



Spektralanalyse des Metall- Lichtbogenplasmas

im bmb+f-geförderten Verbundprojekt ChopArc
(FKZ 02P2481)

Eckhard Metzke,
Heinz Schöpp

Abschluss-
präsentation

TU Berlin
16.09.2004

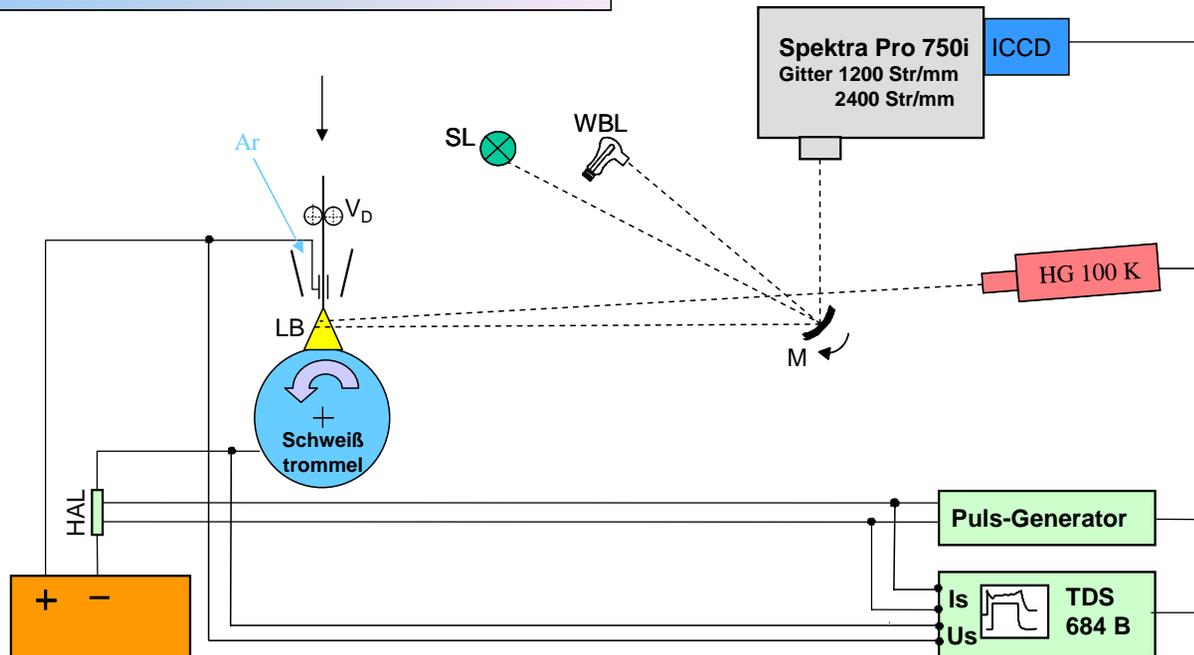
Plasmaphysikalische Untersuchungen am Impuls-Schweißlichtbogen mit der Zielstellung, Temperaturen und Metaldampfdichten im Lichtbogen orts- und zeitaufgelöst zu bestimmen bei gleichzeitiger Aufzeichnung des Lichtbogenbildes mittels Hochgeschwindigkeitsaufnahmen, um

- allgemein die während des Impuls-Schweißprozesses ablaufenden Vorgänge besser zu verstehen,
- die Verdampfung von Elektrodenmaterial im Verlauf des Stromimpulses aufzuzeigen,
- Daten zur Simulation des Schweißlichtbogens bzw. zur Verifikation von Modellrechnungen zu liefern.

- Spektroskopie an Plasmen aller Art
 - Erkenntnisgewinn über Zusammensetzung der Plasmen und Temperaturen in Plasmen
 - Bedeutung der Schutzgase für einzelne Prozesse
 - Einfluß von Fremdschichten auf die Lichtbogenstabilität
 - Informationsgewinn für neue Regelungstrategien
- IR-Thermografie an der Elektrode und am Werkstück
 - Rückschlüsse auf Energieeintrag (Grundlage für energiearmes Fügen)
 - Daten für die Simulation von Schweiß- und Richtprozessen und die Erstellung von Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagrammen
- Theoretische Beschreibung des Schweißlichtbogens
 - Erkenntnisgewinn
 - Verkürzung von Entwicklungszeiten

- Erprobte Diagnosetechnik, insbesondere
 - Emissionsspektroskopie
 - Hochgeschwindigkeitsaufnahmen mit spektralselektiven Filtern
 - potentialfreie elektrische Messtechnik
- Physikalisch basierte Auswertungsverfahren
- Theoretische Beschreibung des Plasmas

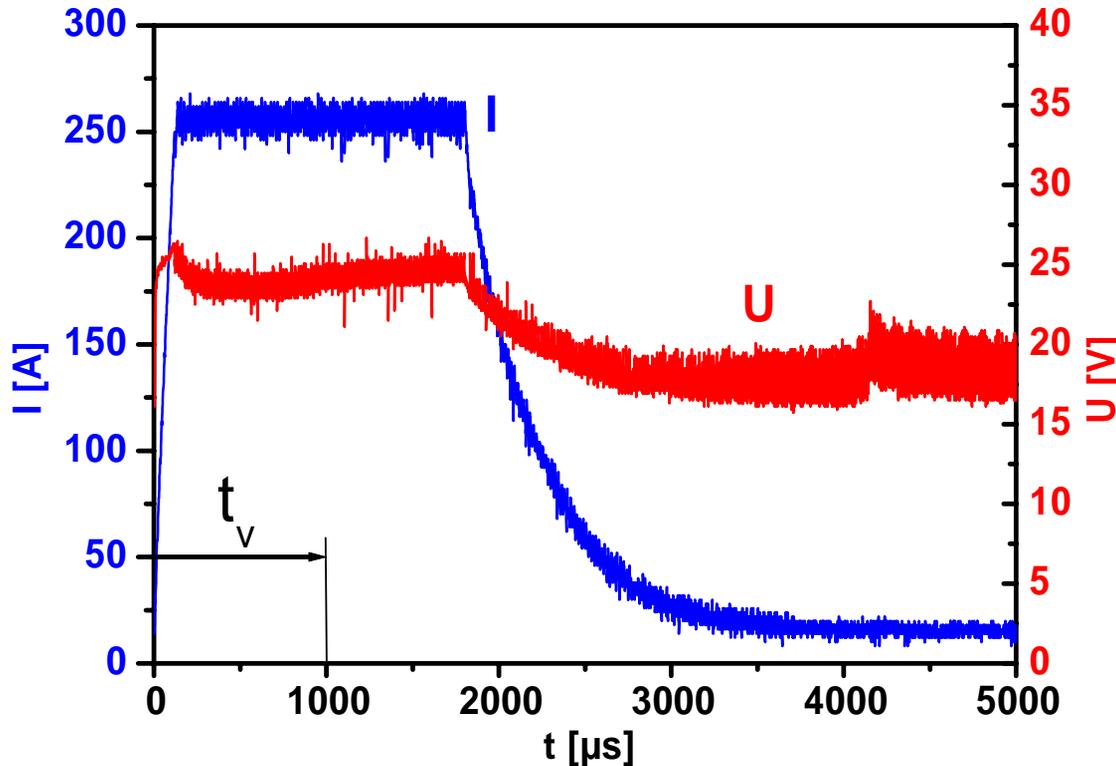
Schema des Versuchsaufbaus



- | | |
|------|--------------------------------|
| M | Spiegel |
| ICCD | PI-MAX-Kamera; 1024x1024 Pixel |
| WBL | Wolfram-Bandlampe |
| SL | Spektrallampe |
| HG | Hochgeschwindigkeitskamera |
| HAL | Hallgeber |



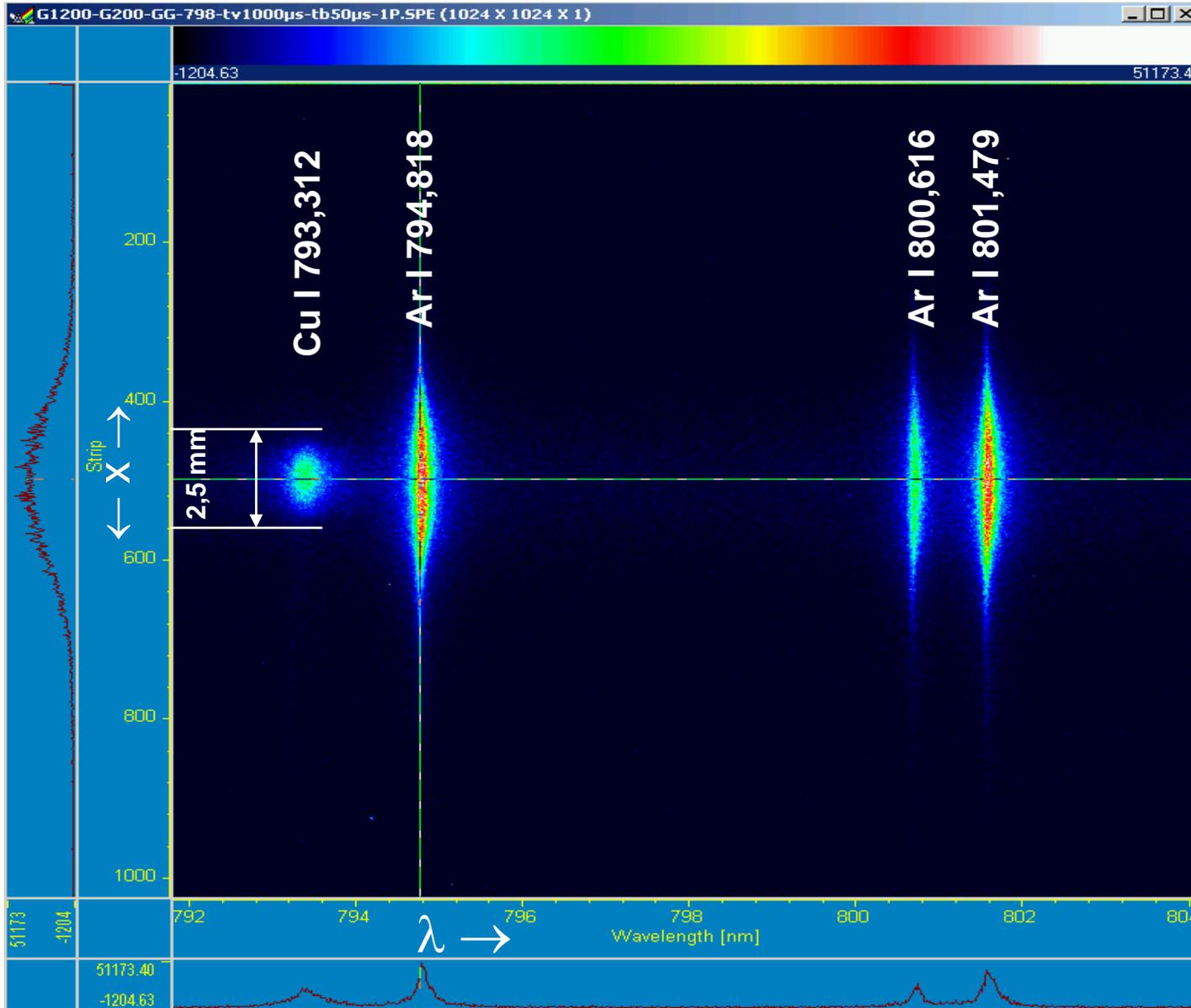
MIG-Impulslöten unter Ar-Schutzgas



Versuchsparameter:
CuAl5Ni2; 0,8 mm \varnothing
 $v_{Dr.}$ = 2,2 m/min
 v_s = 0,26 m/min
 I_{Grund} = 18 A
 I_{Impuls} = 255 A
 f = 30 Hz

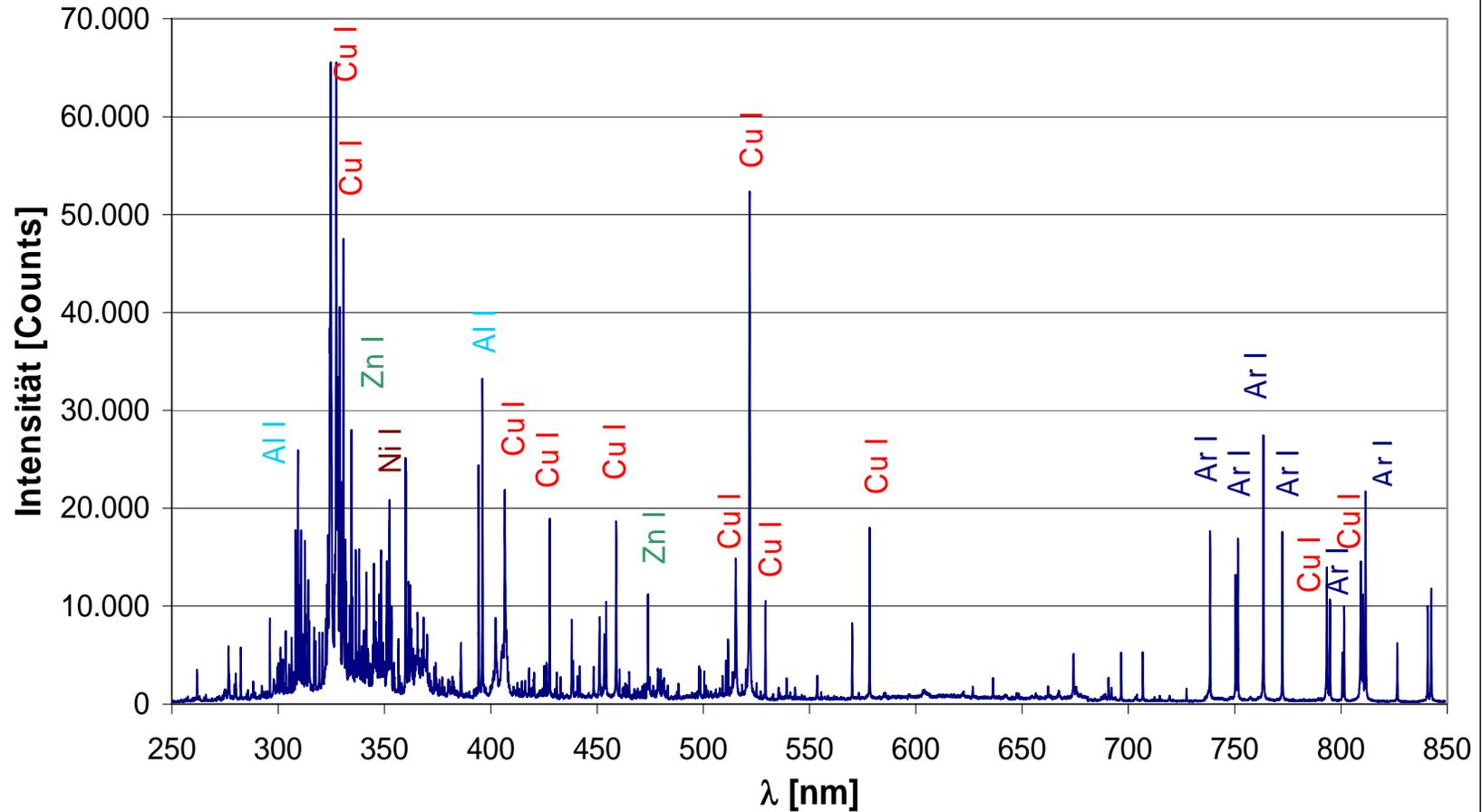
t_v – Verzögerungszeit gegenüber Start Stromimpuls

Spektrum eines Lichtbogens mit Cu-Kern ($\lambda = 792$ bis 804 nm)



$t_v = 1000 \mu\text{s}$
 $t_B = 50 \mu\text{s}$

Übersichtsspektrum
(Schutzgas - Ar; Draht - CuAl5Ni2)

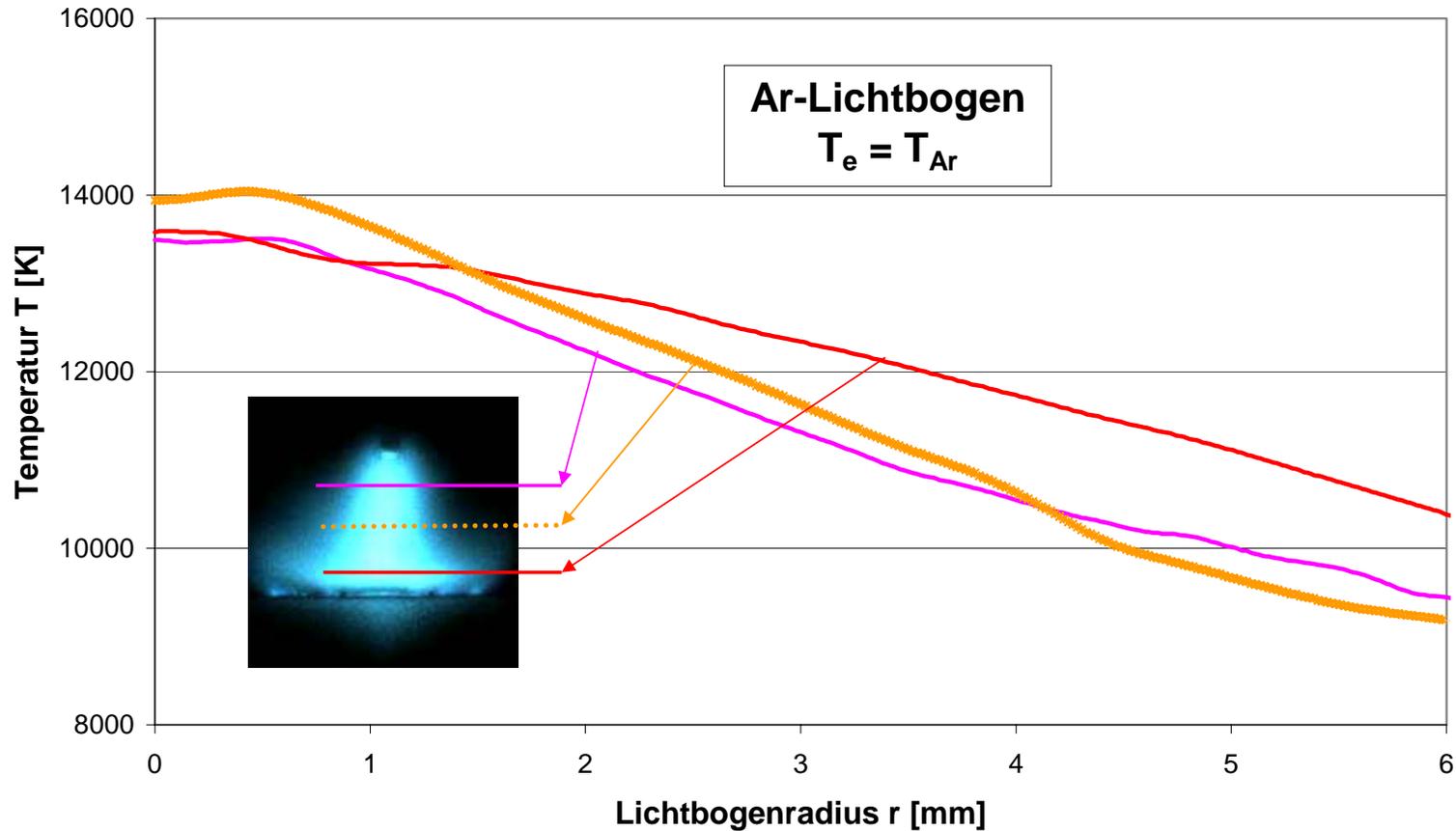


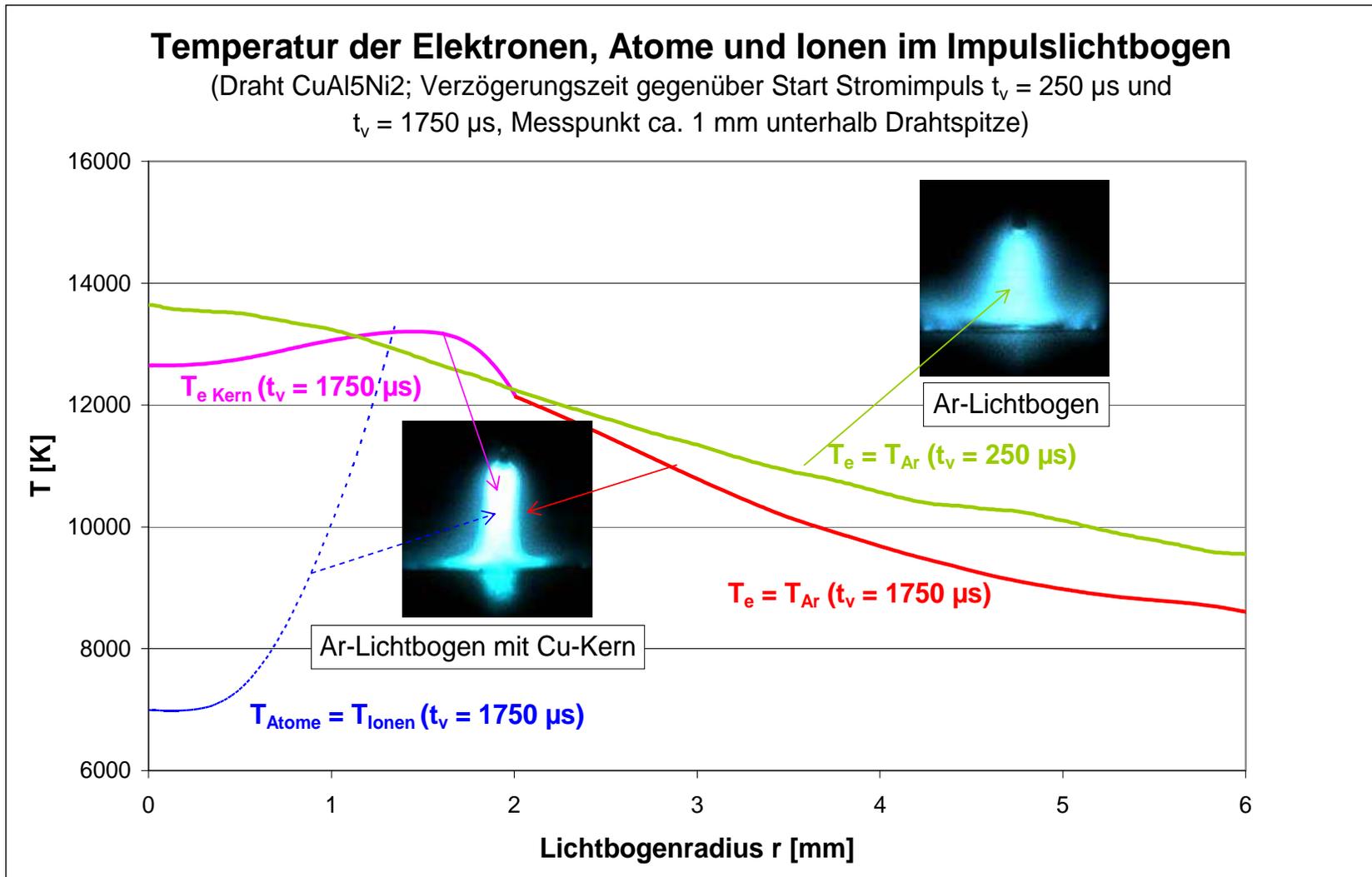
- Reiner Argon-Lichtbogen (bei geringen t_v oder bei Lichtbogen mit Cu-Kern äußerer Teil, der nur aus Ar besteht):
Annahme eines Lokalen Thermodynamischen Gleichgewichts (LTE) mit $T_e = T_{Ar}$ und Iteration eines Gleichungssystems, bestehend aus:
 - Saha-Gleichung
 - absolutem Emissionskoeffizienten einer Ar I - Linie (Atom-Linie)
 - Erhaltung des Gesamtdrucks (Daltonsches Gesetz)
 - Quasineutralität

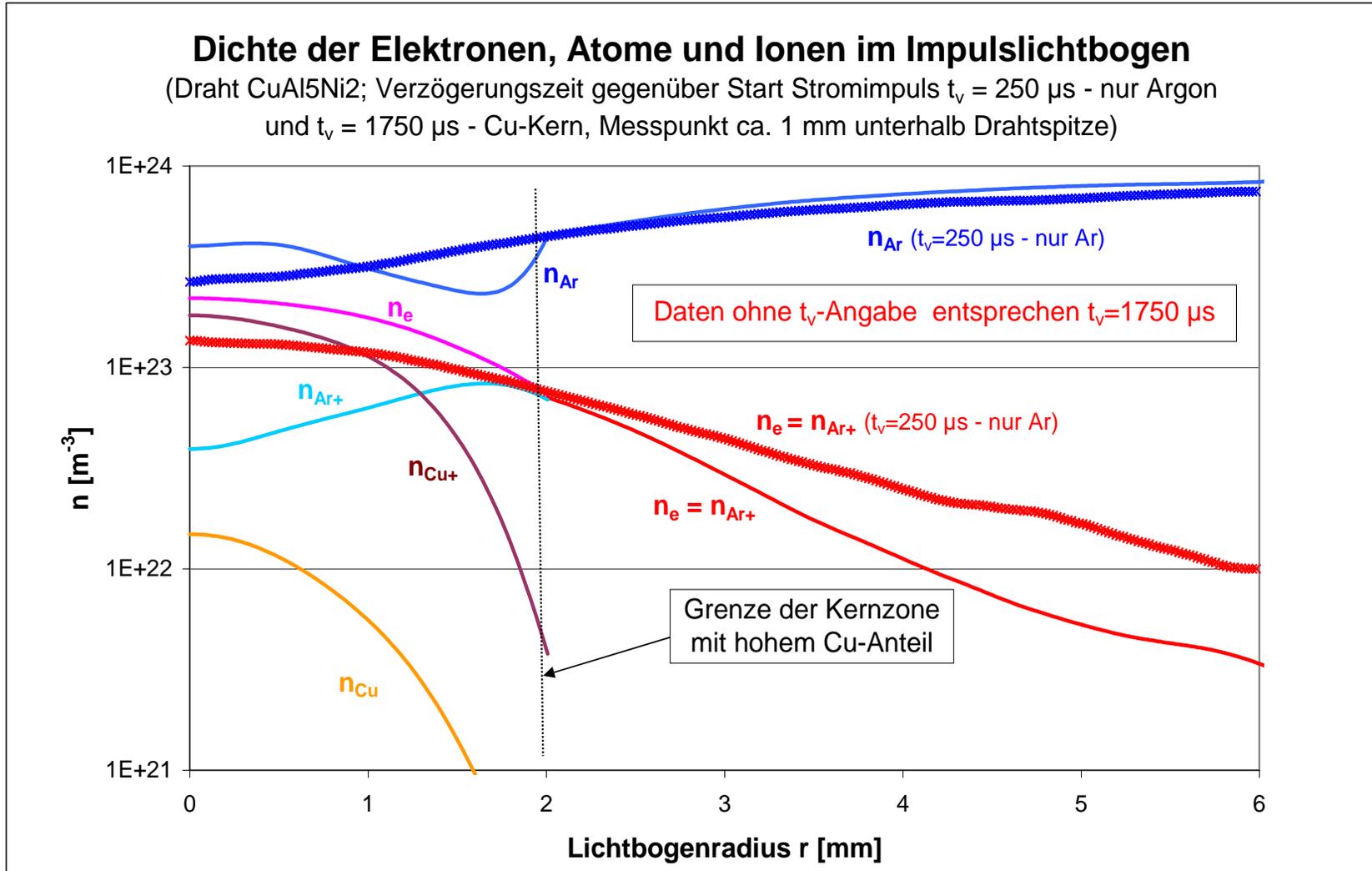
- Lichtbogenkern (bestehend aus Cu und Ar)
 1. 2-Linien-Methode zur Temperaturbestimmung (2 Cu I - Linien)
 2. Berechnung der Plasmazusammensetzung aus:
 - absoluten Emissionskoeffizienten einer Cu I - Linie und einer Ar I - Linie (Atom-Linien)
 - Saha-Gleichungen
 - Quasineutralität
 - Erhaltung des Gesamtdrucks

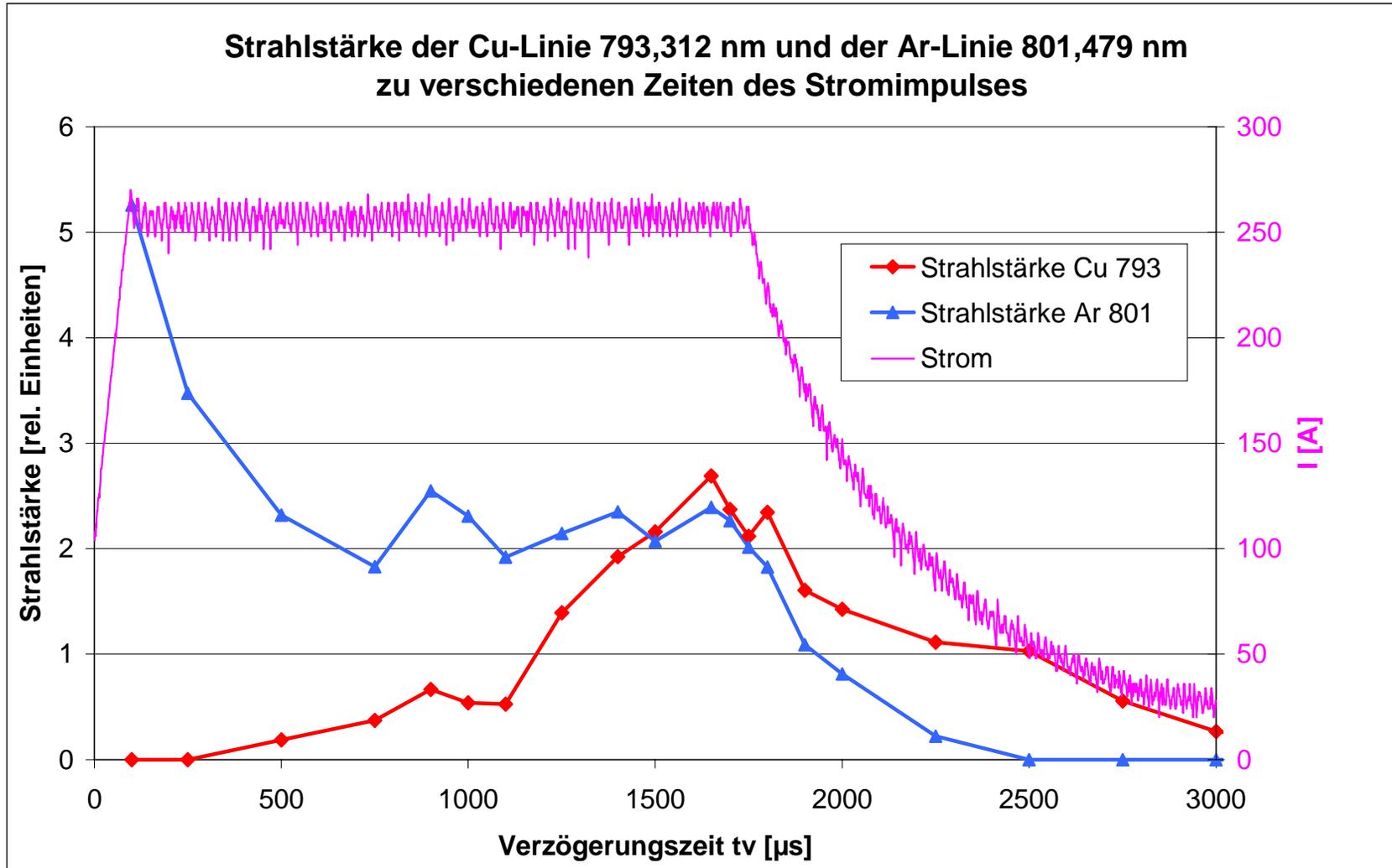
Temperatur der Elektronen und Ar-Atome im Impuls-Lichtbogen

(Draht : CuAl5Ni2; Verzögerungszeit gegenüber Start Stromimpuls $t_v = 250 \mu\text{s}$)



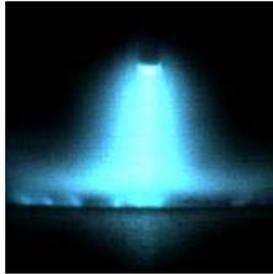






Filter Athermal 2A1 (nicht spektralselektiv)

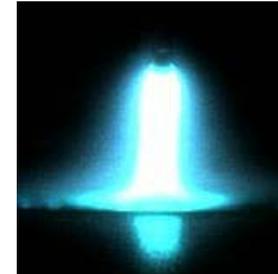
$t_b=10\mu\text{s}$



$t_v=500\mu\text{s}$



$t_v=750\mu\text{s}$



$t_v=1500\mu\text{s}$

Interferenzfilter $510 \pm 3\text{ nm}$ (Cu I 507,613; 510,563; 515,323 nm)

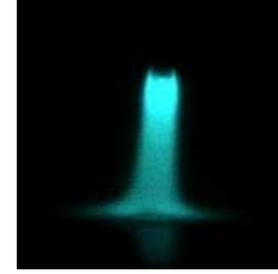
$t_b=10\mu\text{s}$



Bild aufgehellt

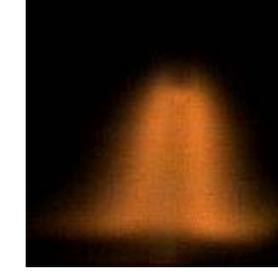
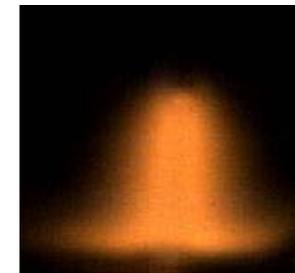
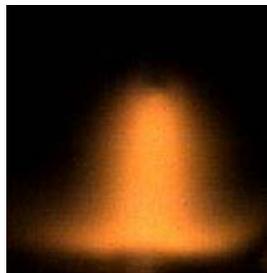


Bild aufgehellt



Interferenzfilter IF $750 \pm 3,5\text{ nm}$ (Ar I 750,387; 751, 511 nm)

$t_b=90\mu\text{s}$



Die Untersuchungen am Impuls-Lichtbogen mit einem Cu-Basisdraht lieferten folgende Erkenntnisse:

- Zu Beginn des Impulses nur Argon detektierbar, Temperatur in der Lichtbogenachse etwa 14000 K.
- Ab etwa 500 μs nach Start des Impulses Cu I - Linien mit zunehmender Intensität, jedoch keine Cu II - Linien.
- Verdampfung von Kupfer bewirkt:
 - Kern mit hoher Cu-Konzentration (Atome und Ionen)
 - Kühlung in der Mitte des Lichtbogens
 - abnehmende Temperatur der schweren Teilchen
- Hochgeschwindigkeitsaufnahmen mit spektralselektiven Filtern (Interferenzfiltern):
 - Visualisierung der Vorgänge im Lichtbogen, insbesondere die qualitative Veränderung der Zusammensetzung des Plasmas

- Wie wirken sich hohe Dichtegradienten im Plasma auf das Lokale Thermodynamische Gleichgewicht (LTE) aus und wie kann man diese Grenzfälle beschreiben?
- Befindet sich das Plasma im Hochstromlichtbogen überhaupt im LTE oder findet eine Überbesetzung der angeregten Zustände statt?
- Wie wirken sich unterschiedliche Elektrodenmaterialien auf die Verteilung derselben im MIG-Lichtbogen aus und wie kann die Verdampfung durch geeignete Schweißparameter minimiert werden?
- Wie beeinflussen Fremdschichten auf dem Werkstück die Lichtbogenstabilität und die Plasmazusammensetzung?
- Wie können spektralselektive Informationen aus dem Lichtbogen zur Regelung des Schweißprozesses genutzt werden?