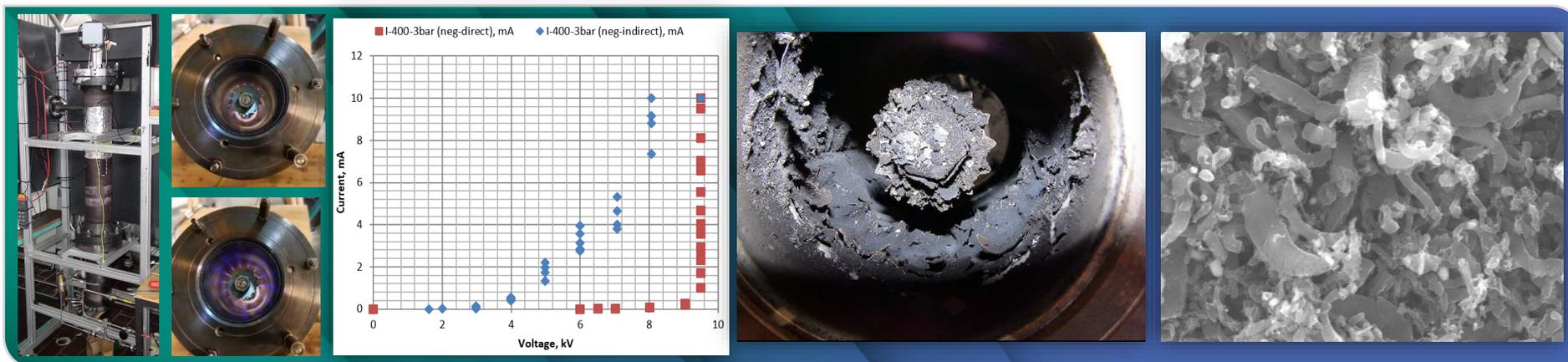
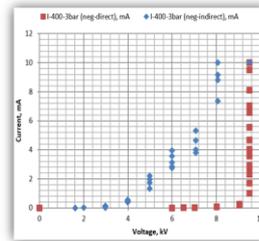


# Elektrohydrodynamische Phänomene im Synthesegas bei hoher Temperatur und hohem Druck

A. Bologna, H.-J. Gehrman, K. Woletz, D. Stapf

Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technische Chemie, 76344, Eggenstein-Leopoldshafen





## Einführung

- Niedertemperatur-plasma
- Ziel der Arbeit

## Prüfstand

- HDHT-Reaktor
- Elektrodensystem
- Gleichstrom-Koronaentladung

## Eigenschaften der Koronaentladung

- Gasdruck
- Gastemperatur
- Hysterese-Phänomene

## Betriebs-stabilität

- Mit und ohne Koronaentladung
- Laden des Elektrodensystems
- Edelstahl-elektrode
- Armco Fe Elektrode
- Kohlenstoffbilanz

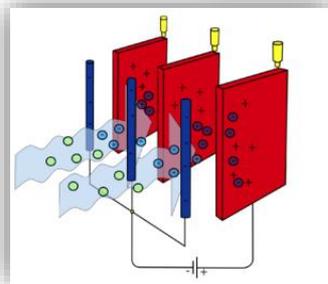
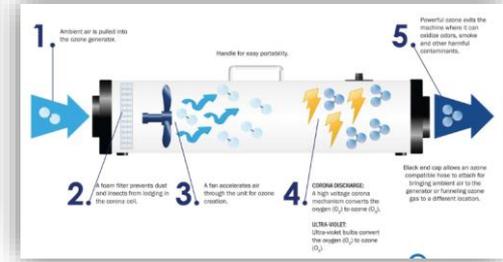
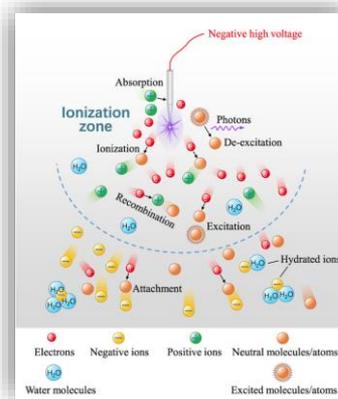
## Schlussfolgerungen

- Koronaentladung
- Gaseigenschaften
- Elektrodenmaterial

# Niedertemperaturplasma



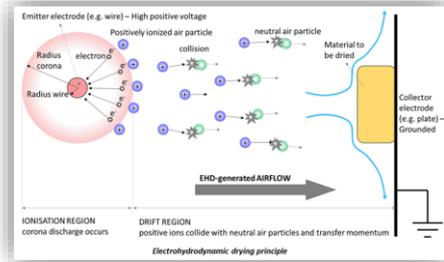
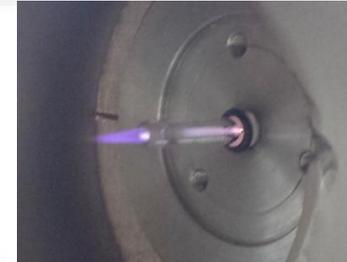
Elektrostatische Beschichtung, Sprüh, Agglomeration, Koagulation, Kondensation



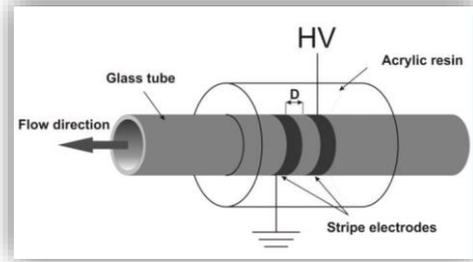
Elektrostatische Abscheidung, Trennung

Koronaentladung

Gasreinigung, Ozon, Synthesegas, Niedertemperaturplasma



EHD-Phänomene, elektrischer Wind, Trocknung, Pumpen, Wärmetauscher



<https://ozonesolutions.com/blog/how-an-ozone-generator-works/>  
[https://www.researchgate.net/figure/Sketch-of-the-EHD-pump-D-electrode-spacing-1-mm-3-mm-or-5-mm\\_fig3\\_252062932](https://www.researchgate.net/figure/Sketch-of-the-EHD-pump-D-electrode-spacing-1-mm-3-mm-or-5-mm_fig3_252062932)  
[https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrostatic\\_p\\_recipitator](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrostatic_p_recipitator)  
<https://www.empa.ch/de/web/det/ehd-drying>  
<https://www.tehnostatic-link.ro/en/electrostatic-painting/>  
[https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-corona-discharge-process\\_fig1\\_356626129](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-corona-discharge-process_fig1_356626129)



Hochdruck- und Temperatur-Synthesegas (HDHT)



Effektive elektrostatische Reinigung von Synthesegas (CO+H<sub>2</sub>-Gemisch) für Hochdruck- und Hochtemperaturbedingungen



- Untersuchung der Koronaentladung in HDHT-Synthesegas
- EHD-Phänomene, Partikelerzeugung und Abscheidung
- Langzeitbetriebsstabilität

# HDHT-Reaktor

- Hochspannung →
- Gasausgang ←
- DC-Korona Ionisator →
- HDHT-Reaktor →
- Erdung →
- Gaseingang →



Reaktorparameter	Wert
Höhe, mm	1180
Innendurchmesser, mm	125
Außendurchmesser, mm	150
Volumen, l	16
Druck, bar	< 25
Masse, kg	145



Ionisator mit Heizelement und Schutz-Ni-Band



DC-Korona-Ionisator

# Elektrodensystem



## HV-Elektroden

Original



Nach experimentelle Kampagnen



Negative Koronaentladung



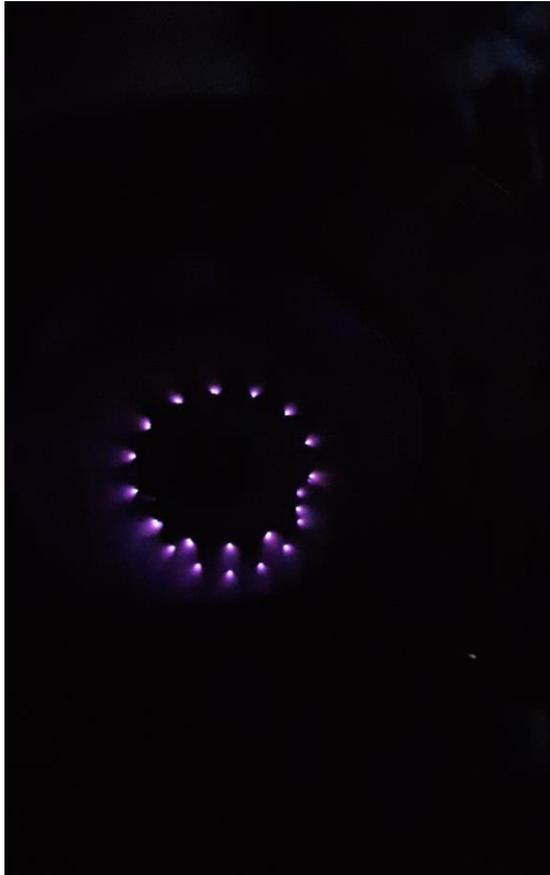
Funkenüberschlag

## Parameter des Ionisators

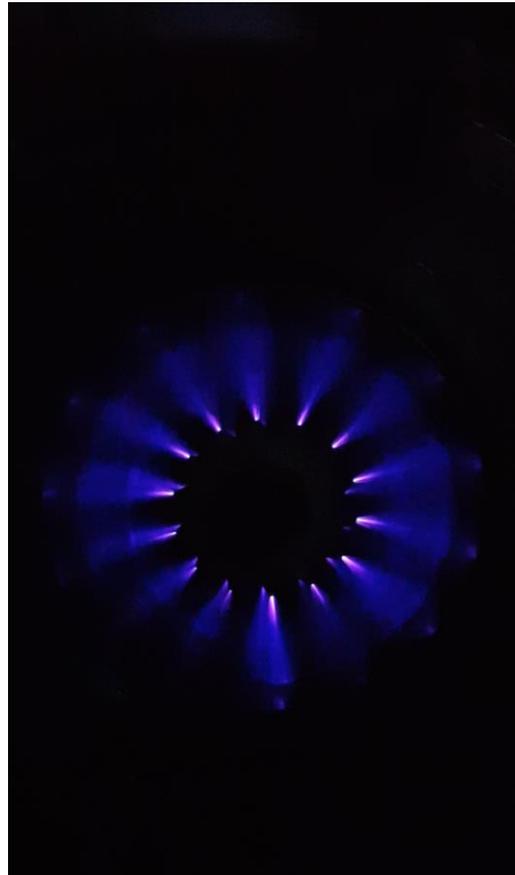
Parameter	Wert
Masse des Ionisators, kg	ca.1,9
Masse der Ionisatorplatte, kg	ca.19
Heiztemperatur, °C	< 800
Max. Betriebsspannung, kV	20 und 30
Max. Betriebsstrom, mA	10 und 5
Leistung der HV-Einheit, W	200 und 150
Corona-Polarität	Negative und positive

# Gleichstrom-Koronaentladung

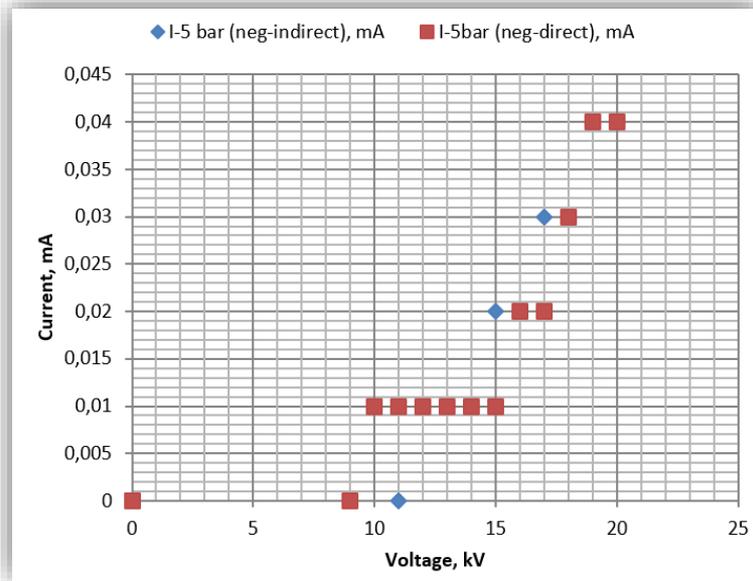
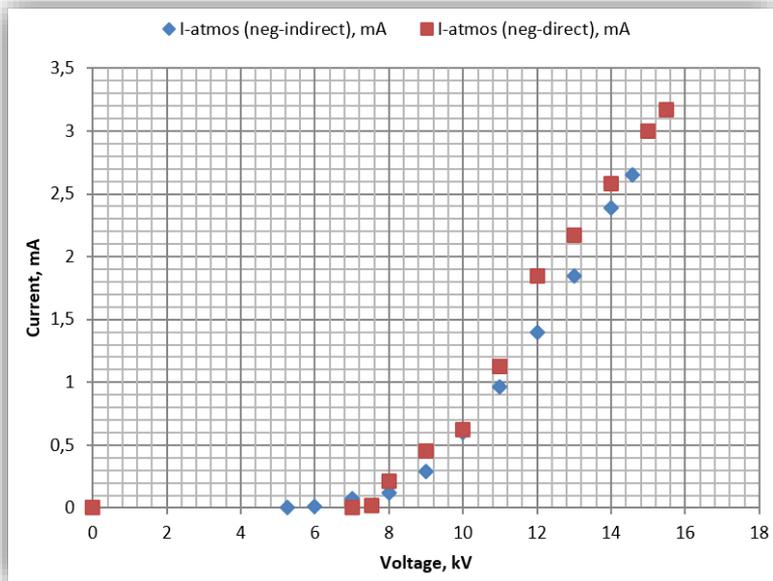
Gleichstrom  
negativ  
Koronaentladung



Gleichstrom  
positiv  
Koronaentladung



# Synthesegas: RT-Bedingungen



Synthesegas  
CO 60% H<sub>2</sub> 40%

Bei konstanter Temperatur und steigendem Druck:

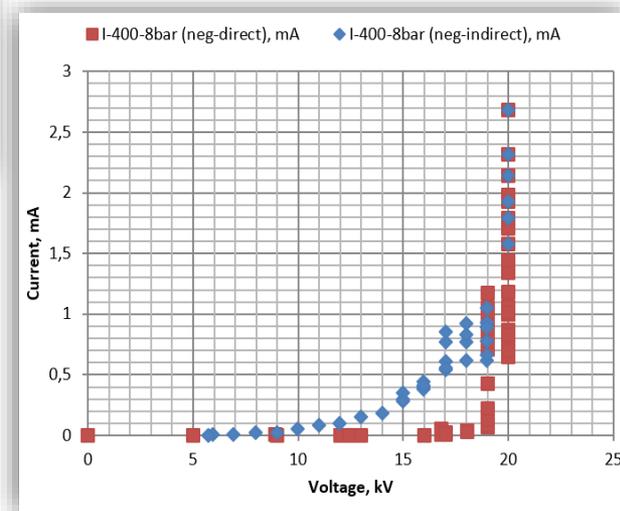
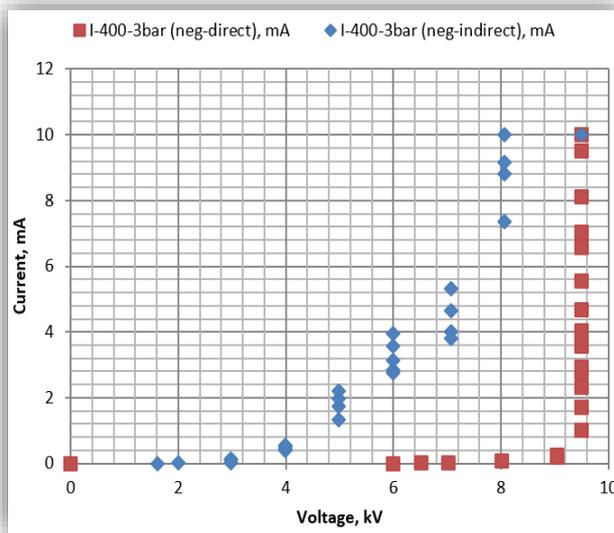
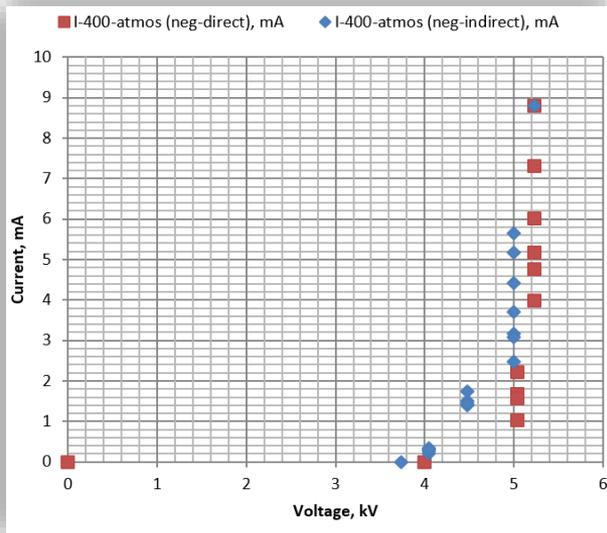
- Die Einschaltspannung der Koronaentladung steigt
- Die Funkenspannung steigt
- Bei U=const, nimmt der Koronastrom ab

$$I = AU(U - U_0) \quad P = A \cdot U^2 \cdot (U - U_0)$$

$$E_0 = A\delta + B\sqrt{\delta / r_{se}} \quad \delta = \frac{pT_0}{p_0T} \quad U_0 = E_0 \cdot r_{se} \cdot \ln \frac{r_{ne}}{r_{se}}$$

# Synthesegas : T=400°C

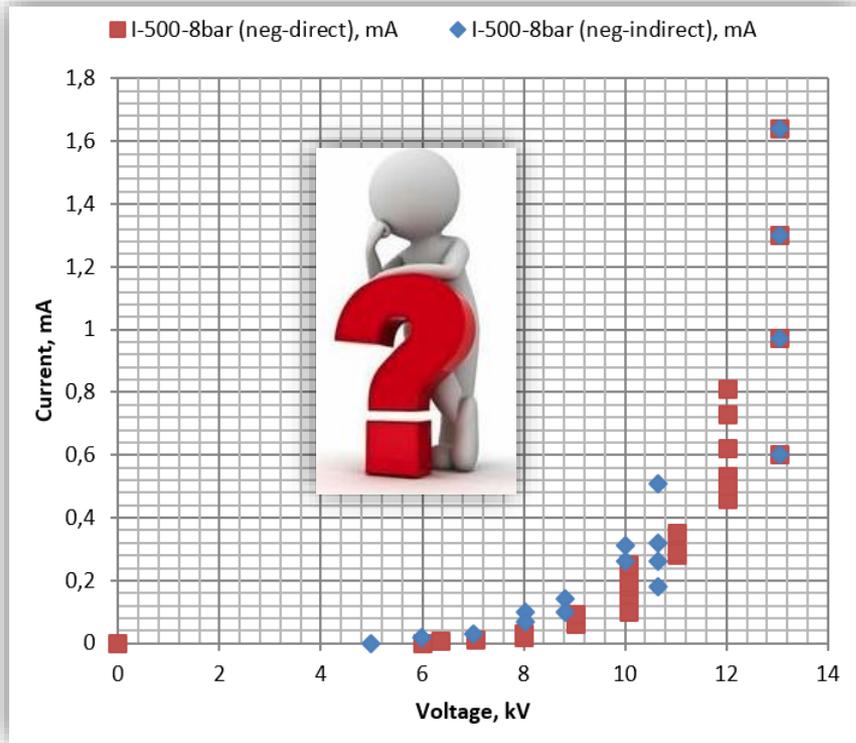
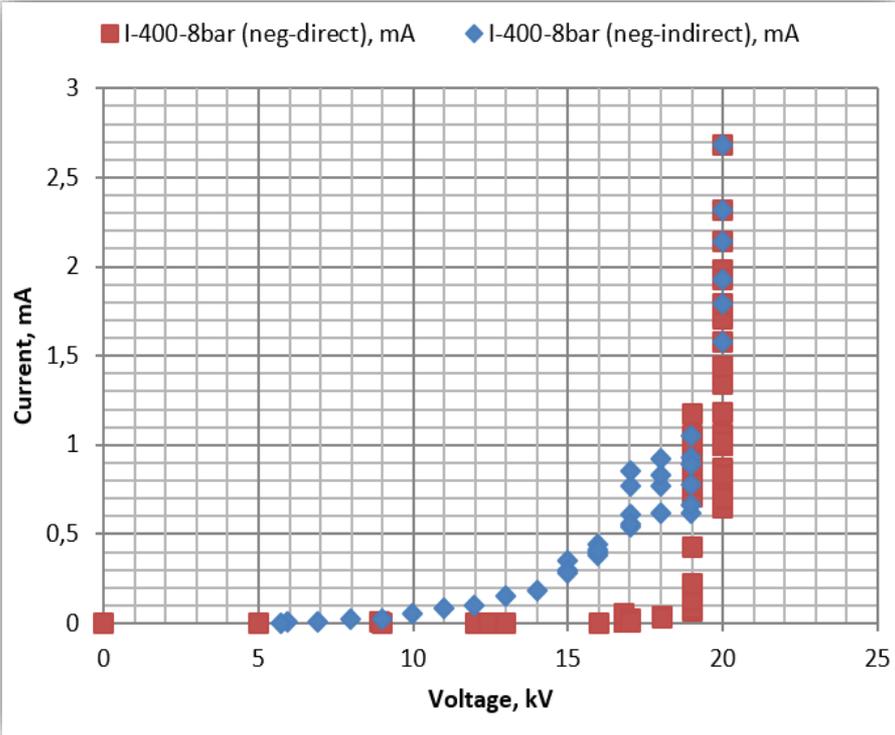
Synthesegas  
CO 60% H<sub>2</sub> 40%



Bei konstantem Druck und steigender Gastemperatur:

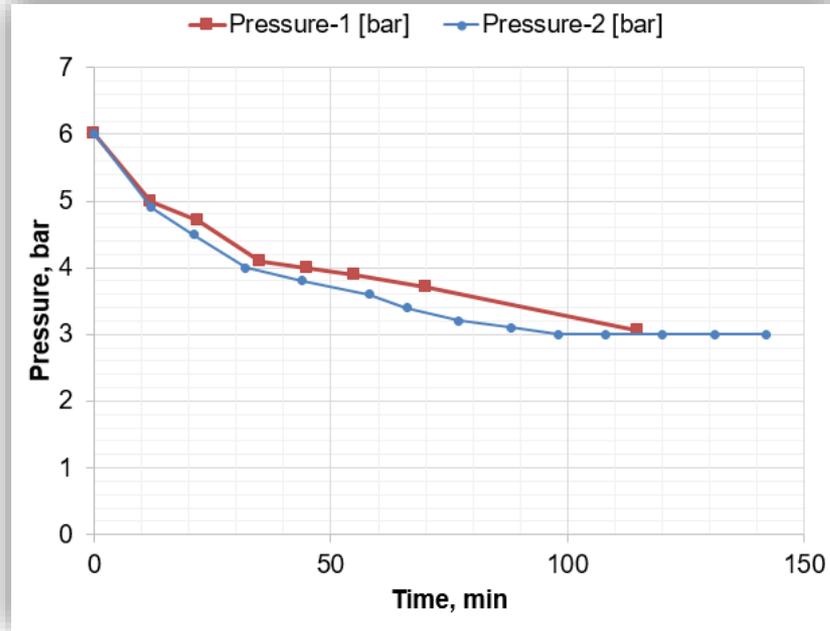
- Die Einschaltspannung der Koronaentladung nimmt ab
- Die Funkenspannung nimmt ab
- Es treten CVC-Hysteresephänomene auf
- Die Hystereseffläche nimmt mit steigendem Gasdruck ab

# Synthesegas: Hystrese



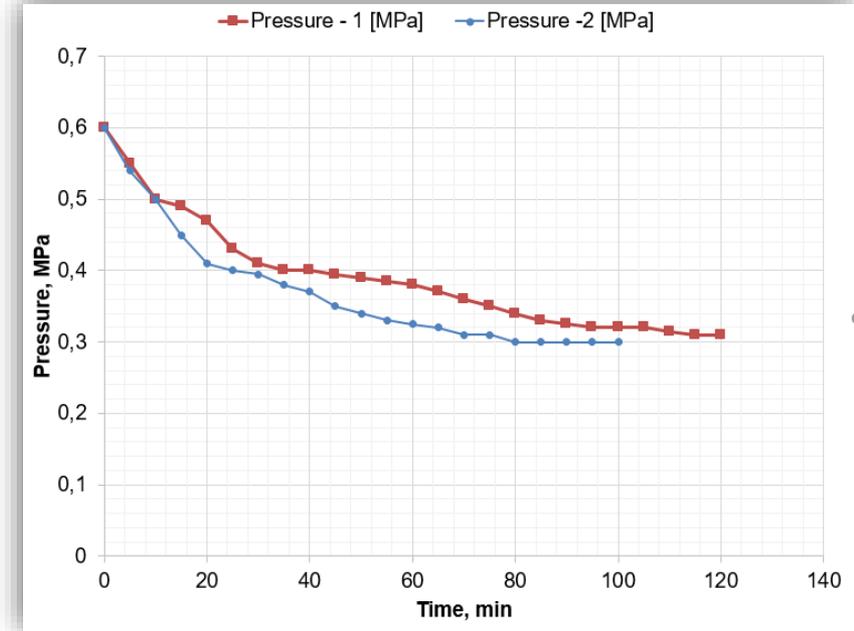
# Stabilität: Druckverlust (T=400°C)

1.Tag



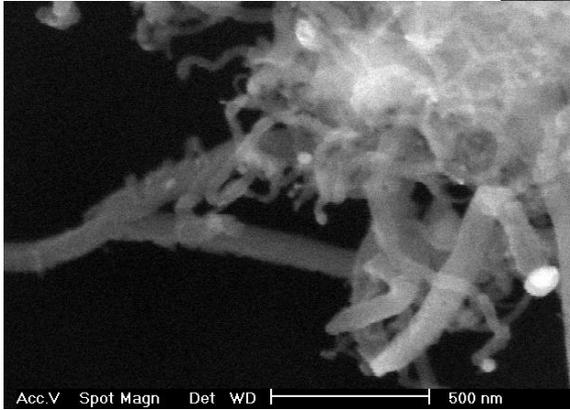
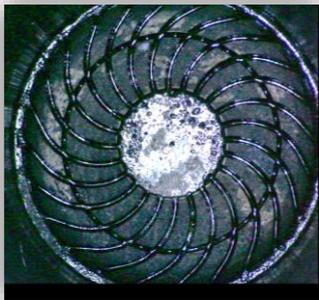
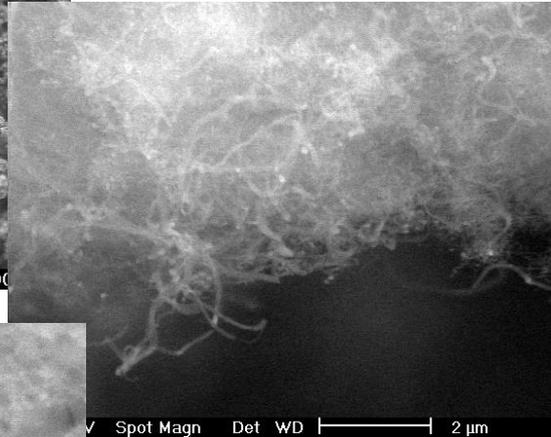
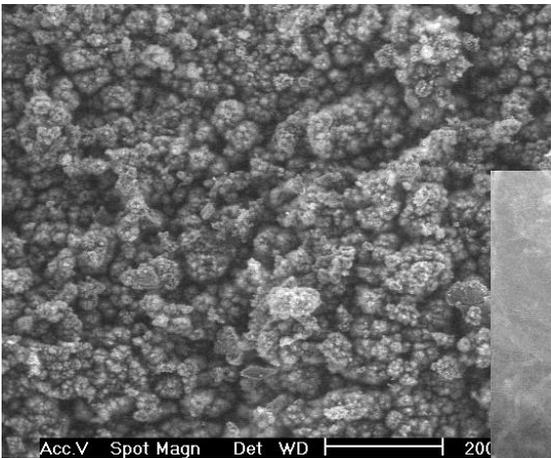
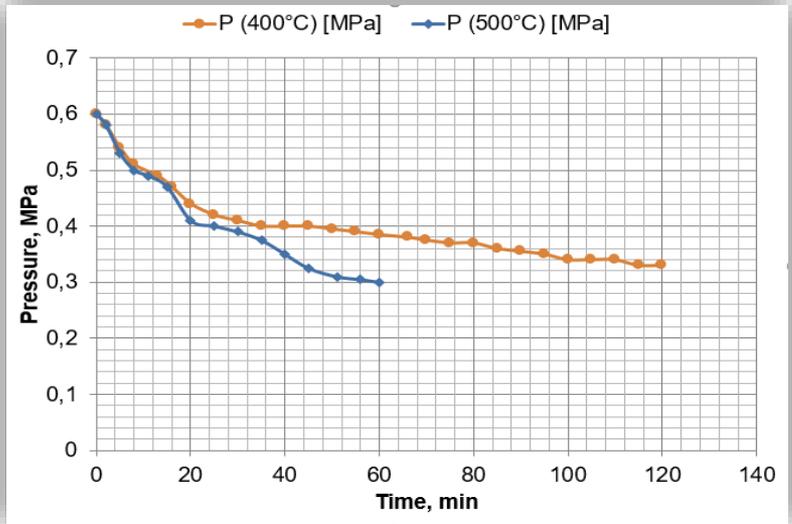
Ohne Koronaentladung

2.Tag



Druck 1 – ohne Koronaentladung  
Druck 2 – mit Koronaentladung

# Stabilität: Edelstahlelektroden

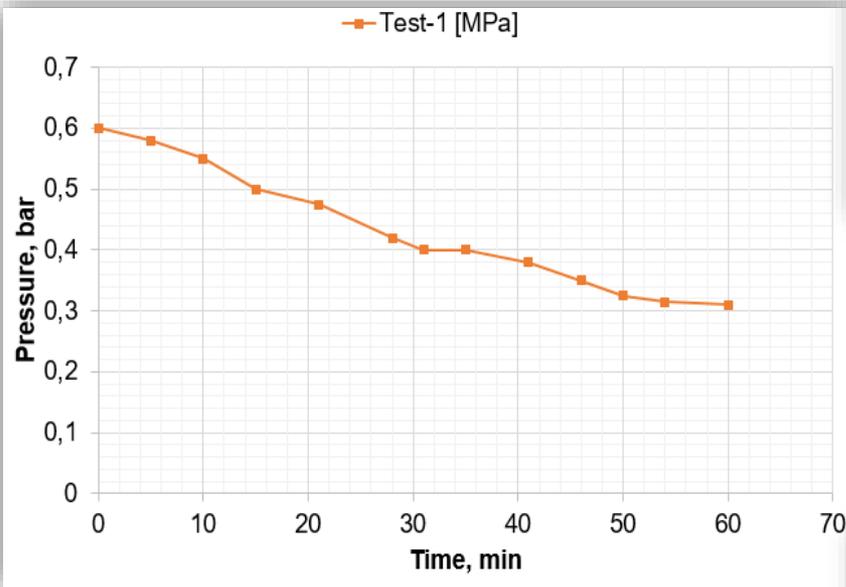


Wasser am Gehäuseboden

Laden des Elektrodensystems

Ausgefallenes Material

# Stabilität: Armco-Fe geerdete Elektrode



Geerdete Ionisatorelektrode  
von Armco-Fe,  $T=500^{\circ}\text{C}$



Oberteil  
des  
Ionisators



Ionisator-  
Mittelteil



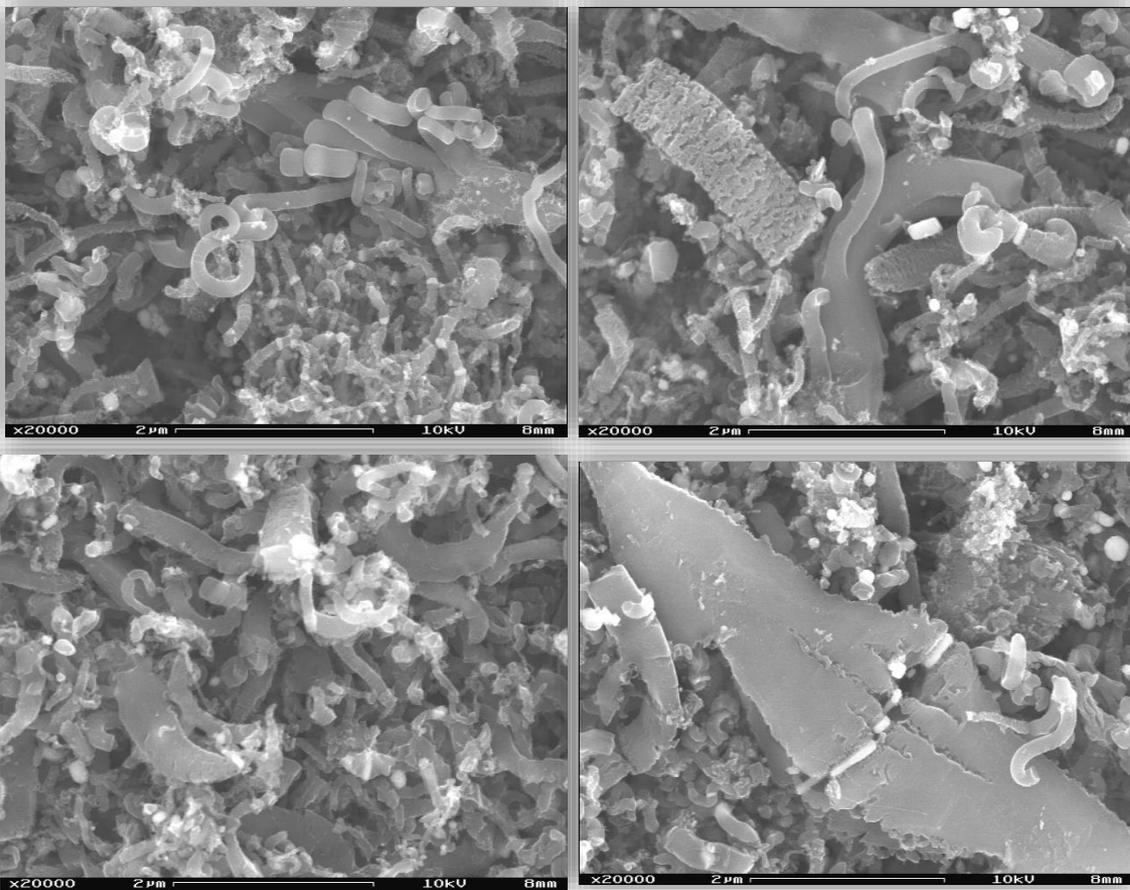
Außenteil des  
Ionisators



Unterteil  
des  
Ionisators

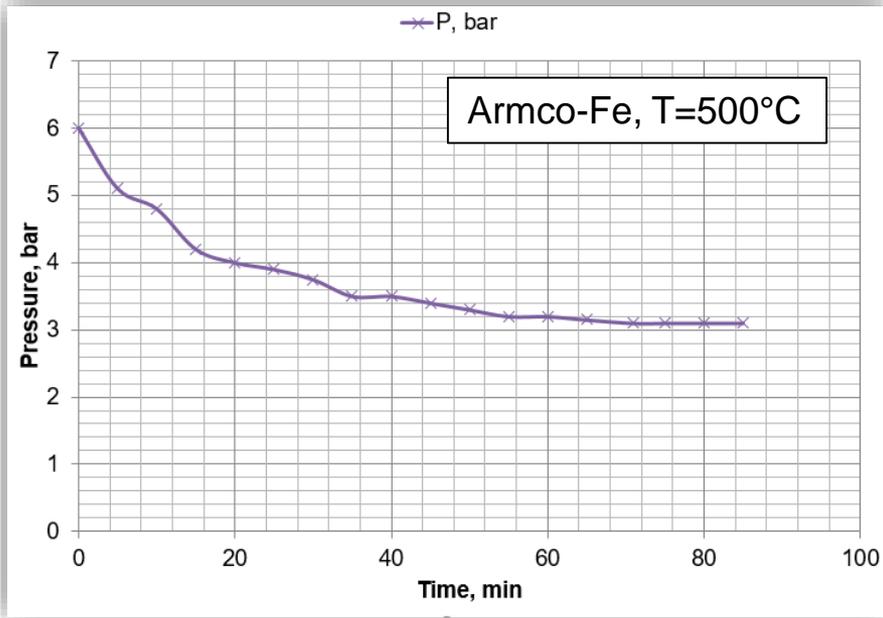


# Ausgefälltes Material: Armco-Fe Elektrode



Spektrum	In Statistik	C	O	Fe	Summe
P1	Ja	70.11	10.65	19.24	100.00
P2	Ja	61.56	3.19	35.26	100.00
P3BKG	Ja	91.23	5.73	3.04	100.00
Durchschnitt		74.30	6.52	19.18	100.00
Standardabweichung		15.27	3.80	16.11	
Max.		91.23	10.65	35.26	
Min.		61.56	3.19	3.04	

# Kohlenstoffbilanz



Oberer Teil



Unterteil

Parameter	Wert
Anfangsdruck, bar	6
Enddruck, bar	3,1
Druckverlust, bar	2,9
HDHT-Reaktorvolumen, l	16
CO, vol. %	60
H <sub>2</sub> , vol. %	40
CO-Volumenverlust, l	27,84
CO-Molverlust, mol	1,243
Kohlenstoffmasse (berech.), g	14,91
Gesammeltes Material, g	15,4923
Gesammeltes „C“-Material, g	11,62 (Mittelwert 75%)
Gesammeltes „C“-Material, g	14,1 (Max.91%)
Kohlenstoffbilanz, %	78 (Mitt.) / 95% (Max.)

1

## Korona-entladung

- Spannung: Wert und Polarität
- Strom
- Energieverbrauch
- Elektrodengeometrie
- Laden des Elektrodensystems
- Partikelniederschlag
- Funkenüberschläge

2

## Gas-eigenschaften

- Druck
- Temperatur
- Komposition
- Elektrohydrodynamische Phänomene (el. Wind)
- Verbessertes Wärmeaustausch
- Hysterese-Phänomene
- Partikelerzeugung, Agglomeration, Wachstum

3

## Elektroden-material

- Rostfreier Stahl
- Armco-Fe
- Elektrodenoxidation
- Rolle von Fe bei der Partikelerzeugung
- Zersetzung der Koronaelektrode (thermische Fe-Emission)