

- **Probabilistische Verteilnetzplanung zur optimierten Integration flexibler dezentraler Erzeuger und Verbraucher**

M. Sc. Pascal Wiest

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Rudion

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. T. Leibfried

KIT

Tag der mündlichen Prüfung:

14.02.2018

Die hohe Durchdringung an erneuerbaren Energien sowie deren zunehmende Flexibilisierung macht eine Veränderung der Verteilnetzplanung notwendig. Hierfür wird im Rahmen dieser Arbeit eine neue probabilistische, zeitreihenbasierte Methode zur Verteilnetzplanung entwickelt, die den heute angewandten deterministischen Ansatz ersetzen kann. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die notwendigen Veränderungen in den technischen Analysen der Verteilnetzplanung aufzuzeigen und am Beispiel eines Hochspannungsnetzes die notwendigen Modelle und Berechnungsmethoden zu entwickeln.

Um die Netzbelastungen in der probabilistischen Verteilnetzplanung zu ermitteln, zeigt sich eine zeitreihenbasierte Monte Carlo Simulation als vorteilhaft, da damit neue Betriebskonzepte detailliert in der Netzplanung bewertet werden können. Der damit einhergehende hohe Berechnungsaufwand kann mit einer Linearisierung der Lastfluss- und Ausfallanalyse reduziert werden. Die hierfür entwickelte Methode zeigt in den durchgeführten Analysen einen geringen Fehler von maximal 6 % bei der thermischen Grenzleistung der einzelnen Leitungen, bei gleichzeitiger Reduktion des Rechenaufwandes. Die notwendigen zeitreihenbasierten Eingangsdaten werden mithilfe von Klimamodell- und Messdaten modelliert. Als Beispiel für die Flexibilisierung der Erzeugung werden zwei Methoden zur dynamischen Spitzenkappung entwickelt und miteinander verglichen. Die Grundlage für die dynamische Spitzenkappung bildet die entwickelte Linearisierung der Lastfluss- und Ausfallanalyse. Die Verwendung eines Optimierungsmodells zeigt sich als vorteilhaft gegenüber einer heuristischen Einsatzreihenfolge, da dadurch die abgeregelte Energie minimiert werden kann.

Im Rahmen einer Planungsstudie eines realen 110 kV-Hochspannungsnetzes wird die entwickelte probabilistische Verteilnetzplanung mit der konventionellen Netzplanung verglichen. Dabei wird gezeigt, dass die geringe Anzahl an deterministischen Netzauslegungsfällen bei der konventionellen Netzplanung zu Unterdimensionierungen der Leitungen führen kann. Ebenfalls wird in dieser Fallstudie gezeigt, dass der Einsatz einer optimierten dynamischen Spitzenkappung den Ausnutzungsgrad der Verteilnetze erhöht und den notwendigen Netzausbau signifikant reduziert. Dabei ist es möglich, die Leitungslänge des notwendigen Netzausbaus um 67 % zu reduzieren, unter Einhaltung der technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen. Im gesamten Netzgebiet ist für diese Reduzierung des notwendigen Netzausbaus eine Abregelung von 1,32 % der erneuerbaren Energien erforderlich. Als Ergebnis dieser Arbeit steht ein Ansatz zur probabilistischen Verteilnetzplanung, welcher Fehldimensionierungen verhindern kann und die Möglichkeit bietet, Betriebskonzepte zur Reduzierung des Netzausbaus detailliert in der Netzplanung zu bewerten.

- **Probabilistic Distribution Grid Planning for Optimized Integration of Flexible Distributed Generation and Consumption**

M. Sc. Pascal Wiest

The high penetrations of renewable energy sources and an increasing flexibility of load and generation units leads to new demands within the distribution grid planning. Therefore, it is a new method for distribution grid planning developed based on probabilistic and time-series based calculations, which can replace today's deterministic approach. The aim of this work is to show the necessary changes in the planning process. Additionally, the necessary models and calculation methods have been developed for a high voltage distribution grid.

A time-series based Monte Carlo Simulation is beneficial for the calculation of the line loadings in the probabilistic distribution grid planning since network operation as e.g. dynamic curtailment can be modelled in detail. The high computational burden can be reduced by using a linearization of power flow calculation and contingency analysis. The developed new methodology shows a maximum relative error of 6 % in the rated line power flows. Time-series based input data is necessary for the probabilistic distribution grid planning which is modelled using climatic and measured data. Additionally, two methodology for dynamic curtailment are developed and investigated as an example for flexibility of generation. Therefore, the developed linearization of power flow calculation and contingency analysis are used. An optimization model for dynamic curtailment is beneficial compared to a heuristic approach since the curtailed energy can be minimized.

A planning study of a real 110 kV high voltage distribution grid is used to test the new probabilistic distribution grid planning method and to compare it with the conventional approach. The low number of deterministic load and generation scenarios in conventional planning leads to an undersizing of the lines. Additionally, the planning study shows that the optimized dynamic curtailment method significantly reduces the necessary grid expansion. Here, a reduction of 67 % of grid expansion is possible when curtailing only 1.32 % of the annual energy from renewable energy sources. The results of this work is a probabilistic distribution grid planning method that can prevent over or under dimensioned lines and is able to integrate operational concepts for the reduction of grid expansion.