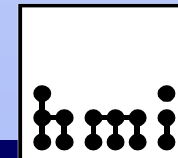


# **Ionen-Energie-Verteilungen beim reaktiven Magnetronspütern von W-, Cu- und In-Targets in Ar/H<sub>2</sub>S**

S. Seeger, K. Harbauer, K. Ellmer

Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH  
Abteilung Solare Energetik



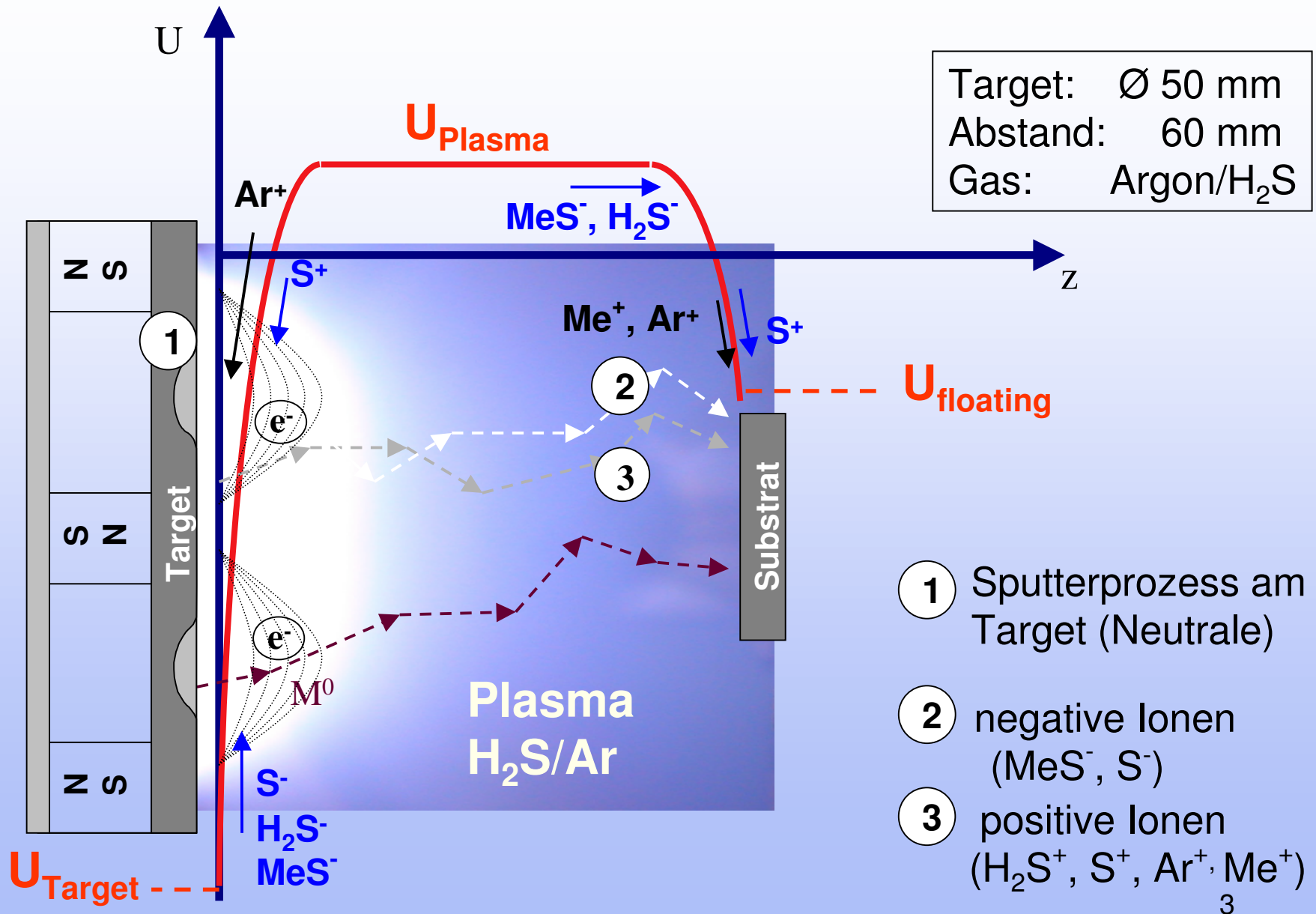
## Motivation:

- Reaktives Magnetronspütern: Herstellung von halbleitenden sulfidischen Schichten ( $WS_2$ ,  $CuInS_2$ )
- Anwendung: Absorberschichten in Dünnschicht-Solarzellen

## Gliederung:

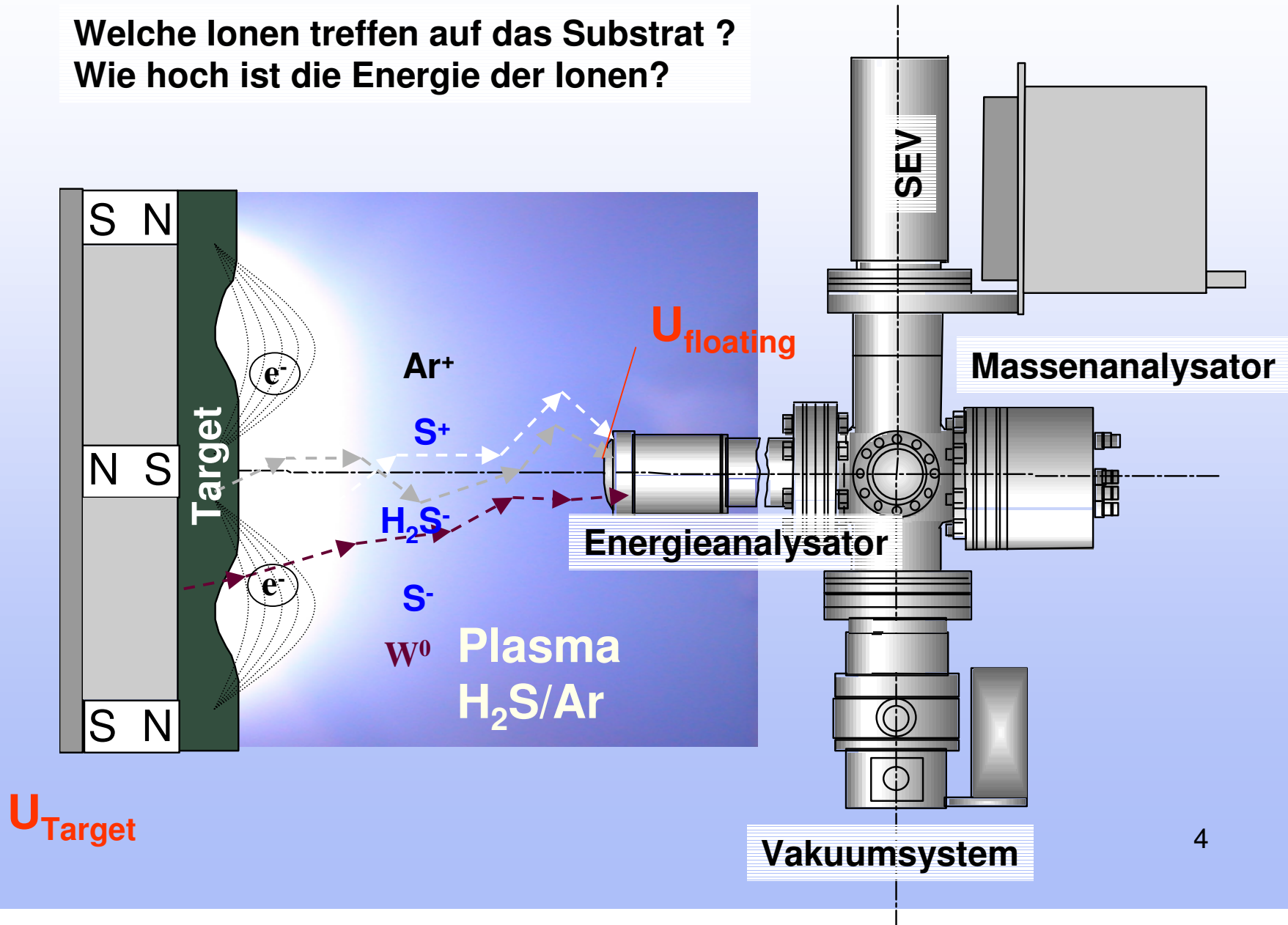
1. Potentialverteilungen beim reaktiven Magnetronspütern
2. Plasmaprozess-Monitor: Ionen-Energie-Verteilungen
3. Ergebnisse: Wolfram - Target (Variation von Druck/Leistung)  
Kupfer - Target (Variation des  $H_2S$ -Anteils)  
Indium - Target
4. Zusammenfassung

# 1. Potentialverteilungen beim reaktiven Magnetronsputtern

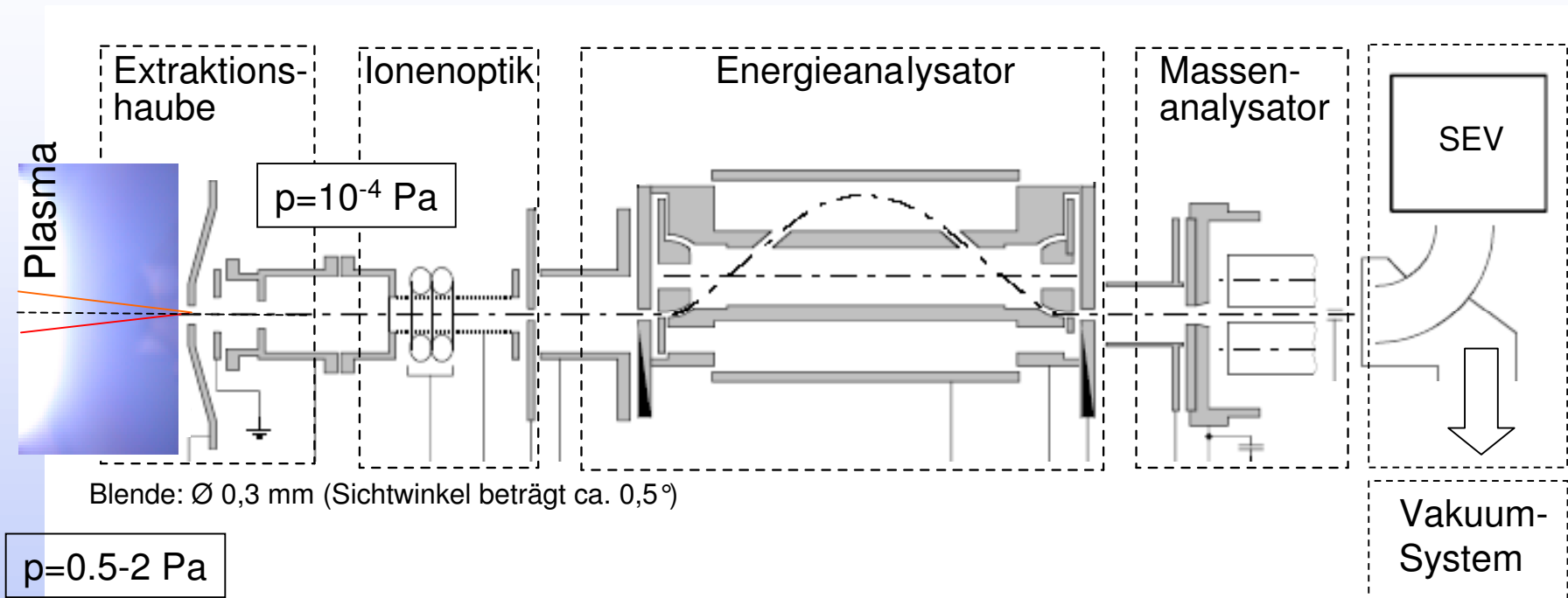


## 2. Plasmaprozess-Monitor PPM 422 (Balzers instruments)

Welche Ionen treffen auf das Substrat ?  
Wie hoch ist die Energie der Ionen?



# Aufbau des Plasmaprozess-Monitors PPM 422 (Balzers instruments)



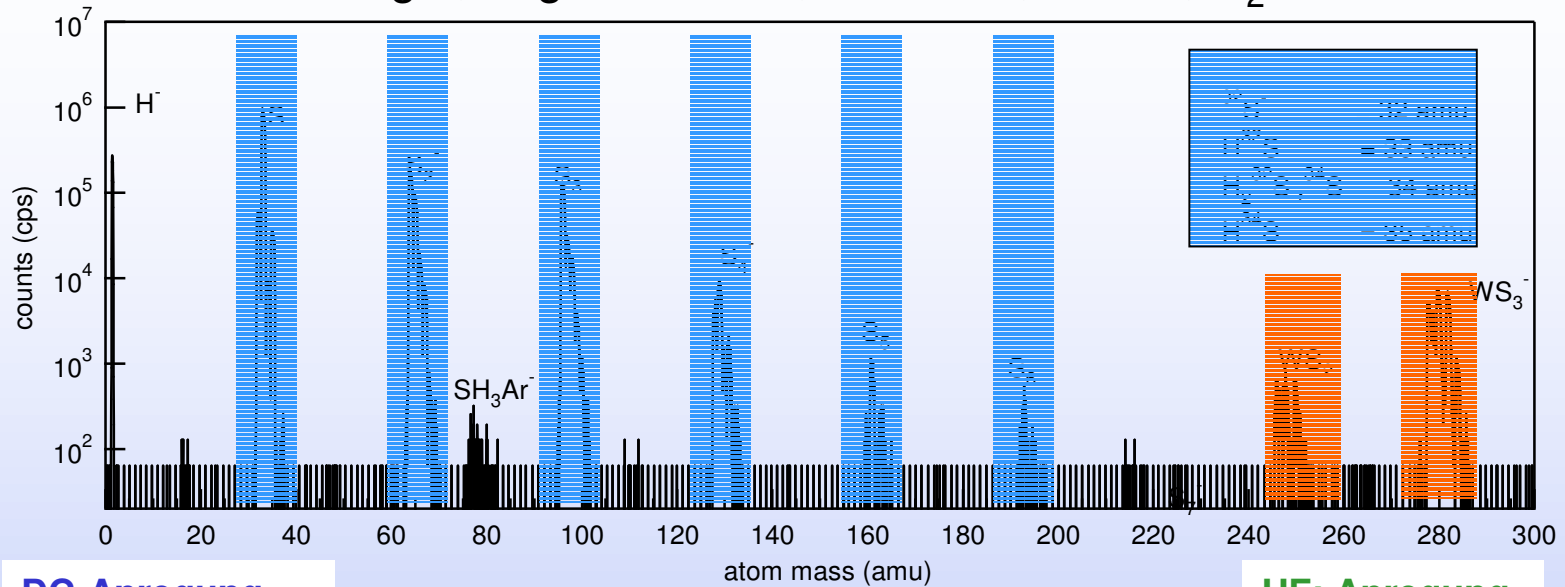
## Betriebsarten:

"Energy-Scans" für verschiedene Massen  
„Mass-Scans“ für feste Energie

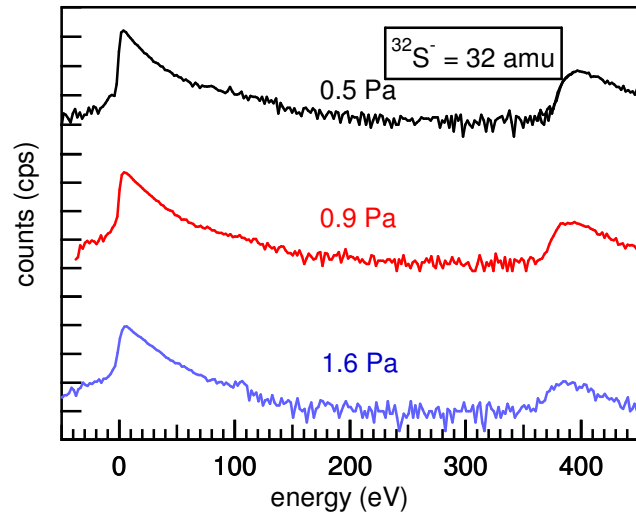
Neutrale  
positive Ionen  
negative Ionen

# 3. Ergebnisse: W-Target

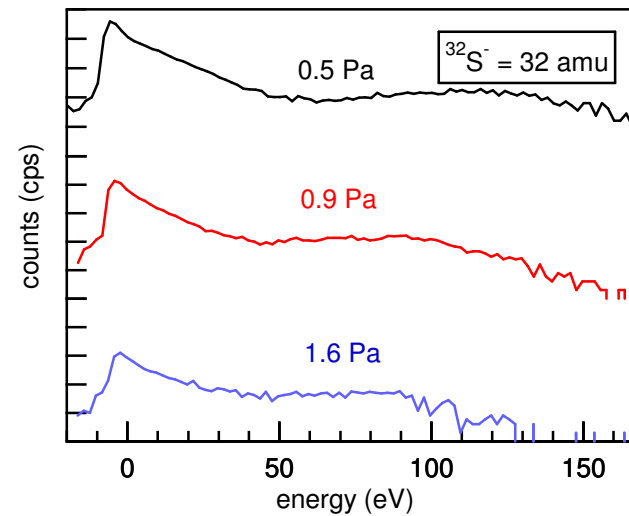
Wolfram-Target, negative Ionen, DC 25 W, 1.6 Pa, H<sub>2</sub>S/Ar 50%



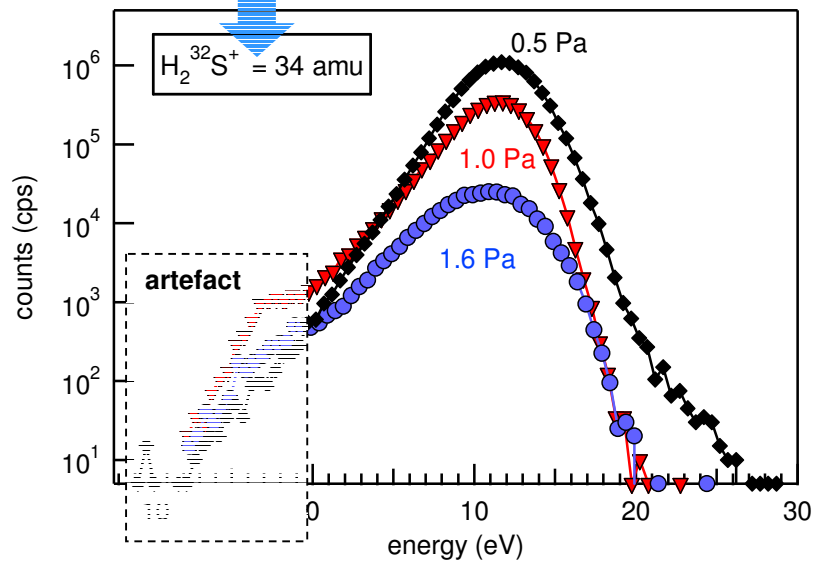
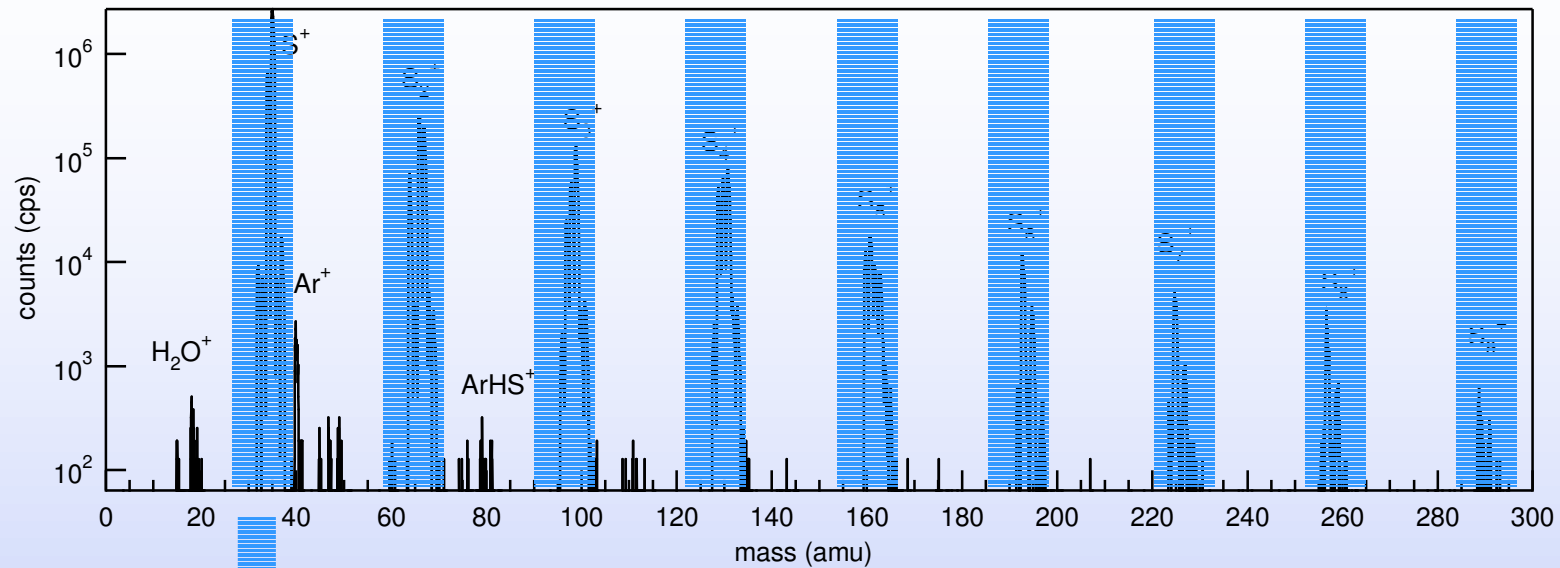
DC-Anregung



HF: Anregung



Wolfram-Target, positive Ionen, DC 25 W, 1.6 Pa, H<sub>2</sub>S/Ar 50%

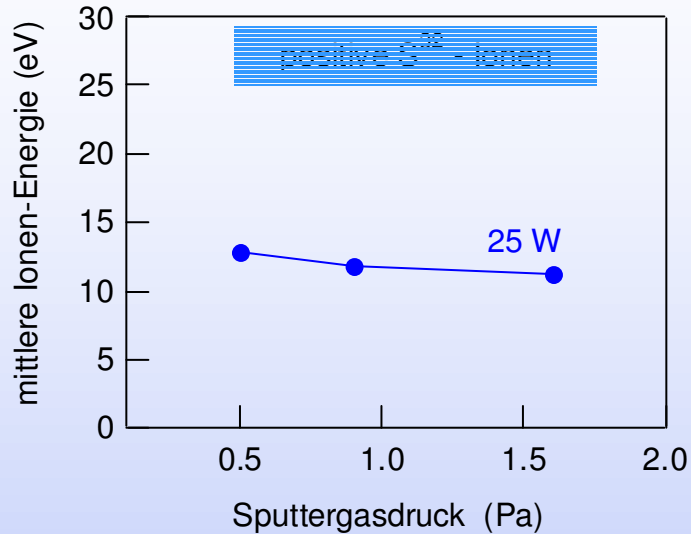


Ionen-Energie-Verteilungen

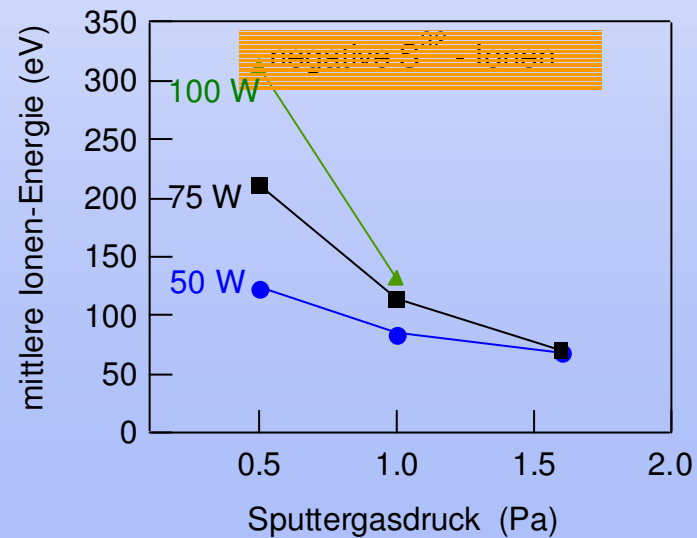
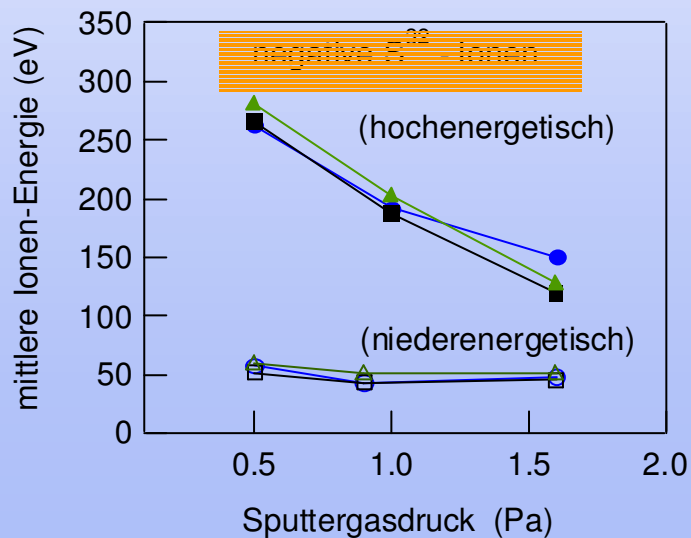
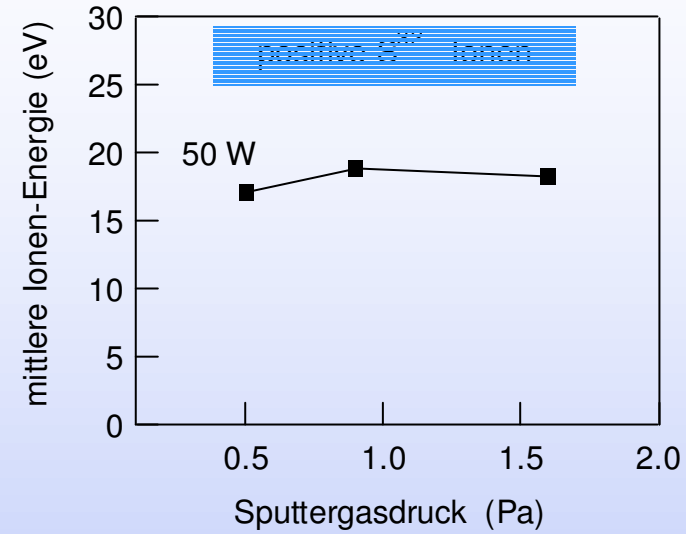
positive Schwefelionen aus dem Plasma

# W-Target: Vergleich der mittleren Ionen-Energie ( $^{32}\text{S}^+ / ^{32}\text{S}^-$ ) bei Variation des Sputtergasdruckes und der Leistung (DC- und HF-Anregung)

**DC-Anregung**  
 $U_{\text{DC}}=400 \text{ V}$

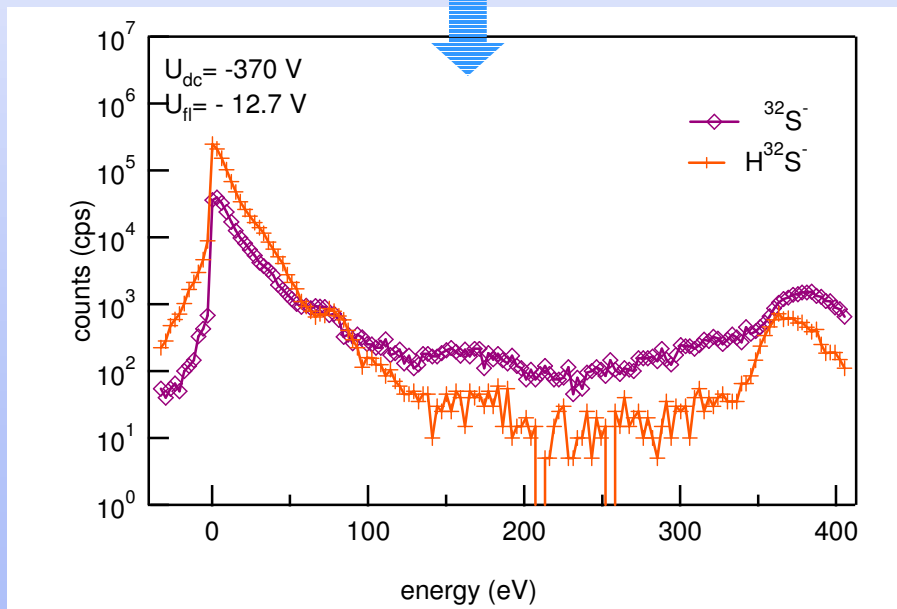
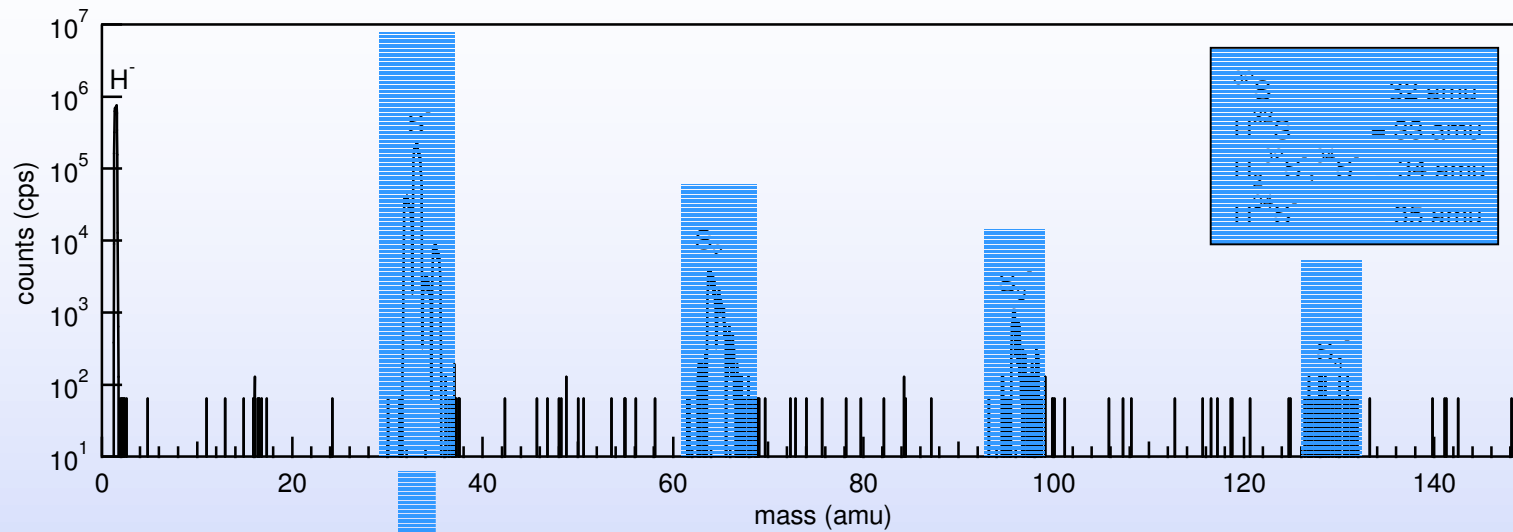


**HF-Anregung (27.12 MHz)**  
 $U_{\text{DC}}=70 \text{ V}$



# Ergebnisse: Cu-Target

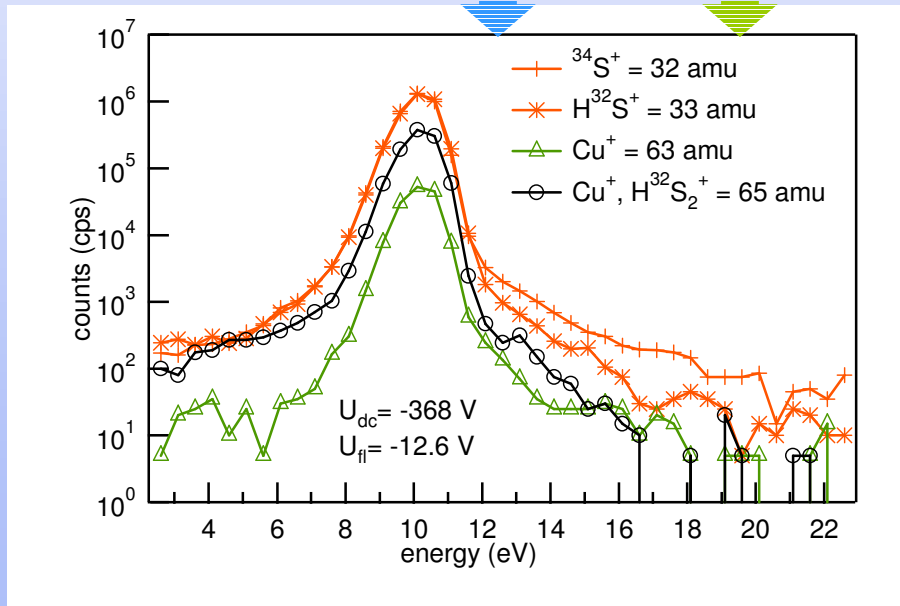
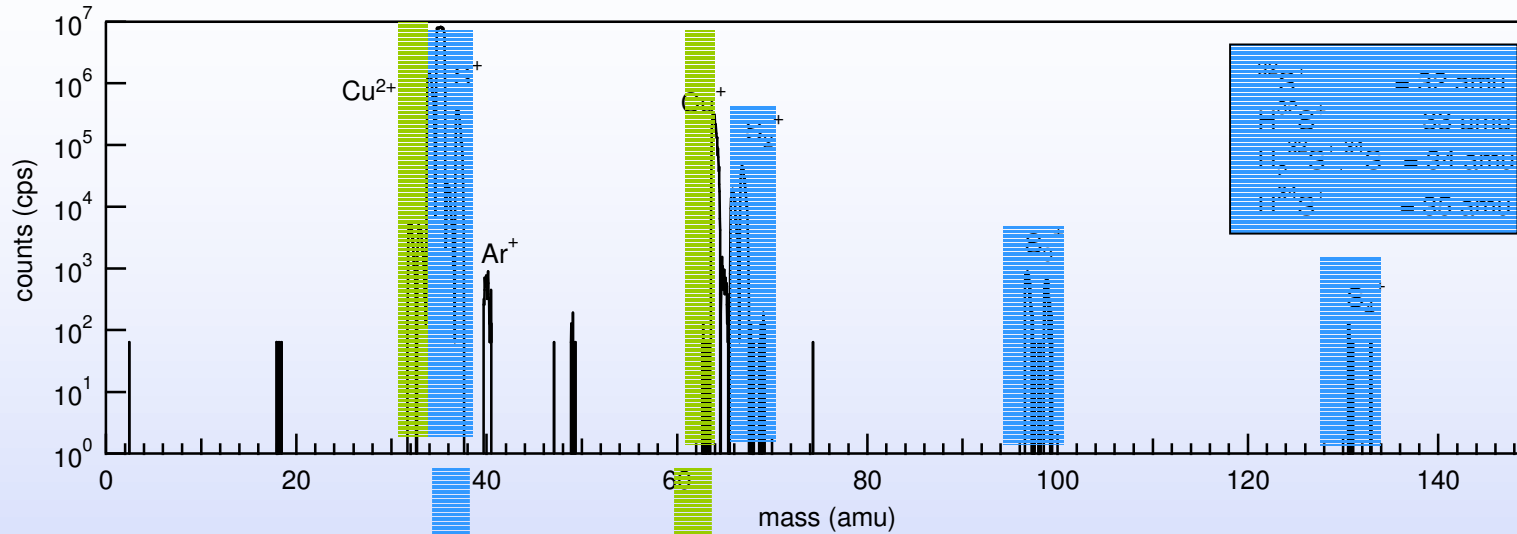
Kupfer-Target, negative Ionen, DC 15 W, 1Pa, H<sub>2</sub>S/Ar 50%



negative Schwefelionen aus  
dem Plasma und  
vom Target

niederenergetisch  
hochenergetisch ( $U_{DC} \approx 370 \text{ V}$ )

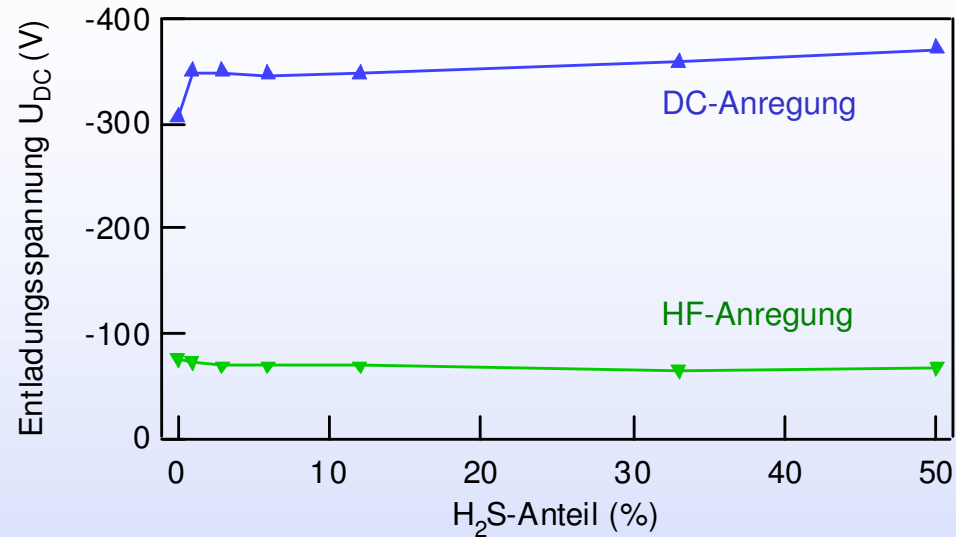
# Kupfer-Target, positive Ionen, DC 15 W, 1Pa, H<sub>2</sub>S/Ar 50%



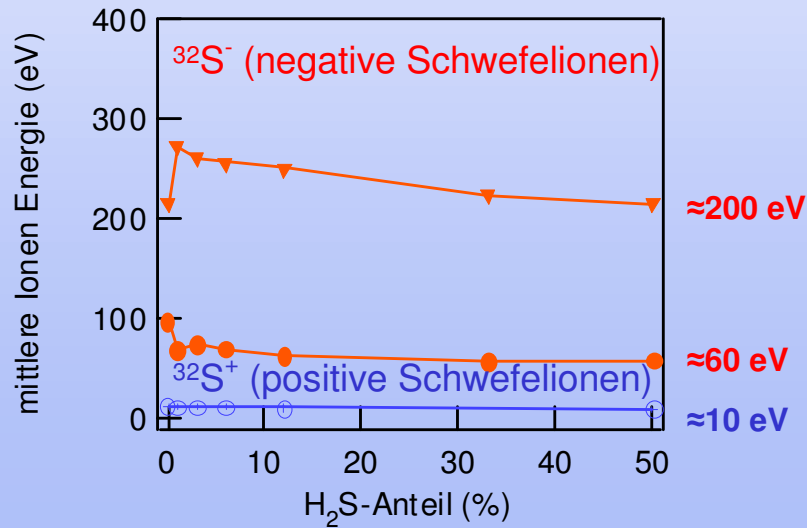
positive Schwefelionen aus dem Plasma

positive Kupferionen  
 ( $\text{Cu}^+ = 63,5 / 65 \text{ amu}$ )  
 ( $\text{Cu}^{2+} = 31,8 \text{ amu}$ )

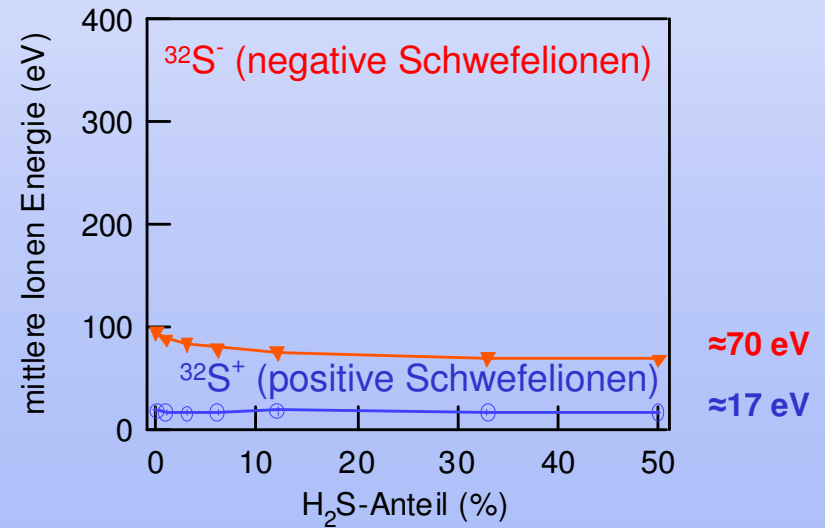
# Cu-Target: Vergleich der mittleren Ionen-Energie ( $^{32}\text{S}^+ / ^{32}\text{S}^-$ ) bei Variation des $\text{H}_2\text{S}$ -Anteils (DC-und HF-Anregung)



## 15 W DC-Anregung

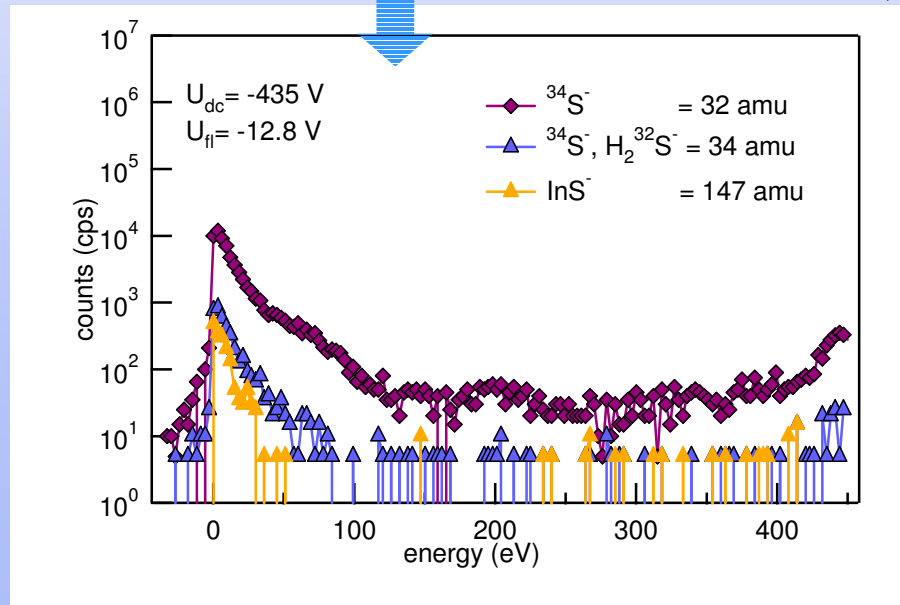
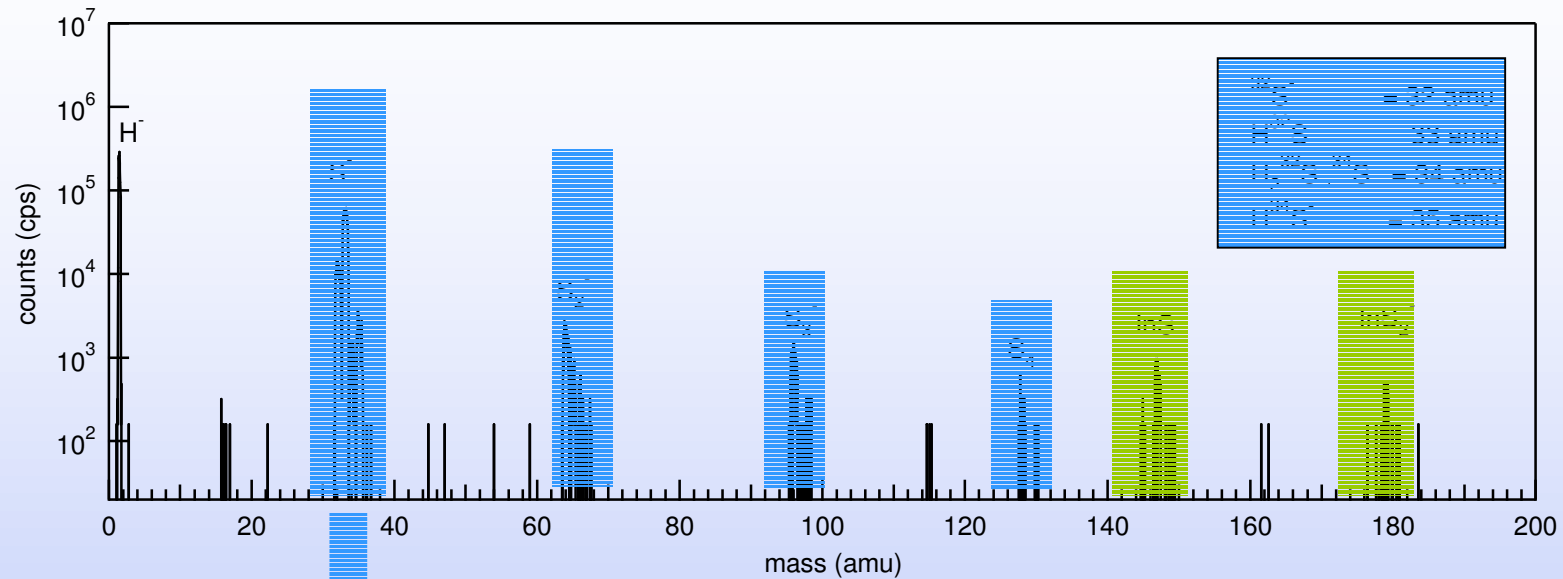


## 50W HF-Anregung (27.12 MHz)



# Ergebnisse: In-Target

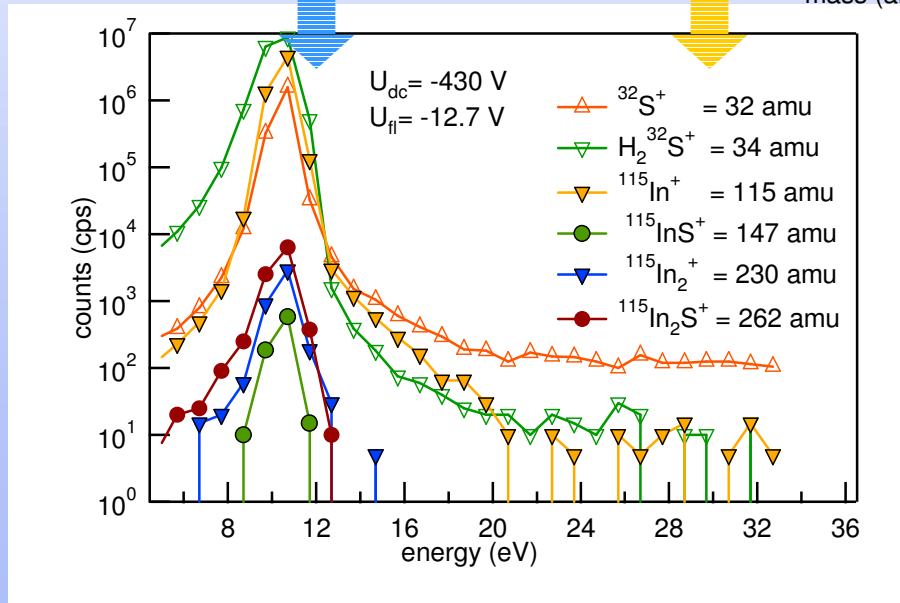
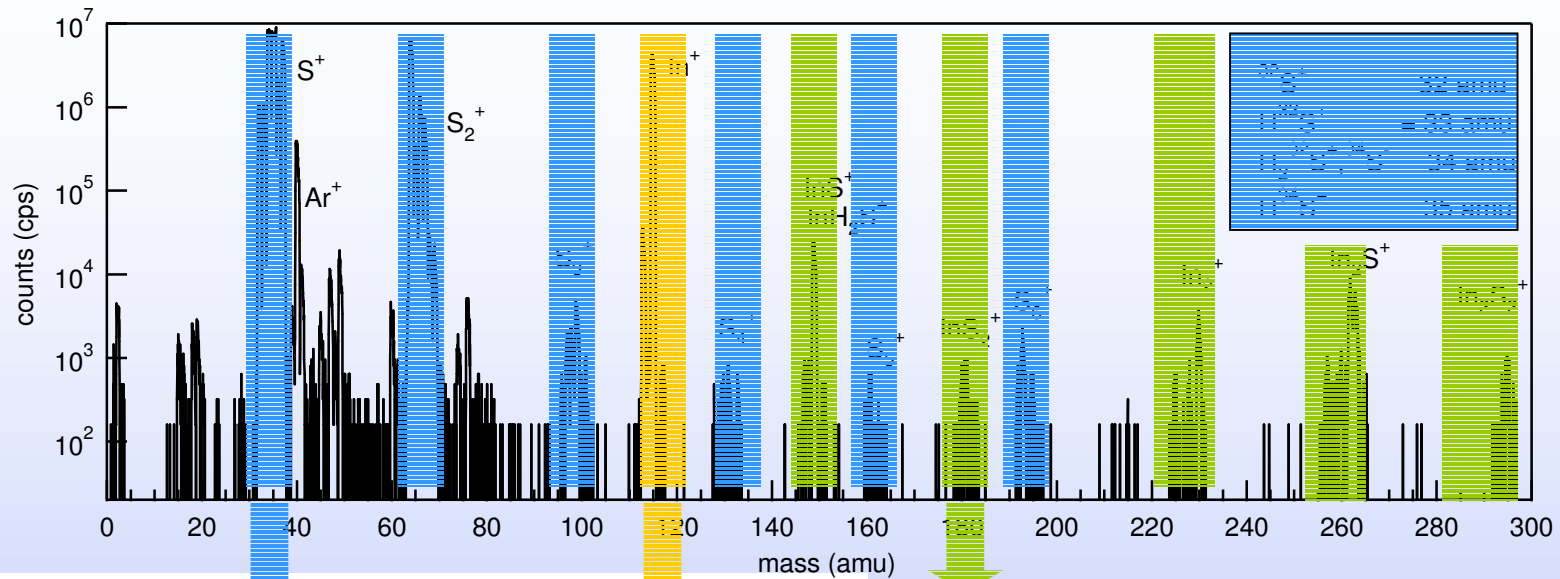
Indium-Target, negative Ionen, DC 15 W, 1 Pa, H<sub>2</sub>S/Ar 50%



negative Schwefelionen aus dem Plasma und vom Target

negative Indiumsulfidionen

# Indium-Target, positive Ionen, DC 15 W, 1Pa, H<sub>2</sub>S/Ar 50%

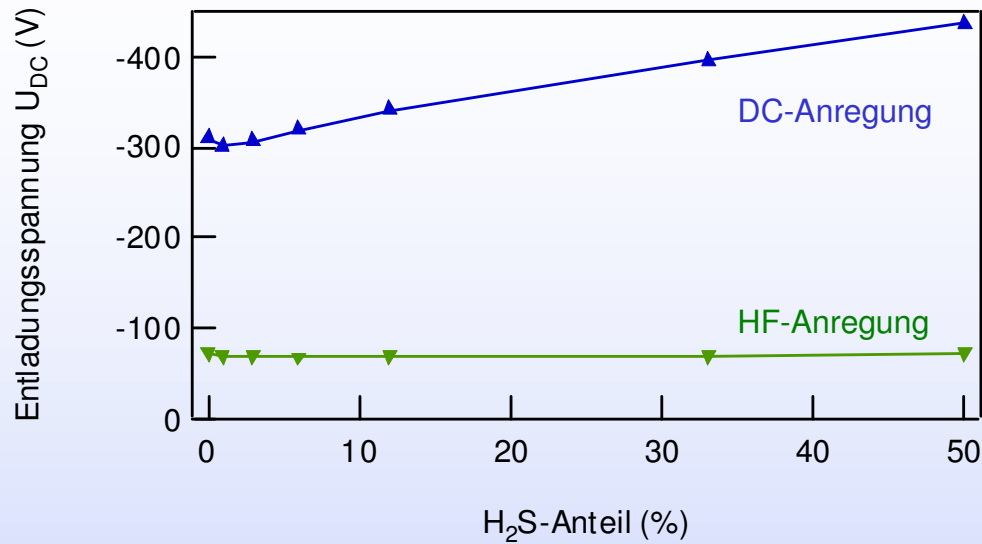


positive Schwefelionen aus dem Plasma

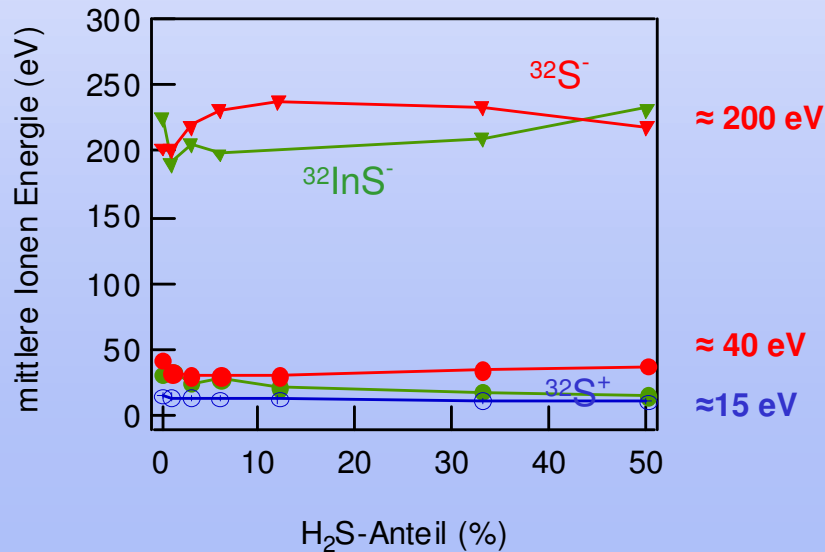
positive Indiumionen  
In<sup>+</sup>, In<sub>2</sub><sup>+</sup>

positive Indiumsulfidionen  
InS<sup>+</sup>, In<sub>2</sub>S<sup>+</sup>, In<sub>2</sub>S<sub>2</sub><sup>+</sup>

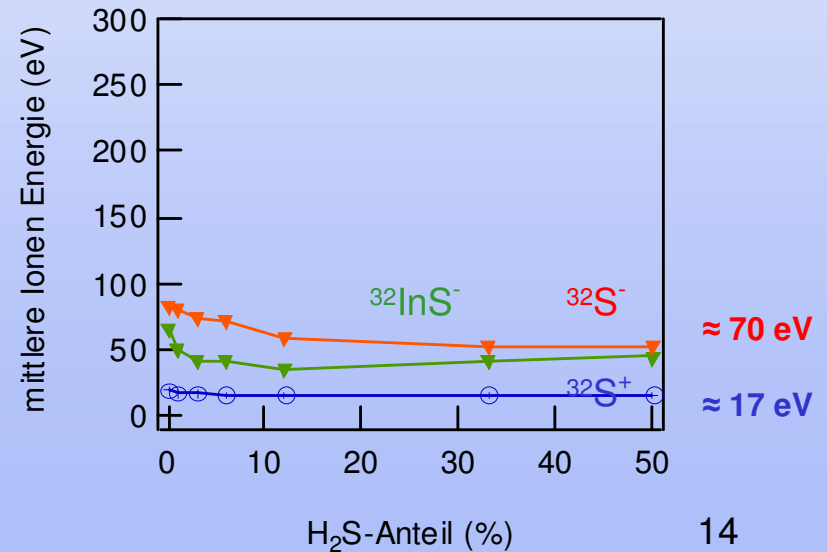
# In-Target: Vergleich der mittleren Ionen-Energie ( $^{32}\text{S}^+ / ^{32}\text{S}^-$ ) bei Variation des $\text{H}_2\text{S}$ -Anteils (DC- und HF-Anregung)



## 15 W DC-Anregung



## 50W HF-Anregung (27.12 MHz)



## 4. Zusammenfassung

Messungen der Ionen-Energie-Verteilungen für W-, Cu- und In-Targets beim reaktiven Magnetronspütern in  $\text{H}_2\text{S}/\text{Ar}$ :

- positive und negative Schwefel-Ionen ( $\text{S}_x$ ,  $\text{HS}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}_x$  mit  $x=1-9$ )
- **DC-Anregung**: nieder- und hochenergetische negative Ionen
- **HF-Anregung**: mittlere Energie der negativen Ionen ist niedriger als bei DC-Anregung (Entladungsspannung  $U_{(\text{DC})} > U_{(\text{HF})}$ )
- mittlere Energie der positiven Ionen ist bei HF-Anregung höher als bei DC-Anregung (höhere Elektronen Temperatur)
- **Cu-Target**: keine positiven/negativen Kupfersulfid-Ionen ( $\text{CuS}$ )