

# Prüfung von Leistungsschaltern: Neues und bewährte Verfahren

Reinhold Franz

Regional Sales Manager bei Techimp Germany

rfranz@doble.com



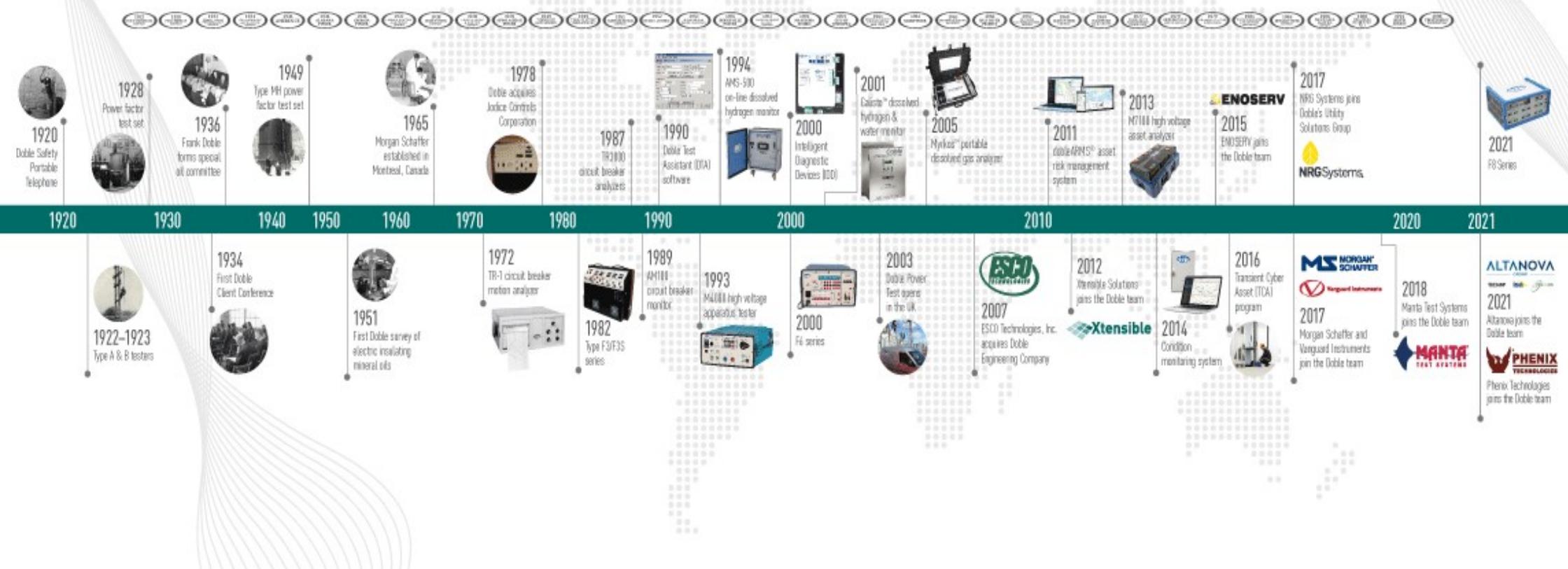
©2024 Doble Engineering. All Rights Reserved.

Wir bieten technisches Fachwissen und fortschrittliche Diagnostik, um sicherzustellen, dass alle Menschen weltweit über **zuverlässige, sichere und nachhaltige Energie** verfügen.

---

AUF ÜBER EINEM JAHRHUNDERT AN INNOVATION UND KOMPETENZ AUFBAUEND SIND WIR BEREIT FÜR DAS NÄCHSTE JAHRHUNDERT.

# 100 YEARS OF SERVICE TO THE ELECTRIC UTILITY INDUSTRY



# Doble heute



**110**

LÄNDER



**12**

Niederlassungen  
weltweit



**800+**

MITARBEITER



**5.550+**

KUNDEN WELTWEIT



Teil der Utility  
Solutions Group  
von ESCO  
Technologies

## UNSERE MARKEN



# Zuverlässigkeit in Zeiten des Wandels



- Energiewende
- Wachsender Strombedarf
- Verteilte Energieerzeugung und erneuerbare Energien
- Steigende Cyber Security - und Regulierungsanforderungen
- Mit dem IoT Schritt halten
- Künstliche Intelligenz u. neue Technologien

Mit Blick auf die Zukunft steht Doble den Netzbetreibern zur Seite, um die kommenden Herausforderungen zu meistern – so wie wir es in den letzten 100 Jahren getan haben.

# Optimieren Sie Ihr Asset Management

- Zustandsüberwachung / Permanent Monitoring
- Enterprise Asset Management
- Schutzprüfung
- Offline-Prüfungen und Zustandsdiagnosen
- Beratungs- und Diagnosedienstleistungen
- Online-Zustandsdiagnosen
- Sicherheit und Compliance
- Ölstandards



# EINFÜHRUNG LEISTUNGSSCHALTER



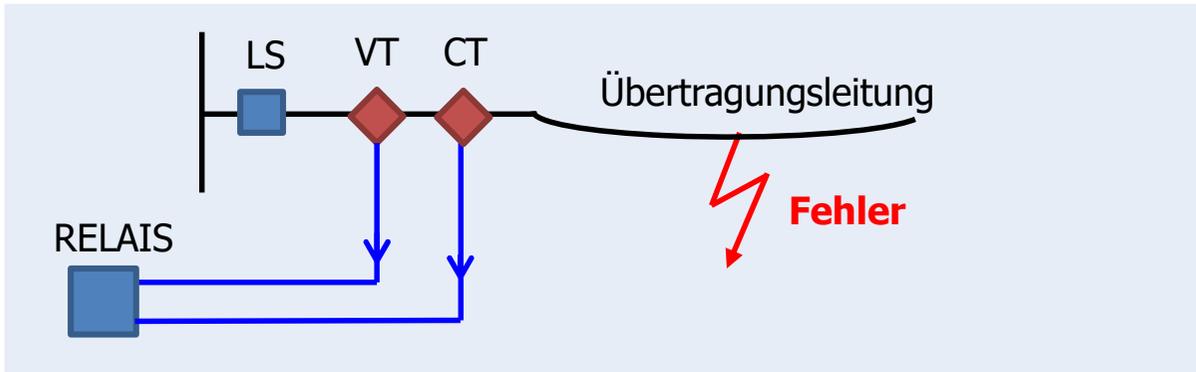
# Was ist ein Leistungsschalter?

Ein Leistungsschalter ist ein automatisch betriebenes elektrisches Gerät, das dazu dient, Stromkreise unter Last- oder Fehlerbedingungen zu schließen und zu öffnen.

Seine Aufgabe besteht darin, den Laststrom im Normalbetrieb aufrechtzuerhalten und Fehlerströme in der SCHNELLSTMÖGLICHEN ZEIT zu unterbrechen.



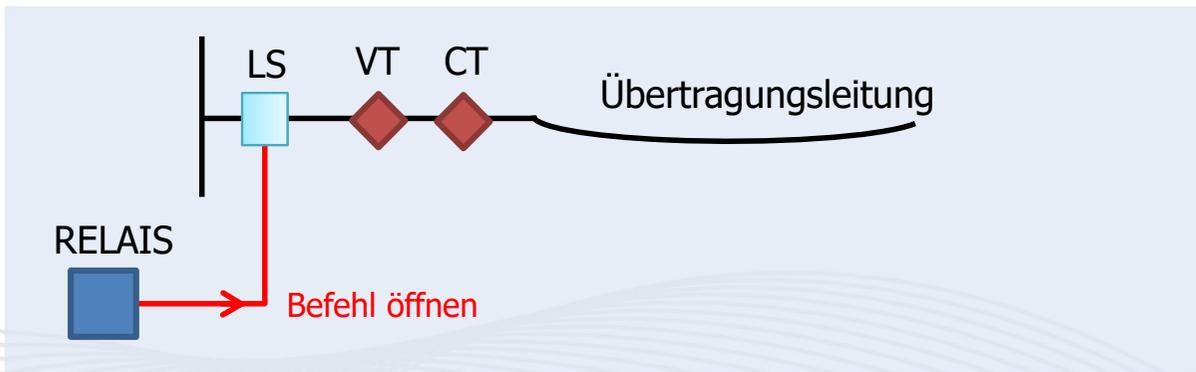
# Was ist ein Leistungsschalter?



Leistungsschalter (LS) geschlossen



Über die Messung mittels Spannungswandler (VT) und Stromwandler (CT) erkennt das Schutzrelais einen Fehlerzustand.

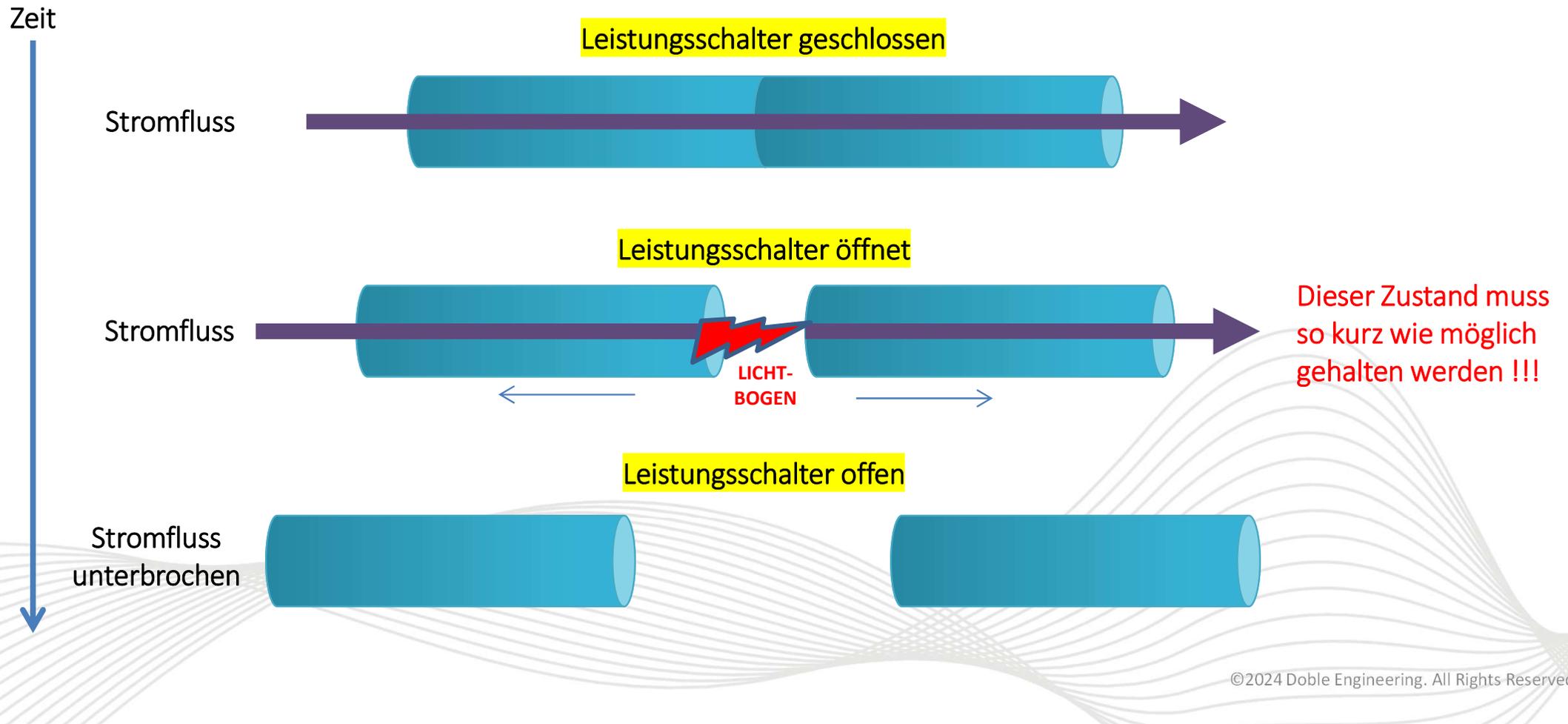


Das Relais befiehlt dem Leistungsschalter, sich zu öffnen, um den Fehlerstrom zu unterbrechen.

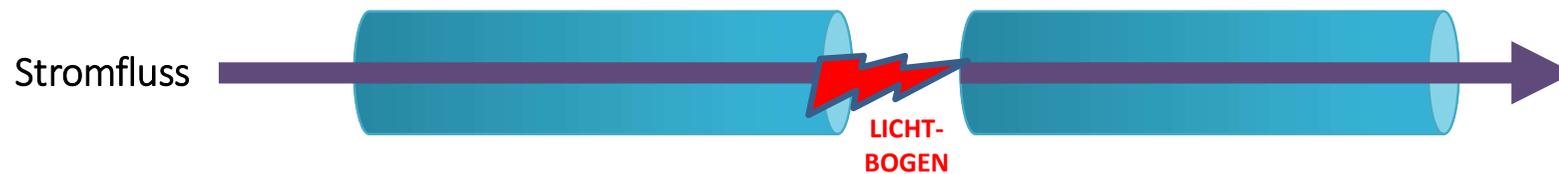
Leistungsschalter (LS) offen



# Sobald ein Fehler auftritt ...



# Die Schaltzeit beim Öffnen des LS ist der wichtigste Parameter



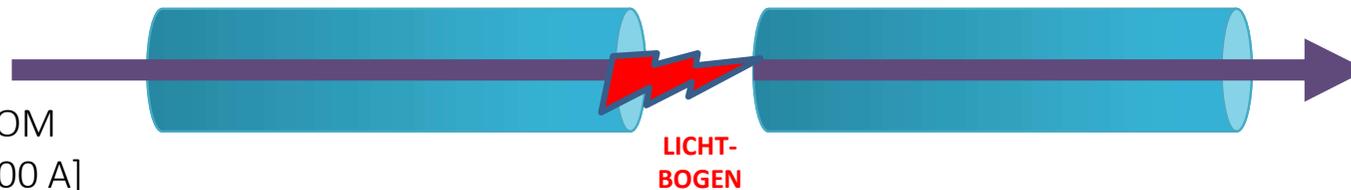
Steht der Lichtbogen zu lange an, kann er die Leiter beschädigen!  
Die Öffnungszeit darf niemals mehr als einige zehn Millisekunden betragen!



# Gefahren durch den Lichtbogen

Leistungsschalter öffnet

LASTSTROM  
[100 A ÷ 300 A]



Der Hauptkontakt ist so ausgelegt, dass er hunderten normalen Laststromunterbrechungen standhält ...

Leistungsschalter öffnet

FEHLERSTROM  
[ > 1000 A ]



... aber der Hauptkontakt hält nur wenigen Fehlerstromunterbrechungen stand.



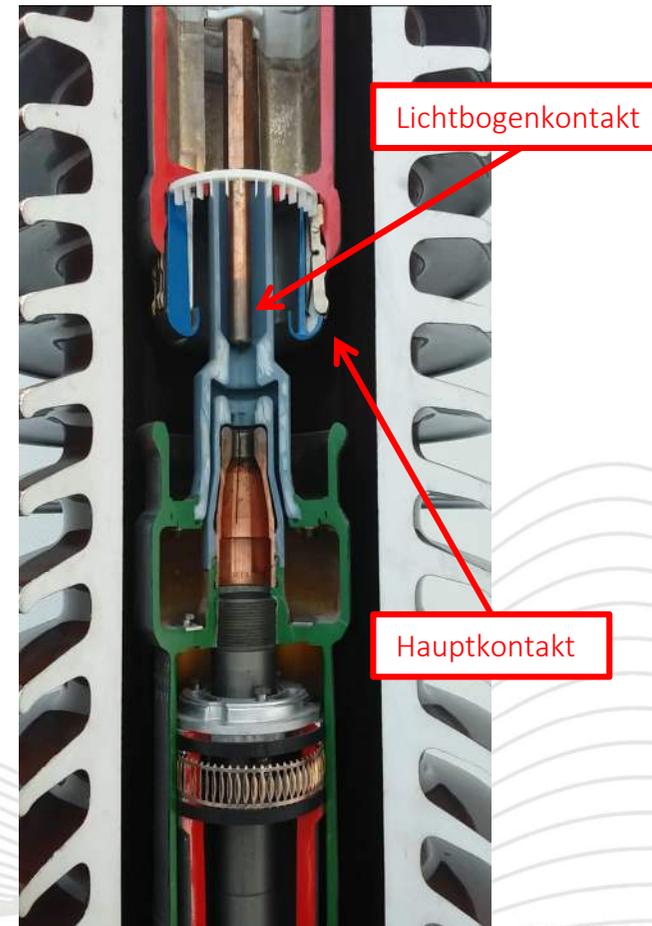
FEHLERSTROMUNTERBRECHUNGEN FÜHREN ZU EINER ERHEBLICHEN VERRINGERUNG DER RESTLEBENSDAUER DES LEISTUNGSSCHALTERS!

# Lichtbogenkontakt

Der Zweck des Lichtbogenkontakts besteht darin, den Lichtbogen zu löschen, der in den ersten Millisekunden des Öffnungsvorgangs entsteht.

Er besteht aus einem Kontakt mit einem höheren Widerstand als der des Hauptkontakts ... einige  $m\Omega$  verglichen mit einigen Hundert  $\mu\Omega$ . Er hält den Kontakt zum anderen Pol etwas länger als der Hauptkontakt.

Jedes Mal, wenn der Leistungsschalter einen Fehlerstrom unterbricht, brennt ein Teil des Lichtbogenkontakts weg, sodass dessen Länge gemessen/überwacht werden muss (wird später erläutert).



# SF6-Gas

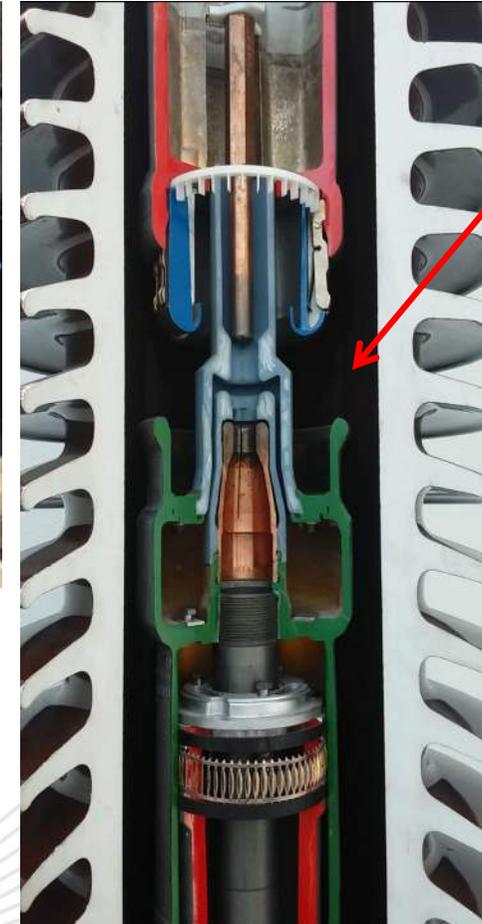
SF6 (Schwefelhexafluorid) ist ein nicht brennbares, ungiftiges und geruchloses Gas, das als Unterbrechungsmedium und Isoliermedium fungiert.

SF6 wird in der Schaltkammer komprimiert: Je höher der Druck, desto höher ist die Schaltleistung.

Jeder SF-6-Verlust verringert den Druck und wenn er zu niedrig wird, kann der LS nicht arbeiten



Ventil unter dem Leistungsschalter zum Befüllen mit SF6



Komprimiertes SF6-Gas

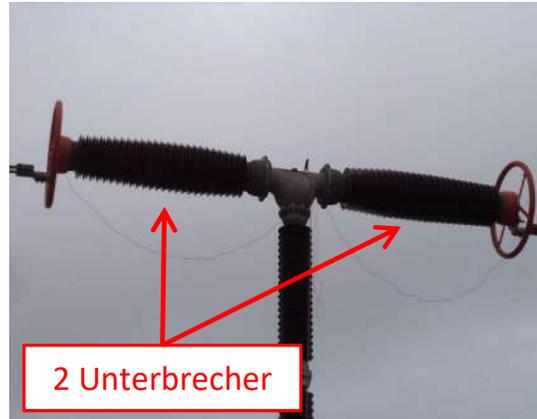


# Schaltkammern

HS-Leistungsschalter können mehr als einen beweglichen Kontakt (Unterbrecher) in Reihe geschaltet haben, die zum Unterbrechen von Last- oder Fehlerströmen verwendet werden.



1 Unterbrecher pro Phase  
(bis 300 kV - LS in SF6)



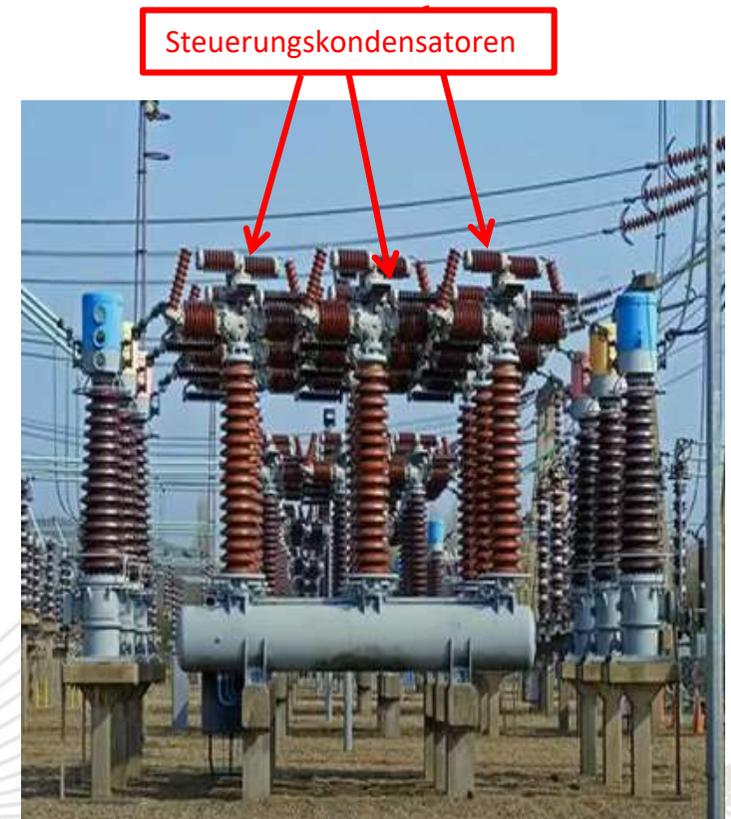
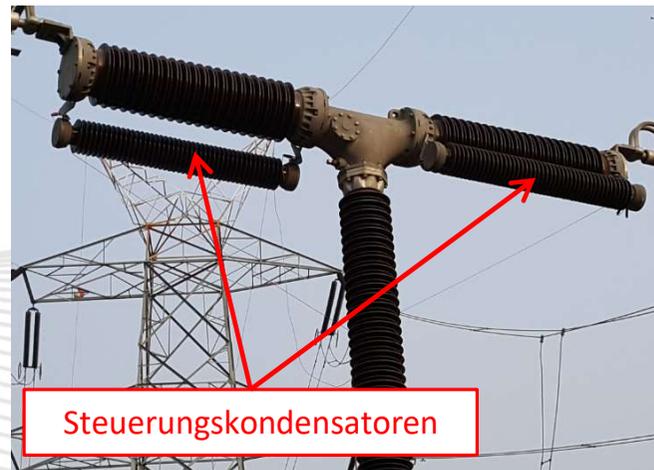
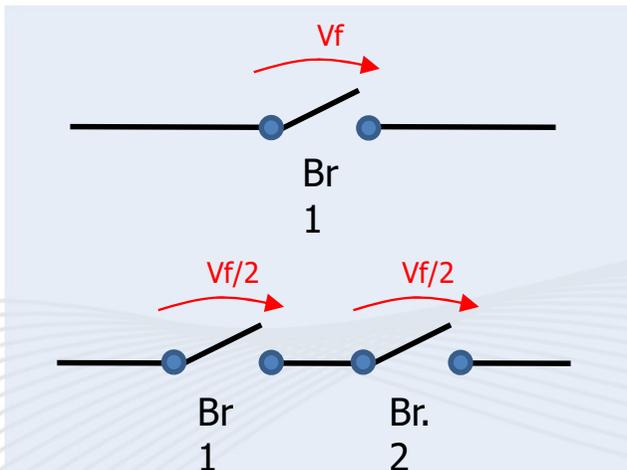
2 Unterbrecher pro Phase  
(bis 550 kV – LS in SF6)



# Steuerungskondensatoren

Steuerungskondensatoren sorgen im Normal- und Schaltbetrieb für eine gleichmäßige Spannungsverteilung über die Unterbrecher.

Sie können unter bestimmten Bedingungen auch die Schaltleistung des Leistungsschalters erhöhen



# Leistungsschalter Befehle



Steuerungsschrank

Klemmenblock inklusive O/C-Spulen und Hilfskontakte



Hilfsschrank\_  
63kV Leistungsschalter



Steuerungsschrank Hydraulik

# Spulen-Befehle

Schaltvorgänge des Leistungsschalters werden durch Befehle ausgelöst:

Öffnen durch Ansteuern der Ausschaltspule

Schließen durch Ansteuern der Einschaltspule

Leistungsschalter	LV 600 V	MV und HV Bis 50 kV	EHV 225/410 kV
Öffnen		 	  
Schließen		 	

Ansteuerung des LS möglich über

- Lokaler Steuerschrank (über Hilfskontakte)
- Fernwirktechnik
- Relais (Schutzsystem)

**HINWEIS:** Die Vorortprüfung erfolgt über die Hilfskontakte des Leistungsschalters.



Klemmenblock f. Spulenansteuerung

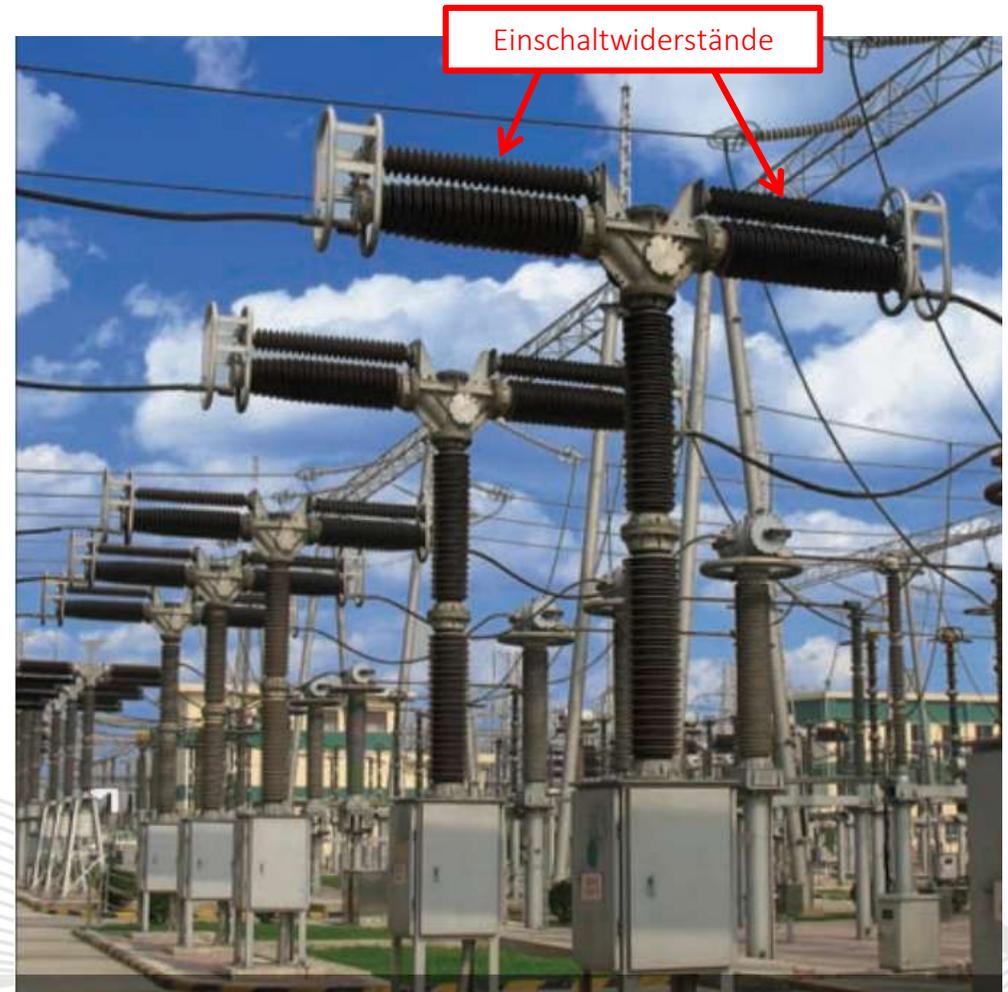
# Einschaltwiderstand (PIR - Pre-insertion resistor)



Einschaltwiderstände werden zur Verringerung von Überspannungen und Transienten während des Schließvorgangs verwendet.

Steuerungskondensatoren und Einschaltwiderstände können gleichzeitig vorhanden sein.

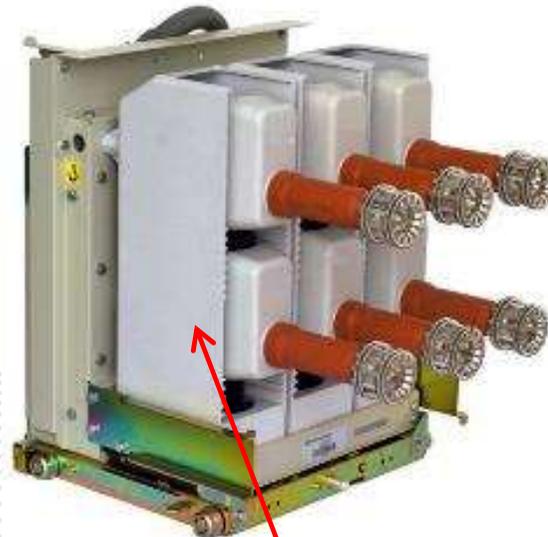
Spannungs-Transienten können Spannungsspitzen aufweisen, deren Wert über der Nennspannung liegt



# Schaltkammern

Mittelspannungs-Leistungsschalter (Schaltanlagen) verfügen normalerweise über einen Schaltkontakt (Unterbrecher).

Diese Geräte sind für den Betrieb bei niedrigerer Spannung ausgelegt, erfüllen aber grundsätzlich die gleiche Aufgabe wie Hochspannungs-Leistungsschalter.

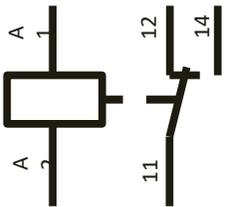


1 Unterbrecher

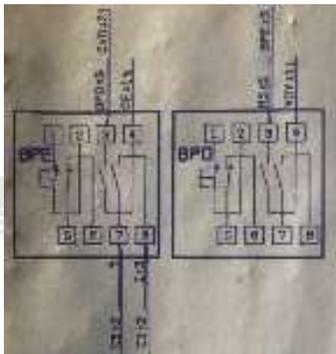
# Schaltablauf

Werden die Spulen angesteuert, lösen diese die Federn aus.

SPULEN-BEFEHLE



Hilfskontakte für die Spulen-Befehle

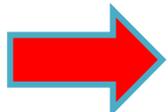
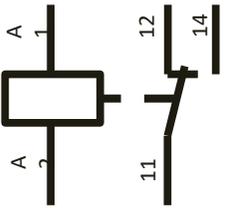


# Schaltablauf



Werden die Spulen angesteuert, lösen diese die Federn aus.

SPULEN-BEFEHLE



MECHANISMEN  
und  
HEBELWIRKUNGEN 

Die Federn geben die gespeicherte Energie an die Mechanismen ab

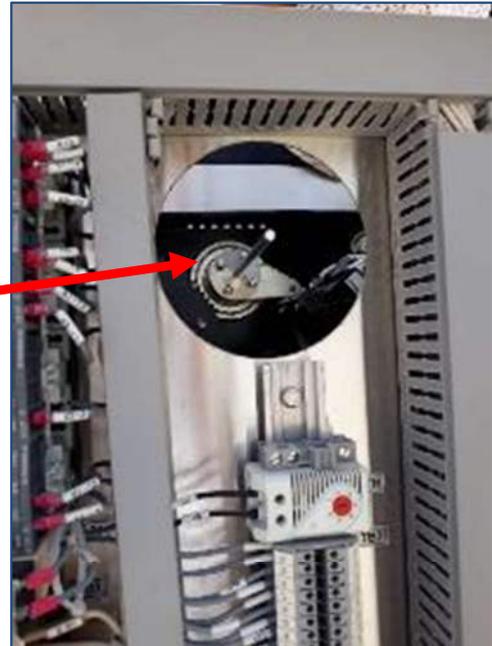


Federn 

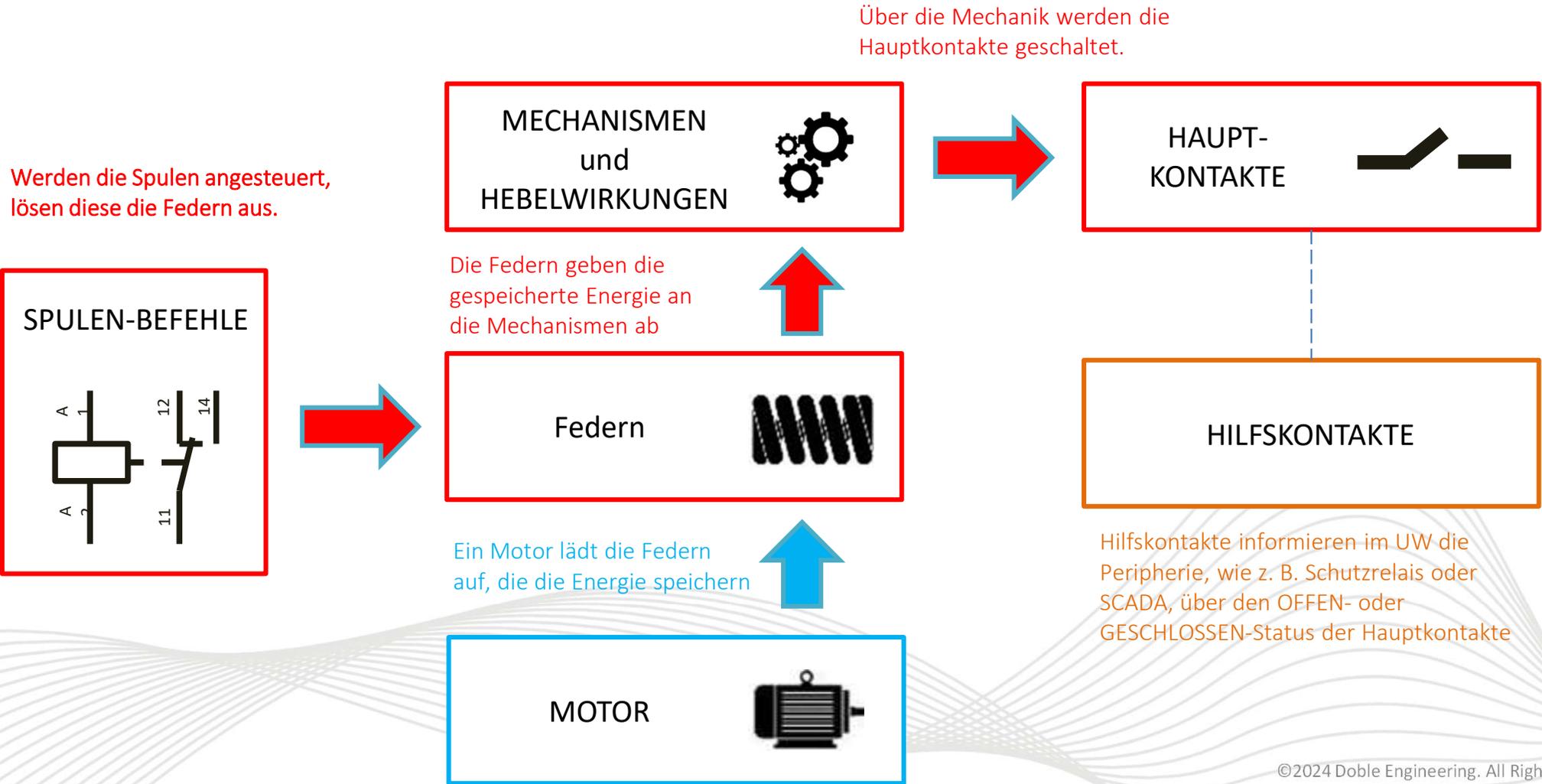
Ein Motor lädt die Federn auf, die die Energie speichern



MOTOR 



# Schaltablauf



# LEISTUNGSSCHALTERWARTUNG

(\* ) Quelle: EXCELEC Datasheet – Edition 2007  
Levels based on the Afnor FDX 60000 booklet - Industrial maintenance -  
Maintenance function (contains maintenance levels - May 2002 publication)



# Hochspannung: SF6- oder Öl-Leistungsschalter

Maßnahmen	Intervall	Level
Sichtprüfung des allgemeinen Zustands, Sauberkeit, Absplitterungen, Risse, Korrosionsfreiheit an den Streben, usw.	jährlich, - online	1
Anzahl Schaltvorgänge	jährlich	
Anzugskontrolle: - Rahmenschrauben - HS-Anschlüsse	jährlich, - online - offline	2
Überprüfung des allgemeinen Zustandes und ob Erdungsanschlüsse frei von Überhitzungsspuren sind.	jährlich, - online	
Ölstand prüfen (bei ölisolierten LS), Überprüfung der Dichtungen	jährlich , - online	
Kontrolle des SF6-Drucks/Füllstands (bei SF6-isolierten LS)	alle 3 Jahre , - online	
Porzellan reinigen (besondere Gefahr: Porzellan unter Druck)	alle 3 Jahre , online/offline	

1

**Routinewartung**, die erforderlichen Maßnahmen sind in der Regel im Wartungshandbuch des Herstellers beschrieben.

2

Maßnahmen, die **einfache Verfahren** und/oder **einfach zu handhabendes Equipment** erfordern (allgemein beschrieben im Wartungshandbuch des Herstellers).



# Hochspannungs-Öl-Leistungsschalter

Maßnahme	Intervall	Level
Überprüfung von Schaltzeiten und deren Synchronität	alle 3 Jahre , - offline	3
Messung dielektrischer Verluste (Pole, Isolieröl, ggf. isolierendes Getriebeöl)	alle 3 Jahre , - offline	4
statische Widerstandsmessung der Hauptkontakte	alle 3 Jahre , - offline	4
Austausch des Isolieröls	alle 5 Jahre , - offline	2
Lichtbogenkontakte auf Verschleiß prüfen (dynamische Widerstandsmessung)	alle 5 Jahre , - offline	4
Erneuerung und Modernisierung	alle 20 Jahre	2

2

Maßnahmen, die **einfache Verfahren** und/oder **einfach zu handhabendes Equipment** erfordern (beschrieben im Wartungshandbuch des Herstellers).

3

Maßnahmen, die **aufwendigere Verfahren** und/oder **in der Anwendung anspruchsvolleres Equipment** erfordern.

4

Maßnahmen, die **spezielle Verfahren** sowie den **Einsatz speziellen Equipments** erfordern.



# Hochspannungs-SF6-Leistungsschalter

Maßnahmen	Intervall	Level
Überprüfung von Schaltzeiten und deren Synchronität	alle 3 Jahre , - offline	3
Überprüfung der Gasdichtemessung und der Gasqualitätskontrolle	alle 5 Jahre , - offline	4
statische Widerstandsmessung der Hauptkontakte	alle 5 Jahre , - offline	5
Austausch von Kondensatoren (falls zutreffend)	alle 5 Jahre	3
Erneuerung und Modernisierung	alle 20 Jahre	5

3

Maßnahmen, die **aufwendigere Verfahren** und/oder **in der Anwendung anspruchsvolleres Equipment** erfordern.

4

Maßnahmen, die **spezielle Verfahren** sowie den **Einsatz speziellen Equipments** erfordern.

5

Maßnahmen, die **Expertenwissen** sowie den **Einsatz speziellen Equipments** erfordern.



# Hochspannungs-GIS-Leistungsschalter

Maßnahme	Intervall	Level
Messung der Schaltzeiten (Haupt- und Hilfskontakte)	alle 5 Jahre , - offline	3
Kontaktverschleiß prüfen	nach 5000 Schaltspielen - offline	4
Austausch von Kondensatoren	nach 5000 Schaltspielen oder 25 Jahren - offline	5
Überprüfung der Einstellung der Leistungsschalterverknüpfungen (falls zutreffend)	alle 15 Jahre , - offline	3
Erneuerung und Modernisierung	alle 20 Jahre	5

3

Maßnahmen, die **aufwendigere Verfahren** und/oder **in der Anwendung anspruchsvolleres Equipment** erfordern.

4

Maßnahmen, die **spezielle Verfahren** sowie den **Einsatz speziellen Equipments** erfordern.

5

Maßnahmen, die **Expertenwissen** sowie den **Einsatz speziellen Equipments** erfordern.



# Leistungsschalter-Prüfgeräte

Einige der zuvor genannten Maßnahmen erfordern durchaus aufwendige Technik:

- Überprüfung von Schaltzeiten und Synchronität der Schaltvorgänge (Hauptkontakte)
- Statische Widerstandsmessung (SRM )
- Dynamische Widerstandsmessung (DRM)

Diese Tests können mit Leistungsschalter-Prüfgeräten durchgeführt werden, deren Technologien sich weiterentwickeln, um präzise und zuverlässige Messungen zu gewährleisten und gleichzeitig die Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit zu verbessern.

Leistungsschalter-  
Prüfgeräte



# Leistungsschalter-Prüfgeräte



CBA 1000



CBA 2000



CBA 3000

BIS ZU 2 UNTERBRECHERN PRO PHASE	JA	JA	JA
BIS ZU 6 UNTERBRECHERN PRO PHASE	NEIN	JA	JA
STATISCHER UND DYNAMISCHER KONTAKTWIDERSTAND	JA, einphasig	JA, einphasig	JA, dreiphasig
WEGAUFNEHMER/-WANDLER	1 analog	3 analog oder 3 digital	4 analog oder 4 digital
MESSUNG BEI BEIDSEITIGER ERDUNG - LUFTISOLIERTE SCHALTER	<b>NEW!</b> JA (1 PAUSE PRO PHASE)	<b>NEW!</b> JA (1 PAUSE PRO PHASE)	JA ( BIS ZU 2 UNTERBRECHER PRO PHASE)
MESSUNG BEI BEIDSEITIGER ERDUNG - GASISOLIERTE SCHALTER	NEIN	NEIN	JA

# CBA 1000 / CBA 2000

## Die wichtigsten Messungen und Prüfungen

### Grundfunktionen

- Schaltzeiten O, C, OC, CO, OCO
- Peak des Schaltstroms
- Dauer des Schaltstroms
- Schaltstromprofil
- Schaltzeit der Hilfskontakte

Bis zu **2 Unterbrecher** pro Phase (CBA 1000)  
Bis zu **6 Unterbrecher** pro Phase (CBA 2000)

### Optionen

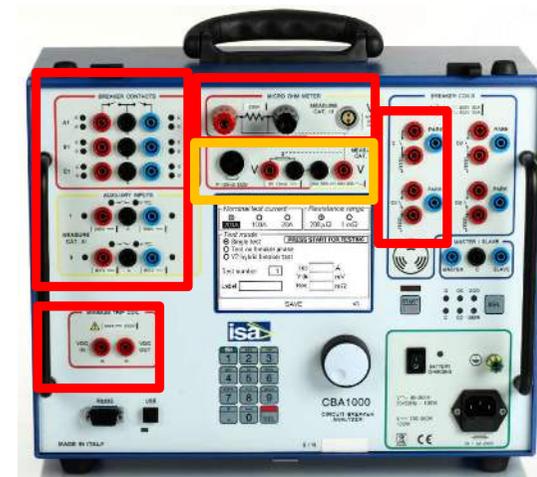
- Statische Widerstandsmessung (SRM)
- Dynamische Widerstandsmessung (DRM)
- Prüfung Unterspannungsauslösung (MTC)
- Bewegungsprofil und Geschwindigkeit
- Druck
- Motorstrom
- First Trip Prüfung
- Schaltzeiten O, C, OC, CO, OCO bei beidseitiger Erdung

**Integriertes** Mikroohmmeter 200 A

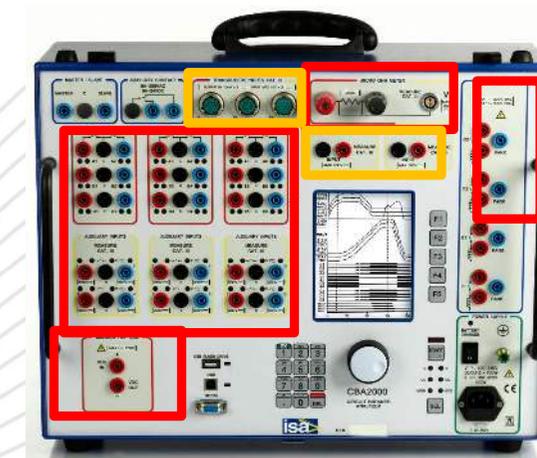
**Eingebettetes** Modul

Mit **externem** Zubehör (Zangen, Strom, Wandler, Zubehör) möglich

**externe** Klemmen



CBA 1000



CBA 2000



# CBA 3000

## Grundfunktionen

- Schaltzeiten O, C, OC, CO, OCO
- Peak des Schaltstroms
- Dauer des Schaltstroms
- Schaltstromprofil
- Schaltzeit der Hilfskontakte

Bis zu **2 Unterbrecher** pro Phase  
Bis zu **4/6/8 Unterbrecher** pro Phase (Option)

## Optionen

- Statische Widerstandsmessung (SRM)
- Dynamische Widerstandsmessung (DRM )
- Prüfung Unterspannungsauslösung (MTC)
- (Thermodrucker)
- Bewegungsprofil und Geschwindigkeit
- Druck
- Motorstrom
- First Trip Prüfung
- Messung an luft- und gasisolierten Schaltern bei beidseitiger Erdung

Bis zu **3 integrierte** Mikroohmmeter 200 A

**integrierte** Module

Mit **externem** Zubehör (Stromzangen, Messwandlern, etc.) möglich



# CBA 1000 – Hauptmerkmale



2 Unterbrecher pro Phase:  
Digitale Haupt-Eingänge

4 digitale Hilfseingänge  
(potenzialfrei oder  
spannungsführend bis 300 V)

Optionales Modul:  
Unterspannungsauslösung  
oder Thermodrucker

USB- und RS232-  
Kommunikationsanschluss

Tastenfeld



Optional:  
200 A  $\mu\Omega$  Messgerät

1 Wandlerkanal/ analoger  
Eingang  
(Wegaufnehmer/Strom-  
zangen, optionales Zubeh.)

Spulenbefehle:  
1 Öffnen (+ 2 optionale)  
1 Schließen

Großes grafisches Display

Auswahl Messungen

Multifunktionsknopf

# CBA 2000 – Hauptmerkmale



2/4/6 Unterbrecher pro Phase:  
Digitale Haupt-Eingänge

4/8/12 digitale Hilfseingänge  
(potenzialfrei oder  
spannungsführend bis 300 V)

Optionales Modul:  
Unterspannungsauslösung  
oder Thermodrucker

USB- und RS232-  
Kommunikationsanschluss  
+ Flash Memory

Tastenfeld

3 Wandlerkanäle/digitale  
Eingänge (Wegaufnehmer/  
Stromzangen, optionales  
Zubehör)

Optional:  
200 A  $\mu\Omega$  Messgerät

Analoge Eingänge (Wandler  
& Stromzangen optional)

Spulenbefehle:  
1 Öffnen (+ 2 optionale)  
1 Schließen

Großes grafisches Display

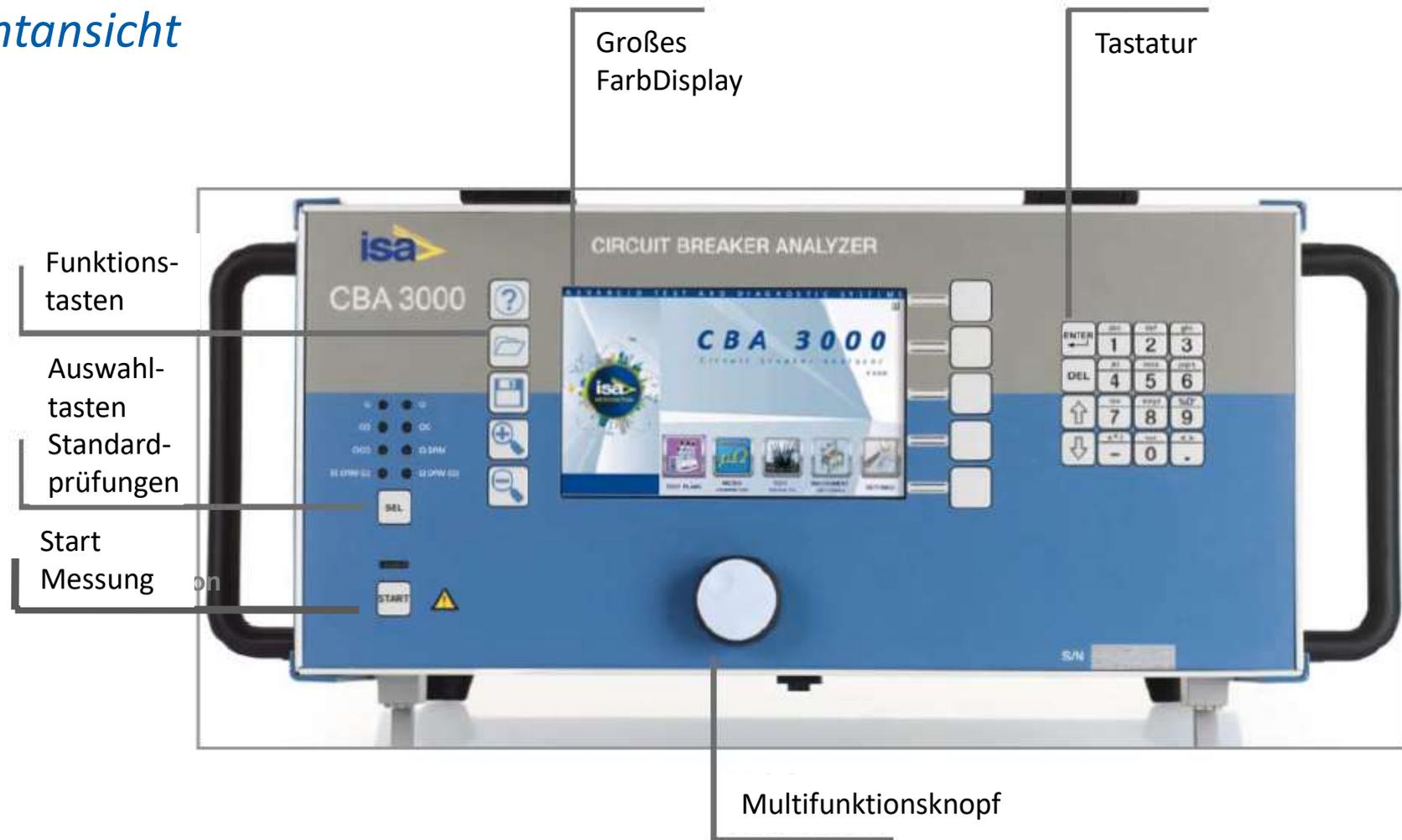
Auswahl Messungen

Multifunktionsknopf

# CBA 3000 – Hauptmerkmale



Frontansicht



# CBA 3000 – Hauptmerkmale

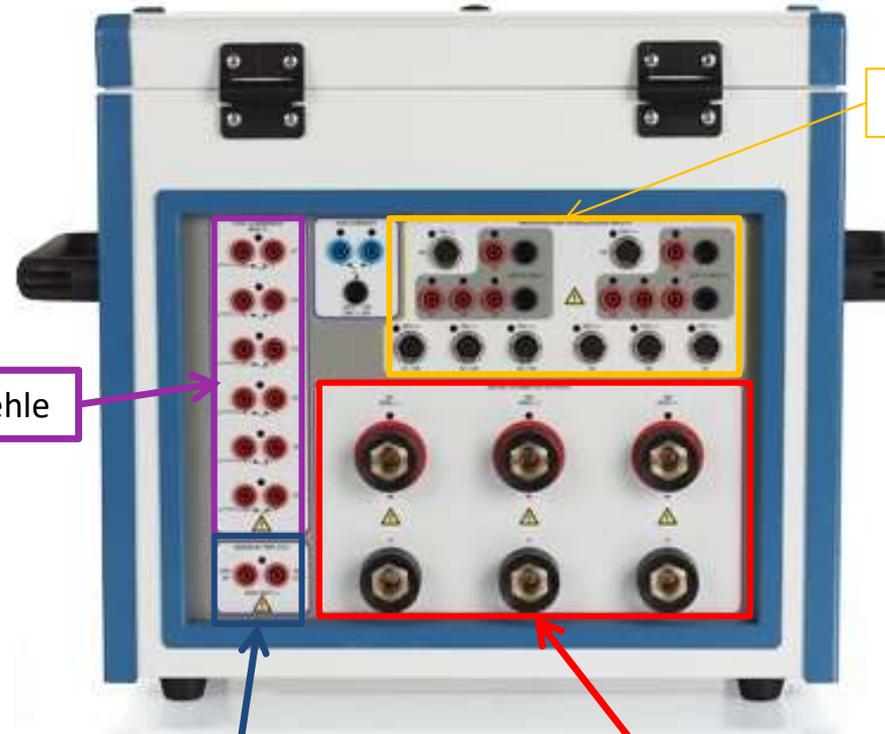


rechte Seite



8 / 16 / 24 Schaltzeiten-Messeingänge  
(Haupt- und Hilfskontakte)

Draufsicht



8 analoge Eingänge

2/4/6 Spulenbefehle

Prüfung  
Unterspannungs-  
auslösespule

1 oder 3 Mikroohmmeter  
(optional)

# Vorteile von CBA 1000 & CBA 2000

- Einfach, bequem und intuitiv
- All-in-One
- Modular, mit Standard Schaltzeiten- und Synchronisationsmessung
- Bearbeitbare und zeitnahe Berichte (Software, Drucker)
- Interner Speicher für 250 Ergebnisse und 64 Prüfpläne
- Bedienung direkt am Gerät oder „remote“ über TDMS-Software
- Batteriebetrieb
- Prüfung von beidseitig geerdeten, luftisolierten Leistungsschaltern



# Vorteile des CBA 3000

- ❑ Einfach, bequem und intuitiv + **Test Assistent** für vereinfachte Bedienung
- ❑ All-in-One
- ❑ Modular, mit Standard Schaltzeiten- und Synchronisationsmessung
- ❑ Bearbeitbare und zeitnahe Berichte (Software, Drucker)
- ❑ Interner Speicher für 250 Ergebnisse und 64 Prüfpläne
- ❑ Bedienung direkt am Gerät oder „remote“ über TDMS-Software
- ❑ Prüfung von beidseitig geerdeten, luft- und gasisolierten Leistungsschaltern
- ❑ Alle Messungen können mit einer einzigen Verkabelung durchgeführt werden ⇒ erhöhte Sicherheit & Zeitersparnis





# MESSUNGEN MIT LEISTUNGSSCHALTER-PRÜFGERÄTEN



©2024 Doble Engineering. All Rights Reserved.

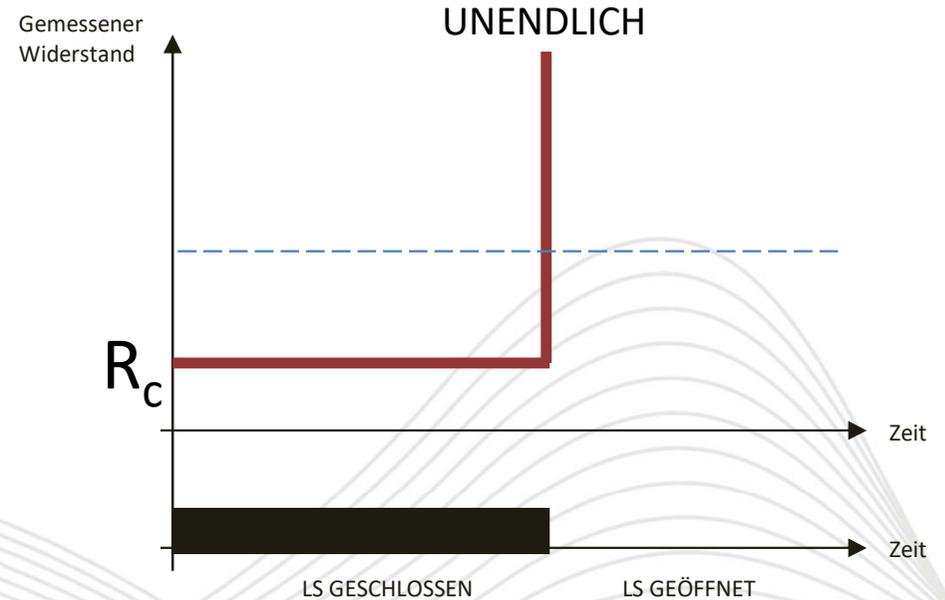
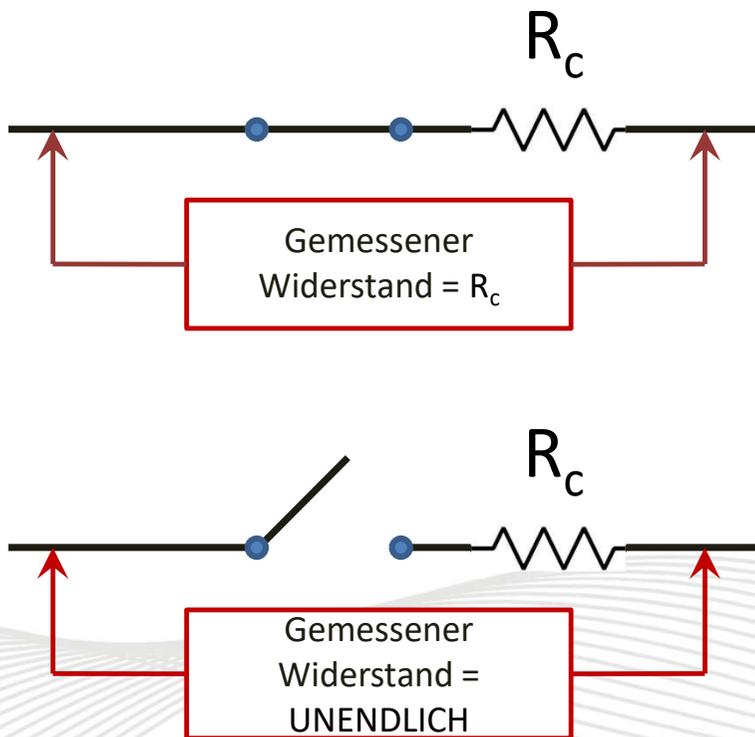


# HAUPTSCHALTKONTAKTE (luftisolierte Schalter)



# Hauptschaltkontakte

Die übliche Vorgehensweise, um festzustellen, ob der Hauptkontakt offen oder geschlossen ist, besteht darin, einen Widerstandswert zu messen

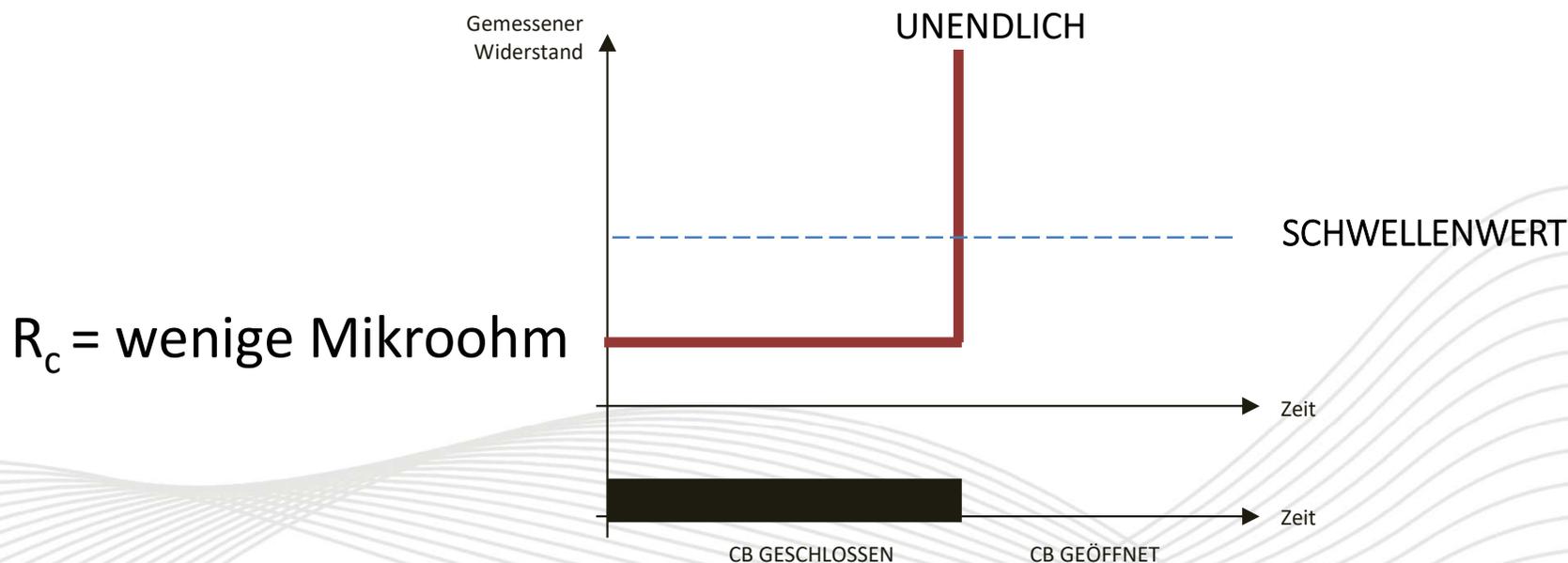


# Hauptschaltkontakte

Mit anderen Worten: Es muss eine Möglichkeit gefunden werden, einen geschlossenen von einem offenen Stromkreis zu unterscheiden.

Dazu ist es notwendig, einen Widerstandsschwellenwert festzulegen:

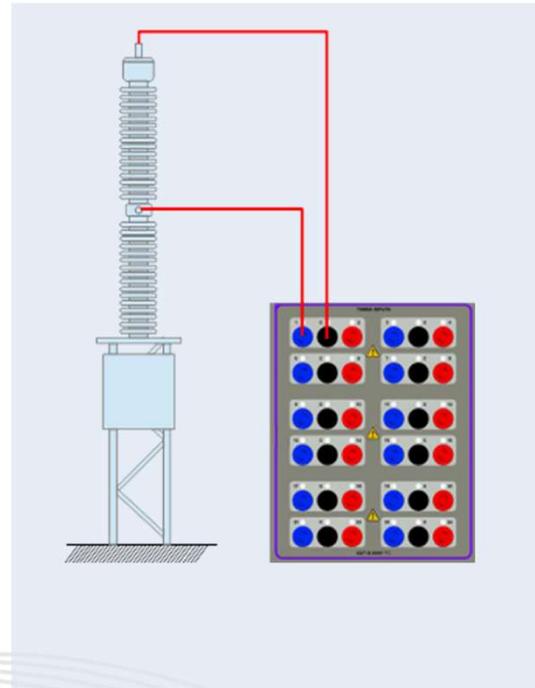
- Unterschreitet man den Schwellenwert, gilt der Kontakt als geschlossen
- Überschreitet man den Schwellenwert, gilt der Kontakt als geöffnet



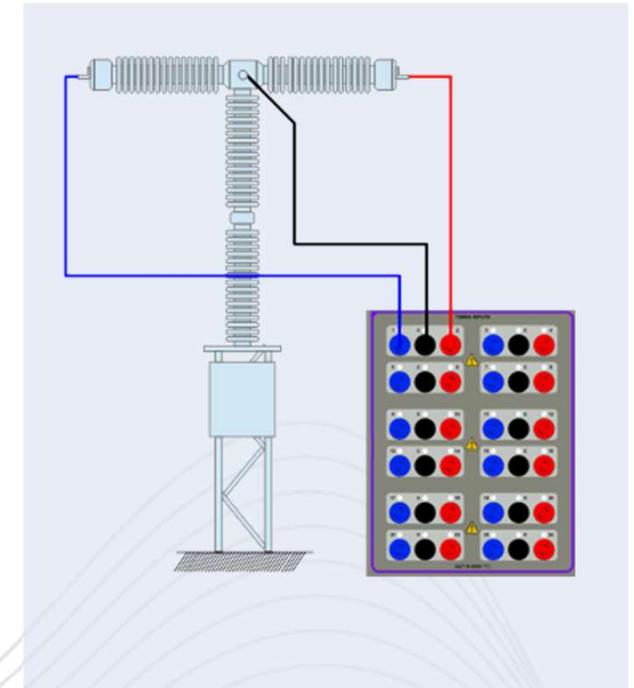
# Hauptschaltkontakte

Was benötigt man, um die Schaltzeiten der Hauptkontakte zu messen?

- Ansteuerung der Ein-/Ausschaltspule  
Der Spulenstrom ist der Trigger zur Messung der Zeit. Wenn er zu fließen beginnt, startet die Zeitmessung.
- Eingang für die Zeitmessung  
Überwacht den Kontaktstatus des Leistungsschalters und stoppt die Zeitmessung, wenn sich der Status (offen bzw. geschlossen) geändert hat.

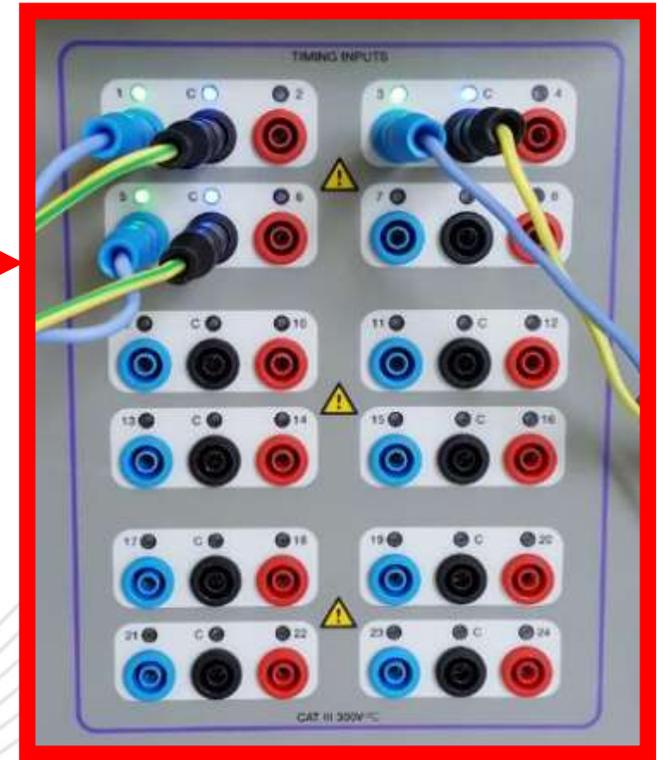


Ein Unterbrecher pro Phase

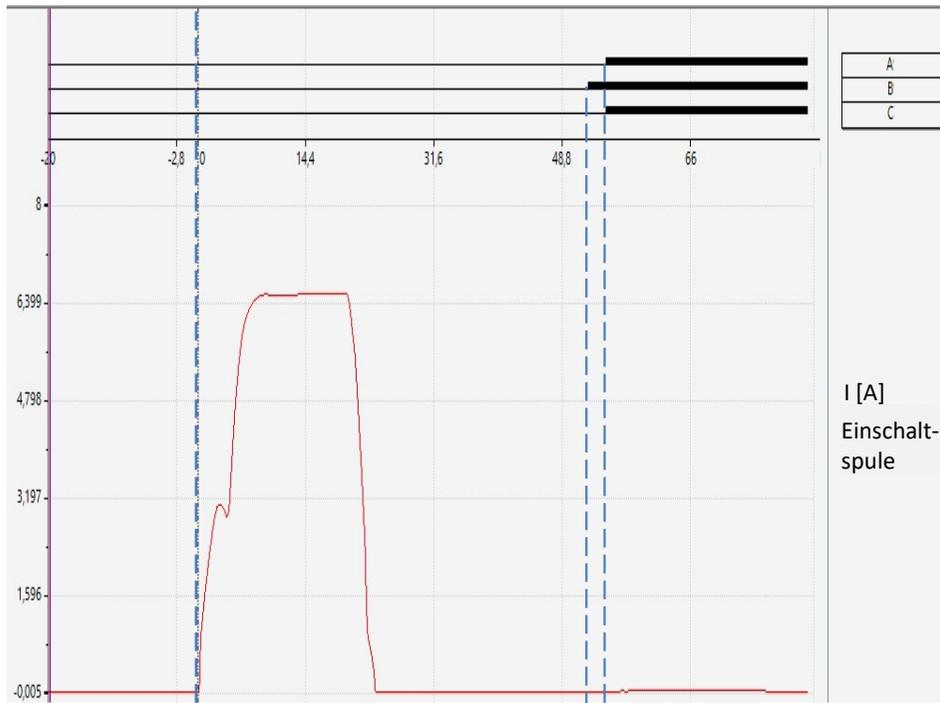


Zwei Unterbrecher pro Phase

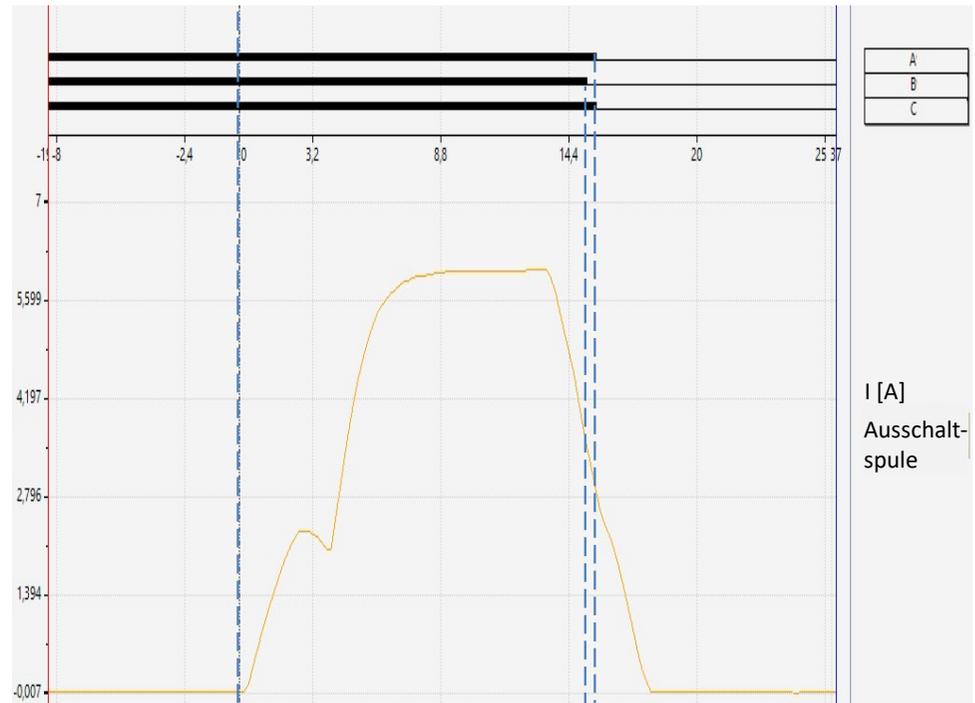
# Hauptschaltkontakte



# Hauptschaltkontakte



Einschaltzeit [ms] Phase B  
Einschaltzeit [ms] Phasen A & C



Ausschaltzeit [ms] Phase B  
Ausschaltzeit [ms] Phasen A & C

# Hauptschaltkontakte



Die meisten Störungen in Übertragungs- oder Verteilnetzen mit Freileitung haben eine Ursache, die unmittelbar nach ihrem Auftreten verschwindet, beispielsweise Gewitter.

Basierend auf dieser Annahme kann nach dem Öffnen des Leistungsschalters eine Wiedereinschaltoperation durchgeführt werden, um die Ausfallzeit zu minimieren. Die Leitung führt dann unmittelbar wieder Strom.



# Hauptschaltkontakte



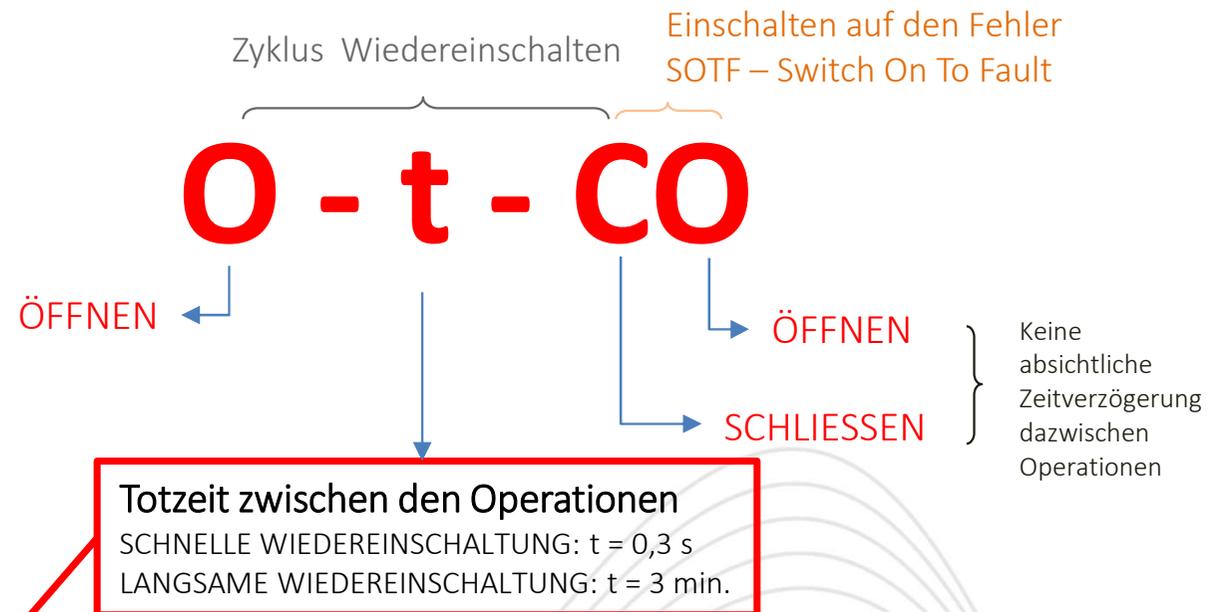
Es kann aber auch der umgekehrte Fall eintreten:  
Die Fehlerursache ist dauerhaft, beispielsweise  
Bäume, die knapp unterhalb der Leitung wachsen.

In solchen Fällen muss unmittelbar nach der  
Wiedereinschaltung eine erneute Ausschaltoperation  
durchgeführt werden.

# Hauptschaltkontakte: Wiedereinschaltzyklus

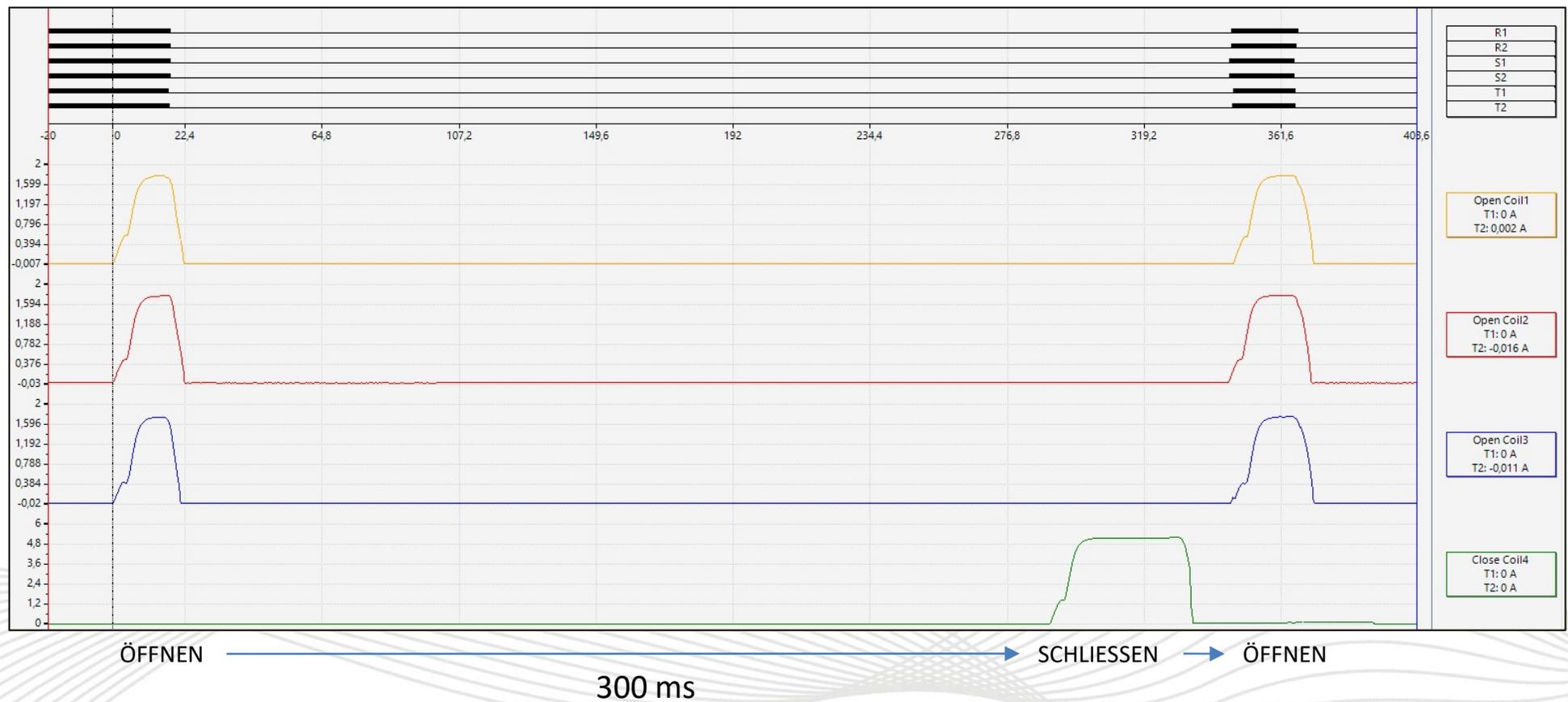


SF <sub>6</sub> CIRCUIT BREAKER TYPE GL316 WITH CR			
BREAKER SERIAL NUMBER			
RATED VOLTAGE	kV		420
NORMAL CURRENT	A		3150
FREQUENCY	Hz		50
POWER FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGE ACROSS OPEN CONTACTS TO EARTH	kV rms		610
	kV rms		520
LIGHTNING IMPULSE WITHSTAND VOLTAGE	kVp		1425
SWITCHING SURGE WITHSTAND VOLTAGE	kVp		1050
FIRST-POLE-TO-CLEAR FACTOR			1.3
SHORT-TIME WITHSTAND CURRENT	kA		50
DURATION OF SHORT-CIRCUIT	s		3
SHORT-CIRCUIT BREAKING CURRENT SYMMETRICAL	kA		50
ASYMMETRICAL	kA		61.2
SHORT-CIRCUIT MAKING CURRENT	kAp		125
OUT-OF-PHASE BREAKING CURRENT	KA rms		12.5
LINE CHARGING BREAKING CURRENT	A		500
OPERATING SEQUENCE			O - 0.3s - CO - 3min - CO
SF <sub>6</sub> GAS PRESSURE AT 20° C, 1012 hPa	bar (gauge pressure)		6.5
TOTAL MASS OF SF <sub>6</sub> GAS	kg		81.1
MASS OF THE CIRCUIT BREAKER	kg		7245
REFERENCE STANDARD			IEC 62271-100

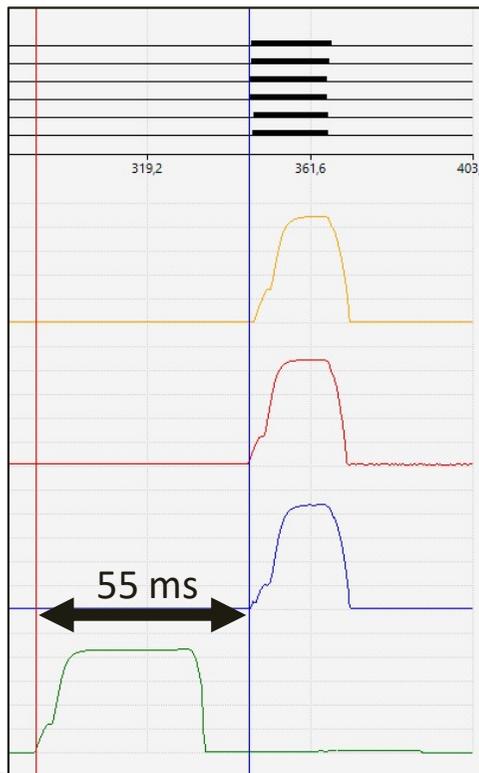


„Die schnelle Wiedereinschaltung auf einen Fehler ist die kritischste Operation. Sie erfordert, dass die Federn die gespeicherte Energie innerhalb kürzester Zeit freisetzen.“

# Hauptschaltkontakte: Bsp. O-t-CO-Sequenz



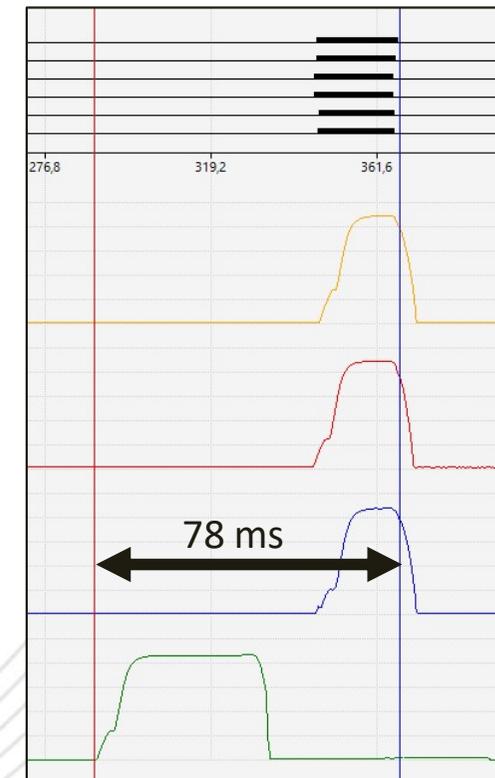
# Hauptschaltkontakte: Bsp. O-t-CO-Sequenz



Verzögerung von 55 ms ist auf einen Mechanismus zurückzuführen, der die Überschneidung von Ein- und Ausschaltbefehl verhindert



Die Zeit, in der die Hauptschaltkontakte geschlossen sind, wird Verweilzeit genannt.



Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der LS in sehr kurzer Zeit eine komplette Ein-Ausschalt-Sequenz durchführen kann

# Hauptschaltkontakte: Messung bei beidseitiger Erdung



***SCHNELL, EINFACH UND SICHERER!***

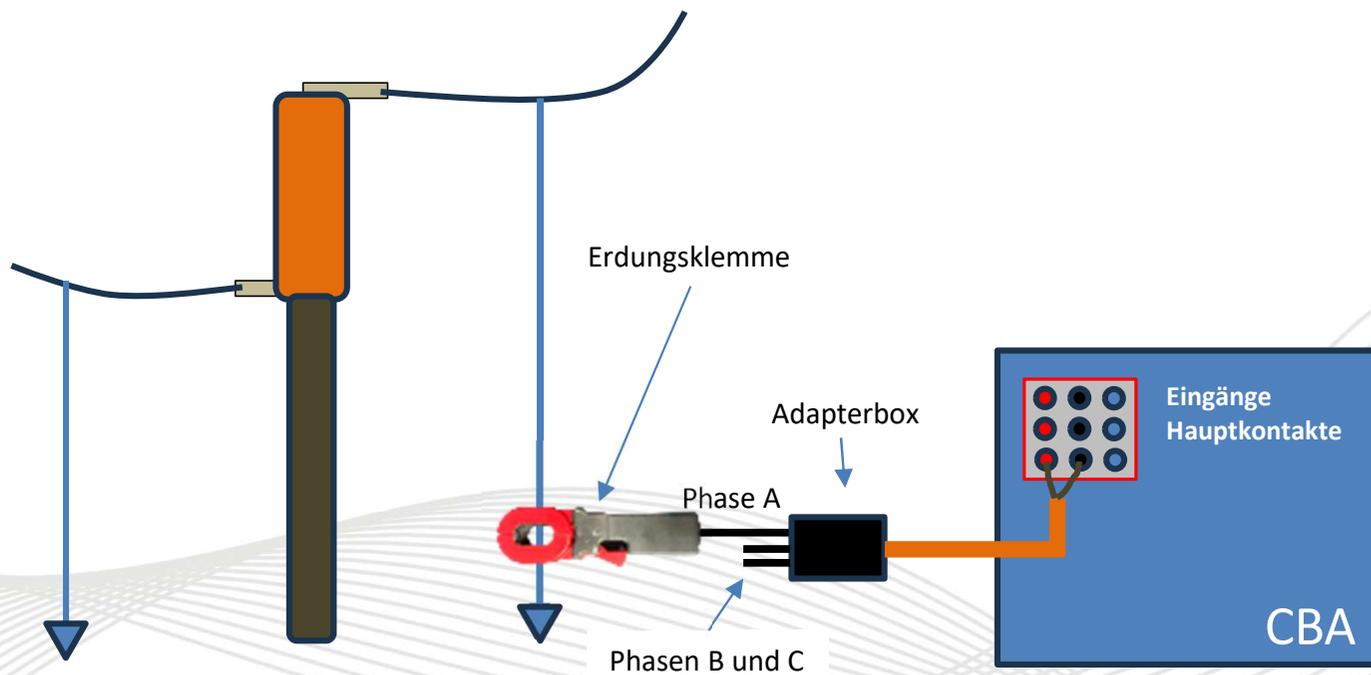
*Neu für CBA 1000/2000*



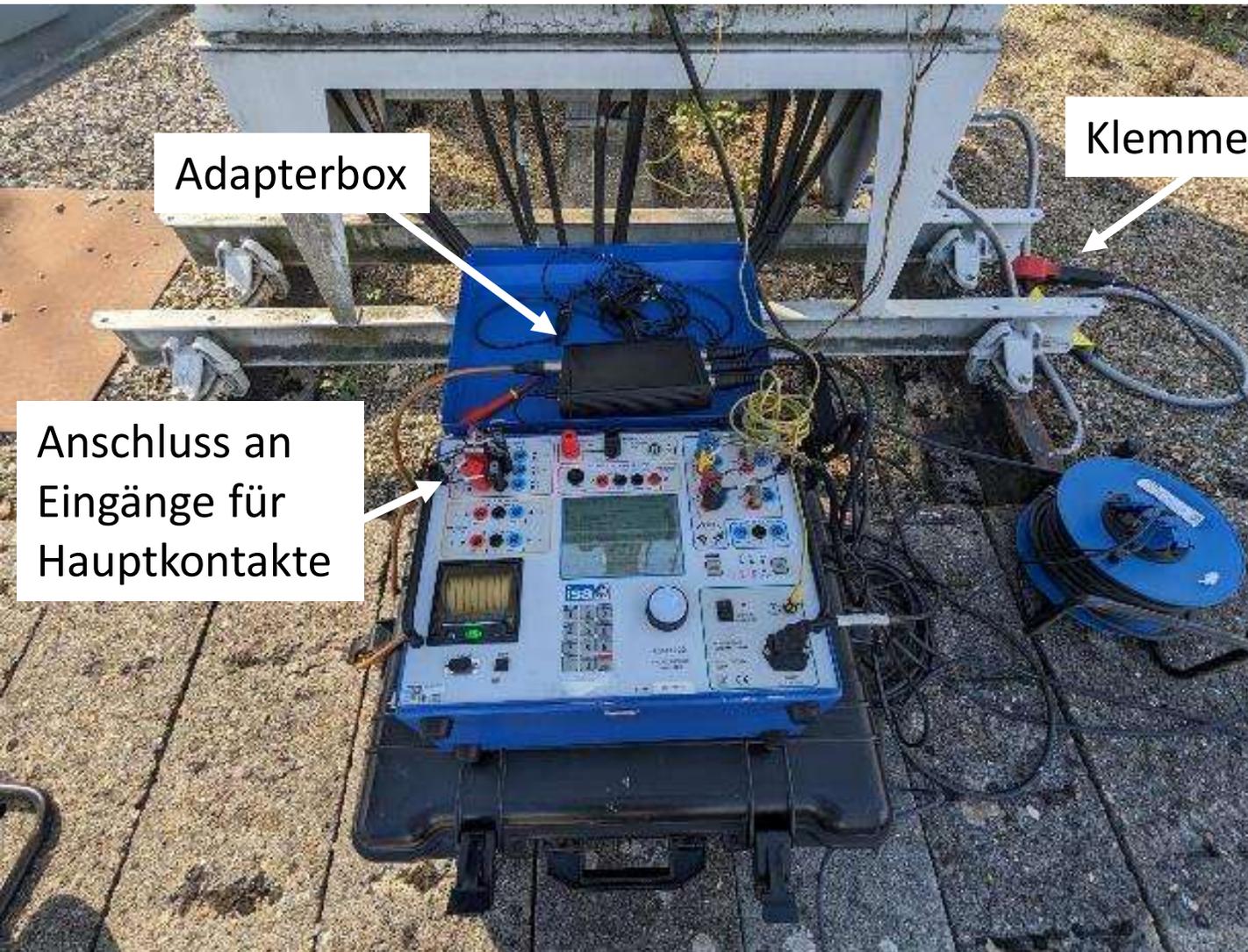
# Hauptschaltkontakte: Messung bei beidseitiger Erdung



Das Kit besteht aus 3 Spezialklemmen, die direkt an das Erdungskabel angeschlossen werden. Die Klemmen sind über eine Adapterbox mit dem CBA verbunden, die eine Verbindung zu den Eingängen für die Hauptschaltkontakte ermöglicht. Die Verwendung des Kits erfordert kein Software- oder Firmware-Update  
→ **einfach anschließen und mit Strom versorgen.**



# Hauptschaltkontakte: Messung bei beidseitiger Erdung



- Der Aufbau ist äußerst kompakt und leicht
- Der Anschluss erfolgt ebenerdig
- Kompatibel mit Ihrem CBA
- Kabellänge bis zu 18 Meter



# HAUPTSCHALTKONTAKTE (gasisolierte Schalter)



# GIS-Leistungsschalter

In gasisolierten Schaltanlagen (GIS) befinden sich die Hochspannungsleiter in geerdeten Metallgehäusen, die mit SF6-Gas gefüllt sind. Dies beinhaltet Leistungsschalter, Stromwandler, Spannungswandler, Trennschalter usw.



SF6-Gas hat eine 2,5-mal höhere Durchschlagsfestigkeit als Luft und ist in Bezug auf die Lichtbogenlöschung 100-fach effektiver. Dadurch kann der Isolationsraum im Vergleich zu einer luftisolierten Schaltanlage (AIS) um das Zehnfache reduziert werden.

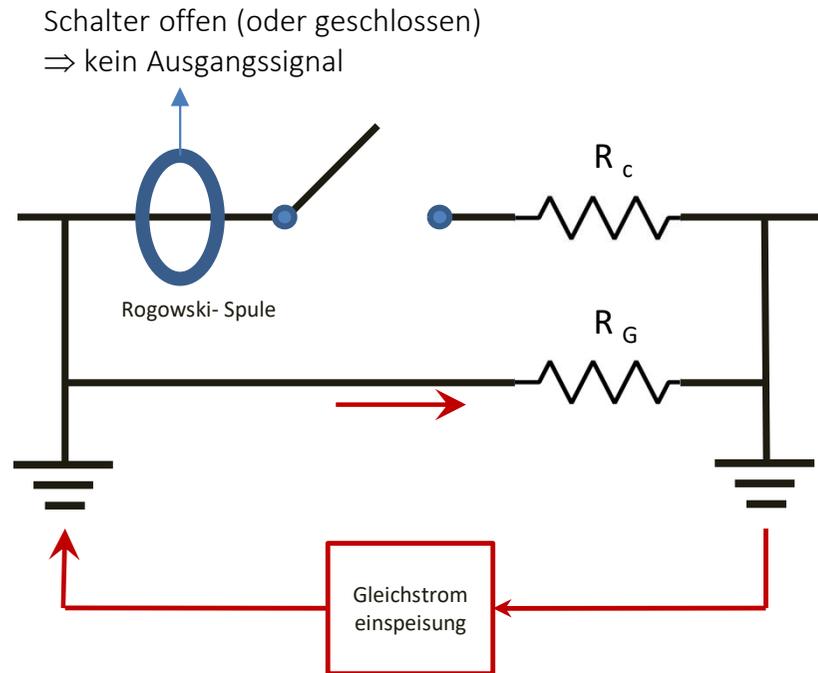
# GIS-Leistungsschalter

Das Gehäuse ist immer über zwei Erdungstrennschalter auf beiden Seiten des Leistungsschalters geerdet.

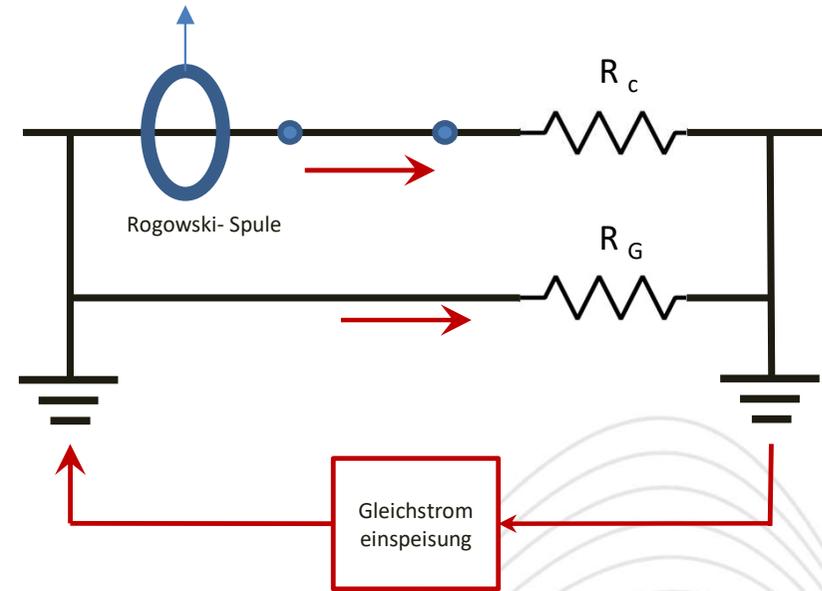
Dadurch entsteht ein Widerstand parallel zu den Hauptkontakten des Leistungsschalters. Der Unterschied zu AIS besteht darin, dass dieser Widerstand einen extrem niedrigen Wert hat (Hunderte von  $\mu\Omega$ ).

Der Messaufbau und das Messprinzip für gasisolierte Leistungsschalter unterscheidet sich daher von dem, das bei beidseitiger Erdung an luftisolierten Leistungsschaltern Anwendung findet.

# GIS-Leistungsschalter



Scheitelwert des Rogowski-Signals proportional zur Stromänderung während des Schaltvorgangs.



Mithilfe von Rogowski-Spulen ist es möglich, Signale zu erfassen, die nur dann erzeugt werden, wenn der Gleichstrom seine Amplitude ändert, entsprechend beim Öffnen und Schließen der Hauptkontakte.

# GIS-Leistungsschalter



Klemme für Stromeinspeisung

Rogowski- Spule

Erdungstrennschalter



# Statische Widerstandsmessung

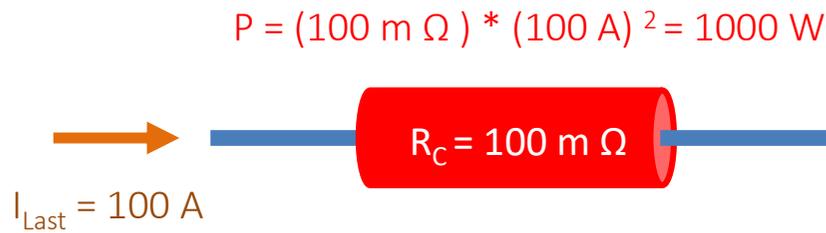
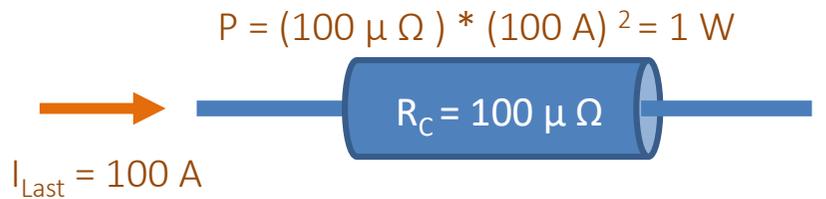
(SRM - Static Resistance Measurement)



# Statische Widerstandsmessung

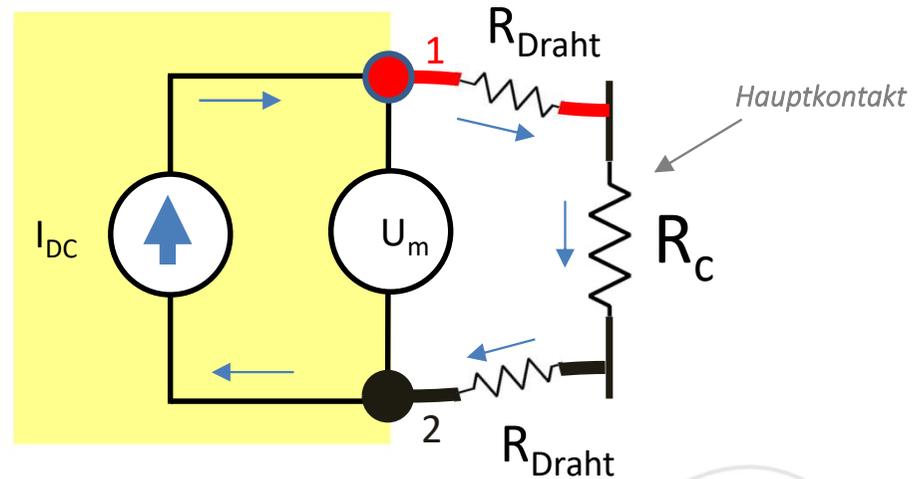
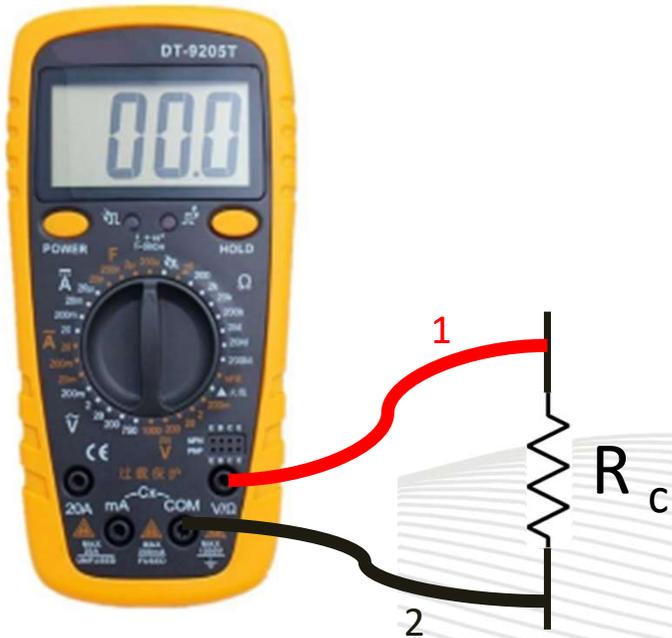
Warum hat der Hauptkontaktwiderstand einen so niedrigen Wert?

→ um die Verlustleistung möglichst klein zu halten.



# Statische Widerstandsmessung ... 2-Draht-Methode ?

Auf den ersten Blick scheint die Widerstandsmessung mittels 2-Draht-Methode eine einfache Lösung zu sein, die mit jedem Multimeter umgesetzt werden kann. **Aber ...**



Der tatsächlich gemessene Widerstandswert ist jedoch

$$U_m = I_{DC} * (R_C + 2R_{Draht})$$

$$R_{mess} = R_C + 2R_{Draht}$$

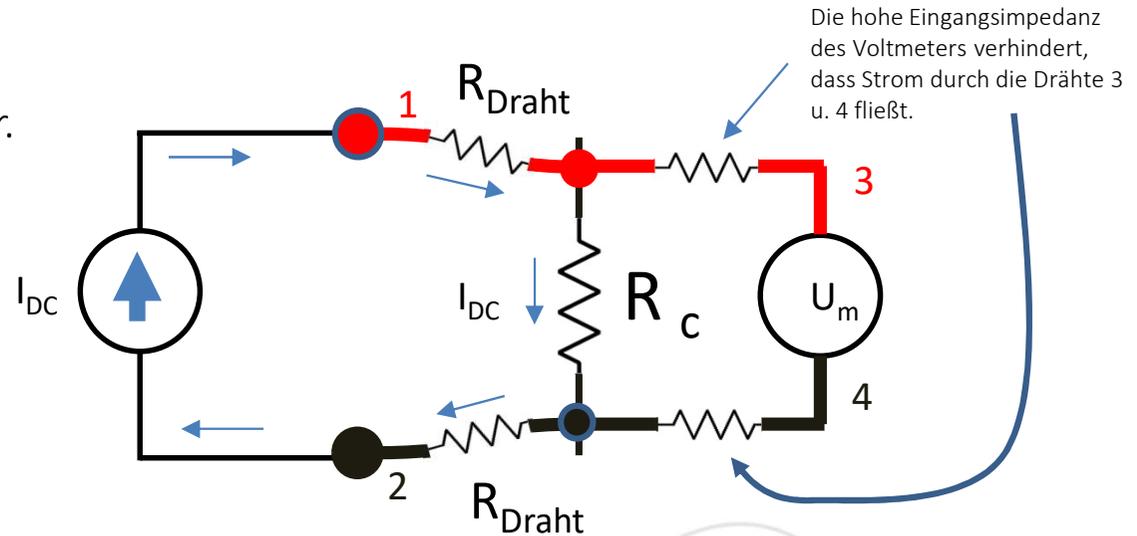
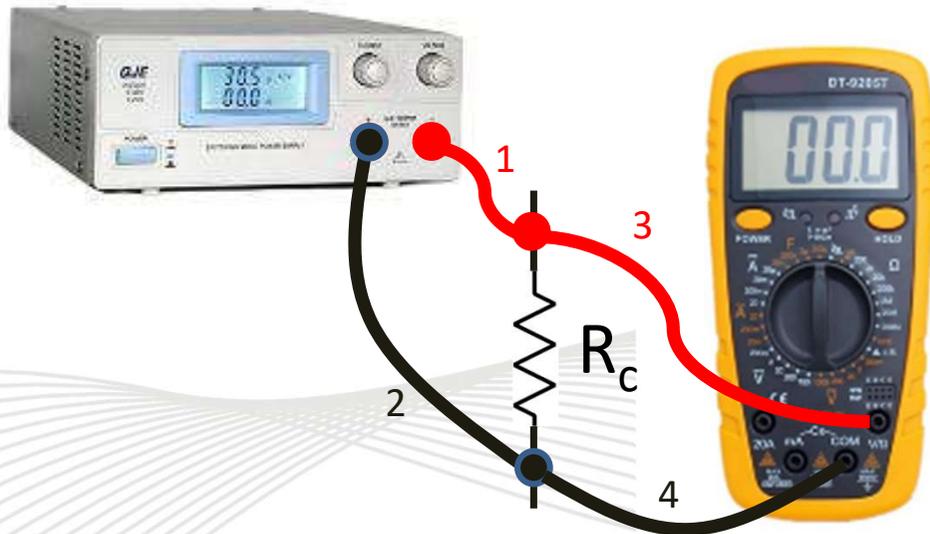
⇒ der gemessene Widerstand entspricht nicht dem Kontaktwiderstand

Die 2-Draht-Methode ist **nicht geeignet**, um Widerstände im Mikrohm-Bereich zu messen!

# Statische Widerstandsmessung ... 4-Draht-Methode ?

Das Multimeter kann weiterhin verwendet werden, jedoch als Voltmeter, nicht als Ohmmeter.

Die Stromspeisung muss über eine externe Quelle erfolgen.



Der tatsächlich gemessene Widerstandswert ist

$$U_m = I_{DC} * R_C$$

$$R_{mess} = R_C$$

⇒ der gemessene Widerstand entspricht dem Kontaktwiderstand

Die 4-Draht-Methode ist die **korrekte Methode**, um den Kontaktwiderstand zu messen.

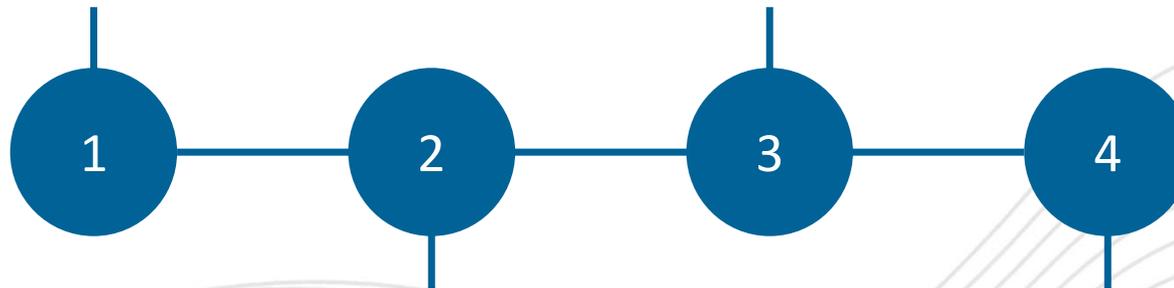
# Statische Widerstandsmessung



Aber auch die 4-Draht-Methode garantiert nicht immer einen genauen Wert.  
Bei der Messung von Mikroohm müssen gewisse Maßnahmen getroffen werden:

Richtige Positionierung der Spannungsmessung

Prüfstrom darf keine Welligkeit besitzen

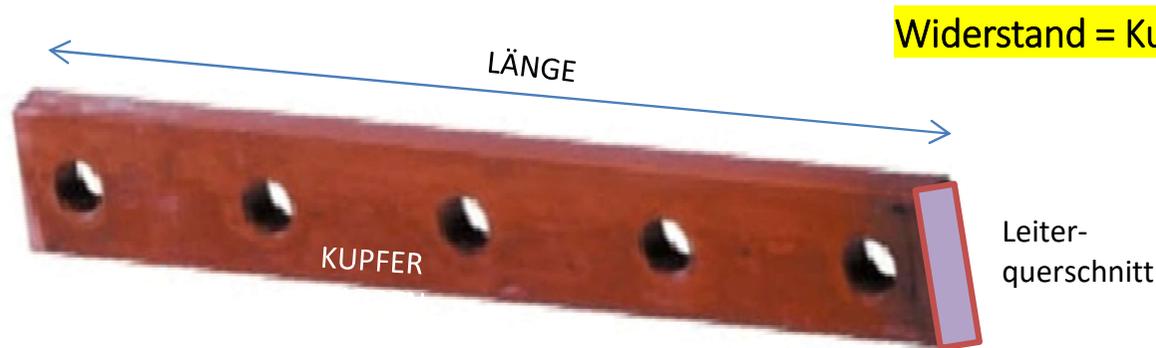


Hoher Prüfstrom

Störpegelunterdrückung erforderlich

1

## Richtige Positionierung der Spannungsmessung



Widerstand = Kupferwiderstand \* (Länge / Abschnitt)

### Beispiel

Kupferwiderstand =  $0,017 (\Omega * mm^2) / m$

Länge =  $0,5 m$

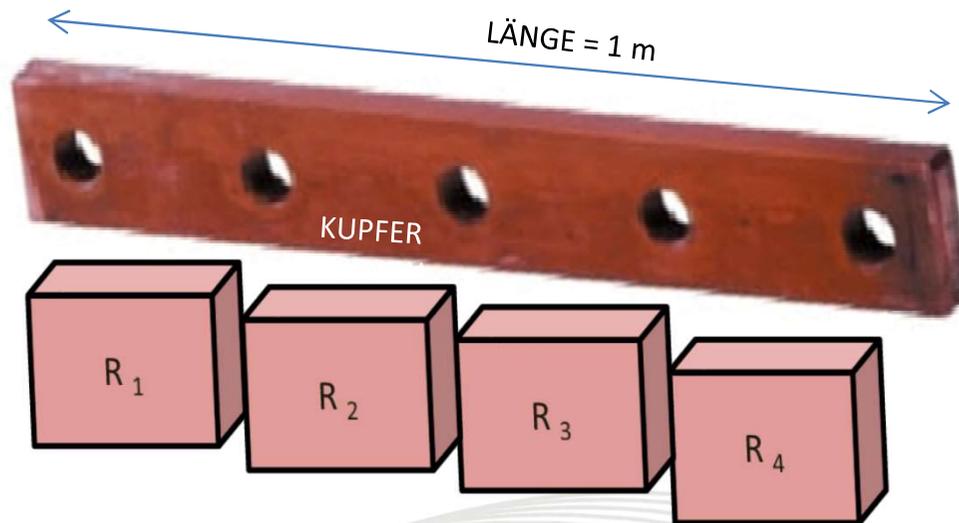
Leiterquerschnitt =  $300 mm^2$



$$R = 0.017 \left[ \frac{\Omega * mm^2}{m} \right] * \frac{0.5 [m]}{300 [mm^2]} \approx 28 \mu\Omega$$

1

## Richtige Positionierung der Spannungsmessung



Die Kupferschiene ist als Reihenschaltung von kürzeren Stücken zu betrachten, jedes mit seinem eigenen Widerstandswert. In unserem Beispiel teilen wir die Schiene in 4 Abschnitte

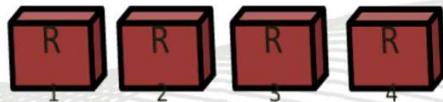
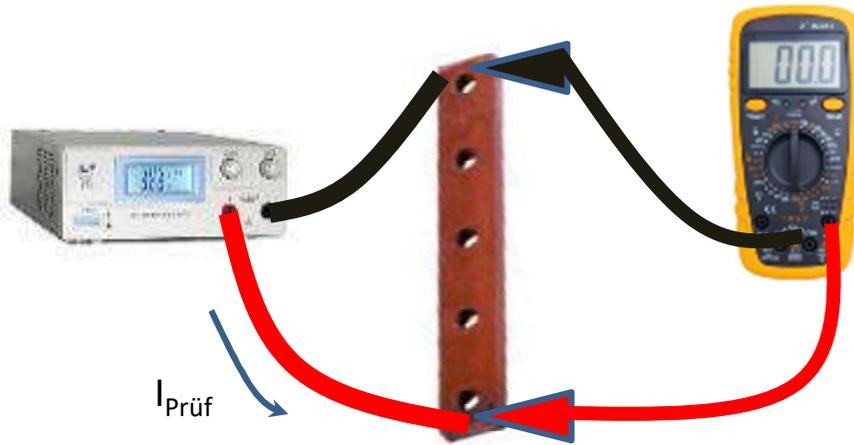
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 28 \mu \Omega$$

# Statische Widerstandsmessung

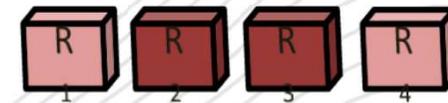
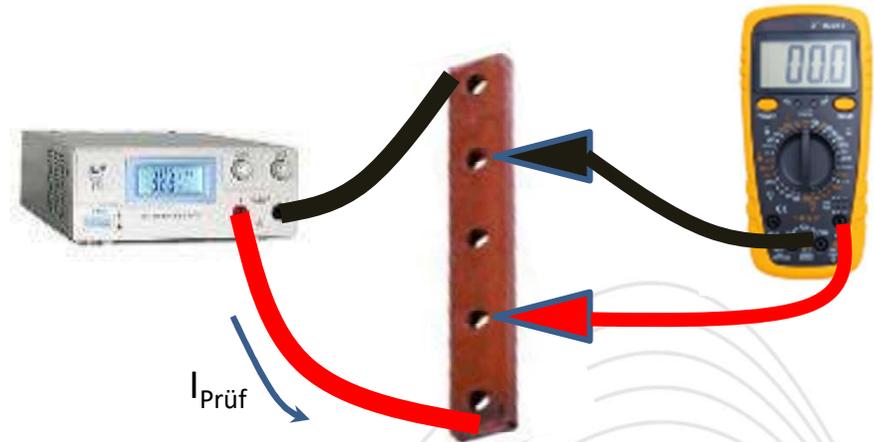


1

## Richtige Positionierung der Spannungsmessung



$$R_{\text{gemessen}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 28 \mu\Omega$$



$$R_{\text{gemessen}} = R_2 + R_3 = 14 \mu\Omega$$

# Statische Widerstandsmessung



1

## Richtige Positionierung der Spannungsmessung

**FALSCHER POSITION**

Stromeinspeisung

Spannungsmessung

Resistance A1	106.823	uOhm
---------------	---------	------

**RICHTIGE POSITION**

Spannungsmessung

Stromeinspeisung

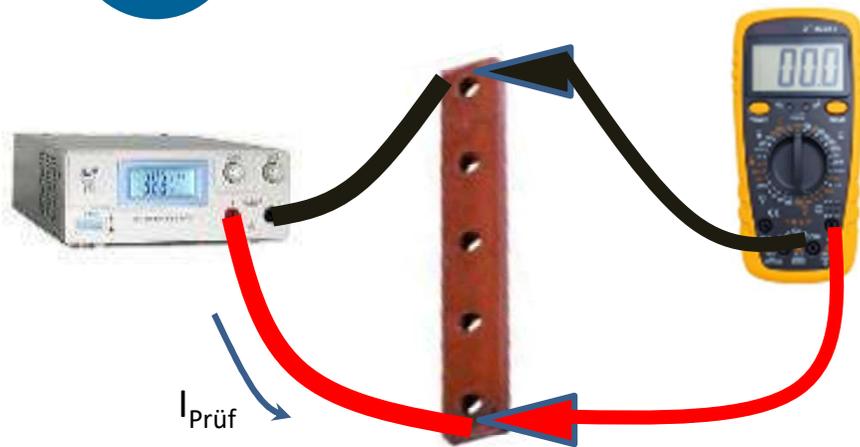
Resistance A1	28.095	uOhm
---------------	--------	------

# Statische Widerstandsmessung



2

## Hoher Prüfstrom



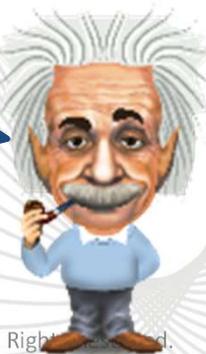
$$U_{\text{gemessen}} = 28 \mu\Omega * 10 \text{ A} = 280 \mu\text{V}$$



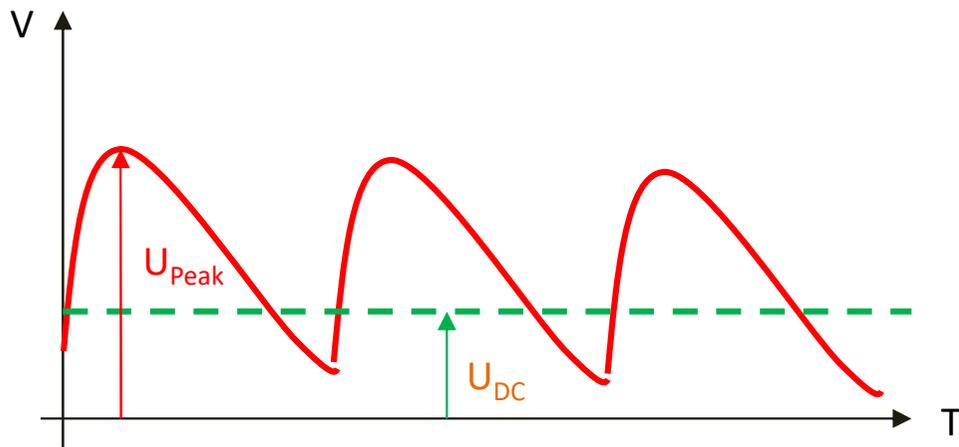
Da es schwierig ist, Spannungen < 1 mV zu messen, empfehlen wir einen Prüfstrom von 100 A.

$$\Rightarrow V_{\text{gemessen}} = 28 \mu\Omega * 100 \text{ A} = 2,8 \text{ mV}$$

Die Verbindung zwischen zwei unterschiedlichen Leitermaterialien, hier dargestellt durch die Kupferschiene und den Spannungsanschluss, erzeugt eine Spannung, deren Wert im Bereich weniger Mikrovolt liegt (SEEBECK-EFFEKT). Diese Spannung wirkt als Offset und muss kompensiert werden.



## 3 Prüfstrom darf keine Welligkeit besitzen



Der Gleichstromanteil muss aus der „Nicht-Gleichstrom“-Wellenform berechnet werden.

## Möglich Ursachen für Ungenauigkeiten

- Mathematische Näherungen
- Wenn  $U_{Peak} \gg U_{DC}$  :  
Größerer Fehler, da höherer Messbereich gewählt werden muss (z. B. Bereich von 1 V zur Messung von 1 mV ).



**REINE DC-SIGNALE GARANTIEREN  
HÖCHSTE GENAUIGKEIT**



In Umspannwerken kann das Level an elektrischen Störsignalen sehr hoch sein, und die Sammelschienenspannung kann zusätzliche Spannung in den Messkabeln induzieren.

Abhilfe bieten

- geschirmte Messkabel
- Filter für Signale mit Netzfrequenz

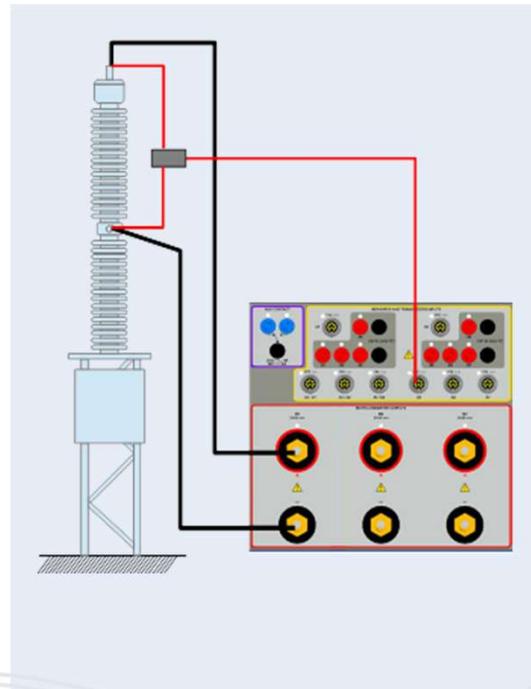
# Statische Widerstandsmessung - CBA 3000



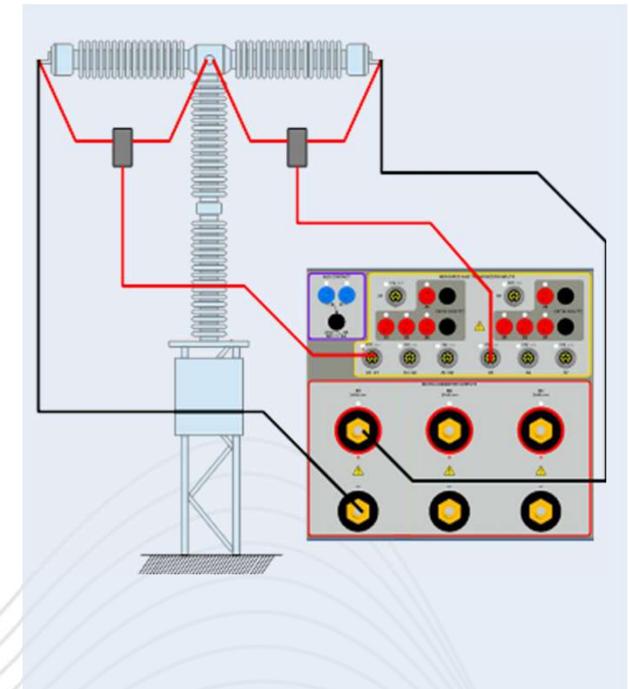
Analogeingänge für Mikro-Ohmmeter



3 x 200 A  
Gleichstromgeneratoren



ein Unterbrecher pro Phase



zwei Unterbrecher pro Phase



**Gleichzeitige Messung von bis zu 6 Widerständen**



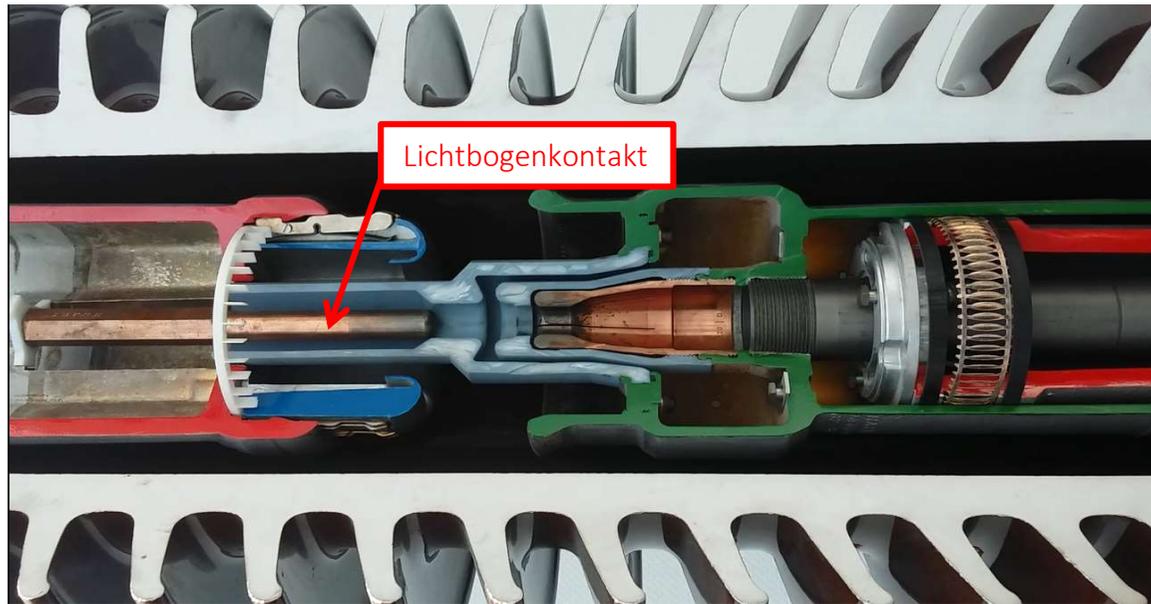
# Dynamische Widerstandsmessung

(Dynamic Resistance Measurement)

# Dynamische Widerstandsmessung



Die dynamische Kontaktwiderstandsmessung dient der Zustandsbewertung des Lichtbogenkontakts

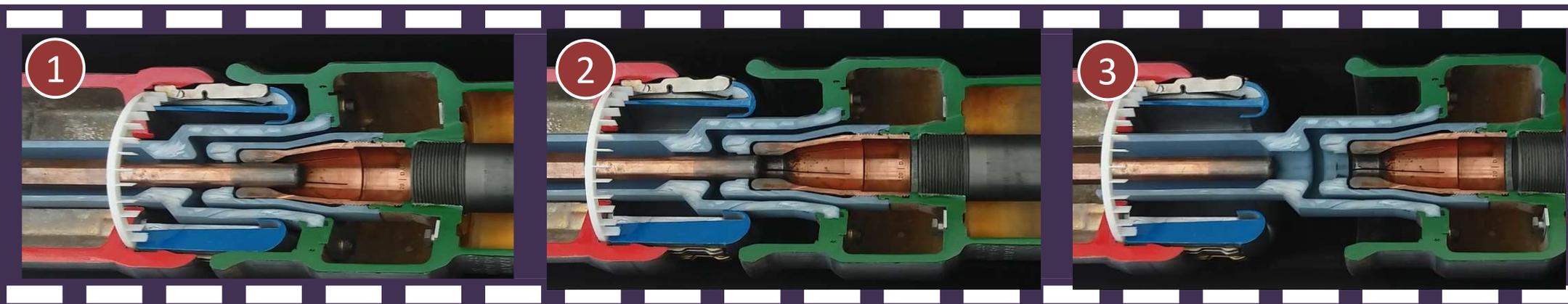


So führen Sie die Messung durch

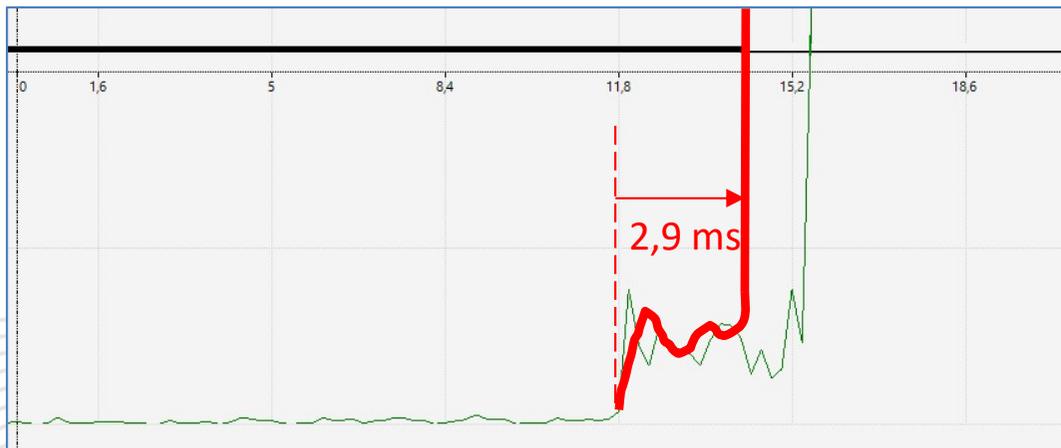
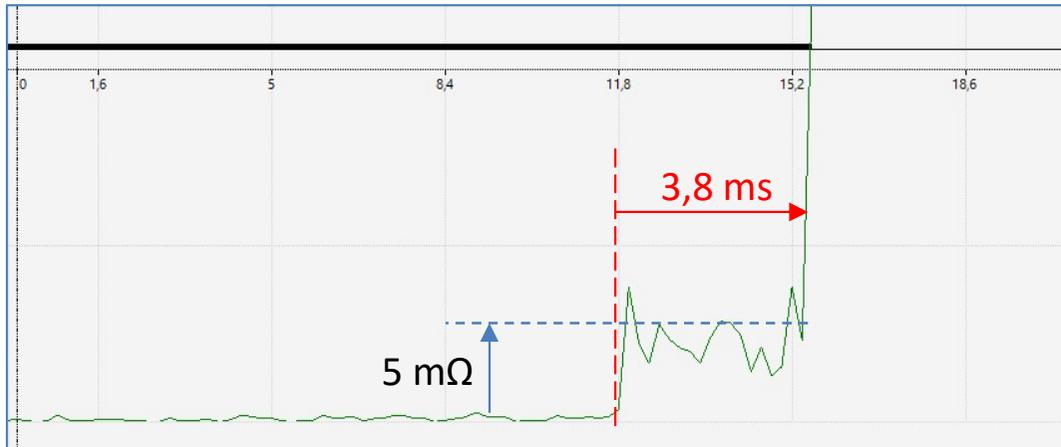
1. Der Schalter ist geschlossen.
2. Starten sie die Stromerzeugung.
3. Steuern sie die Ausschaltspule an.
4. Halten sie den Stromfluss aufrecht, bis der Hauptkontakt vollständig geöffnet ist.
5. Erfassen sie den Stromverlauf mit mindestens 10 kHz als Abtastfrequenz (Zeitauflösung 100  $\mu$ s).

**Der Messaufbau ist derselbe, wie für die statische Widerstandsmessung.**

# Dynamische Widerstandsmessung



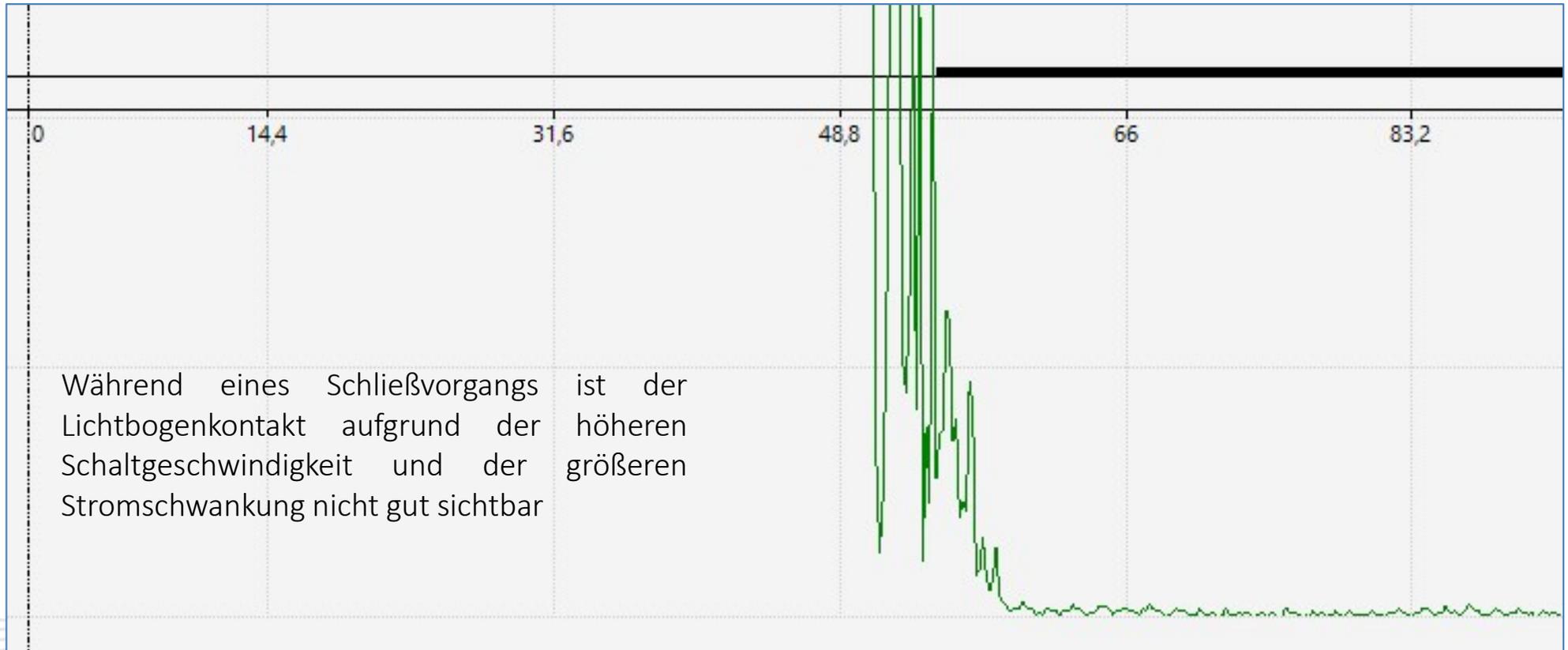
# Dynamische Widerstandsmessung



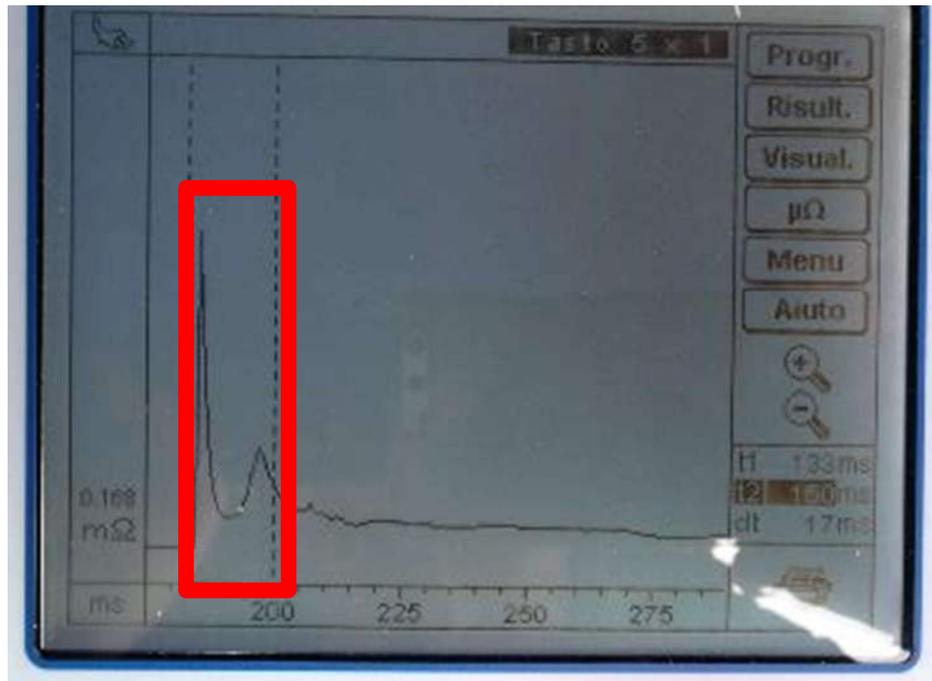
- Jedes Mal, wenn der Leistungsschalter den Fehlerstrom unterbricht, brennt ein Teil des Lichtbogenkontaktes ab und die entsprechende Länge verringert sich.
- Die Reduzierung der Lichtbogenkontaktlänge spiegelt sich in einer Verkürzung der Ausschaltzeit wider.
- Die Länge kann in Millimetern gemessen werden, erfordert jedoch den Einsatz von Wegungsaufnehmern.

Die minimal zulässige Länge wird vom Hersteller des Schalters festgelegt.

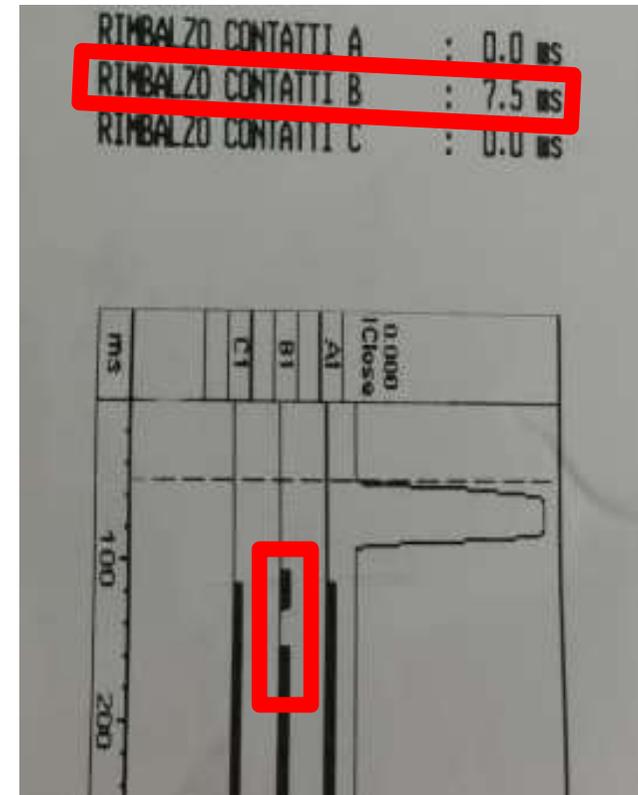
# Dynamische Widerstandsmessung



# Dynamische Widerstandsmessung



Die dynamische Widerstandsmessung kann Kontaktprellen während der Schaltzeitmessung detektieren (Bsp. hier, Messung mit CBA 1000).



Kontaktprellen auf Phase B nach einem Einschaltvorgang.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Reinhold Franz  
rfranz@doble.com

Techimp Germany GmbH  
Tel.: +49 (0)5724 3997400  
www.doble.com



©2024 Doble Engineering. All Rights Reserved.