

## Zielstellung

In Hinblick auf den zukünftigen Ausbau der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) und dem perspektivischen Bau von Gleichspannungsnetzen für Industrieanwendungen gilt es geeignete Isolierstoffe zu entwickeln und vorhandene Stoffe auf deren Verhalten bei Gleichspannungsbelastung zu untersuchen. Dies kann unter anderem mittels der Messung von Raumladungsvorkommen innerhalb des Isolierstoffes umgesetzt werden. Raumladungen können beispielsweise beim Umpolen eines mit DC belasteten Kabels zur irreversiblen Schädigung der Isolierung führen. Eine zur Messung geeignete Methode ist die „laser-induced-pressure-pulse-method“ (LIPP-Methode) bei der eine durch einen hochenergetischen Laserimpuls erzeugte Druckwelle die Raumladungen im Isolierstoff anregt und somit einen messbaren Strom erzeugt. Im Rahmen der Diplomarbeit sollte, vorbereitend für weitere Forschung auf dem Gebiet, ein Prüfstand für die Durchführung der LIPP-Methode konstruiert und funktionsfähig aufgebaut werden. Probemessungen sollten letztlich die Funktion des Prüfstandes evaluieren.

## Raumladungsmessung - Prinzip

Die Raumladungsmessung beruht auf dem Prinzip der Ladungsauslenkung durch Druckimpulse, wie in **Abbildung 1** veranschaulicht.

1. Druckimpuls mit hoher Steilheit durchquert Elektroden und Probenkörper und komprimiert diese.
2. Raumladungen werden in Impulsrichtung ausgelenkt.
3. Änderung der influenzierten Ladung auf beiden Elektroden.
4. Verschiebungsstrom durch Änderung des E-Feldes als Impulsantwort messbar.

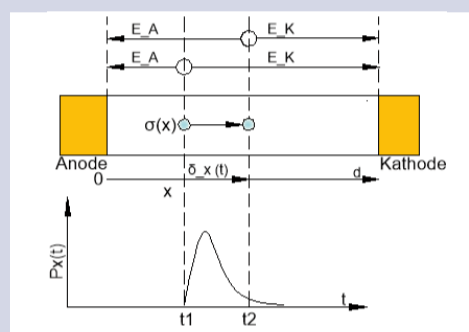
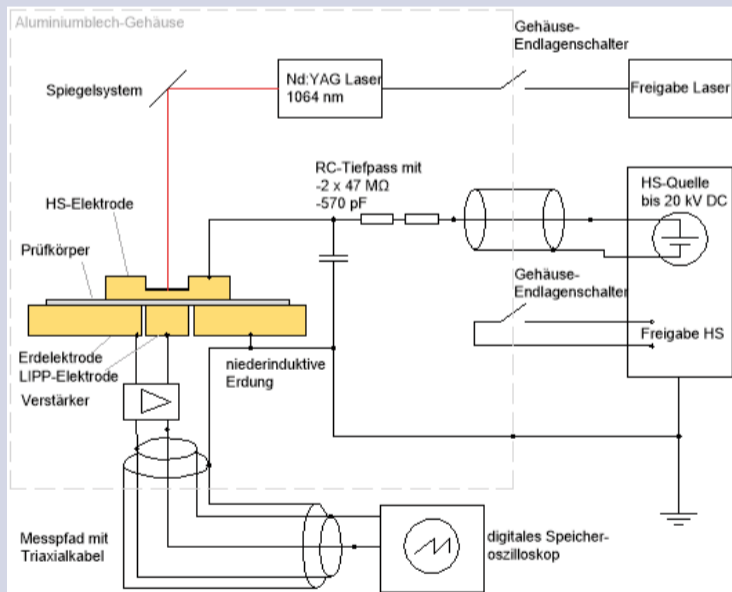


Abb. 1: Schema Ladungsverschiebung durch Druckimpuls

## LIPP-Methode (laser-induced-pressure-pulse)

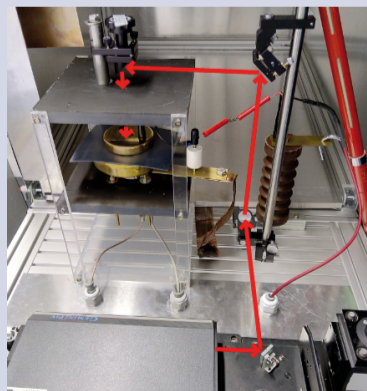
Die LIPP-Methode beinhaltet die Systeme der Hochspannungstechnik, Hochfrequenzmesstechnik sowie Optomechanik/Lasertechnik. **Abbildung 2** zeigt deren Verschaltung zum funktionstüchtigen Prüfstand. Nicht dargestellt ist die Spannungsversorgung der Messtechnik und des Lasers.

Abb. 2: Aufbauschema Versuchsanordnung LIPP-Methode



- Laserimpuls wird über Spiegel auf Zielfläche auf HS-Elektrode gelenkt, siehe **Abbildung 3**.
- Absorbermaterial auf Zielfläche (Tinte/Wassergemisch) verdampft.
- Plasmabildung erzeugt Druckwelle → Ladungsauslenkung siehe **Abbildung 1**
- Impuls wird in Transimpedanzverstärker (5kV/A) verstärkt und mit Triaxialkabel an Oszilloskop geleitet. Die Messung triggert auf ein externes Signal des Lasers.

Abb. 3: Spiegelsystem und Strahlenlenkung



## Prüfstand – Konstruktion und Komponenten

Ein kippbares Aluminiumgehäuse und zwei Endlagenschalter trennen den Bediener vom Klasse 4 Laser und der Hochspannung bis 20 kV DC.

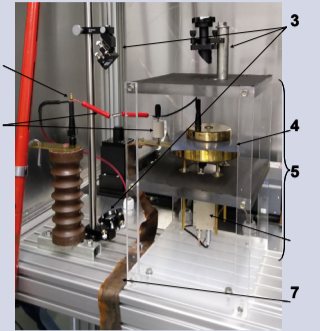
**Abbildung 4** bezeichnet die Komponenten der Prüfanordnung.

Nr.	Bezeichnung des Bauteils
1	Anschluss Hochspannung
2	RC-Tiefpass - Glättung der HS
3	Spiegeloptik mit Halterungen
4	Messingelektroden + Probenkörper
5	Acrylglasgestell – teils zum Laserschutz schwarz lackiert
6	Transimpedanzverstärker
7	Kupfererdungsband zur niederinduktiven Erdung

Abb. 4: aufgebauter Prüfstand

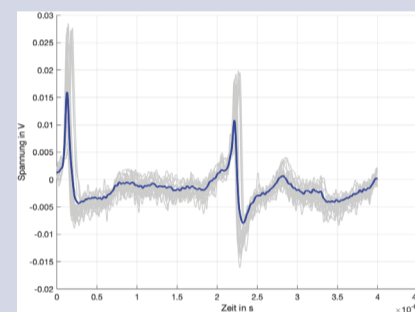
Nicht dargestellt sind die Optimierungen:

- Verwendung störungsarmer DC-Quelle
- Tiefpassfilter 33 MHz in Messpfad und 50 Ω Abschlusswiderstand
- Trennstelltransformator für Spannungsversorgung der Messtechnik
- Labornetzteil für Verstärker – Substitution störungsbehaftetes Schaltnetzteil



## Versuchsdurchführung und ausgewählte Ergebnisse

**Abbildung 5** zeigt den arithmetischen Mittelwert 20 konsekutiv aufgenommener Messungen mit LR3003\_30 Wacker bei 14 kV für 20 min.



- Digitale Verarbeitung mit Energiewertkriterium, da sehr verrauscht
- Signal entspricht tatsächlich Systemantwort auf Laserpuls
- Positiver Peak entspricht Ladungen an HS-Elektrode
- Zu erwartender negativer Peak für Gegenelektrode fehlt
- Stattdessen mehrere positive Peaks im 2µs-Abstand

Abb. 5: Mittelwert 20 Messungen

Die Betrachtung des größeren Zeitbereichs in **Abbildung 6** zeigt ein Reflexionsmuster. Der Impuls oszilliert vermutlich innerhalb der HS-Elektrode. Dabei kommt es durch die Zerstreuung des Strahles zu Überlagerungen und zu einer stark gedämpften stehenden Welle (rot skizziert). Folgende Ursachen werden daraus geschlossen:

- Energie des Laserstrahls ist mit ca. 600 mJ zu gering – geeignet wären 2 J
- Negativer Peak wäre sonst innerhalb der Größenordnung des Rauschens zu erwarten
- Strahldurchmesser von 5 mm zu gering – eine Strahlaufweitung auf 10-15 mm würde die Amplitude erhöhen



Abb. 6: Reflexionsmuster Impuls

## Zusammenfassung und Ausblick

- Die Funktion des Prüfstandes wurde bewiesen. Das System reagiert auf einen vom Laser erzeugten Druckimpuls und bringt diesen zur Anzeige.
- Valide Messdaten über Ladungsvorkommen können mit der gegebenen Anordnung jedoch nicht erzielt werden.
- Als Hauptursache für unzureichende Messwerte ist der Laser zu nennen, dessen Strahldurchmesser zu klein und Energie zu gering ist.
- Das Auftragen der Absorberschicht ist nach jedem Schuss zu wiederholen. Ein manuelles Auftragen ist dabei nicht zielführend. Es besteht eine starke Abhängigkeit von Signalform und Schichtdicke.
- Zukünftig wäre die Automatisierung des gesamten Messablaufes zu erwägen.
- Empfehlenswert wäre die Lagerung in einem Temperaturschrank zur Untersuchung der Temperaturabhängigkeit von Raumladungsvorkommen.
- Für aussagekräftigere Werte sind 20 Messungen nicht ausreichend. Hierfür ist das Signal zu sehr verrauscht.



Dipl.-Ing. (FH) **Henry Hirte**  
Studiengang KIA-Elektrische Energiesysteme

Betreuer/Gutachter:

Prof. Dr. tech. **Stefan Kornhuber**  
Fakultät Elektrotechnik und Informatik

