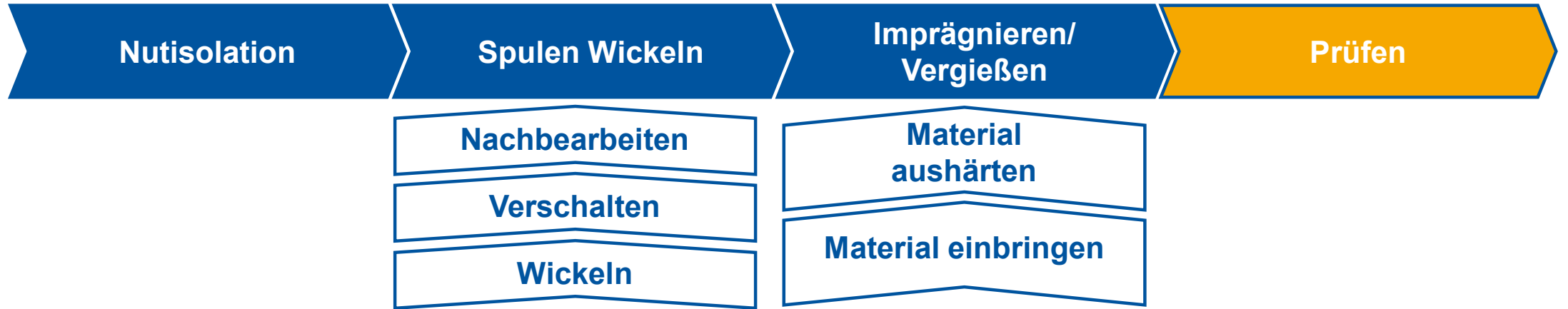


# Prozesskette und Prozessalternativenmorphologie

## Stator



Statorproduktion						
Nutisolation	Folie	Dünnwand-spritzguss	Kunststoffformteile	Bandagieren von Formspulen	Pulverbeschichtung	Isolierpaste
Wickeltechnologie	Flyerwickeln	Nadelwickeln	Linearwickeln	Steckspulen	Roboterwickeln	Manuell bewickeln
Wicklungsapplikation	Direkt	Vorlegen und Einziehen		Formspulen einsetzen	Formstäbe einsetzen	
Wicklungsbearbeitung	Zwischen- und Endformen		Deckenschieber einbringen	Bandagieren	Draht schneiden	
Draht bündeln	Splice Technik		Power Wheel Technik		Warmverpressen von Blechhülsen	
Kontaktieren	Löten	Widerstands-schweißen	Lichtbogenschweißen	Steckverbindung	Schneid-Klemmverbindung	Laserschweißen
Wicklung erwärmen	Ofen		Widerstandserwärmung		Induktiv erwärmen	
Imprägnieren	Tränken	Träufeln	Vakuuminprägung	Vakuumdruckimprägung	Backlack	Spritzguss
Reinigen	Laserreinigen		Abblasen	Entgraten	Nachlackieren	

☐ gebräuchlich    ☑ nicht gebräuchlich



**Isolationsfestigkeit Windungsschluss**

**Isolationsfestigkeit Phasenschluss**

**Isolationsfestigkeit Eisenschluss**

**Imprägnierung: Füllung Nutgrund**

**Stromverdrängungserscheinung**

**Füllfaktor Kupfer**

**Füllfaktor Imprägnierung**

**Drahtdurchmesser**

**Wicklungswiderstand**

**Leitende Kontaktierung**

**Phasenverschaltung**

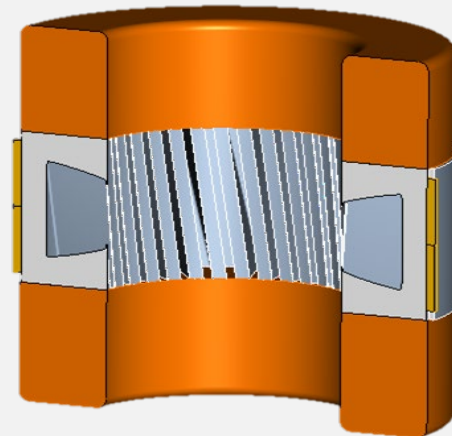
**Beschädigung Isolierpapier**

**Polarisationsfähigkeit**

**Spannungsfestigkeit**

**Teilentladungen**

**Verhältnis aktive Länge zu Wickelkopf**

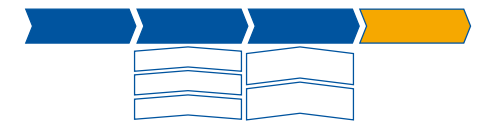


## Prüfzenarien und Prüfprozesse

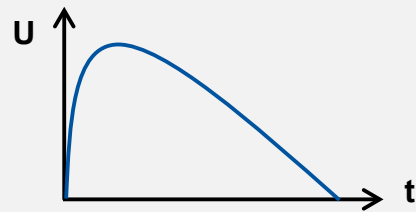
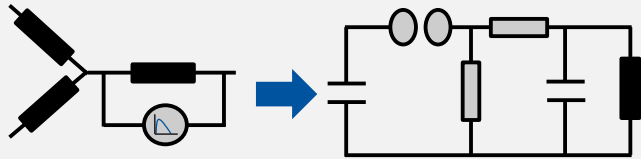
1. **Stoßspannungsprüfung** zum Detektieren von Windungsschlüssen und Isolationsfehlern innerhalb einer Wicklung
2. **Hochspannungsprüfung AC** zur Ermittlung des Isolierwiderstandes über den Summenstrom aus ohmschem und kapazitivem Anteil sowie zur Detektion von Masse- und Phasenschlüssen
3. **Hochspannungsprüfung DC** zur Überprüfung der elektrischen Isolationsfähigkeit sowie zur Detektion von Masse- und Phasenschlüssen
4. **Polarisationsprüfung** zur Überprüfung der Isolationsqualität anhand der Polarisierbarkeit der im Isolator befindlichen Ladungsträger
5. **Teilentladungsprüfung** zur Detektion von Qualitätsmängeln der Wicklung (partielle Durchschläge) die mit der herkömmlichen HV-Messtechnik nicht erkennbar sind
6. **Widerstandsprüfung** zur Ermittlung und Prüfung der Phasenwiderstände.

## Anlagentechnik und Automatisierungsgrad

- Prüfstand zur Generierung der Prüfspannungen – manuell oder vollautomatisch
  - Voltmeter
  - Amperemeter
  - Hochfrequente Mess- und Filtertechnik
  - Messrechner
- Die Messungen finden in der Regel Inline statt



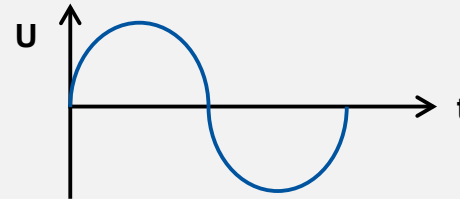
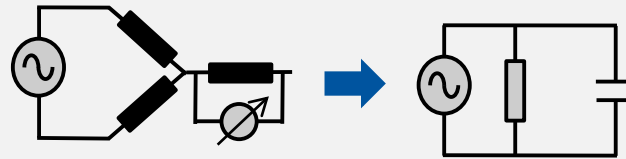
### Stoßspannung



- Stoßimpuls durch sehr schnelles Parallelschalten eines geladenen Kondensators auf die zu prüfende Wicklung
- Entladen der gespeicherten Energie in die Induktivität und Beobachtung der Reaktion
- Surge-Test: Impulse mit einer Anstiegs-/ Abfallzeit von z.B. 1,2/50  $\mu$ s
- Prüfmethode zum Detektieren von Windungsschlüssen und Isolationsfehlern innerhalb einer Wicklung

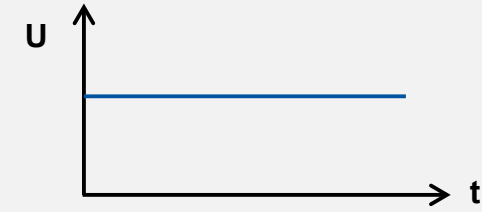
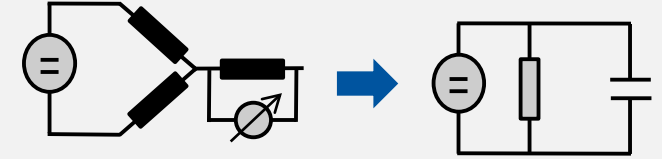
$$i(t) = \frac{U}{\omega L} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \omega t$$

### HV AC



- Hohe Wechselspannung mit hohem Strombedarf durch große Kapazität
- Bei Überschreitung eines Grenzstromes erfolgt automatisch eine Schnellabschaltung der Prüfspannung
- Vorgabe eines Mindeststromes möglich, um Hochspannung am Prüfling sicherzustellen
- Durchführung häufig an mehreren Prüfpunkten mittels Hochspannungsprüfpistolen
- Prüfmethode zur Ermittlung des Isolierwiderstandes über den Summenstrom aus ohmschem und kapazitivem Anteil sowie zur Detektion von Masse- und Phasenschlüssen

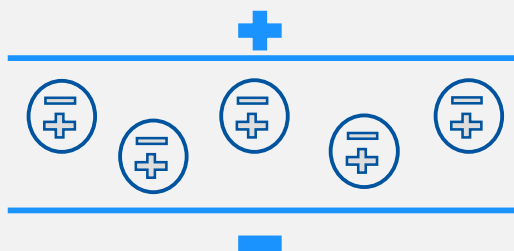
### HV DC



- Mit 1,5-facher Prüfspannung Alternative zur HV AC-Prüfmethode (je nach Norm)
- Auswertung sowohl auf maximalen Strom als auch auf minimalen Isolationswiderstand
- Nach Aufladen der Kondensatoren wird nur noch der ohmsche Isolationswiderstand erfasst
- Ansonsten analog zu HV AC
- Prüfmethode zur Überprüfung der elektrischen Isolationsfähigkeit sowie zur Detektion von Masse- und Phasenschlüssen

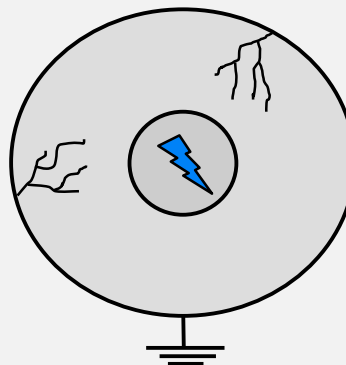


### Polarisationsprüfung



- Die zum Drehen der Ladungsträger im Isolator benötigte Kraft lässt sich in Form eines Stroms bei der HV DC-Prüfmethode messen
- Polarisation ist die Fähigkeit der im Isolator befindlichen Ladungsträger, sich am elektrischen Feld auszurichten
- Der Polarisationsindex ist eine Messgröße, um die Qualität der Isolation zu bestimmen
- Er wird durch den Quotienten aus dem Strom nach einer Minute und dem Strom nach 10 Minuten beschrieben (je größer, desto besser)
- Je älter die Isolation ist, desto schlechter die Beweglichkeit der Ladungsträger, desto geringer die elektrische Isolierfähigkeit

### Teilentladungsprüfung



- Die Teilentladungsprüfung erfolgt mit der HV AC- oder der Stoßspannungsprüfmethode und wird unterstützt durch eine Koppeltechnik in Kombination mit hochfrequenter Filtertechnik
- An einer offenen Statorwicklung erfolgt die Prüfung durch eine hochempfindliche Messantenne
- Ziel ist die Bestimmung der Einsetz- und Aussetzspannung von Teilentladungen
- HV AC: Mit der Prüfspannung wird eine Rampenfunktion durchfahren bis erste Teilentladungen auftreten
- Stoßspannung: Die Prüfspannung wird schrittweise erhöht und das Teilentladungssignal währenddessen beobachtet

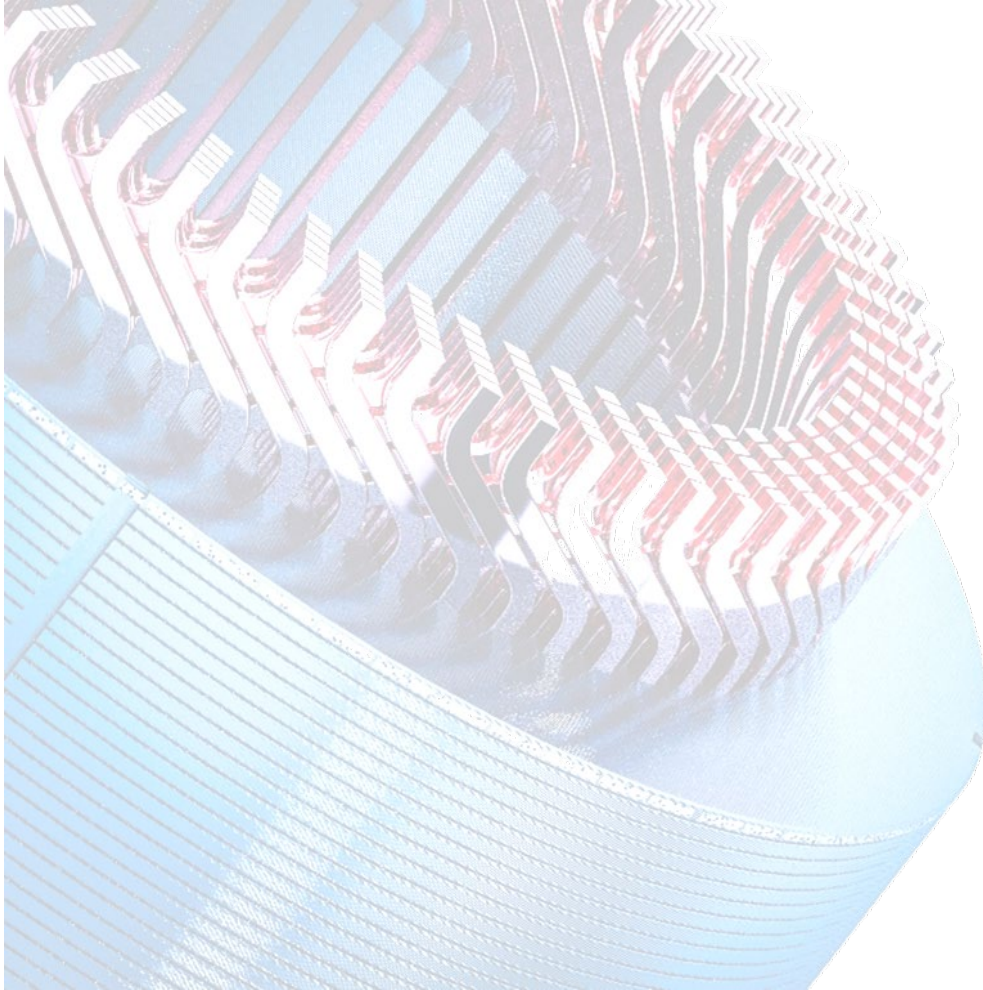
### Widerstandsprüfung



- Aufschalten einer DC-Prüfspannung auf die stromführenden Leiter gegen Erde
- Bestimmung des Gesamtwiderstandes aller parallel geschalteten ohmschen Isolationswiderstände mit Hilfe einer Strommessung
- Bewertung mit Hilfe des Widerstandssollwertes und einer vorgegebenen zulässigen +/- Toleranz
- Ist der Isolationswiderstand zu gering, kann es zu einer zu hohen Berührungsspannung an metallischen Teilen des Gerätes kommen

# Statorproduktion

## In diesem Vortrag wurden...



... die Grundlagen der Statorproduktion erläutert und Prüfprozesse für die Statorproduktion vorgestellt

... die Bewicklung und Imprägnierung als Kernprozesse der Statorproduktion identifiziert

... der Füllfaktor und die Isolationsfestigkeit als Hauptqualitätsmerkmale des Stators identifiziert

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

---



## **Christian Stäck, M.Sc.**

---

*Chair of Production Engineering of E-Mobility Components*  
**Wissenschaftlicher Mitarbeiter**

Bohr 12  
D-52072 Aachen  
Tel.: +49 (0) 151 4236 5238  
Mail: [c.staeck@pem.rwth-aachen.de](mailto:c.staeck@pem.rwth-aachen.de)