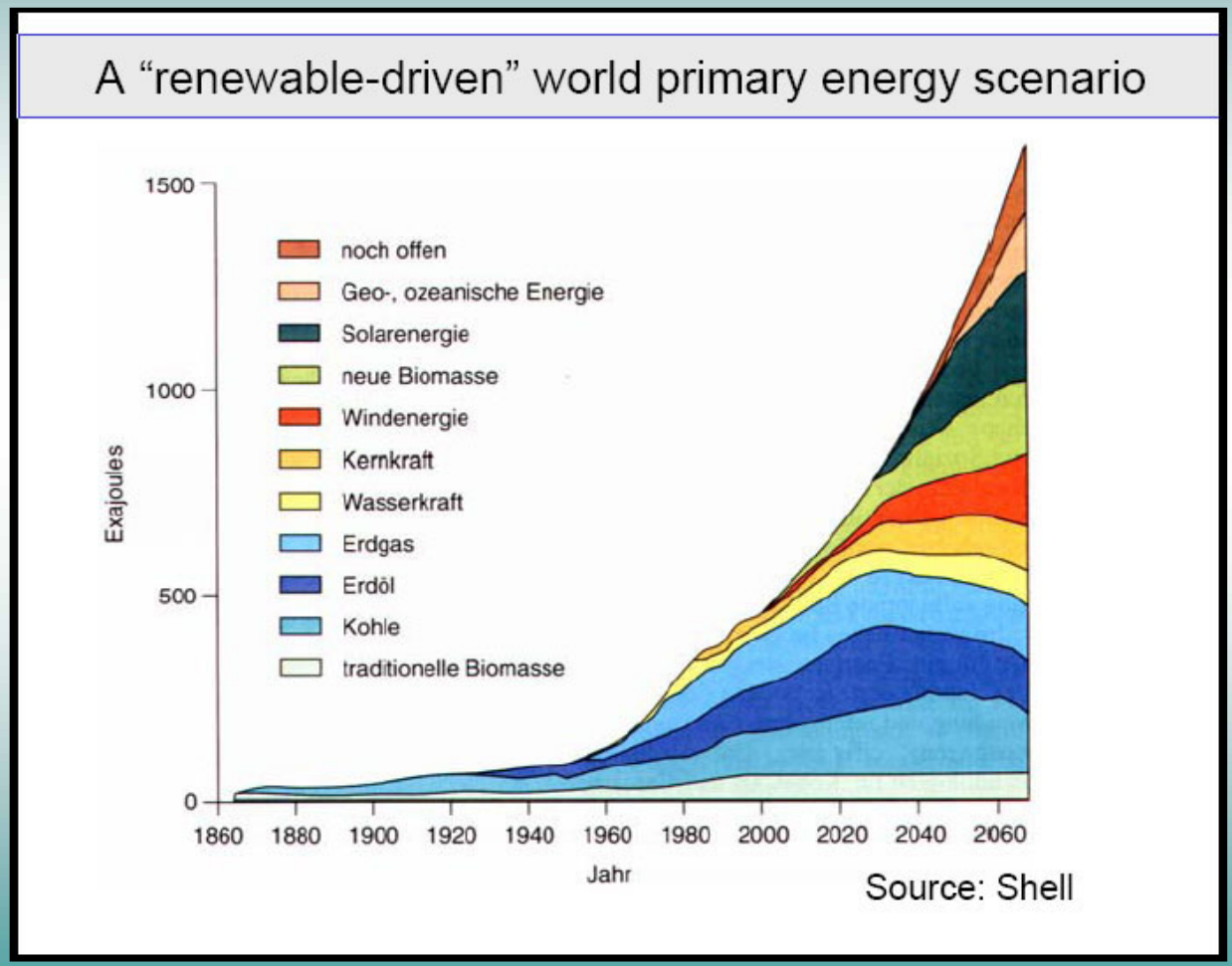
Топливные элементы

Основы

История развития ТЭ

- 1838/39 – Christian Friedrich Schönbein, William Grove, концепция ТЭ
- 1843 – William Grove, "газовая батарея"
- 1880е – Ludwig Mond и Carl Langer, пористая матрица для электролита (ресурс)
- Начало 20 в – Fritz Haber, Walther H. Nernst и Edmond Bauer, ТЭ с твердым электролитом
- 1959 – Francis T. Bacon, щелочной электролит, изобретение ГДЭ, 5 kW ТЭ

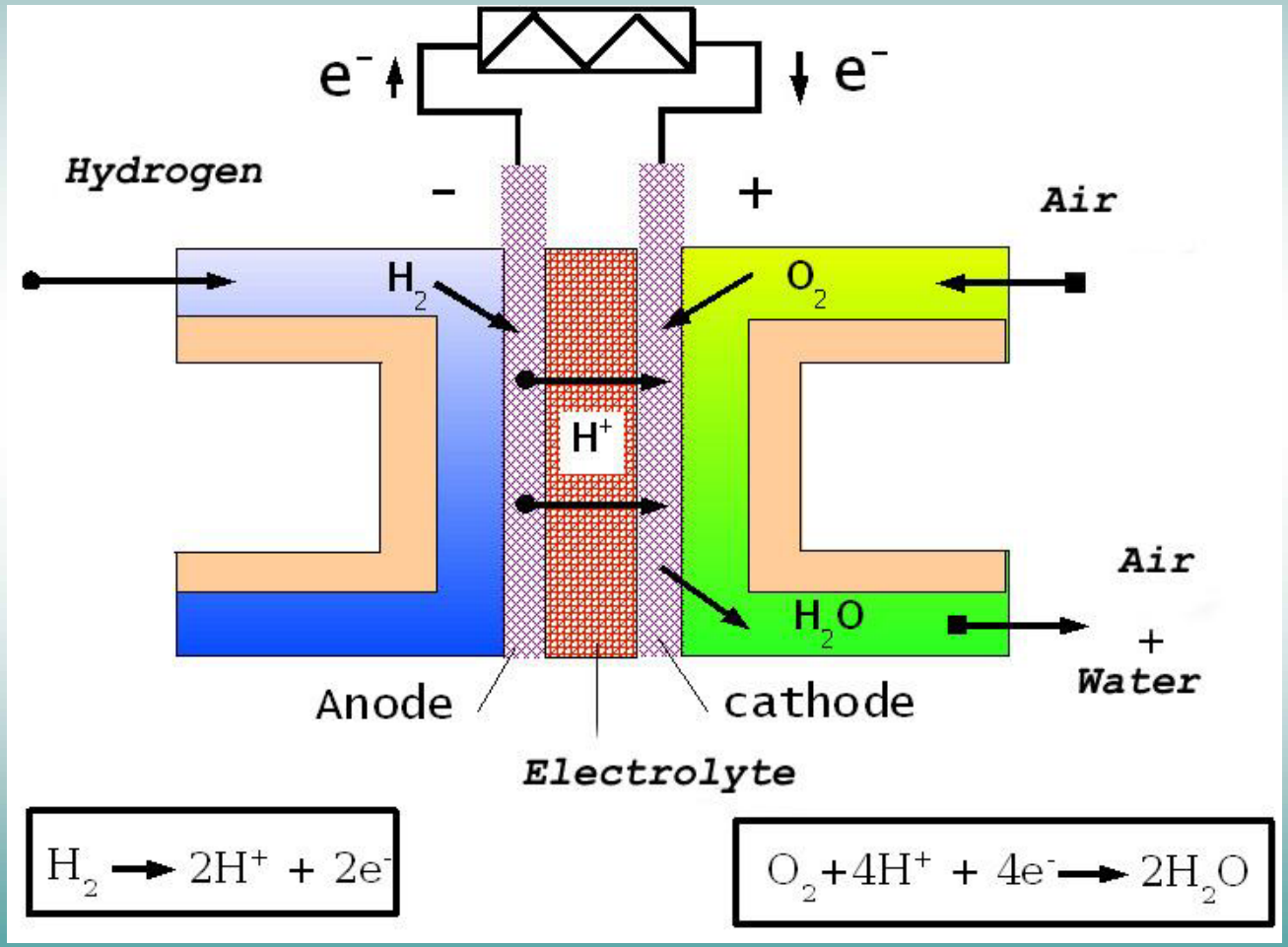
Прогноз использования источников энергии



Топливные элементы

- Основное отличие от батареек и аккумуляторов:
- непрерывная подача топлива и окислителя от внешнего источника
- Потенциально: неограниченное время работы
- Топливо: водород, продукт реформинга природного газа, метанол
- Окислитель: кислород, воздух

Общая схема ТЭ

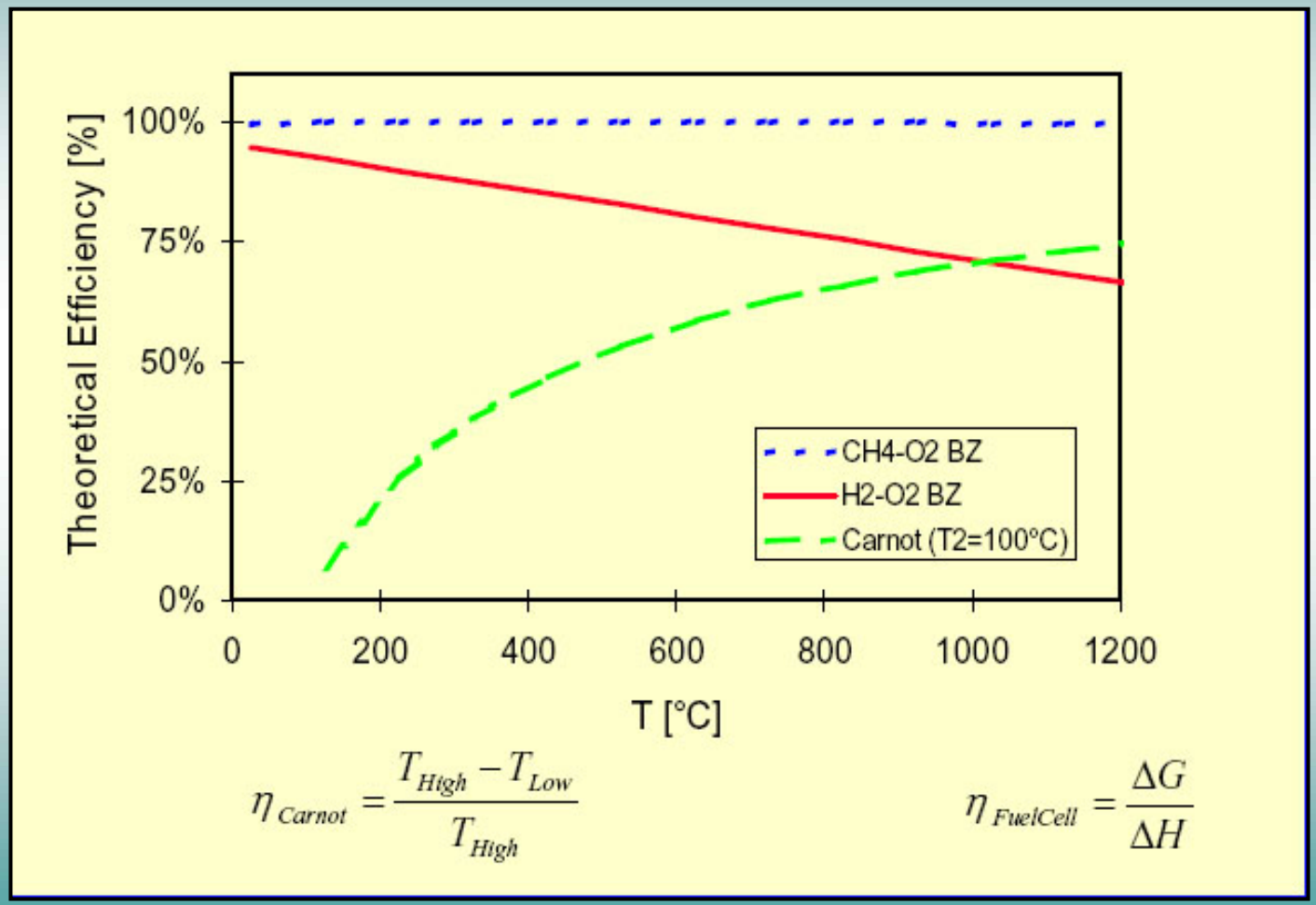


Wikipedia ©

Топливные элементы

- Основное отличие от двигателей внутреннего сгорания:
- Нет ограничений цикла Карно => потенциально, большая эффективность (~ 60%)
- Нет вредных продуктов сгорания топлива

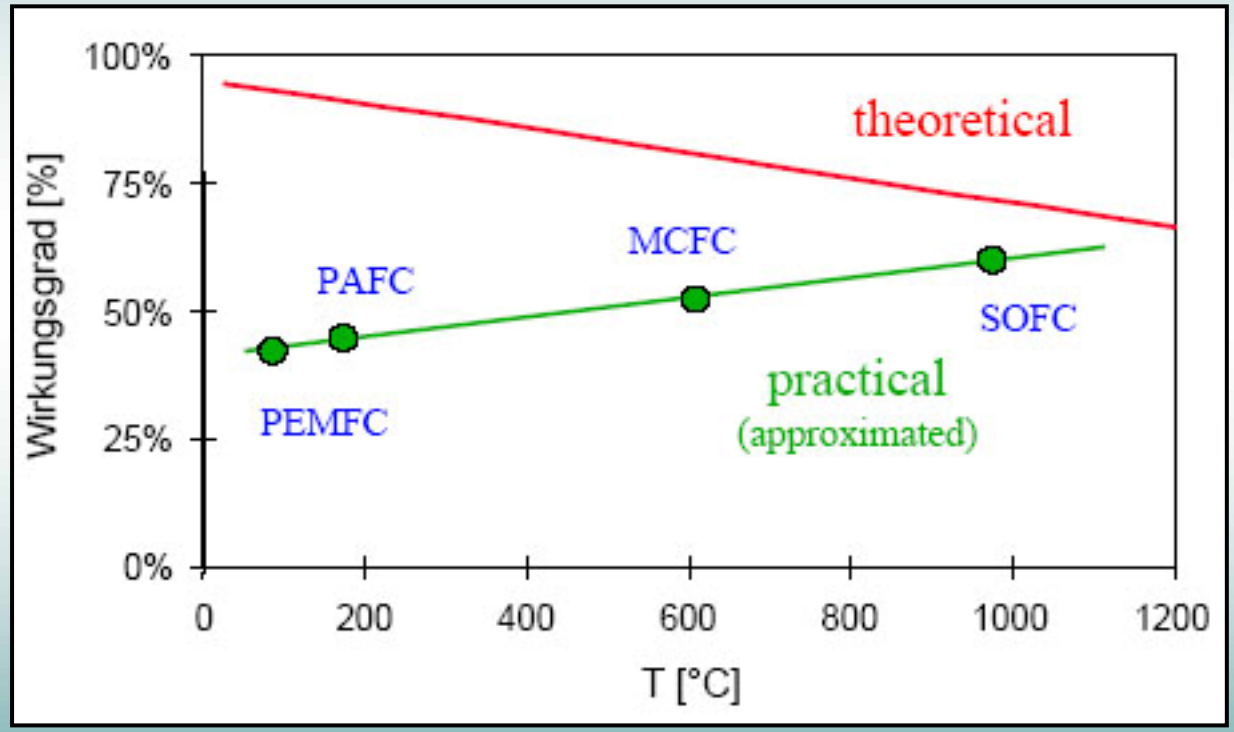
Теоретическая эффективность



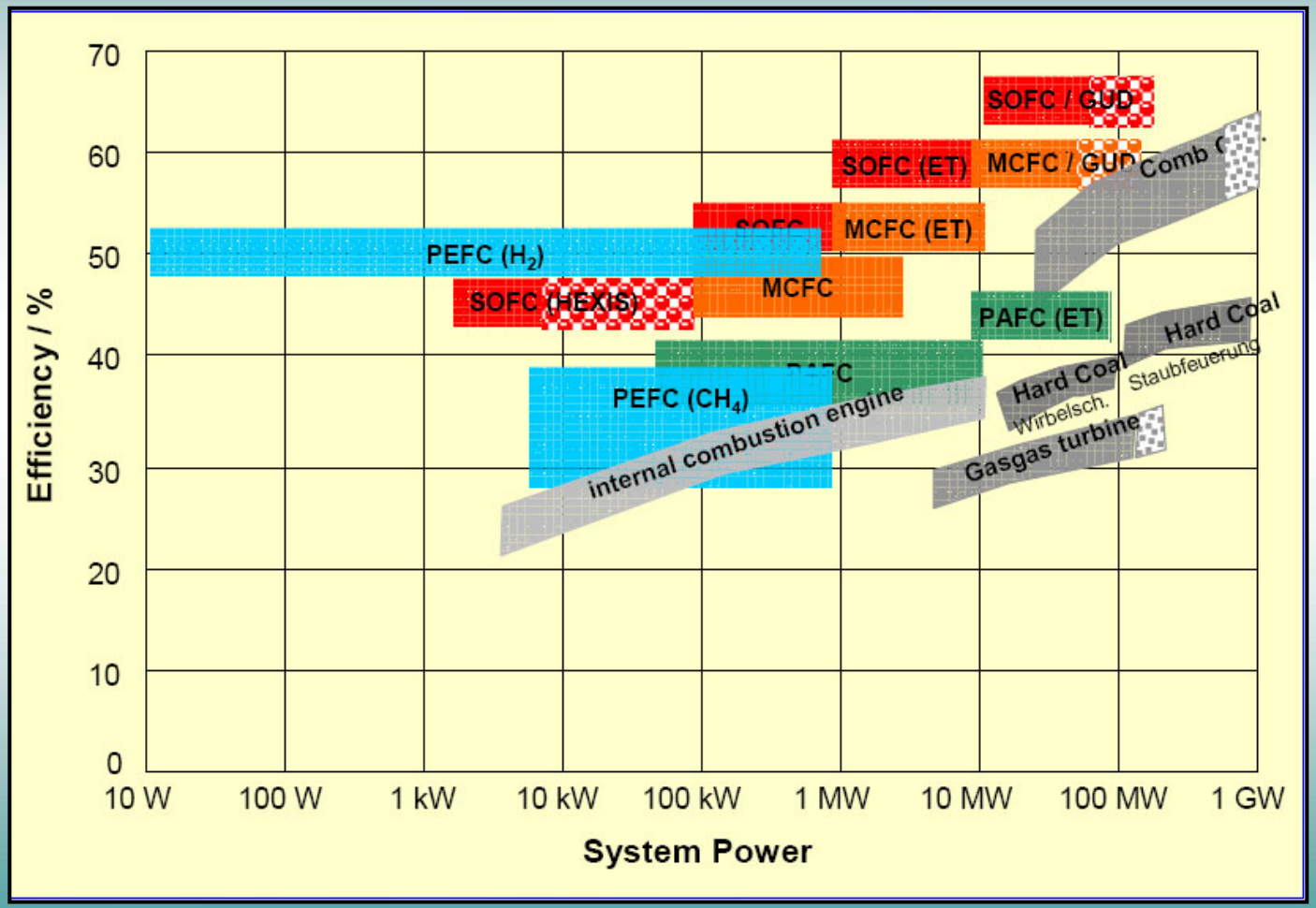
$$\eta_{Carnot} = \frac{T_{High} - T_{Low}}{T_{High}}$$

$$\eta_{FuelCell} = \frac{\Delta G}{\Delta H}$$

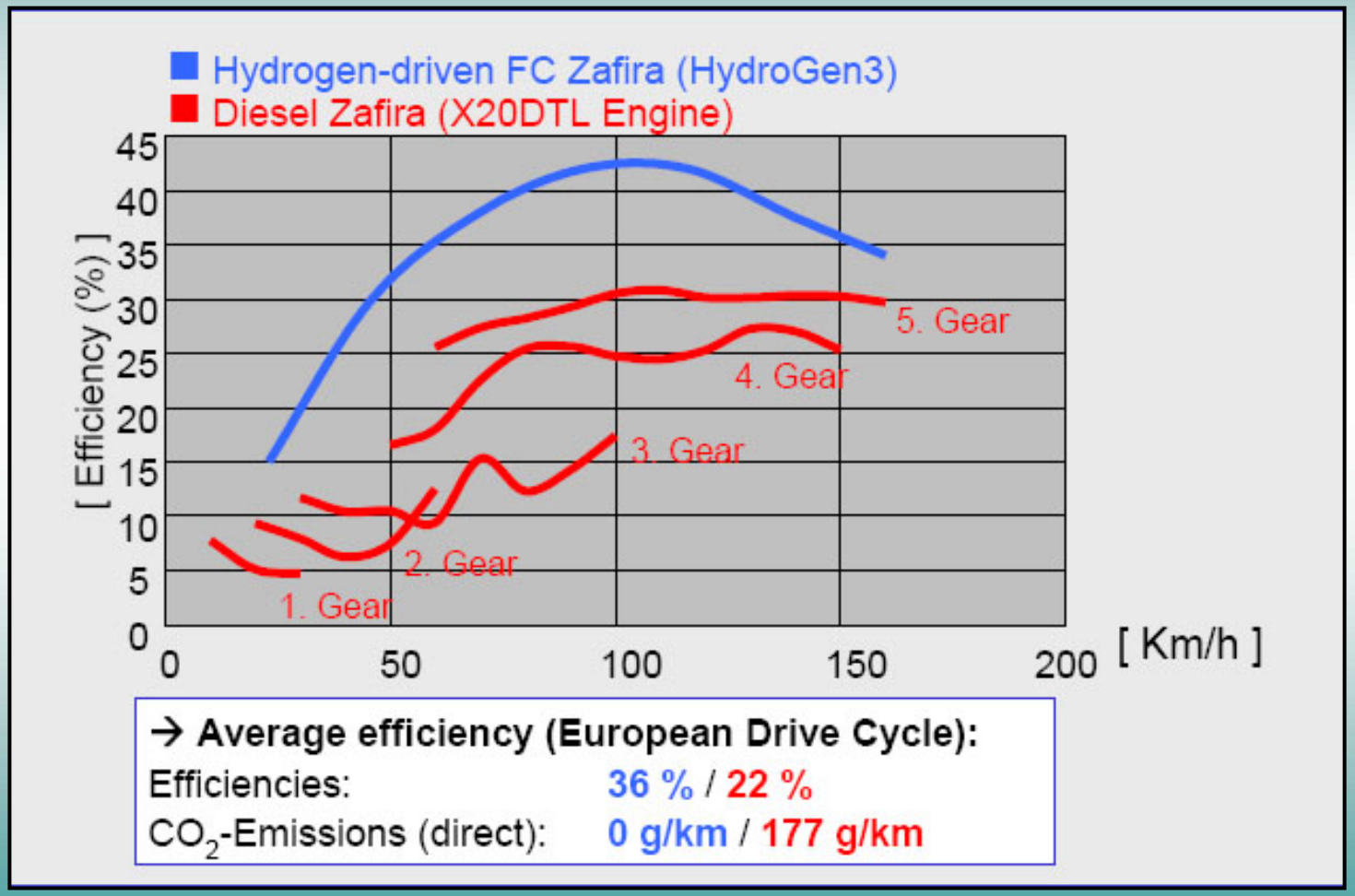
Практическая эффективность



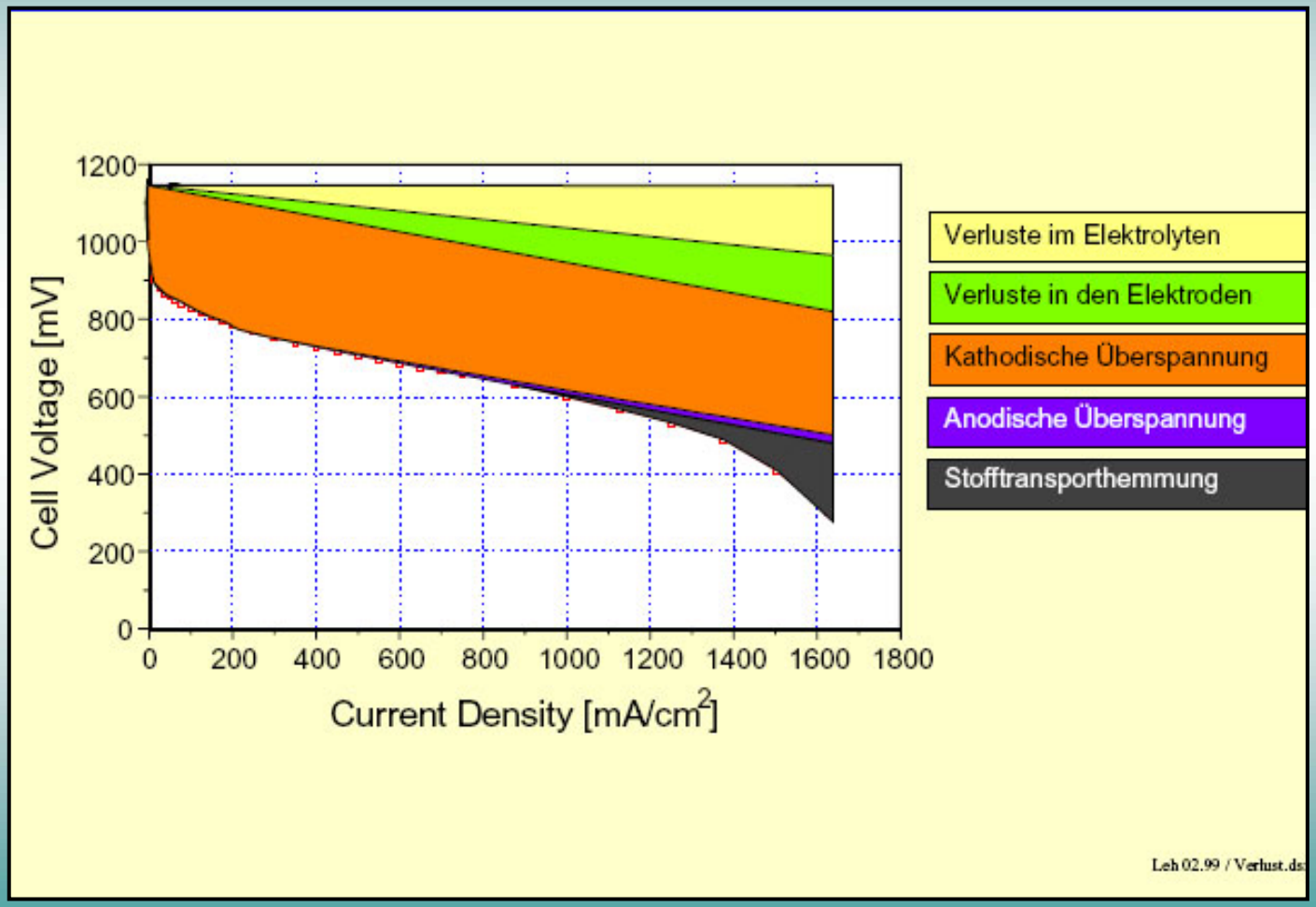
Практическая эффективность



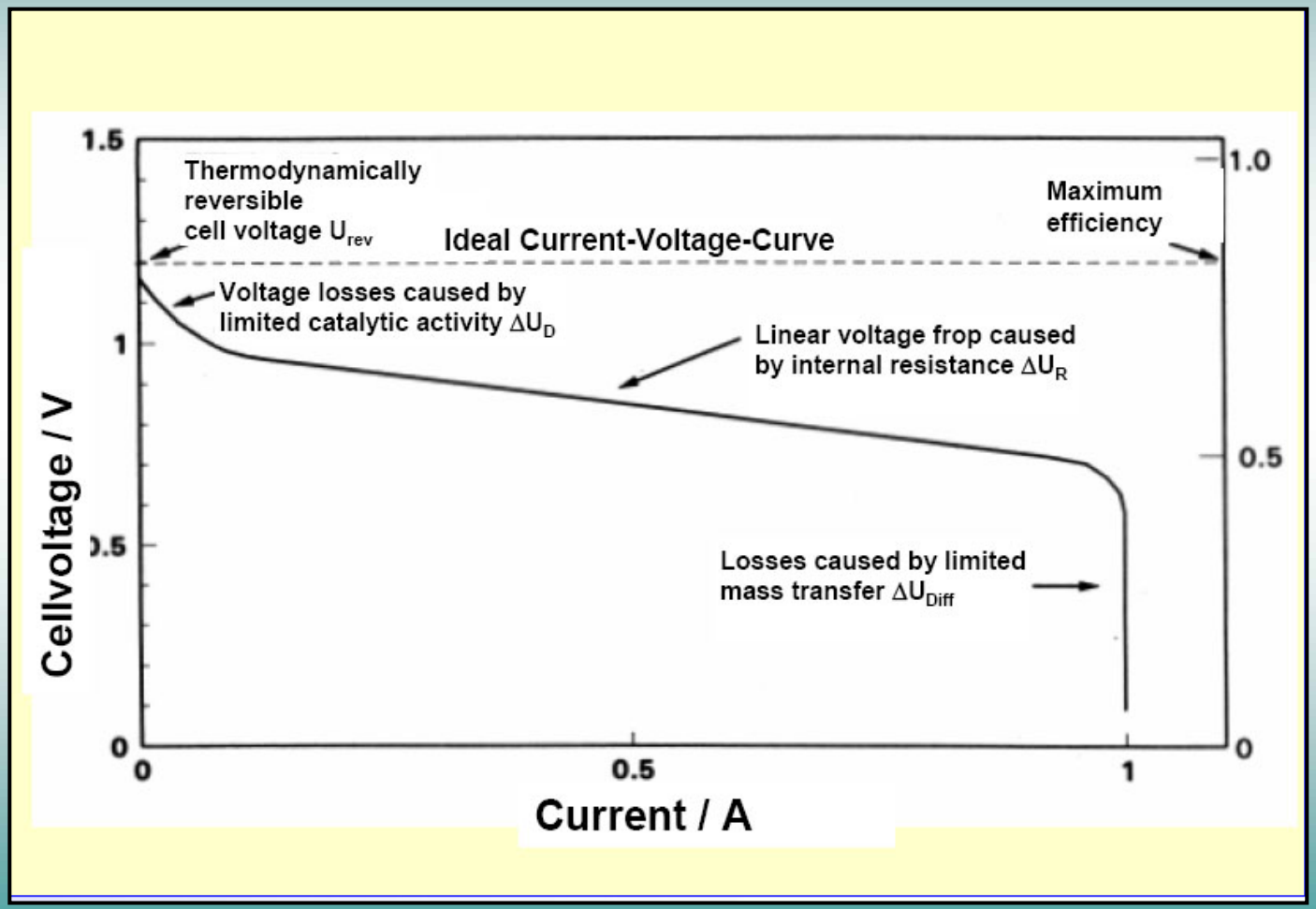
Практическая эффективность



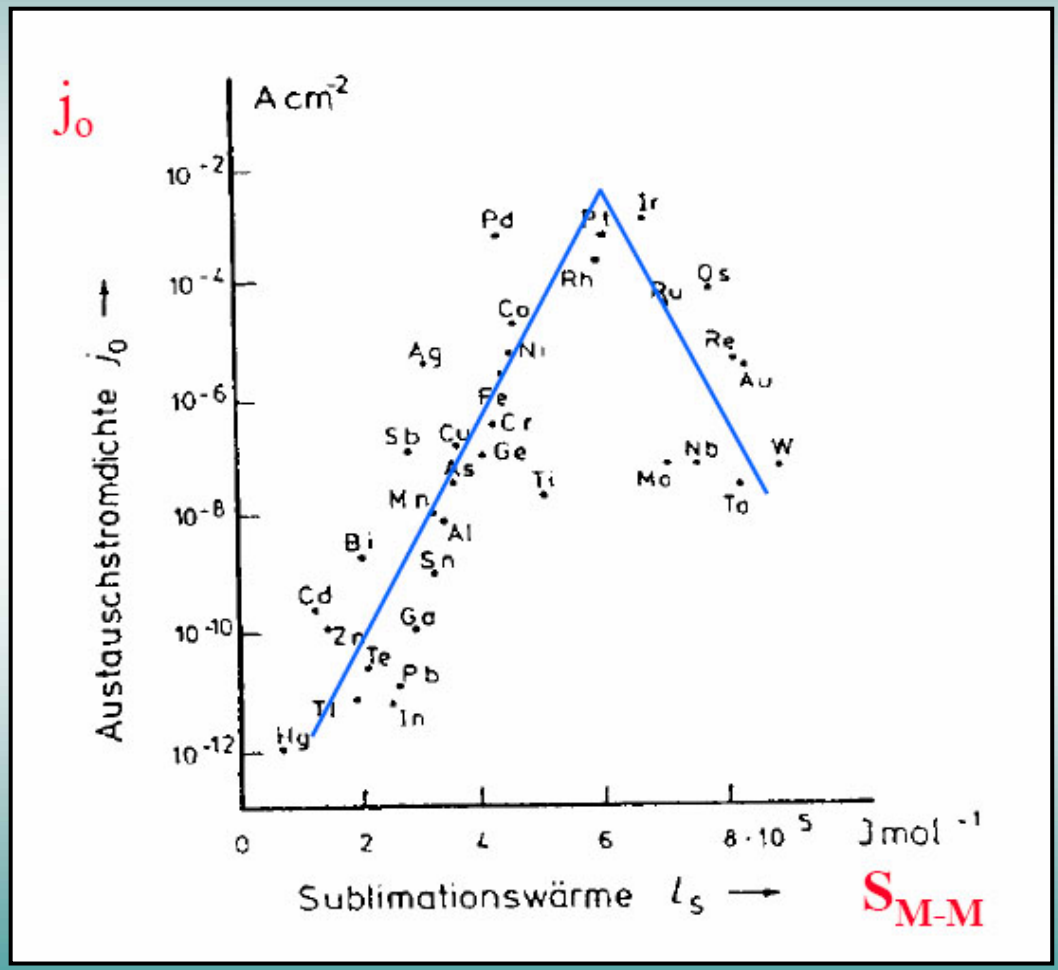
Потери


1200
1000
800
600
400
200
0
Cell Voltage [mV]
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
Current Density [mA/cm2]
Verluste im Elektrolyten
Verluste in den Elektroden
Kathodische Überspannung
Anodische Überspannung
Stofftransporthemmung
Leh 02.99 / Verlust.ds

Характеристическая кривая



Катализаторы



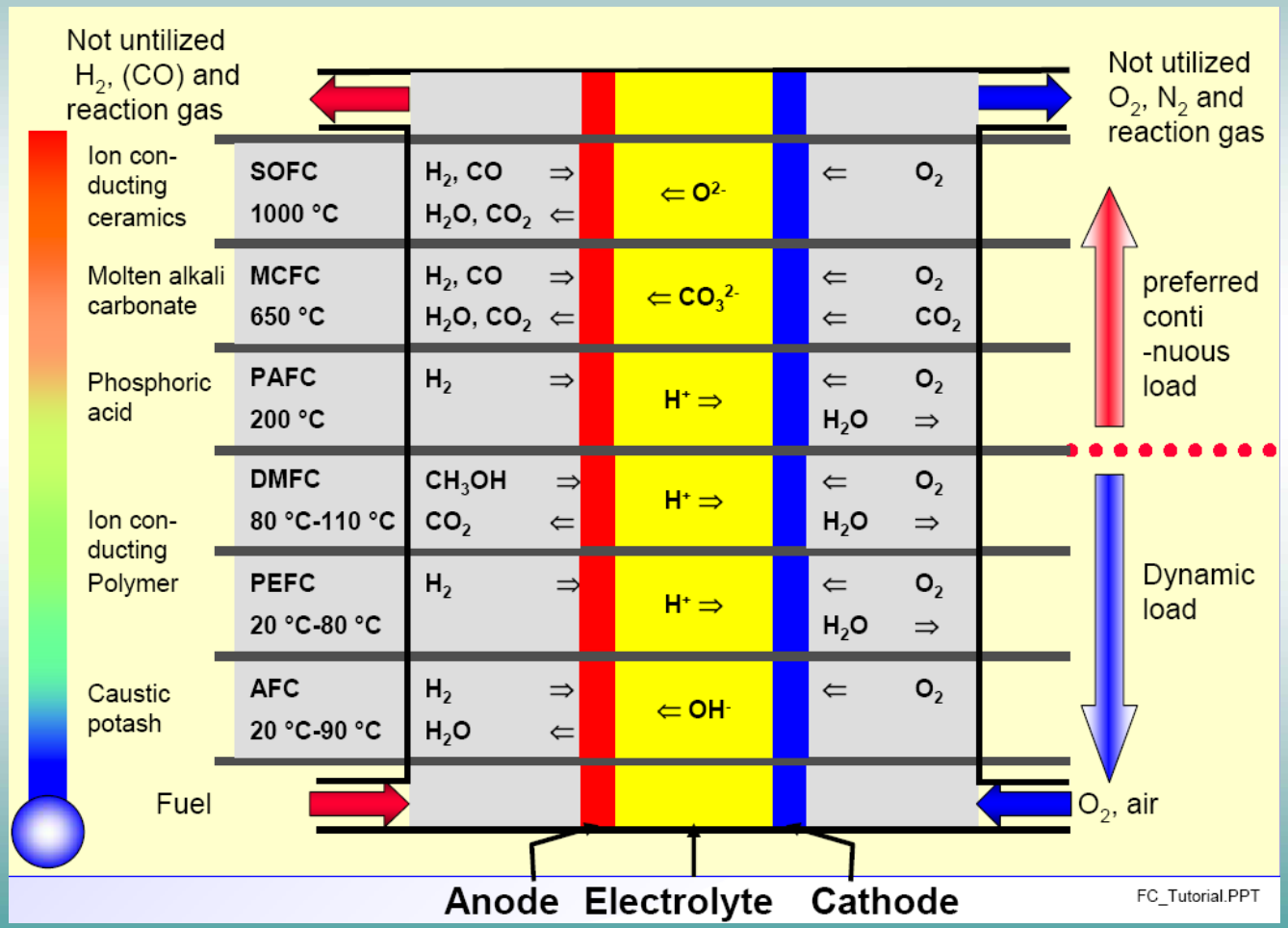
Топливные элементы

- Основные технологические проблемы:
- Дизайн электродов, обеспечивающих максимальную область трехфазного контакта с обеспечением транспорта топлива, электронов и ионов к каталитическим центрам
- Обеспечение высокой ионной проводимости электролита при отсутствии электронной проводимости и проницаемости по топливу

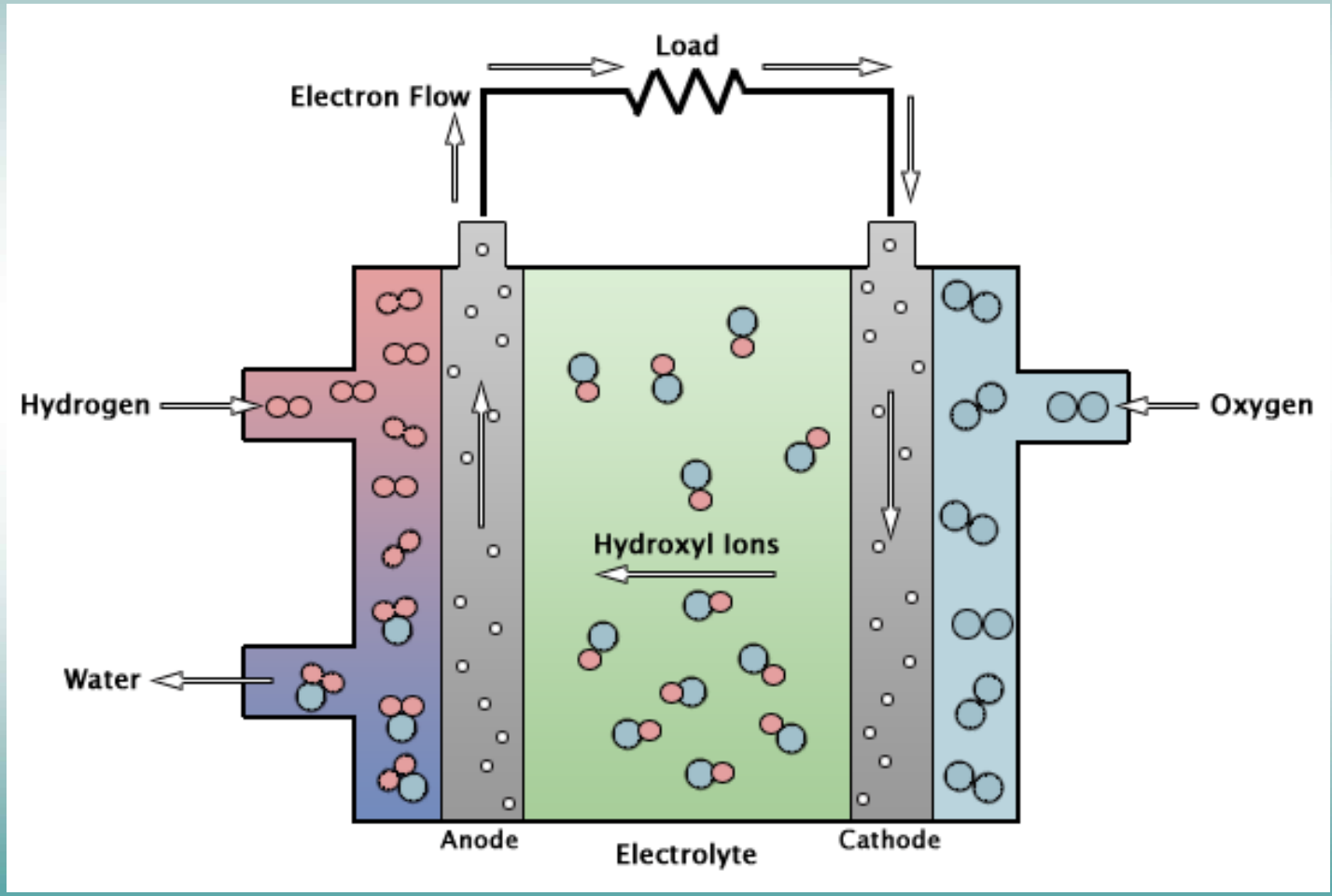
Классификация ТЭ

- Тип электролита (определяет рабочую температуру)
- Тип топлива (в некоторых случаях)

Типы ТЭ


Not untilized
H_2, (CO) and
reaction gas
Not utilized
O_2, N_2 and
reaction gas
Ion con-
ducting
ceramics
SOFC
1000 °C
H_2, CO ⇒
H_2O, CO_2 ⇐
⇐ O^{2-}
⇐ O_2
Molten alkali
carbonate
MCFC
650 °C
H_2, CO ⇒
H_2O, CO_2 ⇐
⇐ CO_3^{2-}
⇐ O_2
⇐ CO_2
preferred
conti
-nuous
load
Phosphoric
acid
PAFC
200 °C
H_2 ⇒
H^+ ⇒
⇐ O_2
H_2O ⇒
DMFC
80 °C-110 °C
CH_3OH ⇒
CO_2 ⇐
H^+ ⇒
⇐ O_2
H_2O ⇒
Ion con-
ducting
Polymer
PEFC
20 °C-80 °C
H_2 ⇒
H^+ ⇒
⇐ O_2
H_2O ⇒
Dynamic
load
Caustic
potash
AFC
20 °C-90 °C
H_2 ⇒
H_2O ⇐
⇐ OH^-
⇐ O_2
Fuel
O_2, air
Anode
Electrolyte
Cathode
FC_Tutorial.PPT

Щелочные ТЭ

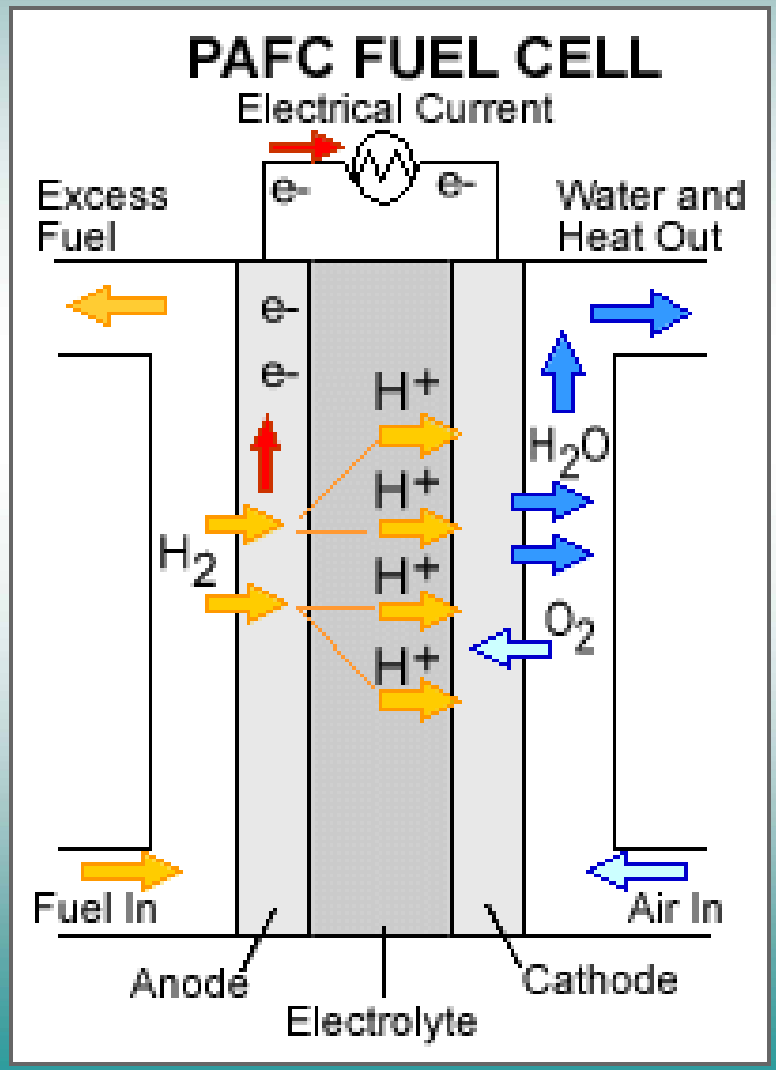


Wikipedia ©

Щелочные ТЭ

- Щелочной электролит (например, водные растворы NaOH, KOH)
- Топливо: водород, окислитель: кислород (воздух)
- Электроды: металл (никель)
- Проблема удаления воды
- Проблема CO_2 в окислителе
- Эффективность: 30-80%
- Температурный режим: ~70°C

Фосфорнокислотные ТЭ

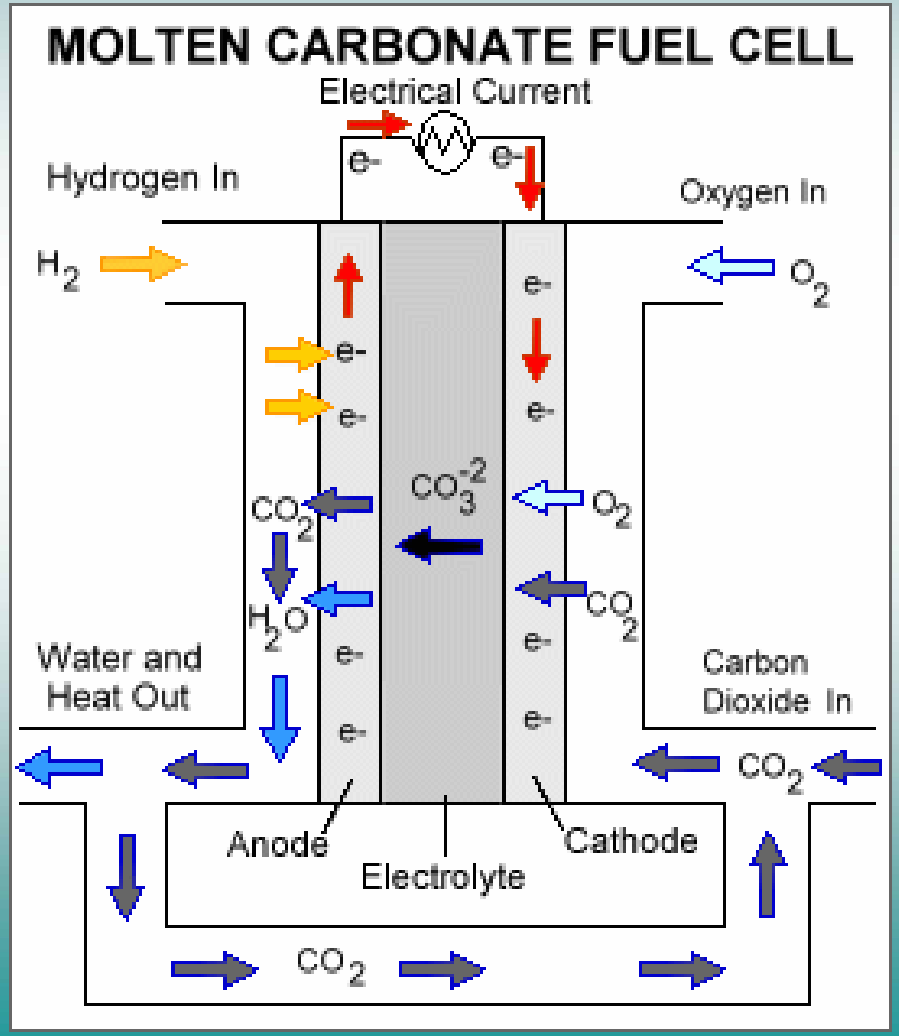


Wikipedia ©

Фосфорнокислотные ТЭ

- Электролит – фосфорная кислота (H_3PO_4)
- Топливо: водород, окислитель: кислород или воздух
- Температурный режим ~ 200°C
- Снижены ограничения по чистоте топлива (содержание CO и CO_2)
- Электроды: платина
- Проблема коррозионной стойкости (графит)

ТЭ на основе расплавов карбонатов

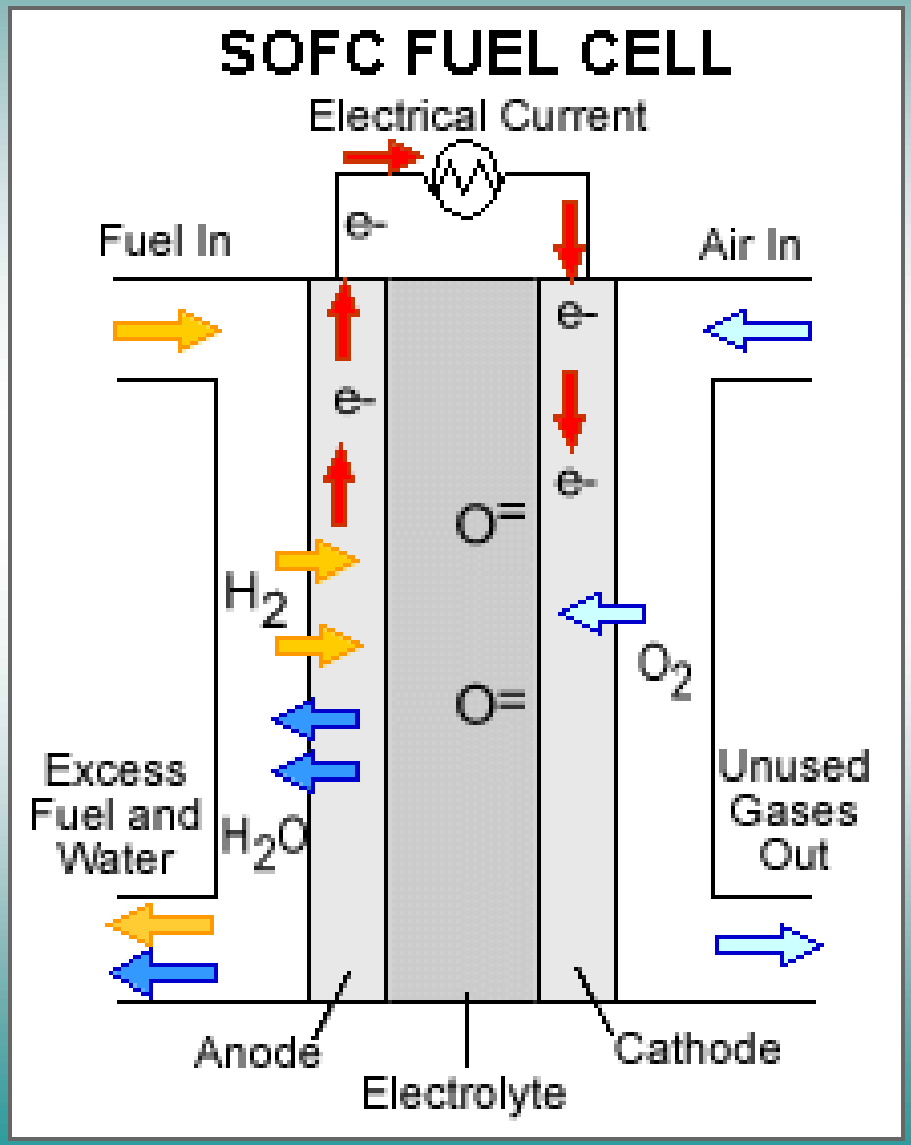


Wikipedia ©

ТЭ на основе расплавов карбонатов

- Топливо: смесь водорода и CO (из воды и природного топлива)
- Электролит: смесь расплавов карбонатов лития и калия
- Температурный режим – ~ 650°C
- Электроды: NiO (катод), пористый сплав Ni и Cr (анод)
- Продукты реакции – вода и CO_2
- Эффективность: 45%
- Проблемы растворения NiO, выделения C, потерь электролита
- Проблемы токсичного топлива и высоких температур

Твердооксидные ТЭ



Wikipedia ©

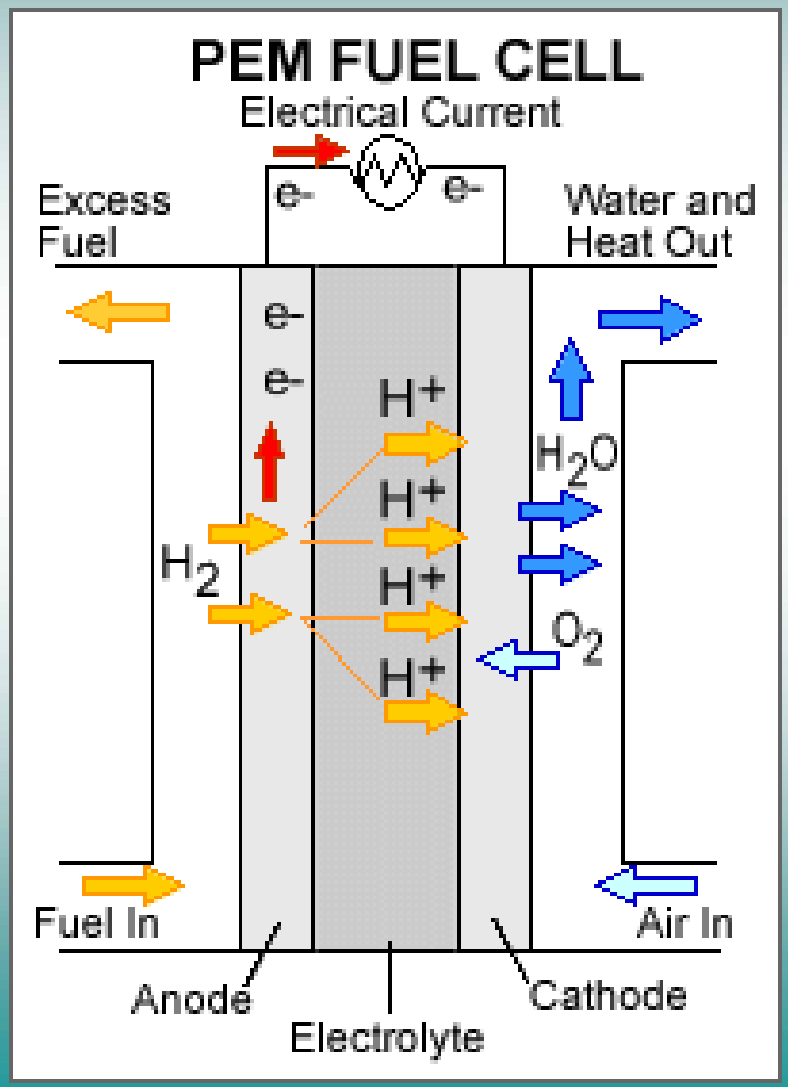
Твердооксидные ТЭ

- Электролит: ионпроводящий керамический материал ($ZrO_2 + Y_2O_3$)
- Электроды: пористая металлокерамика $Ni/ZrO_2/Y_2O_3$ (анод), пористый перовскит $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ (катод)
- Топливо: водород + CO
- Продукты реакции: вода + CO_2
- Температурный режим: до 1000°C
- Эффективность: 50-55%

Полимерные ТЭ

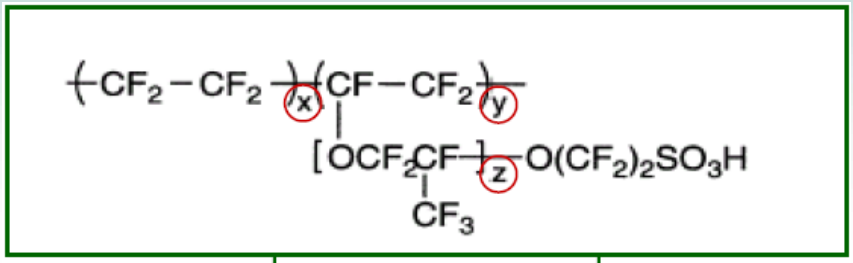
- Ион-проводящая полимерная мембрана, из материала типа Нафиона (сополимер ТФЭ и перфторсульфоновой кислоты)
- Полибензимидазольные матрицы, импрегнированные фосфорной кислотой

ТЭ с протонообменной мембраной



Wikipedia ©

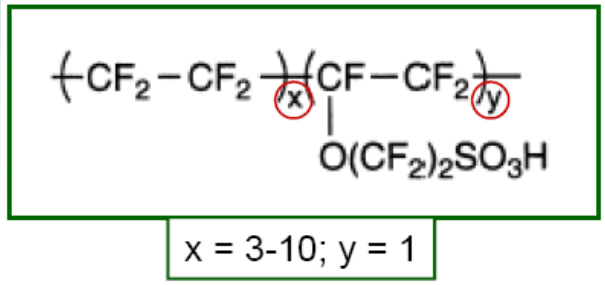
Перфторированные мембраны



DuPont,

Asahi Glass,

Asahi Chemical



Dow Chemical

ТЭ прямого окисления спиртов

- Топливо: метанол (этанол?) – высокая энергетическая плотность
- Проблемы: медленные катодные и анодные реакции, проницаемость перфторсульфоновых мембран по отношению к топливу

Сравнение типов ТЭ

	AFC	PEFC	PAFC	MCFC	SOFC
Temperature	low	<100°C		Up to 1000°C	high
Catalyst	pure	Platinum		metal	less pure
Gas specification	clean	4-5.0 H_2		C_nH_m	less clean
Cell efficiency	low	40-50%		50-60%	high
System complexity	low	Reforming System		Internal Ref.	high
Start-Up-Time	At once	Seconds		Hours	high
Dynamic	low				high