

Michael Bruhns, Prof. Peter Schegner

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
Lehrstuhl für Elektroenergieversorgung

BERÜCKSICHTIGUNG DER EIGENSCHAFTEN STROMSTARKER STÖRLICHTBÖGEN BEI DER SCHUTZSYSTEM-AUSLEGUNG VON NIEDERSPANNUNGSANLAGEN

18. Symposium Energieinnovation 2024
Graz // 15.02.2024

Agenda

1. Motivation und Einführung
2. Experimentelle Untersuchung
3. Ergebnisse
4. Zusammenfassung und Ausblick

1. Motivation und Einführung

Untersuchung stromstarker Niederspannungs-Störlichtbögen, TU Dresden

- Ziel der Untersuchung

Reduktion des Gefährdungspotentials bei Störlichtbögen für

- **Personen** ➤ **Anlagen** ➤ **Elektroenergieversorgung**

- Ansatz

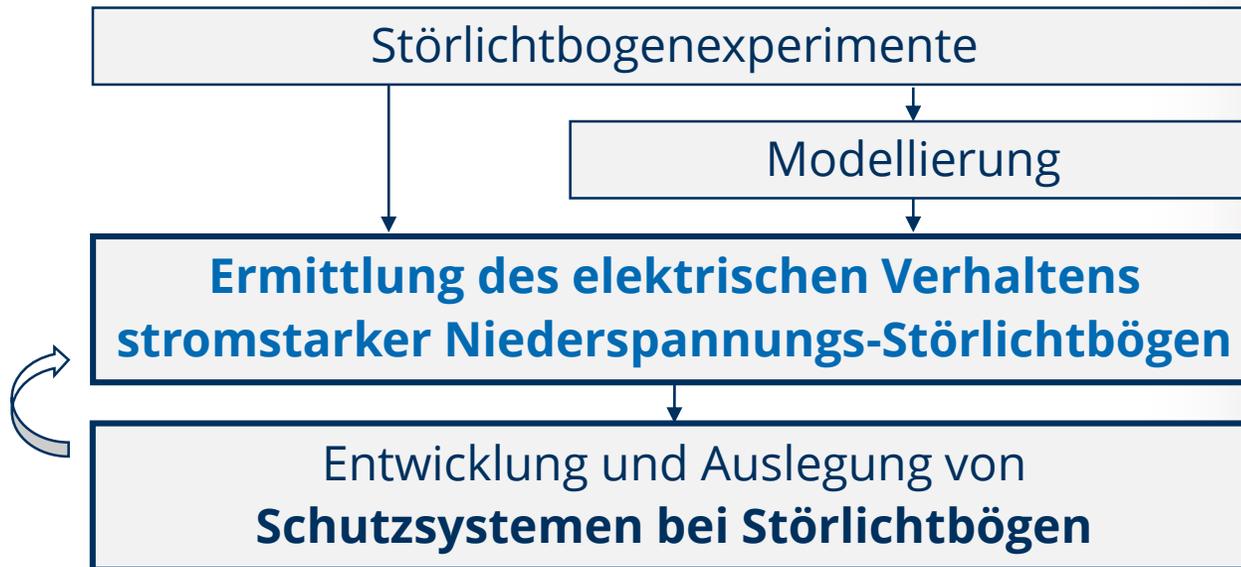
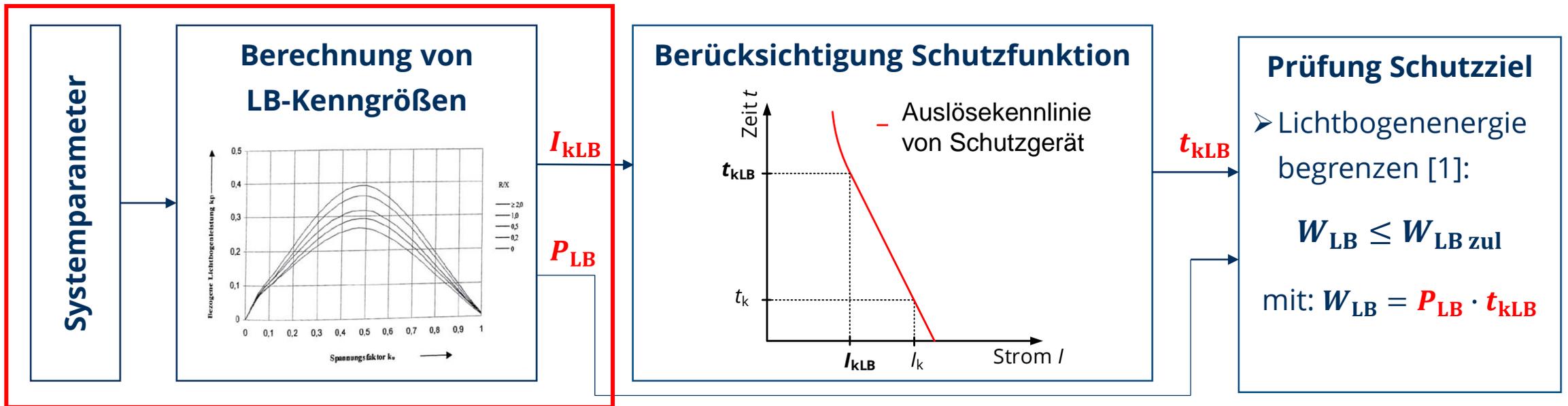


Bild 1: Störlichtbogenversuch im Hochleistungsversuchsfeld der TU Dresden

1. Motivation und Einführung

Anforderungen an Schutzsystemen bei Störlichtbögen (SLB)

- Hoher Energieumsatz im LB → schnelle Fehlerklärung (innerhalb weniger Millisekunden)
- Berücksichtigung von Verlängerung der Auslösezeit von Überstrom-Zeit-Schutzfunktionen



➤ LB-Kenngrößen für Schutzsystemauslegung:

LB ... Lichtbogen, k ... Kurzschluss

1. Lichtbogenstrom I_{kLB}
2. Lichtbogenleistung P_{LB}

Schema: Vorgehen zur Auslegung von Schutzsystemen bei Störlichtbögen nach [2]

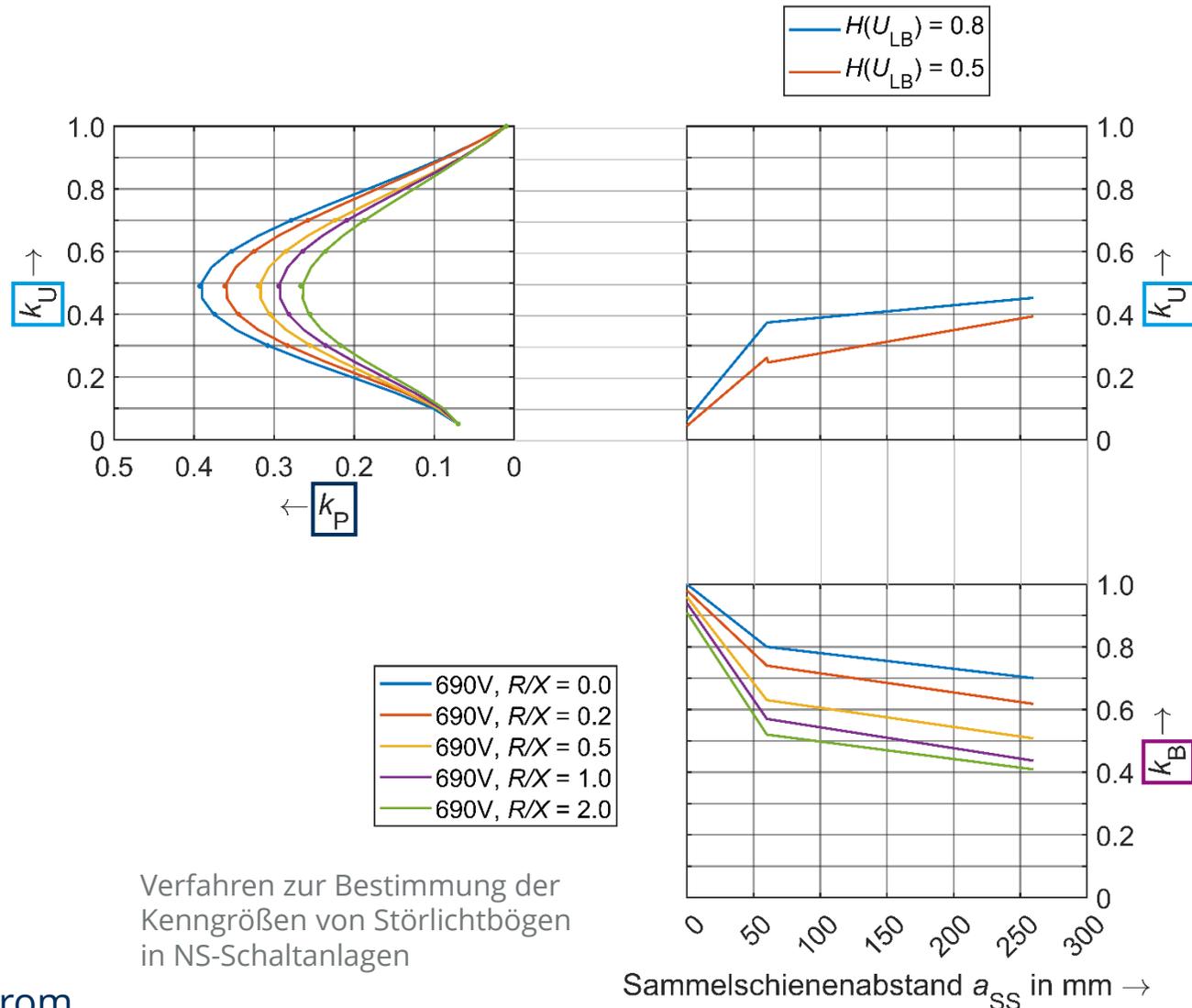
1. Motivation und Einführung

Bestimmung von LB-Kenngrößen

Bestimmungsverfahren nach [3]

- **Empirische Auswertung** von Versuchen an paralleler, offener Anordnung von Stromschienen mit Rechteckprofil (oder Rechteck ähnlich)
- **Indirekte LB-Kenngrößen:**
 - $k_U = k \cdot U_{LB} / U_n = f(H(U_{LB}), a_{SS}, k)$
 - $k_B = I_{kLB} / I_k'' = f(U_n, R/X, a_{SS})$
 - $k_P = P_{LB} / S_k'' = f(k_U, R/X)$
- $H(U_{LB}) = 80\%$ entspricht Stabilitätsgrenze
 - **Orientierung für kleinstmöglichen Fehlerstrom**

(Nachfolgend als **Berechnung** bezeichnet)



k ... Spannungsfaktor (= 0,544 für dreipolige LB),
 $H(U_{LB})$... Summenhäufigkeit der Lichtbogenspannung U_{LB}

Agenda

1. Einführung
2. Experimentelle Untersuchung
3. Ergebnisse
4. Zusammenfassung und Ausblick

2. Experimentelle Untersuchung

Versuchsanordnung und Durchführung

Versuchsanordnung

- Dreiphasige Sammelschienenanordnung in Schaltschrank
- Untersuchung der Parameter der Fehlerstelle

Durchführung

- Zündung mit Zünddraht auf Einspeiseseite,
- Brenndauer $t_{\text{klB}} = 150 \text{ ms}$
- Auswertung mit festen Zeitfenster im quasistationären Bereich

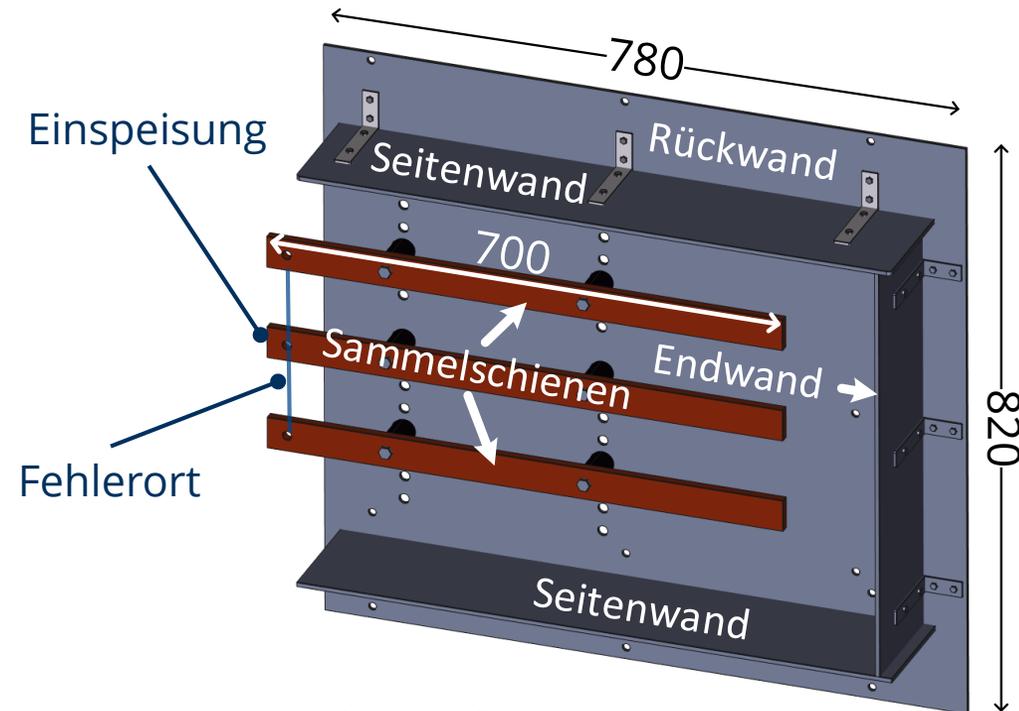


Bild 1: Aufbau von Sammelschienen-Versuchsanordnung

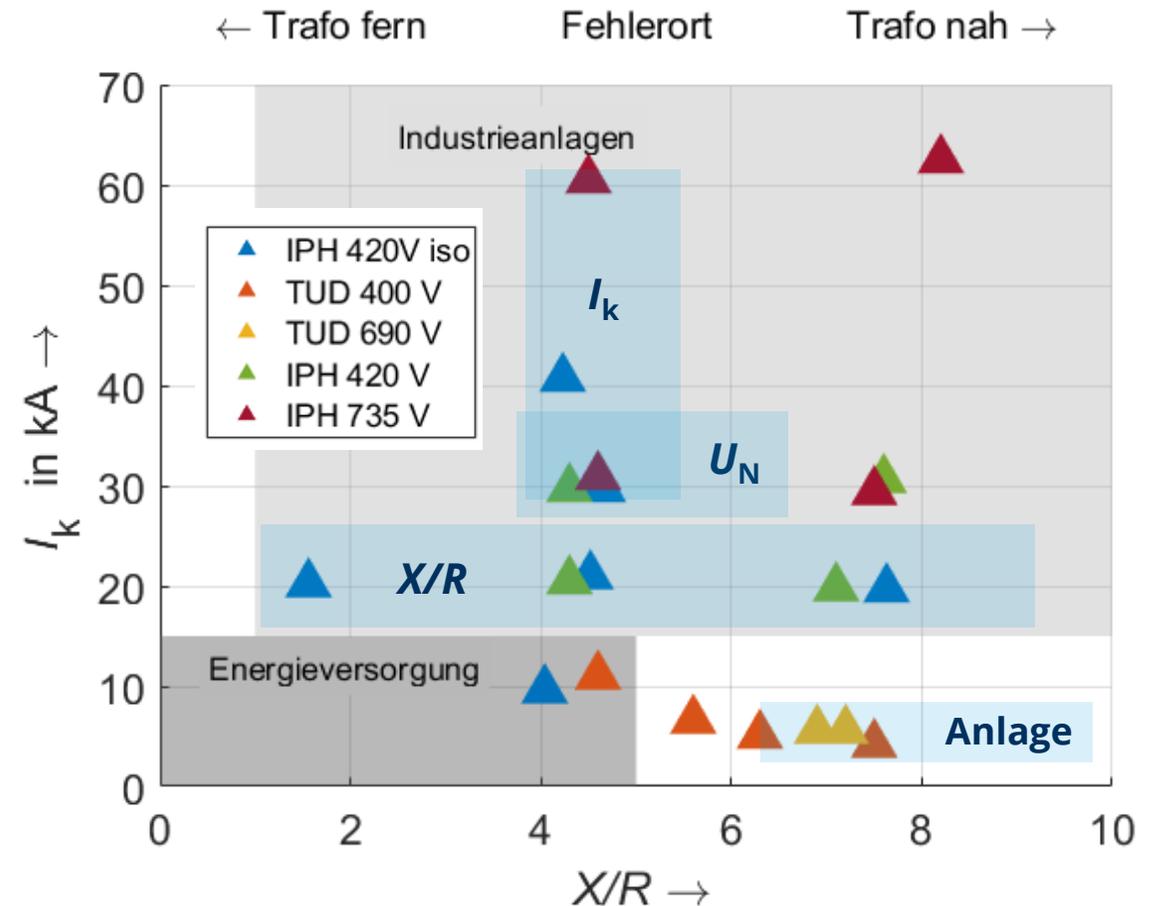


Bild 2: Sammelschienen-Versuchsanordnung in Schaltschrank

2. Experimentelle Untersuchung Hochleistungsversuchsfelder

- Untersuchung des Einflusses von Netz- und Anlagenparametern an verschiedenen Versuchseinrichtungen

Versuchsfeld	Netzspannung U_N / V	Kurzschlussstrom I_k / kA	Reaktanz-Resistenz-Verhältnis X/R	Untersuchte Systemparameter
NARC, TU Dresden	400, 690	6, 11	7	Anlage
IPH, Berlin	420, 735	11, 20, 30, 40, 60	2 ... 7	Netz



2. Experimentelle Untersuchung

Übersicht der untersuchten Systemparameter

	Systemparameter		Wertebereich
Netz	Netzspannung	U_N / V	400, 420, 690, 735
	Kurzschlussstrom	I_k / kA	6, 11, 20, 30, 40, 60
	Reaktanz-Resistanz-Verhältnis	X/R	2, 4, 7
Anlage	Abstand zwischen Sammelschienen	a_{SS} / mm	10 ... 100
	Abstand zur Rückwand	a_{RW} / mm	40, 50, 75
	Abstand zur Endwand	a_{SE} / mm	10 ... 185
	Abstand zu den Seitenwänden	$a_{SW} \text{ in mm}$	210 ... 330
	Sammelschienenmaterial		Kupfer (Cu), Aluminium (Al)
	Schaltschranköffnung		Geöffnet, verschlossen
	Erdung		Starr geerdet, isoliert
	Wandmaterial		Stahl, Kunststoff
Beschichtung von Sammelschienen		Unbeschichtet, beschichtet	



Bild 1: Sammelschienenraum des SLB-Sammelschienenschrankes am NARC

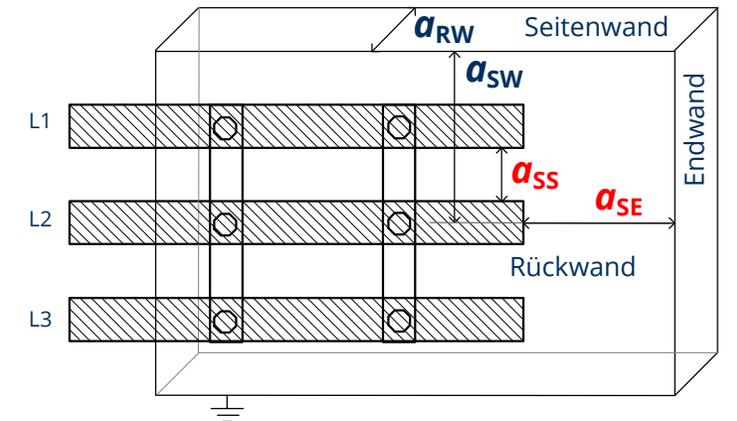


Bild 2: Aufbau von Sammelschienen-Versuchsordnung in schematischer Darstellung

Agenda

1. Einführung
2. Experimentelle Untersuchung
3. Ergebnisse
4. Zusammenfassung und Ausblick

3. Ergebnisse

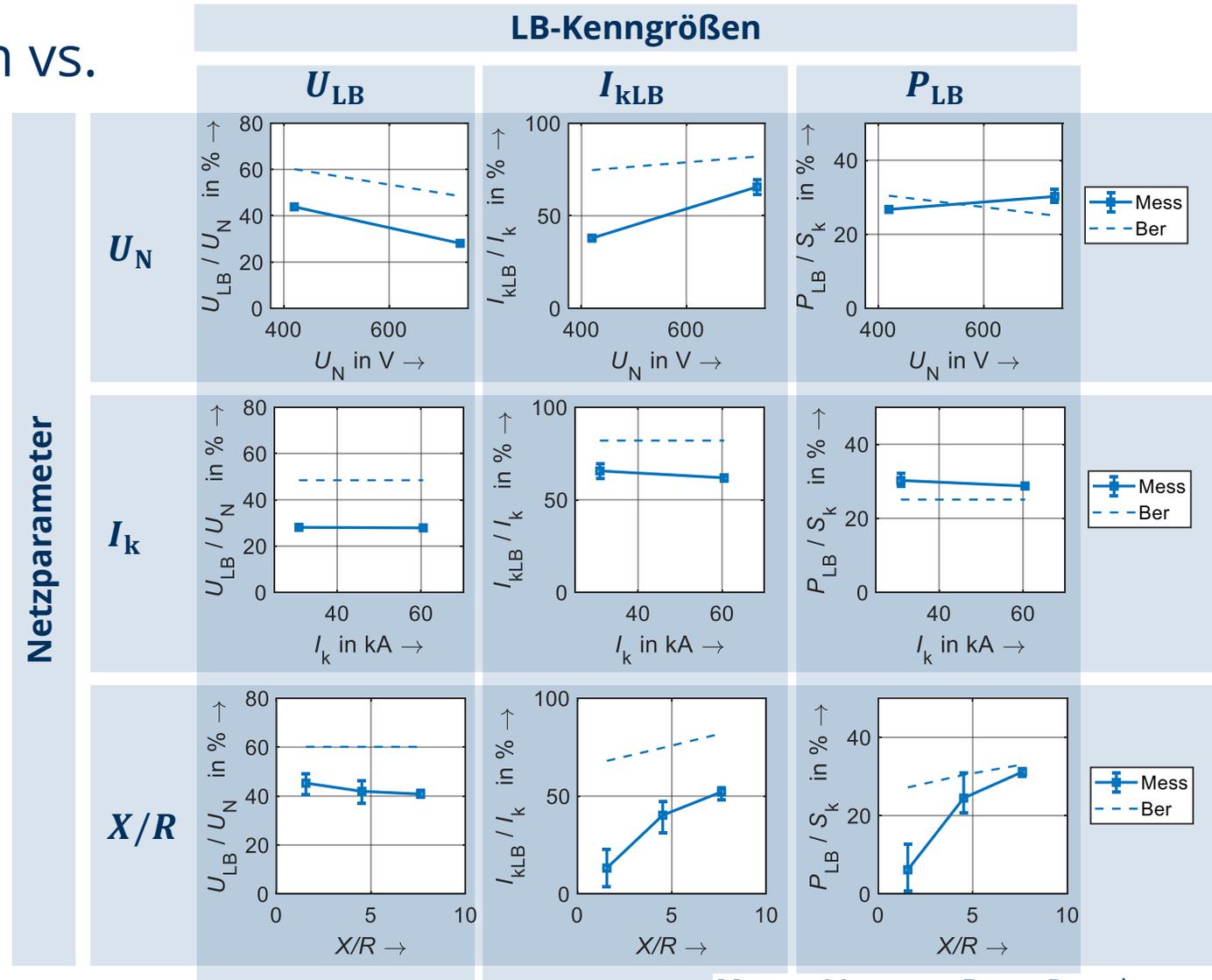
Darstellung von LB-Kenngrößen vs. Netzparameter

Einfluss der Systemparameter (s. Mess)

- Unterschiedlich stark
- Nichtlinear

Vergleich von Mess- und Berechnungsergebnissen (s. Ber)

- Deutlich ersichtlich
- Unterschiedlich stark



Mess ... Messung, Ber ... Berechnung

3. Ergebnisse

Darstellung von LB-Kenngrößen vs. Anlagenparameter

Einfluss der Systemparameter (s. Mess)

- **Unterschiedlich stark**
- Nichtlinear

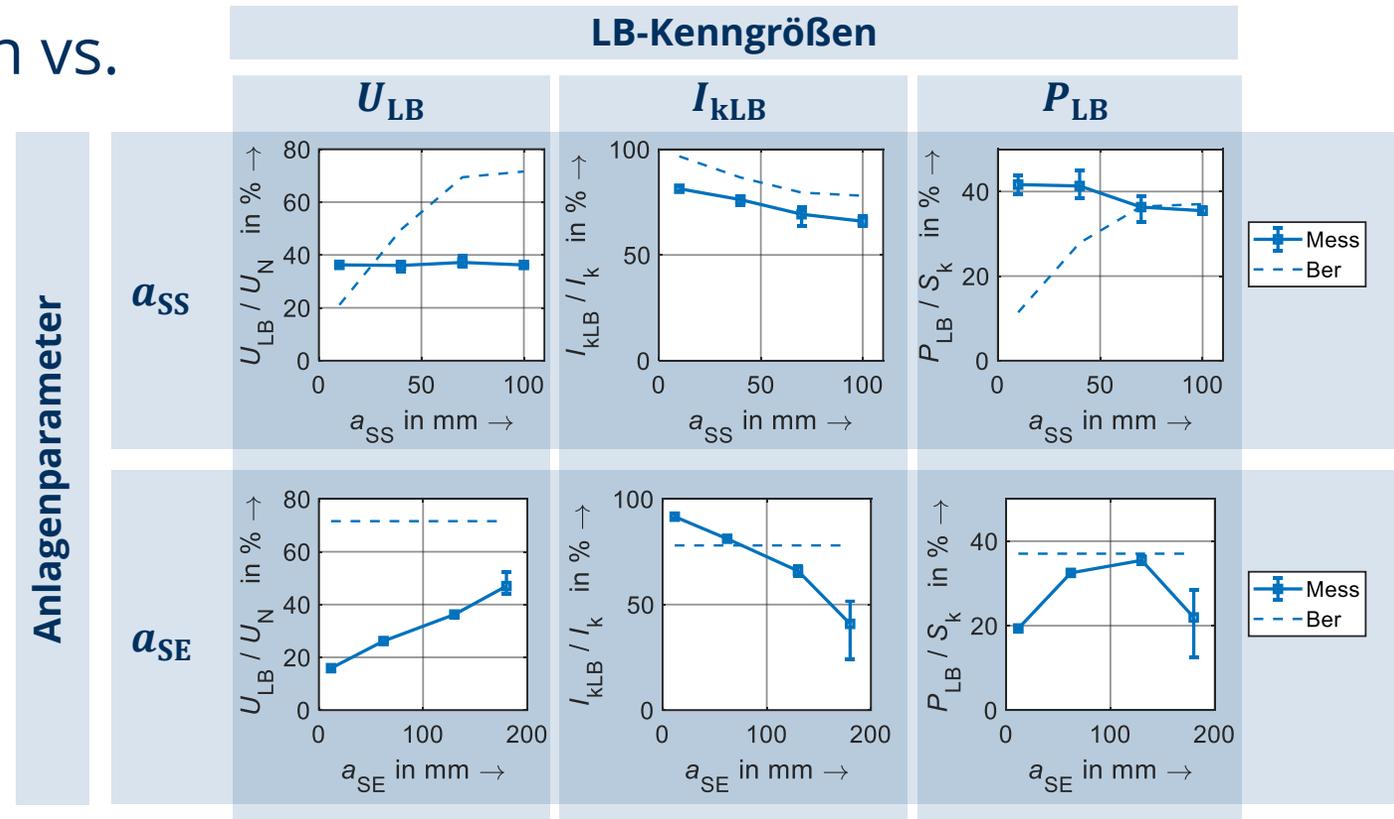
Vergleich von Mess- und Berechnungsergebnissen (s. Ber)

- Deutlich ersichtlich
- **Unterschiedlich stark**
- teils invers



Quantifizierung von

- Abhängigkeit** der **LB-Kenngrößen** von **Systemparametern**
- Abweichung** zwischen **Mess-** und **Berechnungsergebnissen**



Mess ... Messung, Ber ... Berechnung

3. Ergebnisse

i. Abhängigkeit der LB-Kenngrößen von den Systemparametern

▪ Systemparameter: $SP = \{ \underbrace{U_N, I_k, X/R}_{\text{Netz}}, \underbrace{a_{SS}, a_{RW}, a_{SE}, a_{SW}}_{\text{Anlage}} \}$

▪ LB-Kenngrößen: $K_{LB} = \{ \underbrace{U_{LB}, I_{kLB}, P_{LB}}_{K_{diLB}}, \underbrace{\frac{U_{LB}}{U_N}, \frac{I_{kLB}}{I_k}, \frac{P_{LB}}{S_k}}_{K_{inLB}} \}$

K_{diLB} ... Direkte LB-Kenngrößen,
 K_{inLB} ... Indirekte LB-Kenngrößen

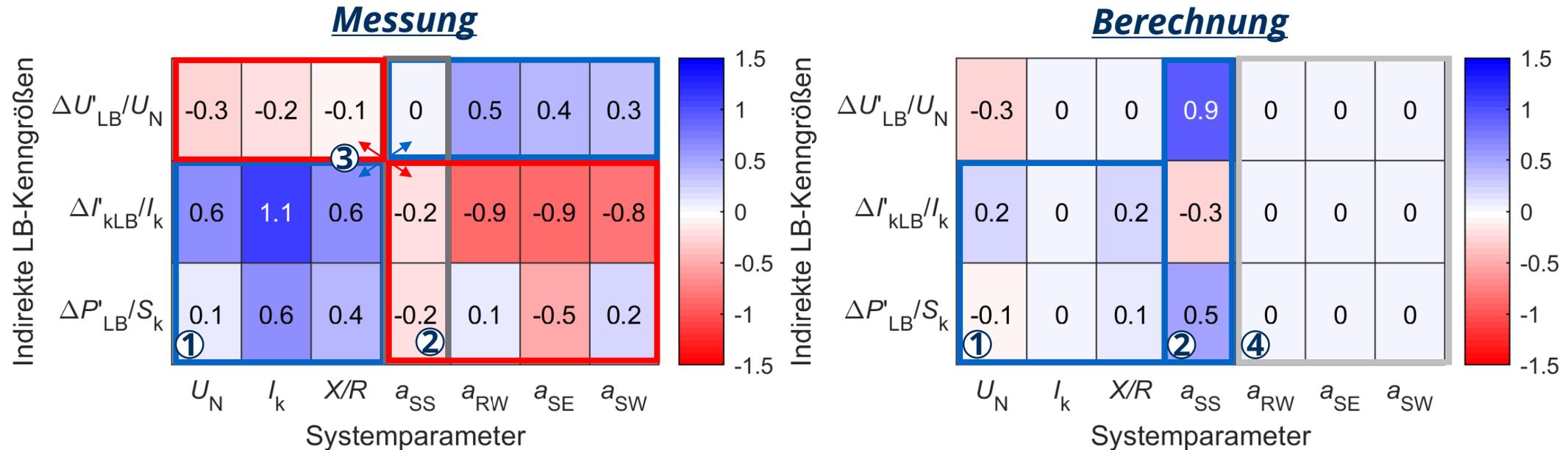
▪ Definition der Kennzahl $\Delta K'_{inLB ij}$ zur einheitenlosen Bewertung der Abhängigkeiten:

	Gradient	Normierung		Beispiele
$\Delta K'_{inLB ij} = \text{sign}(X _{\max}) \cdot X _{\max}$	$X = \frac{\Delta K_{inLB i}}{\Delta SP_j}$	$\cdot SP_{j \text{ ref}}$	mit: $i = 1 \dots 3$ $j = 1 \dots 7$	$\frac{\Delta U'_{LB}}{U_N}, \frac{\Delta I'_{kLB}}{I_k}, \frac{\Delta P'_{LB}}{S_k}$

$$SP_{j \text{ ref}} = \{ U_{N \text{ max}}, I_{k \text{ max}}, X/R_{\text{max}}, a_{SS \text{ max}}, a_{RW \text{ max}}, a_{SE \text{ max}}, a_{SW \text{ max}} \}$$

3. Ergebnisse

i. Abhängigkeit der LB-Kenngrößen (indirekte) von Systemparametern



- Einfluss von **Netzparametern** auf U_{LB} , P_{LB} : **hoch** ↔ **gering** ①
- Einfluss des **Sammelschienenabstandes** a_{SS} : **gering** ↔ **hoch** ②
- **Stark inverser** Einfluss von **Netz- und Anlagenparametern** ③
- **Keine Berücksichtigung** der Anlagenparameter bei **Berechnung** ④

Agenda

1. Motivation und Einführung
2. Experimentelle Untersuchung
3. Ergebnisse
4. Zusammenfassung und Ausblick

4. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Entwicklung eines mehrstufigen Verfahrens zur Auslegung von Schutzsystemen bei SLB
- Lichtbogenstrom und Lichtbogenleistung sind für Auslegung notwendig
- Ergebnisse der Untersuchung der Abhängigkeit von LB-Kenngrößen und Systemparametern
 - Hoher Einfluss der Netzparameter auf LB-Kenngrößen
 - Hoher Einfluss konstruktiven Merkmale der Brennstelle auf LB-Kenngrößen
 - Sammelschienenabstand a_{SS} kein ausreichendes Kriterium
- Hohe Abweichungen zwischen Mess- und Berechnungsergebnissen

Ausblick

- Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Auslösekennlinie und Lichtbogenenergie W_{LB}
- Entwicklung eines Modells unter Berücksichtigung aller relevanten Systemparameter
- Untersuchung von Schutzsystemen bei SLB unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Netzes



NARC

National
Arc fault
Research
Center

 Leitprojekt
H₂Giga

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

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



**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**

Literaturangaben

- [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.
- [2] Ballweber, T.; Bruhns, M. et. Al.: *Sicherheit bei Störlichtbögen in der Niederspannung*, Schlussberichts zu IGF-Vorhaben 20914BG, Mannheim, 2023.
- [3] Schau H., Halinka A., Winkler W., *Elektrische Schutzeinrichtungen in Industrienetzen und -anlagen: Grundlagen und Anwendungen*, Heidelberg, 2008.
- [4] <https://www.cesi.it/about-us/overview/iph-gmbh/>
- [5] <https://www.tugraz.at/events/eninnov2024/home>