

Kurzschlussstrombeitrag eines 50-kW-PEM Elektrolyseurs

Michael Bruhns, Carlo Liebermann, Peter Schegner

Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH)
Professur für Elektroenergieversorgung



Gefördert durch:



NARC National Arc Fault Research Center

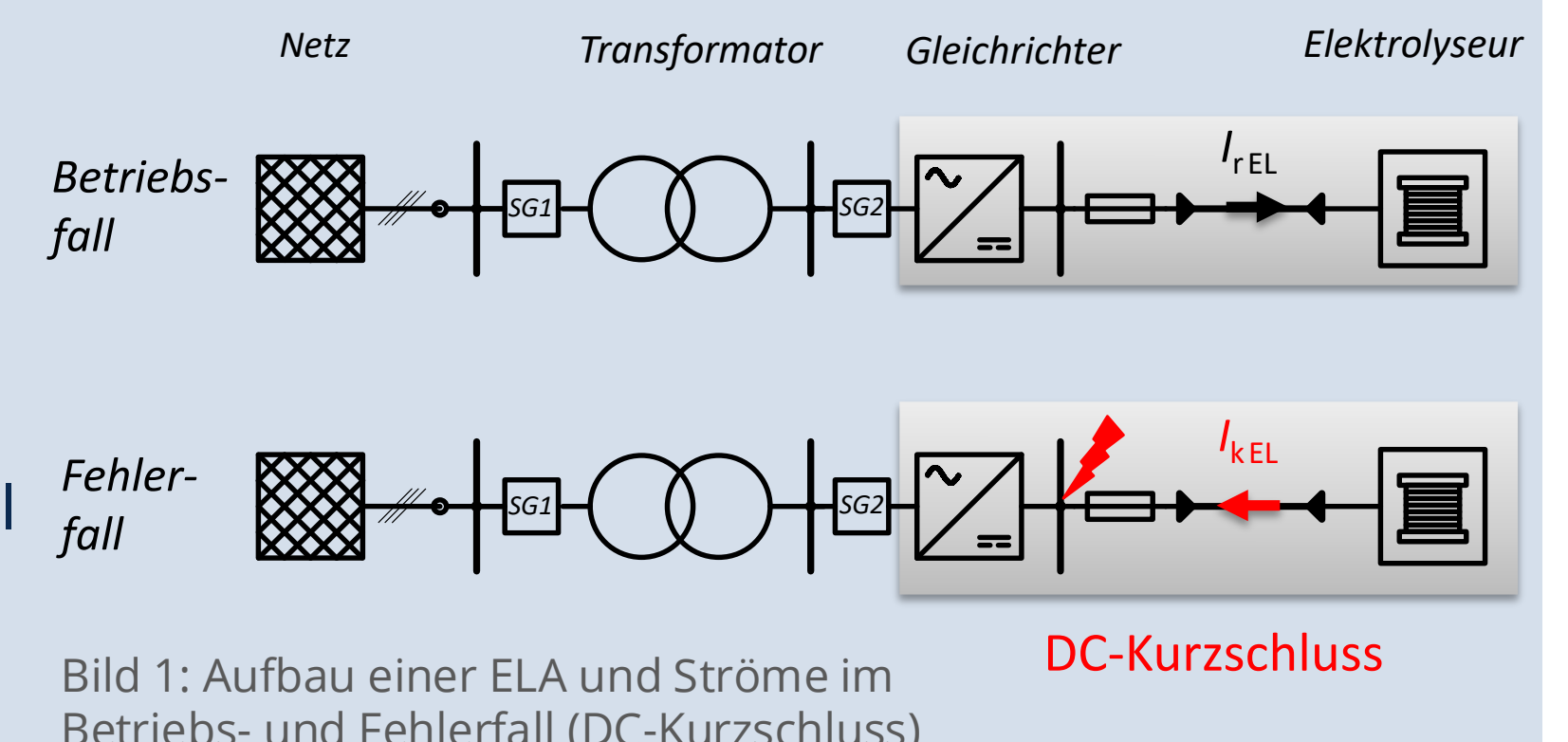
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Motivation

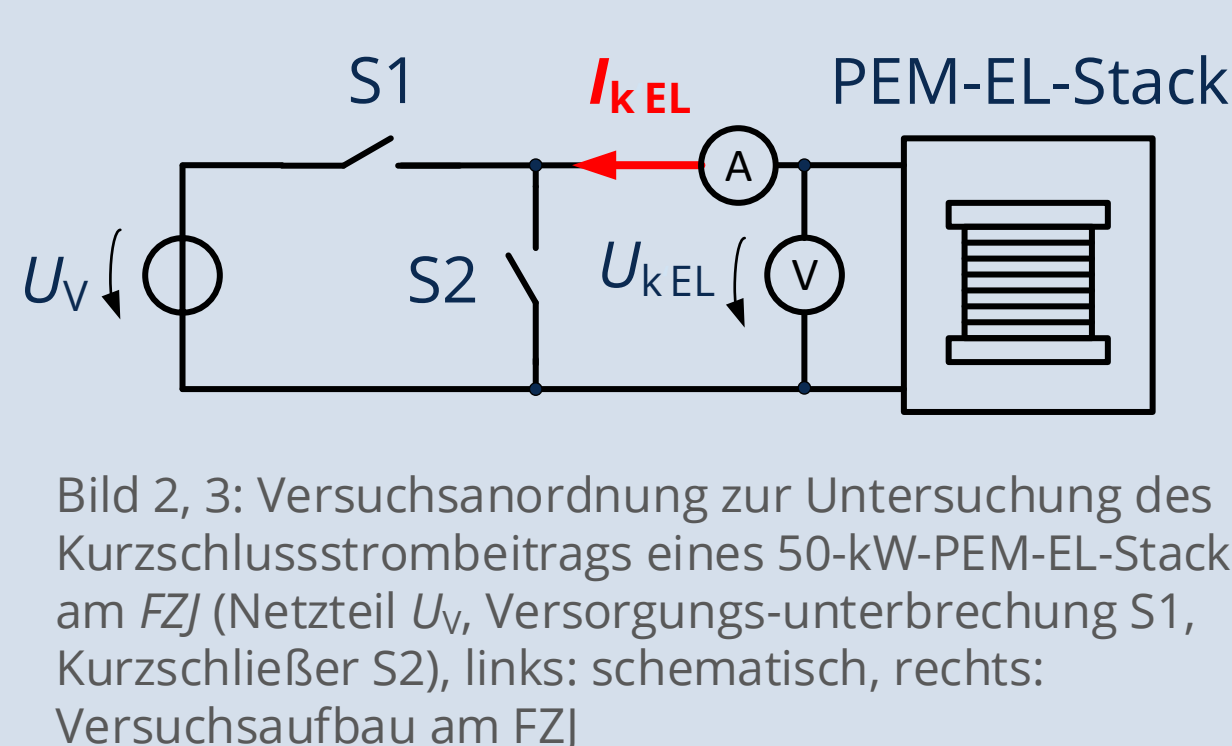
- Kapazitäten zur Erzeugung von Wasserstoff (H₂) in Elektrolyseanlagen (ELA)** von **80 GW bis 2050 in Deutschland** zur Stabilität des Energienetzes benötigt [1]
- Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseure („proton exchange membrane“, kurz „PEM“) sind aufgrund ihrer Dynamik für den netzdienlichen Betrieb geeignet [1]
- Entwurf eines Schutzkonzeptes** für die Betriebsmittel der elektrischen Energieversorgung einer Elektrolyseanlage zur:
 - Vermeidung von Anlagen- und Personenschäden
 - Erhöhung der Versorgungssicherheit

Entwurf eines Schutzsystems für ELA

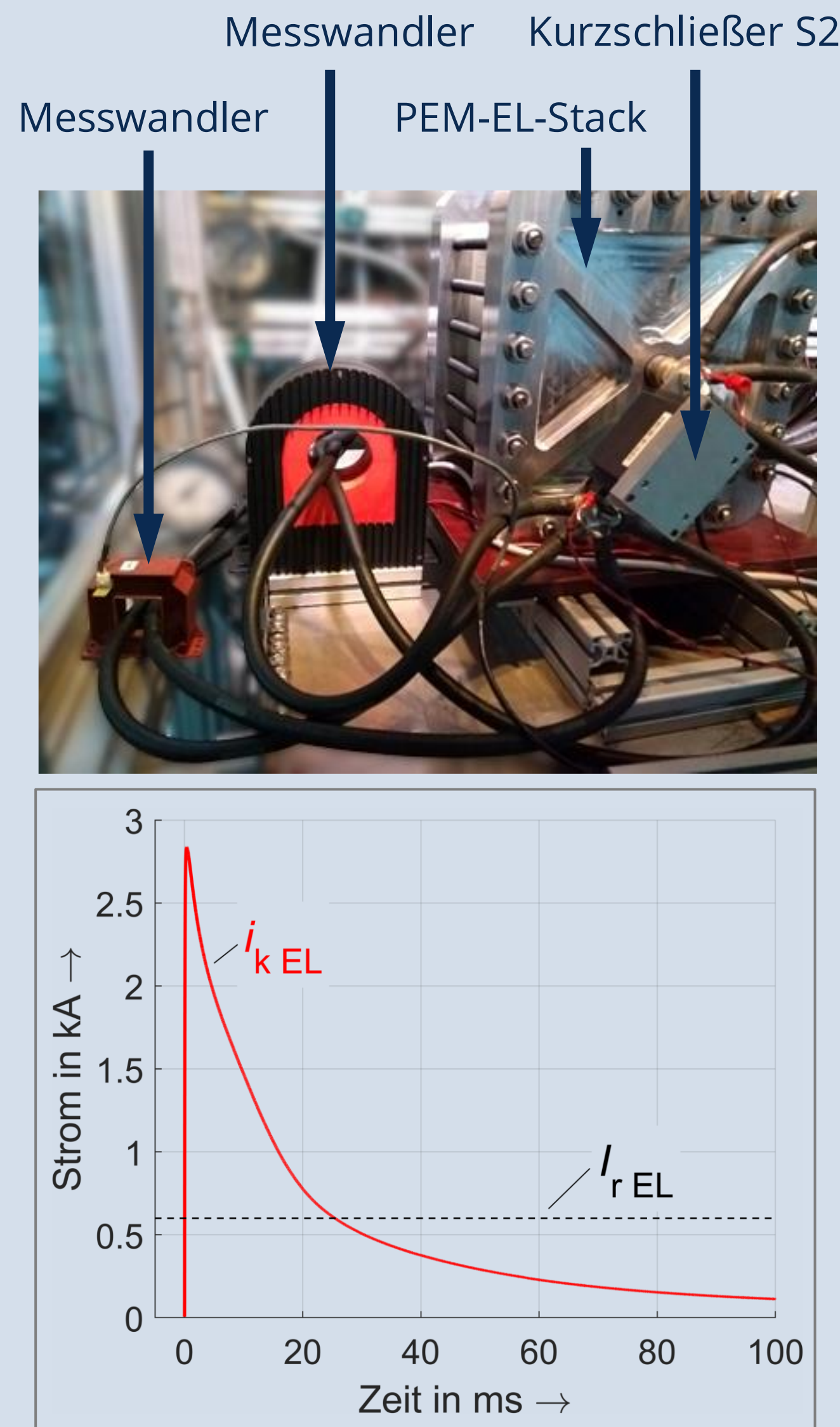
- Aufteilung des Systems in Schutzzonen
- Auswahl von Schutzfunktionen für Schutzgeräte (SG)
- Bestimmung des Systemverhaltens bei Normalbetrieb und im Fehlerfall
- Kurzschlussstrombeitrag i_{kEL} des Elektrolyseurs (EL) unbekannt!**



Charakterisierung



- Charakterisierung des Kurzschlussstrombeitrags (am **Forschungszentrum Jülich (FZJ)** an 50-kW-PEM-EL-Stack aus 27 Zellen [2]):
 - Steiler Stromanstieg** (innerhalb weniger Millisekunden)
 - Maximalwert des Kurzschlussstroms: **bis zu ca. 6fachem Nennstrom**
 - Exponentielle Abnahme des Kurzschlussstroms
 - Kein signifikanter Dauerkurzschlussstrom** (= kein Brennstoffzellenbetrieb)



Einfluss von Systemparametern

- Untersuchung des Einflusses der Systemparameter** auf die Kenngrößen des Kurzschlussstromverlaufs (**KS-Kenngrößen**)
- Auswertung** von ca. 150 Kurzschlussversuchen (KS-Versuche) bei Variation der Systemparameter (s. Tabelle 1, KS-Versuche durchgeführt am FZJ [2])
- KS-Kenngrößen:** Strommaximum: $\hat{i}_{kEL}$, Anstiegszeit: Δt , Stromanstieg: $\Delta i_{kEL} / \Delta t$, Stromzeifläche: $i_{kEL}^2 t$

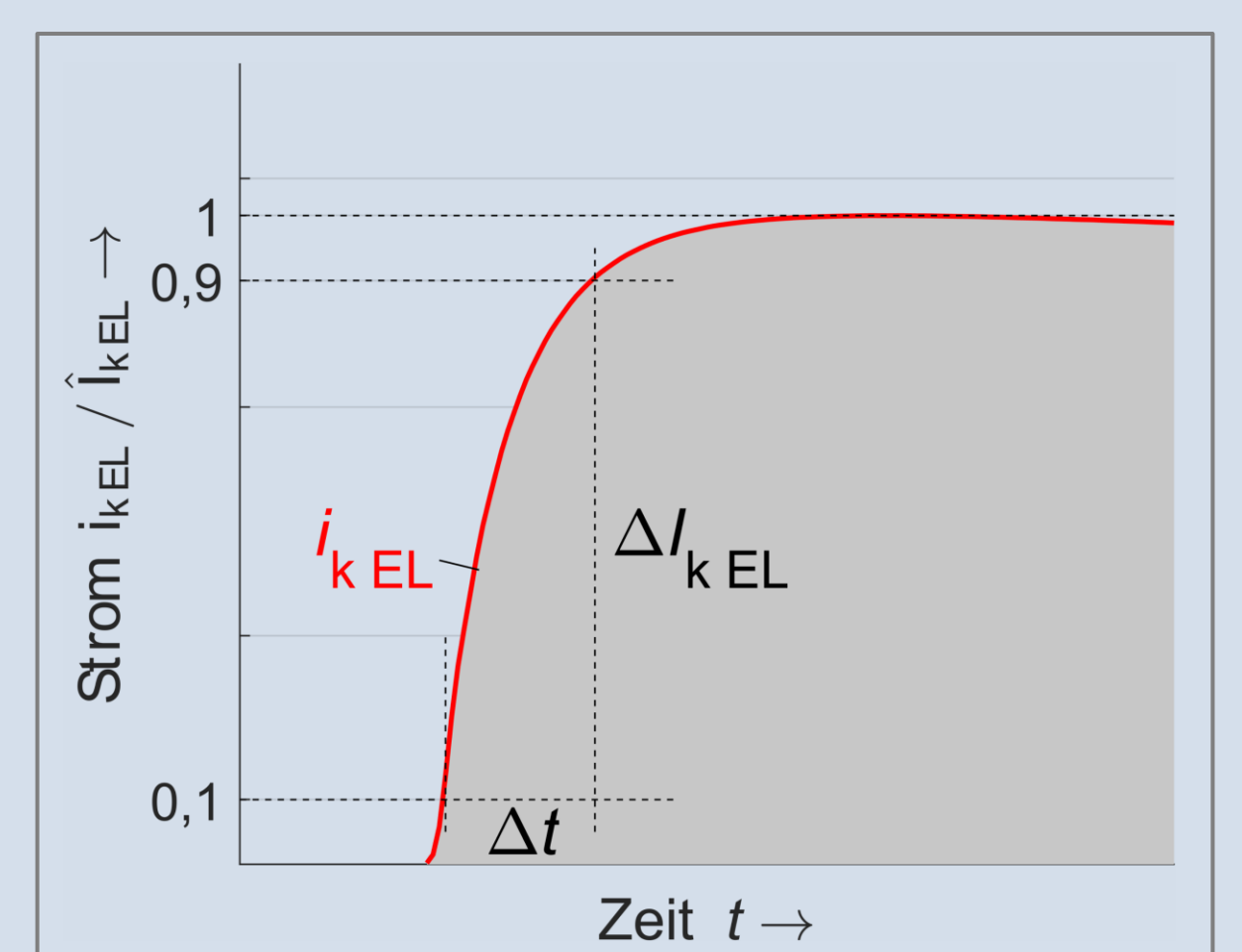


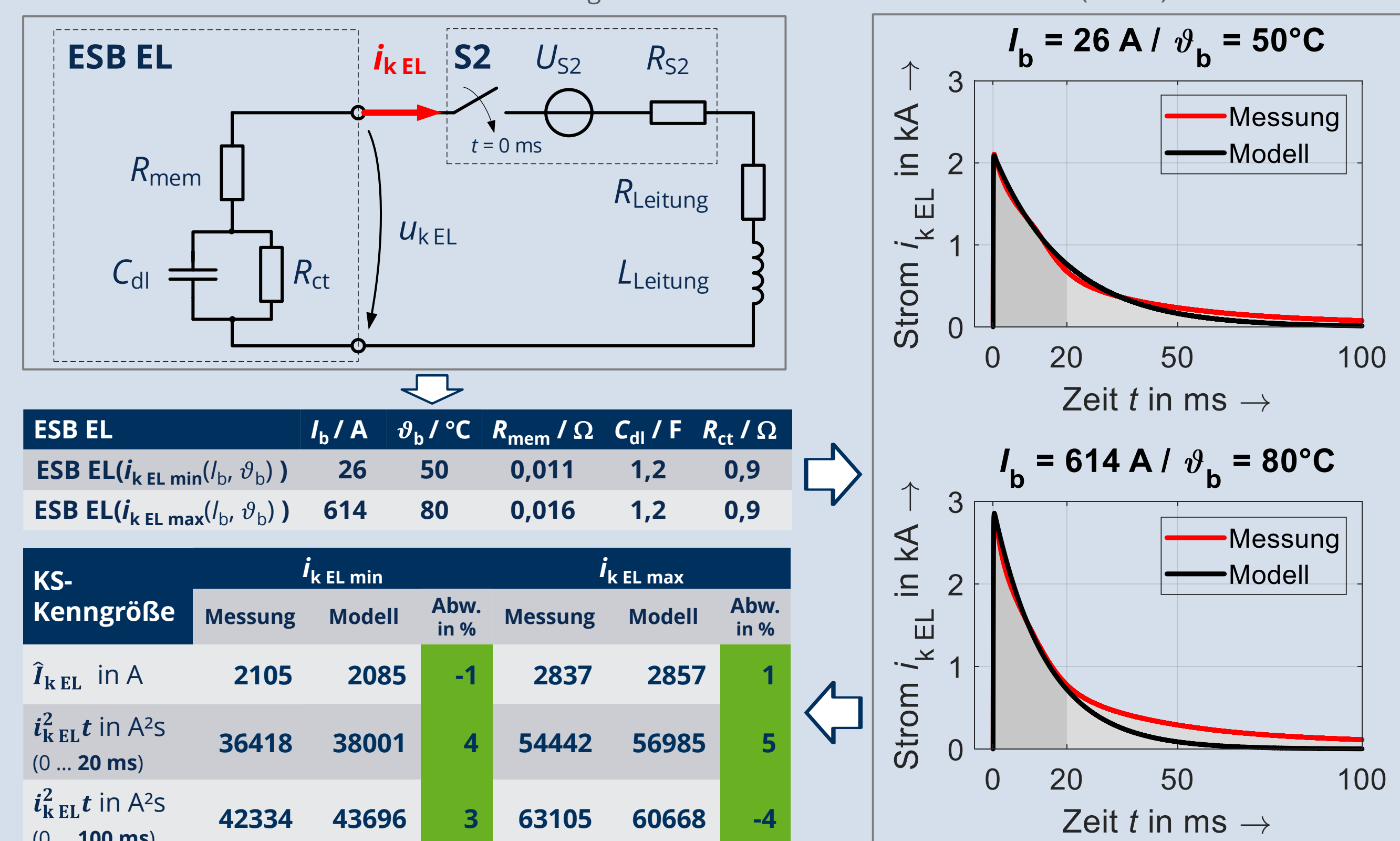
Tabelle 1: Änderung der KS-Kenngrößen in % bei Änderung des jeweiligen Systemparameters im angegebenen Wertebereich (* Untersuchung an Zelle durchgeführt; AEL: Alkalischen Elektrolyse mit Membran aus UTP 220 und Anode und Kathode aus Ni-Schaum und Konzentration der Kaliumhydroxid-Lösung = 30%)

Systemparameter	Änderung von Systemparametern	Änderung von KS-Kenngröße in %			
		$\hat{i}_{kEL}$	Δt	$\Delta i_{kEL} / \Delta t$	$i_{kEL}^2 t$
Membrandicke * D_{mem} in μm	51 $\rightarrow$ 178	-32	-29	-5	-15
Katalysatorbelegung * $[q_{irO_2}, q_{irH_2}]$ in mg/cm^2	[0,9; 0,25] $\rightarrow$ [2,5; 0,9]	4	5	-1	84
Technologie *	PEM $\rightarrow$ AEL	-32	-86	35	-88
Betriebsstrom (vor KS) I_b in A	26 $\rightarrow$ 614	9	-5	14	18
Betriebstemperatur ϑ_b in $^\circ\text{C}$	50 $\rightarrow$ 80	23	22	1	44
Druck in EL-Stack $[p_{Anode}, p_{Kathode}]$ in barü	[0; 0] $\rightarrow$ [9; 10]	-1	5	-6	-1

Modellierung

- Bestimmung der Elemente eines elektrischen Ersatzschaltbildes (ESB) des Elektrolyseurs** (R_{mem} , R_{ct} , C_{dl}) aus den Zeitverläufen des minimalen und maximalen gemessenen Kurzschlussstroms mit PEM-EL-Stack des FZJ ($i_{kEL, min}$, $i_{kEL, max}$)
- Abweichung zwischen gemessenen und modellierten KS-Kenngrößen < 5% (s. Tab. 3)
- Anwendung: **Skalierung** des Modells für die **Simulation von ELA im MW-Bereich**

Bild 6, 7: ESB der Versuchsanordnung (s. Bild 2) mit ESB EL (nach [4]: Membranwiderstand R_{mem} , Charge-Transferwiderstand R_{ct} , Doppelschichtkapazität C_{dl}), U_{S2} und R_{S2} von Thyristorschalter (Kurzschließer S2) und Leitung (links), Vergleich des Zeitverlaufs des minimalen und maximalen gemessenen und modellierten KS-Stroms (rechts)



- Ergebnis der Untersuchung
 - Aufbau und Materialien der Zellen** des Elektrolysestacks (insbesondere deren **Technologie**) weisen hohen Einfluss auf Zeitverlauf des Kurzschlussstroms auf
 - Membrandicke** hat hohen Einfluss auf Strommaximum
 - Katalysatorbelegung** hat hohen Einfluss auf $I^2 t$
 - Betriebsparameter** weisen geringeren Einfluss auf Zeitverlauf des Kurzschlussstroms auf
 - Einfluss von Betriebstemperatur höher als von Betriebsstrom
 - Einfluss von Druck in EL-Stack ist gering

Literatur

- Fraunhofer. Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland, Karlsruhe und Freiburg, Oktober 2019.
- Institute of Energy and Climate Research, Electrochemical Process Engineering (IEK-14), Forschungszentrum Jülich within a project cooperation with SMA Solar Technology AG.
- J. F. Leide, M. Bruhns, P. Schegner. Modellierung einer PEM-Elektrolyseanlage zur Untersuchung des Verhaltens bei DC-Kurzschlüssen für die Bewertung von Schutzkriterien. 18. Symposium Energieinnovation, Graz/Austria, 2024.
- P. Kurzweil, O.K. Dietlmeier, Elektrochemische Speicher. Wiesbaden, 2015.