



Jens Tepper (Autor)  
**Homogene Barrierentladungen bei  
Atmosphärendruck**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/3396>

Copyright:  
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

## 2 Versuchs- und Messeinrichtungen

Eine Übersicht der verwendeten Versuchs- und Messeinrichtungen ist in Bild 2.1 dargestellt. Über Gasdurchflussregler der Firma MKS werden die Gase Luft und Stickstoff definiert in verschiedene Versuchsreaktoren eingebracht. Der verwendete Stickstoff der Firma Westfalen Gas weist eine Qualität von 5.0 auf. Bei der verwendeten Luft handelt es sich um synthetische Luft ebenfalls von der Firma Westfalen Gas. Die mittlere abgeschätzte Strömungsgeschwindigkeit der Gase im Entladungsspalt der Versuchsreaktoren liegt bei dem in Bild 2.4 dargestellten Reaktor bei einem Spaltabstand von 1 mm in der Größenordnung von 0,5 m/s pro 1 l/min Gasdurchfluss. Bei allen anderen verwendeten Reaktoren ist die mittlere abgeschätzte Gasströmungsgeschwindigkeit bei 1 mm Spaltabstand im Bereich von 0,2 m/s pro 1 l/min Gasdurchfluss. Im Folgenden werden neben den verschiedenen Versuchsreaktoren, Spannungsversorgungen und elektrischen Messeinrichtungen ein Hochgeschwindigkeitkameranagementsystem vorgestellt, mit dessen Hilfe die Leuchterscheinungen der Barrierenentladungen fotografiert werden.

### 2.1 Spannungsversorgung

Für die Untersuchungen stehen Generatoren mit verschiedenen Frequenzen der Ausgangsspannung zur Verfügung. Bild 2.2a zeigt die Generatorschaltung für Spannungen bei einer festen Frequenz von 50 Hz. Über den Stelltransformator wird eine Spannung bis zu 220 Volt an die Primärseite des Hochspannungstransformators angelegt. Sekundärseitig können am Hochspannungstransformator Spannungen bis zu einem Scheitelwert von 15 kV abgegriffen werden. Wahlweise wird durch das Parallelschalten von Hochspannungskondensatoren auf die Hochfrequenz-Ausgangsimpedanz der Hochspannungsquelle Einfluss genommen.

Zur Erzeugung von kontinuierlicher, sinusförmiger Wechselspannung mit Frequenzen im kHz-Bereich stehen zwei Generatoren zur Verfügung. Zum einen ein Generator, der Spannungen im Bereich bis 20 kV bei Frequenzen zwischen 200 Hz und 15 kHz erzeugt.

Zum anderen steht ein kommerzieller Generator der Firma Softal zur Verfügung (Typ 6340), der Spannungen im Bereich bis 20 kV bei Frequenzen zwischen 10 kHz und 65 kHz erzeugt. Beide Generatoren weisen die gleiche grundsätzliche Generatorschaltung aus Bild 2.2b auf. Sie basieren auf einem Wechselrichter, der ein schwingungsfähiges System in Resonanz angeregt. Dieses schwingungsfähige System setzt sich im wesentlichen aus den Streuinduktivitäten des Hochspannungstransformators und der Kapazität des Transformators und der angeschlossenen Barrierenanordnung zusammen. Über einen Stelltransformator und einen Gleichrichter wird der Zwischenkreiskondensator  $C_{ZK}$  auf die Gleichspannung  $U_{ZK}$  aufgeladen. Die Kondensatoren  $C_1 = C_2$  werden auf jeweils die Spannung  $U_{ZK}/2$  aufgeladen. Die Halbleiterschalter  $T_1$  und  $T_2$  werden über eine Steuereinheit mit Signalen über Lichtwellenleiter im Wechsel ein- und ausgeschaltet. Hierdurch liegt wechselweise die Spannung  $U_0/2$  und  $-U_0/2$  an der Primärwicklung des Hochspannungstransformators an. Um eine maximale Ausgangsspannung zu erhalten, müssen die Halbleiterschalter  $T_1$  und  $T_2$  mit einer Frequenz im Bereich der Resonanzfrequenz des Schwingkreises geschaltet werden.

## 2.2 Versuchsreaktoren

### Reaktor für $Al_2O_3$ -Keramik/Glas – Barrieren und die Entladungsbeobachtung „End-On“

Bild 2.3 zeigt einen Versuchsreaktor zur Erzeugung von Gasentladungen in einer Doppelbarrierenanordnung. Er besteht im wesentlichen aus einem Bodenteil (Acrylglas), in das eine Barriere mit der Hochspannungselektrode eingelassen ist und in dem sich die Gaszuführung befindet. Die Hochspannungselektrode besteht aus einer Leitsilberschicht, die auf die Keramik aufgebracht wird. Die Leitsilberschicht wird mit einem Anschlusskabel verbunden und mit Silikonkautschuk übergossen. Die Fläche der Barriere ist ca. 100 mm x 100 mm und ihre Dicke 1 mm, die verwendeten Hochspannungselektroden sind rund und weisen einen Durchmesser von ca. 50 mm auf. An dem Bodenteil wird mit Hilfe des Deckels (Acrylglasrahmen) die Erdbarriere und die Erdelektrode über ein Distanzstück angepresst. Die Erdbarriere ist eine 4 mm dicke Glasscheibe, die mit einer transparent

leitfähigen Schicht versehen ist. Die Dicke des Distanzstücks bestimmt den Entladungsspaltabstand. Durch die transparente Erdelektrode können die Leuchterscheinungen der Entladung im Bereich des Reaktorspalts beobachtet und fotografisch erfasst werden.

### **Reaktor für Bornitrid-Keramik/Glas – Barrieren und die Entladungsbeobachtung „End-On“**

Sollen die Leuchterscheinungen der Entladungen „End-On“ beobachtet und anstelle von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Bornitrid-Keramiken als Barrierenmaterial verwendet werden, wird das im vorherigen Abschnitt beschriebene Gefäß mit einem anderen Bodenteil verwendet. Das Bornitrid-Material wird in einer Becherform verwendet. Die Becher weisen einen Außendurchmesser von 40 mm und einen Innendurchmesser von 24 mm auf. Sie sind ca. 20 mm tief. Die Bodendicke des Bechers bestimmt die Barrierendicke. Sie kann 1 mm oder 3 mm betragen. Auf den Boden des Bechers werden die Elektroden eingebracht. Werden plane Elektroden oder Drahtgitterelektroden eingesetzt, sind diese rund und weisen einen Durchmesser von ca. 23 mm auf. Plane Elektroden bestehen aus einer Kupferplatte. Werden Drahtgitterelektroden eingesetzt, wird das Drahtgitter zwischen die Kupferplatte und dem Becherboden gelegt. Wird Graphit als Barrierenmaterial eingesetzt, wird dieses ebenfalls zwischen dem Becherboden und der Kupferplatte platziert. Die Kupferplatte wird unter Zuhilfenahme von Glaswolle über einen Deckel auf den Becherboden gepresst. Besteht die Elektrode aus einer Salzwasserlösung, wird diese über eine Kupferplatte kontaktiert, die sich im Salzwasser befindet, jedoch nicht den Boden berührt. Die Elektroden sind bei diesem Reaktor von der Atmosphärenluft umgeben. Bild 2.4 zeigt schematisch den Versuchsreaktor, in dem die Bornitridbecher eingesetzt werden. Seitlich im Bodenteil befindet sich der Gasein- und auslass. In den Boden ist der Bornitridbecher eingelassen. Die Einlasstiefe bestimmt den Entladungsspaltabstand. Das Gas wird über der gesamten Barrierenbereite durch den Entladungsspalt geführt. Auf das Bodenteil wird die Erdbarriere über einen Deckel angepresst. Die Erdbarriere ist eine 4 mm dicke Glasscheibe, die mit einer transparent leitfähigen Schicht als Erdelektrode versehen ist, durch die die

Leuchterscheinungen der Entladungen im Bereich des Reaktorspalts beobachtet und fotografisch erfasst werden können.

### **Reaktor für Folie/Folie – Barrieren und die Entladungsbeobachtung „End-On“**

Werden dünne, folienartige Materialien als Isolierstoffbarrieren eingesetzt, steht der in Bild 2.5 dargestellte Versuchsreaktor zur Verfügung. Die Elektroden sind aus Aluminium gefertigt und rund. Sie weisen einen Durchmesser von 65 mm auf. An den Elektroden können wahlweise verschieden feine Drahtgittersorten befestigt werden. Die Elektroden können über Rändelschrauben exakt an die Barrieren geführt und kontaktiert werden. Sie sind in diesem Reaktor von der Atmosphärenluft umgeben. Über einen Rahmen, der zwischen den Barrieren positioniert wird, kann der Spaltabstand bestimmt werden. In diesem Rahmen befinden sich die Gasein- sowie die Gasauslassdüsen. Die als Barrierenmaterial eingesetzten Folien werden über eine Vorrichtung gespannt, um eine ebene Barrierenfläche über den Elektroden auch bei dünnen Folien zu erhalten. Sollen die Entladungen „End-On“ fotografisch erfasst werden, werden die Drahtgitterelektroden mit einer transparent leitfähigen Schicht auf einer 4 mm dicken Glasscheibe kontaktiert. Diese Glasscheibe wird über einen Rahmen auf die Barriere gepresst, so dass ein Kontakt zwischen der leitfähigen Schicht auf der Glasscheibe und dem Drahtgitter hergestellt wird. Die fotografische Aufnahme der Leuchterscheinungen im Reaktorspalt erfolgt somit durch ein Schichtsystem aus 4 mm Glas, transparent leitfähiger Schicht, Drahtgitterelektrode und Mylarfolie.

### **Reaktor für die Entladungsbeobachtung „Side-On“**

Bild 2.6 zeigt schematisch einen weiteren Versuchsreaktor zur Erzeugung von Barrierenentladungen bei Atmosphärendruck. Die Elektroden bestehen aus runden Leitsilberschichten oder Drahtgittern ( $r=25\text{mm}$ ), die auf die Barrieren aufgebracht sind. Die Elektroden werden mit Anschlusskabel verbunden und mit Silikonkautschuk übergossen. Dieses System aus Barriere und Elektrode ist auf einem Träger aus Acrylglas angebracht, welcher mit Hilfe von Schrauben in dem Versuchsreaktor befestigt wird. Während die

Erdelektrode fest eingebaut ist, kann die Hochspannungselektrode über eine Mikrometerschraube in ihrer Höhe verstellt werden. Gasduschen, die ebenfalls höhenverstellbar an der Seite des Gefäßes angebracht sind, erzeugen eine laminare bzw. homogene Gasspülung im Entladungsspalt. Ein seitlich angebrachtes Sichtfenster aus UV-Licht durchlässigem Quarzglas erlaubt die fotografische Erfassung der Entladungen Side-On.

### **Reaktor für die Behandlung bewegter Folienbahnen mit Keramikbarrieren**

Das in Bild 2.7 schematisch dargestellte Versuchsgefäß dient der Behandlung von bewegten Folienbahnen mit Barrierenentladungen und wurde bereits bei [Meiners 99] eingesetzt. Die Relativbewegung zwischen dem Elektrodensystem und dem Substrat wird durch eine Bewegung der zu behandelnden Bahnen erreicht.

Die Folie (2) wird von einem Folienwickel (5) über die Leitwellen (11) durch die Barrierenanordnung auf den anderen Folienwickel umgewickelt. Die Bahnbreite der Folie beträgt 100mm. Ein Folienwickel wird dabei von der Antriebswelle (12) angetrieben. Außerhalb des Gefäßes befindet sich der Antriebsmotor. Die Kraftübertragung auf die Wickel erfolgt über die Antriebswellen. Die Antriebskraft wird mit Zahnriemen übertragen. Auf beiden Antriebswellen sind Zahnriemenscheiben befestigt, so dass die Folie in beide Laufrichtungen bewegt werden kann. Da der Durchmesser des Folienwickels beim Aufwickeln zunimmt, die Foliengeschwindigkeit aber während der Untersuchungen konstant bleiben soll, muss die Drehzahl des Motors kontinuierlich nachgeregelt werden. Dazu ist ein Tachogenerator an einer der Leitwellen befestigt, der eine Regelspannung an die Motorsteuerung abgibt, mit der die Foliengeschwindigkeit vorgegeben wird. Die Foliengeschwindigkeit muss auch wegen der statischen Aufladung der Folien während des Betriebs und der daraus resultierenden Reibkraft nachgeregelt werden [Meiners 99].

In der Versuchsanordnung können unterschiedliche Elektroden montiert werden, mit denen homogene und filamentierte Barrierenentladungen erzeugt werden.