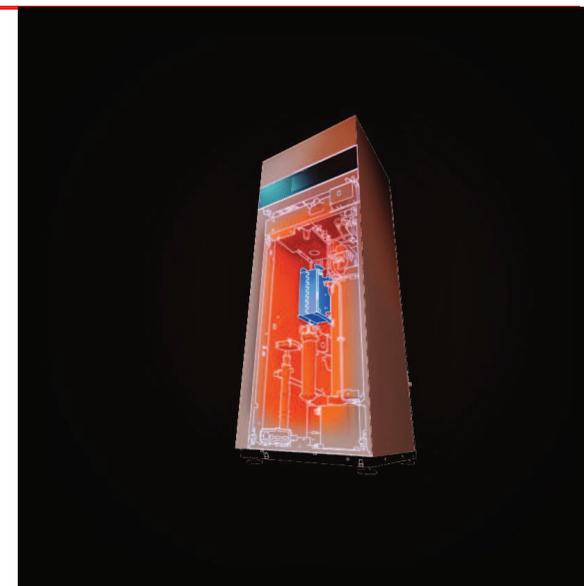

Zukunft Brennstoffzelle

In dieser Zelle brennt das Wasser



Ich glaube, dass Wasser eines Tages als Brennstoff benutzt wird,
dass Wasserstoff und Sauerstoff, aus denen es besteht, einzeln oder zusammen,
eine unerschöpfliche Quelle von Hitze und Licht sein werden.

Jules Verne (1828-1905), französischer Schriftsteller

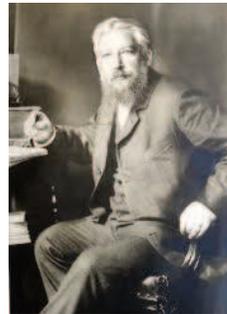


Geschichtliches zur Brennstoffzelle



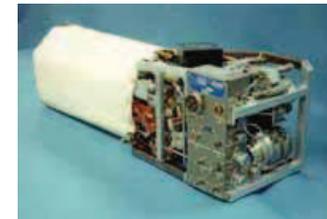
- Geburt der Brennstoffzelle

- 1839: Entdeckung der Brennstoffzelle durch Sir William Grove und Christian Friedrich Schönbein. Verdrängung durch Erfindung des elektrischen Generators.
- 1889: Bezeichnung "Brennstoffzelle" setzt sich durch (galvanische Gasbatterie).
- 1894: Wilhelm Ostwald errechnet einen theoretischen Wirkungsgrad von 83 % bei Raumtemperatur.



Geschichtliches zur Brennstoffzelle

- 1. Renaissance der Brennstoffzelle: Raumfahrt
 - 60er Jahre: Entwicklung und Einsatz der alkalischen Brennstoffzelle (AFC) für das Apollo-Programm.
 - 1964: Entwicklung der Polymermembran-Zelle PEMFC. Einsatz in den Gemini-Raumfahrzeuge.
 - 80er Jahre Entwicklung und Einsatz der alkalischen Brennstoffzelle (AFC) für das Space-Shuttle-Programm.
Ölkrise 1973



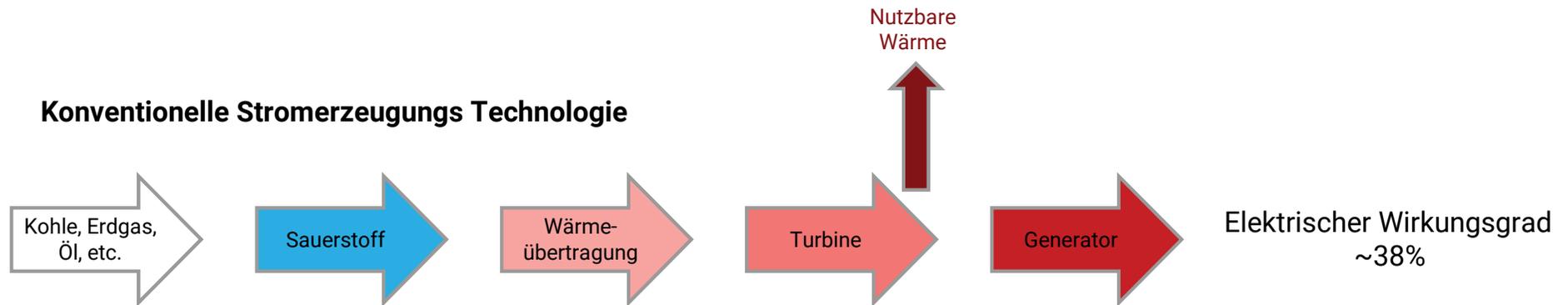
Geschichtliches zur Brennstoffzelle

- 2. Renaissance der Brennstoffzelle
 - Seit ca. 1990: Wiederentdeckung der Brennstoffzelle durch schwankende Ölpreise (Golfkriege)
 - Seit ca. 2000: Prototypen und Vorserien Produkte. CO₂ Problematik.

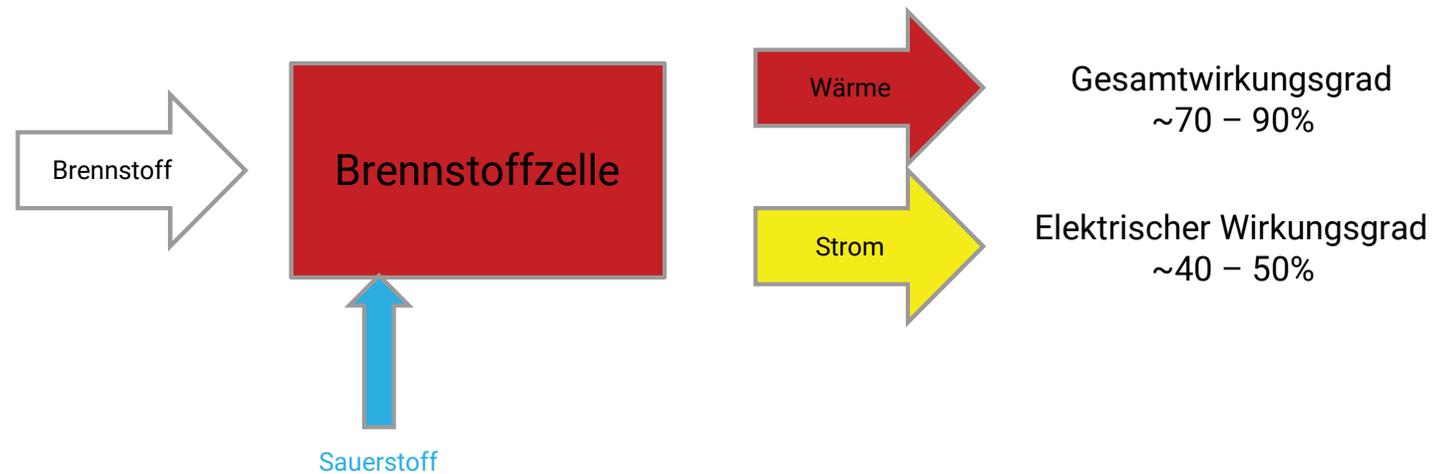


Stand der Technik - Energieumwandlungssysteme

Konventionelle Stromerzeugungstechnologie



Brennstoffzellen



Brennstoffzelle: Typen und Merkmale

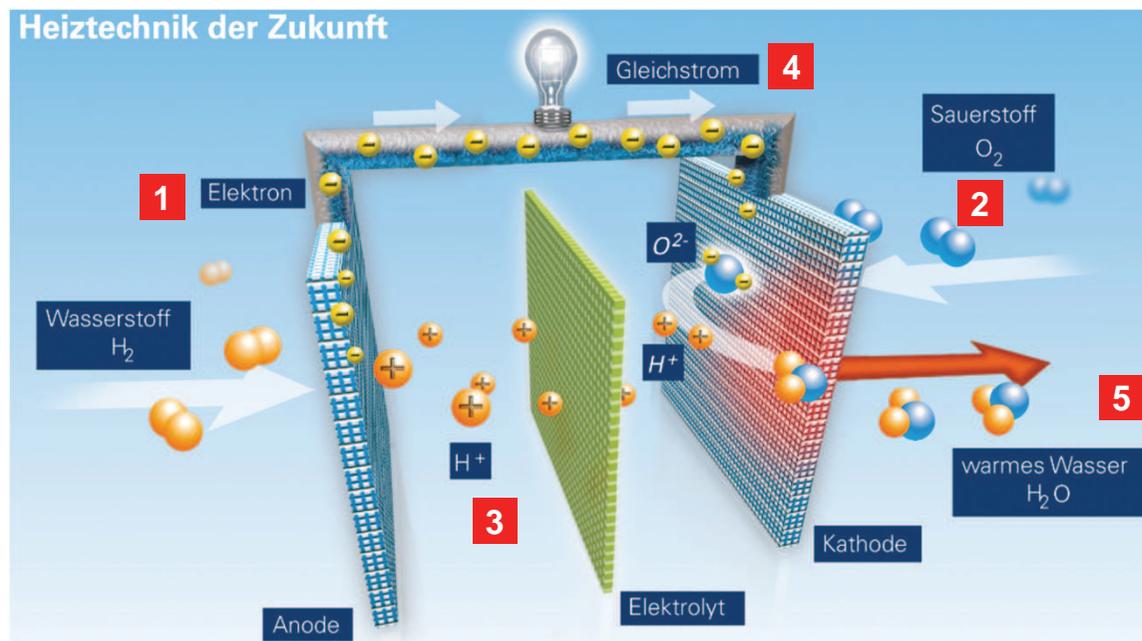
Bezeichnung		Betriebs- temperatur	Elektrolyt	Kraft-/ Brennstoff	Anwendung
AFC	Alkalische Brennstoffzelle	~80°C	Kalilauge	Wasserstoff	mobil, Raumfahrt
LT- PEMFC	Niedertemperatur-Polymer-Elektrolyt- Membran-Brennstoffzelle	~80°C	Festpolymer	Wasserstoff	mobil, stationär, spez. Anwendungen
HT- PEMFC	Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt- Membran-Brennstoffzelle	~100-200°C	Festpolymer	Wasserstoff	mobil, stationär dezentrale Strom- und Wärmeerzeugung
DMFC	Direktmethanol-Brennstoffzelle	~70-90°C	Festpolymer	Methanol	spez. Anwendungen
PAFC	Phosphorsaure Brennstoffzelle	~200°C	Phosphorsäure	Erdgas	stationär
MCFC	Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle	~650°C	Natrium- und Kaliumkarbonat	Erdgas, Biogas	stationär
SOFC	Oxidkeramische Brennstoffzelle	~1000°C	Zirkonoxid	Erdgas, Biogas	stationär

Aufbau und Funktionsprinzip einer PEM-Brennstoffzelle: Platten

- 1** Katalytische Oxidation von Wasserstoff (aus Erdgas reformiert) an der Anode unter Abgabe von Elektronen zu positiv geladenen Wasserstoff-Protonen.
- 2** Zufuhr von Sauerstoff (aus Umgebungsluft) an der Kathode.
- 3** Diffusion der ionisierten Wasserstoff-Protonen durch die Elektrolyt-Membran zur Kathode.
- 4** Elektronenfluss (Nutzstrom) über den äußeren Stromkreis.
- 5** Bildung von Wasser aus Sauerstoff mit Elektronen aus dem Strom-Kreislauf und Wasserstoff-Ionen gleichzeitig Abgabe von Nutzwärme (exotherme Reaktion) an der Kathode.

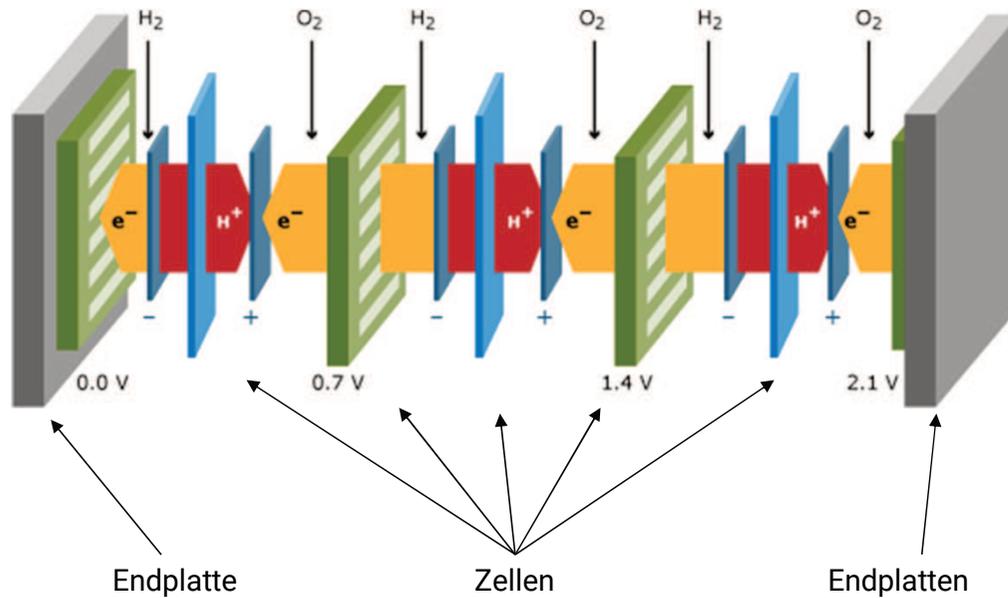
PEM

„Polymer-Elektrolyt-Membran“
oder
„Proton-Exchange-Membrane“



Aufbau und Funktionsprinzip einer PEM-Brennstoffzelle: Stack (dt. Stapel)

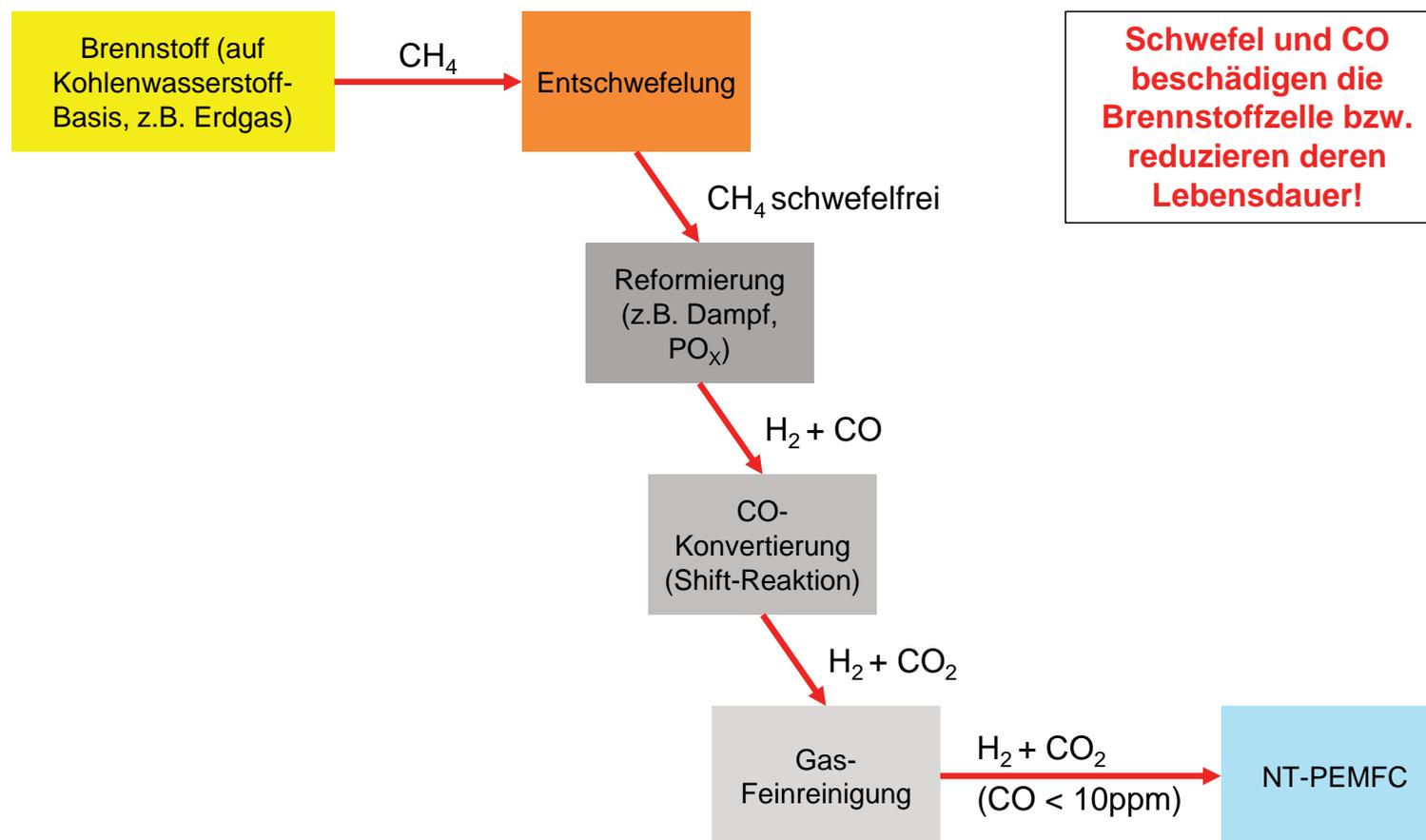
- Verschaltung zu einem sogenannten STACK
- Spannungsniveau Erhöhung durch in Serie geschalteten Zellen.



z.B.: 50 Zellen, 35 V, 810 W

Funktionsprinzip Gasaufbereitung, Entschwefelung und Reformierung

Entfernung des Schwefels, Gewinnung von Wasserstoff (H_2) aus Erdgas (CH_4) und Entfernung des CO vor Eintritt in Brennstoffzelle



Schwefel und CO beschädigen die Brennstoffzelle bzw. reduzieren deren Lebensdauer!

Praktische Anwendung der Brennstoffzelle:

- Stationärer Einsatz
 - Hausenergieversorgung
 - Notstromversorgung
 - Militärausrüstung im Feld

- Mobiler Einsatz
 - Gabelstapler
 - Straßenverkehr
 - Luftfahrt
 - U-Boot



Stationäre Anlagen: Mikro-Kraftwärmekopplung auf Brennstoffzellen-Basis



	Jan 14	Feb 14	Mrz 14	
Erzeugte elektr. Energie vom KWK	453	420	443	[kWh]
Ø erzeugte elektr. Energie	14,61	15,00	14,29	[kWh/d]
Ø tägl. Laufzeit µKWK	19,48	20,00	19,05	[h]
Strombedarf	342,19	276,35	251,00	[kWh]
Bedarfsdeckung	65,71	66,97	65,90	[%]
Produktionsdeckung	46,19	43,73	43,62	[%]

Produktionsdeckung vs. Bedarfsdeckung

Produktionsdeckung (= Eigenverbrauchsanteil)

Die Produktionsdeckung beschreibt das Verhältnis von eigenverbrauchtem Strom zu erzeugtem (produziertem) Strom

$$\text{Produktionsdeckung} = \frac{\text{eigenverbraucher Strom}}{\text{erzeugter Strom}} * 100 \%$$

Bedarfsdeckung

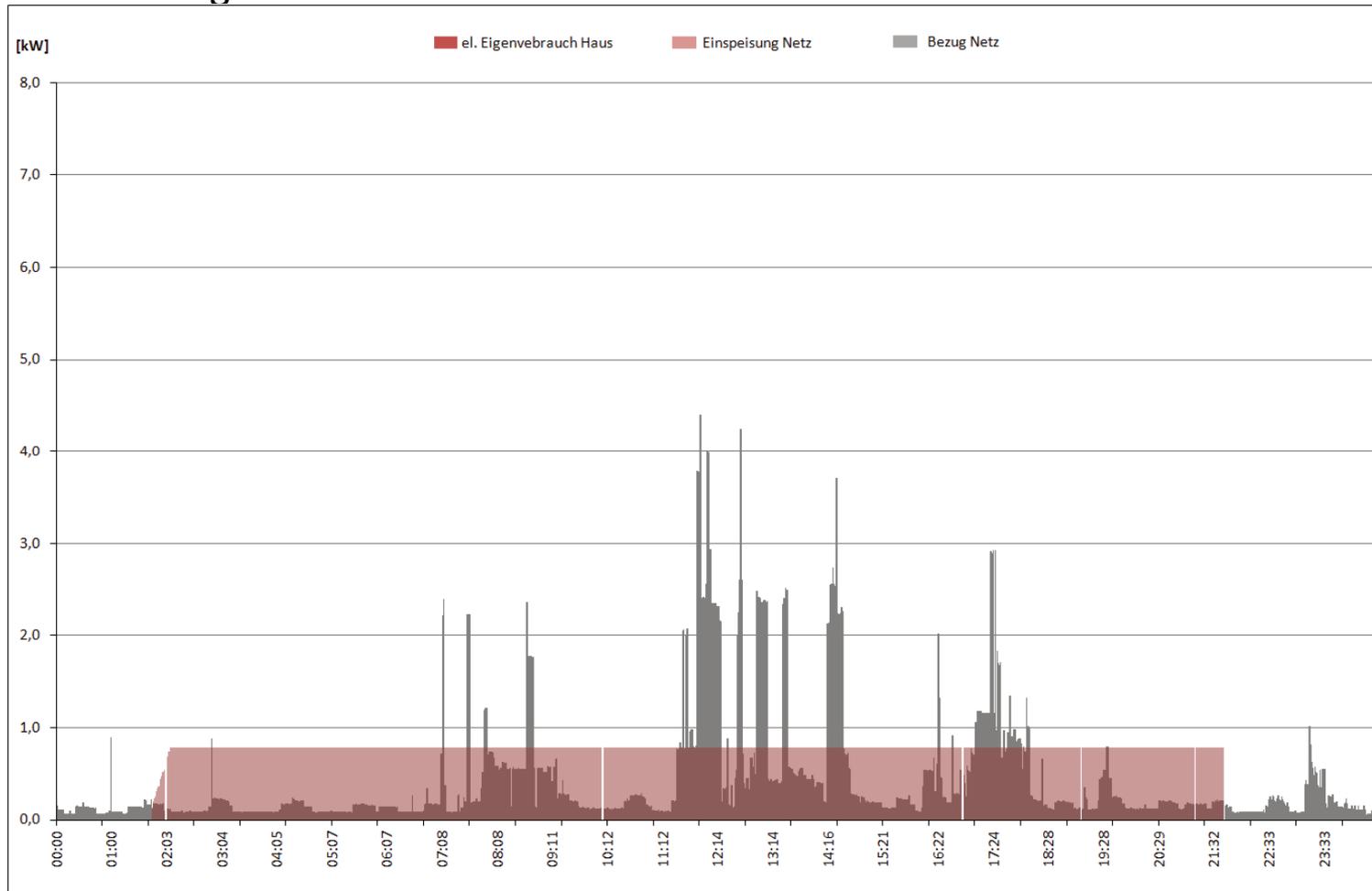
Die Bedarfsdeckung beschreibt das Verhältnis von eigenverbrauchtem Strom zu Strombedarf

$$\text{Bedarfsdeckung} = \frac{\text{eigenverbraucher Strom}}{\text{Strombedarf}} * 100 \%$$

- Für den Kunden ist die Bedarfsdeckung von Bedeutung. Je höher die Bedarfsdeckung, um so weniger Strom muss er vom Energieversorger beziehen.
- Je höher die Bedarfsdeckung, um so größer ist die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

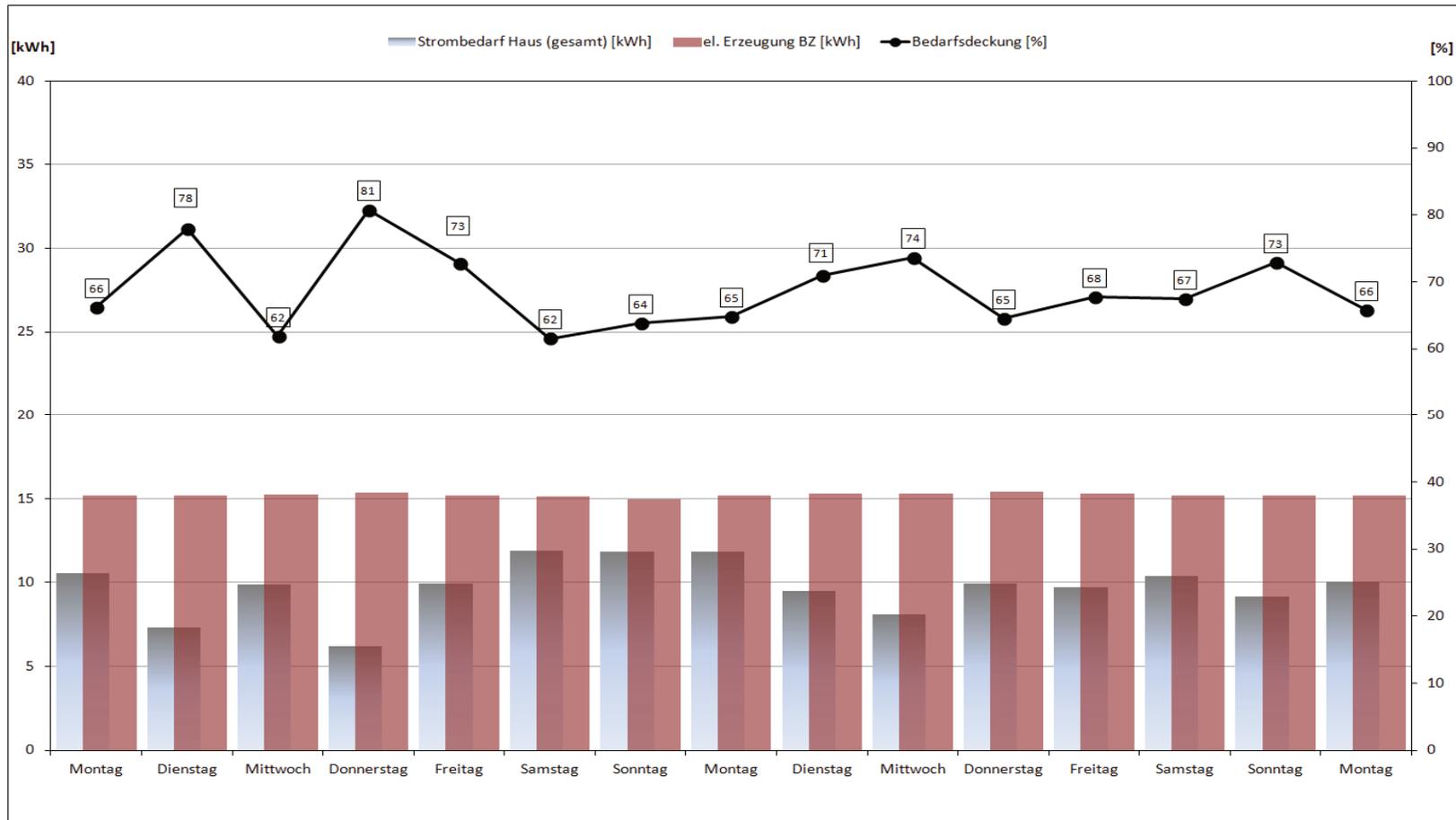
Beispiel Stromlastprofil der Anlage

Tagesverlauf Leistung

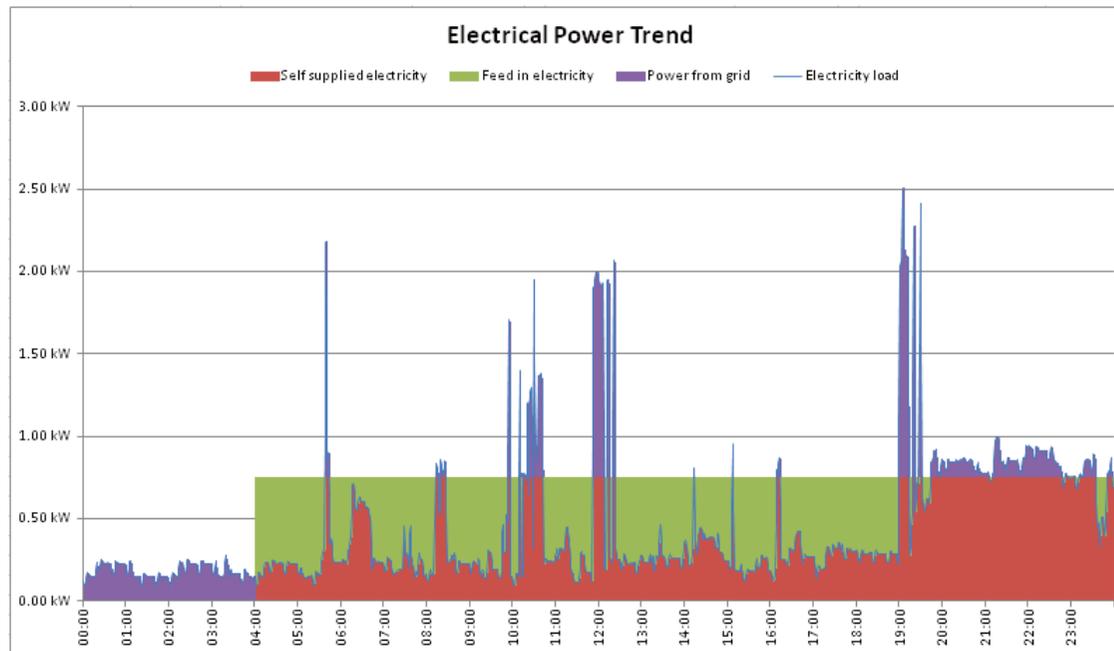


Beispiel Stromlastprofil der Anlage

Tageswerte erzeugter und verbrauchter Strom



Beispiel: Produktionsdeckung vs. Bedarfsdeckung



**Wärmebedarf
7800 kWh**

**Warmwasserbedarf
2250 kWh**

**Strombedarf
4000 kWh**

$$\text{Produktionsdeckung} = \frac{\text{eigenverbraucher Strom}}{\text{erzeugter Strom}} * 100\%$$

$$\text{Produktionsdeckung} = \frac{2505 \text{ kW}}{4478 \text{ kW}} * 100\%$$

$$\text{Produktionsdeckung} = 0,558 * 100\%$$

$$\text{Produktionsdeckung} = 55,8 \%$$

$$\text{Bedarfsdeckung} = \frac{\text{eigenverbraucher Strom}}{\text{Strombedarf}} * 100\%$$

$$\text{Bedarfsdeckung} = \frac{2505 \text{ kW}}{4000 \text{ kW}} * 100\%$$

$$\text{Bedarfsdeckung} = 0,626 * 100\%$$

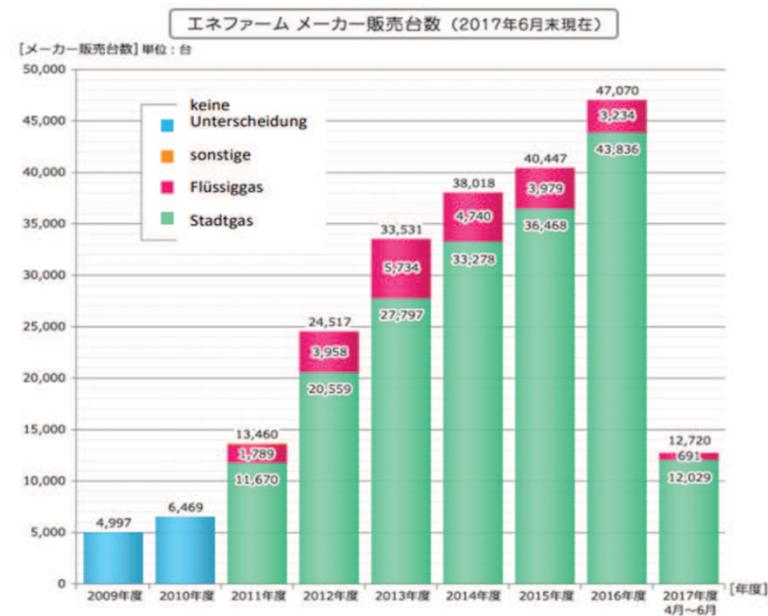
$$\text{Bedarfsdeckung} = 62,6 \%$$

Aktuelle Zahlen und Daten:

- Japan
 - mehr als 260.000 installierte KWK.
 - Die Brennstoffzelle beginnt in Japan die einfache Brennwert-Erdgasheizung bereits zu ersetzen.
 - Jährlicher Zuwachs ~40.000 Stück.

- Deutschland
 - ~ 5.700 installierte Geräte.

- Kpl. Marktreife von verschiedenen Herstellern.



Mobiler Einsatz: Gabelstapler mit Brennstoffzellenantrieb

Sollen Flurfördergeräte im Schichtbetrieb rund um die Uhr oder zumindest mit begrenzten Pausenzeiten genutzt werden, erfordern akkubasierte Systeme einen Laderaum mit Wechselakkus.

In diesen Bereichen werden zunehmend mit Brennstoffzellen betriebene Gabelstapler und Hubwagen verwendet, da diese sich in wenigen Minuten mit Wasserstoff betanken lassen und so mit kleinerem Betriebsaufwand und fast ununterbrochen zur Verfügung stehen.

- Stand 2016
 - USA ca. 11.000 Stück
 - Europa ca. 146 Stück

Aufgrund der Investitionskosten für eine Wasserstofftankstelle (Gastanks, Leitungen, Zapfstelle) amortisiert sich eine wasserstoffbetriebene Gabelstaplerflotte erst ab einer Größe von 50 Fahrzeugen.



Eine Unbequeme Wahrheit.

Wir werden morgen nicht aufwachen und vor unserer Tür steht die Erfindung, die unser CO₂ Problem auf der Erde löst.

Es müssen alle Energieformen bedacht werden, um gemeinsam zu einer Lösung zu kommen.

Die Brennstoffzelle kann ein Teil dieses Lösungsansatzes sein.



Ich bedanke mich für ihre Aufmerksamkeit!