



Biogasschulung: Motorenteknik + Alternativen

Agenda / Inhalt

- 1. Eigenschaften von Biogas**
- 2. Reinigung von Biogas**
- 3. Verbrennungsmotor**
- 4. Mikroturbine**
- 5. Brennstoffzelle**

1. Eigenschaften von Biogas

Element	Anteil am Biogasvolumen [vol %]
Methan	50 - 75
Kohlendioxid	25 - 50
Wasserdampf	1 - 10
Stickstoff	0 - 5
Sauerstoff	0 - 2
Wasserstoff	0 - 1
Ammoniak	0 - 1
Schwefelwasserstoff	0 - 1

1. Eigenschaften von Biogas

Eigenschaft	Einheit	Biogas	Erdgas
Heizwert	kWh/m ³	6	10
Dichte	Kg/m ³	1,2	0,7
Zündtemperatur	°C	700	650
Verbrennungsgeschwindigkeit	m/s	0,25	0,39

1. Eigenschaften von Biogas

Mindestvoraussetzungen

unterer Heizwert	$> 4 \text{ kWh} / \text{m}^3_{\text{n}}$
Methangehalt	$> 40 \text{ Vol. } \%$
Gesamtschwefel	$< 2.300 \text{ mg} / \text{m}^3_{\text{n}} \text{ CH}_4$
Chlor	$< 100 \text{ mg} / \text{m}^3_{\text{n}} \text{ CH}_4$
Fluor	$< 50 \text{ mg} / \text{m}^3_{\text{n}} \text{ CH}_4$
Summe Chlor und Fluor	$< 100 \text{ mg} / \text{m}^3_{\text{n}} \text{ CH}_4$
Silizium	$< 10 \text{ mg} / \text{m}^3_{\text{n}} \text{ CH}_4$
Feststoffanteil (Teilgröße $< 1\mu\text{m}$)	$< 30 \text{ mg} / \text{m}^3_{\text{n}} \text{ CH}_4$
Schwefelwasserstoff	$< 0,15 \text{ Vol. } \%$

2 Anlagen zur Verwertung von Biogas aus landwirtschaftlichen Reststoffen	
<p>Biogasanlage Farsø/Dänemark</p> <p>Viehbestand: 105 Milchkühe + 160 Jungtiere (entspricht ca. 217 GVE)</p> <p>Biogasaufkommen: ca. $415 \text{ m}^3/\text{d}$ (aus ca. 11 m^3 Gülle / d)</p> <p>BHKW: 3 Module (Totem) a $14 \text{ kW}_{\text{elektrisch}}$</p>	<p>Biogasanlage Laholm/Schweden</p> <p>Biomasse: Jährlich ca. 35.000 t Dung und organischer Abfall</p> <p>Biogasaufkommen: ca. $3.500 \text{ m}^3/\text{d}$ (aus ca. 90 m^3 Gülle / d)</p> <p>BHKW: 1 Modul (Jenbacher) $450 \text{ kW}_{\text{elektrisch}}$</p>
$\eta_{\text{eff}}/\text{Farsø}$ (vor Generator) $\sim 23 \%$ $<$ $\eta_{\text{eff}}/\text{Laholm}$ (vor Generator) $\sim 37 \%$	

2. Reinigung von Biogas

Vor der Verwertung von Biogas muss dieses gereinigt werden von:

- **Wasserdampf:** reduziert den Motorwirkungsgrad
Durch Kühlung des Biogases – Ausfall als Perkolat

- **Schwefelwasserstoff:** reagiert mit Wasser zu Schwefelsäure – wirkt korrosiv
Biologisch (O_2 + *Sulfobacter oxydans*) oder chemisch (Eisensalz oder Natriumlauge);

- **Siloxane** (nur in Anlagen in denen industrielle Abfälle oder zivile Abwasser verwertet werden): wird zu Quarz = Schleifmittel
Aktivkohlefilter oder Gaswäscher

- **Ammoniak:** kann durch Selbstentzündung an heißen Bauteilen im Brennraum „Klopfen“ verursachen
Wird im Normalfall mit dem Perkolat ausgetragen, zusätzlich kann eine Gaswäsche oder Aktivkohlefilter vorgesehen werden

2. Reinigung von Biogas

Vorteilhaft sind:

- Vorkehrungen zur laufenden **Biogasmessung**: ermöglicht Optimierung der Entschwefelung und stellt ein effizientes Instrument der Prozessüberwachung dar
- **Gasregelstrecke**: Ermöglicht die Homogenisierung des Gasflusses zum Motor, sieht mindestens eine Gasdruckregelung vor; kann zudem einen Zähler und Partikelfilter enthalten



2. Verbrennungsmotor



2. Verbrennungsmotor

Gas-Otto

In der Regel werden für die Verstromung von Biogas Gas-Otto-Motoren eingesetzt.

Gasottomotoren für den Einsatz von Biogas sehr weit entwickelt

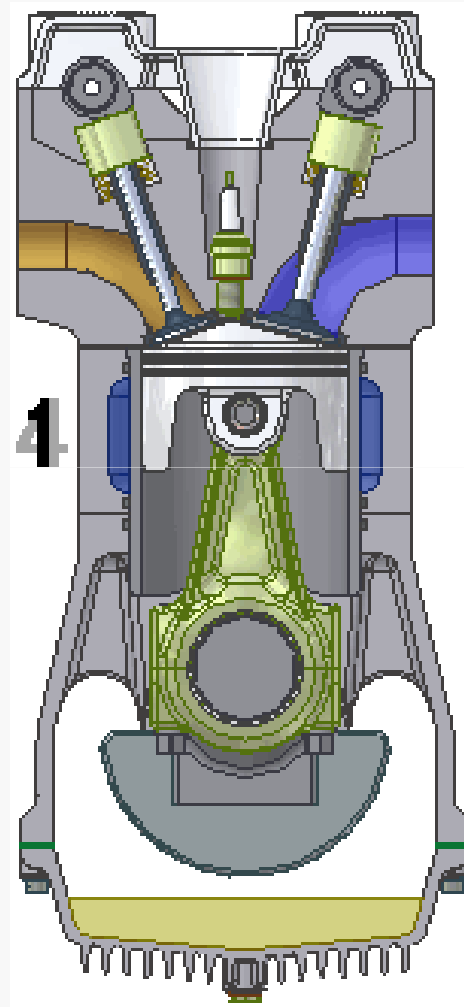
Normal bei einem Luft/Kraftstoffverhältnis von 1,6 – 2,1 betrieben – reduziert NOx-Emissionen (= **Magermotor**)

Möglichkeit mit Turbolader Wirkungsgrad zu vergrößern

- **Lebensdauer bis 80.000 h,**
- Totalüberholung nach **45.000 h**
- **Wartungsintervalle** von **4.000 h**
- Spezifische Kosten: 600 €/kW für Motoren > 300 kW und **800 €/kW** für Motoren < 300 kW
- Elektrische Wirkungsgrade (Herstellerangaben): 30,4% für 45 kW und 40% für 500 kW

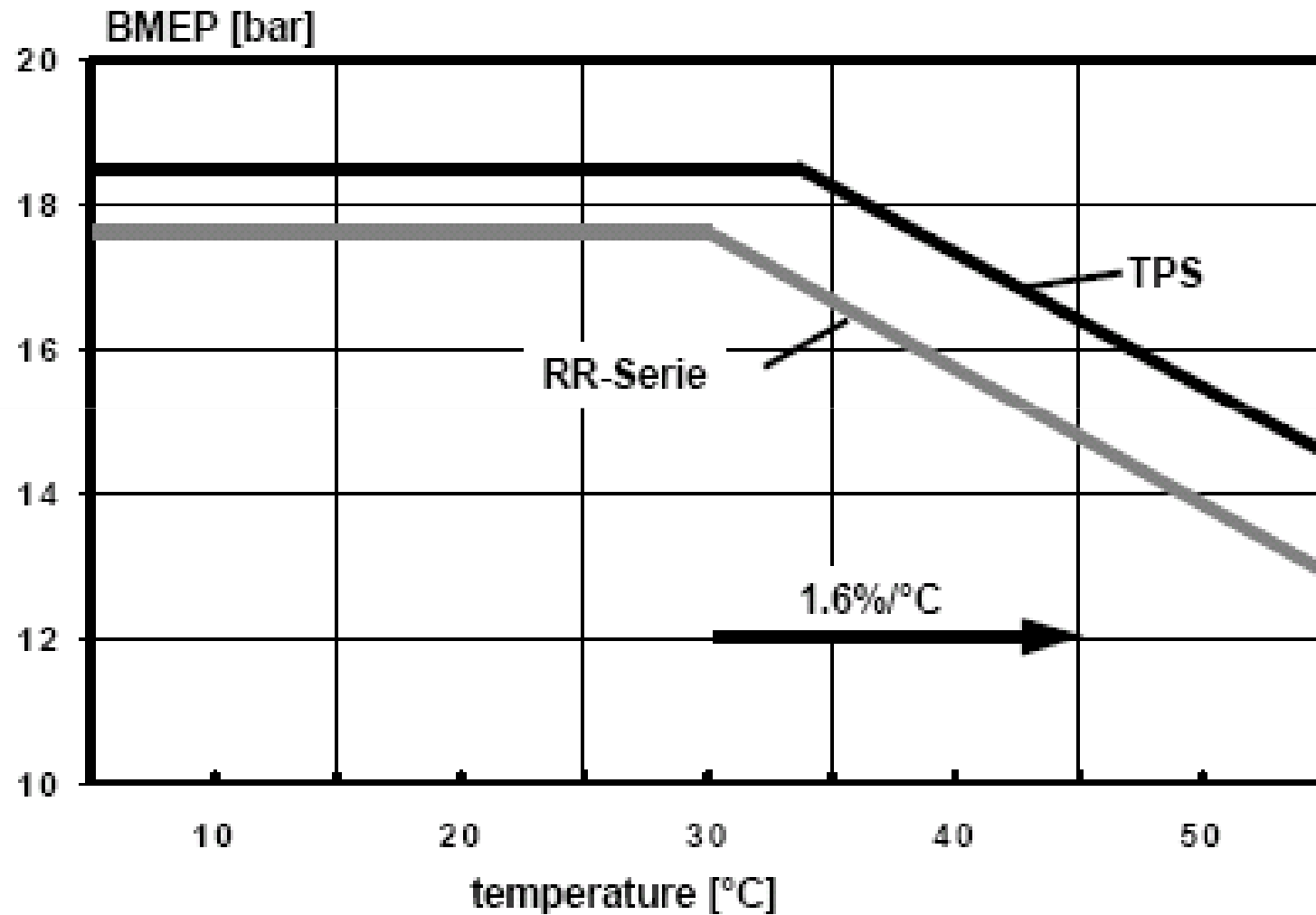
2. Verbrennungsmotor

Gas-Otto - Funktionsschema



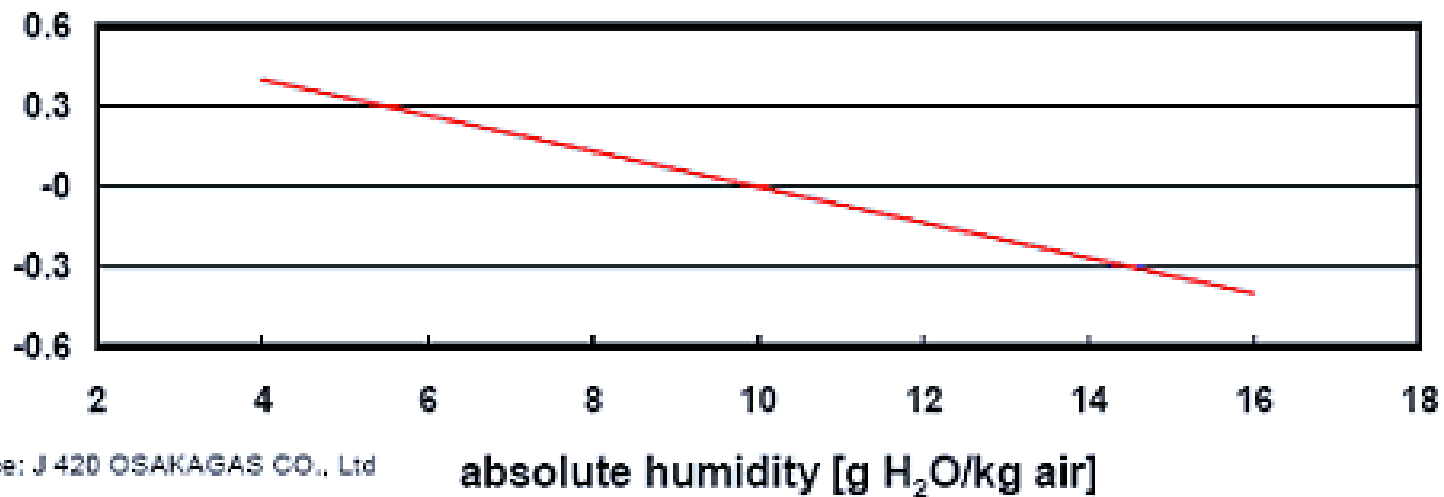
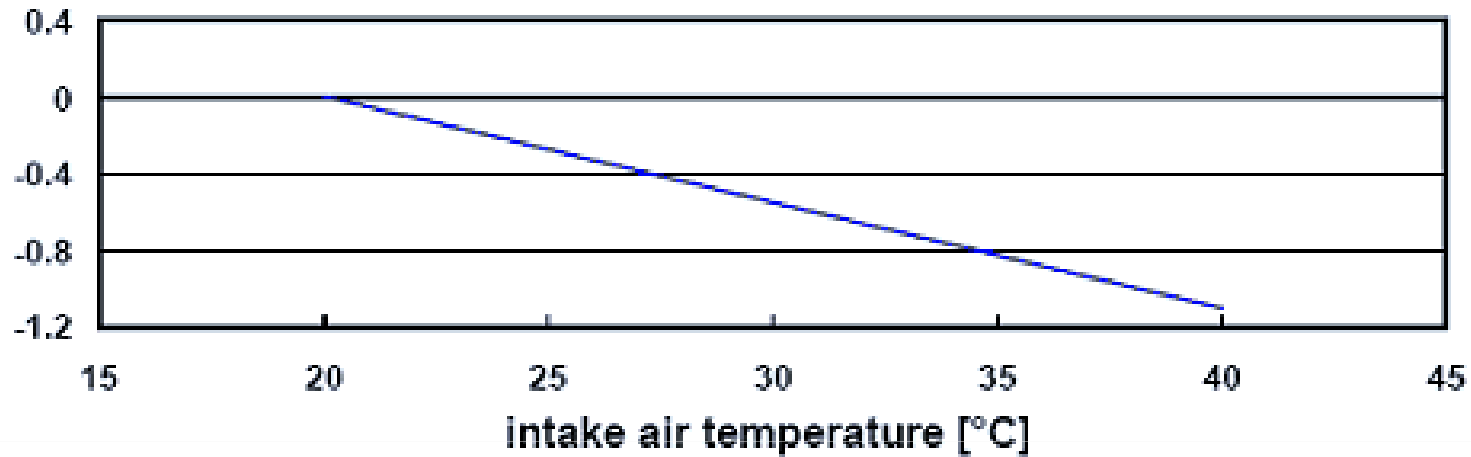
2. Verbrennungsmotor

Gas-Otto Leistungsspektrum



2. Verbrennungsmotor

Einfluss wichtiger Parameter auf die Wirkleistung



source: J 420 OSAKAGAS CO., Ltd

2. Verbrennungsmotor

Gas-Otto Weitere Entwicklungen

Wirkleiststeigerung:

- Jenbacher erreichte mit dem HEC-Motor (High Efficiency motor) = 44% (bei 1,5 MW)
- Bei Motoren > 10 MW bereits 48,5% el. Wirkungsgrad nachgewiesen
- Experten gehen davon aus, dass das Maximum bei 50% erreicht sein wird.

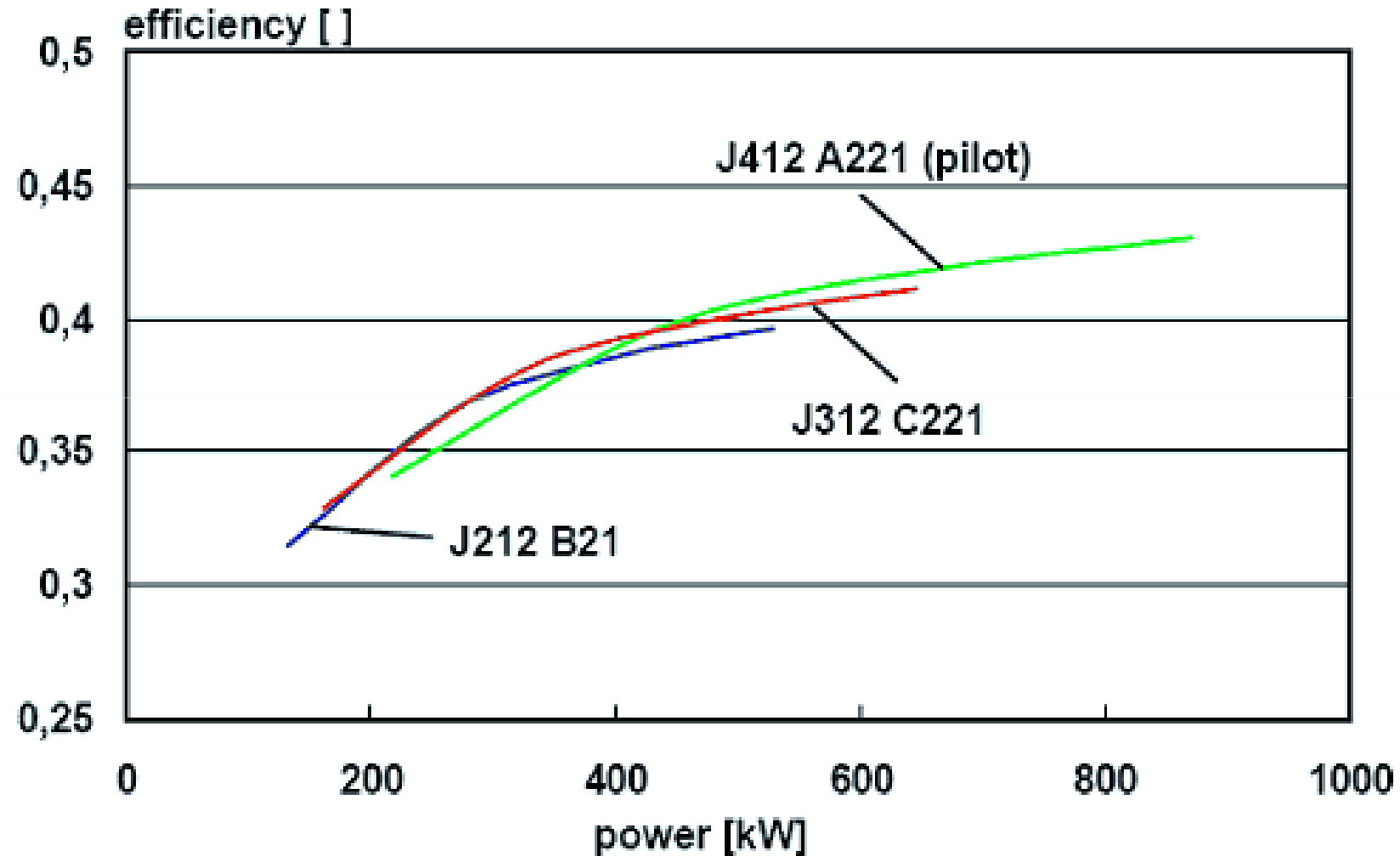
Verschiedene Techniken zur **Schadstoffminimierung**: z.B. Ansaugluftvorwärmung, Saugrohrbeheizung, verbessern der Abgasreinigungsverfahren

Einführung von **Motordiagnosesystemen** ermöglicht „Wartung nach Bedarf“

Einführung eines **Ölqualitätssensors**: Ermöglicht punktgenauen Austausch des Motoröls

2. Verbrennungsmotor

Wirkleistung und weitere Entwicklung



2. Verbrennungsmotor

Dieselmotoren

Dieselmotor:

- Leicht höherer elektrischer Wirkungsgrad als Gasotomotoren (im Durchschnitt)
- Niedrigere spezifische Investitionskosten
- Es können auch sehr magere Biogasgemische verwertet werden
- Benötigt jedoch immer einen bestimmten Anteil an Zündöl (7 – 10%)
- Typischer Einsatzbereich: 30 – 450 kWel

Aber: oft nur umgebaute LKW-Motoren verfügbar

Sehr empfindlich gegen H₂S

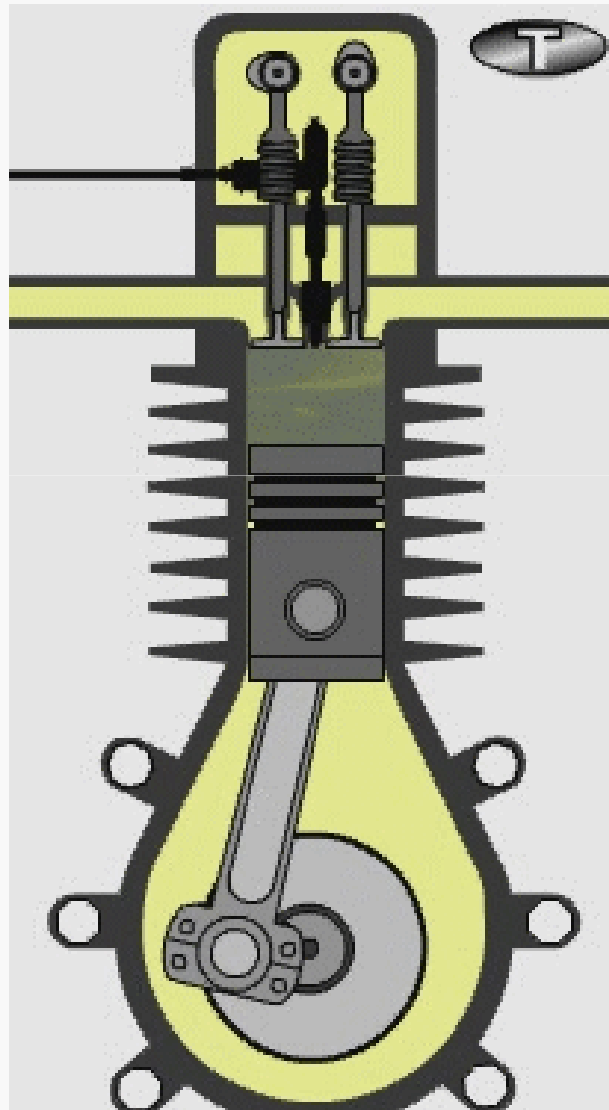
Bei Teillast hohe CO-Emissionen

Erhöhte NO_x-Emissionen (bis 5 mal höher)

Moderne Gas-Ottomotoren erreichen Wirkungsbereich von Dieselmotoren

2. Verbrennungsmotor

Dieselmotoren



2. Verbrennungsmotor

Zündstrahldieselmotor

Probleme vor allem in Teillast:

- Anstieg der Rußwerte
- Anstieg der unverbrannten Methananteile

Bei Lasten unter 25% können selbst Zündstrahlmotoren keine vollständige Verbrennung garantieren:

- Hoher Anteil unverbrannten Methans
- Hohe CO-Konzentration

Erhöhte Rußwerke – Störung des Wärmeübergangs im Abhitzkessel:

Reinigung in kürzeren Abständen

Investition: 550 €/kW (für Motoren < 300 kW)

Lebensdauer: ca. 35.000 h

2. Verbrennungsmotor

Zündstrahldieselmotor

Zündstrahldieselmotor:

Das Biogas wird der Verbrennungsluft des Motors beigemischt. Diesel wird als eigentliches Brenngas verwendet – bis 10% der Energie

- In Entwicklung für Leistungen > 100 kW
- Bietet Vorteile bei schlecht entflammbareren Gasgemischen (Methan < 40%)
- Benötigt Diesel
- Gesamtleistungsgrad unter Ottomotor

Erhebliche Schwachpunkte relativ der Schadstoffemissionen

2. Verbrennungsmotor

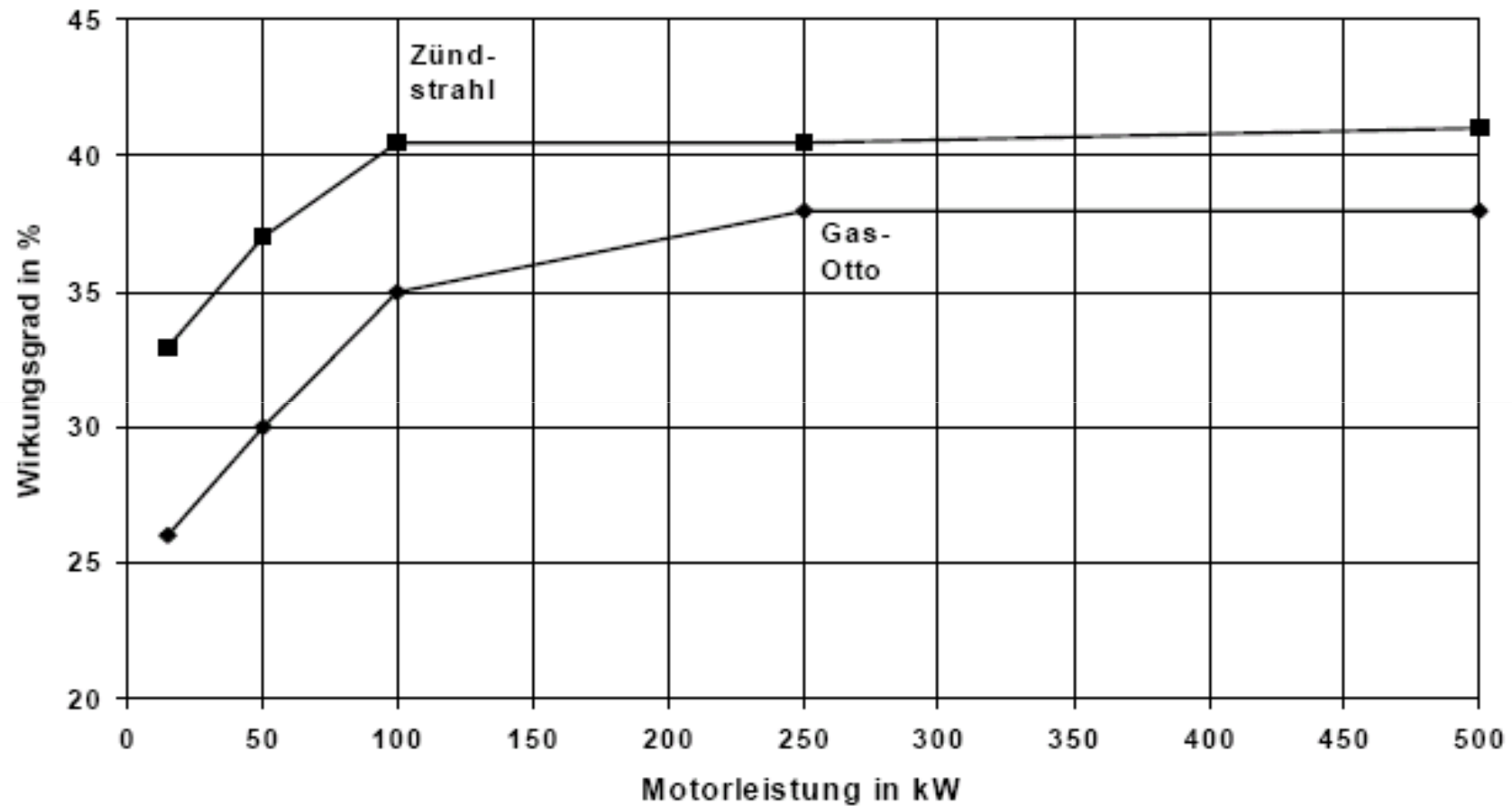
Gasdieselmotor

Gasdieselmotoren

- Werden in großen stationären Anlagen im Kraftwerksbereich eingesetzt
- Höherer elektrische Wirkungsgrad als Zündstrahldieselmotoren
- Benötigt kein Zündsystem
- Sehr hohes Kraftstoff-Luft Gemisch möglich
- Sehr hohe Investitionskosten
- Sehr robust – geringe Empfindlichkeit gegenüber Schadstoffen

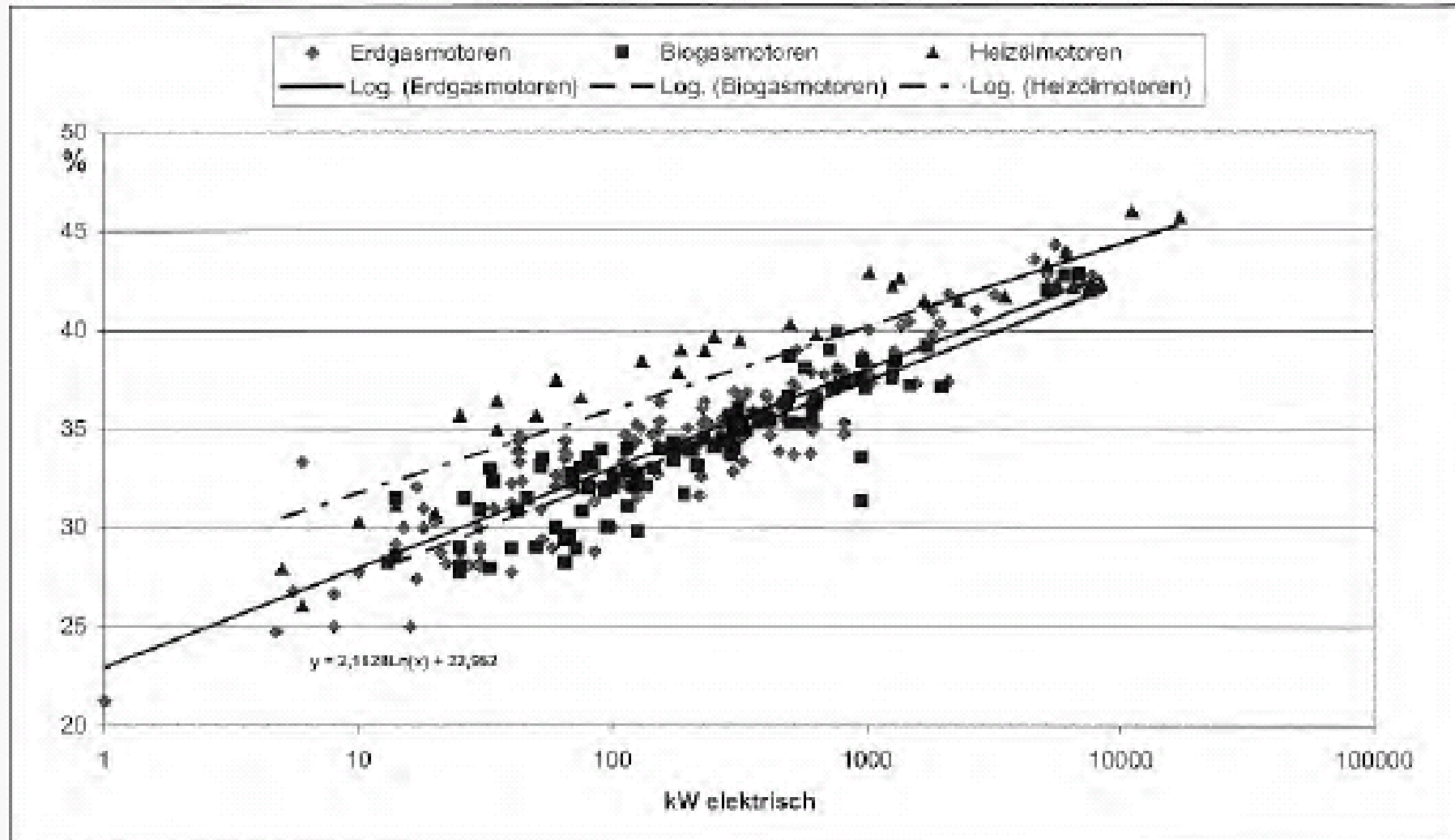
2. Verbrennungsmotor

Vergleich Zündstrahl/Gasottomotor



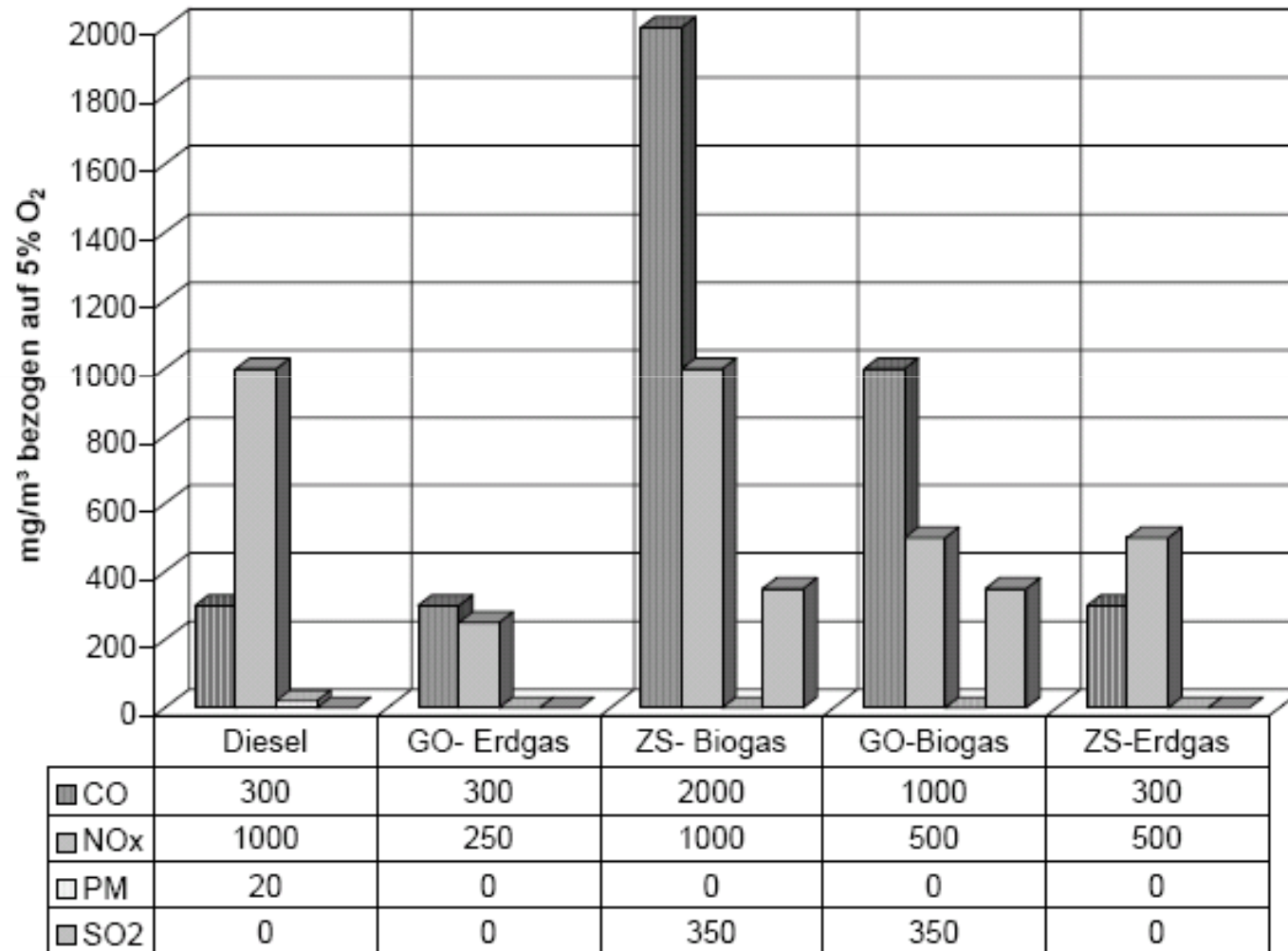
2. Verbrennungsmotor

Vergleich Zündstrahl/Gasottomotor



2. Verbrennungsmotor

Vergleich Zündstrahl/Gasottomotor



2. Verbrennungsmotor

Stromgenerator

Über die Antriebswelle des Motors wird ein Generator angetrieben

Umwandlung durch **Lorentzkraft:**

Durch die Bewegung eines Leiters quer senkrecht durch ein Magnetfeld entsteht ein Stromfluss

Wechselstromgeneratoren bestehen aus:

Rotor = bewegliche magnetische Teil und

Stator = feststehendes Gehäuse

Synchron = Rotor gibt die Frequenz der Spannung vor
v.a. für größere Anwendungen > 100 kW

Asynchron = Auf dem Stator sind min. 2 Spulen befestigt,
die zueinander versetzt sind; dadurch werden zwei um
eine Viertel Periode verschobene Stromflüsse erzeugt



3. Mikroturbinen

Allgemein



3. Mikroturbinen

Allgemein

Kleine, schnell-laufende Gasturbinen bis 100.000 Upm

Niedrige Brennkammerdrücke und -temperaturen

Leistungsbereich bis 250 kW

Werden bereits länger in der Luftfahrtindustrie zur Stromerzeugung eingesetzt

Meist **einwellige Turbinen** radialer Bauart:

Kompressor, Turbine und Generator auf der selben Welle angeordnet

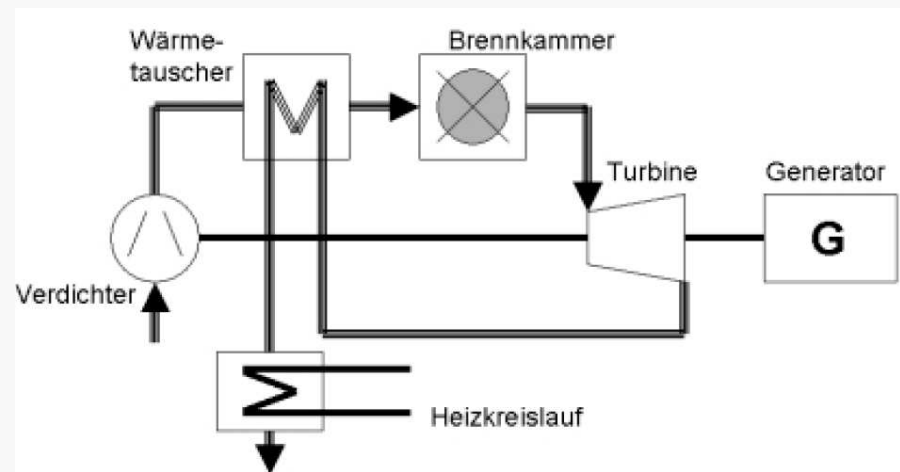
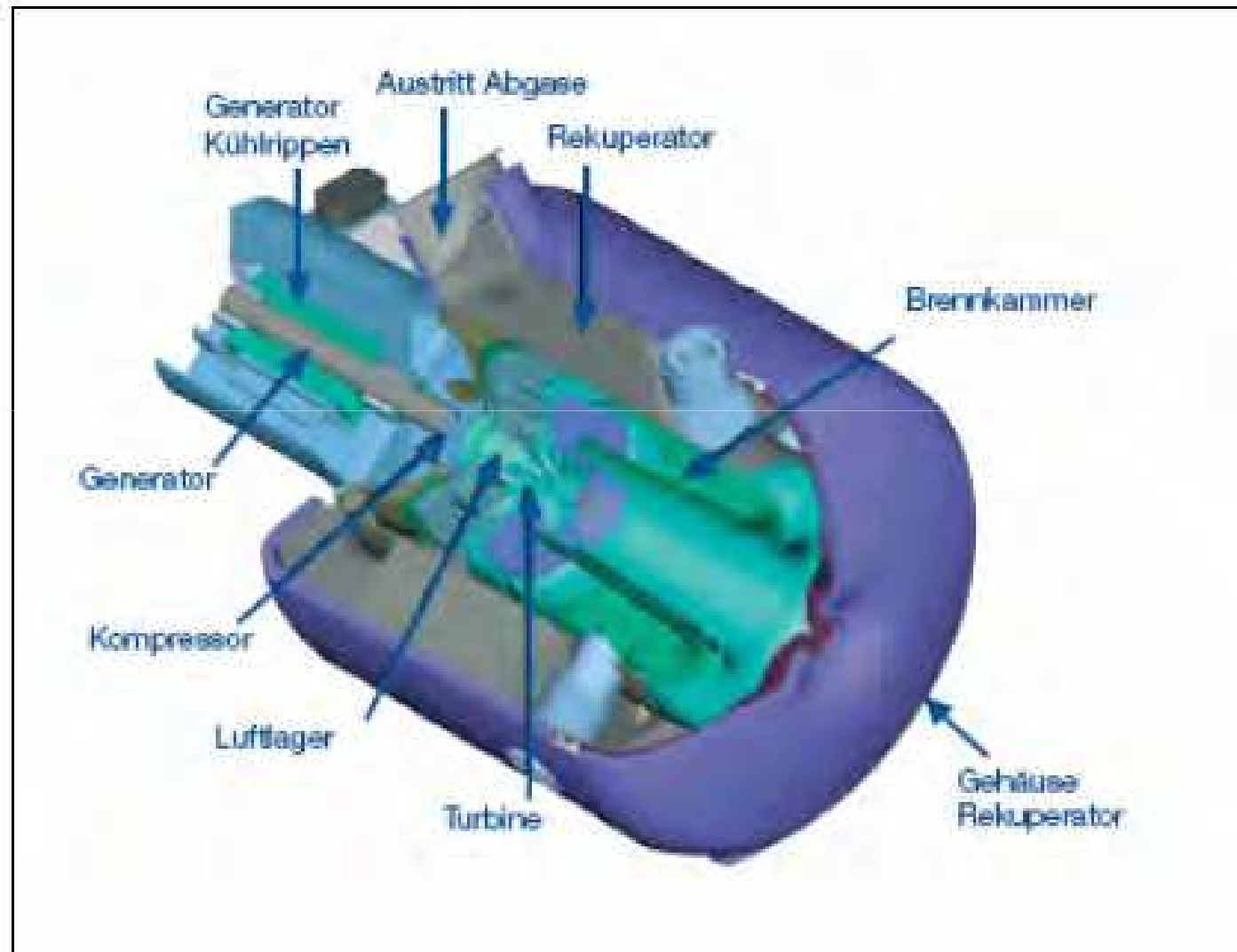


Abbildung 3: Schaltbild der Mikrogasturbinen (Simon 2003)

Aktuelle Modulkosten: ca. **1.500 €/kW el.**

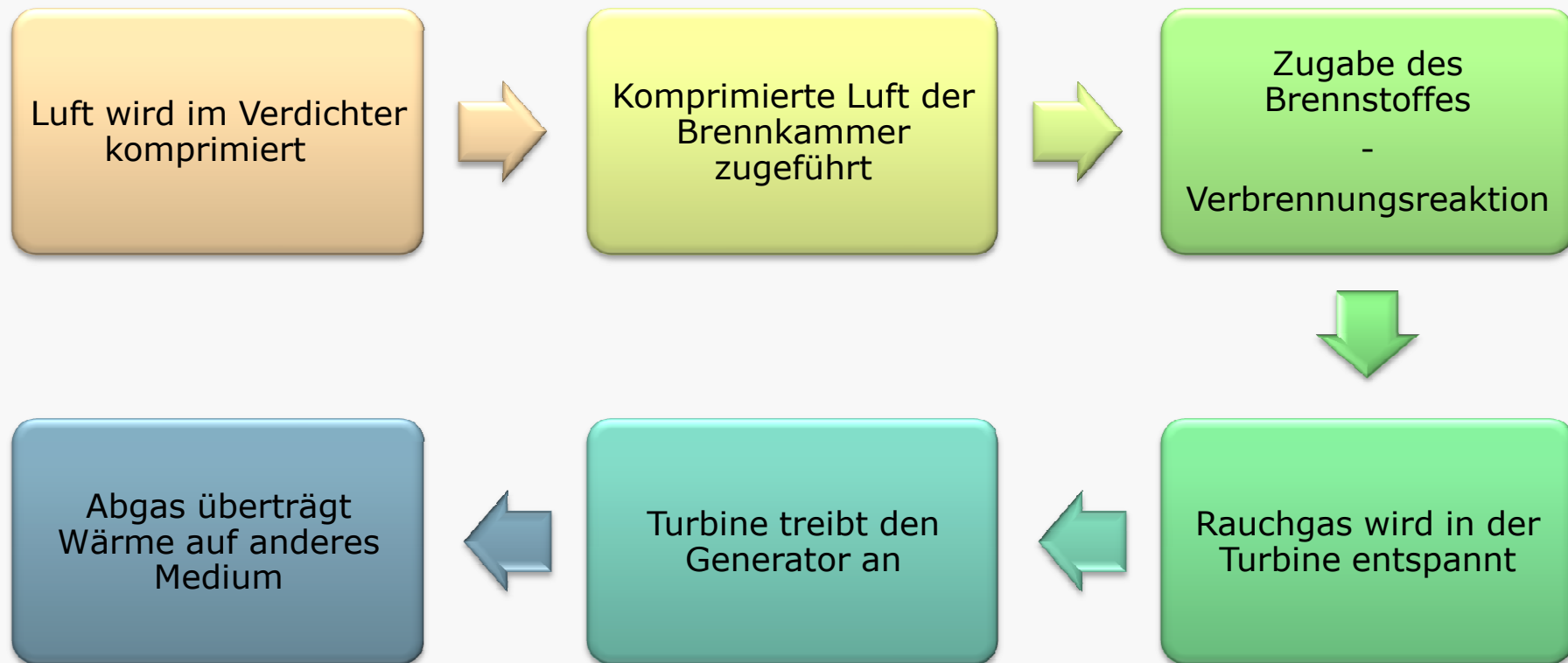
3. Mikroturbinen

Allgemein



3. Mikroturbinen

Verfahrensablauf



3. Mikroturbinen

Voraussetzung und Vorteile

Voraussetzung:

- Biogas muss vorverdichtet werden (auf 3,8 – 8,5 bar)
- Muss getrocknet werden
- Brennkammer muss schwefelresistent gebaut werden
- Kritisch zu betrachten sind Siloxane und Ammoniak

Vorteile:

- Wenig bewegliche Teile – hohe Verlässlichkeit und Verfügbarkeit – Längere Wartungsintervalle (bis 8.000 h)
- Luftgelagerte Mikrogasturbinen benötigen keinen Ölwechsel
- Geringere Abgasemissionen
- Hohe Lebensdauer – bis 15 Jahre
- Hohe Abgastemperaturen (280°C – 650°C) – Ermöglichen industrielle Verwertung
- Konstante Leistung auch bei Teillast
- Geringere Hilfsmittel nötig (z.B. Schmieröl)
- Geringere Wartung nötig
- Kleinere Module (als Gasotomotor)

3. Mikroturbinen

Nachteile und Schlussfolgerung

Nachteile:

- Teurer als herkömmliche Motoren
- Geringere Wirkleistung
- Elektrischer Wirkungsgrad ist von Umgebungstemperatur abhängig
 - **liegt bei 10°C zwischen 26 bis 28%**
- **Gesamtleistung bei ca. 82%**
- Höhere Investitionskosten
- Benötigt Gasverdichter – weitere Reduzierung des Wirkgrads
- Leistung nimmt mit Aufstellungshöhe ab (Luftdruck)
- Hohe Empfindlichkeit gegenüber Staub und Schwefel

Interessant für:

kleine Biogasanlagen (< 100 kW); Bedarf an Wärme mit hoher Temperatur

In Trient wird das Klärgas bereits mit Turbine verstromt

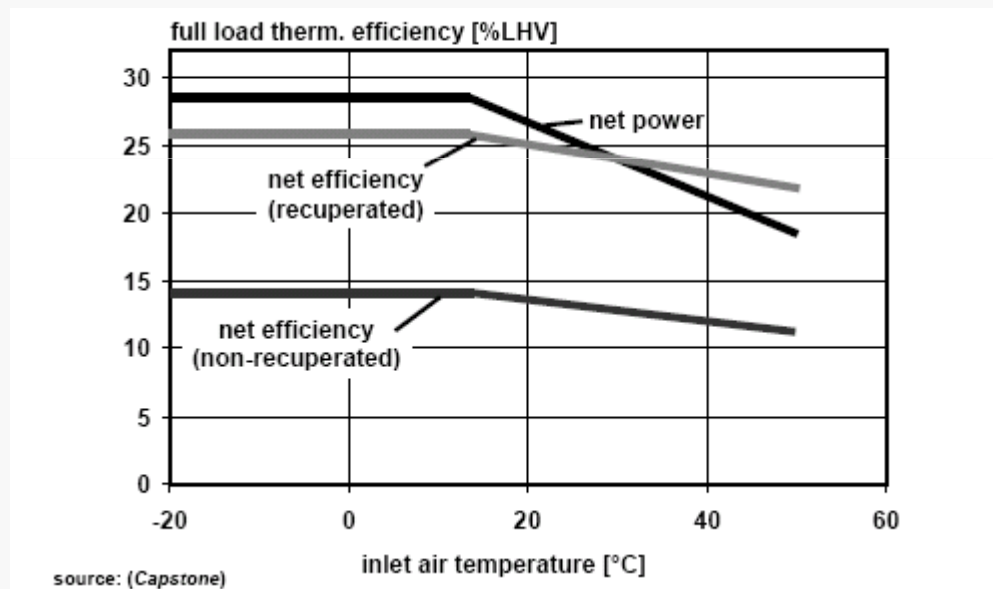
3. Mikroturbinen

Wirkgrad

Wirkungsgradgewinn durch Rekuperator – Aufwärmen der Verbrennungsluft

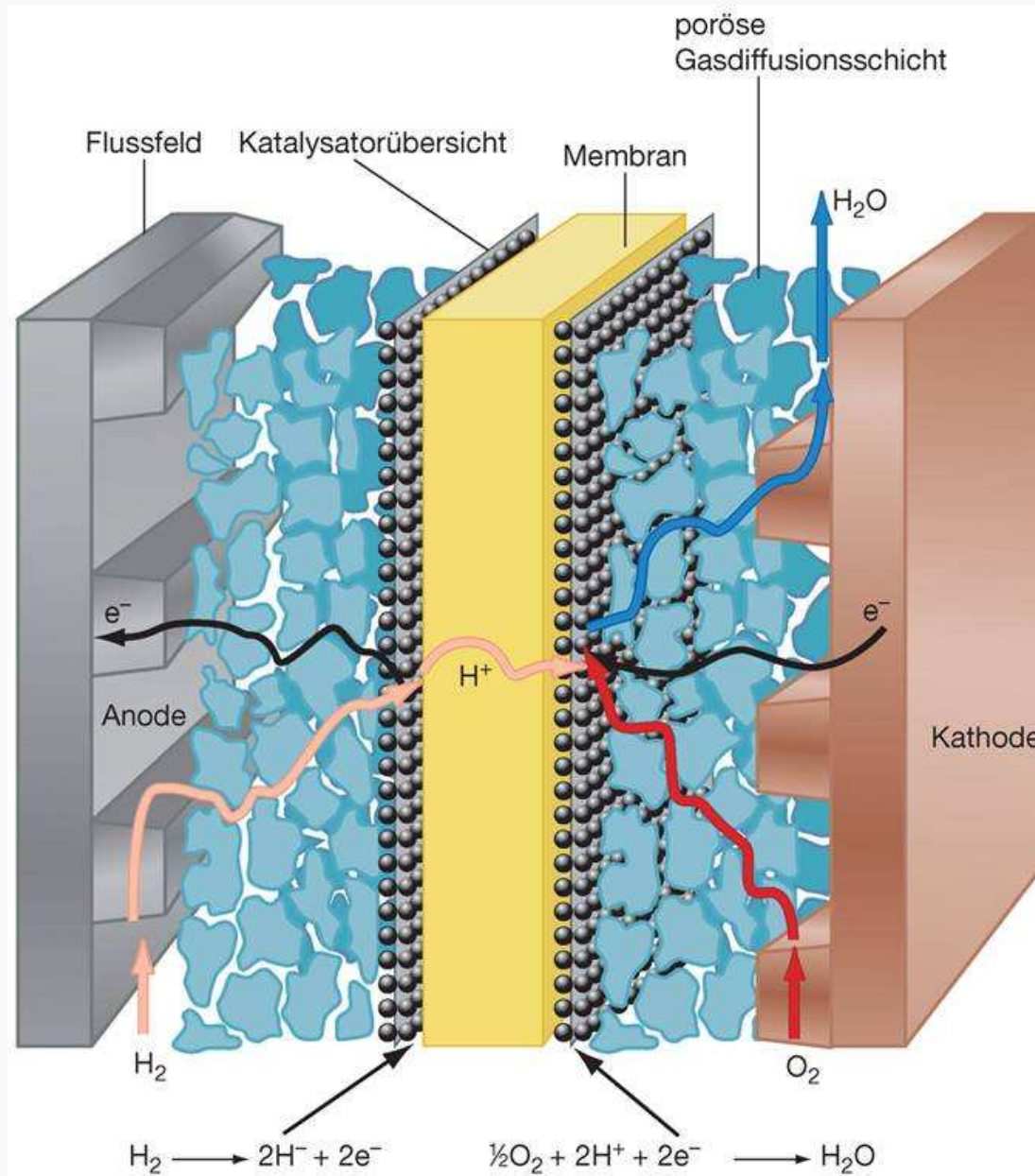


12 %



Gleichzeitig aber Reduktion der nutzbaren Abwärme

4. Brennstoffzelle



4. Brennstoffzelle

Prinzipielle Unterscheidung in:

- Niedertemperaturtyp und
- Hochtemperaturtyp

Hochtemperaturtypen können Abwärme nutzen um benötigten Wasserstoff zu reformieren

Nutzen die chemische Energie des Biogases direkt (ohne Verbrennung)



Unterliegen nicht dem Carnot-Wirkungsgrad = theoretischer Wirkungsgrad erheblich höher als bei Verbrennungsmotoren

$$\text{Carnot-Wirkungsgrad} = 1 - (T_{\text{abg}}/T_{\text{verbr}})$$

Energieproduktion durch Protonenfluss = Reaktion von $\text{H}_2 + \text{O}_2$ zu Wasser

4. Brennstoffzelle

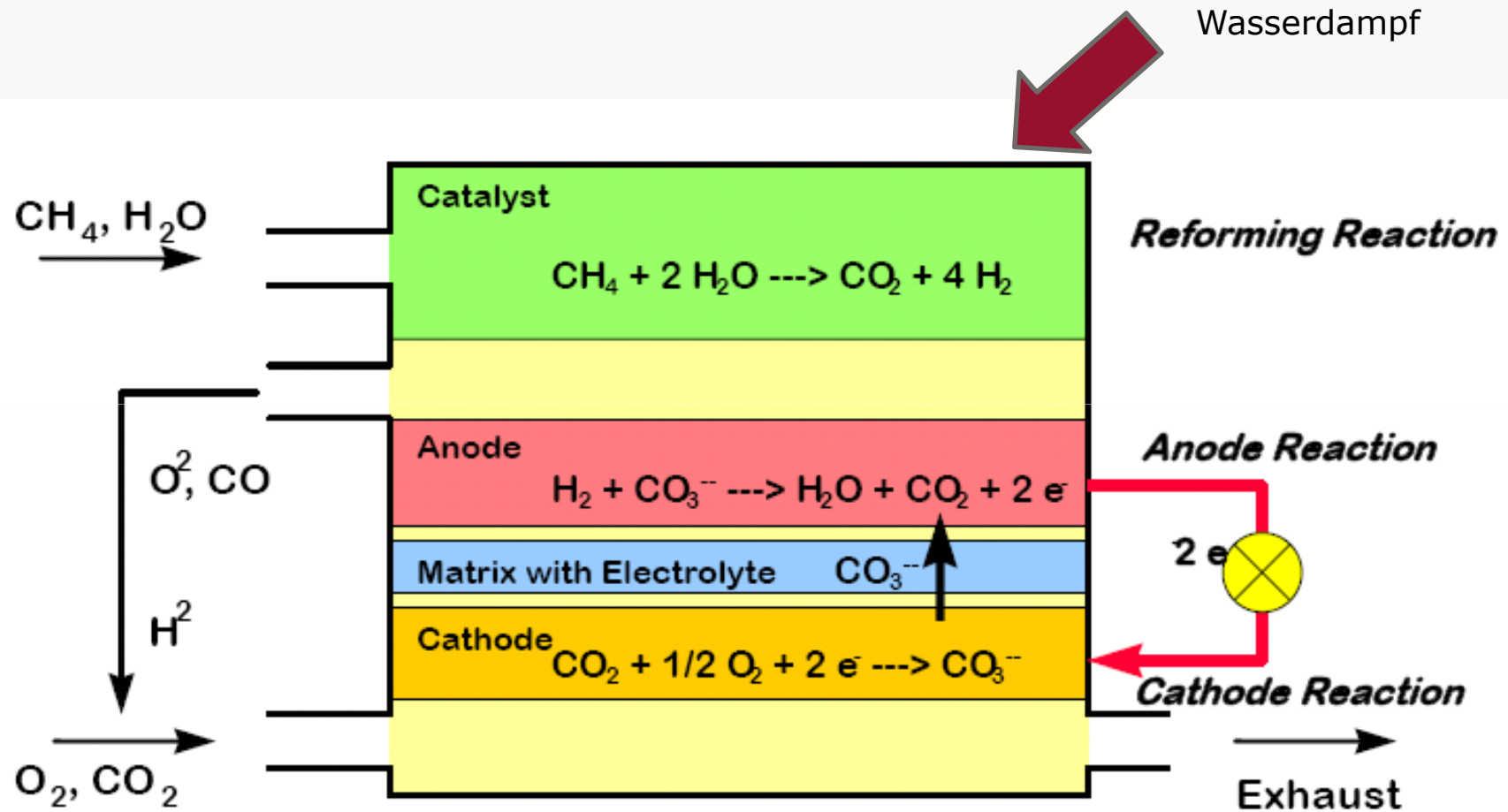
Hochtemperaturbrennstoffzellen

Im Wesentlichen unterscheidet man zwei Hochtemperaturbrennstoffzellen

	MCFC	SOFC
Typ	Molten Carbonate Fuel Cell	Solide Oxide Fuel Cell
Besonderheit	Integriert CO ₂ in den Zellprozess (bis 40%)	Geringe Empfindlichkeit gegen Schwefel
Betriebstemperatur	620 – 660°C	800 – 1.000 °C
Wirkungsgrad (el)	> 60%	70%
Elektrolyt	Alkalikarbonatschmelzen	Zr(Y)O ₂

4. Brennstoffzelle

Funktionsweise



4. Brennstoffzelle

Vor- und Nachteile

Vorteile:

- Hohe Wirkleistung über gesamten Bereich (10 kW – 1 GW)
- Möglicher modularer Aufbau
- Benötigen keine Sicherheitstechnik
- Geringe Schadstoffemission

Nachteile:

- Erhältliche Brennstoffzellen noch deutlich zu teuer: **4.500 – 5.000 €/kW**
- Davon entfallen rund 2/3 auf konventionelle Subsysteme – Preissenkung unrealistisch

- Deutlich höheres Gewicht – Besondere Anforderungen für Fundament, Transport, ...
- Sehr empfindlich gegenüber Schwefel

4. Brennstoffzelle

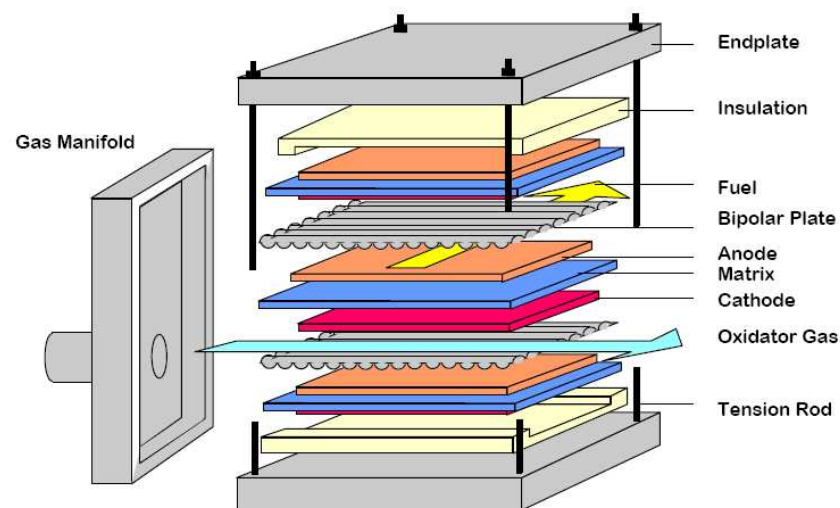
HOT Module System

Es gibt mehrere Hersteller, die sich auf Brennstoffzellen spezialisiert haben:

Ziel ist diese wirtschaftlicher herzustellen.

Ein Lösungsversuch durch **ARGE MCFC Entwicklung = Hot Module:**

- Besteht aus Einzelzellen zu 1 kW
- 300 Einzelzellen übereinander gestapelt = 1 Modul
- Subsysteme sind entkoppelt und werden ebenfalls als Module entwickelt





**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit**

Mag. Roland Plank

SYNECO GmbH

Marie Curie Strasse 17 – 39100 BZ

Tel. 0471 / 301731

Fax 0471 / 326000

Roland.plank@syneco-consulting.it

www.syneco-consulting.it

Schwarz  Rosanelli
Consulting & Management Group