

Dreidimensionale Simulation wandernder Schaltlichtbögen

Frank Karetta

Berichter: Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer

Berichter: Prof. Dr. rer. nat. habil. Achim Enders

Der Schaltlichtbogen in Niederspannungsschaltgeräten ist ein komplexes Phänomen, dessen Verhalten durch die Wechselwirkungen zwischen Wärmetransport (Wärmeleitung, Konvektion, Strahlung), Gasströmung, Stromfluß und magnetischen Kräften bestimmt wird. Die Zusammenhänge zwischen diesen Effekten sind in Bild 1 schematisch dargestellt. Alle genannten Effekte müssen für eine realistische Simulation des Lichtbogens berücksichtigt werden.

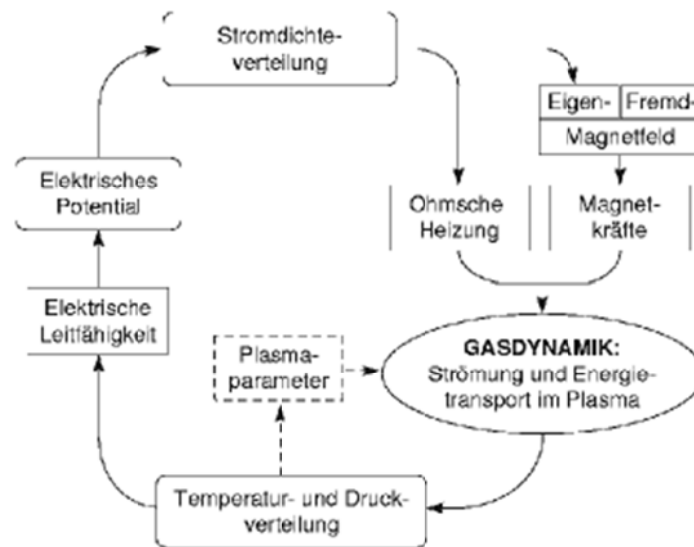


Bild 1: Wechselwirkung zwischen den gasdynamischen und elektromagnetischen Prozessen

Für die Simulation wird das kommerzielle CFD-Programm FLOW3D verwendet, welches durch zahlreiche eigene Fortran-Routinen an die Erfordernisse der Lichtbogensimulation angepaßt wurde. Mit diesem Programm wird neben den Transportgleichungen der Strömungsmechanik auch die Differentialgleichung für das elektrische Potential gelöst, die formal wie eine Transportgleichung aufgebaut ist. Das Magnetfeld wird aus der simulierten Stromdichteverteilung berechnet, so daß sowohl das Eigenfeld (Pinchfeld) der Lichtbogensäule als auch das durch den Stromfluß in den Elektroden erzeugte Blasfeld in der Simulation berücksichtigt wird. Weiterhin umfaßt die Simulation auch die Elektroden-erwärmung und ein vereinfachtes Modell für den Stromübergang von den Elektroden ins Plasma.

Die grundsätzliche Funktionsweise der Lichtbogensimulation wurde bereits im Jahresbericht 1996 anhand eines Modells mit parallelen Laufschienen erläutert. Im Rahmen dieses Berichtes kann somit der aktuelle Forschungsstand präsentiert werden.

In realen Niederspannungsschaltgeräten wird durch die Verlängerung des Lichtbogens und durch die Aufteilung zwischen Löschblechen eine höhere schaltbare Leistung erreicht. Mit dem in Bild 2 gezeigten Modell wurde die Simulation in Richtung einer realistischen Nachbildung von Schaltgeräten verbessert. Danach durchläuft der Lichtbogen erst einen Abschnitt mit parallelen Laufschienen. Im divergierenden Abschnitt wird der Lichtbogen aufgeweitet. Der obere parallele Abschnitt kann (Folgeprojekt) ein Paket mit Löschblechen aufnehmen; hier wurden nur Simulationen ohne Löschbleche durchgeführt.

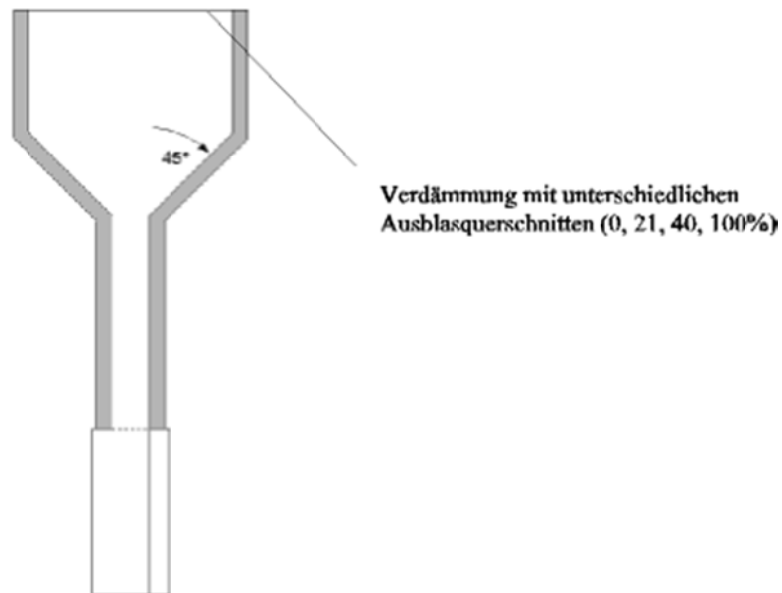


Bild 2: Modell für die Simulation

Der Lichtbogen läuft in dieser Simulation (Bild 3) schnell von seinem Startpunkt bis zur Kante des divergierenden Abschnitts. Abhängig davon, ob ausreichend heißes Gas aus der Schaltkammer entweichen kann, dauert es wesentlich länger, bis der Lichtbogen vollständig aufgeweitet ist. Der obere parallele Abschnitt wird dann wieder sehr schnell durchlaufen. Bei geschlossener Schaltkammer wird der Bogen gar nicht aufgeweitet.

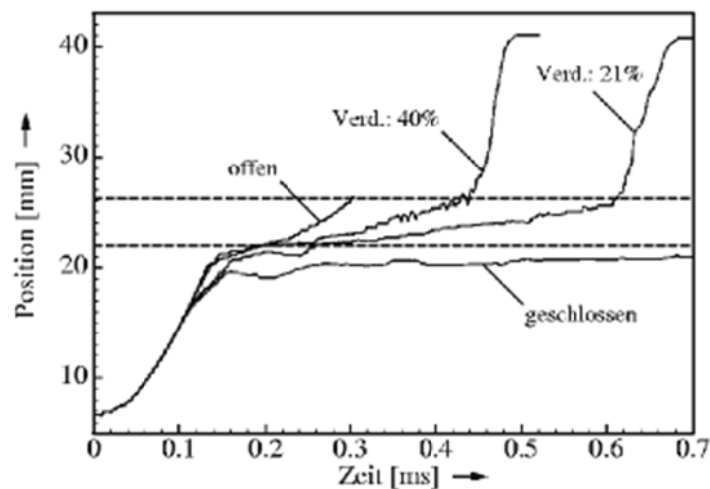


Bild 3: Simulation mit divergierenden Laufschienen - Lichtbogenposition an der Elektrode für unterschiedliche Verdämmungstypen

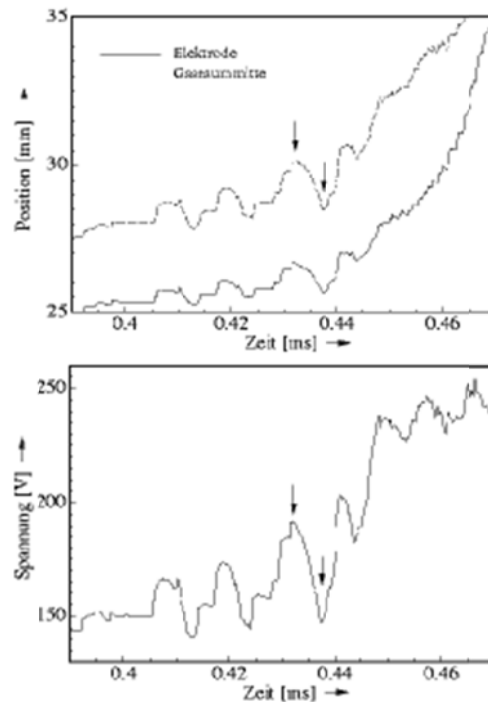


Bild 4: Rückzündungen des Lichtbogens am Beginn des divergierenden Bereichs bei der Simulation mit 40% Ausblasquerschnitt: Lichtbogenposition und Lichtbogenspannung

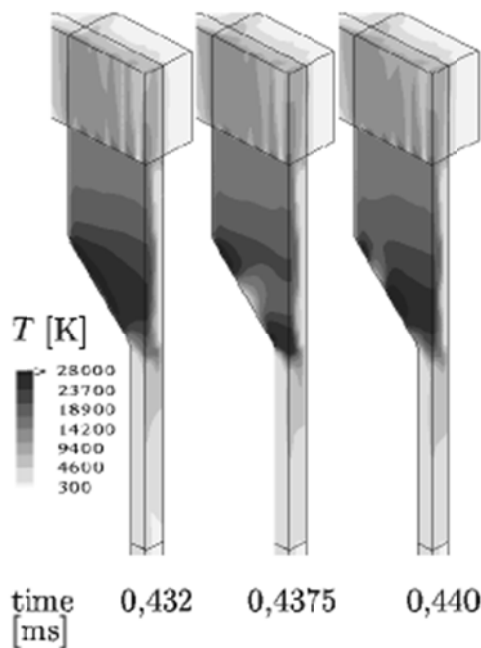


Bild 5: Rückzündungen: Momentaufnahmen der Temperaturverteilung

Die Bilder 4 und 5 zeigen das aus experimentellen Untersuchungen seit langem bekannte Phänomen der Rückzündungen, das allein aufgrund der physikalischen Grundbedingungen realistisch nachgebildet werden kann. Der Lichtbogen wird zunächst aufgeweitet, was einen Anstieg der am Plasma anliegenden Spannung bewirkt. Durch Umströmung des Bogens befindet sich leitfähiges Plasma in seinem rückwärtigen Bereich, so daß ein zweiter Strompfad existiert. Wird dieser (kürzere, aber kältere) niederohmiger als der aktuelle Pfad,

kommutiert der Strom innerhalb weniger μs ganz oder teilweise in den neuen Pfad. Mit der Rückzündung ist immer ein Einbrechen der Lichtbogenspannung verbunden. Die Simulationsergebnisse wurden von J. Paulke in einer vergleichbaren Anordnung experimentell untersucht und weitestgehend bestätigt.