

Dynamische Modellierung der Notfallversorgung einer Trinkwasserversorgung durch ein Laufwasserkraftwerk im Inselbetrieb

Johanna Timmermann

C. Bernecker-Castro, R. Witzmann, T. Lechner, S. Seifried, M. Finkel,
D. Menker, C. Dellmann, G. Störzer, D. Stenzel, C. Vogel

Technische Universität München

Professur für Elektrische Energieversorgungsnetze

17. Symposium Energieinnovation 2022



Uhrenturm der TUM

Agenda

Motivation

Forschungsvorhaben LINDA 2.0

Methodische Vorgehensweise

Feldversuch

Modellvalidierung und Optimierung

Zusammenfassung und Ausblick

Motivation

Stromausfall in Deutschland

- Unsere Gesellschaft ist hochgradig von elektrischer Energie abhängig
- Ein großflächiger und langandauernder Stromausfall käme nationaler Katastrophe gleich [1]
- Am 8. Januar 2021 konnte ein Blackout-Szenario in Europa verhindert werden [2]

Motivation

Stromausfall in Deutschland

- Unsere Gesellschaft ist hochgradig von elektrischer Energie abhängig
- Ein großflächiger und langandauernder Stromausfall käme nationaler Katastrophe gleich [1]
- Am 8. Januar 2021 konnte ein Blackout-Szenario in Europa verhindert werden [2]

Vorsorge für Krisenfall – wichtige und aktuelle Thematik

- Die Versorgung von kritischen Verbrauchern würde den Schaden erheblich minimieren [1]
- Lokal vorhandene Erzeugungsanlagen sind (nahezu flächendeckend) verfügbar

Motivation

Stromausfall in Deutschland

- Unsere Gesellschaft ist hochgradig von elektrischer Energie abhängig
- Ein großflächiger und langandauernder Stromausfall käme nationaler Katastrophe gleich [1]
- Am 8. Januar 2021 konnte ein Blackout-Szenario in Europa verhindert werden [2]

Vorsorge für Krisenfall – wichtige und aktuelle Thematik

- Die Versorgung von kritischen Verbrauchern würde den Schaden erheblich minimieren [1]
- Lokal vorhandene Erzeugungsanlagen sind (nahezu flächendeckend) verfügbar

LINDA Konzept

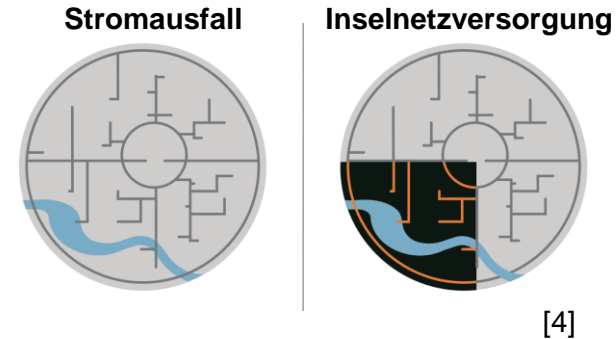
- Versorgung von kritischen Verbrauchern mit elektrischer Energie unter Verwendung lokaler Inselnetze mit dezentralen Erzeugungsanlagen für langandauernde Ausfälle im übergeordneten Stromnetz [3]

Forschungsvorhaben – LINDA 2.0

Lokale (teil-)automatisierte Inselnetz- und Notversorgung mit dezentralen Erzeugungsanlagen bei großflächigen Stromausfällen

Teilprojekt Wasserkraftwerk:

- Übertragung LINDA Konzept auf ein süddeutsches Netzgebiet
- (Teil-)Automatisierung des Notstromversorgungskonzepts
- Untersuchung der Übertragbarkeit und Weiterentwicklung von Simulationsmodellen aus LINDA
- 3 Feldversuche geplant
- Erkenntnisgewinn über Inselnetzbetrieb als Notversorgung



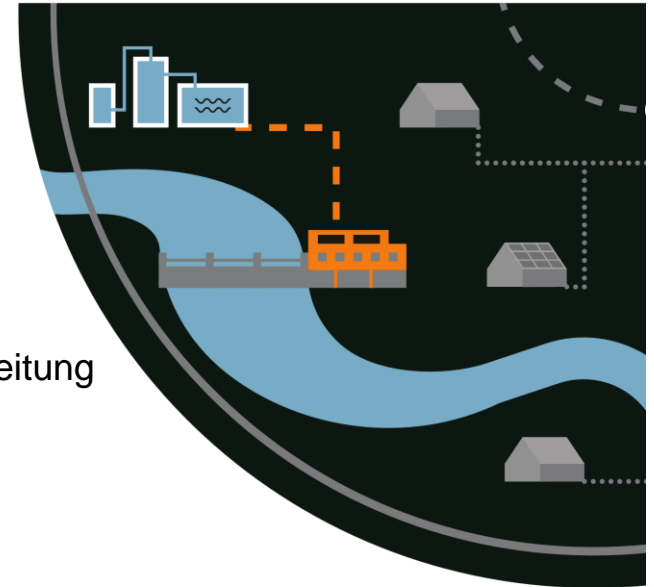
Untersuchungsgegenstand

Inselnetzbildende Einheit: Laufwasserkraftwerk

Kritische Infrastruktur: Trinkwasserversorgung

Voraussetzungen für das Konzept:

- Örtliche Nähe zwischen Erzeugung und Last
- Möglichkeit zur direkten Kopplung über eine Mittelspannungsleitung
- Inselnetzfähiges Führungskraftwerk
 - Schwarzstartfähigkeit
 - Stabile Spannungs- und Frequenzregelung



[4]

Methodische Vorgehensweise

Detaillierte Nachbildung des Inselnetzes in DIgSILENT PowerFactory 2021 [5]

Erzeuger:

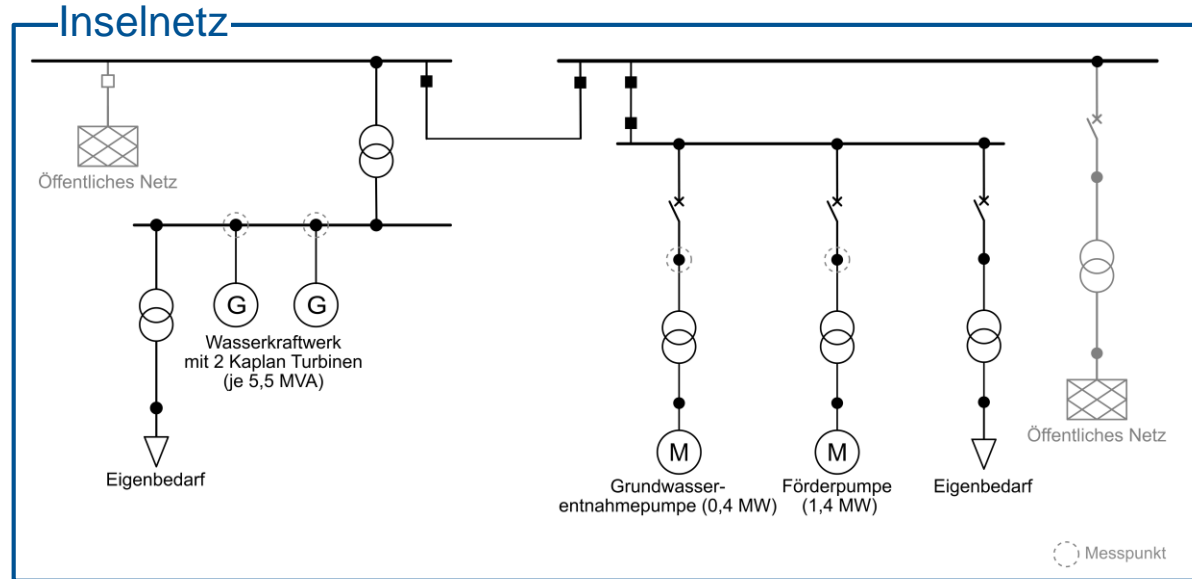
- 2 Kaplan-Turbinen

Last:

- Grundwasserentnahmepumpe
- Förderpumpe

Kopplung:

- 20 kV Mittelspannungskabel



Modellierung des Wasserkraftwerks

Synchronmaschine

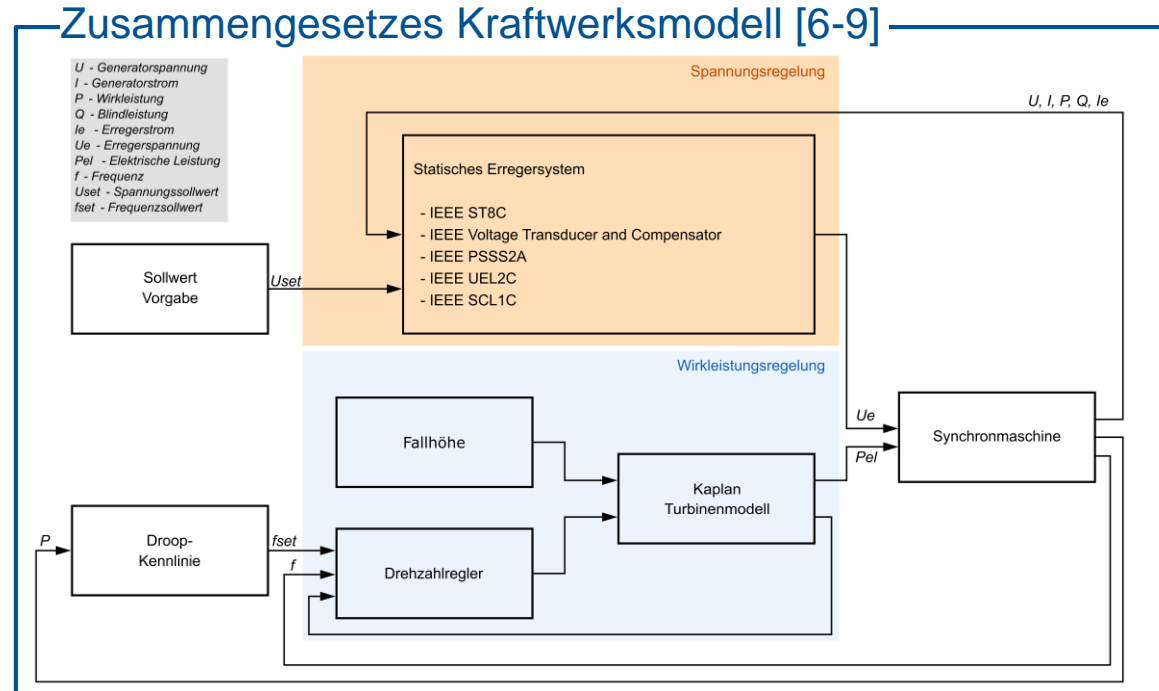
- Schenkelpolgenerator

Wirkleistungsregelkreis:

- Kaplan-Turbinenmodell
 - $a_0\varphi$ -Zusammenhang
- Drehzahlregler
- Droop-Kennlinie

Spannungsregelkreis:

- Statisches Erregersystem
- Spannungsregler
- Begrenzungsfunktionen



Modellierung der Trinkwasserversorgung

Asynchronmaschine

- Käfigläufer

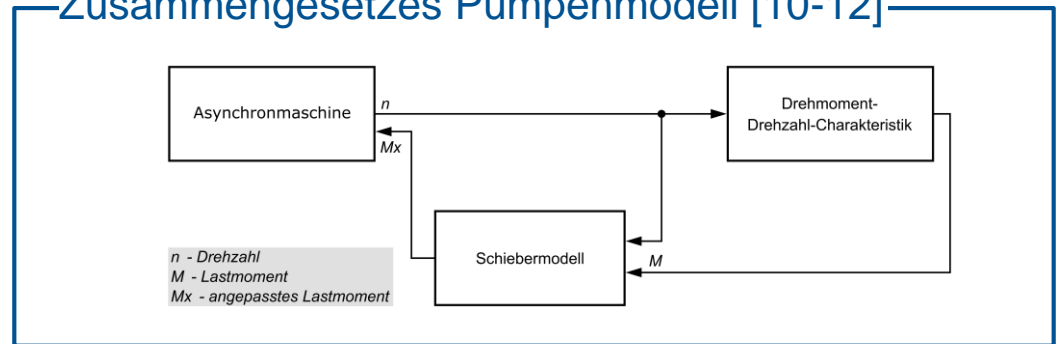
Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik

→ Leistungsaufnahme dynamisch

Schiebermodell

- Reguliert die Durchflussmenge der Kreiselpumpen
→ Leistungsaufnahme stationär

Zusammengesetztes Pumpenmodell [10-12]



Durchgeführter Feldversuch

- Simulation Netzausfall – Kraftwerk: Betrieb im Eigenbedarf
- Vorbereitende Maßnahmen für den Inselnetzaufbau
- Signalaustausch – Netzaufbau bis zur Pumpensammelschiene
- Überführung Kraftwerk in den Dynamisch-Optimierten Betrieb
- Signalaustausch – Zuschaltung der Pumpen
- Umlastung von Generator 1 zu Generator 2
- Signalaustausch – Abschaltung der Pumpen
- Rücksynchronisation mit dem übergeordneten Netz

Modellvalidierung und Optimierung

Pumpenmodell:

- Vorgabe der Spannungs- und Frequenzmesswerte in Form einer Spannungsquelle
- Ziel: Strom bzw. Wirk- und Blindleistung an die Messdaten angleichen

Kraftwerksmodell:

- Vorgabe der Wirk- und Blindleistungsmesswerte in Form einer dynamischen Last
- Ziel: Frequenz und Spannung an die Messdaten angleichen

Entkoppelte Betrachtung
Last- und Erzeugermodelle



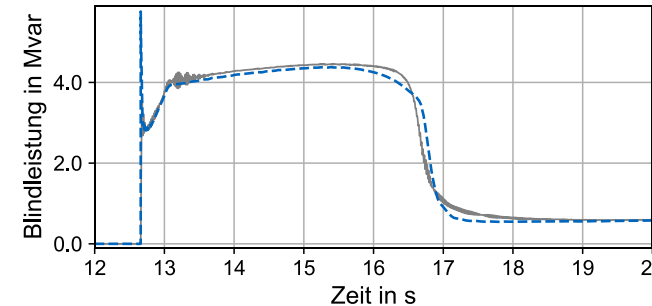
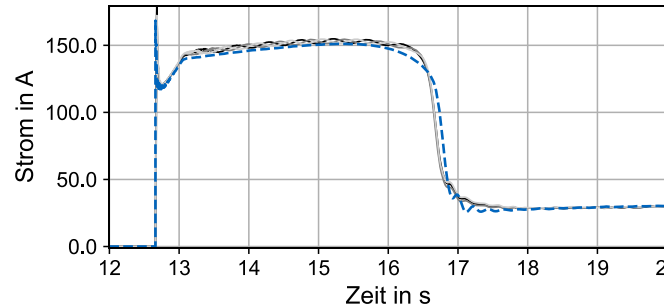
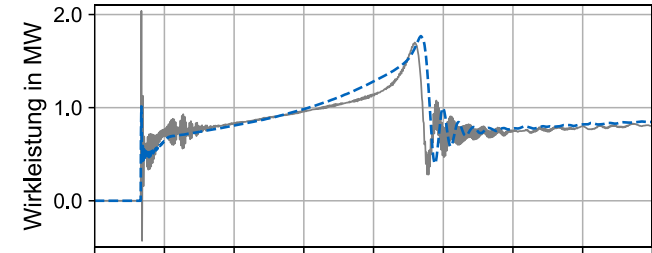
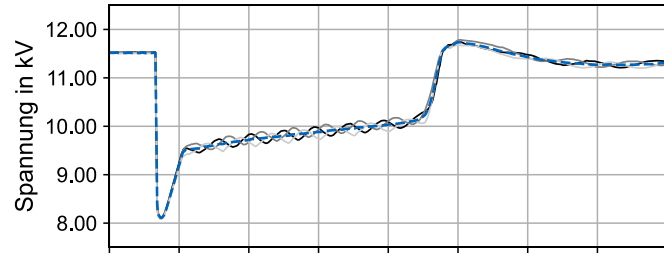
Finale Parameteridentifizierung
im Gesamtmodell

Modellvalidierung und Optimierung – Pumpenmodell

Anlaufversuch 1,4 MW Förderpumpe bei einem Generator

Vorgabe Messdaten als
Spannungsquelle

→ Realitätsnahe
Nachbildung des
dynamischen
Anlaufverhaltens



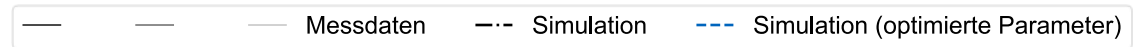
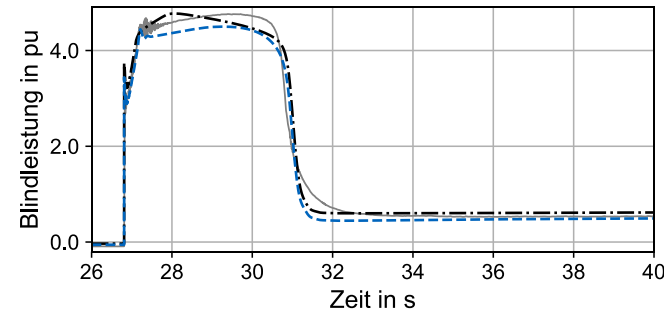
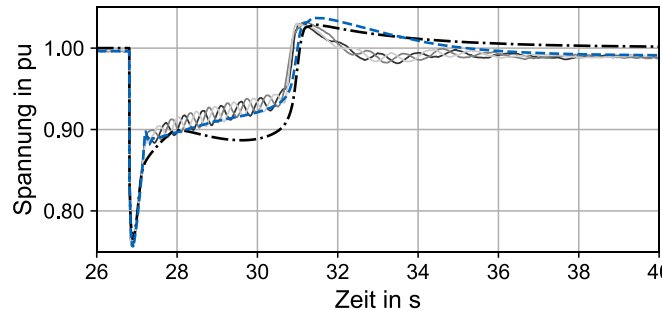
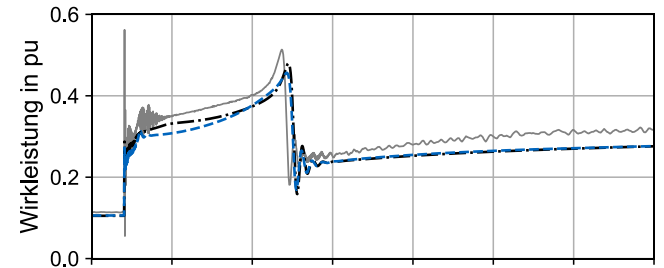
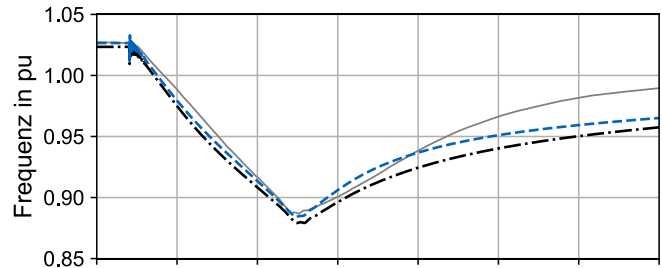
— — — Messdaten - - - Simulation

Modellvalidierung und Optimierung – Gesamtmodell

Anlaufversuch 1,4 MW Förderpumpe bei einem Generator

Betrachtung des gesamten
Simulationsmodells vor
und nach finaler
Parameteridentifikation

→ gute Nachbildung
des dynamischen
Anlaufverhaltens



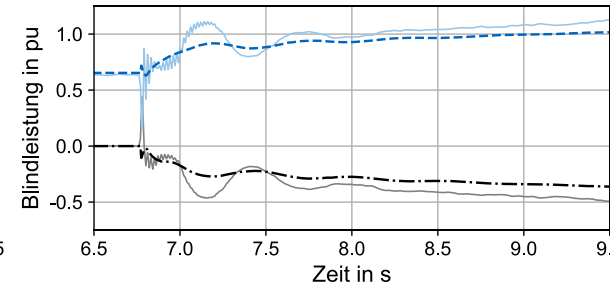
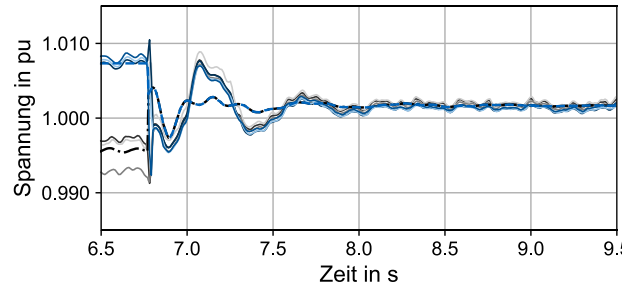
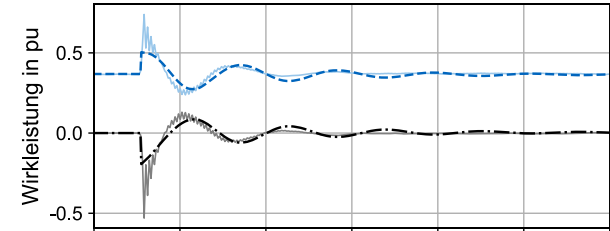
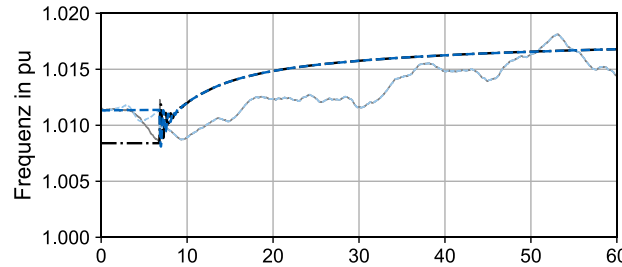
Modellvalidierung und Optimierung – Gesamtmodell

Umlastungsversuch Aufsynchronisation Generator 1 zu laufendem Generator 2

Beide Pumpen in Betrieb

→ gute Nachbildung der
Leistungsverläufe

→ Begrenzte Genauigkeit bei der
Simulation des Frequenz und
Spannungsverlaufs



Zusammenfassung

- Gute Übertragbarkeit der Simulationsmodelle vom Vorgängerprojekt LINDA
- Modellvalidierung und Modelloptimierung anhand aufgenommener Messdaten
- Ausgleichsvorgänge der Pumpenzuschaltungen und Leistungsaufnahme bei Spannungs- und Frequenzabweichungen im Betrieb werden realitätsnah abgebildet
- Realitätsnahe Nachbildung der Spannung im Inselnetz mit Standardmodellen

Ausblick

- Abschätzung kritischer Systemzustände für anstehende Feldversuche
 - Handlungsempfehlungen für den Inselnetzbetrieb
- Untersuchung der Lastschaltperformance des Führungskraftwerks
 - Ermittlung von Maßnahmen zur Ertüchtigung der Lastschaltperformance
- Realitätsnahes Simulationsmodell – Betriebsparameter identifizieren und optimieren
 - Ableitung von Kriterien für eine Verallgemeinerung
 - Ableitung von Empfehlungen für die Betriebsführung von Notfallinselnetzen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Johanna Timmermann

Technische Universität München

TUM School of Engineering and Design

Professur für Elektrische Energieversorgungsnetze

Tel. +49 89 289 22017

johanna.timmermann@tum.de

www.een.ei.tum.de



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Referenzen

- [1] T. Petermann, H. Bradke, A. Lüllmann, M. Poetzsch und U. Riehm, „Was bei einem Blackout geschieht - Folgen eines langandauernden und großflächigen Stromausfalls,“ Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, 2010.
- [2] ENTSO-E, Continental Europe Synchronous Area Separation on 08 January 2021 - Final Report, Berlin: ENTSO-E, 2021.
- [3] C. Steinhart et al., „Abschlussbericht zum Verbundvorhaben LINDA: Lokale Inselnetzversorgung und beschleunigter Netzwiederaufbau mit dezentralen Erzeugungsanlagen bei großflächigen Stromausfällen,“ 2019.
- [4] Projektflyer, „LINDA 2.0 Optimierte Notversorgung mit erneuerbaren Energien“, 2022
- [5] DigSILENT GmbH, „PowerFactory,“ 2021. [Online]. Available: www.digsilent.de/de/powerfactory.html.
- [6] M. Gratza, C. Steinhart, R. Witzmann, M. Finkel, M. Becker, T. Nagel, T. Wopperer und H. Wackerl, „Frequency Stability in Island Networks: Development of Kaplan Turbine Model and Control of Dynamics,“ PSCC, Dublin, Juni 2018.
- [7] M. Gratza, C. Steinhart, R. Witzmann, M. Finkel und C. Dellmann, „Parametrierung eines dynamischen Kaplan-Turbinen-Modells anhand von Messdaten für den Inselnetzbetrieb,“ 16. Symposium Energieinnovation TU Graz, Graz, 2020.
- [8] DigSILENT GmbH, „Technical Reference Documentation – Synchronous Machine (ElmSym, TypSym),“ 2021.
- [9] A. Glaninger-Katschnig, F. Nowak, M. Bachle und J. Taborda, „New digital excitation system models in addition to IEEE.421.5 2005,“
- [10] J. Pedra, „Estimation of typical squirrel-cage induction motor parameters for dynamic performance simulation,“ IEEE Xplore, ET Proceedings - Generation Transmission and Distribution, 2006.
- [11] C. Steinhart, M. Fischer, M. Ludwig, M. Finke, M. Gratza und R. Witzmann, „Weiterentwicklung eines Asynchronmaschinenmodells zur transienten Simulation von Pumpenanlagen,“ IEWT TU Wien, Wien, 2017.
- [12] DigSILENT GmbH, „Technical Reference Documentation – Asynchronous Machine (ElmAsm, TypAsmo),“ 2021.