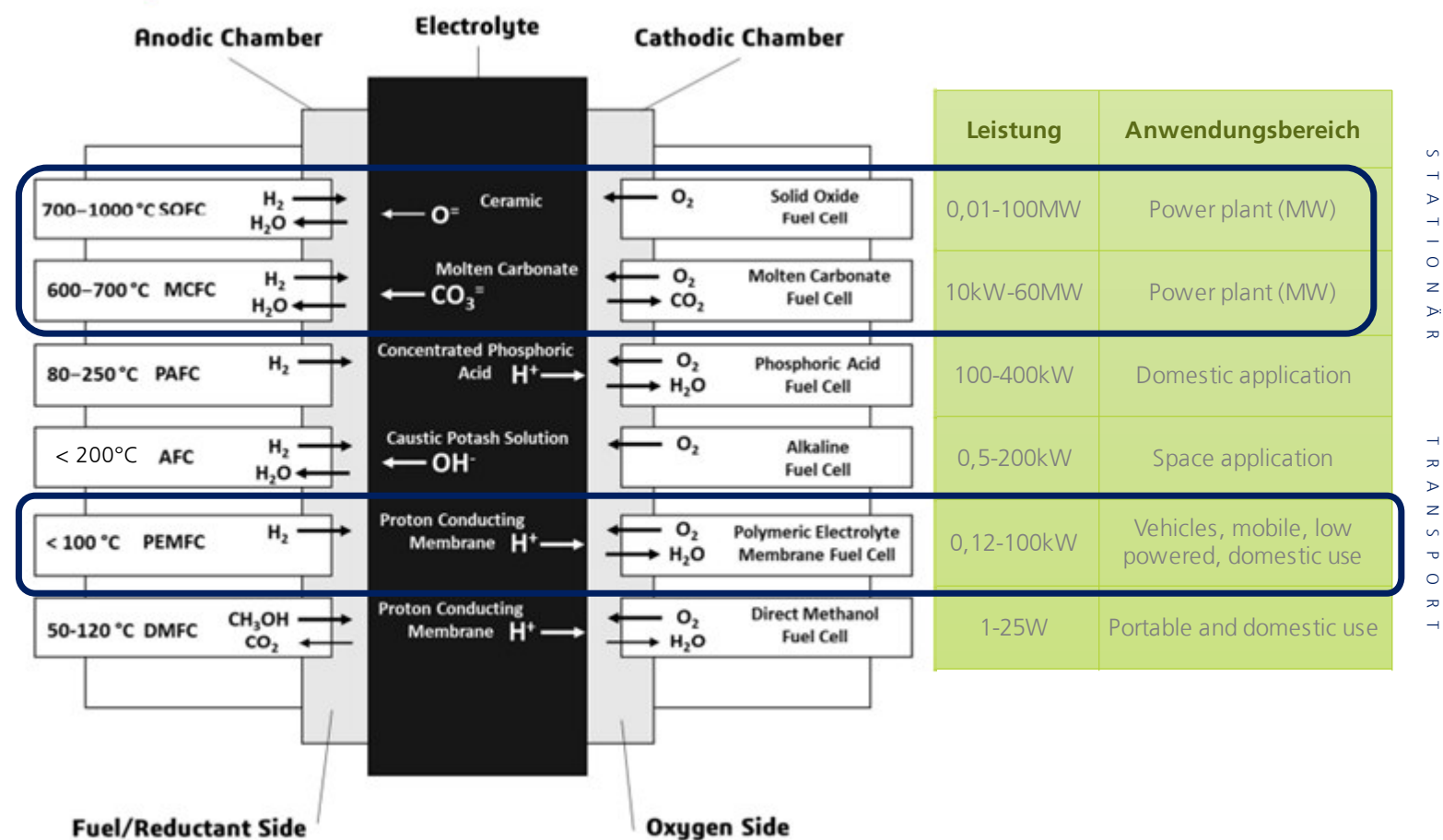
- **Hochtemperatur** Brennstoffzellen: **bis 650°C**
- Der **Verzicht auf Edelmetallkatalysatoren** senkt die Kosten des Brennstoffzellenstapels **und verringert die Empfindlichkeit gegenüber Brennstoffverunreinigungen und CO**, was ein hohes Maß an Brennstoffflexibilität ermöglicht.
- Leistung: **~60MW**
- Anwendung: **Stationär**
- Brennstoff: **Methan, Biogas, etc.**
- MCFCs werden derzeit für erdgas- und kohlebasierte Erdgas- und Kohlekraftwerken in **Stromversorgungs-, Industrie- und Militäranwendungen** eingesetzt.
- MCFC können **direkt mit Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Erdgas und Propan** betrieben werden.
- Sie erfordern **auch keine Infrastruktur für die Installation**; allerdings ist **eine lange Zeit** erforderlich um die **Betriebstemperatur** zu erreichen und Energie zu erzeugen



Hauptkonkurrent im Bereich der stationären Stromerzeuger ist jetzt die SOFC. Daher ist die attraktivste Anwendung von MCFCs stationäre Anlagen mittlerer Größe (von 100 kW bis 10 MW) für dezentrale Strom- und Wärmezeugung. Kommerzielle Kraftwerke auf der Basis von MCFCs sind seit 2003 verfügbar.

# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Zusammenfassung





# BRENNSTOFFZELLEN-TYPEN

## Zusammenfassung

FC Typen	Alkaline (AFC)	Proton Exchange (PEMFC)	Phosphoric Acid (PAFC)	Molten Carbonate (MCFC)	Solid Oxide (SOFC)
<b>Electrolyte type</b>	Flüssig	Fest	Flüssig	Fest	Fest
<b>Brennstoff</b>	•Wasserstoff •Ammoniak	•Wasserstoff	•Wasserstoff •Methanol	•Erdgas •Methanol •Ethanol •Biogas •Kohlegas	•Erdgas •Methanol •Ethanol •Biogas •Kohlegas
<b>Temperatur</b>	•60°-200°C	80°-100°C	150°-200°C	650°C	500°-1000°C
<b>Effizienz</b>	60-70% CHP: 80%	45-75%	45-55% CHP: 85%	45-55% CHP: 85%	45-65% CHP: 80-90%
<b>Startup time</b>	<1 minute	<1 seconds	n/a	10 minutes	60 minutes
<b>Vorteile</b>	•Schnelle Startzeit •Temperaturbeständig •Kostengünstiger Flüssigbrennstoff Ammoniak	•Schnelle Startzeit •kompakte Größe •Leichtgewicht	•Stabil •Fälligkeit	•Brennstoffvielfalt	•Brennstoffvielfalt
<b>Nachteile</b>	•Flüssiger Katalysator erhöht das Gewicht •Relativ groß	Empfindlichkeit gegenüber: •Luftfeuchtigkeit oder Trockenheit •Salzgehalt •niedrige Temperaturen	•Phosphorsäure-Dampf •Weniger leistungsstark	•reaktionsschwach •Hochgradig korrodierend	•Lange Anlaufzeit •intensive Hitze
<b>Anwendungen</b>	•Notstromaggregate (USV mit langer Laufzeit) •Primäre Stromerzeuger •Netzunabhängige Telekommunikation	•Autos •Busse •LKWs	•Gebäude •Hotels •Krankenhäuser •Versorgungseinrichtungen	•Versorgungseinrichtungen	•Kraftwerke für Unternehmen
<b>Empfindlichkeiten für primäre Kontaminanten</b>	CO, CO <sub>2</sub> and sulfur	CO, sulfur and NH <sub>3</sub>	CO <1 % sulfur	Sulfur	Sulfur
<b>Externer Reformer für Kohlenwasserstoff-Kraftstoffe</b>	Yes	Yes	Yes	No, for some fuels	No, for some fuels and cell designs
<b>Produkt Wasser-Management</b>	Verdunstung	Verdunstung	Verdunstung	Gasförmiges Produkt	Gasförmiges Produkt
<b>Management der Produktwärme</b>	Prozessgas + Elektrolytumlauf	Prozessgas + Kühlmedium	Prozessgas + flüssiges Kühlmedium oder Dampferzeugung	Interne Reformierung + Prozessgas	Interne Reformierung + Prozessgas

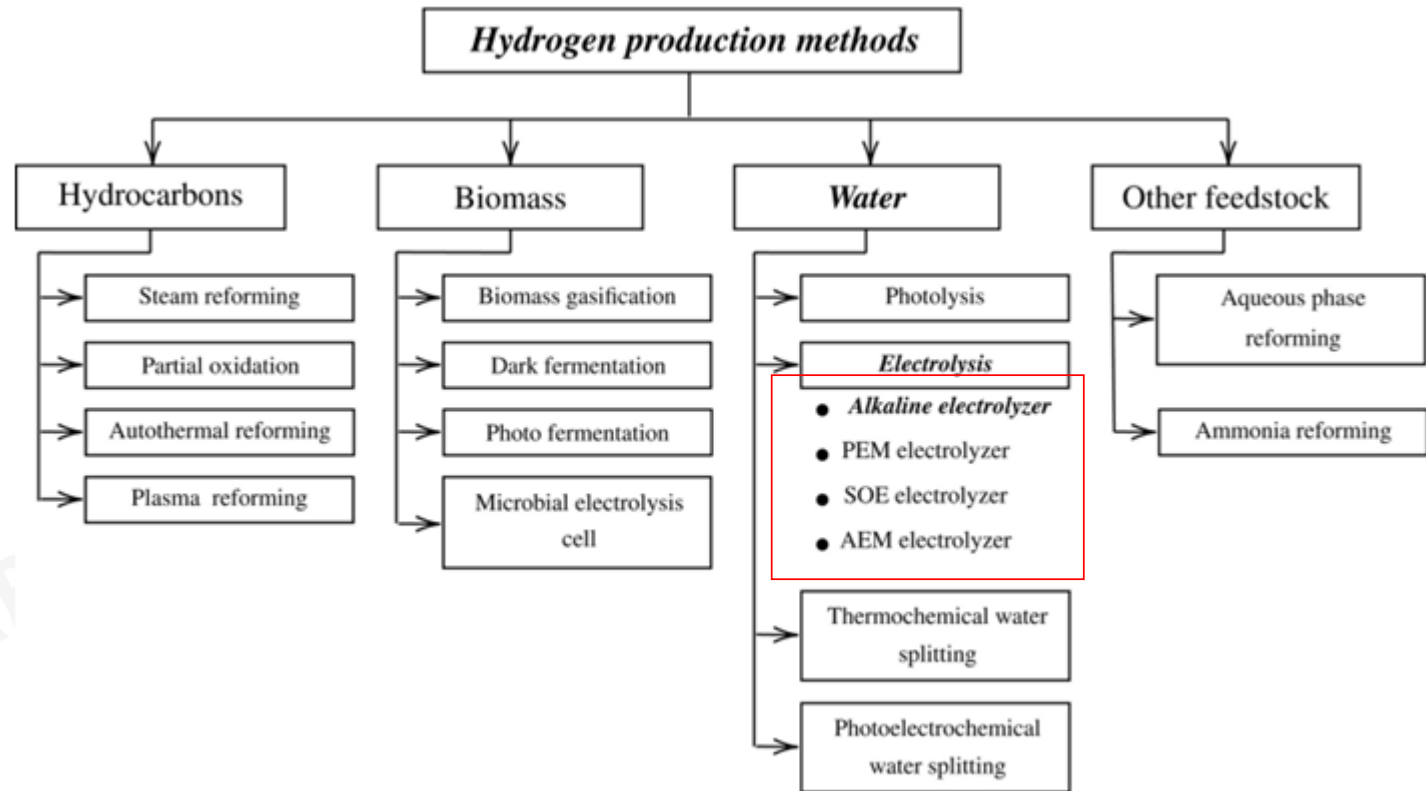
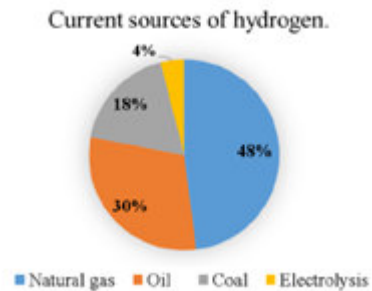
# ELEKTROLYSEUR

---



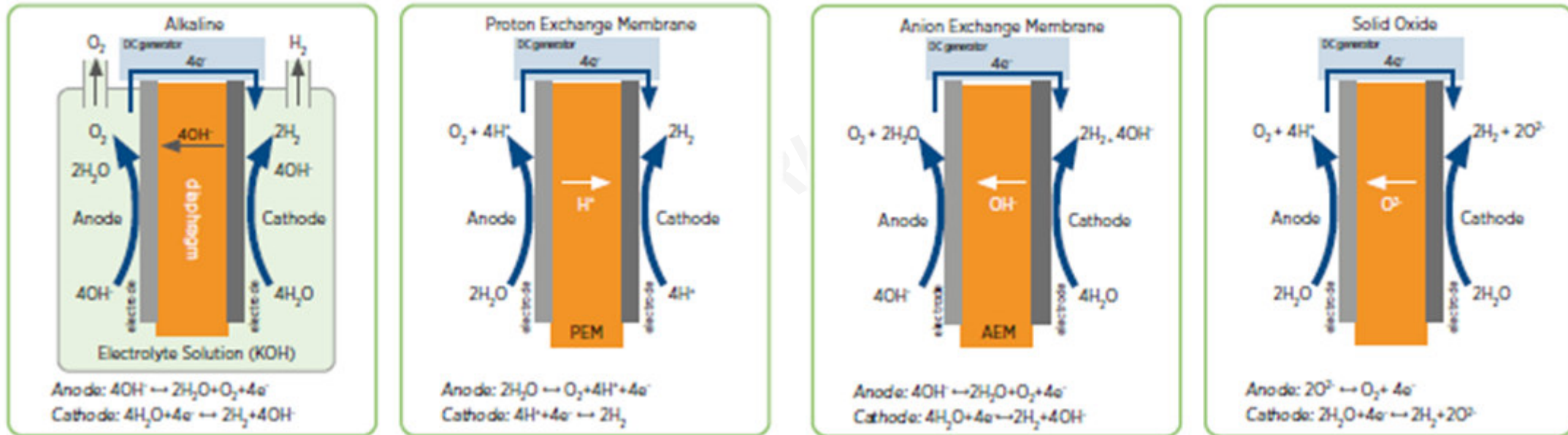
# WASSERSTOFF ERZEUGUNG

## Überblick



# ELEKTROLYSEUR-TYPEN

## Überblick



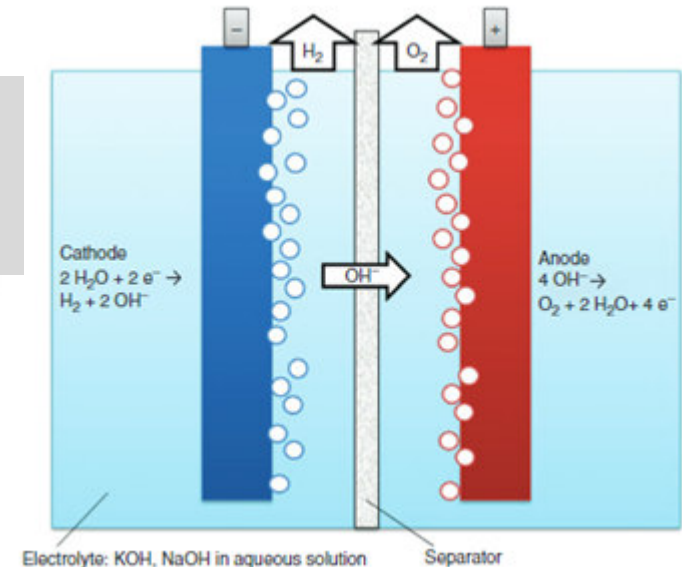
# ELEKTROLYSEUR-TYPEN

## Alkalisch

Die alkalische Elektrolyse ist bereits seit über 200 Jahren bekannt. Alkalische Elektrolyseure sind **billig in der Herstellung** und erreichen **eine hohe Lebensdauer**, während die meisten anderen Arten von Elektrolyseuren vor allem mit der **Langzeitstabilität** zu kämpfen haben.

Der Elektrolyt liegt in wässriger Form vor und besteht aus 30 Gew.-% KOH oder NaOH. Im Gegensatz zum PEM-Elektrolyseur → Wasser → Kathode. Durch die Aufnahme von Elektronen aus dem externen Kreislauf wird das Wasser in Wasserstoff und OH<sup>-</sup> gespalten. Das OH<sup>-</sup> wandert durch den Elektrolyten und gelangt zur Anode, wo sich Sauerstoff und Wasser bilden.

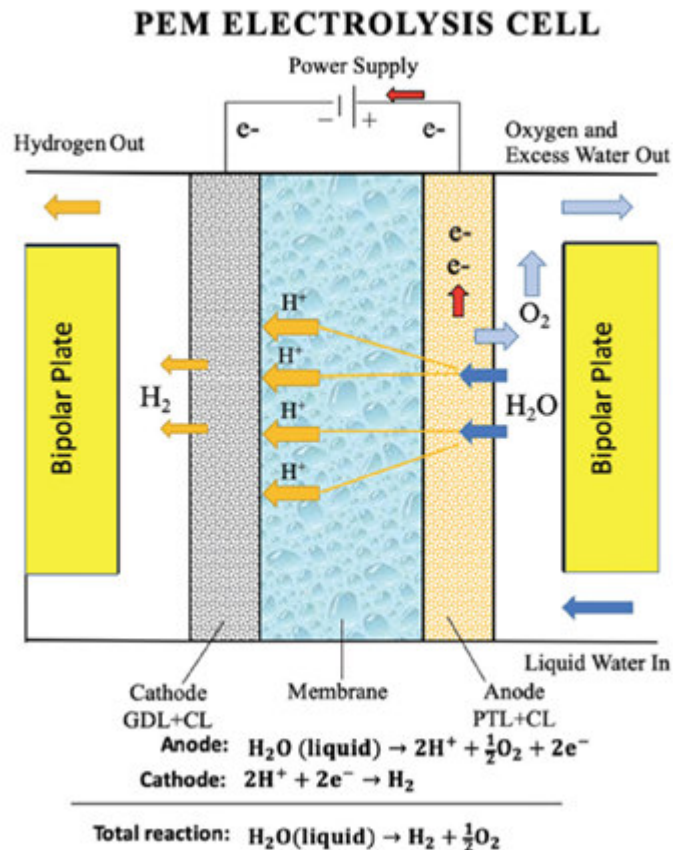
- flüssige Elektrolyt → **Undichtheit**
- hohen ohmschen Verlust, der zu einer **geringeren** erreichbaren **Stromdichte** führt.
- **Verschlechterte Leistung im Teillastbetrieb**. Dies liegt daran, dass im Teillastbetrieb die Produktionsrate in Anode und Kathode sinkt, was zu einer geringeren Wasserstoff- und Sauerstoffproduktion führt. Andererseits bleibt die Wasserstoffdurchlässigkeit im Elektrolyten unverändert. Unter diesen Bedingungen **steigt die Wasserstoffkonzentration** auf der Anodenseite, was **die Leistung der Zelle verschlechtert**.



Aufgrund der hochkorrosiven Umgebung in alkalischen Elektrolyseuren kann nur eine begrenzte Anzahl von Materialien innerhalb des Systems verwendet werden. Es können Metallbleche, z. B. aus Nickel oder Edelstahl, oder Kunststoffe wie Acrylglas, PTFE oder Plexiglas verwendet werden.

# ELEKTROLYSEUR-TYPEN

## PEMEC



- edle Katalysatoren → hohe Kosten auf Ir-Basis (Anode) oder Pt-Basis (Kathode)

+ PEM - Feststoffkatalysator Vorteile:

1. kompaktes Design. 2. löst das Problem der Undichtigkeit, unter dem andere Arten von Elektrolyseuren (Alk) leiden. 3. Die Dicke des Katalysators kann bis auf 20-300 µm reduziert werden, was den ohmschen Verlust verringert und zu einer höheren Stromdichte führt. 4. Die Gasübergangsrate ist gering. Wenn also die Stromzufuhr zur Zelle aufgrund der niedrigen Crossover-Rate reduziert wird, wird der Protonentransport durch die Membran in kürzester Zeit und ohne Verzögerung reduziert. Diese Option ermöglicht es dem PEM-Elektrolyseur, auch im Teillastbereich zu arbeiten, während die Leistung anderer Elektrolyseur-Typen im Teillastbereich nachlässt. 5. ermöglicht die Verwendung einer starken Struktur in der Zelle, die den Betrieb der Zelle bei höheren Drücken (bis zu 350 bar) ermöglicht.

+ Bei der Herstellung von H<sub>2</sub> unter hohem Druck wird kein Kompressor benötigt, um den Druck des erzeugten Wasserstoffs zu erhöhen und ihn an den Verbraucher zu liefern. Dies führt zu niedrigeren Investitionskosten und geringerem Energieverbrauch.

+ Außerdem wird verhindert, dass der Elektrolyt expandiert oder dehydriert wird.

+ erhöht sich die thermodynamische Spannung der Zelle. Auf der anderen Seite hat der Hochdruckbetrieb einige negative Auswirkungen. So muss beispielsweise ein dickerer Elektrolyt verwendet werden

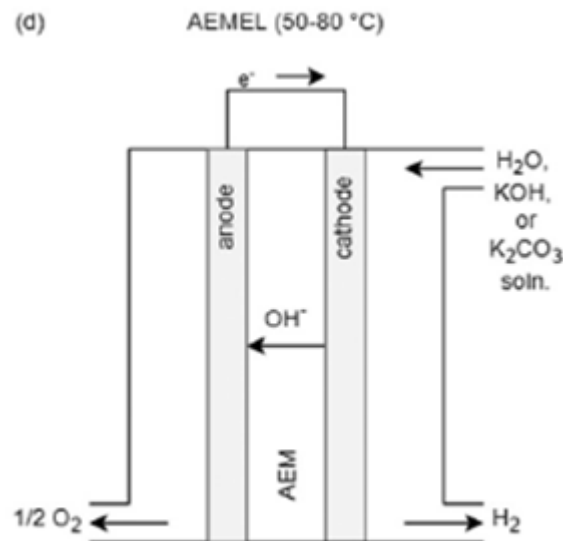
Das System arbeitet mit niedrigeren Wirkungsgraden als SOEC, kann aber schnell hoch- und heruntergefahren werden, was PEMEC für die Integration mit variabler erneuerbarer Energieerzeugung wie Windkraft und Fotovoltaik vorteilhaft macht. Die derzeitigen Systeme weisen eine moderate Lebensdauer auf und können mit hohen Stromdichten bei moderaten Zellpotentialen betrieben werden.



# ELEKTROLYSEUR-TYPEN

## AEM

### ANION EXCHANGE MEMBRANE



Alkalischer Anionenaustausch. Membran (AEM): AEMEL kann mit flüssigem Wasser oder einer wässrigen Kaliumhydroxidlösung (KOH) betrieben werden. Die Membran ist die (z.B. Mg-Al LDH) leitfähig für  $OH^-$ -Ionen. Die Katalysatoren an Anode und Kathode bilden das Herzstück der Elektrolyse.

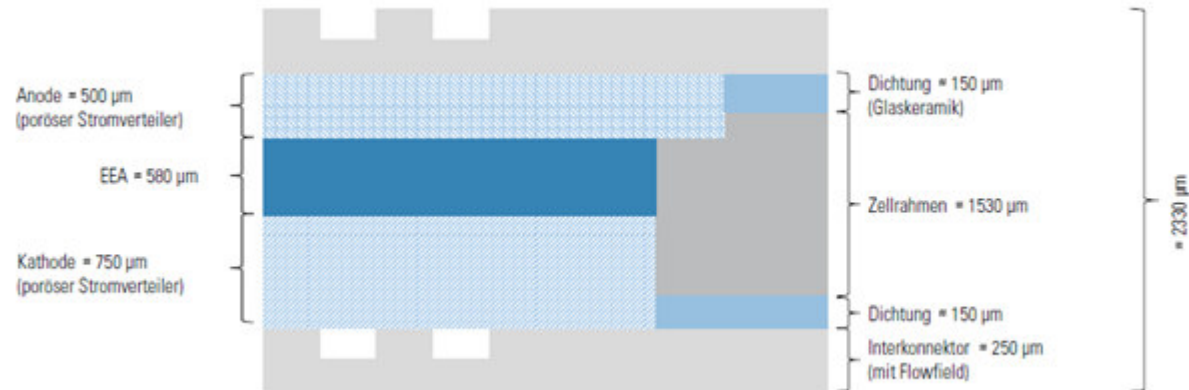
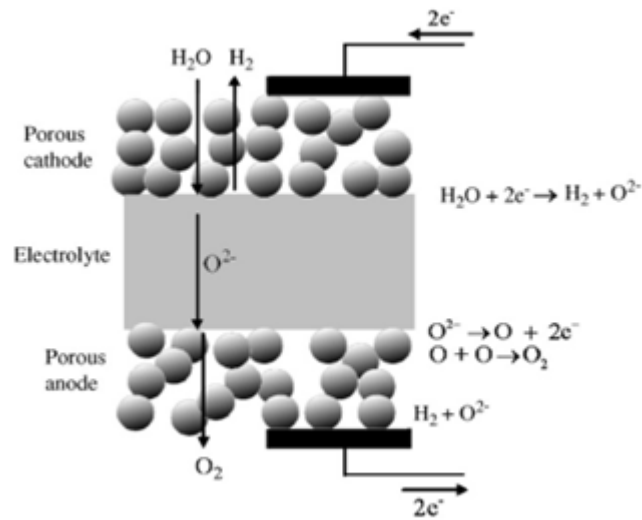
Die Sauerstoffentwicklungsreaktion findet an der Anode und die Wasserstoffentwicklungsreaktion an der Kathode statt. Diese Elektrokatalysatoren spielen eine wichtige Rolle bei der Senkung der kinetischen Barriere und beim Ablauf der chemischen Reaktionen.

AEL und PEM werden in AEM kombiniert, um einige der Nachteile des ersten und zweiten Elektrolyseurtyps zu beheben.

- Bei AEM kommt es aufgrund des Fehlens von Metallkationen nicht zur Ausfällung von Karbonaten.
- AEM ist dünner als herkömmliche Membranen > geringere ohmsche Verluste
- Die Membran ist kostengünstiger als die PEM-Membran.
- Es ist keine konzentrierte KOH-Lösung erforderlich, wodurch die Installation weniger kritisch und einfacher zu handhaben ist.

# ELEKTROLYSEUR-TYPEN

## Hochtemperatur



- Der dichte **Elektrolyt muss gasdicht sein**, um jede Möglichkeit der Rekombination von H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> auszuschließen, aber er sollte so dünn wie möglich sein, um das ohmsche Überpotential zu minimieren
- Die **Wärmeausdehnungskoeffizienten** beider Elektroden sollten nahe an denen des Elektrolyten liegen, um ein Materialversagen des Elektrolyten aufgrund zu hoher mechanischer Beanspruchung durch die **ungleiche Wärmeausdehnung** zu verhindern.

Bei SOEC werden oxidische, ionenleitende Elektrolyt Materialien wie **Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumdioxid (YSZ)** verwendet, die den Ionen Transport bei hohen Temperaturen ermöglichen und im allgemeinen bei Temperaturen um 800-1000 °C arbeiten. Der Hochtemperaturbetrieb erhöht den Wirkungsgrad des Systems erheblich, stellt jedoch eine Herausforderung für die Haltbarkeit des Systems und die häufigen ein- und Ausschaltvorgänge dar.

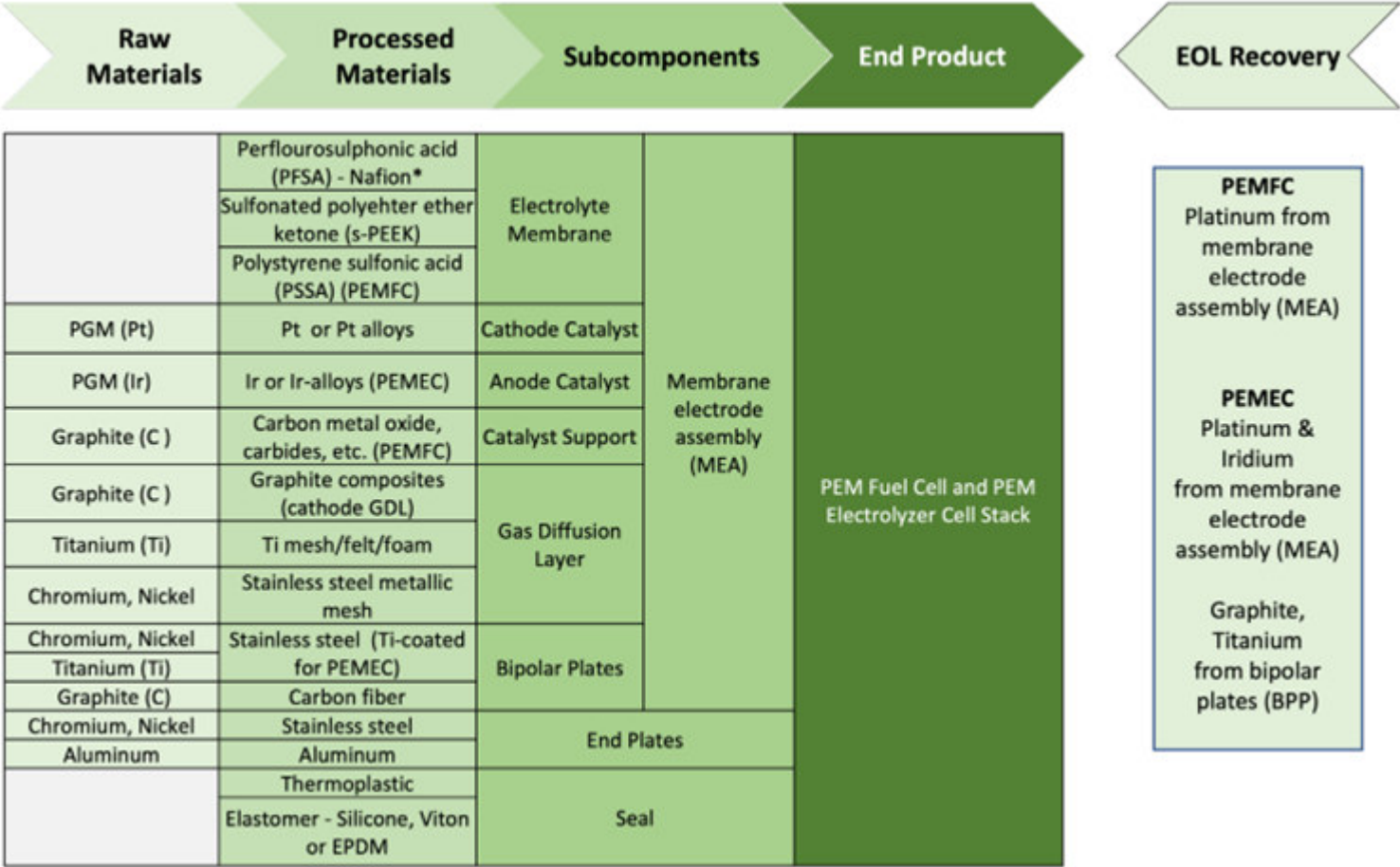
# ELEKTROLYSEUR-TYPEN

## Zusammenfassung

Angabe	PEM	Alkaline	AEM	SOE
Readiness level	kommerzielle Anwendung	kommerzielle Anwendung	Anfang von kommerzielle Anwendung	Anfang von kommerzielle Anwendung
Ionischer Ladungsträger	H+	OH-	OH-	O2-
Electrolyte	solides Polymer	Wässrige Lösung. 10-40% KOH/NaOH	solides Polymer	feste Keramik (YSZ)
Medium	Destilliertes Wasser	Hohe Konzentration Lösung	Destilliertes Wasser oder niedrig konzentrierte Lösung	Dampf
Anodenmaterial	Pt; Ir; Ru	Ni	Ni-Basis-Legierung	LSMYSZ; CaTiO3
Kathodenmaterial	Pt; Pt=C	Ni Legierungen	Ni, Ni-Fe, NiFe2O4	Ni-YSZ cermet
Temperatur, °C	60-100	50-120	50-70	700-1000
Betriebsdruck, bar	15-30	2-10	<35	<30
Wirkungsgrad	65-84%	60-82%	-	~90%
Start-up Dauer	<15 min	<10 s	-	>60 min
Stack Lebensdauer	<40,000 Std	< 90,000 Std	> 10,000 Std	< 40,000 Std
Energieverbrauch, kWh/Nm3	4.5-7.5	4.5-7	~ 4.8	2.5-3.5
Geschätzte Kosten bis 2050.	~\$750/kWh	~\$600/kWh		~\$200/kWh
Vorteile	+Kompakte und einfache Konstruktion. +Schnelle Reaktion und Start-up. +Hohe Wasserstoff Reinheit. +Geeignet für Last schwankung.	+Niedrige Kapitalkosten. +Stabil und gut etabliert. +Keine Verwendung von edlem Material.	+Eine Mischung aus den Vorteilen von PEM und AWE. +Geeignet für Last schwankung. +Günstige Komponenten.	+Es kann als Brennstoffzelle verwendet werden. +Hoher Wirkungsgrad. +Aufgrund der Abwesenheit von edlen Materialien sind die Investitionskosten niedrig.
Nachteile	-Verwenden Sie edle Materialien. -Hohe Membran kosten. -Geringe Haltbarkeit. -Saure Umgebung.	-Korrosiv Elektrolyt. -Geringe H2-Reinheit. -Langsames Anfahren. -Niedrige Strom dichte.	-Niedrige ionische Leitfähigkeit. -Geringe Membran Stabilität. -Geringe Lebensdauer.	-Instabil Elektroden. -Sicherheits- und Dichtungs Probleme. -Unhandliche Konstruktion. -Verwendung von zerbrechlichem Material.

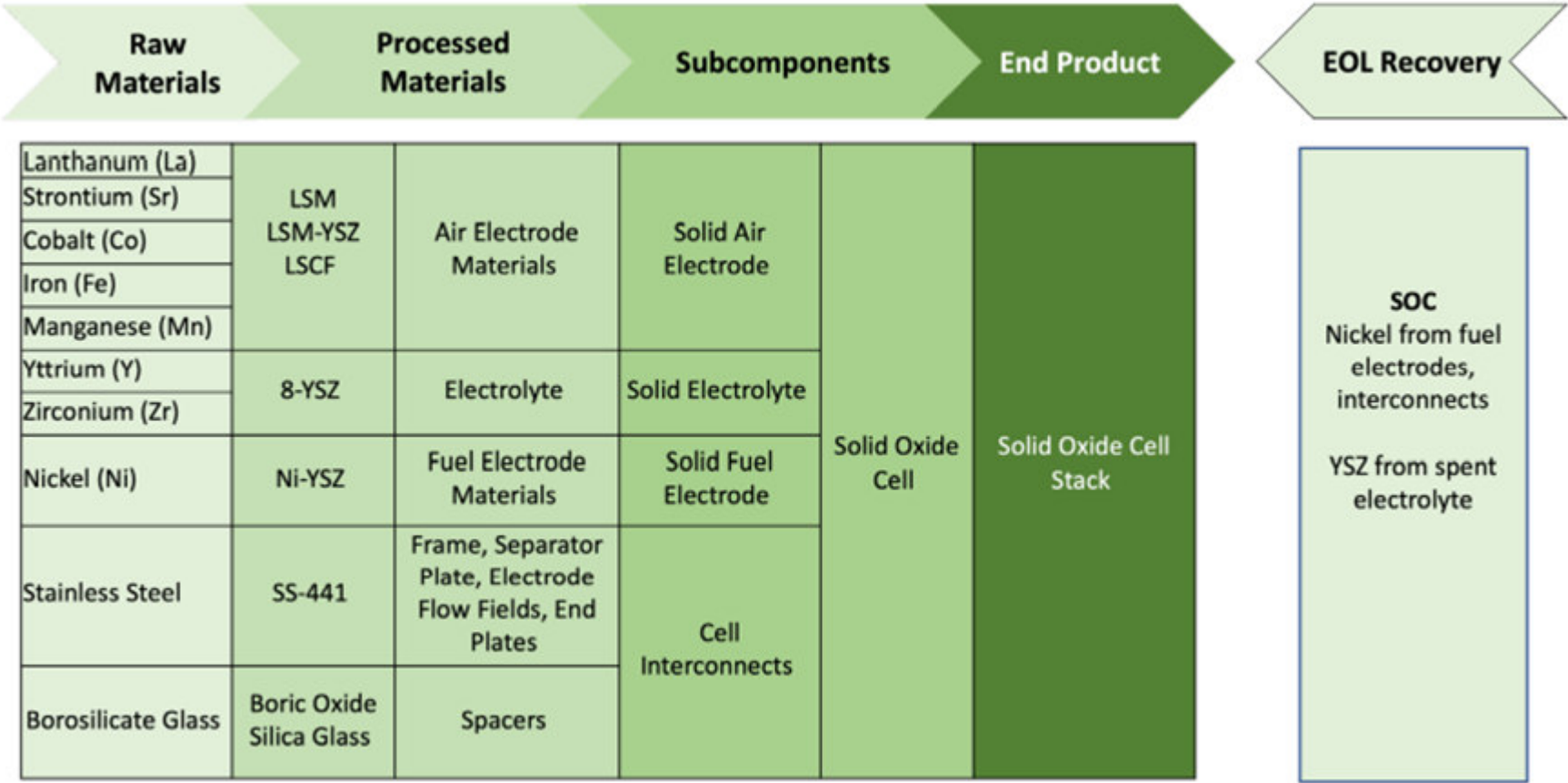
# ELEKTROLYSEUR-TYPEN

## Prozesskette PEMEC



# ELEKTROLYSEUR-TYPEN

## Prozesskette SOEC





# Kontakt

---

**Esther Ascheri**  
**Wasserstoff - Tryout**  
**Referenzfabrik.H2**  
**Tel. +49 371 5397-1233**  
**[mary.esther.ascheri@iwu.fraunhofer.de](mailto:mary.esther.ascheri@iwu.fraunhofer.de)**

[referenzfabrik@fraunhofer.de](mailto:referenzfabrik@fraunhofer.de)  
[www.referenzfabrik.de](http://www.referenzfabrik.de)

Fraunhofer IWU  
Reichenhainer Straße 88  
09126 Chemnitz  
[www.iwu.fraunhofer.de](http://www.iwu.fraunhofer.de)



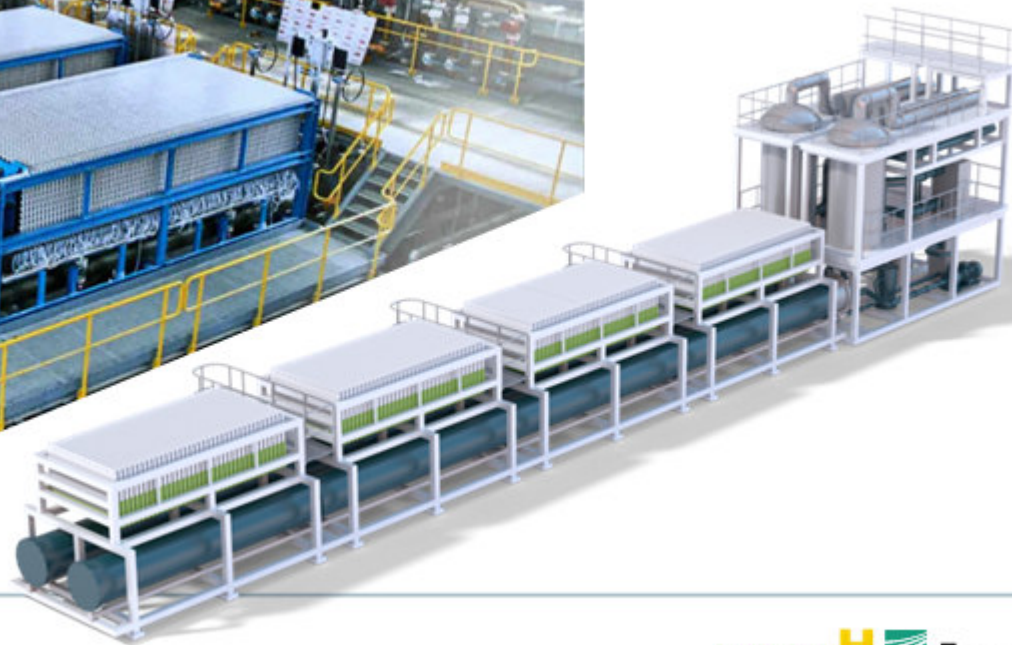
Fraunhofer-Institut für Werkzeug-  
maschinen und Umformtechnik IWU





# AEL

## Beispiel



# PEM

## Beispiel

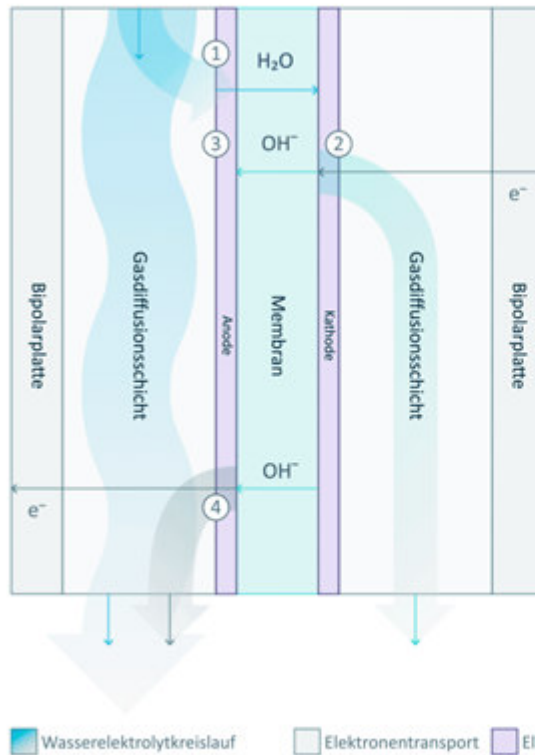
**SIEMENS**  
energy



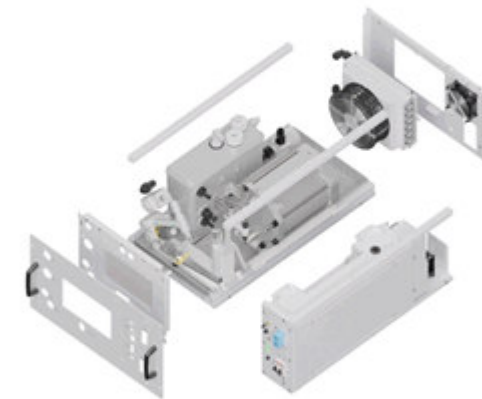


# AEM

## Beispiel



- ① Wasser durchnässt die Membran und wandert so von der Anode zur Kathode
- ② An der Kathode entsteht Wasserstoff und entweicht über die Gasdiffusionsschicht
- ③ OH<sup>-</sup> bewegt sich über die Membran zurück zur Anode
- ④ Aus dem OH<sup>-</sup> bildet sich an der Anode Sauerstoff und wird über die Diffusionsschicht abtransportiert



Production rate	500 NL/h or 1.0785 kg/24h
Hydrogen purity	99.9% (or > 99.999% with optional Dryer)
Outlet pressure	up to 35 barg
Module dimensions	W: 482 mm D: 635 mm H: 266 mm
Module weight (without water)	42 kg

# SOEC

## Beispiel

