



# FESTOXIDBRENNSTOFFZELLEN ALS ZUKUNFTSTRÄCHTIGE, UMWELTFREUNDLICHE UND DEZENTRALE ENERGIETECHNOLOGIE FÜR DIE EMISSIONSREDUKTION UND EFFIZIENZSTEIGERUNG

*14. Symposium Energieinnovation  
12.02.2016*

**Vanja Subotić**

Christoph Schluckner, Christoph Hochenauer

*Institut für Wärmetechnik  
Technische Universität Graz*



# Inhalt

- Stand der Technik
- Arbeitsprinzip einer Festoxidbrennstoffzelle
- Festoxidbrennstoffzellen für die Zukunft
- Festoxidbrennstoffzelle am Institut für Wärmetechnik
- Kohlenstoffablagerungen
- Fazit

*Stand der Technik*

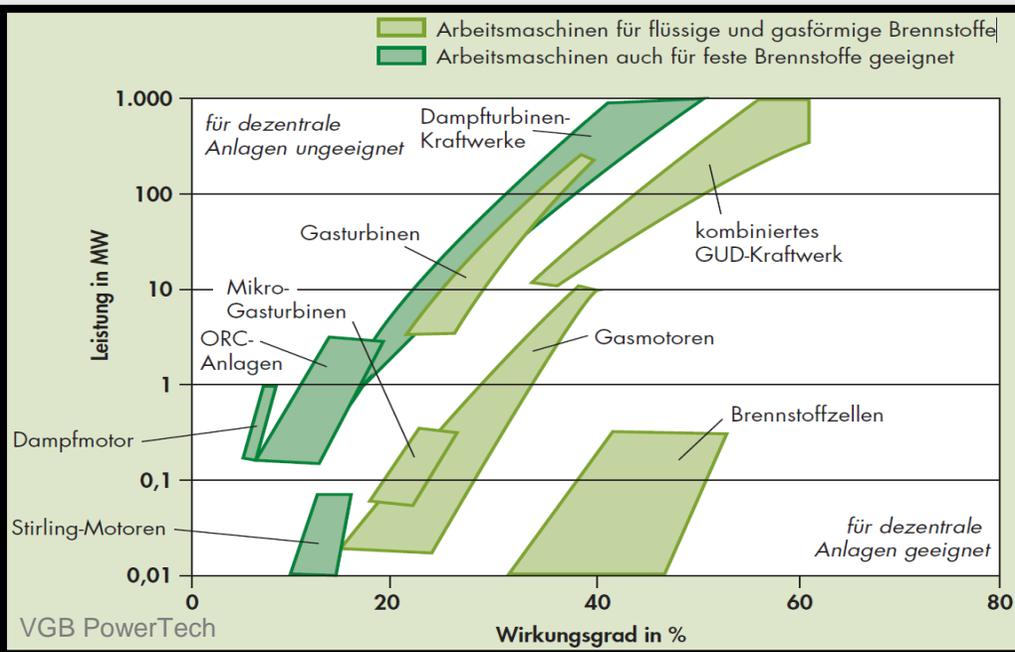
*Festoxidbrennstoffzelle*

*Forschung am IWT*

*Fazit*



# Stand der Technik



**Vergleich des Wirkungsgrades für verschiedene Stromerzeugungstechnologien**

## Effizienzvergleich

### *Konventionelle Stromerzeugungstechnologien*

- Gesamtwirkungsgrad begrenzt durch die Umwandlungsschritte
- Effizienz im Hochlastbetrieb

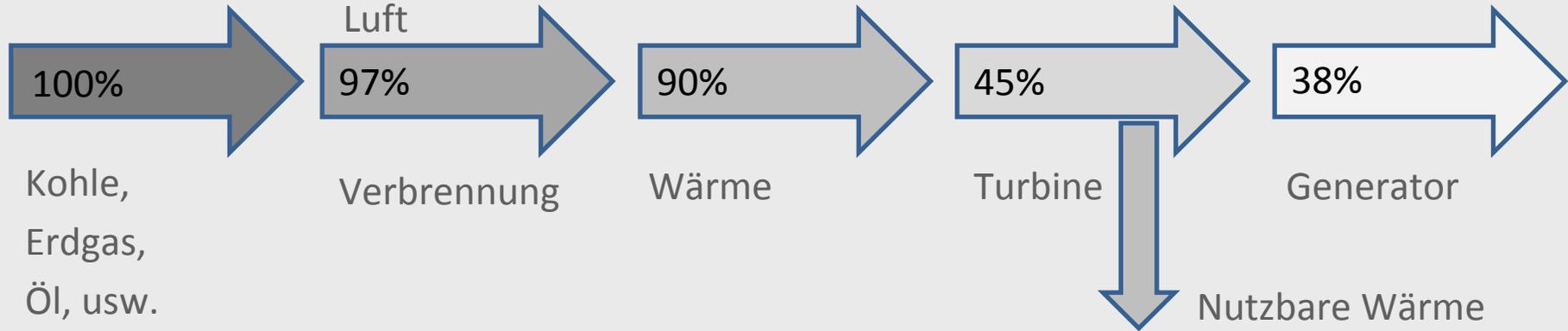
### *Festoxidbrennstoffzellen*

- Direkte Umwandlung von chemischer in elektrische Energie
- Keine verlustbehaftete Umwandlungsschritte
- Hohe Effizienz

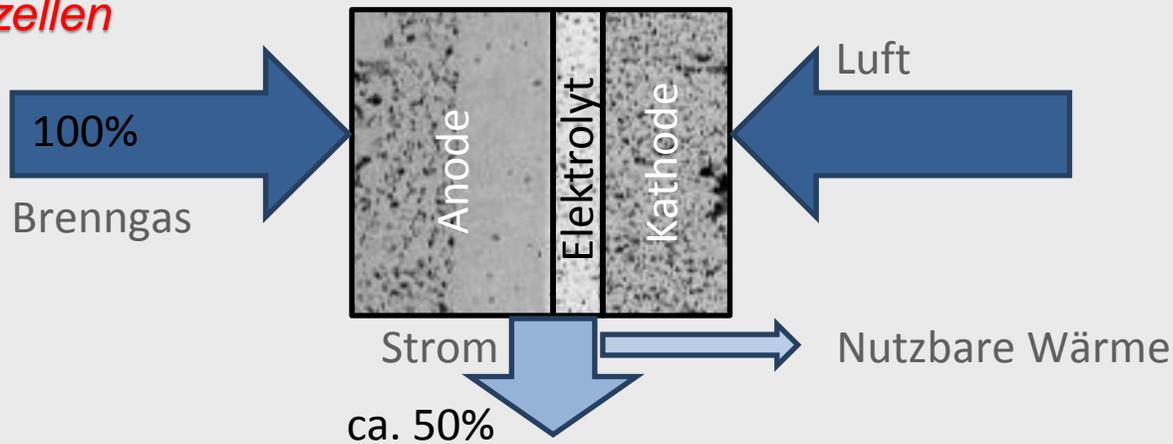


# Stand der Technik

## Konventionelle Stromerzeugungstechnologie



## Festoxidbrennstoffzellen



Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

Forschung am IWT

Fazit



# Stand der Technik

## Systemkonzepte Ene.farm in Japan



### Brennstoffzellensystem

- 0.75 kWel
- 35-40% - elektrischer Wirkungsgrad
- 45-55% - thermischer Wirkungsgrad
- Thermische Auskopplung für Warmwasserproduktion
- Anwendung: Einfamilienhäuser
- Verfügbar am Markt

Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

Forschung am IWT

Fazit

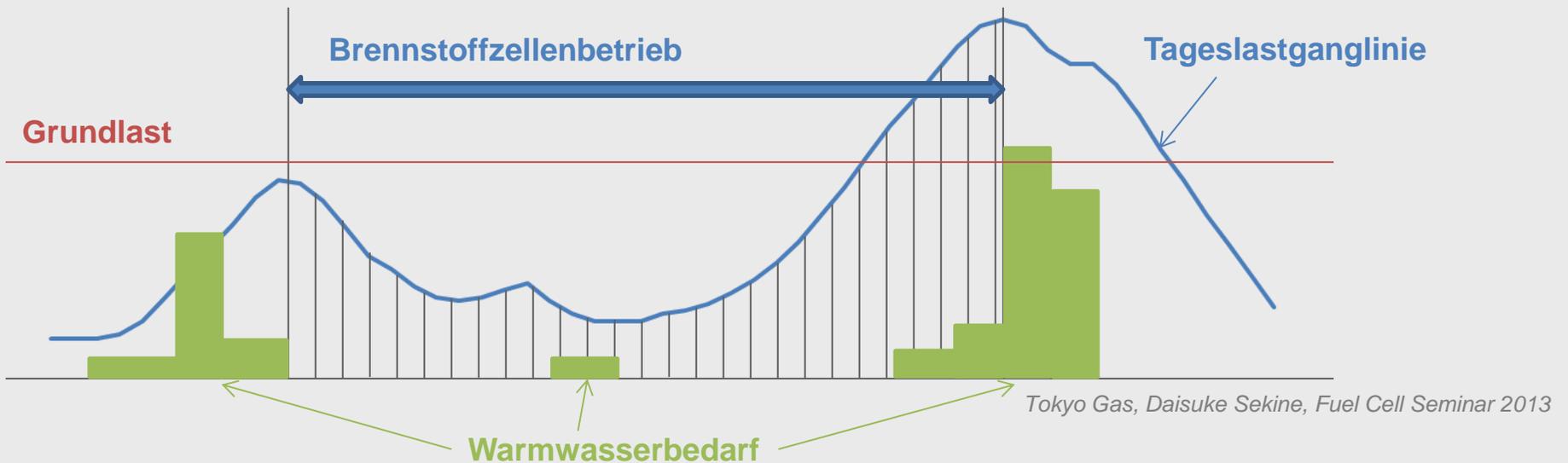


# Stand der Technik

## Lastprofil in Japan



Warmwassertank



Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

Forschung am IWT

Fazit

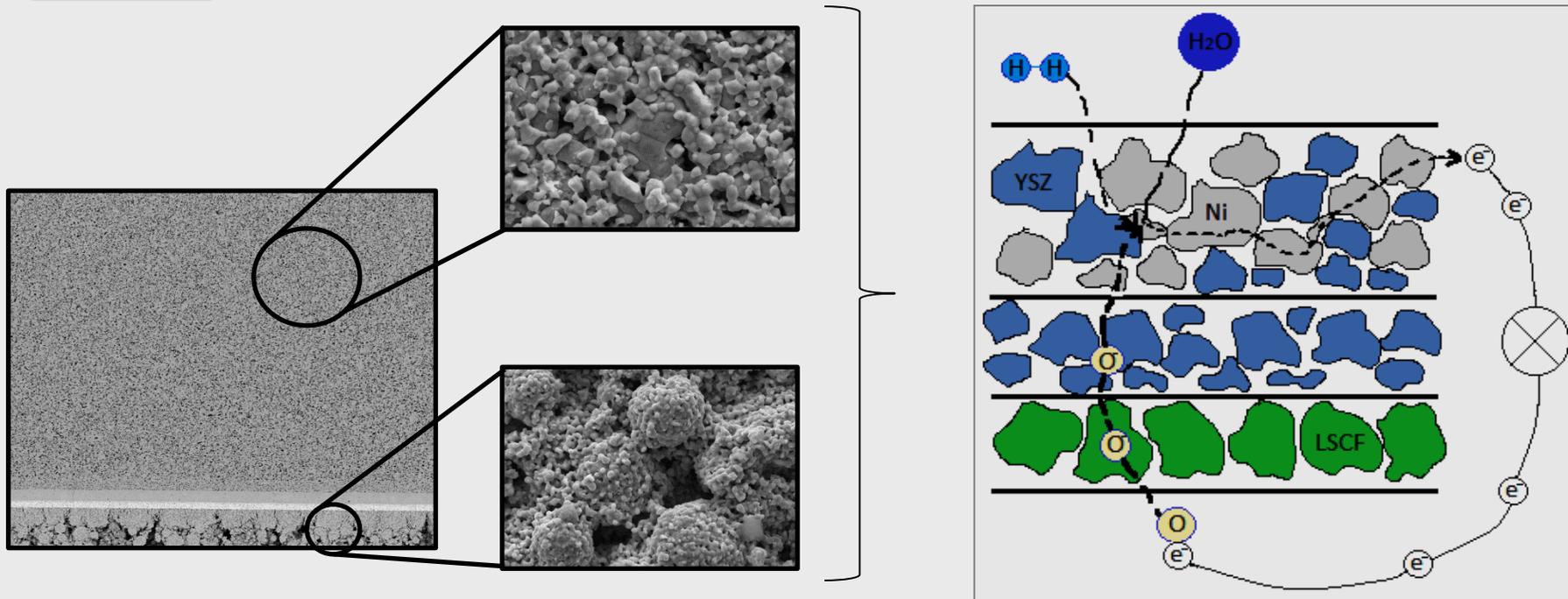


# Funktionsprinzip einer Festoxidbrennstoffzelle

Anode: Nickel + Yttrium stabilisiertes Zirkonoxid oder Gadolinium dotiertem Ceroxid

Elektrolyt: Yttrium stabilisiertes Zirkonoxid

Kathode: Perovskit aus Lanthan Strontium Manganat (LSM) oder La-Sr-Co-Fe-O (LSCF)



Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

Forschung am IWT

Fazit

# Funktionsprinzip einer Festoxidbrennstoffzelle

## Aufgaben der Festoxidbrennstoffzelle

### Anode

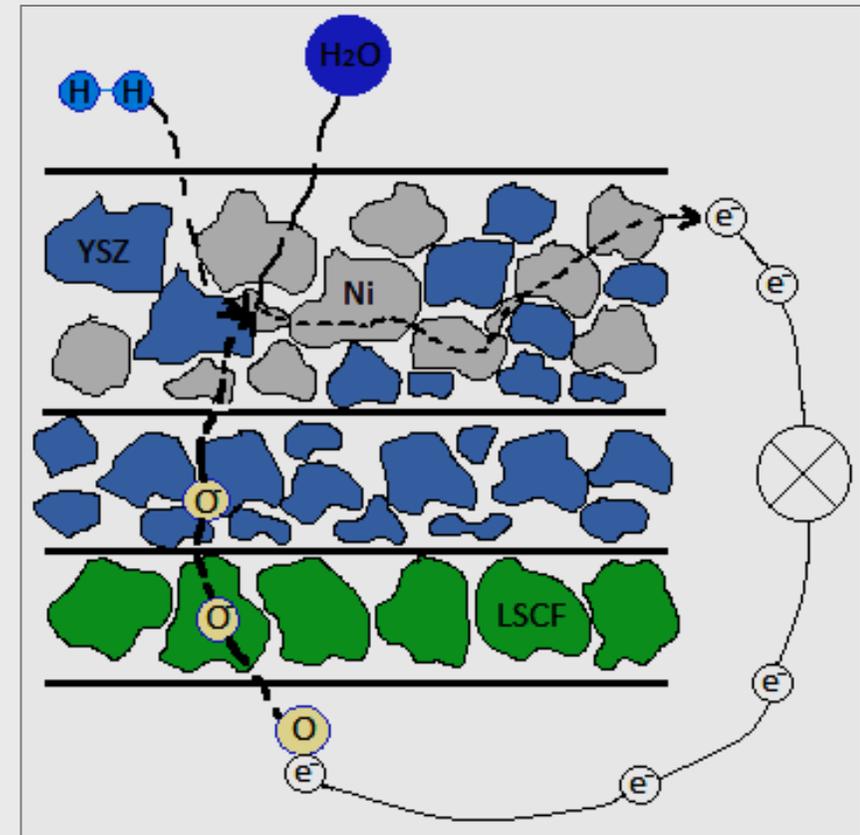
- Diffusion des Brennstoffs durch poröse Anodenschicht
- Elektrochemische Spaltung von Brennstoff auf der Anodenoberfläche
- Leitung von Elektronen und Sauerstoffionen
- Oberflächenreaktion

### Elektrolyt

- Leitung von Sauerstoffionen – elektrisch isolierend
- Gasdichte Separation von Anoden- und Kathodenraum

### Kathode

- Diffusion des Sauerstoffs durch poröse Kathodenschicht
- Leitung von Elektronen
- Elektrochemische Reduktion von Sauerstoff





# Funktionsprinzip einer Festoxidbrennstoffzelle

## Festoxidbrennstoffzellen-Varianten

### Einzelzellen

- Planares Konzept vs. Röhren Konzept
- Anodengestützt
- Elektrolytgestützt
- Kathodengestützt
- Metallgestützt



Einzelzellen am IWT

### Stack (Stapel)

- Anordnung von mehreren Zellen
- Parallele vs. serielle Verschaltung



Stack  
am IWT

Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

Forschung am IWT

Fazit



# Forschung im Bereich SOFC am Institut für Wärmetechnik

## FFG Projekt „RESOX“

### *Regenerationsstrategien für Solid Oxide Fuel Cells*

- *Experimentelle und numerische Entwicklung eines zellschonenden Regenerationsverfahrens*

## FFG Projekt „ASYSII“

### *SOFC APU Entwicklung System Entwicklung II*

- *Erforschung der grundlegenden Schädigungsprozesse während des Betriebs mit Kohlenwasserstoffen*

## FFG Projekt „SOFCool“

### *Entwicklung einer SOFC CCHP Anlage mit Multi-Fuel Konzept für den Einsatz erneuerbarer Energieträger*

- *Stromerzeugung aus SOFC und die Absorptionskältemaschine für Nutzkälte bzw. Nutzwärme*

## FFG Projekt „MestRex“

### *Metallischer Stack für Range Extender*

- *Entwicklung eines SOFC-Systems, das Treibstoffe auf Ethanolbasis hocheffizient in elektrischen Strom umwandelt*

## FFG Projekt „AURORA“

### *Autarker Reversibler Festoxidzellen Antrieb (SOFC/SOEC) für eigenstartfähige Segelflugzeuge*

- *Entwicklung eines elektrischen SOFC/SOEC Antriebs für ein eigenstartfähiges Segelflugzeug*

## FFG Projekt „SOFC SALT“

### *Solid Oxide Fuel Cell – Stationary Accelerated Life Testing*

- *Schädigungsrechnung aufgrund der experimentellen Daten von segmentierten Zellen*

Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

Forschung am IWT

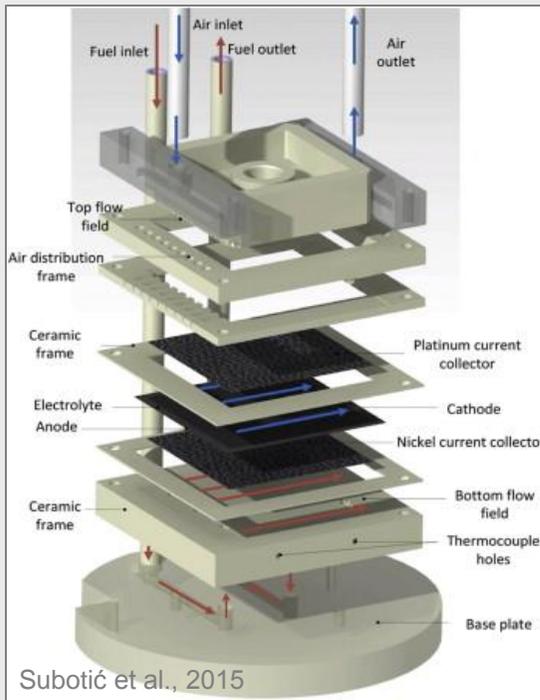
Fazit



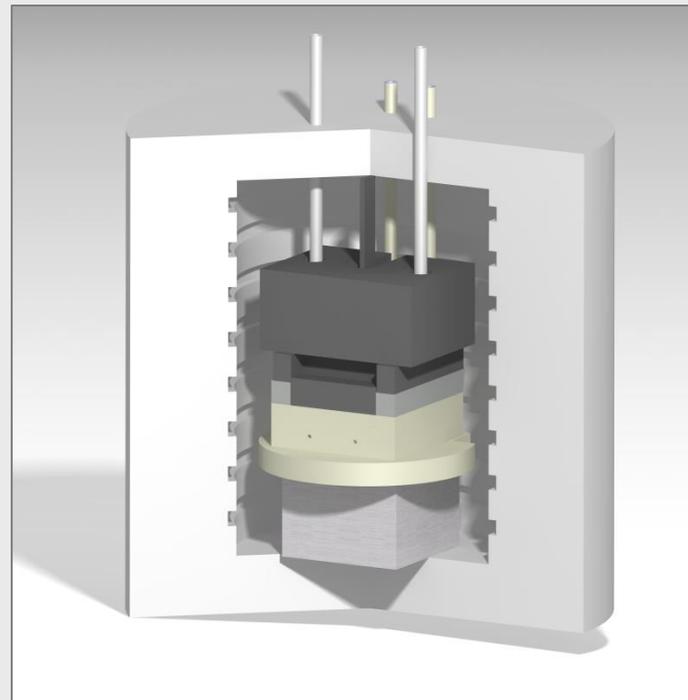
# Forschung im Bereich SOFC am Institut für Wärmetechnik

## SOFC Einzelzellenprüfstand am IWT

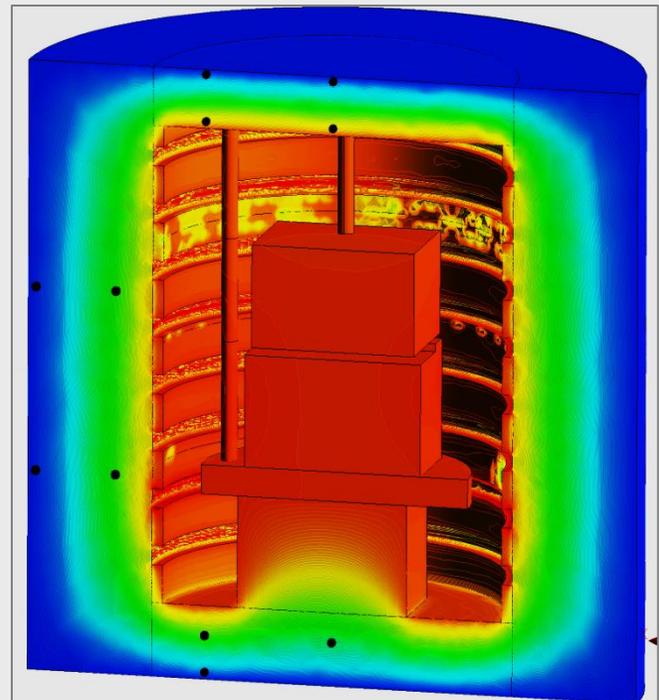
*Keramisches Zellgehäuse*



*Keramisches Zellgehäuse*



*Betriebstemperatur 800°C*



Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

Forschung am IWT

Fazit



# Einzelzellversuche - Messmethoden

- Polarisationskurve
  - Elektronische Last
  - 0,7 V als untere Grenze für die Spannung
- Elektrochemische Impedanzspektroskopie
  - Potentiostat/Galvanostat
  - $I_{ss} = 80 \text{ A} !!!$
  - Anregungssignal – Wechselstrom mit der Amplitude 40 mA
    - Stabilität-, Zeitinvarianz- & Kausalitätskriterien müssen erfüllt werden!!!
  - Frequenzbereich – 100 mHz – 10 kHz
  - Messungen unter Last !!!
- Gasanalyse – vor und nach der Anode
  - Gasanalysator – ABB Advance Optima 2000



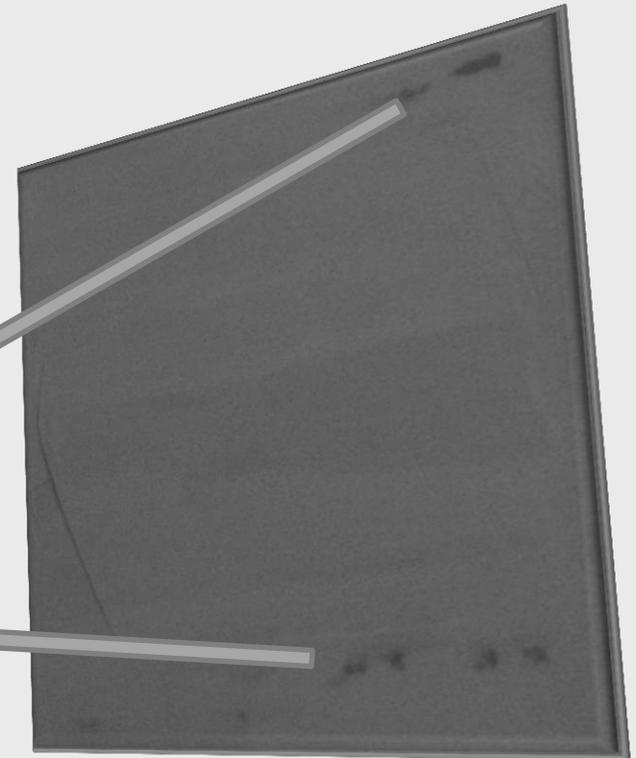
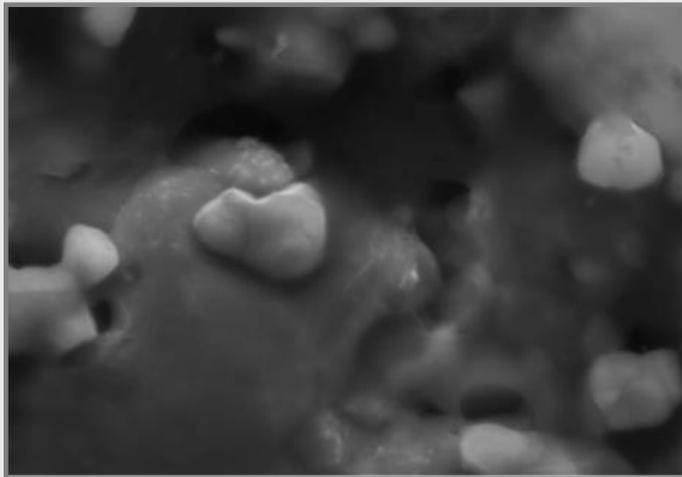
# SOFC Degradationsmechanismen

- **Anodenseitig**
  - *Kohlenstoffablagerungen*
  - *Schwefelvergiftung*
  - *Alkali-Chlor-Vergiftung*
- **Kathodenseitig**
  - *Chromvergiftung*
- **Zelle**
  - *Thermische Zyklen*
  - *Lastzyklen*



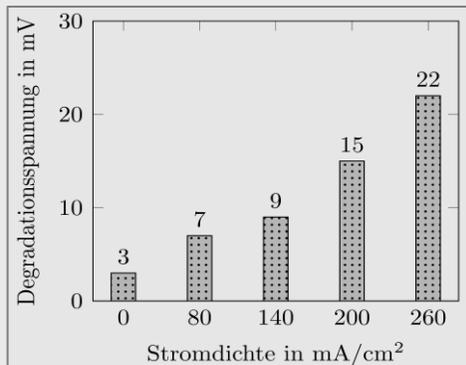
# Kohlenstoffablagerungen

- Warum entstehen Kohlenstoffablagerungen?
  - *Betrieb mit kohlenstoffhaltigen Brennstoffen*
  - *Steam/Carbon ratio < 2*

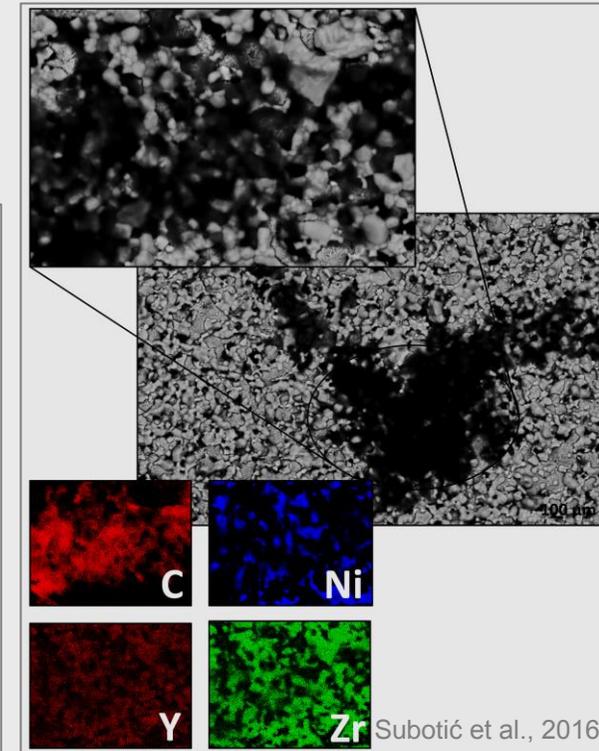
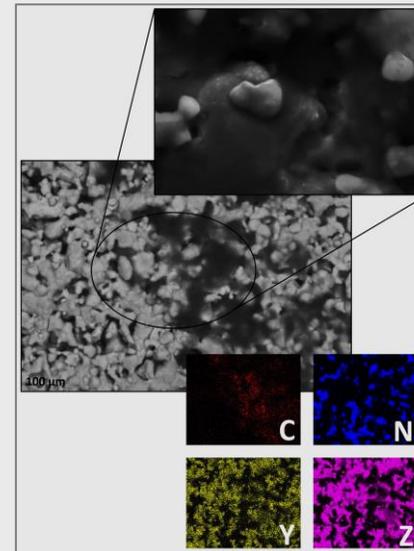
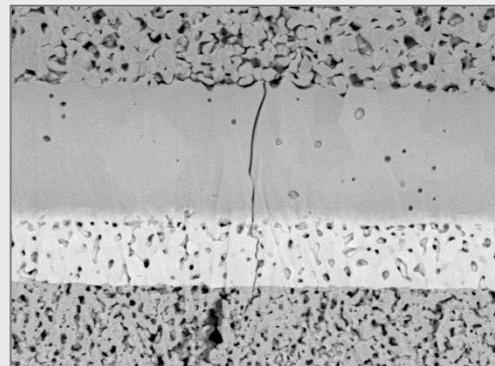


# Kohlenstoffablagerungen

- Welche Auswirkungen hat dieses Phänomen?
  - *Starke Leistungsdegradation*
  - *Gaskanäle werden verstopft*
  - *Gasdiffusion wird verhindert*
  - *Nickelablösung*
  - *Mechanische Beschädigung*



Subotić et al., 2015



Subotić et al., 2016

Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

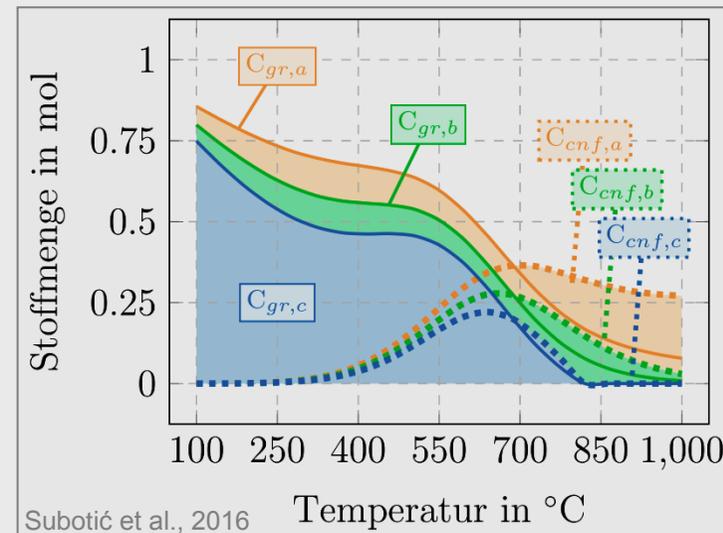
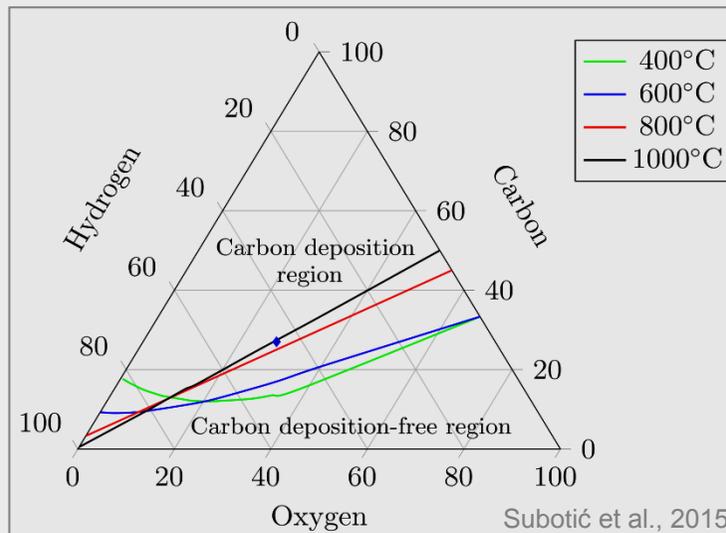
Forschung am IWT

Fazit

# Kohlenstoffablagerungen

- Wie kann man die Entstehung von Kohlenstoffablagerungen vermeiden?
  - Steam/Carbon ratio  $> 2$
  - Betrieb unter hoher Last  $\Rightarrow$  Kritische Stromdichte soll überschritten werden!
  - Kritischer Bereich für die Entstehung von Kohlenstoffablagerungen bestimmen

C-H-O  
Dreiecks-  
diagramm



Gleichgewichts-  
diagramm

	H <sub>2</sub> O vol%	S/C
a	0	0
b	11.3	0.33
c	20	0.58

Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

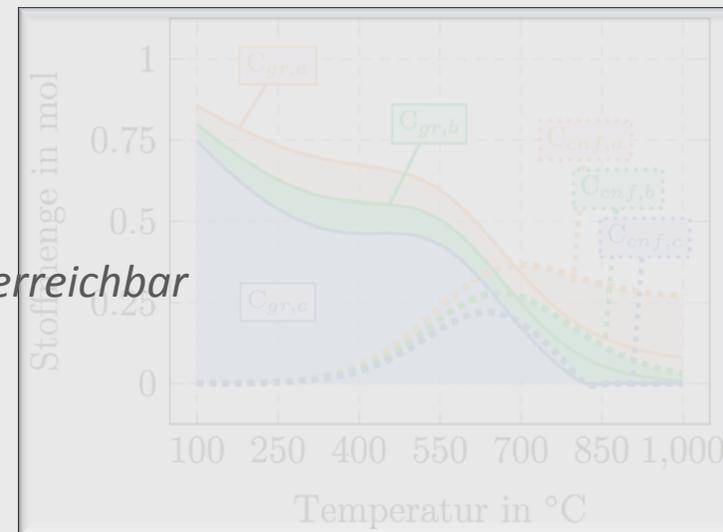
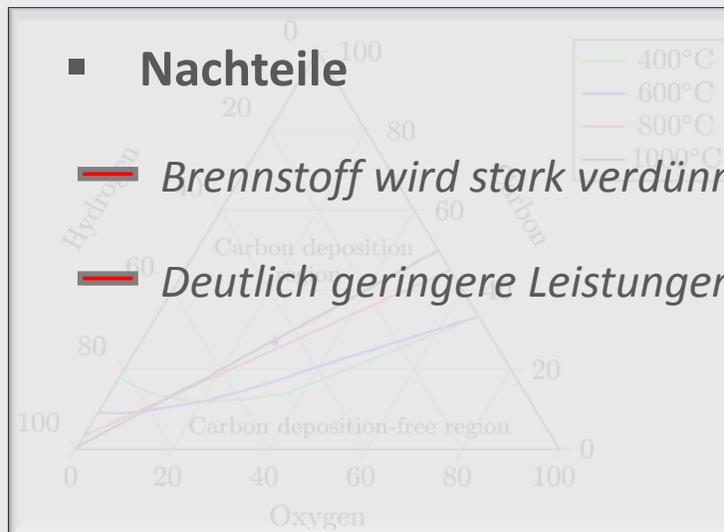
Forschung am IWT

Fazit

# Kohlenstoffablagerungen

- Wie kann man die Entstehung von Kohlenstoffablagerungen vermeiden?
  - Steam/Carbon ratio  $> 2$
  - Betrieb unter hoher Last  $\Rightarrow$  Kritische Stromdichte soll überschritten werden!
  - Kritischen Bereich für die Entstehung von Kohlenstoffablagerungen bestimmen

C-H-O  
Dreiecks-  
diagramm



Gleichgewichts-  
diagramm

Stand der Technik

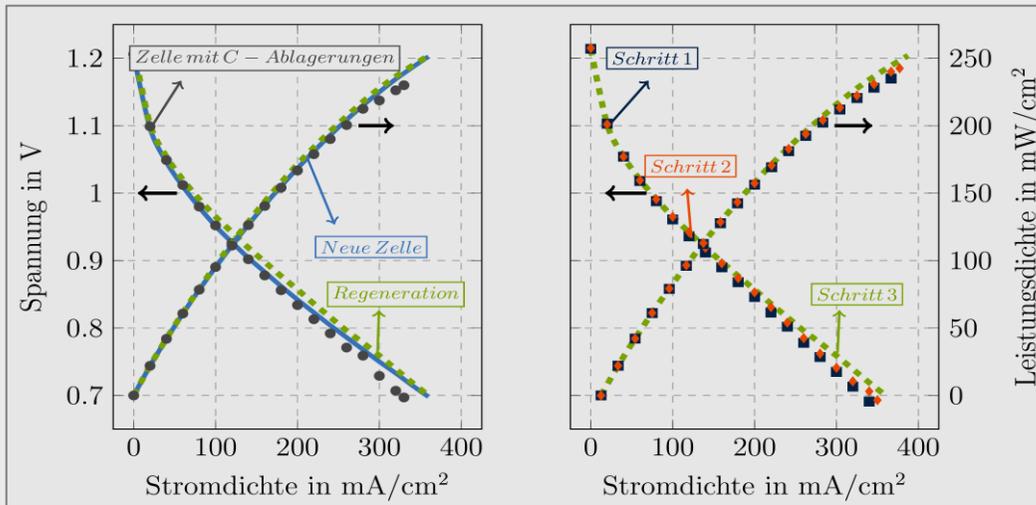
Festoxidbrennstoffzelle

Forschung am IWT

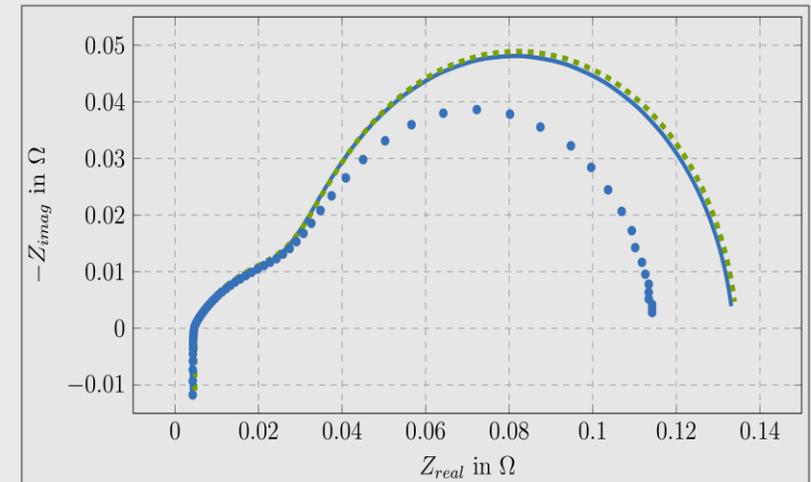
Fazit

# Regeneration

- **Entwicklung von zellschonenden Regerationsstrategien**
  - *Entfernung von Ablagerung am Katalysator bzw. Anode*
  - *Regeneration der Zellperformance*
  - *Regenerationsmethoden entwickelt am Institut für Wärmetechnik*



Subotić et al., 2015



Subotić et al., 2015

Stand der Technik

Festoxidbrennstoffzelle

Forschung am IWT

Fazit



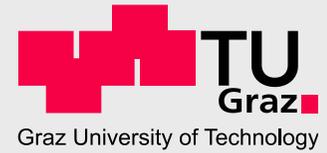
## Fazit

- Brennstoffzellen spielen eine wichtige Rolle für ein zukünftiges umweltfreundliches und energieeffizientes System!
- Hoher elektrischer Wirkungsgrad und Gesamtwirkungsgrad
  - *Emissionsreduktion*
  - *Kohlendioxid*
- Betrieb mit sauberen und kohlenstoffhaltigen Gasen
  - *Wasserstoff*
  - *Dieselreformat*
  - *Biogas*
- Intensive Untersuchung von Festoxidbrennstoffzelle am Institut für Wärmetechnik
  - *Kohlenstoffablagerungen*
  - *Regenerationsmethoden*



Institut für Wärmetechnik

Inffeldgasse 25B A-8010 Graz, Austria  
www.iwt.tugraz.at



***Danke für Ihre Aufmerksamkeit!***