

Herausforderungen an den Schutz von Elektrolyseanlagen

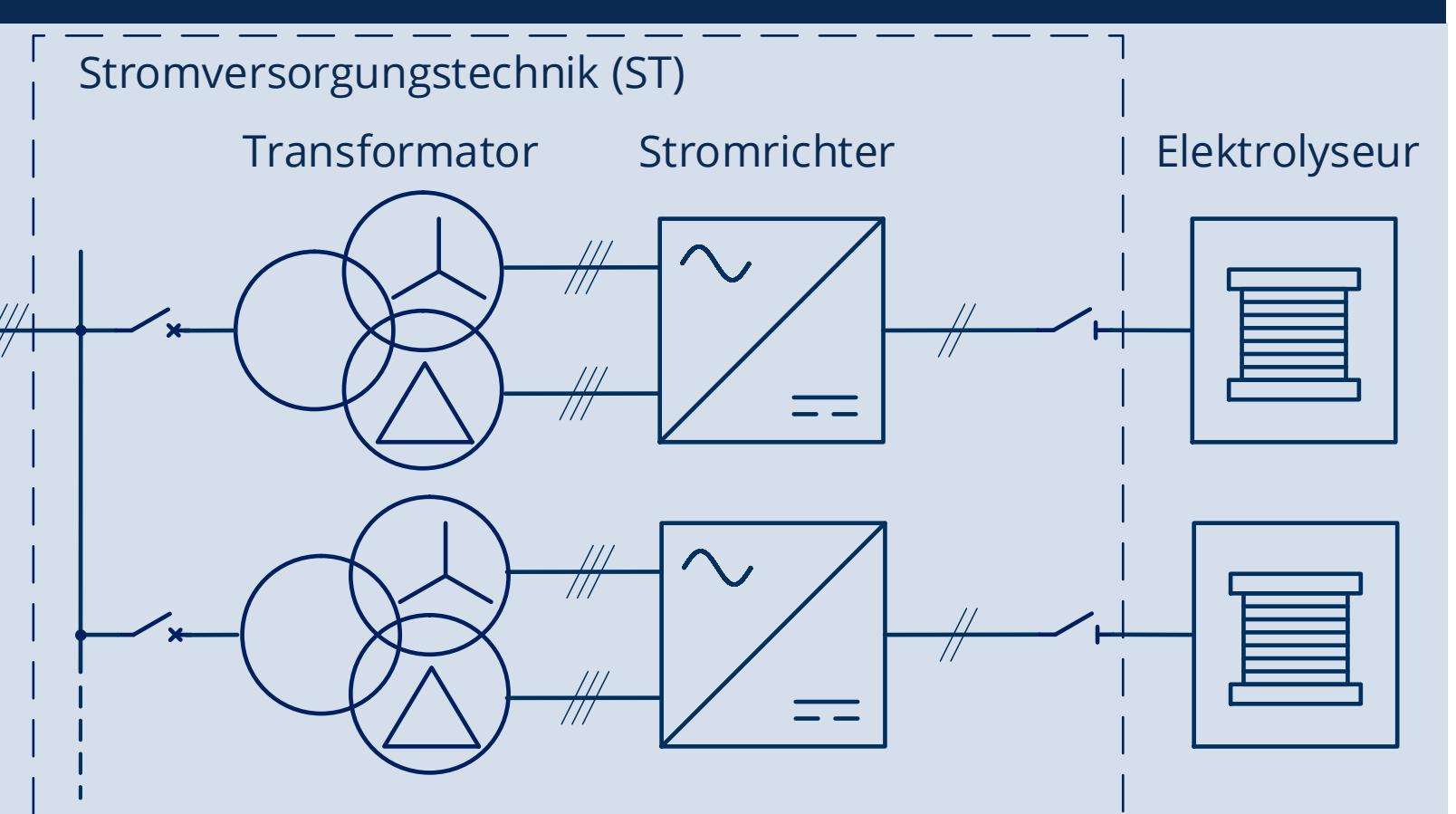
Michael Bruhns, Carlo Liebermann, Peter Schegner TU Dresden

Motivation

- Dargebotsabhängige **Erzeugung von Wasserstoff (H₂) 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 Netzrückwirkungen
- Die Erzeugung von H₂ hat großes Potential zur **Optimierung der Systemintegration und Kostenreduktion**
- Bis 2050 soll die Kapazität der Wasserelektrolyse auf bis zu **80 GW** gesteigert werden [1]

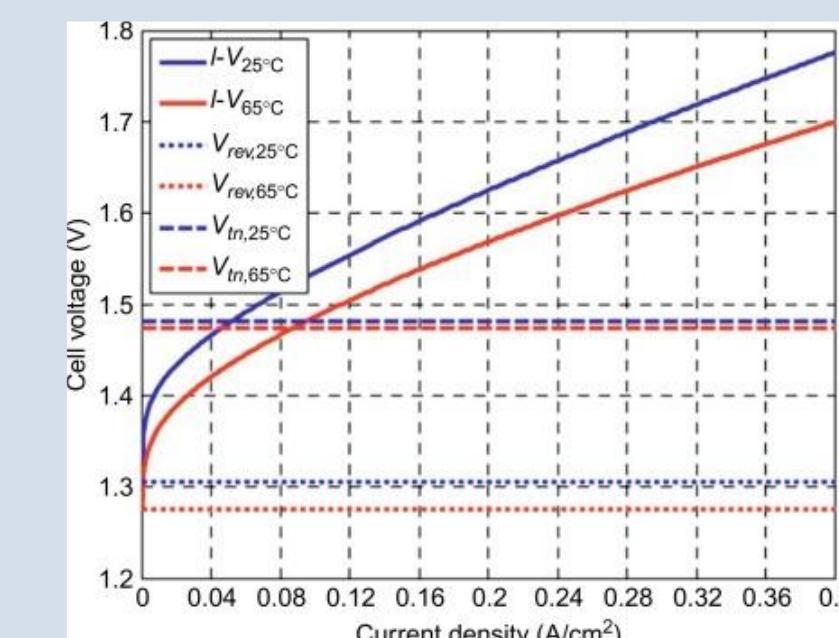
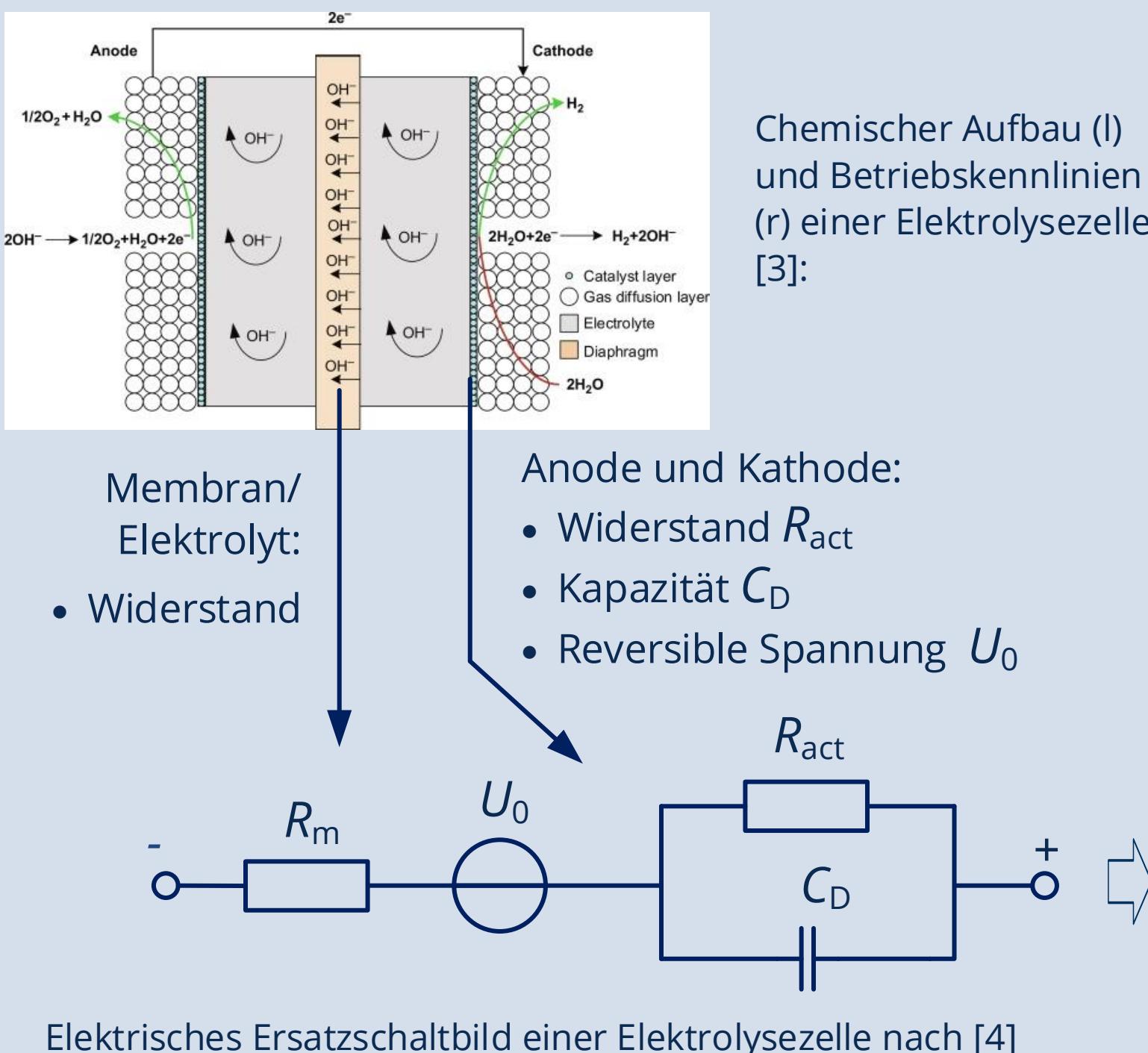
Elektrolyseanlagenkonzept

- 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+H₂) zur H₂-Produktion nahe der Erzeuger



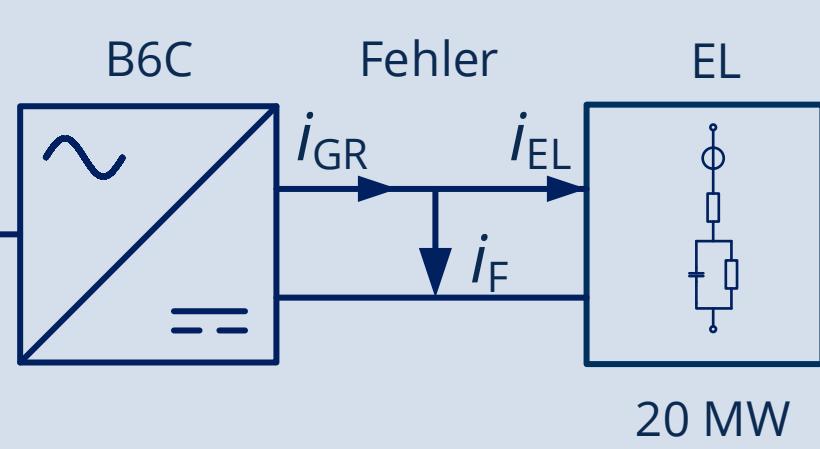
1. Fehlerverhalten von Elektrolyseuren

Vereinfachtes elektrisches Ersatzschaltbild eines Elektrolyseurs (EL)



- Elektrolysezellen besitzen parasitäre Kapazität im Faraabereich
- Bekanntes Ersatzschaltbild von Elektrolysezellen gelten nur für den normalen Betriebsbereich ($I_{EL} > 0$)
- Verlauf der Kennlinie für ($I_{EL} < 0$) wird benötigt

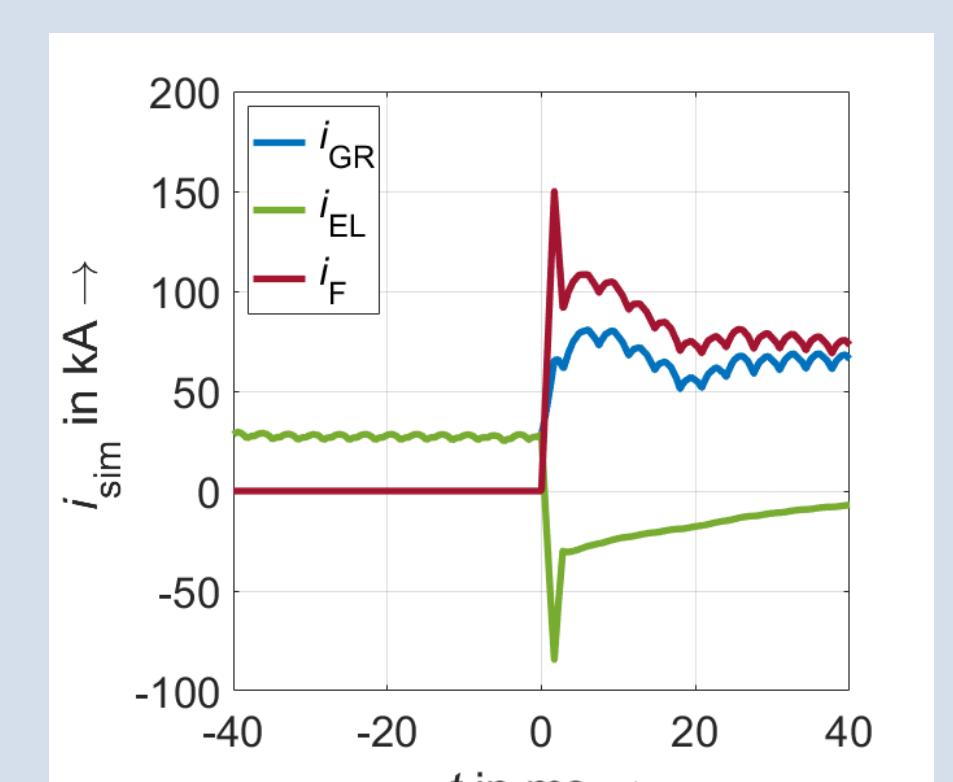
Simulationsmodell



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)

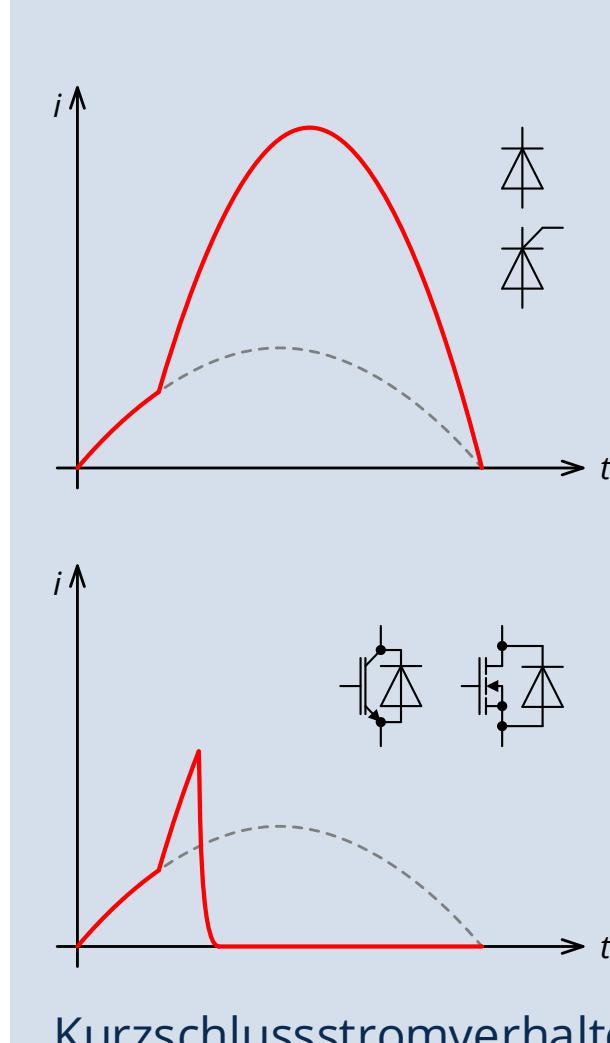
2. Erdungskonzepte

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 Elektrolysestacks und der Leitfähigkeit des Elektrolyts



3. Stromrichterkonzepte

- 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 Grenzlastintegral aktiver Leistungshalbleiter schalter 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 H₂ zu stromführenden Teilen muss bei Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden

Lösungsansätze

- Untersuchung des Fehlerverhaltens und Erdungswiderstände** von Elektrolysestacks (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 H₂Giga entwickelt die TU Dresden optimale Schutzkonzepte 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

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