

# Methanoldampreformierung mittels Perowskit- basierter Oxide: Transformation des Energiesektors für eine nachhaltige Zukunft

T. Berger, H. Drexler, T. Ruh, F. Schrenk, L. Lindenthal, J. Bock, R. Rameshan,  
K. Föttinger, C. Rameshan

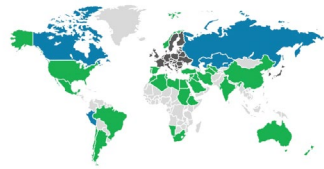


24. Österreichischer  
**KLIMATAG**

Stadt und Land im Fluss

02. bis 04. April 2024  
TU Wien

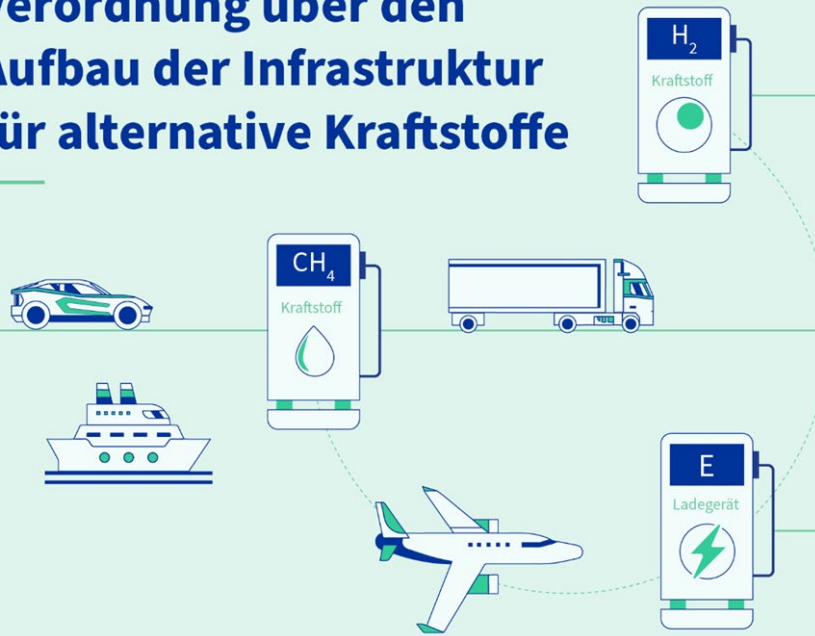




# Reduktion von CO<sub>2</sub> Emissionen



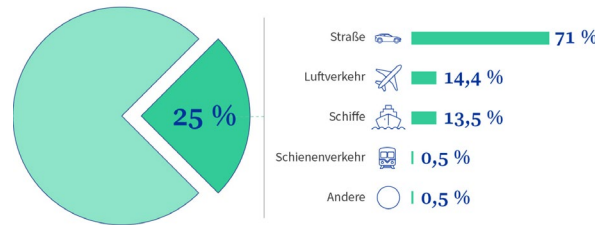
## Erklärung: Die Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe



Ziel der Verordnung ist es, dafür zu sorgen, dass für PKW, LKW, Schiffe und Flugzeuge genügend Infrastruktur zum (Auf-)Laden oder (Auf-)Tanken mit alternativen Kraftstoffen (z. B. Wasserstoff, Flüssigmethan) bereitsteht und überall in der Union weit genug verbreitet ist, um „Reichweitenangst“ zu vermeiden.

## Wie hilft die Verordnung auf dem Weg zur Klimaneutralität?

Der **Verkehrssektor** ist für fast 25 % der Treibhausgasemissionen in der EU verantwortlich.



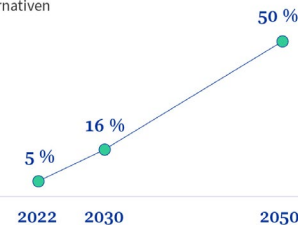
**mehr Elektro- und mit alternativen Kraftstoffen betriebene Fahrzeuge = weniger Emissionen**

Es gibt mehr als **13,4 Mio.** PKW und LKW in der EU, die mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden.

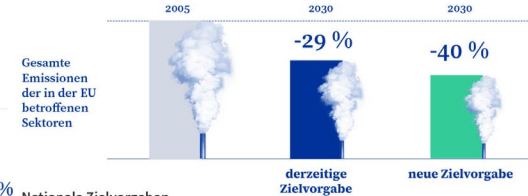
Schätzungen zufolge wird sich der Anteil aller PKW und LKW in der EU, die mit alternativen Kraftstoffen fahren, bis 2050 verzehnfachen.



Prognose der Fahrzeugflotte in der EU



Mit den neuen Vorschriften will die EU die Treibhausgasemissionen in den Sektoren, die unter die Lastenteilungsverordnung fallen, bis 2030 um 40 % senken.



### Nationale Zielvorgaben

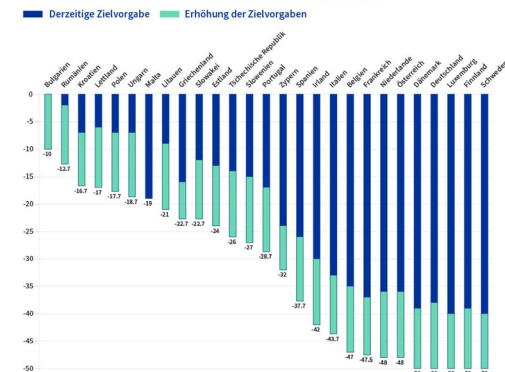
→ Jeder Mitgliedstaat trägt zur Emissionsreduzierung in diesen Sektoren bei.

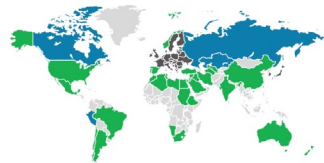
→ In der vorgeschlagenen Verordnung werden für jeden Mitgliedstaat **neue und verbindliche Ziele für 2030** vorgegeben; außerdem werden nationale jährliche Emissionsgrenzwerte festgelegt, die schrittweise zu den nationalen Zielen für 2030 hinführen.

→ Die Zielvorgaben sind gerecht und kosteneffizient festgelegt und berücksichtigen die nationalen Gegebenheiten.

→ Die nationalen Emissionspfade für die einzelnen Mitgliedstaaten 2025 können angepasst werden, wenn dies angesichts der Auswirkungen der COVID-19-Pandemie oder anderer unvorhergesehener Ereignisse auf die Emissionen als notwendig erachtet wird.

Vorgeschlagene Erhöhung der Zielvorgaben bis 2030 pro Mitgliedstaat (in %)



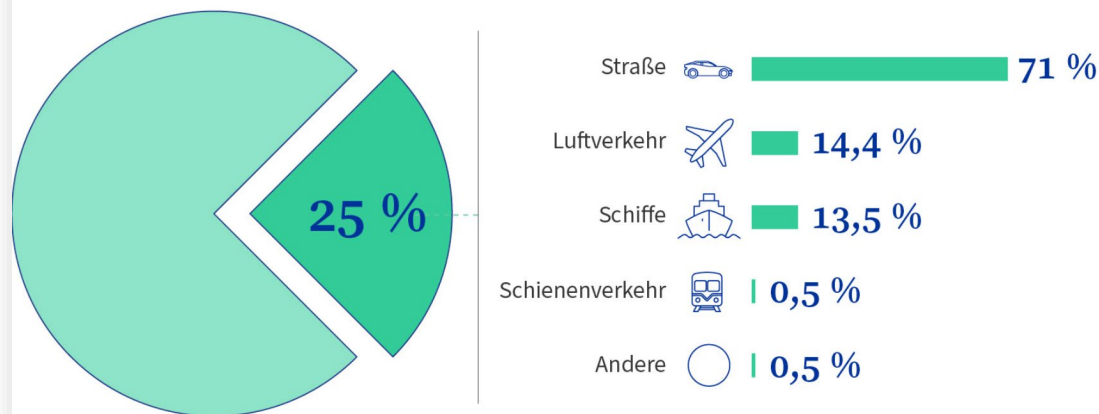


# Reduktion von CO<sub>2</sub> Emissionen

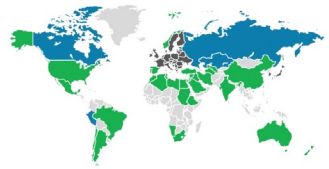


## Wie hilft die Verordnung auf dem Weg zur Klimaneutralität?

Der **Verkehrssektor** ist für fast 25 % der Treibhausgasemissionen in der EU verantwortlich.



- Reduktion der **CO<sub>2</sub> Emission** durch Implementierung neuer Technologien
- **Wasserstoff** als Energieträger der Zukunft

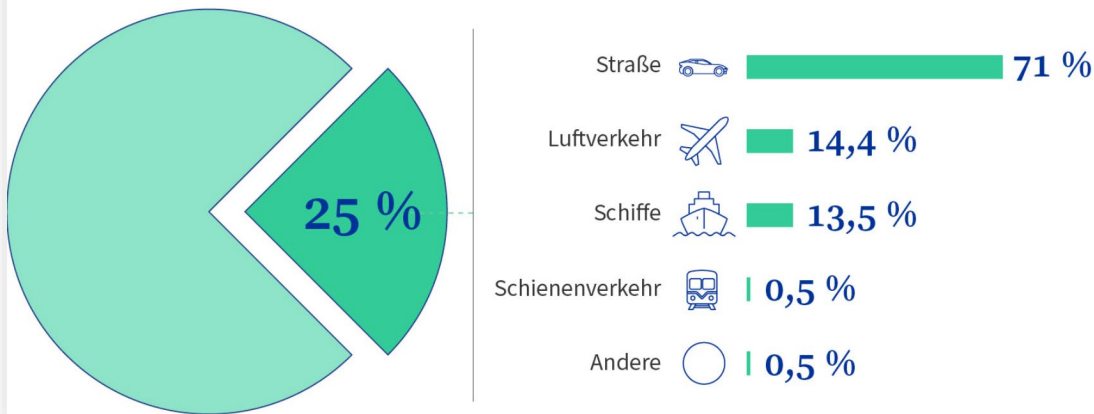


# Reduktion von CO<sub>2</sub> Emissionen



## Wie hilft die Verordnung auf dem Weg zur Klimaneutralität?

Der **Verkehrssektor** ist für fast 25 % der Treibhausgasemissionen in der EU verantwortlich.



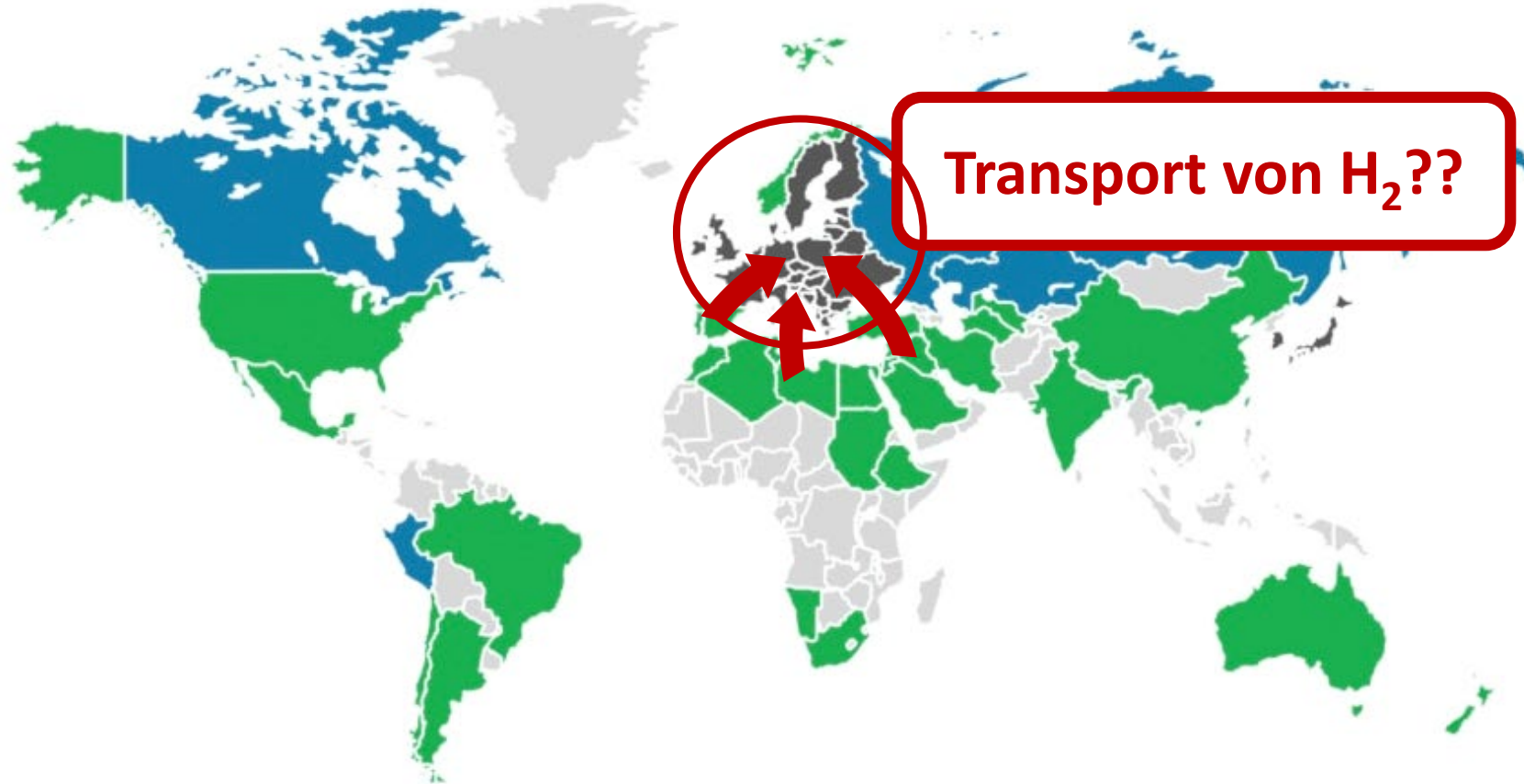
- Reduktion der **CO<sub>2</sub> Emission** durch Implementierung neuer Technologien
- **Wasserstoff** als Energieträger der Zukunft

### ABER:

- Geringe **Energiedichte**
- Komplexe **Lagerung**
- Komplexer **Transport**



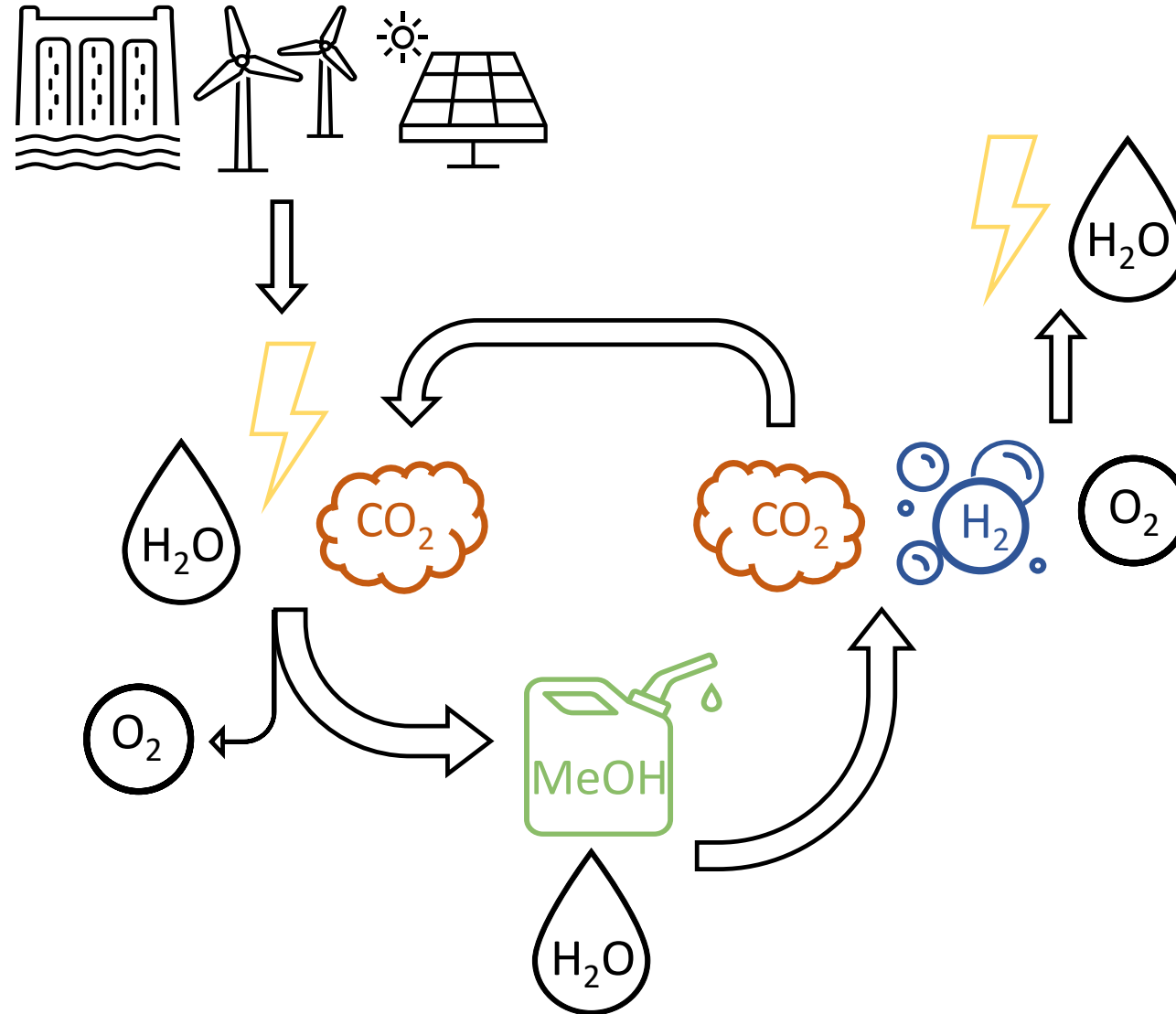
# Weltweite Produktion von Wasserstoff



<https://www.thedailybeast.com/green-hydrogen-could-be-the-energy-fix-that-makes-carbon-neutral-goals-possible-by-2050>

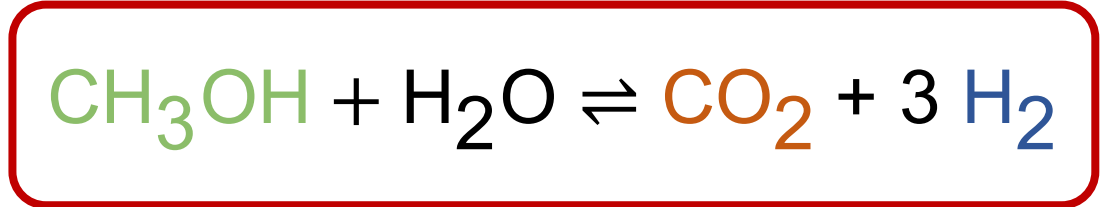
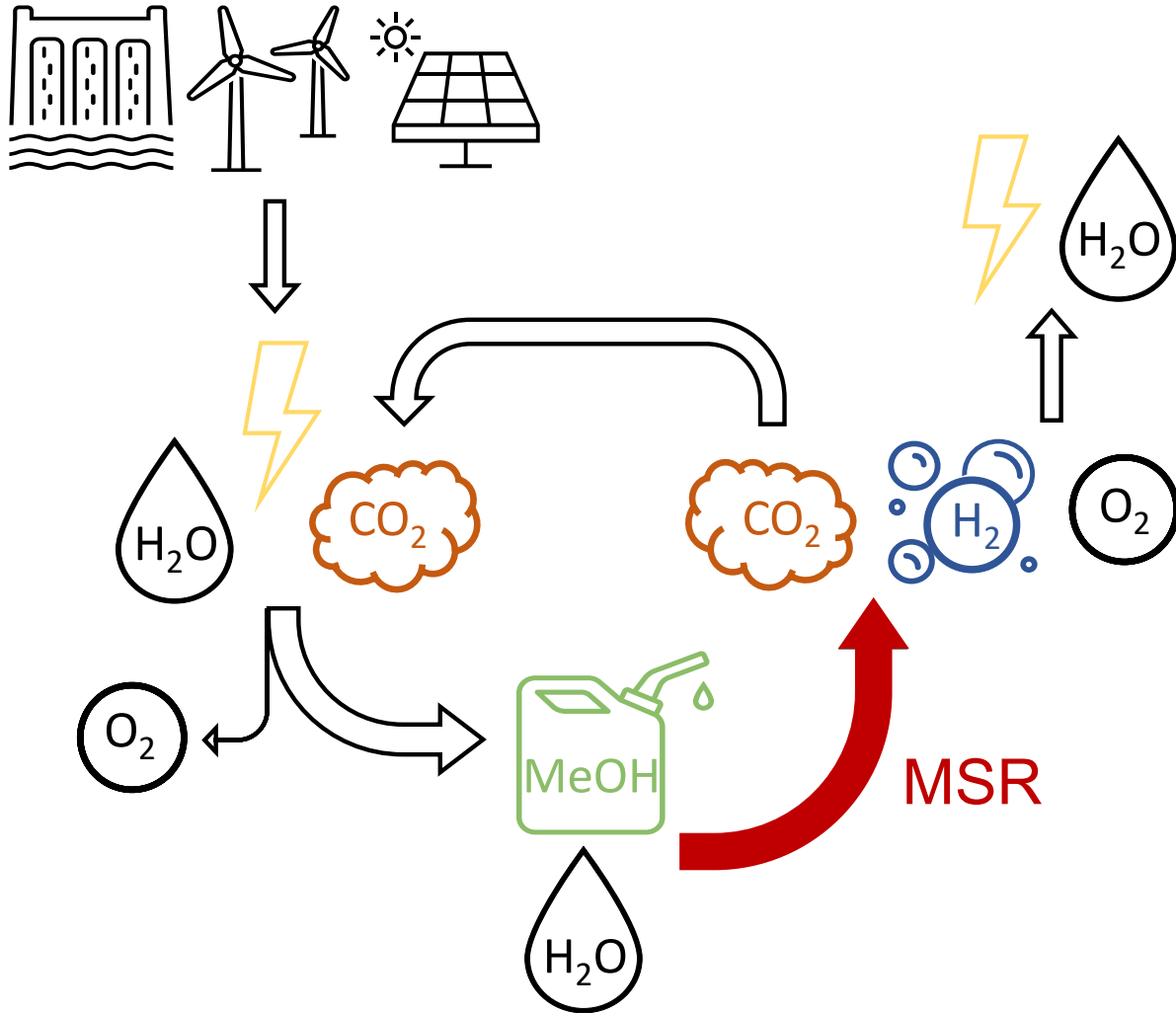


# Methanoldampfreformierung



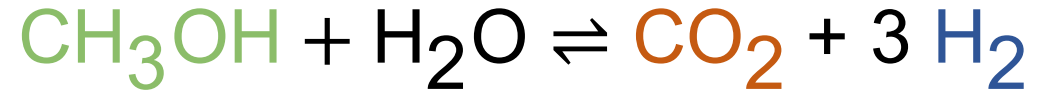


# Methanoldampfreformierung

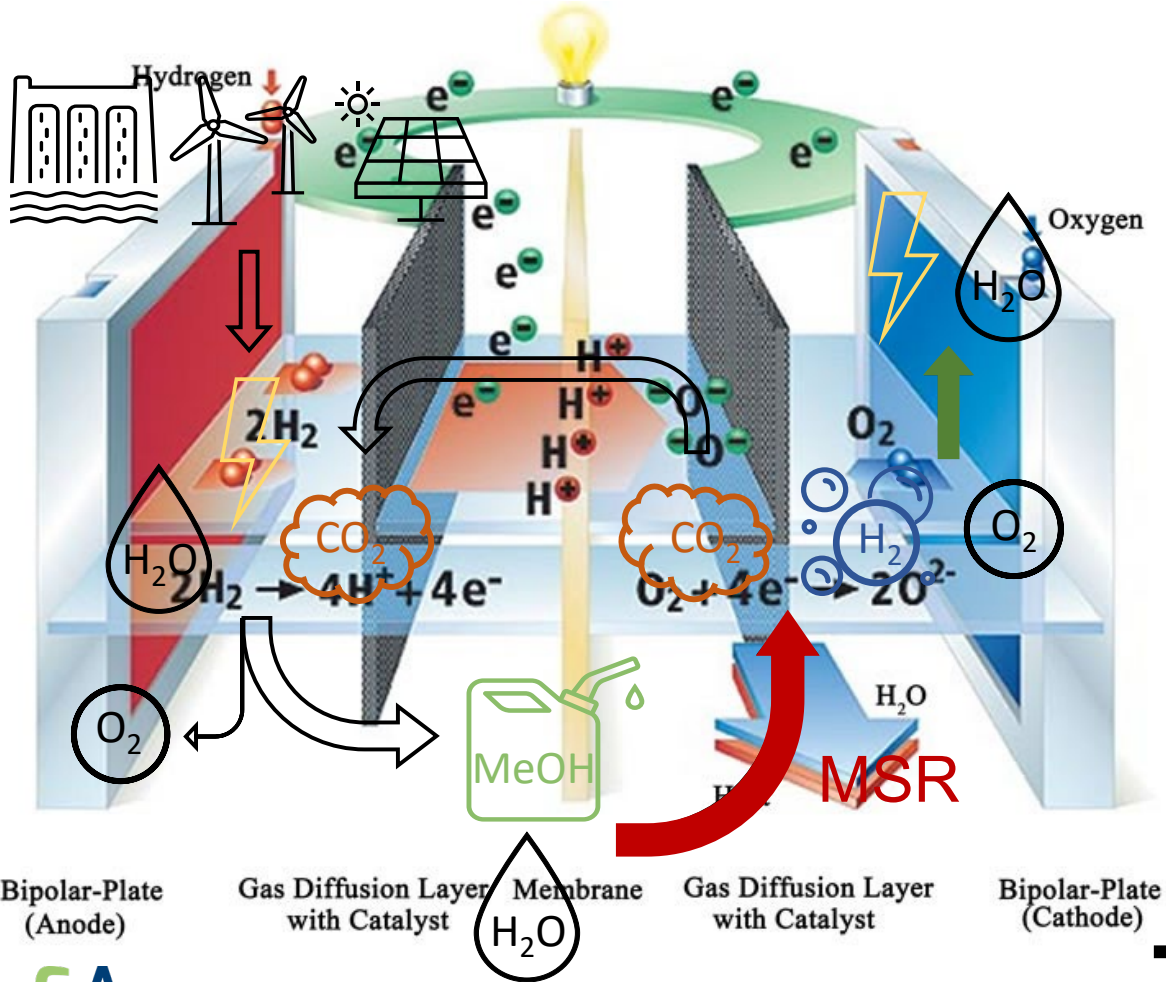




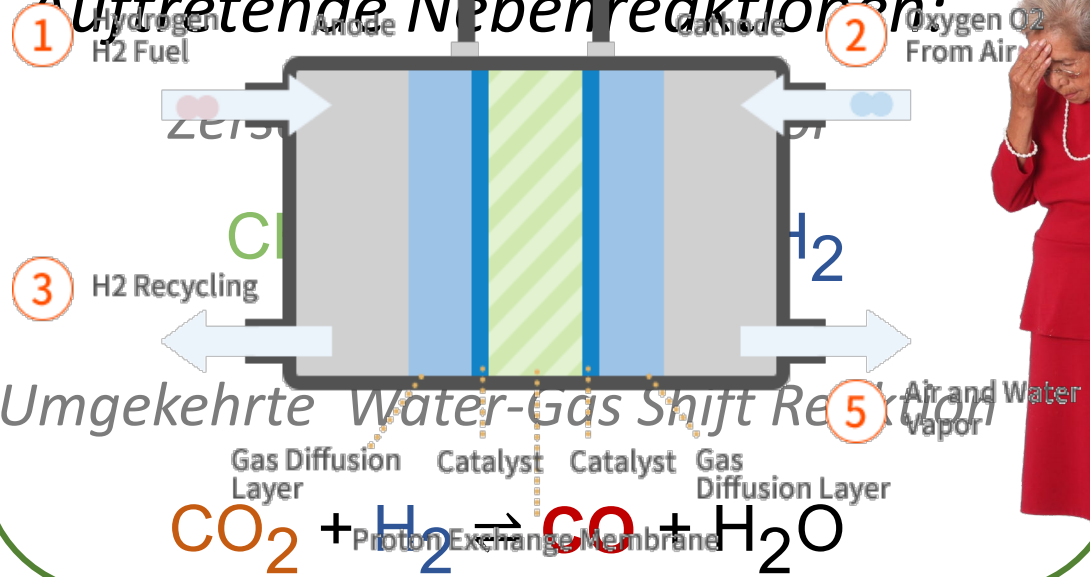
# Methanoldampfreformierung



~~Hohe Reaktivität Katalysator notwendig~~



~~Auftretende Nebenreaktionen:~~



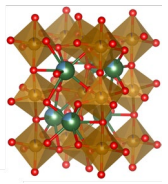
~~Umgekehrte Water-Gas Shift Reaktion~~



→ selektiver Katalysator notwendig



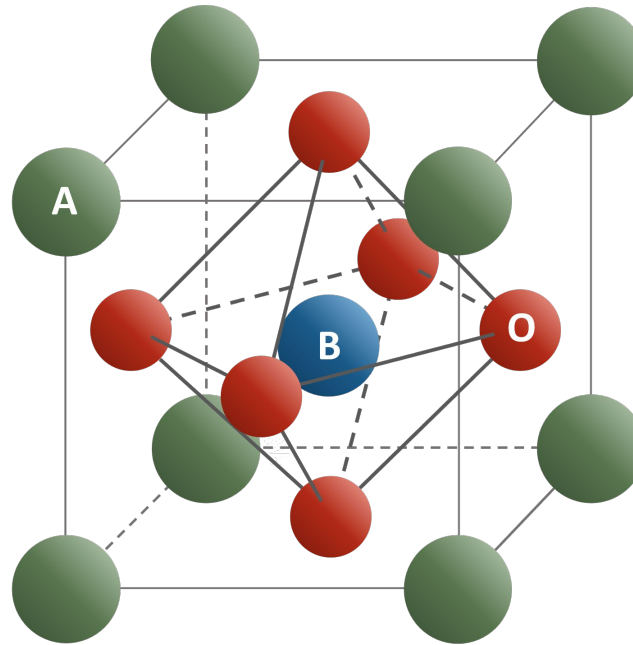




# Materialklasse - Perowskitoxide



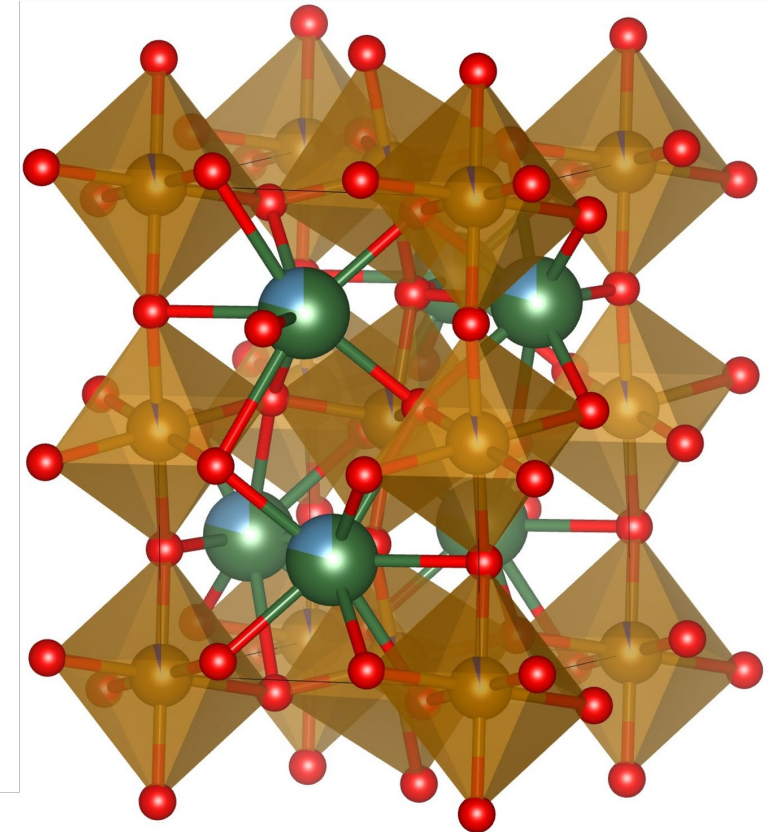
- Strukturformel:  $ABO_3$
- Hohe Variabilität der Zusammensetzung
- Dotierung der A- und B-site möglich

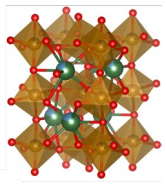


Perovskite  $ABO_3$

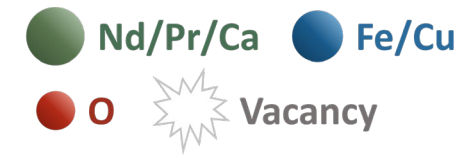
Ideal Einheitszelle eines Perowskitoxides

Reale, verzerrte Struktur eines Perowskitoxides





# Materialklasse - Exsolution



– Reduzierende Bedingungen

– Temperatur > 500 °C

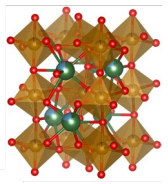
– Theoretische M



**Hohe Anzahl potentiell aktiver Zentren  
→ Interessant für Katalyse**

- Bildung von ~~Sauerstoffkonzentration~~
- Exsolution z.B.: von B-Platzionen
- Bildung stabiler Nanopartikel an Oberfläche

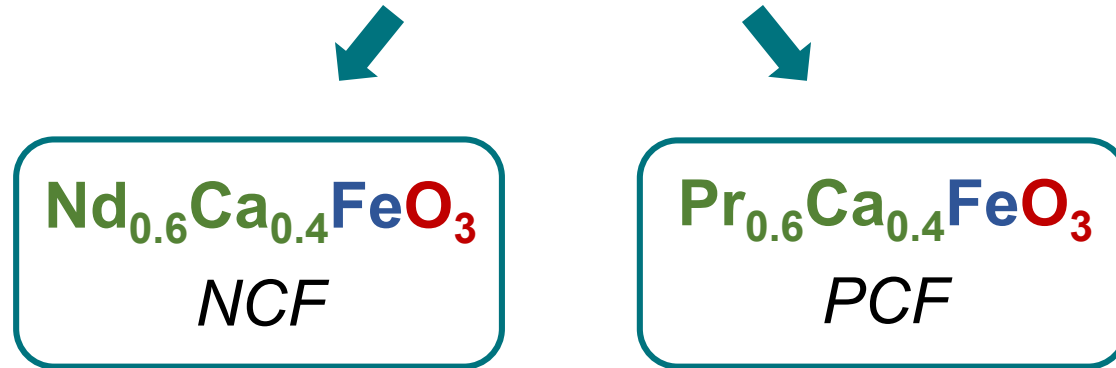




# Katalysatoren

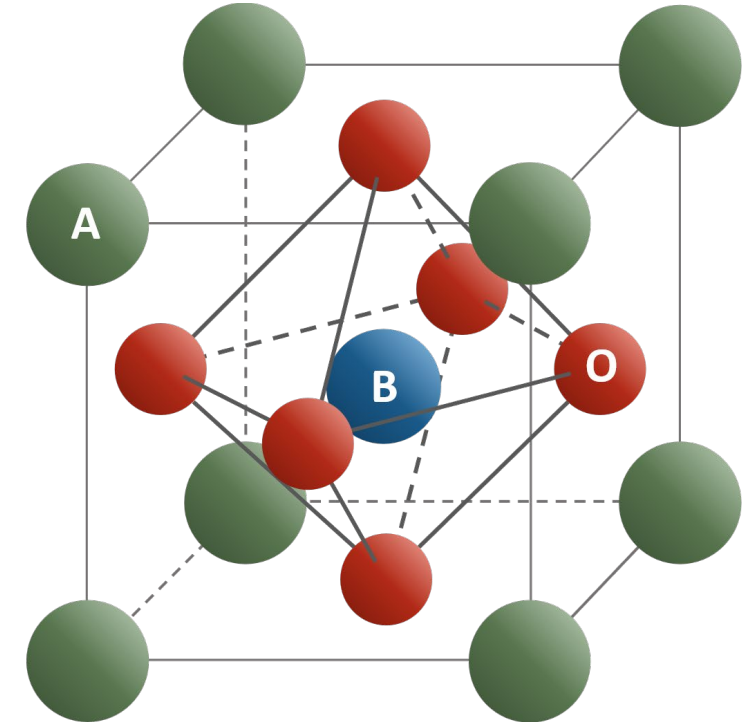


## Untersuchte Materialklasse

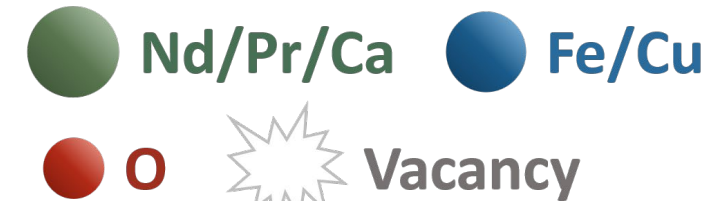


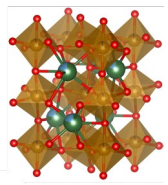
**B-Platz  
Dotierung**

**3% Ni    10% Co    3%-10% Cu**

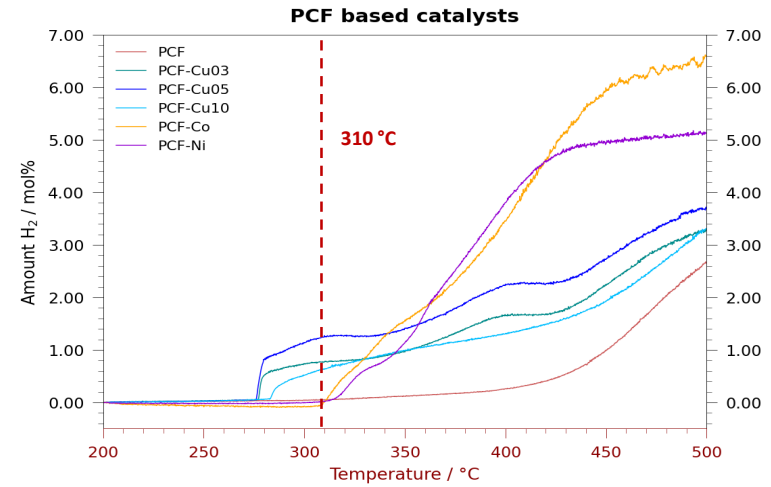
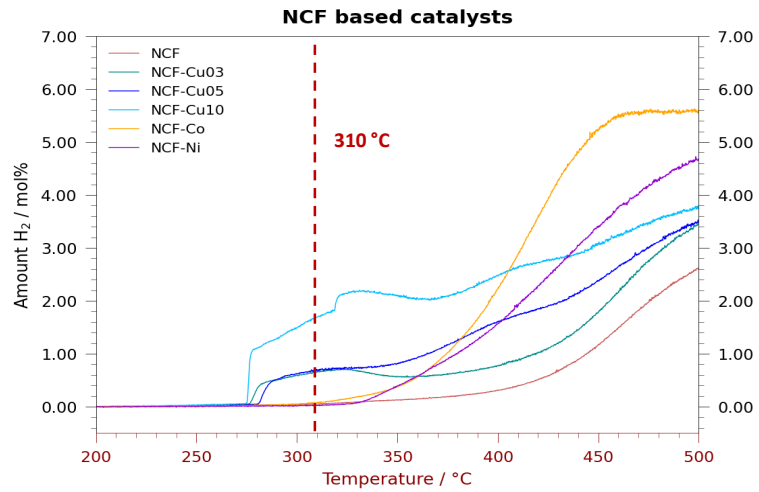


Perovskite  $\text{ABO}_3$

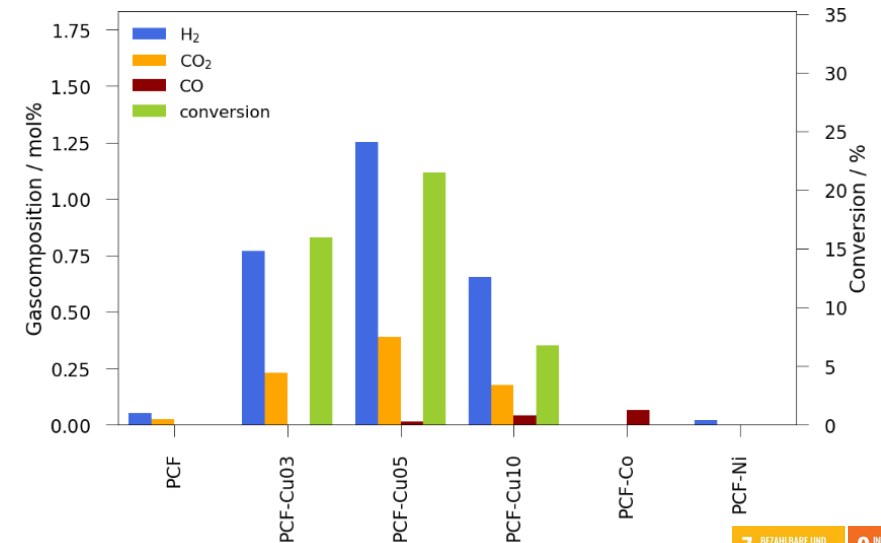
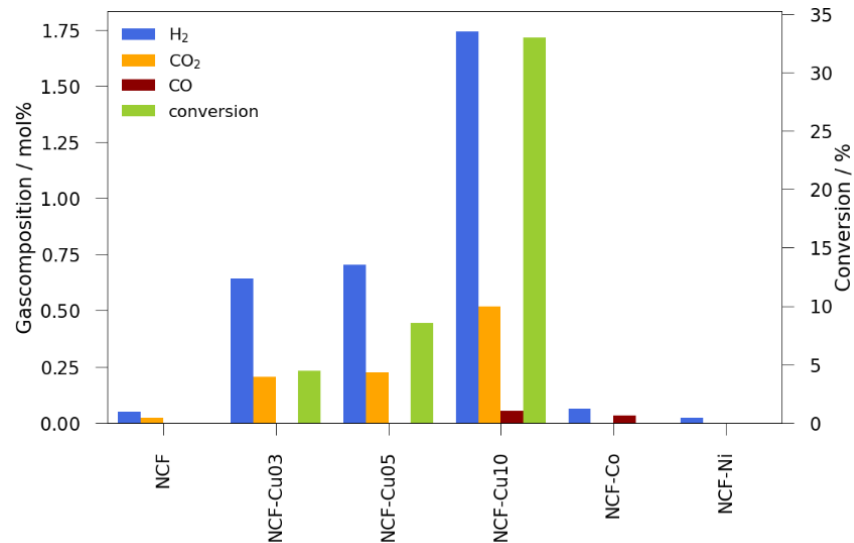


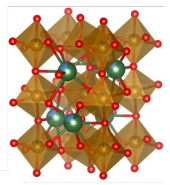


# Katalytische Aktivität



- undotiert
- 3% Cu
- 5% Cu
- 10% Cu
- 10% Co
- 5% Ni

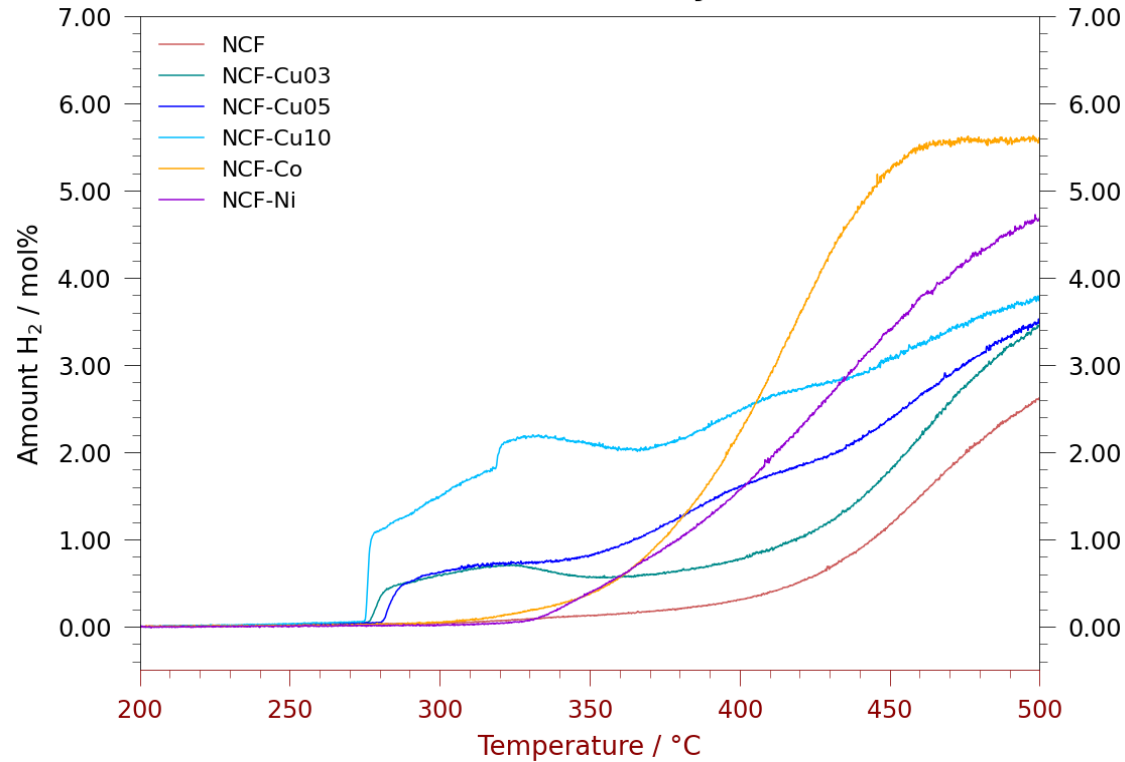




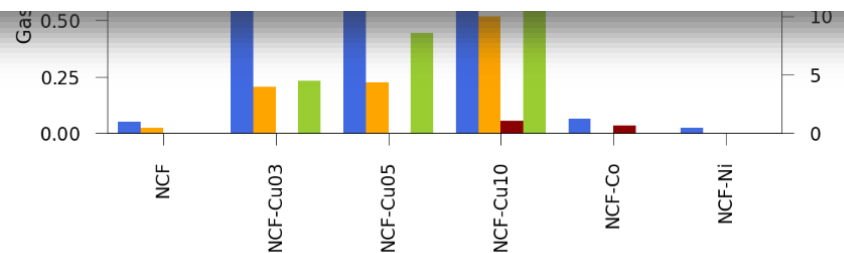
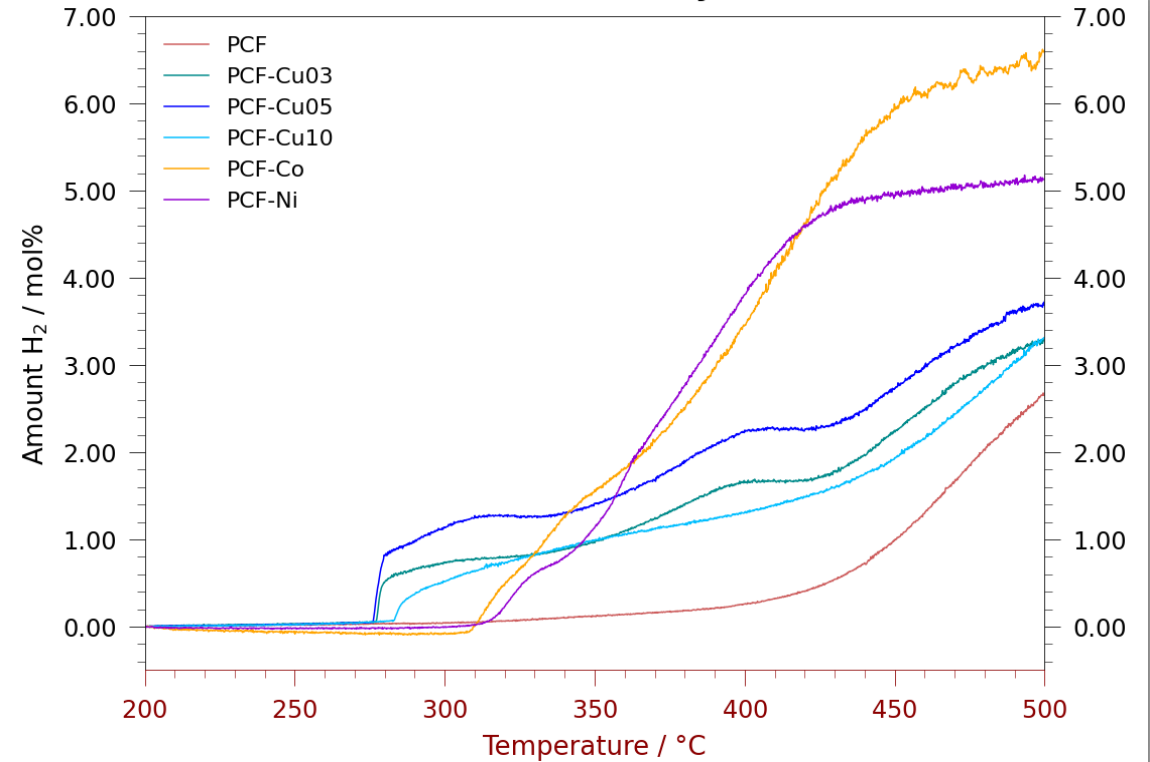
# Katalytische Aktivität



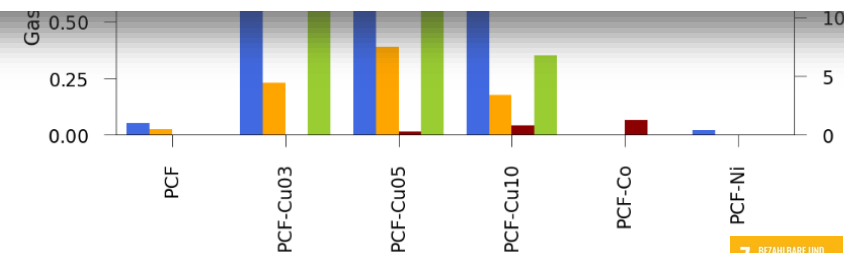
### NCF based catalysts

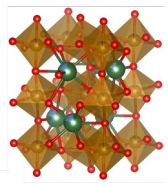


### PCF based catalysts



- undoped
- 3% Cu
- 5% Cu
- 10% Cu
- 10% Co
- 5% Ni

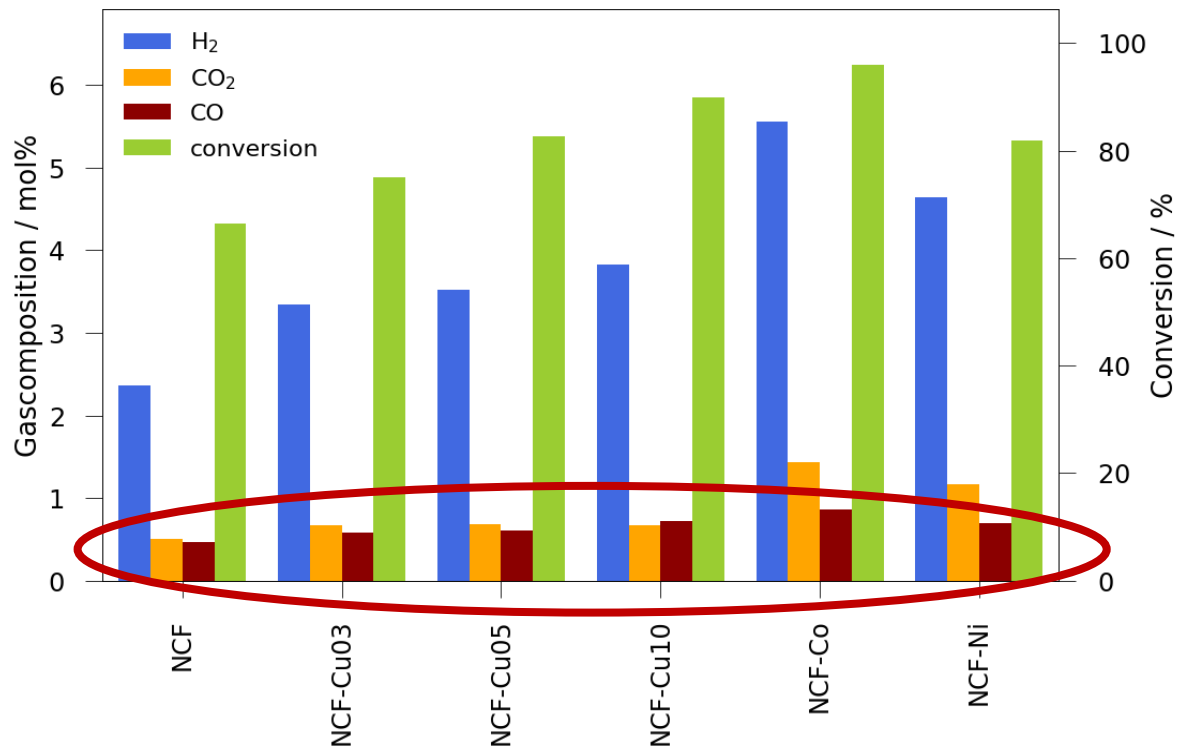




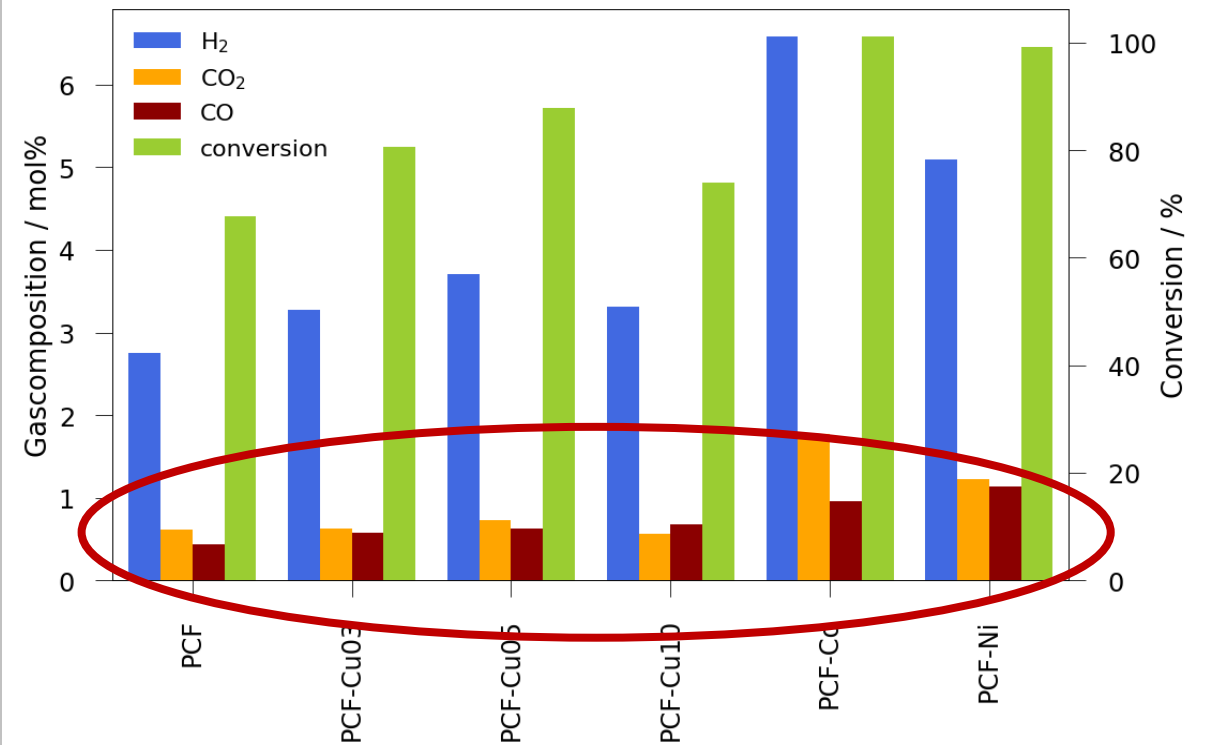
# Katalytische Aktivität

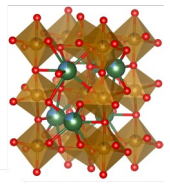


**Comparison NCF-based Catalysts at 500°C**



**Comparison PCF-based Catalysts at 500°C**





# Katalytische Aktivität



## ✓ katalytische Aktivität

Hohe katalytische Aktivität für alle untersuchten Materialien

→ Besonders Cu-dotierte Materialien

## ✓ Selektivität

Nachweis von 100 % Selektivität unter 360°C für Cu-dotierte Materialien



**Cu-dotierte Perowskitoxide vielversprechende Katalysatoren für Methanoldampfreformierung!**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## Ich freue mich auf Ihre Fragen

Martin Etter  
Henrik Jeppesen



Klaudia Hradil  
Werner Artner



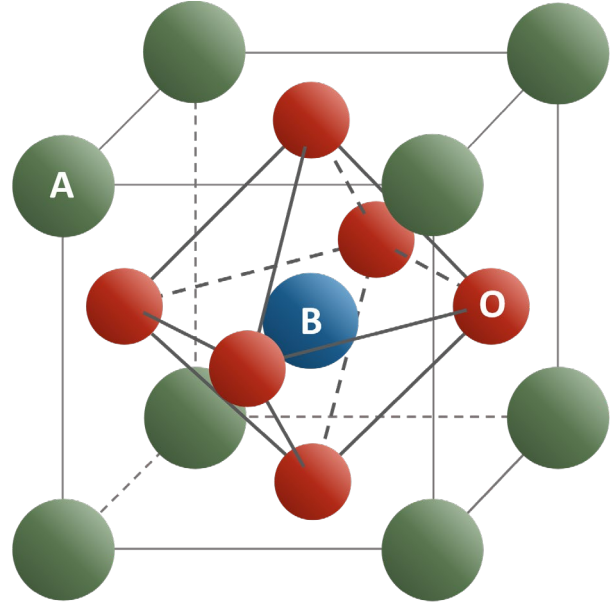
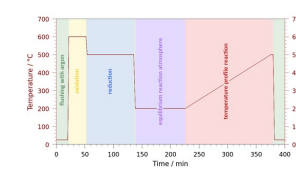
Starting  
Grant



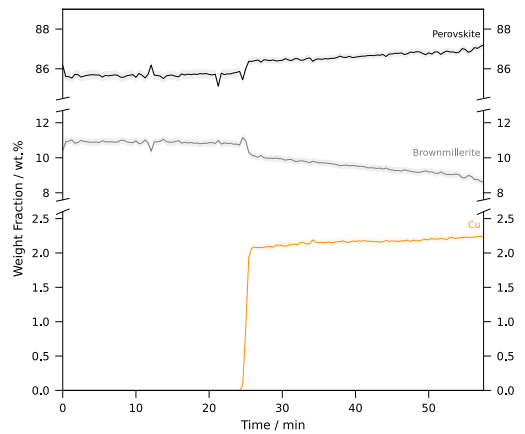




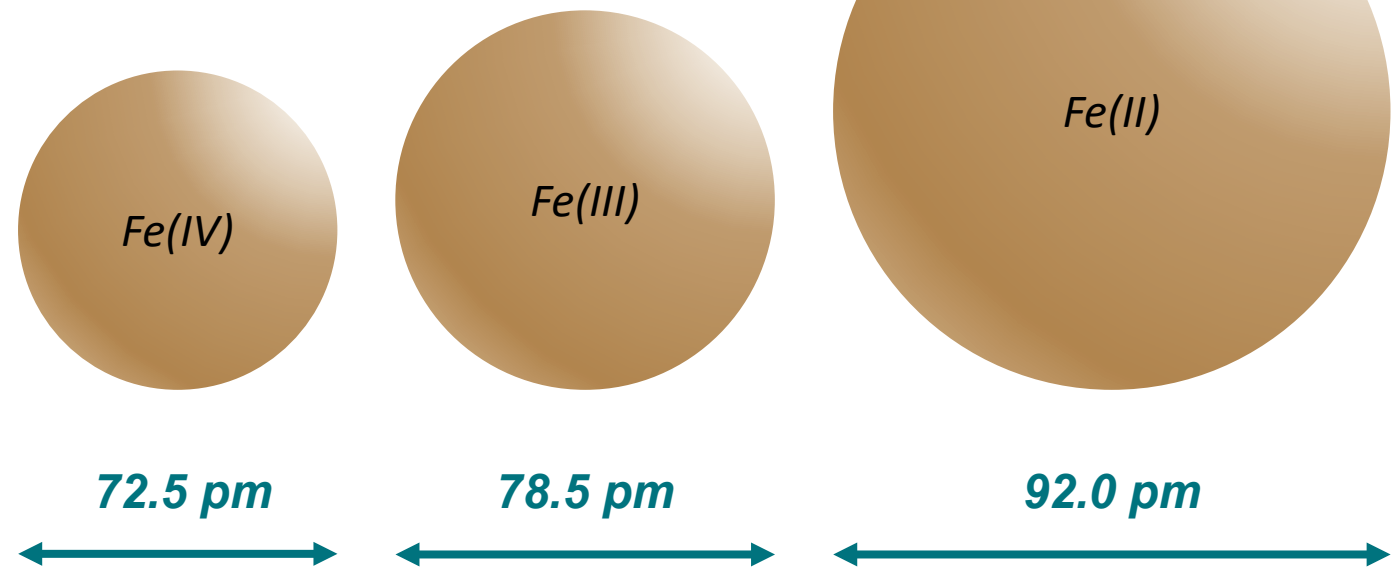
# In-situ XRD Analysis - Reduction



NCF-Cu10 - Evolution of Phases



Ionic radii of Fe in different oxidation states:



Reductive Treatment ( $H_2 / H_2O$ )

# Calibration

