Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme

Lehrstuhlinhaber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Luther

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johann Jäger

|  |  |
| --- | --- |
| Bachelorarbeit: Nr. ???? | |
| Parameterüberprüfung in Niederspannungsnetzen mithilfe von Smartmeter-Daten | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
| **Bearbeiter:** | Matthias Bodensteiner 22997864 |
|  |  |
| **Betreuer:** | Timon Conrad |
|  |  |
| **Abgabedatum:** | TT.MM.JJJJ |

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde. Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Ort, Datum |  | Unterschrift |

**Aufgabenstellung der Arbeit**

**Thema:** Thema der Arbeit, erste Zeile  
 Thema der Arbeit, zweite Zeile

Hier wird optional die Aufgabenstellung beschrieben. Die Notwendigkeit hängt vom Betreuer ab.

Vorwort eingefügt werden.

Inhaltsverzeichnis

[1 Einleitung 1](#_Toc200958210)

[2 Forschungsfrage 2](#_Toc200958211)

[3 Forschungsstand 3](#_Toc200958212)

[A Anhang Teil 1 4](#_Toc200958213)

[Symbol- und Abkürzungsverzeichnis 5](#_Toc200958214)

[Literaturverzeichnis 6](#_Toc200958215)

# Einleitung

Die Digitalisierung und Dezentralisierung der Energieversorgung führen zu tiefgreifenden Veränderungen im Betrieb elektrischer Verteilnetze. Durch die zunehmende Einspeisung erneuerbarer Energien, die Elektrifizierung des Verkehrs sowie den Einsatz von Batteriespeichern und Wärmepumpen entstehen neue Herausforderungen für Netzbetreiber. Die ursprünglich passiv ausgelegten Netze müssen zunehmend aktiv überwacht und geregelt werden, um Spannungshaltung, Versorgungssicherheit und effizienten Ressourceneinsatz zu gewährleisten.

Ein zentrales Element dieser Entwicklung ist der Zugang zu detaillierten Betriebsdaten. Moderne Messsysteme, insbesondere auf der Niederspannungsebene, ermöglichen erstmals eine kontinuierliche Erfassung elektrischer Größen wie Spannung, Strom sowie Wirk- und Blindleistung an zahlreichen Netzknoten. Diese Daten bilden die Grundlage für neue Konzepte der Netzzustandsschätzung, -analyse und -regelung.

Gleichzeitig zeigt sich in der Praxis, dass viele Netzdaten nur lückenhaft digitalisiert oder mit Unsicherheiten behaftet sind – insbesondere technische Leitungsparameter wie der ohmsche Widerstand oder die Reaktanz einzelner Netzabschnitte. Daraus ergibt sich die Frage, inwieweit solche Informationen aus vorhandenen Betriebsdaten abgeleitet oder geschätzt werden können. Die vorliegende Arbeit greift diesen Aspekt auf und beschäftigt sich mit der datenbasierten Rekonstruktion elektrischer Leitungsparameter auf Grundlage öffentlich zugänglicher Netzmodelle.

# Forschungsfrage und Forschungsziel

Kernfrage dieser Arbeit ist: In welchem Maß lassen sich die Leitungsparameter R und X in elektrischen Verteilnetzen aus Knotenmessdaten rekonstruieren, und wie robust ist dieses Verfahren gegenüber Netztopologie, Messgenauigkeit und Skalierungsanforderungen?

Ziel dieser Arbeit ist es, die Möglichkeiten und Grenzen der datenbasierten Schätzung von Leitungsparametern in elektrischen Verteilnetzen systematisch zu analysieren. Im Mittelpunkt steht dabei die praktische Umsetzung eines linearen Regressionsverfahrens, mit dem die elektrischen Kenngrößen R und X einer Leitung aus vorhandenen Knotenmessdaten (Spannung, Wirkleistung, Blindleistung) geschätzt werden sollen. Die Methode wird auf Basis öffentlich zugänglicher SimBench-Daten entwickelt und zunächst anhand eines IEEE 5-Bus Netzes validiert, das eine kontrollierte Bewertung der Schätzgenauigkeit unter idealisierten Bedingungen ermöglicht. In einem zweiten Schritt soll untersucht werden, inwieweit sich das Verfahren auf größere und realitätsnähere Netzmodelle übertragen lässt. Dabei wird insbesondere die Robustheit der Methode gegenüber unterschiedlichen Netztopologien, eingeschränkter Messgenauigkeit und wachsender Netzgröße im Hinblick auf Schätzqualität und Rechenaufwand evaluiert. Ziel ist es, die Anwendbarkeit der Methode auch unter realitätsnahen Rahmenbedingungen zu bewerten.

# Forschungsstand

Da dieses Problem mit der aktuellen Entwicklung immer präsenter wird, gibt es auch verschiedene Ansätze, dieses algorithmisch zu lösen. Konkret werden Spannungs-, Wirk- und Blindleistungsmesswerte von intelligenten Smart Metern benutzt und mithilfe dieser Daten Regressionsmodelle oder neuronale Netze zur Schätzung der Parameter eingesetzt. [1]

# Konzept

Für die Umsetzung der in dieser Arbeit verfolgten Methodik wird auf die öffentlich verfügbare SimBench-Datenbank zurückgegriffen. SimBench stellt synthetisch generierte, jedoch realitätsnahe Netzmodelle zur Verfügung, die sowohl Struktur- als auch Zeitreihendaten elektrischer Verteilnetze enthalten. Die Netze unterscheiden sich hinsichtlich Größe, Spannungsebene, Urbanisierungsgrad und Zukunftsszenarien, was eine skalierbare und vielseitige Analyse ermöglicht. In dieser Arbeit kommen zunächst ausgewählte Niederspannungsnetze aus SimBench zum Einsatz. Sie liefern unter anderem Informationen über Leitungsverläufe, Leitungslängen, Knotenpositionen sowie Messwerte wie Spannung, Wirk- und Blindleistung an jedem Netzknoten über verschiedene Zeitpunkte. Im ersten Schritt werden aus den bereitgestellten CSV-Dateien die strukturellen Netzdaten extrahiert. Dazu zählen die Knotenliste, die Leitungsverbindungen mit zugehörigen Leitungstypen und Längen sowie die zeitlich aufgelösten Messwerte für Spannung, Wirkleistung und Blindleistung. Diese Daten werden im Rahmen eines Python-Prototyps eingelesen, zugeordnet und pro Leitung für alle Zeitschritte aufbereitet. Aus den Knotenmesswerten lassen sich sodann physikalische Größen ableiten, die als Eingangswerte für das Regressionsmodell dienen. Für jede Leitung wird zu jedem Zeitschritt der Spannungsabfall zwischen den beiden Knoten bestimmt. Die so entstandenen Zeitreihen für Spannungsdifferenz bilden die Grundlage für die Schätzung der elektrischen Leitungsparameter. Zentrales Element der Simulation ist die Anwendung eines multiplen linearen Regressionsmodells. Dieses Modell basiert auf einer linearen Näherung des Spannungsabfalls entlang einer Leitung in Abhängigkeit der ohmschen und induktiven Leitungsanteile. Ziel ist es, aus den vorverarbeiteten Zeitreihen die Werte für den Widerstand R und die Reaktanz X jeder Leitung zu schätzen. Die Schätzung erfolgt zunächst für ein kleines, standardisiertes IEEE 5-Bus-Netz, um die Funktionsfähigkeit des Ansatzes unter idealisierten Bedingungen zu validieren. Im weiteren Verlauf wird das Verfahren auf größere und komplexere SimBench-Netzmodelle übertragen, um die Skalierbarkeit sowie die Robustheit der Methode unter realitätsnäheren Bedingungen zu prüfen. Hierbei werden auch Messunsicherheiten simuliert, um zu bewerten, inwieweit sich diese auf die Schätzgüte auswirken. Die Ergebnisse der Simulationen – insbesondere die geschätzten Parameter R und X – werden mit den tatsächlichen Netzparametern aus der SimBench-Datenbasis verglichen, um die Genauigkeit und Grenzen der Methode zu beurteilen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen einerseits als Validierung des gewählten Regressionsverfahrens dienen und andererseits Aussagen darüber ermöglichen, unter welchen Bedingungen eine datengetriebene Parametermodellierung in der Praxis sinnvoll und zuverlässig einsetzbar ist. Auf Basis der Sensitivitätsanalysen können zudem Anforderungen an die Qualität zukünftiger Messsysteme abgeleitet werden.

# Quellen

Optional (Befasst sich mit Rechnungen Gaus Seidel und so weiter):   
https://pureadmin.unileoben.ac.at/ws/portalfiles/portal/3171884/AC15207299n01.pdf

Beschäftigt sich auch mit dem Thema aber viel tiefer:   
Automated Determination of Topology and Line Parameters in Low Voltage Systems Using Smart Meters Measurements

Beschäftigt sich auch mit dem Finden von Leitungsparametern, aber mit einem etwas anderem Ansatz:  
Line Parameters Identification in LV Distribution Stations Based on Non-liner Least Squares

Hier wird sich erst mit Topologie Findung und danach mit Linearer Regression beschäftigt:  
Distribution Grid Modeling Using Smart Meter Data

1. Anhang Teil 1

# Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

Häufig verwendete Symbole und Abkürzungen sollten an dieser Stelle erläutert werden.

# Literaturverzeichnis

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | L. F. v. F. L. B. A. U. Franziska Tischbein, „Determination of the Line Parameters of Electrical Distribution Grids based on Smart Meter Data“. |
| [2] | SimBench, „SimBench Datasets“. |