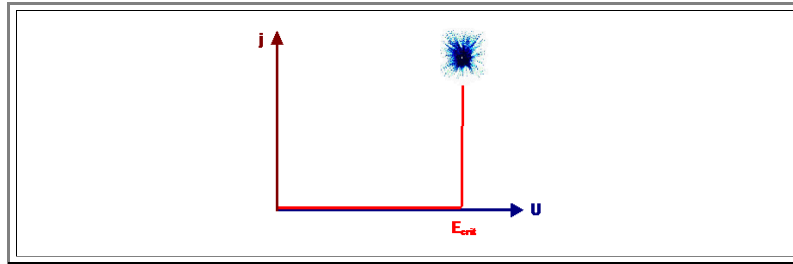


## 6.2 Elektrischer Durchbruch

### 6.2.1 Effekte und Mechanismen

Der **1. Hauptsatz der Materialwissenschaft** sagt es schon: Mit Gewalt kann man alles kaputt machen - Dielektrika sind keine Ausnahme. Erhöht man die Spannung an einem klassischen Kondensator und dadurch die Feldstärke im Dielektrikum, wird es früher oder später kräftig knallen. Wir haben **elektrischen Durchschlag** oder Durchbruch, d.h. plötzliches und sehr schnelles Anwachsen des Stromes von praktisch Null auf Werte die das Material in Bruchteilen von Sekunden zerstören.

- Der kritische Parameter ist die Feldstärke  $E$  im Dielektrikum. Überschreitet sie einen kritischen (und materialspezifischen) Wert  $E_{crit}$ , wird's knallen. Die (DC) Strom-Spannungs Kennlinie sieht etwa so aus (und kann nur einmal gemessen werden):



- Dummerweise ist  $E_{crit}$  keine besonders wohl definierte Materialeigenschaft, sie hängt von allem möglichen ab; z. B. auch von der Zeit, die das Dielektrikum schon einem Feld ausgesetzt war.

Die folgende Tabelle gibt deswegen nur eine Größenordnungsübersicht über kritische Feldstärken in diversen isolierenden Materialien.

Material	Durchbruchsfeldstärke [kV/cm]
Öl	200
Glas, Keramiken (Porzellan)	200...400
Glimmer (früher viel verwendet)	200...700
Ölpapier	1800
Polymere	50...900
SiO <sub>2</sub> in ICs	> 10 000

### Mechanismen des elektrischen Durchschlags

Was sind die *atomaren* Mechanismen des elektrischen Durchschlags? Keine einfach zu beantwortende Frage, und es gibt auch keine allumfassende und einfache Antwort. Was wir haben sind diverse Mechanismen, die auch kombiniert auftreten können. Die prominentesten Disaster Szenarien sind:

#### Thermischer Durchschlag

- Ein winziges Strömchen fließt lokal durch eine Schwachstelle des Dielektrikums. Mit zunehmender Feldstärke steigt dieser Strom, produziert lokale Erwärmung, die erzeugt atomare Fehlstellen im Kristall oder so was. Ionische Leitfähigkeit setzt ein, die Temperatur steigt lokal noch mehr an - *Bumm!* Das ist der am weitesten verbreitete Mechanismus in billigen und nicht sehr perfekten Materialien.

#### Lawinendurchbruch

- Auch der perfekte Isolator enthält noch ein paar freie Elektronen; es gibt dafür eine ganze Reihe von Gründen. In großen elektrischen Feldern werden diese Elektronen beschleunigt, und bei großem Feld nehmen sie viel Energie auf (d. h. sie werden sehr schnell) bevor sie wieder irgendwo reinknallen. Falls sie soviel Energie bekommen, dass sie aus den Atomen weitere Elektronen herausschlagen können, setzt eine Art Kettenreaktion ein mit dem Ergebnis: *Bumm!*

#### Lokale Entladungen

- In kleinen Hohlräumen wie sie z. B. in gesinterten Keramiken immer vorhanden sind, ist die Feldstärke größer als im soliden Material. Das kann dazu führen, dass in dem Hohlraum oder Void ein Mikrolichtbogen steht, der das Material "abbrennt". Der Hohlraum wird größer, der Lichtbogen kräftiger - *Bumm* !

#### ⚡ **Elektrolytischer Durchschlag**

- Lokale elektrolytische "Mikro"strompfade transportieren Ionen ins Material, die sich im Laufe der Zeit abscheiden und einen leitenden Pfad ins Innere des Materials bilden. Dadurch wird lokal die Dicke des Dielektrikums reduziert, die Feldstärke geht hoch - *Bumm* !

⚡ Wir lassen es mal damit bewenden, aber halten doch noch mal fest, dass Durchbruchfeldstärken von enormer technischer Bedeutung sind!

⚡ Und nun ganz schnelle Fragen

### Fragebogen

**Schnelle Fragen zu 6.2.1**