



Michael Bruhns, Ricardo Herrmann, Peter Schegner

NARC National Arc fault Research Center

Professur für vernetzte Energiesysteme

Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH)

Technische Universität Dresden

674. VDE Elektrotechnisches Kolloquium

Forschung zu stromstarken NS-
Störlichtbögen am NARC der TU Dresden

Dresden, 03.12.2025



Inhalte



National Arc fault Research Center

Gefahr und Schutz bei Störlichtbögen

Forschungsfelder am NARC

Zusammenfassung und Ausblick

Störlichtbogenvorführung



National Arc fault Research Center

Kooperationspartner



[2.1-24]



National Arc fault Research Center (NARC)

Kompetenzzentrum zur Untersuchung von Störlichtbögen

Motivation

- **Gefährdung für Personen, Anlagen und Elektroenergieversorgung bei Störlichtbögen reduzieren**



Prof. Dr.-Ing.
Peter Schegner



Dipl.-Ing.
Carlo Liebermann



Dipl.-Ing.
Michael Bruhns



Dipl.-Ing. (FH)
Franz Jani

Tätigkeiten am NARC

- **F&E**
- **Fachvorträge**
- **Seminare und Schulungen**
- **Lichtbogenvorführungen**



Dipl.-Ing.
Ricardo Herrmann



Techniker
Gunter Lemke



Dipl.-Ing.
Jan Keller



Dipl.-Ing. Thanh
Binh Nguyen



Inhalte



National Arc fault Research Center

Gefahr und Schutz bei Störlichtbögen

Forschungsfelder am NARC

Zusammenfassung und Ausblick

Störlichtbogenvorführung



Gefahr und Schutz bei Störlichtbögen

Störlichtbögen in der Niederspannung

Definitionen

- Lichtbogen: stabile Gasentladung mit sehr hohem Energiegehalt
- Störlichtbogen: unerwünscht auftretender Lichtbogen zwischen elektrischen Anlagenteilen

Eigenschaften

- Im Inneren der Lichtbogensäule:
 - Lichtbogenplasma mit **Temperaturen $T > 10\,000\text{ K}$**
- Lichtbogenwanderung infolge elektromagnetischer Kraftwirkung
 - **Geschwindigkeit $v = 10 \dots 100\text{ m/s}$**

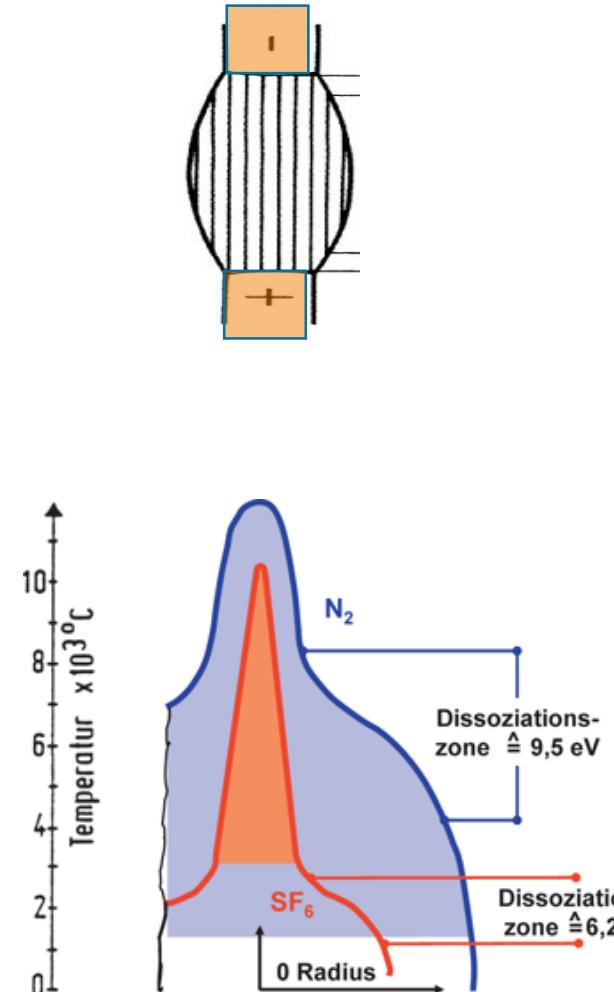
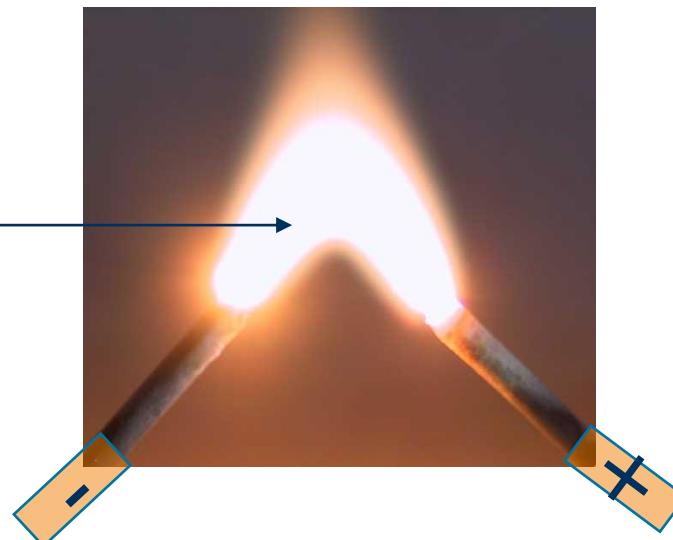
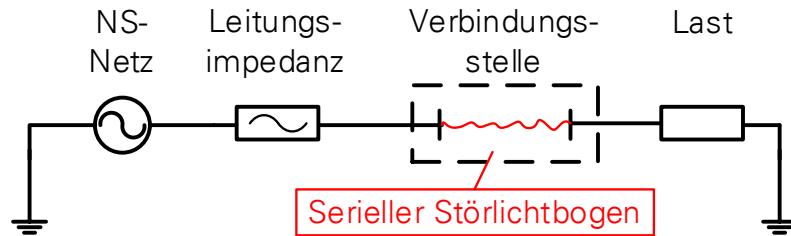


Bild 1: Lichtbogen (I) mit Temperaturverteilung im Inneren (r) [1.11, 1.12]

Gefahr und Schutz bei Störlichtbögen

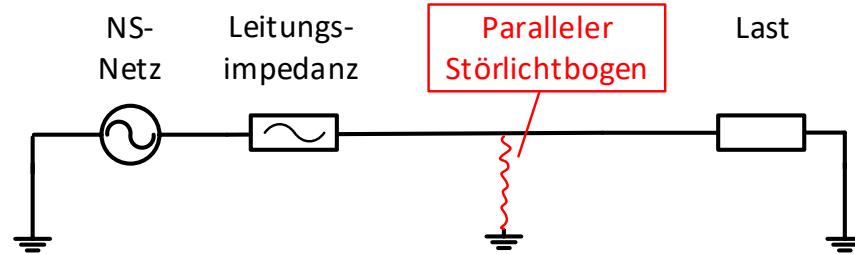
Systematisierung und Phasen bei NS-Störlichtbögen

Serieller Störlichtbogen



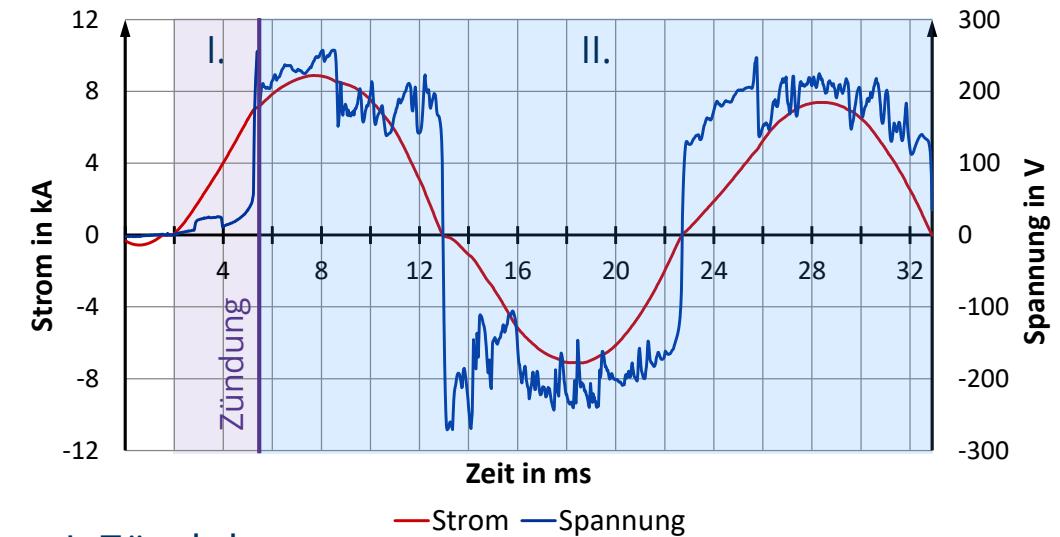
- Lichtbogenstrom im Bereich des Laststroms

Paralleler Störlichtbogen



- Lichtbogenstrom im Bereich des Kurzschlussstromes (mindestens > 1 kA)

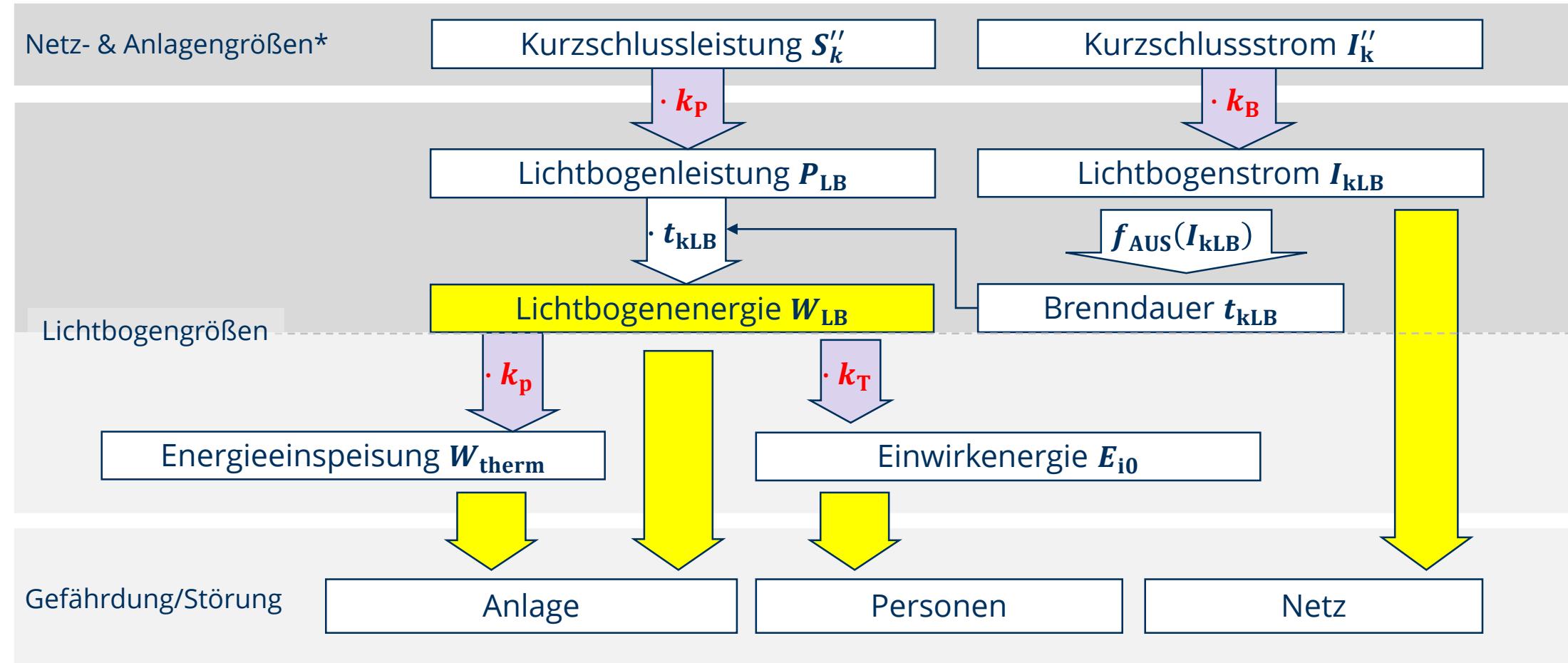
Phasen paralleler Störlichtbögen



- I. Zündphase
 - Lichtbogen entsteht
- II. Existenzphase
 - Lichtbogen brennt stabil, hoher Energiegehalt
 - **Sehr schnelle Abschaltung im ms-Bereich**

Gefahr und Schutz bei Störlichtbögen

Lichtbogengrößen und Auslegung von AC-Störlichtbogenschutzsystemen



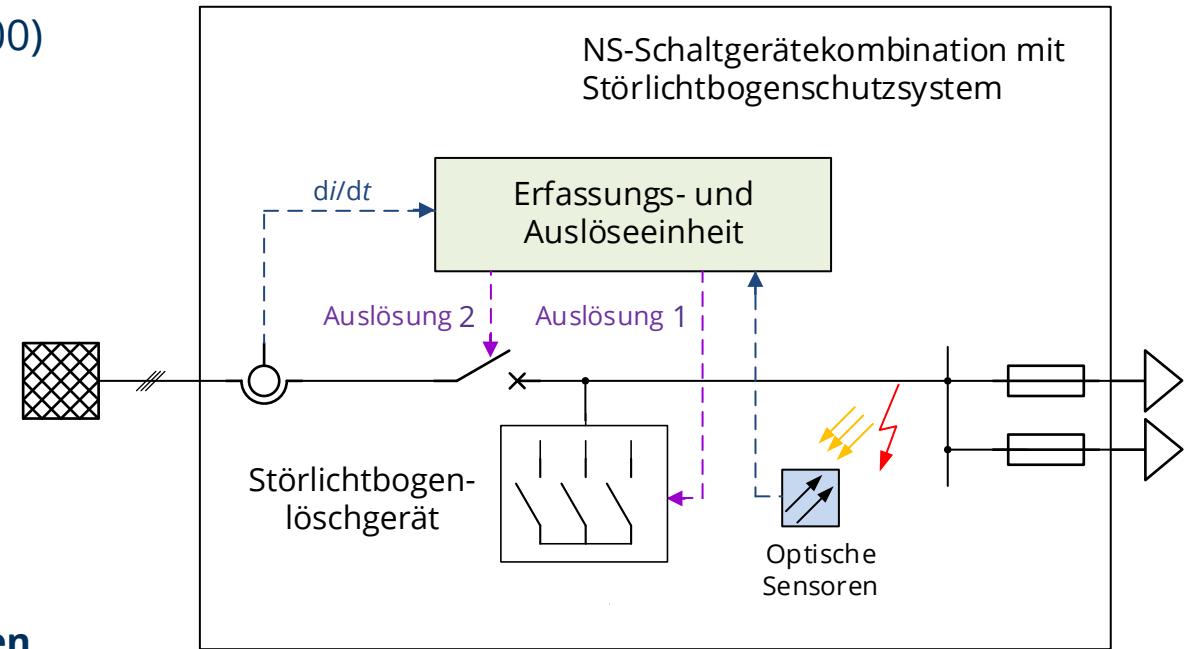
* Gelten für Fehlerstelle

$f_{AUS}(I_{kLB})$... Auslösecharakteristik von Schutzsystem

Gefahr und Schutz bei Störlichtbögen

Schutzmaßnahmen bei Störlichtbögen

- *Normative Grundlage:* Forderung des sicheren Betriebs von NS-Starkstromanlagen laut DIN EN 61439 (VDE 0660-600)
- Störlichtbogenschutz umfasst verschiedenartige *Maßnahmen*
 - Passive Schutzmaßnahmen
 - Verhindern das Auftreten von Störlichtbögen
 - Räumliche Begrenzung der Auswirkungen am Entstehungsort
 - Aktive Schutzmaßnahmen
 - **Begrenzung der von Störlichtbogen abgegebenen Energie durch Detektion und Löschung**
 - Ultraschneller Löschvorgang durch Einsatz von Kurzschließer



Allgemeines Funktionsprinzip eines aktiven Störlichtbogenschutzsystems mit Störlichtbogenlöschgerät



Inhalte



National Arc fault Research Center

Gefahr und Schutz bei Störlichtbögen

Forschungsfelder am NARC

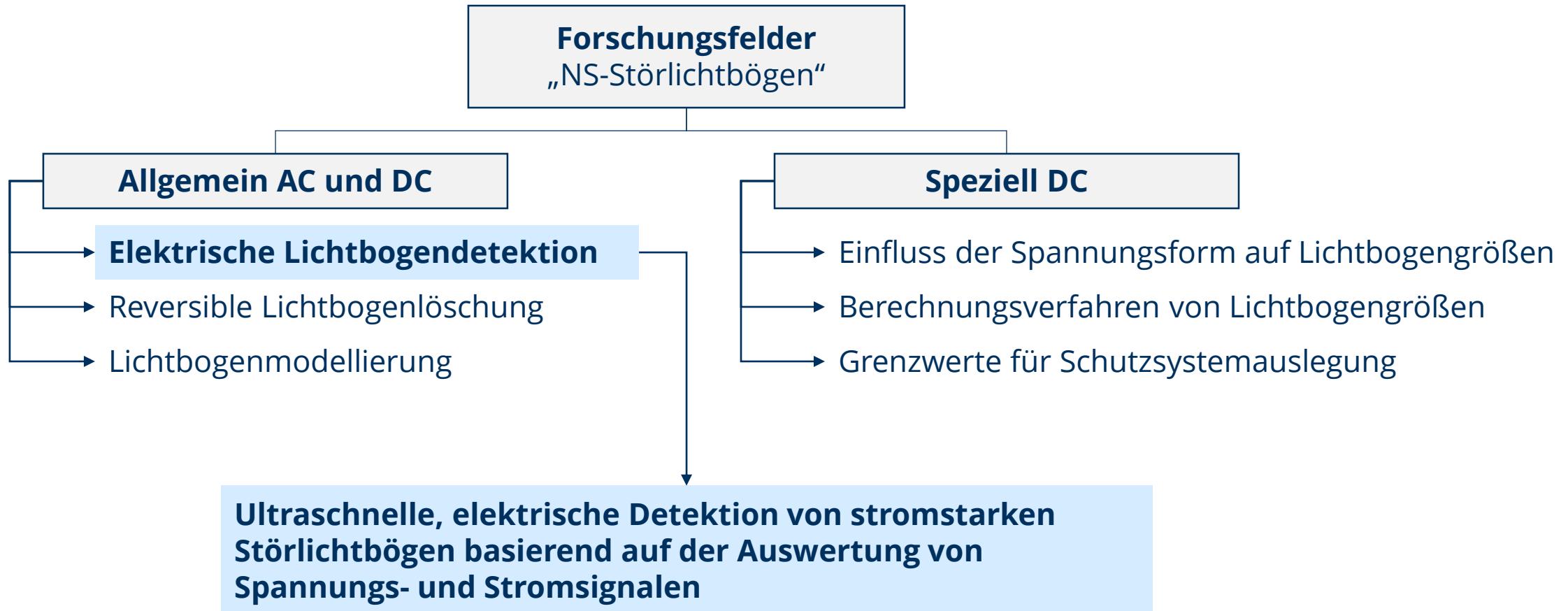
Zusammenfassung und Ausblick

Störlichtbogenvorführung



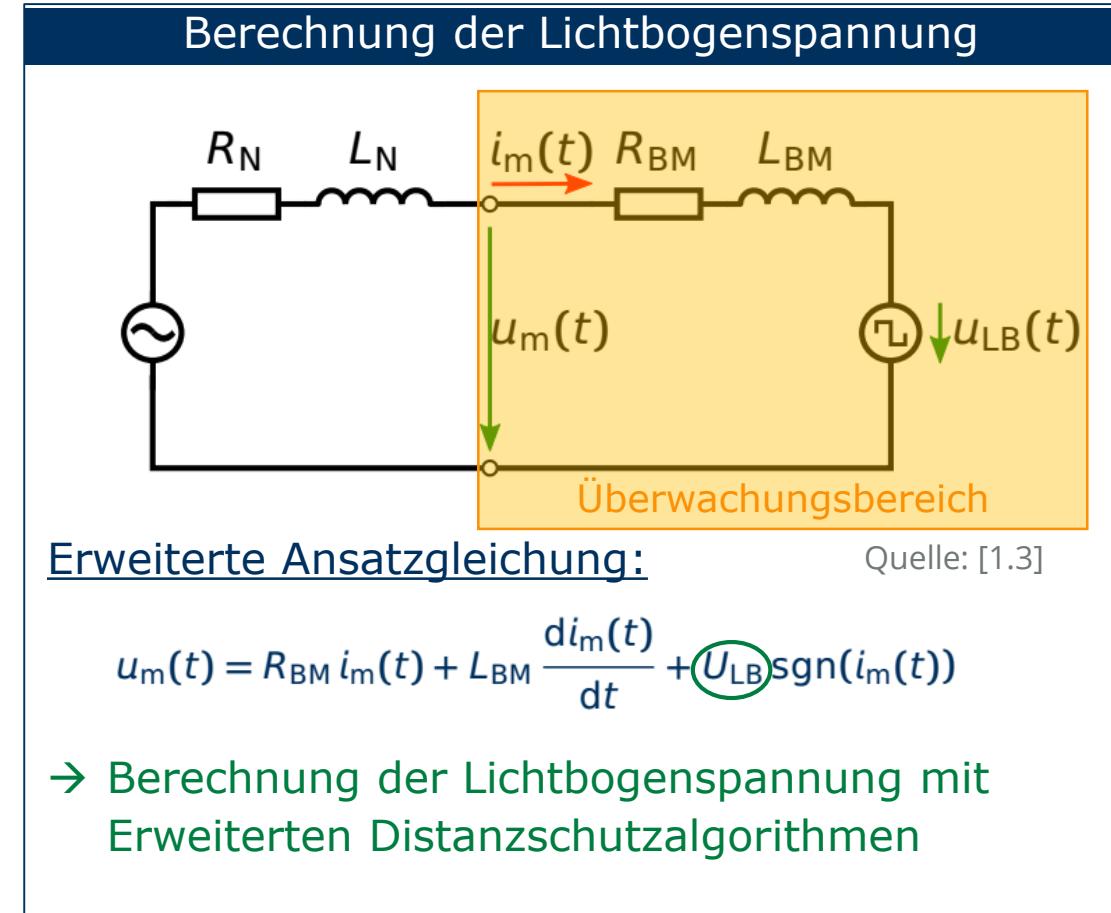
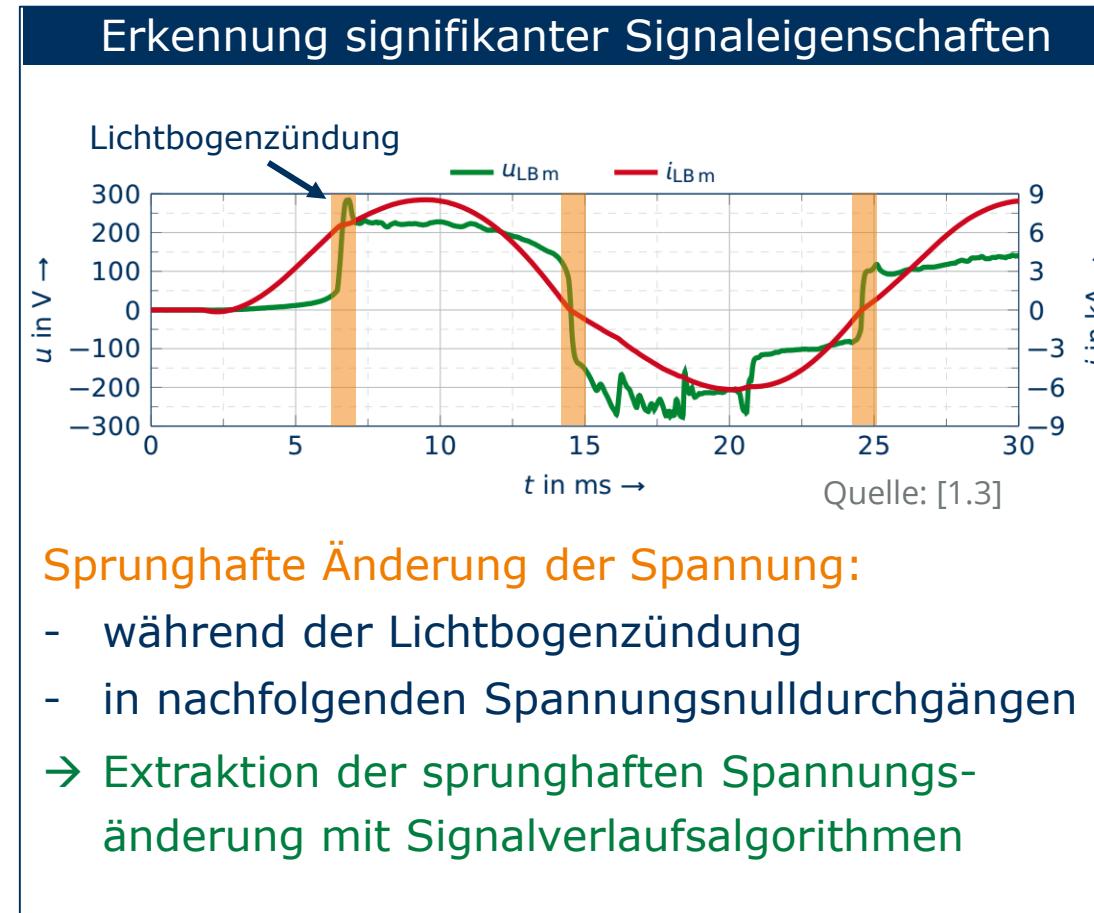
Forschungsfelder am NARC

Übersicht der Forschungsfelder im Bereich „NS-Störlichtbögen“



Forschungsfelder am NARC: Elektrische Lichtbogendetektion

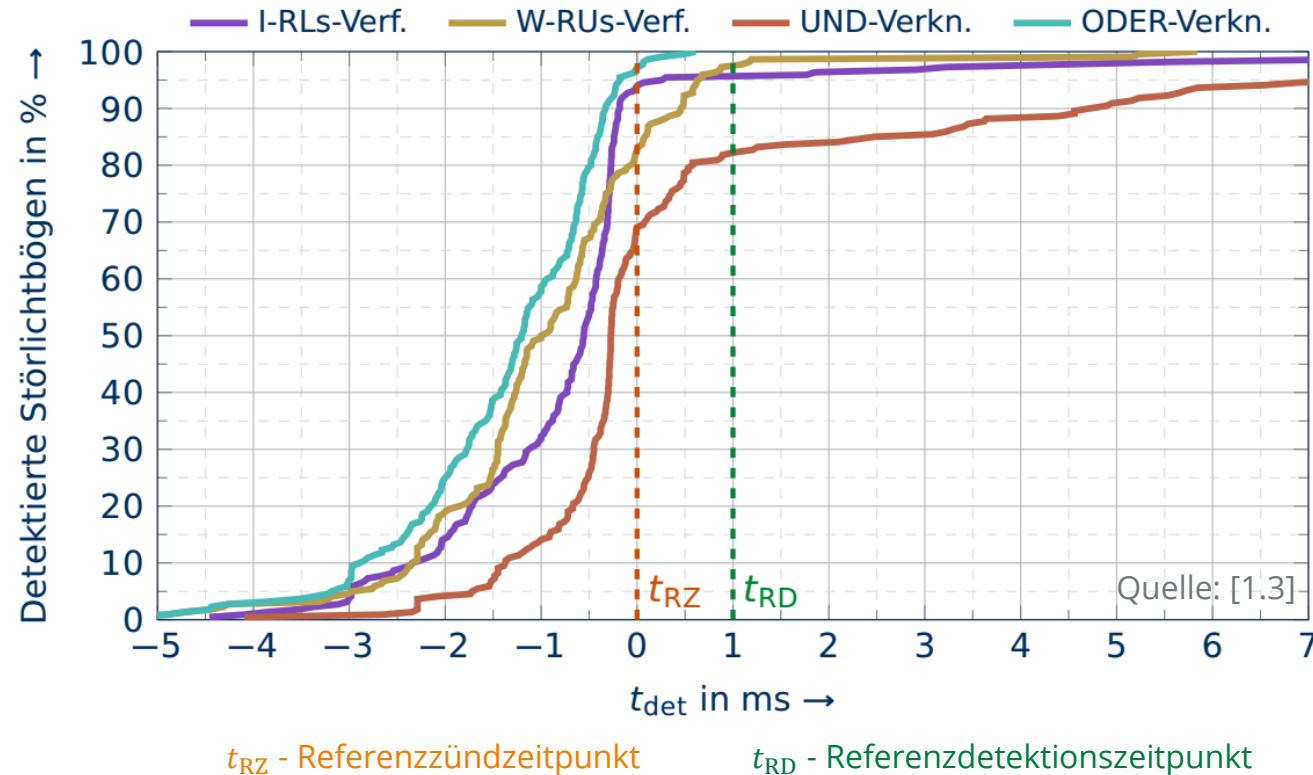
Detektionskriterien



Forschungsfelder am NARC: Elektrische Lichtbogendetektion

Bewertung der Störlichtbogendetektion

Auswertung der kumulierten Verteilungsfunktion von Detektionszeiten

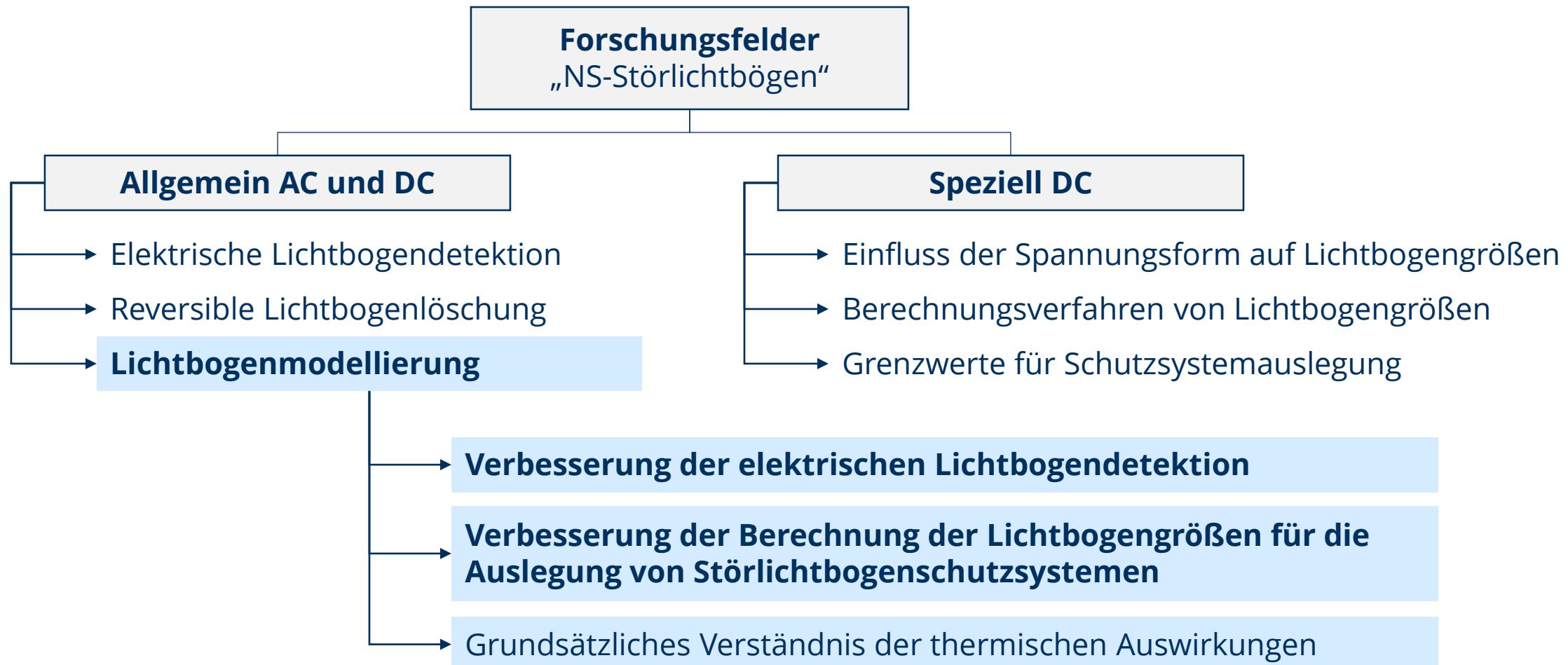


→ I-RLs- und W-RUs-Verfahren zeigen geringe Detektionszeiten bei unterschiedlichen Messreihen

- **Distanzschutzalgorithmen (I-RLs-Verf.):**
95 % der MR nach 0,6 ms erkannt
 - **Signalverlaufsalgorithmen (W-RUs-Verf.):**
93 % der MR nach 0,6 ms erkannt
 - **Auslöselogik UND-Verknüpfung:**
80 % der MR nach 0,6 ms erkannt
→ Hohe Detektionssicherheit durch zwei unterschiedliche Detektionssignale
 - **Auslöselogik ODER-Verknüpfung:**
alle MR nach 0,6 ms erkannt
→ Sehr schnelle Detektion möglich

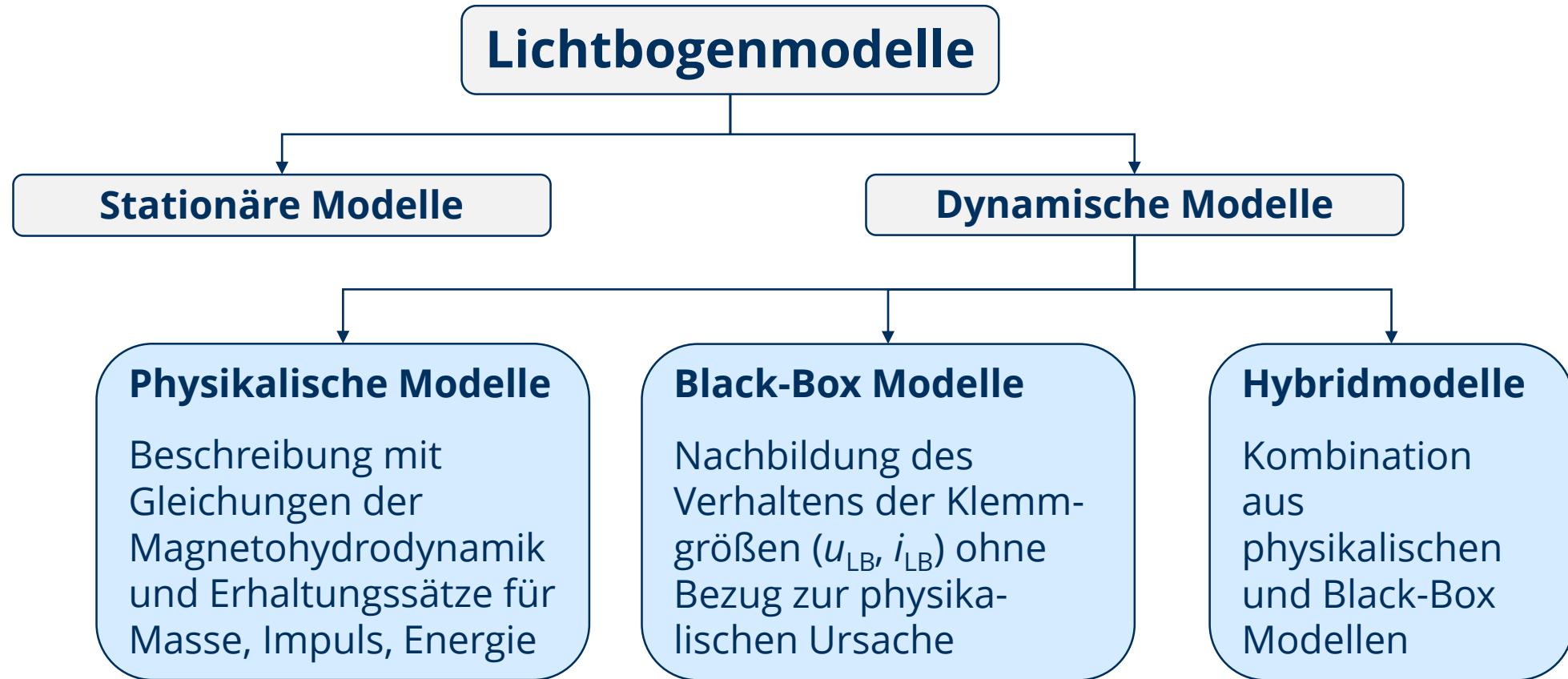
Forschungsfelder am NARC

Übersicht der Forschungsfelder im Bereich „NS-Störlichtbögen“



Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

Strukturelle Einordnung der Lichtbogenmodelle



- Unterschiedliche Modelle zur Beschreibung des Klemmverhaltens von Störlichtbögen
- Unterschiede: Komplexität, Anzahl und Art der Gleichung, Anzahl bekannter Parameter



Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

Entwicklung eines hybriden NS-Störlichtbogenmodells

- **Hybrides Modell** = **Physikalisches Modell** + **Black-Box-Modell**
- **Störlichtbogen-Modell:**
 - Sequenzielle Verschaltung von Modellen für 2 Phasen:

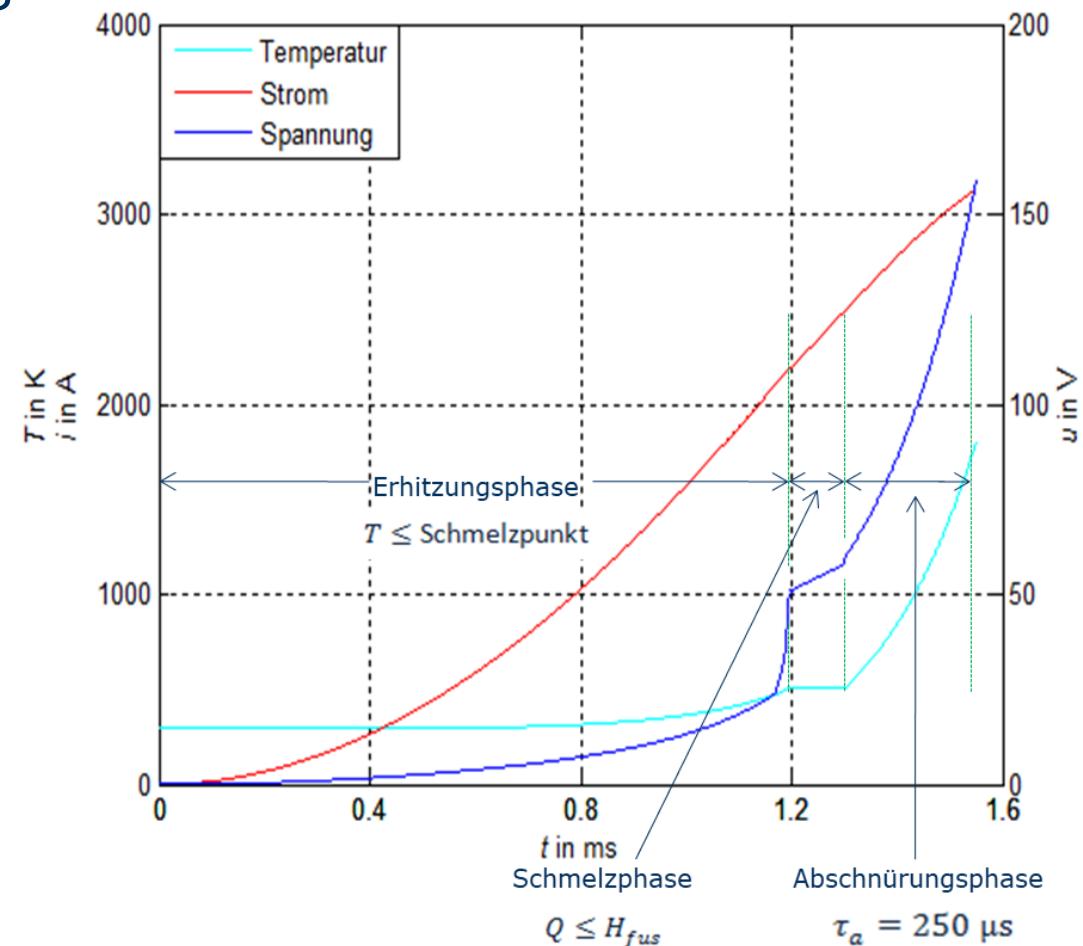


Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

Zündphase, Modellauswahl & Entwicklung

- Modell: Schmelzbrückenmodell nach Hartmann [1.2]
 - Beruht auf Theorie der Lichtbogenzündung bewegter stromführender Schaltkontakte
 - adiabatischer Aufheizvorgang des Zünddrahts
 - Annahme: Materialparameter sind konstant
- Zündphase wird in 3 Zeitabschnitte unterteilt
 1. *Aufheizen*
 - Zünddraht wird bis zur Schmelztemperatur erhitzt:
 2. *Schmelzen*
 - Zünddraht wird vollständig verflüssigt:
 3. *Abschnüren*
 - Zünddraht wird durch Pincheffekt abgeschnürt:

h_{fus} ... Schmelzwärme



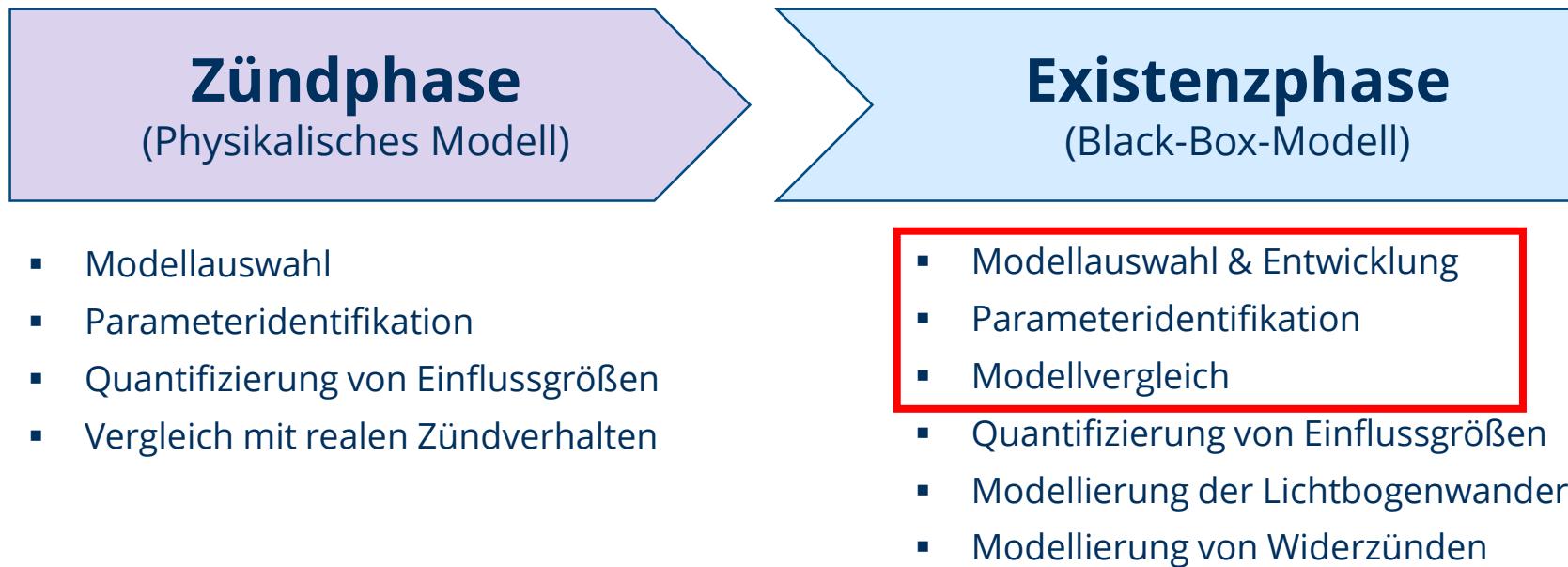
Temperatur T , Strom i und Spannung u bei einem Zündvorgang
(Länge $l = 40$ mm, Durchmesser: 0,5 mm, Materialzinn) [1.9]



Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

Entwicklung eines hybriden NS-Störlichtbogenmodells

- **Hybrides Modell** = **Physikalisches Modell** + **Black-Box-Modell**
- **Störlichtbogen-Modell:**
 - Sequenzielle Verschaltung von Modellen für 2 Phasen:



Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

Übersicht an Black-Box Lichtbogenmodellen 1/3

- Ursprung: Untersuchung von Schaltvorgängen
- Beschreibung des Bogenleitwerts g eines zylindrischen Lichtbogens in Abhängigkeit weniger Lichtbogenkenngrößen

1939 A.M. Cassie: für Bereich hoher Lichtbogenströme

$$\frac{1}{g_c} \frac{dg}{dt} = \frac{1}{\tau_c} \left(\frac{u^2}{U_0^2} - 1 \right)$$

Lichtbogenkenngrößen:

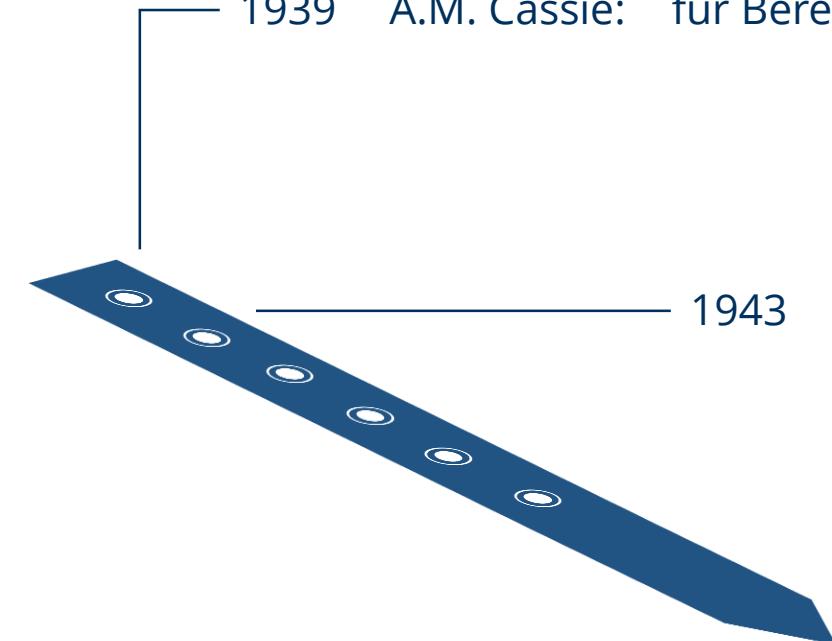
τ Bogenzeitkonstante

U_0 Mittlere Lichtbogen-
spannung

P_0 Abgegebene Leistung
(bei Stromnulldurchgang)

1943 O. Mayr: für Bereich des Stromnulldurchgangs

$$\frac{1}{g_m} \frac{dg}{dt} = \frac{1}{\tau_m} \left(\frac{u \cdot i}{P_0} - 1 \right)$$



Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

Übersicht an Black-Box Lichtbogenmodellen 2/3

- Erweiterung der Theorie von Cassie und Mayr durch:
 - Kombination
 - Einführung weiterer Parameter

1971 J. Schwarz: τ, P_0 sind abhängig von g

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{1}{\tau_0 \cdot g^\alpha} \left(\frac{g \cdot u^2}{P_0 \cdot g^\beta} - 1 \right)$$

1992 L. van der Sluis et. al.: Modifiziertes Mayr Modell

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{1}{\tau} \left(\frac{u \cdot i}{(P_0 + C_i \cdot |i|)} - 1 \right)$$

Lichtbogenkenngrößen:

τ Bogenzeitkonstante

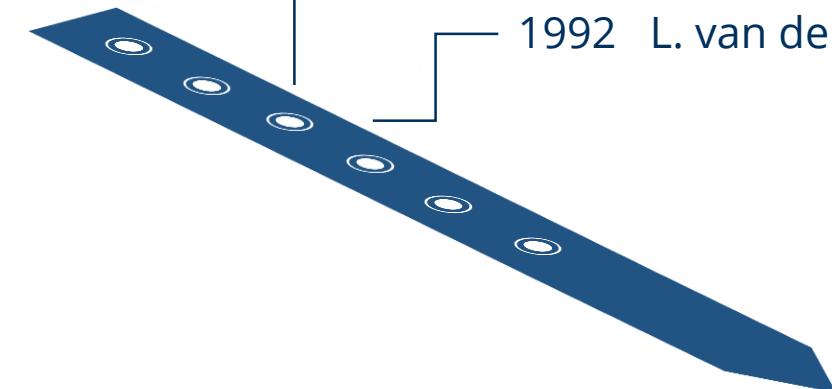
U_0 Mittlere Lichtbogen-
spannung

P_0 Abgegebene Leistung
(bei Stromnulldurchgang)

α Konst. Parameter

β Konst. Parameter

C_i Stromkonstante



Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

Übersicht an Black-Box Lichtbogenmodellen 3/3

- Erweiterung der Theorie von Cassie und Mayr durch:
 - Kombination
 - Einführung weiterer Parameter

1993 U. Habedank: Reihenschaltung von Cassie und Mayr-Modell

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{g_c} + \frac{1}{g_m}$$

Lichtbogenkenngrößen:

τ Bogenzeitkonstante

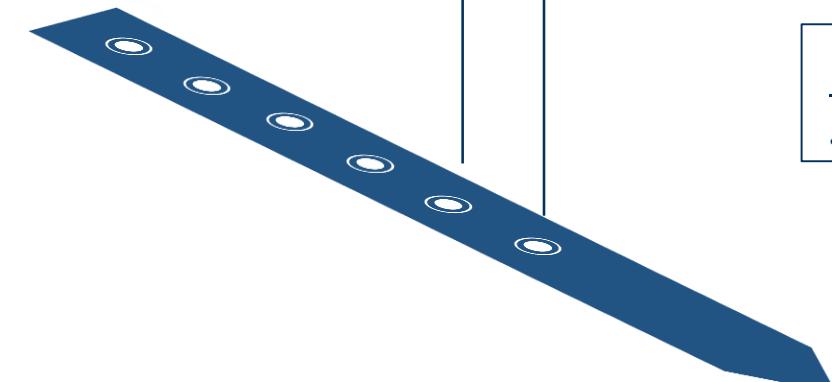
U_0 Mittlere Lichtbogen-
spannung

P_0 Abgegebene Leistung
(bei Stromnulldurchgang)

C_i Stromkonstante

2000 P.H. Schavemaker et. al.: Stromabhängige Umschaltung

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{1}{\tau} \left(\frac{u \cdot i}{\max(U_0 \cdot |i|, P_0 + P_1 \cdot u \cdot i)} - 1 \right)$$



Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

Bewertung von Black-Box-Lichtbogenmodellen

Lichtbogenkenngrößen (direkt)

- Abweichung der Lichtbogenkenngrößen berechnet von Messdaten (**meas**) und mit Lichtbogenmodell (**mod**)

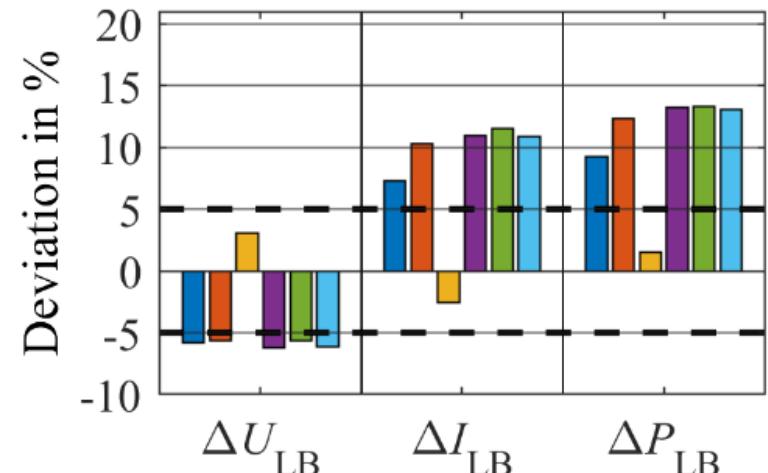
$$\Delta U_{LB} = 100 \% \cdot \frac{(U_{LB,meas} - U_{LB,mod})}{U_{LB,meas}}$$

$$\Delta I_{LB} = 100 \% \cdot \frac{(I_{LB,meas} - I_{LB,mod})}{U_{LB,meas}}$$

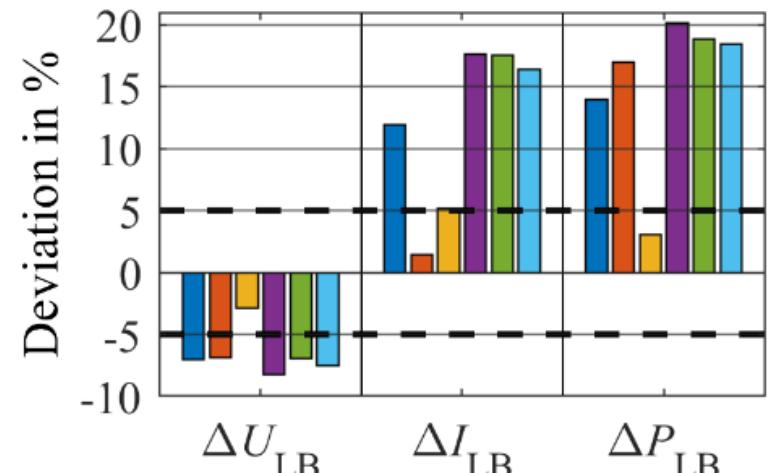
$$\Delta P_{LB} = 100 \% \cdot \frac{(P_{LB,meas} - P_{LB,mod})}{U_{LB,meas}}$$

- **Abweichung mit Schwarz-Modell < 5 % für alle Lichtbogengrößen**

$d = 70 \text{ mm}$:



$d = 90 \text{ mm}$:

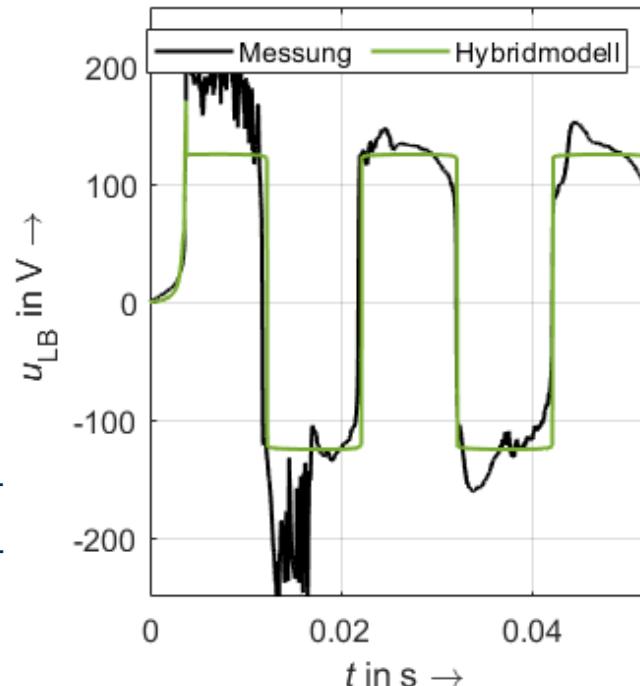


Quelle: [1.8]

Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

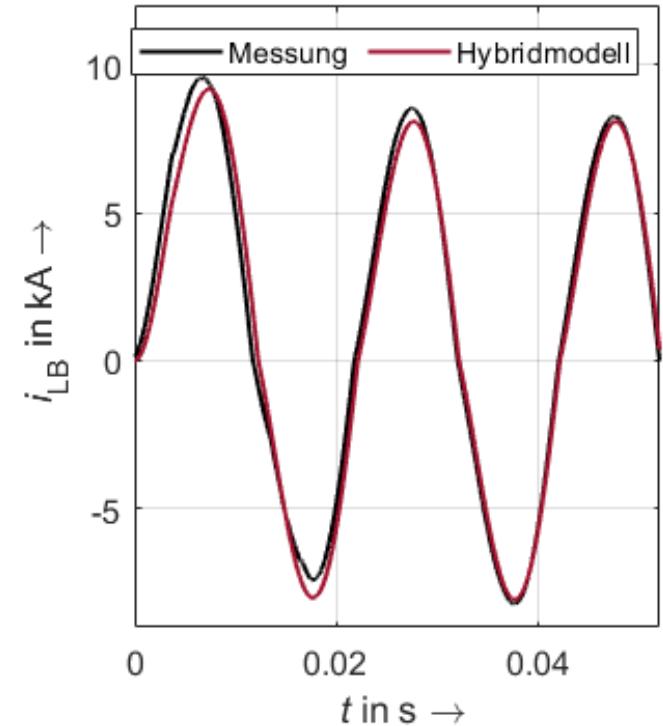
Bewertung des Schmelzbrücken-Schwarz-Modells

Spannung



→ Übereinstimmung
unter Vernachlässi-
gung des stochasti-
schen Anteils

Strom



→ Verzerrung nach
dem Nulldurchgang
→ Übereinstimmung
nach Abklingen des
transienten Verhaltens
am Anfang

Hybridmodell für die Berechnung von zeitaufgelösten Strom- und Spannungswerten geeignet

Quelle: [1.9]

Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

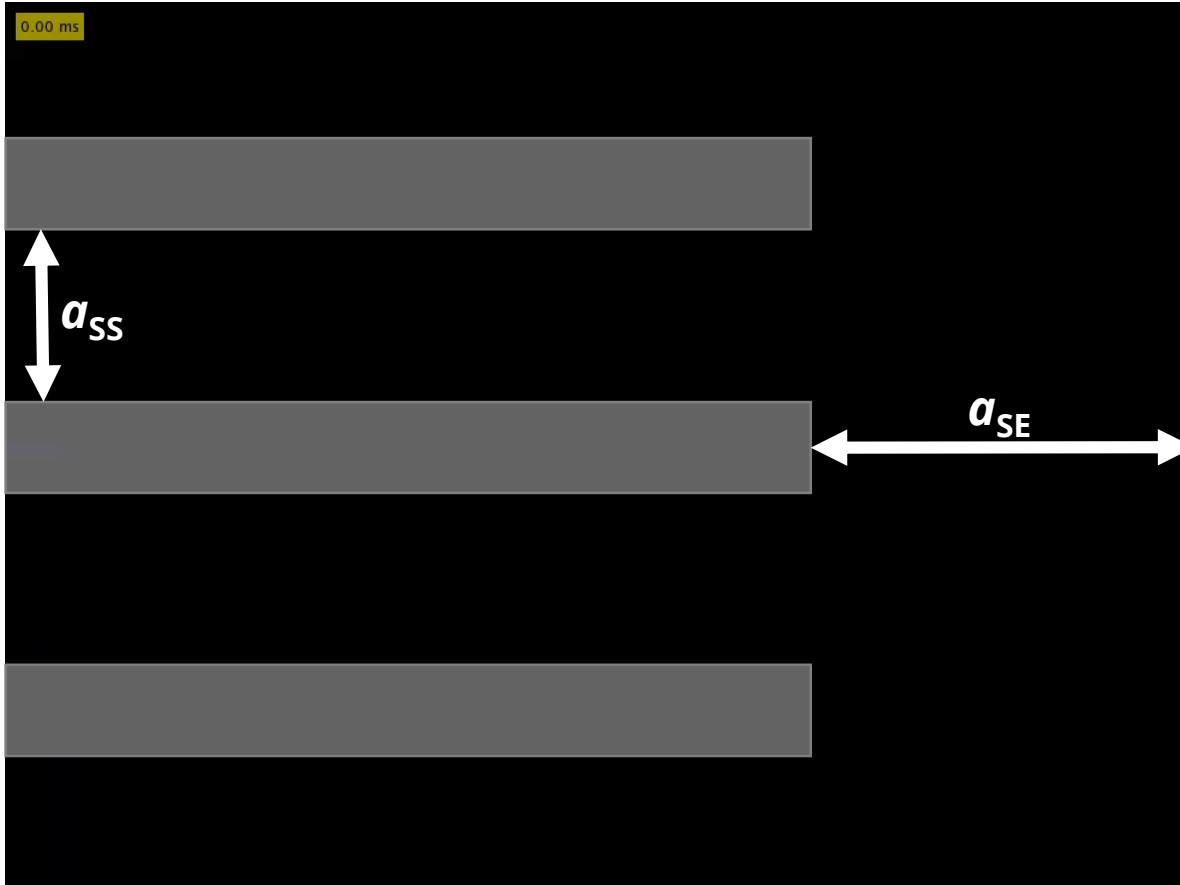
3fach-Sammelschienen-Versuchsanordnung 3p → 3pN – Video

Randbedingungen

- Anordnung: **3fach Sammelschiene**
- Material: Cu-Cu-Stahl
- Fehler: **3p → 3pN**
- $U_{LL} = 690$ V
- $a_{SS} = 70$ mm
- $a_{SE} = 215$ mm
- $a_{SW} = 65$ mm
- $a_{RW} = 50$ mm
- $I_k'' = 6,0$ kA
- $X/R = 6,2$

Eig. d. Lichtbogens:

- $\bar{I}_{LB} = 4,2$ kA
- $k_B = 0,7$
- $\bar{P}_{LB} = 2,6$ MW



Video eines Lichtbogenfehlers auf 3fach-Sammelschiene
(über 3 Netzperioden, 500-fach verlangsamt)

Quelle: [1.3]

Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

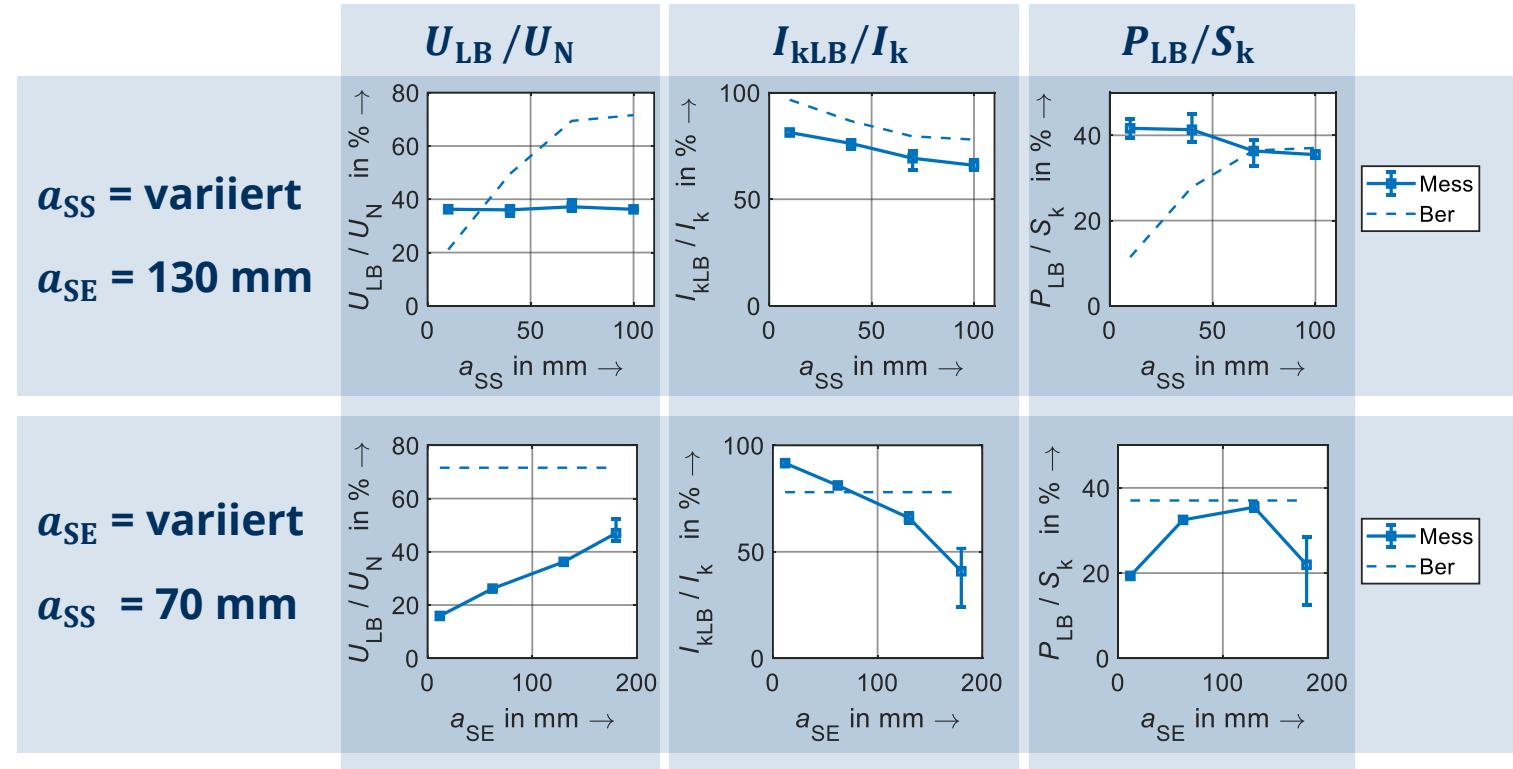
Mess- und Berechnungsergebnisse von Lichtbogengrößen

Einfluss von Anlagengrößen (s. Mess)

- Unterschiedlich stark
- Nichtlinear

Abweichung von Mess- und Berechnungsergebnissen (s. Ber)

- Deutlich ersichtlich
- Unterschiedlich stark



Mess ... Messung, **Ber** ... Berechnung

Quelle: [1.7]



Forschungsfelder am NARC: Lichtbogenmodellierung

Weiterentwicklung von Lichtbogenmodellen

Versuchsanordnung

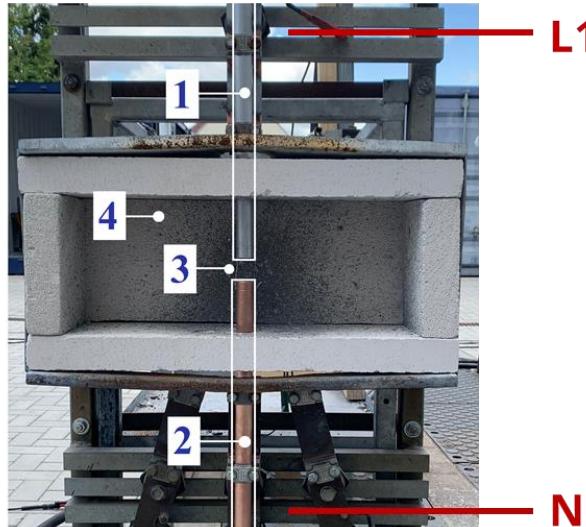


Bild 18: Halboffene Störlichtbogenexperimentieranordnung mit runden Elektroden [8]

1. Cu-Elektrode
2. Cu-Elektrode
3. Zünddraht und $d = 30\text{mm}$
4. Brennkammer mit Gasbetonsteinen

High-Speed-Videoaufnahme (© INP Greifswald e. V.)

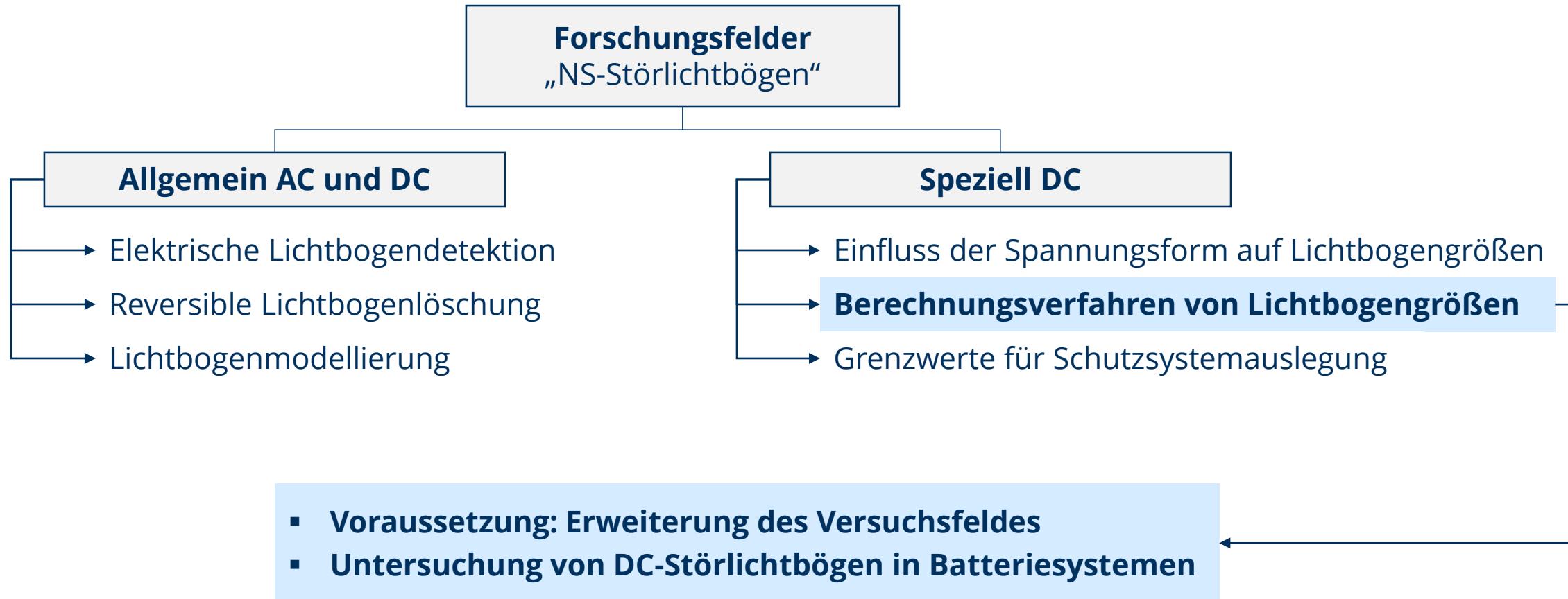


Aufnahme von AC-Lichtbogen: ca. 25 Netzperioden, 150-fach verlangsamt

➤ Weiterentwicklung von Lichtbogenmodellen durch Berücksichtigung der realen Lichtbogenlänge

Forschungsfelder am NARC

Übersicht der Forschungsfelder im Bereich „NS-Störlichtbögen“



Forschungsfelder am NARC: DC-Störlichtbögen

Ausbau des Versuchsfeldes



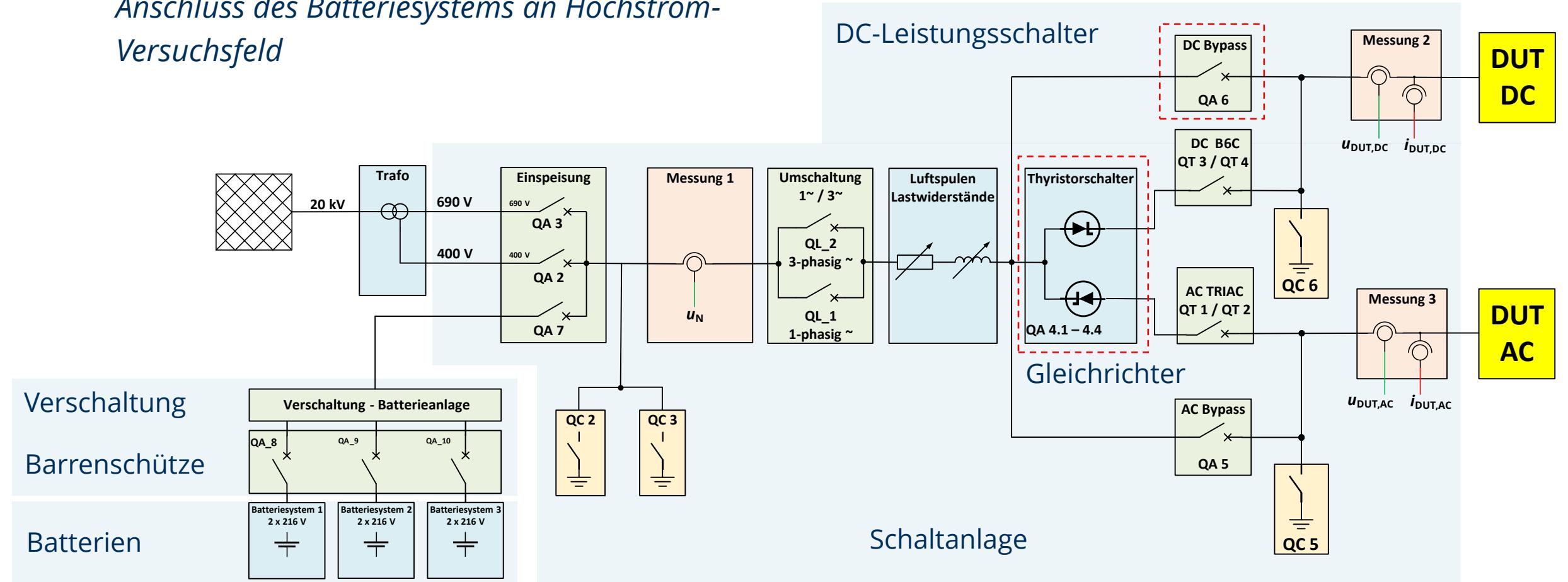
- **>100 m² zusätzliche Fläche für Container und Versuchstechnik**
- **AC/DC-Hochstromschaltanlage bis 20 kA**



Forschungsfelder am NARC: DC-Störlichtbögen

Aufbau des Hochstrom-Versuchsfeldes am NARC 1/2

Anschluss des Batteriesystems an Hochstrom-Versuchsfeld



Forschungsfelder am NARC: DC-Störlichtbögen

Aufbau des Hochstrom-Versuchsfeldes am NARC 2/2

Komponenten der Hochstrom-Versuchsanlage

Barrenschrütze

Abschaltung der DC-Kurzschlussströme

Sicherungstrennschalter

Einfachen Verschaltung der Batteriestränge

Blei-Batterien

6 Batteriestränge mit je 230 V



Gleichrichter

Erzeugung verschiedener DC-Spannungen



Schaltanlage

Auswahl von Einspeisung, Netzimpedanz, Fehlerart



Forschungsfelder am NARC: DC-Störlichtbögen

Untersuchung von Störlichtbögen in Batteriesystemen

▪ Forschungsvorhaben

- Untersuchung relevanter Lichtbogengrößen für den Störlichtbogenschutz in Batteriesystemen

▪ Batteriesystem

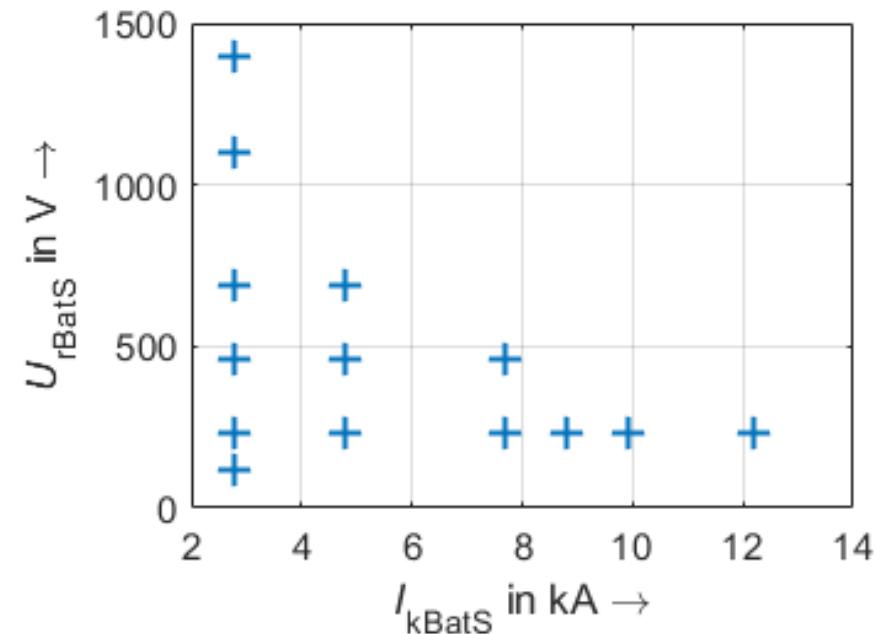
- 6 Batteriestränge, Batterietyp: Blei-Flies-Batterien (VRLA)
- Strang-Nennspannung¹: $U_{\text{rBats}}^{(1\text{Str})} = 230 \text{ V}$
- Strang-Kurzschlussstrom¹: $I_{\text{kBats}}^{(1\text{Str})} = 3 \text{ kA}$
- **Beliebige Verschaltung** der Stränge in Reihe und parallel

▪ Versuchsaufbau

- Box-Test-Versuchsaufbau entsprechend IEC 61482-1-2
- Stabilisierter Lichtbogen für Worst-Case-Untersuchung

¹Nennwerte

Foto von **Box-Test-**
Versuchsaufbau



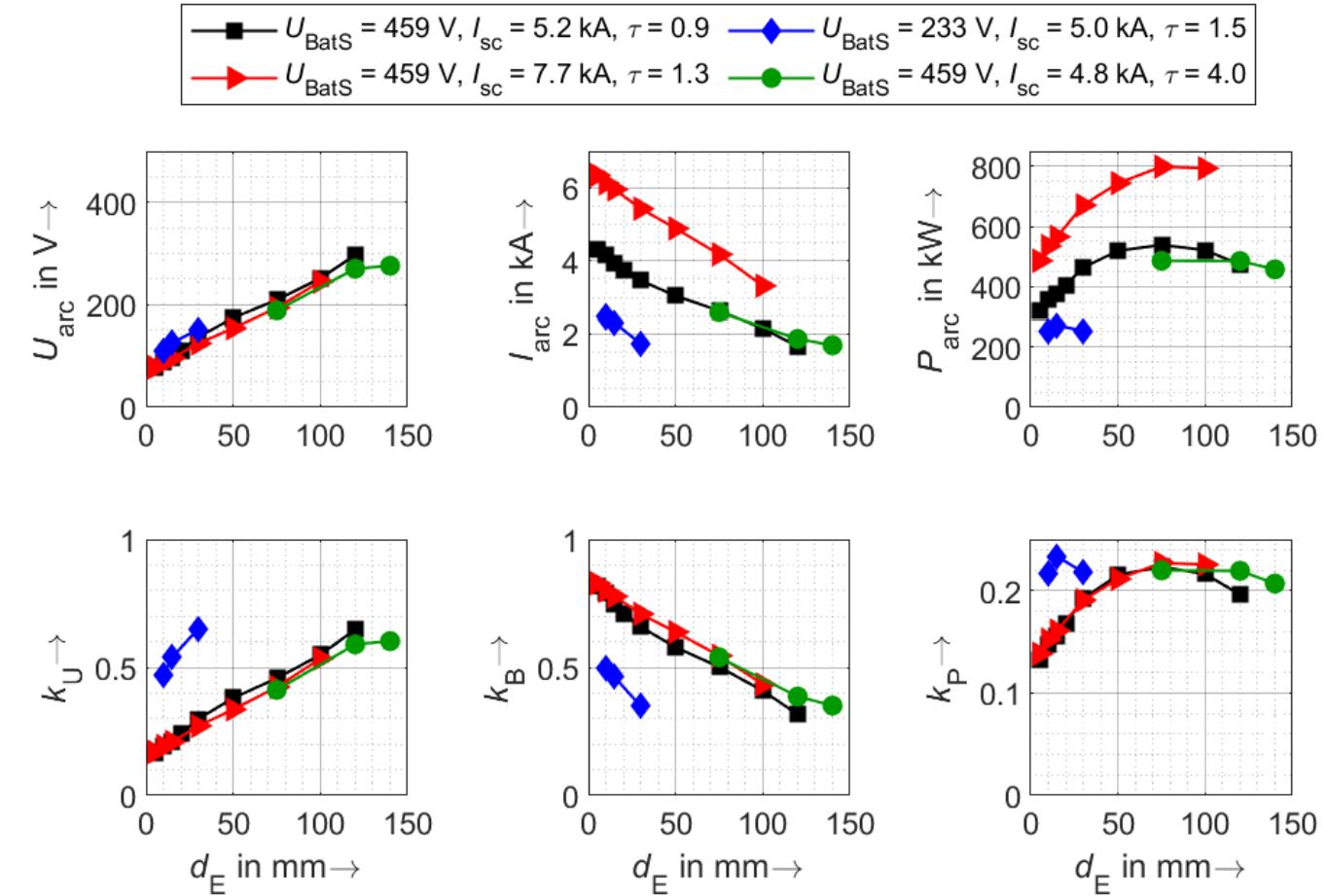
Betriebspunkte von Batteriesystem mit System-Nennspannung (U_{rBats}) und System-Kurzschlussstrom (I_{kBats})

Forschungsfelder am NARC: DC-Störlichtbögen

Untersuchung von Störlichtbögen in Batteriesystemen: Ergebnisse 1/2

- Einfluss von Systemgrößen auf die Lichtbogengrößen für die Schutzsystemauslegung
 - **Lichtbogenstrom I_{arc}**
 - **Lichtbogenleistung P_{arc}**
- Voraussetzung für die **Bewertung der Wirksamkeit** von Schutzsystemen bei DC-Störlichtbögen

d_E ... Elektrodenabstand



Ergebnisse der Untersuchung zu Kenngrößen von Störlichtbögen in DC-Systemen am NARC [1.10]

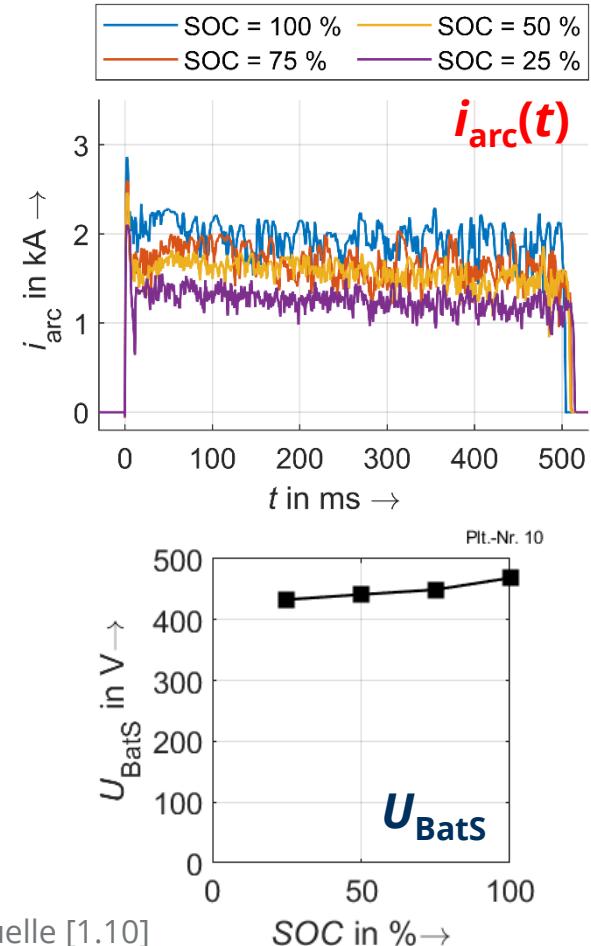
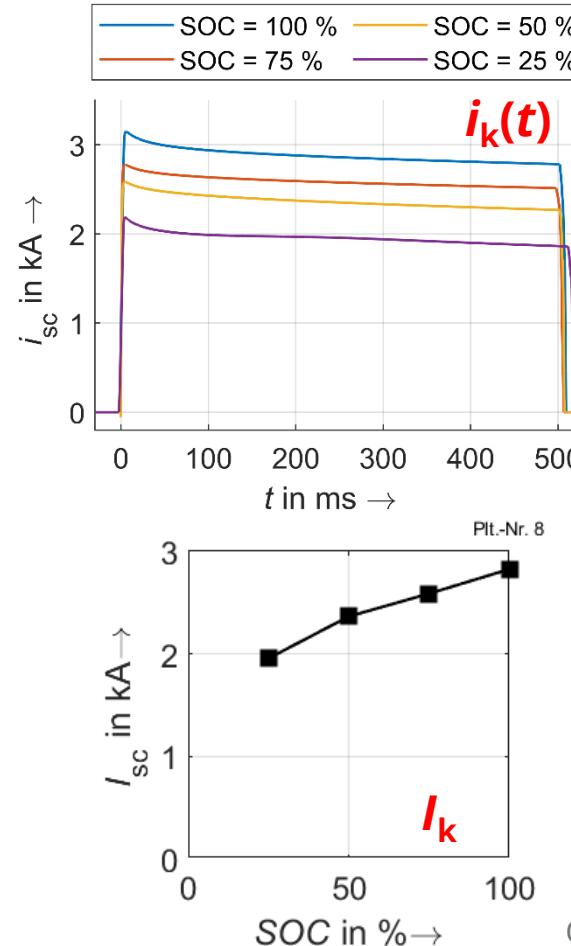
Forschungsfelder am NARC: DC-Störlichtbögen

Untersuchung von Störlichtbögen in Batteriesystemen: Ergebnisse 2/2

- Einfluss des Ladezustands (SOC) auf das Fehlerverhalten in Batteriesystemen

Größe	Einfluss von SOC
U_{Bats}	Gering
$i_k(t), I_k$	Hoch
$i_{\text{arc}}(t)$	Hoch

- Bei der **Berechnung der Lichtbogengrößen** muss der **SOC** berücksichtigt werden



Quelle [1.10]



Forschungsfelder am NARC: DC-Störlichtbögen

Anforderungen an den Anlagenfunktionsschutz bei Störlichtbögen

Anlagenfunktionsschutz bei Störlichtbögen [1.1]

- Reduktion des Gefährdungspotentials
- Vermeidung unzulässiger Anlagenschäden
- Geringe Beeinflussung der Versorgung mit elektr. Energie

Anforderung an den Anlagenfunktionsschutz

- Begrenzung der Lichtbogenenergie (W_{LB}) im Störlichtbogenfall auf ein zulässiges Maß (W_{LBzul})
- Schutzsystem muss Lichtbogen hinreichend schnell erkennen und abschalten
- *Anforderung an Schutzsystem:* Erwartete Lichtbogenbrenndauer (t_{LB}) darf maximal zulässige Lichtbogenbrenndauer (t_{LBzul}) nicht überschreiten

$$W_{LB} < W_{LBzul}$$



$$t_{LB} < t_{LBzul}$$



Störlichtbogenexperiment im Hochleistungsversuchsfeld am NARC der TU Dresden

Forschungsfelder am NARC: DC-Störlichtbögen

Störlichtbogenschutzes in Batteriesystemen: Bewertung der Schutzwirkung

Batteriesystemgrößen				Sicherung			Lichtbogengrößen					Schutzwirkung			
Batt.-System	U_{rBats} in V	t_d in h	SOC in %	I_{rBats} in A	I_k in kA	U_{nF} in V	I_{nF} in A	Type	I_{arc} in kA	k_B in %	P_{arc} in kW	k_P in %	t_{kLB} in ms	W_{LB} in kJ	
A	460	1,0	25	125	2.0	700	160	NH2	1.2	63	170	21	20	28	
		0.5	50	125	2.4		160		1.5	66	215	21	6	23	
		0.5	100	125	2.8		160		1.9	67	266	21	<4	2	
	700	25	210	2.0	315		315		1.2	63	170	21	3000	510	
		50	210	2.4			315		1.5	66	215	21	1250	269	
		100	210	2.8			315		1.9	67	266	21	250	67	

- Anforderungen an den Anlagenfunktionsschutz nicht immer erfüllt

➤ Der SOC hat Einfluss auf die Wirksamkeit des Anlagenschutzes

$$W_{\text{LB}} < W_{\text{LBzul}} = 100 \text{ kJ}^1$$

¹Grenzwert gilt nur für AC [1]

Forschungsfelder am NARC: DC-Störlichtbögen

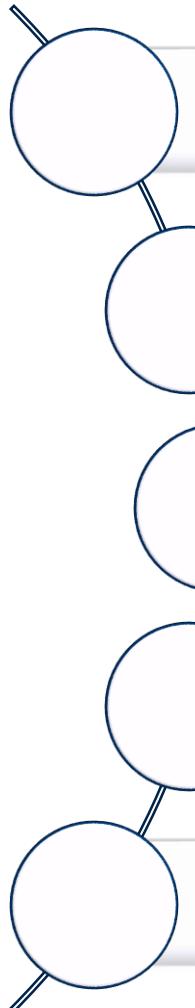
Störlichtbogenschutz in Batteriesystemen: Auslegungsverfahren

- In **Batteriesystemen** muss der **Ladezustand** bei der Bestimmung der Wirksamkeit des Anlagenfunktionsschutzes berücksichtigt werden
- Ein **mehrstufiges Auslegungsverfahren** kann zur Bestimmung der Wirksamkeit angewendet werden:
 - **Schritt 1:** Bestimmung der maximalen Anforderungen an Schutzsystem bei maximalem SOC ($SOC_{max} = 100\%$)
 - **Schritt 2:** Bestimmung der Anforderungen an Schutzsystem bei minimalen SOC (e. g. $SOC_{min} = 30\%$)

➤ Anforderung an den Anlagenfunktionsschutz in Batteriesystemen

$$t_{kLB\ 1}(SOC_{max}) < t_{kLBzul\ 1}(SOC_{max}) \quad \text{und} \quad t_{kLB\ 2}(SOC_{min}) < t_{kLBzul\ 2}(SOC_{min})$$

Inhalte



National Arc fault Research Center

Gefahr und Schutz bei Störlichtbögen

Forschungsfelder am NARC

Zusammenfassung und Ausblick

Störlichtbogenvorführung



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- **Vielfältige experimentelle Untersuchung** von Störlichtbögen durch Ausbau der Versuchsanlage
- **AC/DC: 15/20 kA**
- **Kooperation** mit nahezu allen relevanten Forschungseinrichtungen und einer Vielzahl von privaten Unternehmen im Bereich Störlichtbögen
- **Forschungsarbeit** in diversen Themenfeldern
 - Anlagenschutz / Personenschutz
 - Weiterentwicklung und Verbesserung aktiver Störlichtbogenschutzsysteme
 - Grundlagenuntersuchungen zu elektrischen und thermischen Verhalten von AC/DC-Störlichtbögen
- **Aufklärung und Sensibilisierung** vor der Gefahr durch Störlichtbögen in Seminaren

Zusammenfassung und Ausblick

Ausblick

- Untersuchung eines **geeigneten Maßes für die Gefährdung** bei DC-Störlichtbögen
- Festlegung von **Grenzwerten für die Gefährdung** bei DC-Störlichtbögen
- **Weiterentwicklung von Lichtbogenmodellen** durch Berücksichtigung der realen Lichtbogenlänge
- Aufbau eines Forschungslabors für die Entwicklung und Validierung von Wanderwellenschutzsystemen in einer **HIL-Echtzeit-Simulationsumgebung** an der TU Dresden
- Entwicklung eines Schutzkonzeptes zur **wanderwellenbasierten Detektion von Störlichtbögen**



Box-Test-Versuchsaufbau im Einsatz am NARC

Inhalte



National Arc fault Research Center

Gefahr und Schutz bei Störlichtbögen

Forschungsfelder am NARC

Zusammenfassung und Ausblick

Störlichtbogenvorführung



Störlichtbogenvorführung

Übersicht

- **Ziel: Experimentalvorführungen sollen die Gefahr durch Lichtbögen in stromstarken Niederspannungsanlagen verdeutlichen !!!**

- **3 Experimentalvorführungen am Lichtbogenversuchsstand:**

Gefahr durch Lichtbögen in stromstarken Niederspannungsanlagen

- LV1: Verhalten eines DC-Störlichtbogens in einer Hausinstallation
- LV2: Auswirkung von Störlichtbögen bei Arbeiten mit/ohne Arbeitsschutzbekleidung
- LV3: Dynamisches Verhalten von Störlichtbögen (LiBo-Looping)



Störlichtbogenvorführung

Warnhinweise

- **Lichtbögen können auch bei nicht direkter Berührung zu erheblichen Schäden führen**
- **Mögliche Gefahren:**
 - Lichtemission
 - Lärmemission
 - Druckwellen
 - Geschmolzenes Metall, Metallspritzer
 - Giftige Gase und Dämpfe

→ Bei Lichtbogenversuchen ist das Tragen von Schutzbrille und Gehörschutz verpflichtend!

Die TU Dresden übernimmt keinerlei Haftung für Schäden!



Quelle: [2.26]



Michael Bruhns
michael.bruhns@tu-dresden.de
+49 351 463-35088



**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**

Quellenverzeichnis (Literatur)

- [1.1] Schau, H.; Schäfer, H.: *Lichtbogenenergie - Ein Maß für die Personengefährdung und Zerstörung von Schaltanlagen*. 40. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 1995, 18.-21. Sept. 1995, Ilmenau/Deutschland, Tagungsband 1, S. 283...288.
- [1.2] Werner Hartmann, Michael Römhild, Klaus-Dieter Rohde, Alf Wabner: *Hydrodynamische Instabilität von Schmelzbrücken beim Öffnen Stromtragender Kontakte*, 18. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe (D), 5.-7. Oktober 2005, VDE-Fachbericht 61, VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach, 2005, pp. 63-67
- [1.3] Ballweber, T.; Bruhns, M. et. Al.: *Sicherheit bei Störlichtbögen in der Niederspannung*, Schlussberichts zu IGF-Vorhaben 20914BG, Mannheim, 2023.
- [1.4] P. Müller, S. Tenbohlen, R. Maier, und M. Anheuser: „*Characteristics of series and parallel low current arc faults in the time and frequency domain*“, in Proceedings of the 56th IEEE holm conference on electrical contacts: Charleston, south carolina, USA, 4 – 7 october 2010, IEEE, Hrsg., 2010.
- [1.5] H. Schau, A. Halinka, und W. Winkler: *Elektrische Schutzeinrichtungen in Industrienetzen und -anlagen: Grundlagen und Anwendungen*. in de-Fachwissen. München and Heidelberg: Hüthig & Pflaum Verlag GmbH & Co, 2008.
- [1.6] K. Wenzlaff, D. Luhnau, P. Schegner, und M. Anheuser, „*Fast Numerical Algorithms for Arc Fault Detection*“, in 2021 IEEE 66th Holm Conference on Electrical Contacts (HLM), San Antonio, TX, USA: IEEE, Okt. 2021, S. 32-37. doi: 10.1109/hlm51431.2021.9671116.
- [1.7] M. Bruhns, J. Urbank, C. Liebermann, und P. Schegner, „*Berücksichtigung der Eigenschaften stromstarke Störlichtbögen bei der Schutzsystemauslegung von Niederspannungsanlagen*“, gehalten auf der 18. Symposium Energieinnovation, EnInnov 2024, Graz, Feb. 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tugraz.at/events/eninnov2024/nachlese/download-beitraege/stream-c#c590769>
- [1.8] M. Bruhns, K. Wenzlaff, P. Schegner: *Parameter Identification of electric Arc Models for free burning High-Current Fault Arcs*, 23. International Conference on Gas Discharge and their Applications (GD2023), Greifswald, September 2023.
- [1.9] M. Bruhns, P. Schegner: *Entwurf eines hybriden Modells für stromstarke Störlichtbögen in der Niederspannung zur Entwicklung und Auslegung von Störlichtbogenschutzsystemen*, Dresdener Kreis, Dresden, März 2025.
- [1.10] M. Bruhns, P. Schegner: *Characteristics of High Current DC Arc Faults in LV Battery Systems and Conclusions for System Protection*, 14. ICOLIM International Conference On Live Maintenance, Oslo, Juni 2025.
- [1.11] <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtbogen>
- [1.12] Balzer, G., Neumann, C. (2016). Schaltverhalten von Leistungsschaltern. In: Schalt- und Ausgleichsvorgänge in elektrischen Netzen. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44547-1_8



Quellenverzeichnis (Bilder)

- [2.1] Quelle: https://www.rwth-aachen.de/go/id/a/*
- [2.2] Quelle: https://www.fgh-ma.de/de/*
- [2.3] Quelle: https://www.inp-greifswald.de/*
- [2.5] Quelle: https://efidresden.de/*
- [2.5] Quelle: https://www.bsd-dresden.de/*
- [2.5] Quelle: https://www.dehn.de/de/*
- [2.6] Quelle: <https://www.dguv.de/de/index.jsp>*
- [2.7] Quelle: https://www.lafiro.de/de/*
- [2.8] Quelle: <https://www.sachsen-netze.de/wps/portal/netze/cms/startseite>*
- [2.9] Quelle: https://www.bgetem.de/*
- [2.10] Quelle: https://kautz-trier.com/**
- [2.11] Quelle: https://www.colsman-helme.com/*
- [2.12] Quelle: https://www.ge.com/*
- [2.13] Quelle: https://www.emaconpower.com/de/*
- [2.14] Quelle: https://elatec.net/*
- [2.15] Quelle: https://www.stfi.de/*
- [2.16] Quelle: https://www.ibvberlin.de/*
- [2.17] Quelle: https://www.apg.at/*
- [2.18] Quelle: https://siba.de/de/home/*
- [2.19] Quelle: https://www.se.com/de/de/*
- [2.20] Quelle: https://tricera.energy/*
- [2.21] Quelle: https://press.siemens.com/global/de/*
- [2.22] Quelle: https://www.sma.de/*
- [2.23] Quelle: https://www.rwe.com/*
- [2.24] Quelle: https://www.jmag-international.com/aboutus/product-partners/opal-rt/*
- [2.25] Quelle: <https://www.cesi.it/about-us/overview/iph-gmbh/> **
- [2.26] Quelle: <https://www.google.com/maps>

*Zuletzt besucht: 02.12.2025 **Zuletzt besucht: 27.01.2025