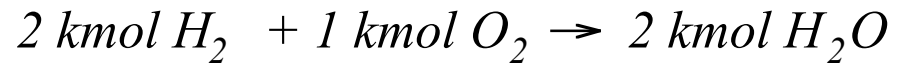
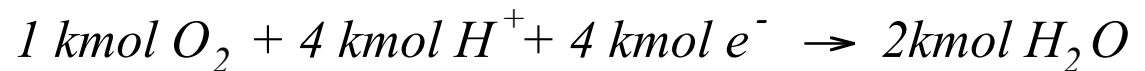
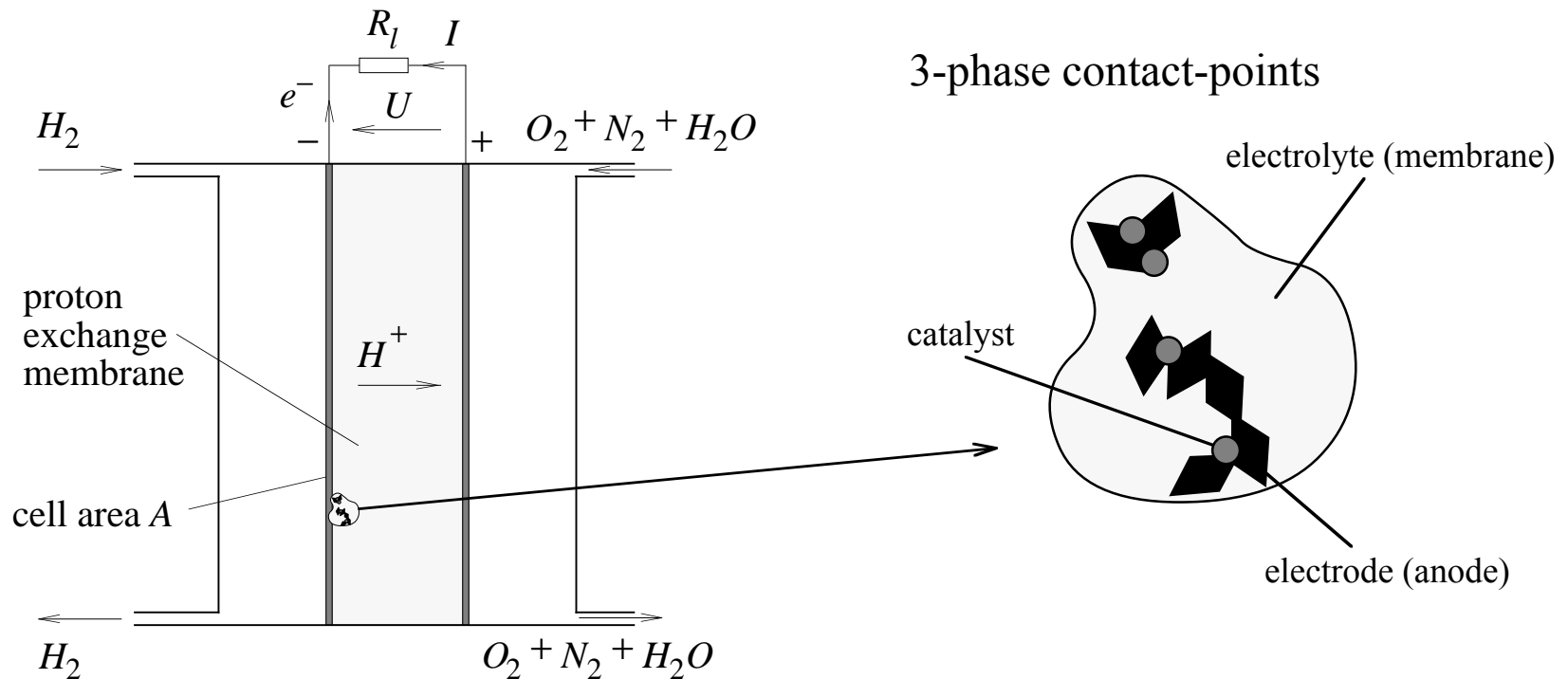
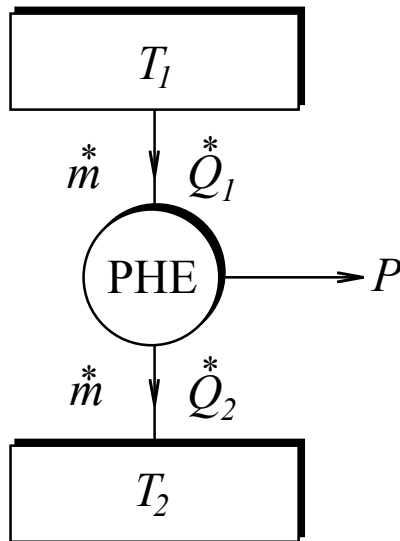


Overall reaction



$1 \text{ kmol } x = 6.022... \cdot 10^{26}$  parts of substance  $x$   
 $1 \text{ kmol } H^+ = 9.648... \cdot 10^7 \text{ C}$ , "Faraday's constant"





First law:  $P = \dot{Q}_1^* - \dot{Q}_2^*$

Perfect gases:  $\dot{Q}_i^* = c \cdot \dot{m} \cdot T_i$

Efficiency: 
$$\eta_c = \frac{P}{\dot{Q}_1^*} = \frac{\dot{Q}_1^* - \dot{Q}_2^*}{\dot{Q}_1^*}$$

$$= \frac{c \cdot \dot{m} \cdot (T_1 - T_2)}{c \cdot \dot{m} \cdot T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Entropy:  $1 - \frac{\dot{Q}_2^*}{\dot{Q}_1^*} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{\dot{Q}_i^*}{T_i} = \text{constant} = \dot{S}_i$

Second law:  $\Delta \dot{S}^* = \dot{S}_2^* - \dot{S}_1^* = 0$

PHE = Perfect Heat Engine

RHE = Real Heat Engine

RHE: efficiency  $\eta_r < \eta_c$

second law  $\Delta \dot{S}^* = \dot{S}_2^* - \dot{S}_1^* > 0$

1865.                      A N N A L E N                      No. 7.  
DER PHYSIK UND CHEMIE.  
BAND CXXV.

*I. Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme  
Formen der Hauptgleichungen der mechanischen  
Wärmethorie; von R. Clausius.*

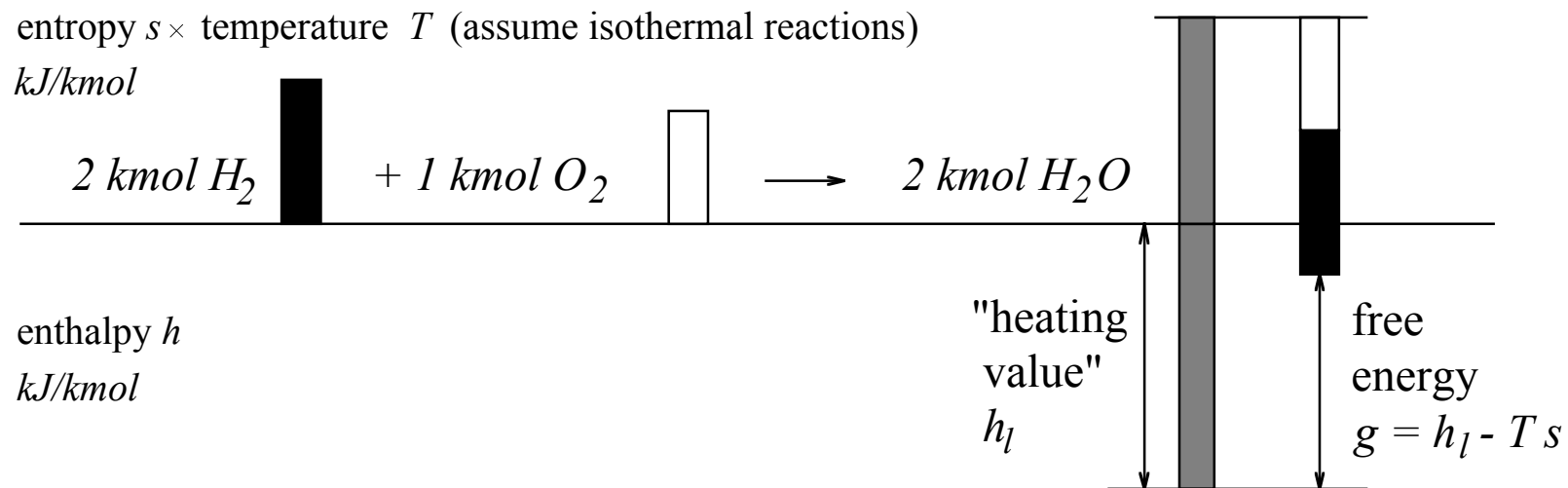
(Vorgetragen in der naturf. Gesellsch. zu Zürich den 24. April 1865.)

Sucht man für  $S$  einen bezeichnenden Namen, so könnte man, ähnlich wie von der GröÙe  $U$  gesagt ist, sie sey der *Wärme- und Werkinhalt* des Körpers, von der GröÙe  $S$  sagen, sie sey der *Verwandlungsinhalt* des Körpers. Da ich es aber für besser halte, die Namen derartiger für die Wissenschaft wichtiger GröÙsen aus den alten Sprachen zu entnehmen, damit sie unverändert in allen neuen Sprachen angewandt werden können, so schlage ich vor, die GröÙe  $S$  nach dem griechischen Worte  $\eta \tau\rho\omicron\pi\eta$ , die Verwandlung, die *Entropie* des Körpers zu nennen. Das Wort *Entropie* habe ich absichtlich dem Worte *Energie* möglichst ähnlich gebildet, denn die beiden GröÙsen, welche durch diese Worte benannt werden sollen, sind ihren physikalischen Bedeutungen nach einander so nahe verwandt, daß eine gewisse Gleichartigkeit in der Benennung mir zweckmäÙig zu seyn scheint.

"the conversion"



- Each homogeneous substance ("phase") has two states
  - $h$ : Specific **energy** (enthalpy of formation), units  $kJ/kmol$
  - $s$ : Specific **entropy**, units  $kJ/kmol K$
- Only differences to an arbitrary zero level important
- For heat engines ("indirect conversion") the Carnot efficiency defines the optimum
- For electrochemical reactions ("direct conversion") the "free energy" is the limit



## Hydrogen fuel-cell data

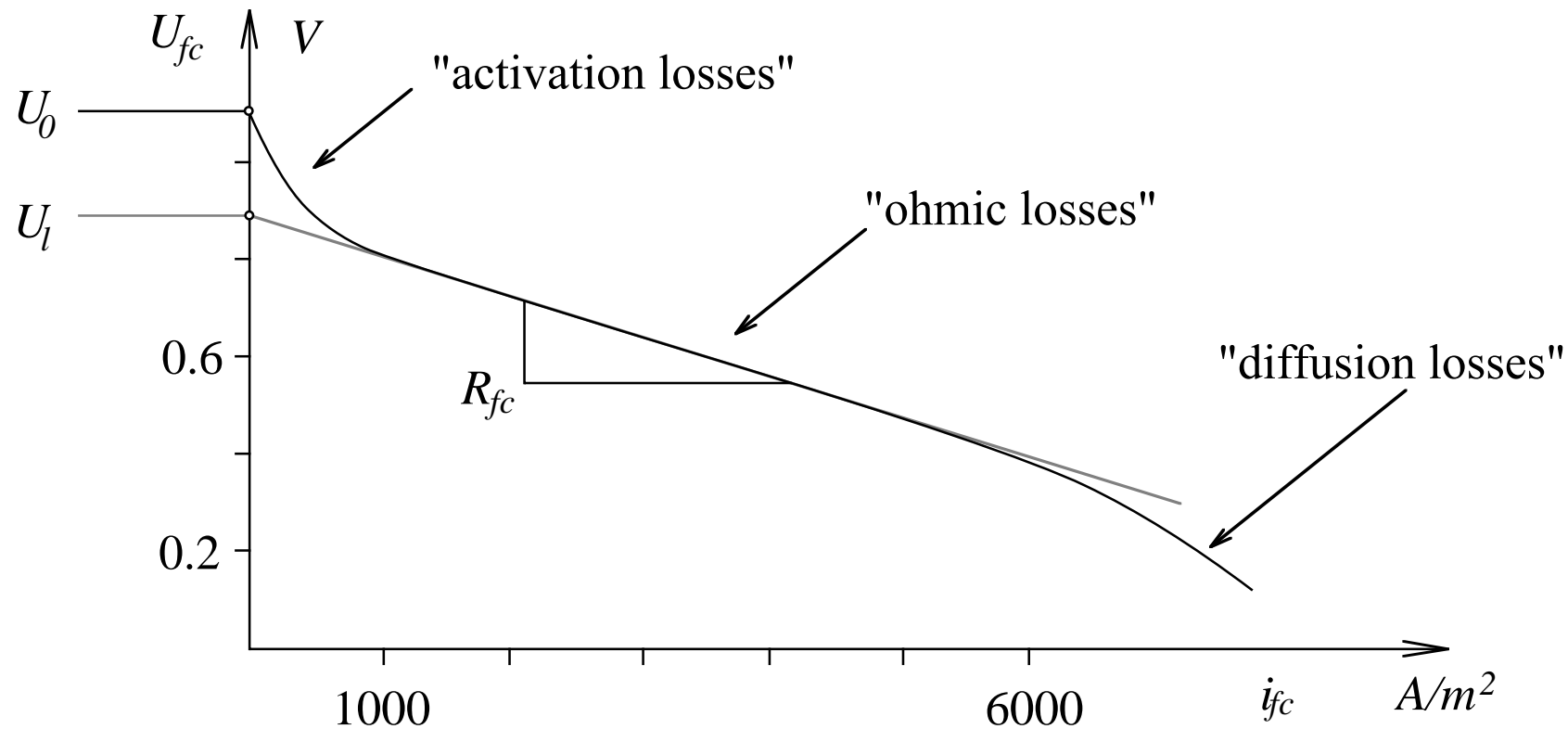
$$\begin{array}{llll} 2 \text{ kmol hydrogen } H_2 & h = 0 \text{ MJ/kmol} & s \cdot 298 \text{ K} = 2 \cdot 38.92 \text{ MJ/kmol} \\ 1 \text{ kmol oxygen } O_2 & h = 0 \text{ MJ/kmol} & s \cdot 298 \text{ K} = 61.09 \text{ MJ/kmol} \\ 2 \text{ kmol water } H_2O & h = -2 \cdot 241.8 \text{ MJ/kmol} & s \cdot 298 \text{ K} = 2 \cdot 56.23 \text{ MJ/kmol} \end{array}$$

## Thermodynamic efficiency of a fuel-cell *at idle*

$$\eta = \frac{\Delta g}{\Delta h} \quad \Longrightarrow \quad \eta = \frac{457.1}{483.6} = 0.94\dots$$

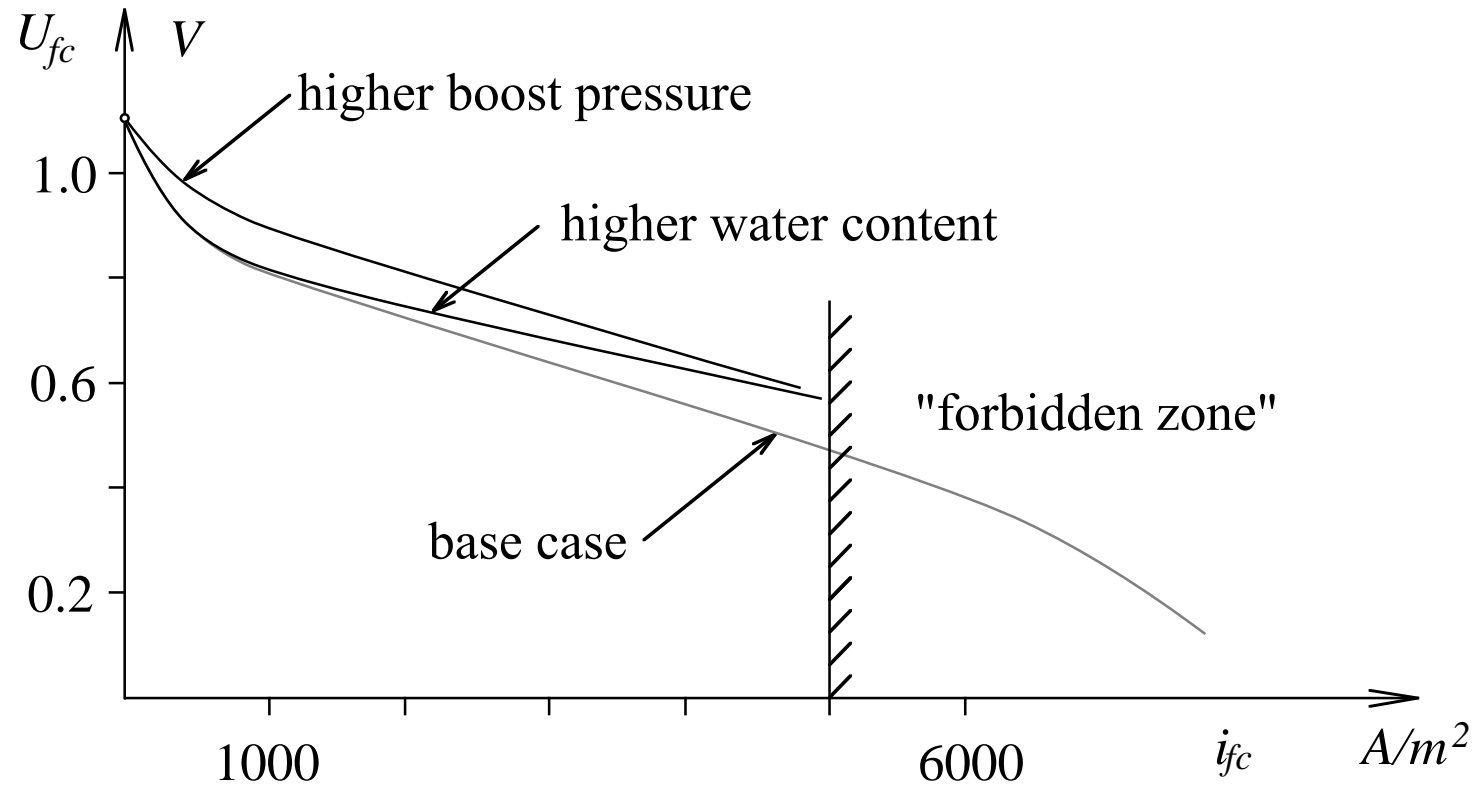
## Idle voltage

$$\Delta g = U_0 \cdot I = U_0 \cdot 4 \cdot 96.4 \dots \cdot 10^6 \quad \Longrightarrow \quad U_0 = 1.185 \dots \text{ V}$$



$$U_{fc}(i_{fc}, T_{fc}, p_{O_2}, p_{H_2}, x_{H_2O}, \dots) =$$

$$U_0(T_{fc}, p_{O_2}, p_{H_2}) - U_{act}(T_{fc}, p_{O_2}, p_{H_2}) \cdot (1 - e^{c_1 \cdot i_{fc}}) - \left( R(x_{H_2O}, T_{fc}) + \left[ c_2 \cdot \frac{i_{fc}}{i_{max}} \right]^{c_3} \right) \cdot i_{fc}$$



## Some Remarks on the Electrochemistry of FC

---

Print PIC1\_CAD