

ANWENDUNG VON MODELLEN DES MASCHINELLEN LERNENS FÜR DIE STROMTRAGFÄHIGKEITSBERECHNUNG EINES 400-KV-KABELSYSTEMS UND DEREN VALIDIERUNG

Florian AINHORN¹

Motivation

Um eine noch nie dagewesene Flexibilität, Zuverlässigkeit und Planbarkeit des Stromnetzes zu erreichen, ist das Wissen über den genauen Zustand von Hochspannungskabeln, sowohl heute als auch in Zukunft, insbesondere im Hinblick auf ihre thermischen Beschränkungen, wichtiger denn je.

Die etablierte analytische Methode für die Stromtragfähigkeitsberechnung von Energiekabeln für stationäre und dynamische Lasten ist in den Normen [1], [2] und [3] gegeben. Aufgrund der notwendigen Annahmen, die bei der Berechnung hier teilweise gemacht werden müssen, sind konsistente, vergleichbare und damit vertrauenswürdige Ergebnisse nicht immer möglich. Dies gilt insbesondere für Modelle zur dynamischen Stromtragfähigkeitsberechnung (DTR – dynamic thermal rating), da [2] seit über 30 Jahren nicht mehr aktualisiert wurde und schwer anwendbar ist. Dieser Umstand hat die WG B1.56 veranlasst, eine Technische Broschüre [4] zur Validierung von analytischen Berechnungsverfahren zu erstellen. Auch die Finite-Elemente-Methode findet vermehrt Anwendung in der thermischen Bemessung von Energiekabeln, jedoch existieren hierfür weder Normen noch umfassende Richtlinien. Weiters erfordern numerische Verfahren im DTR aufgrund der großen Anzahl benötigter Modelle, die in Quasi-Echtzeit arbeiten müssen, eine hohe Rechenleistung.

Datengetriebene Modelle auf Basis des maschinellen Lernens stellen durch ihre hohe Flexibilität und Recheneffizienz eine vielversprechende Alternative für die dynamische Stromtragfähigkeitsberechnung von Hochspannungskabeln dar, zumal mit der Zunahme verteilter Temperaturüberwachungssysteme (DTS – Distributed Temperature Sensing) an Hochspannungskabeln, sowie der verstärkten Nutzung und Integration von Daten aus verschiedenen Quellen, z.B. Wetterdaten, die erforderlichen Rahmenbedingungen für deren Einsatz geschaffen werden. Allerdings müssen diese erst verifiziert und validiert werden, bevor sie für den Betrieb von Hochspannungskabeln eingesetzt werden können.

Methodik

Die Wiener Netze haben daher im Jahr 2017 begonnen, mögliche KI-Anwendungen für die thermische Bewertung und Überwachung von Hochspannungskabeln zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde eine 400 kV-Kabelversuchsstrecke errichtet, an welcher über einen Zeitraum von drei Jahren verschiedenste stationäre und dynamische Lasten unter realen Bedingungen aufgebracht und Parameter wie Kabel- und Bodentemperaturen, Bodenfeuchte und Wetterdaten gemessen und aufgezeichnet wurden. Die gewonnenen Daten wurden analysiert und zur Verifizierung und Validierung von datengetriebenen Modellen auf Basis des maschinellen Lernens für die dynamische Stromtragfähigkeitsberechnung von Hochspannungskabeln verwendet.

Ergebnisse

Die Untersuchungen zeigen, dass geeignete Algorithmen die bestimmenden Einflussfaktoren für die resultierende Kabeltemperatur selbstständig erkennen (siehe *Abbildung 1*) und mit einer geeigneten Validierungsmethodik selbst einfache Algorithmen wie Entscheidungsbäume oder Support Vector Machines (siehe *Abbildung 2*) für gute Vorhersagen der resultierenden Kabeltemperatur der untersuchten Kabelanordnung verwendet werden können. Darüber hinaus können anspruchsvollere Modelle wie rekurrente neuronale Netze für die Zeitreihenmodellierung Kabeltemperaturen für verschiedene Zeithorizonte zwischen 1 und 24 Stunden mit hoher Genauigkeit prognostizieren.

¹ Wiener Netze GmbH, Erdbergstraße 236, 1110 Wien, florian.ainhorn@wienernetze.at, [linkedin.com/in/florian-ainhorn-2268b911b](https://www.linkedin.com/in/florian-ainhorn-2268b911b)

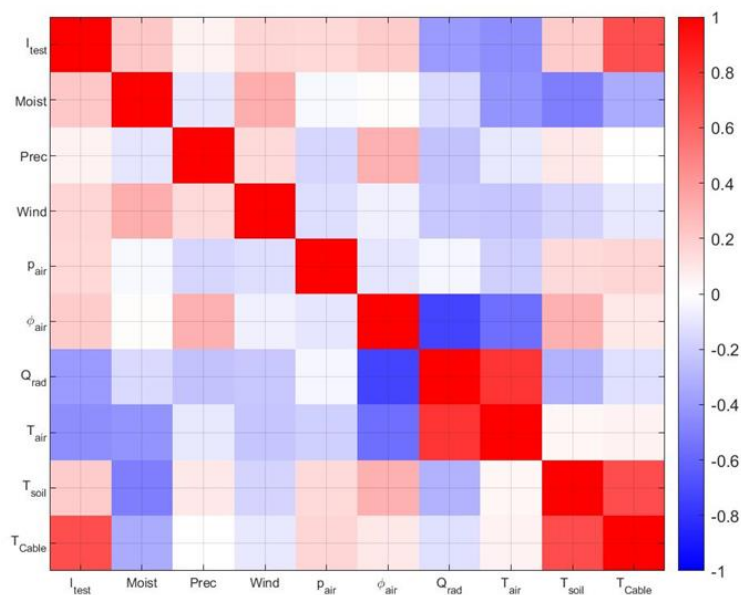


Abbildung 1: Korrelationsmatrix der Kabeltemperatur und interner und externer Einflussfaktoren

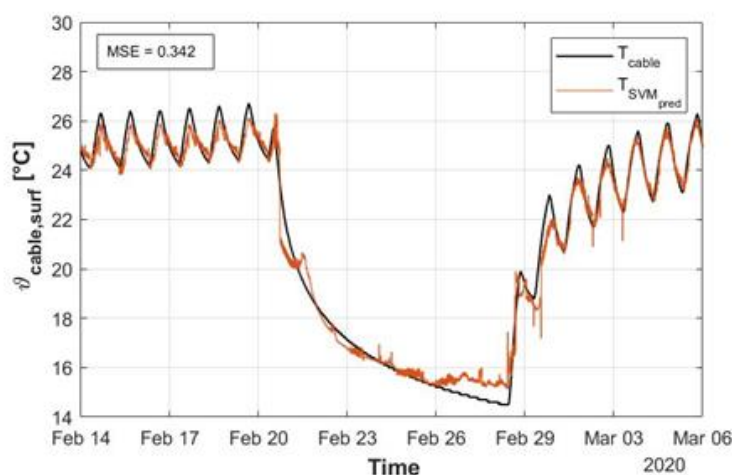


Abbildung 2: Kabeltemperaturprädiktion dynamischer Belastungsvorgänge mittels Support Vector Machine

Der Versuchsaufbau, die angewandten Algorithmen als auch deren Validierungsmethoden aus der Entwicklungsphase werden in diesem Beitrag behandelt. Darüber hinaus wird auch ein Einblick in den derzeit laufenden Prototypeneinsatz an einem operativen Kabelsystem im Netz der Wiener Netze gegeben.

Referenzen

- [1] IEC 60287:SER, 2023, "Electric cables – ALL PARTS"
- [2] IEC 60853-2, 1989, "Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages"
- [3] IEC 60853-3, 2002, "Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables - Part 3: Cyclic rating factor for cables of all voltages, with partial drying of the soil"
- [4] CIGRE WG B1.56 – Technical Brochure 880, 2022, "Power cable rating examples for calculation tool verification"