

## Herausforderungen an den Schutz von Elektrolyseanlagen

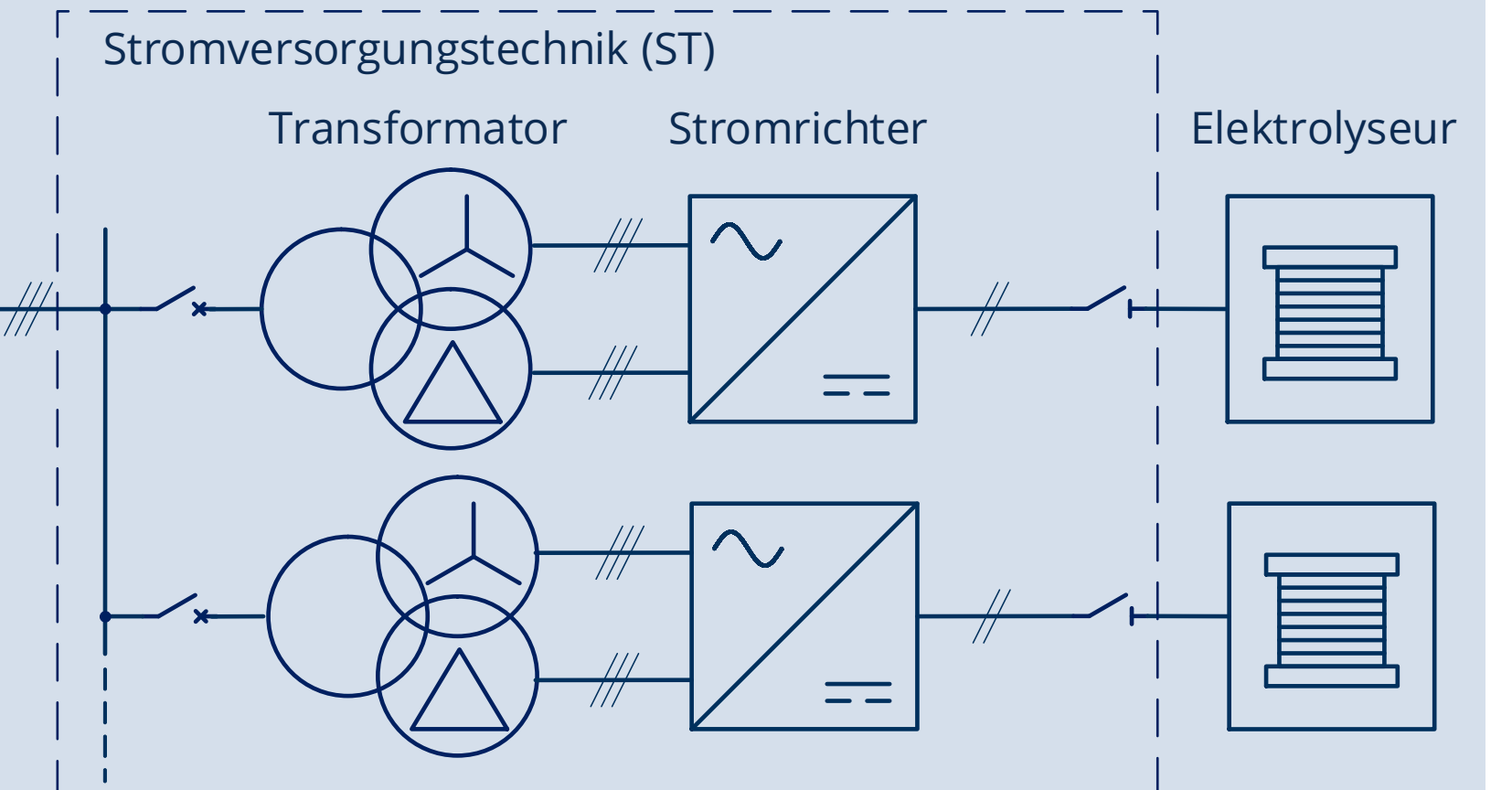
Michael Bruhns, Carlo Liebermann, Peter Schegner TU Dresden

### Motivation

- Dargebotsabhängige **Erzeugung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) in Elektrolyseanlagen (ELA) mit Energie aus erneuerbaren Energiequellen (EE)** im multi-MW Maßstab wird zur Stabilität des Energienetzes benötigt
- Einsatz neuer Stromrichtertopologien** ermöglicht netzdienlichen Betrieb durch hohe Regeldynamik bei geringen Netzzrückwirkungen
- Die Erzeugung von H<sub>2</sub> hat großes Potential zur **Optimierung der Systemintegration und Kostenreduktion**
- Bis 2050 soll die Kapazität der Wasserelektrolyse auf bis zu **80 GW** gesteigert werden [1]

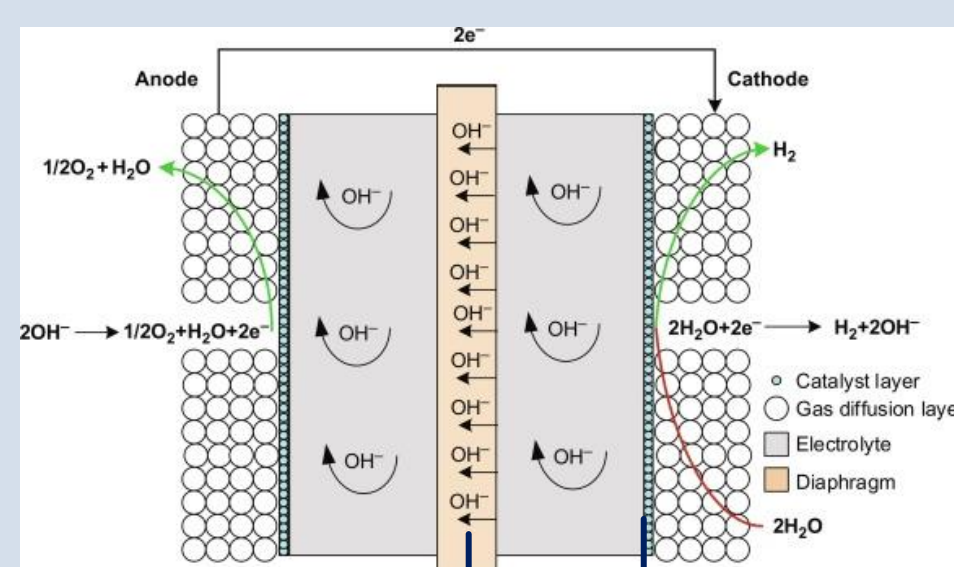
### Elektrolyseanlagenkonzept

- Modularer Aufbau aus 20-MW-Einheiten (bis 200 MW [2])
- Einspeisung: MS oder HS
- ≥ 12-puls thyristorbasierte Gleichrichtertechnik
- Neue Konzepte für hybride Anlagen (PV+Wind+Speicher+H<sub>2</sub>) zur H<sub>2</sub>-Produktion nahe der Erzeuger



## 1. Fehlerverhalten von Elektrolyseuren

### Vereinfachtes elektrisches Ersatzschaltbild eines Elektrolyseurs (EL)



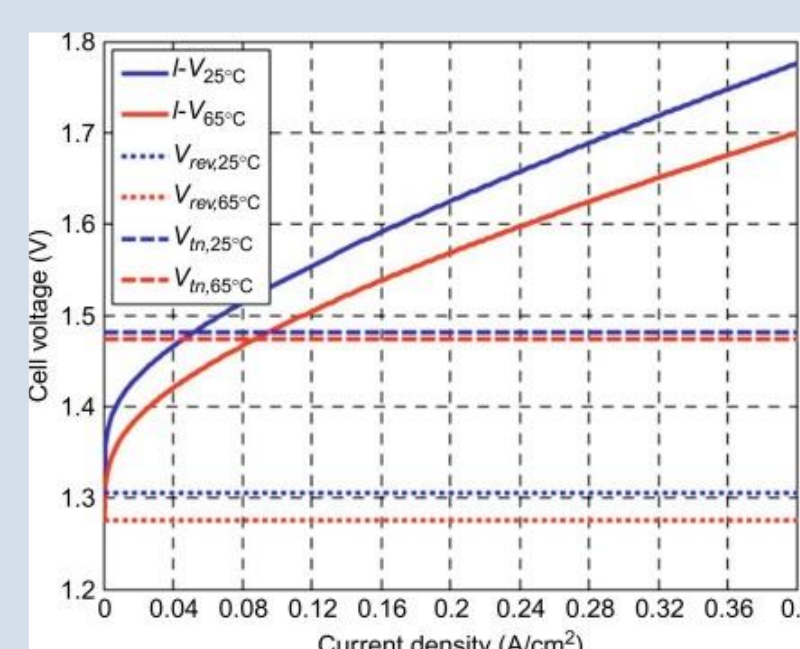
Chemischer Aufbau (I) und Betriebskennlinien (r) einer Elektrolysezelle [3]:

Anode und Kathode:

- Widerstand  $R_{act}$
- Kapazität  $C_D$
- Reversible Spannung  $U_0$

Membran/  
Elektrolyt:

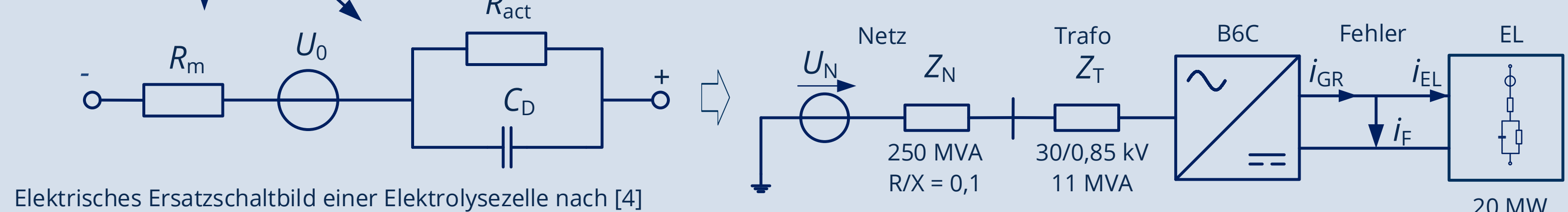
- Widerstand



gelten nur für den normalen Betriebsbereich ( $I_{EL} > 0$ )

- Verlauf der Kennlinie für ( $I_{EL} < 0$ ) wird benötigt

### Simulationsmodell



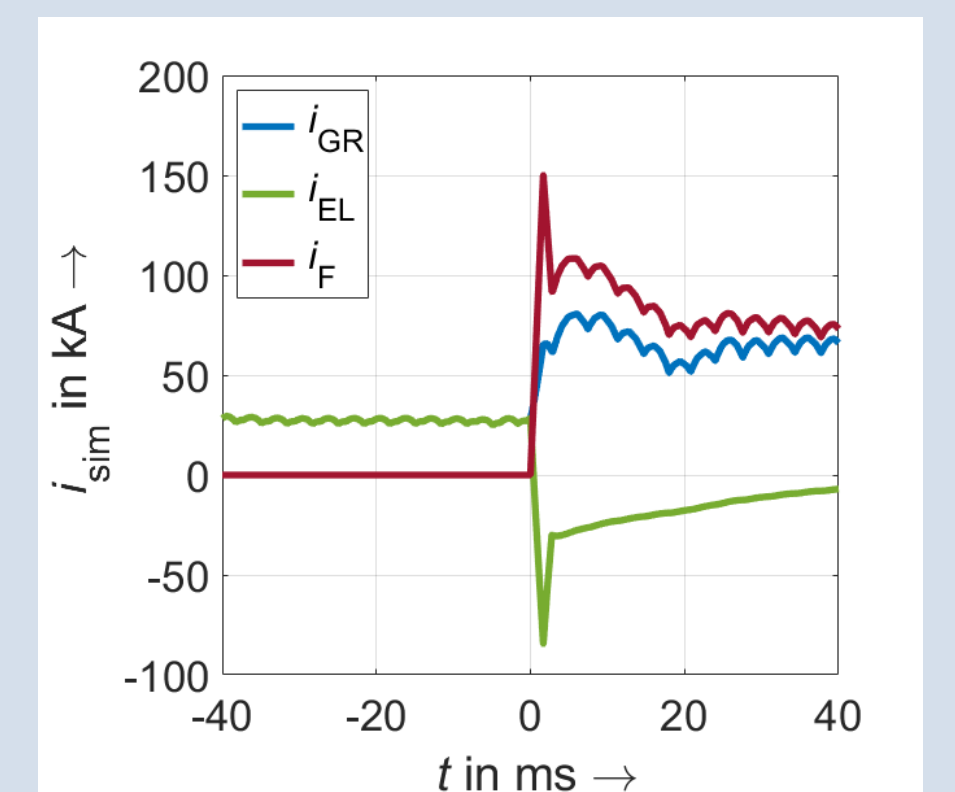
### Simulation der Kurzschlussströme

Randbedingungen:

- Regelung wird nicht berücksichtigt
- Stromrichter: B6C mit festem Einschaltwinkel
- ESB von EL für Normalbetrieb

Ergebnis:

- Bei einem Fehler in der Stromversorgungstechnik entlädt sich die parasitäre Kapazität
- Elektrolyseur liefert erheblichen Beitrag zum Kurzschlussstrom**
- Genaue Kenntnis des Zeitverlaufs des Kurzschlussstroms von EL  $i_{EL}(t)$  wird benötigt
- Berechnungsvorschrift zur einfachen Abschätzung der parasitären Kapazität des EL wird benötigt (Erweiterung von DIN EN 61660-1)



## 2. Erdungskonzepte

### Anforderung

- Gewährleistung des Personenschutzes trotz Steigerung der Effizienz durch Erhöhung der Betriebsspannung auf >1000 V

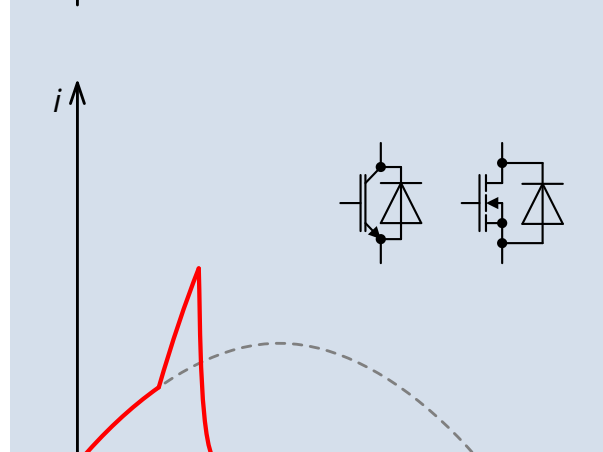
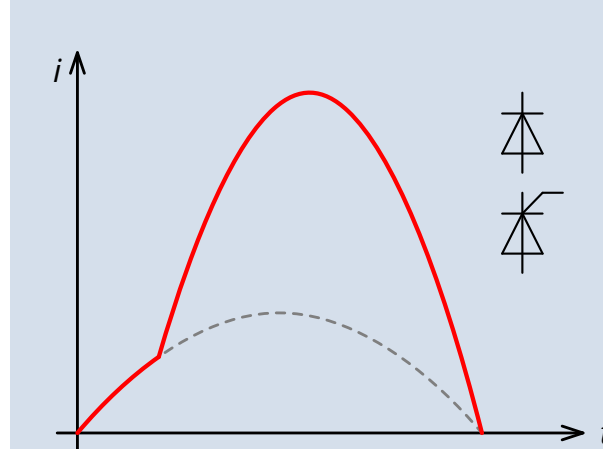
### Lösung

- Aufbau von ELA als IT-System
- Vermeidung von gefährlichen Berührungsspannungen bei Einfachfehlern

### Problem

- Hoher technischer Aufwand für die Aufstellung der ELA
- Elektrolyseure unterscheiden sich im Aufbau der Elektrolyseestacks und der Leifähigkeit des Elektrolyts

## 3. Stromrichterkonzepte



Kurzschlussstromverhalten von Leistungshalbleitern [5]

- Untersuchung hybrider Gleichrichtersysteme mit aktiven Leistungshalbleitern:
  - Berücksichtigung des Einflusses der Stromrichtertopologie auf das Fehlerverhalten
- Neue Topologien sind nicht in Norm DIN EN 61660-1 zur Kurzschlussstromberechnung berücksichtigt
- Geringes Grenzlasterintegral aktiver Leistungshalbleiterschalter erfordert eine sehr schnelle Fehlererkennung
- Anforderungen an die Regeldynamik:
  - Stromverlauf darf Wandlerübertragungsverhalten nicht unzulässig negativ beeinflussen

## 4. Störlichtbogenschutz

- Der Aufbau der Anlage und geometrische Abstände werden für die Abschätzung der Auswirkungen von Lichtbogenfehlern benötigt
- Ausfallwahrscheinlichkeit der Anlage steigt mit zunehmender Komplexität der Stromrichtertopologien
- Alterung der Verbindungstechnik in Folge hoher DC-Strombelastung ist noch unbekannt
- Unmittelbare Nähe von Prozessgas H<sub>2</sub> zu stromführenden Teilen muss bei Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden

## Lösungsansätze

- Untersuchung des Fehlerverhaltens und Erdungswiderstände** von Elektrolyseestacks (TU Dresden zusammen mit FZ Jülich)
- Berechnung und Bewertung der **Betriebs- und Kurzschlussströme**
- Abschätzung der **Auswirkungen von Kurzschlüssen und Lichtbogenfehlern**
- Definition der **Anforderungen an den Schutz** von ELA
- Erstellen einer **Gefährdungsbeurteilung**
- Entwurf eines **optimalen Schutzkonzeptes** unter Berücksichtigung des **Lichtbogenschutzes**

## Zusammenfassung & Ausblick

- Im Leitprojekt H<sub>2</sub>Giga entwickelt die TU Dresden optimale Schutzkonzepten für Elektrolyseanlagen
- Das elektrische Verhalten von Elektrolyseuren im Fehlerfall und die Erdungswiderstände werden dabei untersucht
- Bei den Schutzkonzepten werden die Anforderungen unterschiedlicher Stromrichtertopologien und der Störlichtbogenschutz berücksichtigt

## Quellen

- Fraunhofer. Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland, Karlsruhe und Freiburg, Oktober 2019.
- Thyssenkrupp (2022): <https://www.thyssenkrupp.com/de/newsroom/pressemitteilungen/pressemitteilung/thyssenkrupp-installiert-200-mw-wasserstoffanlage-fur-shell-im-hafen-von-rotterdam-125815> [abgerufen am 12.06.2022].
- A. Keçebaş, M. Kayfeci, M. Bayat. Solar Hydrogen Production. Academic Press, 2019, pp. 299-317.
- P. Kurzweil, O.K. Dietlmeier, Elektrochemische Speicher. Wiesbaden, 2015.
- S. Bernet. Selbstgeführte Stromrichter am Gleichspannungszwischenkreis. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer Vieweg, 2012.