

Modellbasierte Netzschutzdiagnose

Automatisierte Analyse und Optimierung eines Zeitstaffelschutzplans

Die Autoren stellen ein innovatives Verfahren vor, das für vermaschte Stromnetze einen vorhandenen oder automatisch neu erstellten Zeitstaffelschutzplan für Distanzschutzgeräte analysiert und optimiert. Die Optimierung berücksichtigt sowohl allgemeingültige als auch anwenderdefinierte Anforderungen.

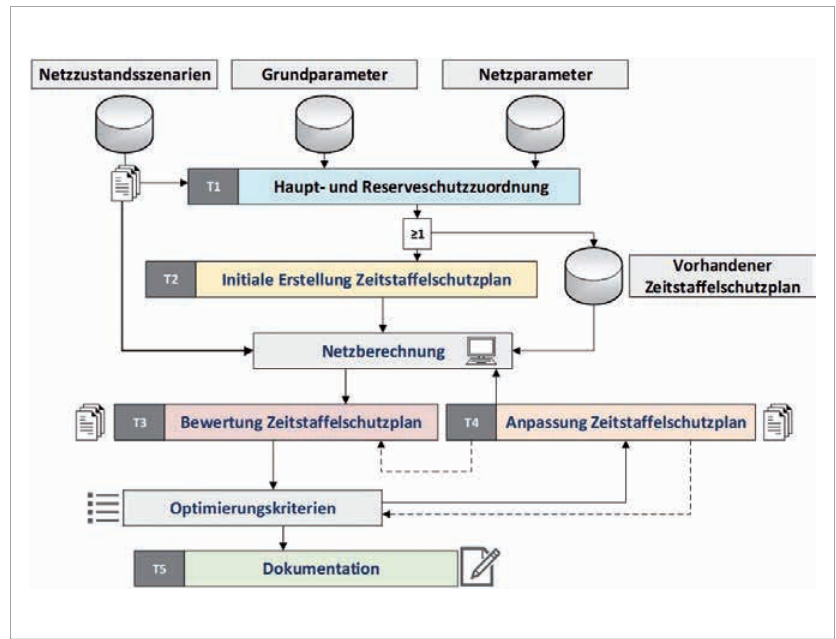
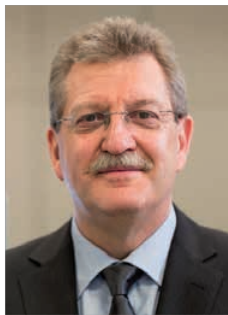


Bild 1. Verfahren zur Optimierung eines Zeitstaffelschutzplans
 T1 Zuordnung von Haupt- und Reserveschutz zu jedem Betriebsmittel für jedes Netzzustandsszenario
 T2 Verwendung eines vorhandenen oder Erstellung eines neuen Zeitstaffelschutzplans
 T3 und T4 Bewertung und Anpassung des Zeitstaffelschutzplans auf Basis des kaskadierten Auslöseverhaltens der Schutzgeräte
 T5 Dokumentation der Ergebnisse



Markus Albert (l.), M.Sc., Fachingenieur Sekundärtechnik, VSE Verteilnetz GmbH, Saarbrücken; Prof. Dr.-Ing. **Michael Igel**, Institut für Elektrische Energiesysteme, Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Saarbrücken

Das Voranschreiten der Energiewende stellt Verteilnetzbetreiber vor neue Herausforderungen. Die Integration dezentraler Erzeugungsanlagen erhöht die Zahl von Zwischen- und Gegeneinspeisungen in Mittel- und Hochspannungsnetzen stetig. Darüber hinaus sind vermehrt betriebsbedingte Schaltzustandsänderungen aber auch Netzausbaumaßnahmen zu erwarten. Netzbetreiber müssen daher Grundanforderungen an Netzschutzkonzepte kontinuierlich überprüfen und bewerten: Empfindlichkeit, Selektivität und Auslösezeit. Innovative Software-Tools zur teil- und vollautomatisierten Analyse und Optimierung von Zeitstaffelschutzplänen ermöglichen die Bewältigung der gestiegenen Komplexität und Anzahl an Prüfungen.

Verfahren zur Optimierung eines Zeitstaffelschutzplans

Aufgabe des Netzschutzes ist es, fehlerbetroffene Betriebsmittel selektiv und in angemessener Auslösezeit allseitig und allpolig abzuschalten. Damit leistet der Netzschutz einen Beitrag zur zuverlässigen Stromversorgung. Im Wandel hin zu dezentraler Stromerzeugung werden Stromnetze häufig an den Stabilitätsgrenzen betrieben. Um Versorgungsunterbrechungen zu vermeiden, müssen Zeitstaffelschutzpläne als zentrale Komponente von Netzschutzkonzepten kontinuierlich analysiert und optimiert werden. Dabei steigt deren Komplexität mit Zunahme von Gegen- und Zwischeneinspeisungen und betriebsbedingten Schaltzustandsänderungen.

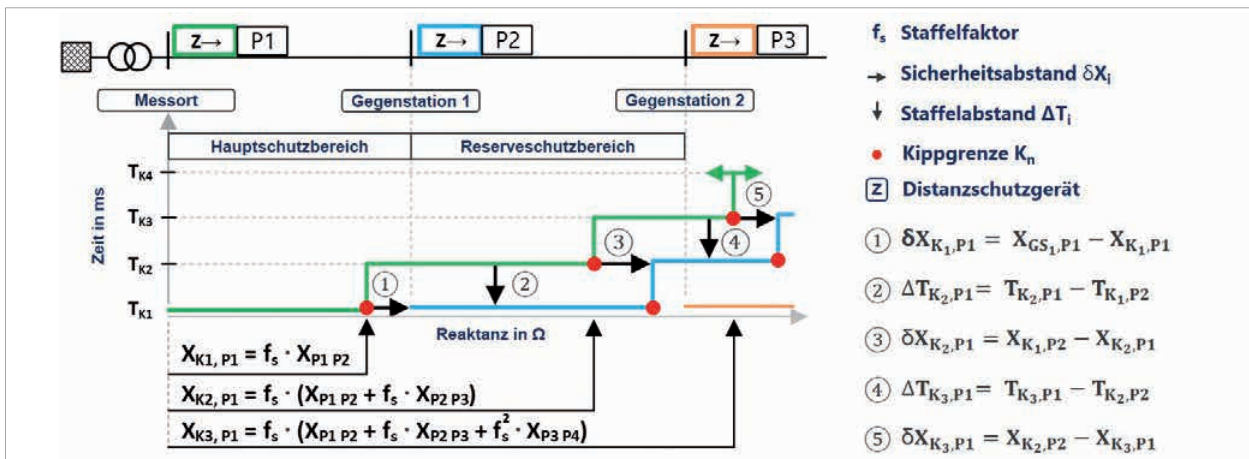


Bild 2. Zeitstaffelschutzplan für Distanzschutzgeräte

Im Rahmen eines Promotionsvorhabens an der Technischen Universität Dresden in Kooperation mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes wurde ein Verfahren für die Erstellung, Analyse, Bewertung und Optimierung von Zeitstaffelschutzplänen entwickelt. Das Verfahren kann in Netzen beliebiger Topologie für beliebige Netzzustandsszenarien in Normal- und Sonderschaltzuständen eingesetzt werden. Zeitstaffelschutzpläne können prädiktiv hinsichtlich Haupt- und Reserveschutz unter Berücksichtigung allgemeingültiger und anwenderdefinierter Anforderungen geprüft werden. Das Verfahren wurde in dem Software-Tool GridProtect (www.gridprotect.de) durch das Stromversorgungsunternehmen VSE Verteilnetz GmbH umgesetzt und in einem 110-kV-Referenznetz erfolgreich getestet. Im nächsten Schritt ist der Einsatz im 110-kV-Netz der VSE Verteilnetz GmbH im täglichen Netzbetrieb geplant [1].

Das Verfahren optimiert in mehreren Schritten einen Zeitstaffelschutzplan (Bild 1).

Anforderungen an einen Zeitstaffelschutzplan

Die Erstellung eines Zeitstaffelschutzplans für Distanzschutzgeräte erfolgt durch die Koordination der Zonenreichweiten X_{Kn} und Staffelzeiten T_{Kn} der Distanzzonen, die mit dem Staffelfaktor f_s nach dem Konzept der Staffelung nach der kürzesten Folgeleitung [1,2] ermit-

telt werden. In Bild 2 werden die als Zeitstaffelkennlinie dargestellten Verzögerungszeiten $T_{Kn} = f(X_{Kn})$ des Distanzschutzes P1 und des Distanzschutzes P2 dargestellt. Wichtige Merkmale der Zeitstaffelkennlinie sind die Kippgrenzen, d. h. die Übergänge von einer Distanzzone in eine andere Distanzzone.

Um die Grundanforderung Selektivität sicherzustellen, müssen jedem Betriebsmittel Haupt- und Reserveschutz zugeordnet werden. Der Hauptschutz hat die Aufgabe in seiner Schutzzone liegende Betriebsmittel im Kurzschlussfall selektiv auszulösen. Der Reserveschutz muss bei Versagen des Hauptschutzes in angehobener Staffelzeit dessen Aufgabe übernehmen. Die Koordination von Haupt- und Reserveschutz wird i. d. R. durch ausreichende Staffelabstände ΔT_i und ΔX_i der Zeitstaffelkennlinien umgesetzt. Der Staffelabstand ΔT_i berücksichtigt z. B. die Eigenzeiten der Schutzgeräte,

der Staffelabstand ΔX_i Messunsicherheiten z. B. von Strom- und Spannungswandlern aber auch unsymmetrische Betriebsmittel. Staffelabstände werden als anwenderdefinierte Anforderung festgelegt.

Erstellung und Bewertung des Zeitstaffelschutzplan

Abhängig von Netztopologie und Schaltzustand können allgemeingültige und anwenderdefinierte Anforderungen nicht für jedes denkbare Netzzustandsszenario eingehalten werden. Daher werden die relevanten Netzzustandsszenarien vorab ausgewählt. Diese Szenarien werden mit einem Netzberechnungsprogramm berechnet, die Schutzreaktionen ermittelt und bzgl. Einhaltung der Anforderungen automatisiert bewertet.

In Bild 3 wird die Bewertung eines Zeitstaffelschutzplans mit und ohne Zwischeneinspeisung beispielhaft dargestellt. Zu Beginn

Zielfunktionswert	Bedeutung
$W = [1]$	Allgemeingültige und anwenderdefinierte Anforderungen sind erfüllt. Der Zeitstaffelschutzplan ist zulässig.
$W =]0,1[$	Der Staffelabstand verletzt die anwenderdefinierten Anforderungen. Die allgemeingültigen Anforderungen sind erfüllt. Der Zeitstaffelschutzplan ist zulässig.
$W = [0]$	Mindestens eine der allgemeingültigen oder anwenderdefinierten Anforderungen ist nicht erfüllt. Der Zeitstaffelschutzplan ist unzulässig.

Tafel 1. Zielfunktionswerte auf Basis einer Fuzzylogik

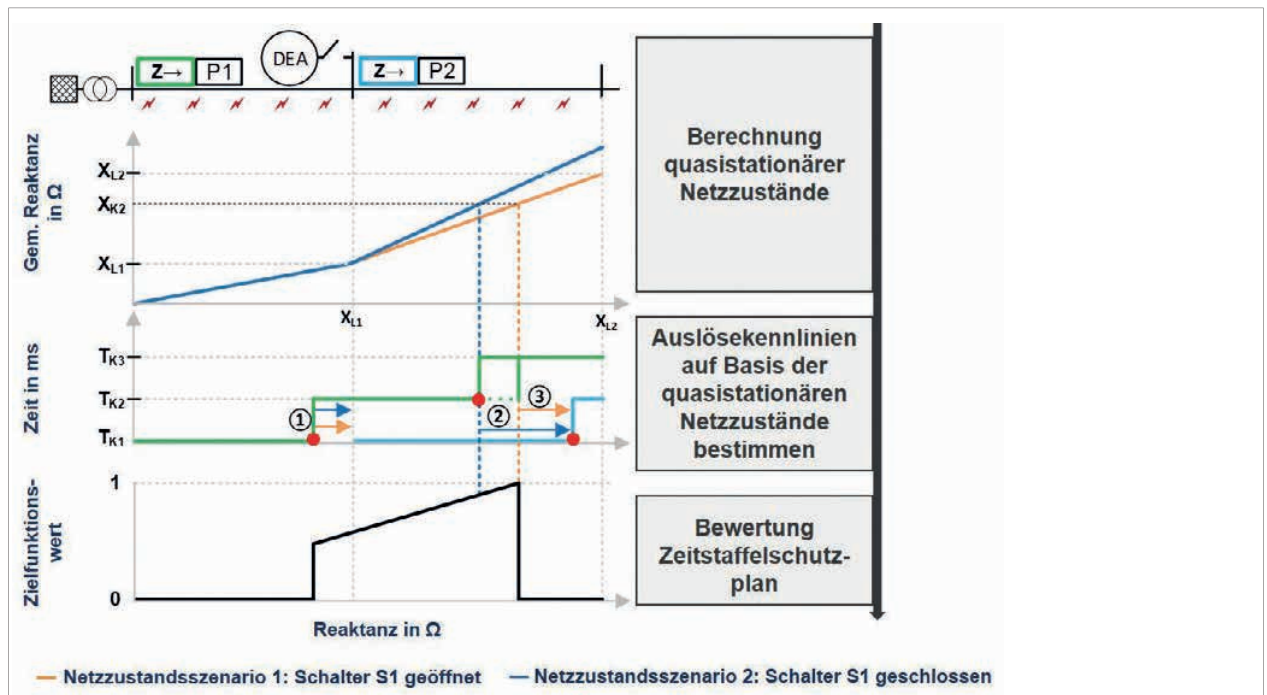


Bild 3. Bewertung des Zeitstaffelschutzplans mit und ohne Zwischeneinspeisung

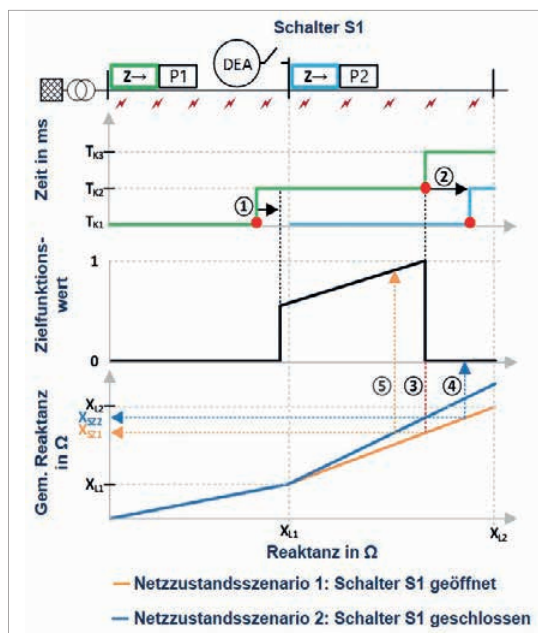


Bild 4. Automatisierte Anpassung des Zeitstaffelschutzplans

werden zwei Netzzustandsszenarien definiert:

- Szenario 1 ohne Zwischeneinspeisung: Schalter S1 geöffnet,
- Szenario 2 mit Zwischeneinspeisung: Schalter S1 geschlossen.

Im ersten Schritt werden Haupt- und Reserveschutz durch eine

netztopologische Analyse beider Szenarien automatisiert den Betriebsmitteln zugeordnet. Danach wird für beide Szenarien mit dem Netzberechnungsprogramm ATP-Designer die Schutzreaktionen ermittelt. Entlang jeder Leitung wird in einer anwenderdefinierten Schrittweite der Kurzschlussort verschoben und das kaskadierte Auslöseverhalten für alle Schutzgeräte ermittelt.

Die Ergebnisse ermöglichen die Erstellung der Auslösekennlinien mit berechneten Auslösezeiten unter Berücksichtigung netztopologischer Effekte. Anschließend erfolgt die Bewertung bzgl.

der allgemeingültigen und anwenderdefinierten Anforderungen.

So zeigt in Bild 3 Kippgrenze 1 eine gleiche Lage für beide Szenarien und die Einhaltung des anwenderdefinierten Staffelabstandes ΔX_1 ①. Kippgrenze 2 hingegen zeigt für beide Szenarien eine unterschied-

liche Lage mit verschiedenen Staffelabständen ΔX_2 ② ③. Das Verfahren bewertet nun auf Basis anwenderdefinierter Anforderungen, ob Staffelabstände ggfs. unzulässig sind.

Eine Überschreitung des vom Anwender definierten Staffelabstands ist nicht grundsätzlich unzulässig, kann jedoch abhängig vom Fehlerort eine größere Auslösezeit zur Folge haben. Eine Unterschreitung des anwenderdefinierten Staffelabstands ist unzulässig, da eine nicht selektive Auslösung nicht ausgeschlossen werden kann. Die Bewertungsergebnisse werden durch das Verfahren mit einer Fuzzylogik im Zielfunktionsbereich $W = [0,1]$ beschrieben, der eine qualitative und quantitative Bewertung ermöglicht.

Anpassung des Zeitstaffelschutzplans

Auf Grundlage der Bewertungsergebnisse ermittelt das Verfahren automatisch Maßnahmen zur Optimierung des Zeitstaffelschutzplans. Das Vorgehen wird in Bild 4 für Kippgrenze K2 des Distanzschutzes P1 erläutert.

Das Verfahren ermittelt automatisch den maximalen Lösungsraum für Kippgrenze K_2 von Dis-

tanzschutz P1 bezogen auf Distanzschutz P2 durch Analyse der Auslösekennlinien unter Berücksichtigung der Netztopologie.

Als anwenderdefinierte Anforderung wird ein minimaler Staffelabstand ΔX festgelegt. Kippgrenze K_2 darf den Staffelabstand ④ zur Kippgrenze K_1 der Auslösekennlinie von P2 nicht unterschreiten. Weiter muss ein Mindestabstand zur Kippgrenze eingehalten werden ①.

Mit den Kippgrenzen K_1 von P1 und K_1 von P2 identifiziert das Verfahren durch Analyse beider Auslösekennlinien den maximalen Lösungsraum für Kippgrenze K_2 von P1. Der Lösungsraum ist in *Bild 4* als Zielfunktionswert $[0,1]$ dargestellt. Mögliche Einstellwerte für Kippgrenze K_2 von P1 liegen im Bereich der Zielfunktion mit Werten > 0 . Das Verfahren ermittelt nun automatisch die optimale Lage von Kippgrenze K_2 durch Identifikation des maximalen Zielfunktionswerts ③. Mit den berechneten Kennlinien der Kurzschlussreaktanzen beider Szenarien können mögliche Einstellwerte ermittelt werden.

- Ausgehend von Szenario 1 wird der Einstellwert X_{SZ2} ermittelt. Damit ergibt sich für Szenario 1 ein Zielfunktionswert $W = 1$ ③, für Szenario 2 ein Zielfunktionswert

$W \approx 0,8$ ⑤. Diese Einstellung ist grundsätzlich zulässig, führt jedoch zu einer erhöhten Auslösezeit in Szenario 2.

- Ausgehend von Szenario 2 wird der Einstellwert X_{SZ1} ermittelt. Damit ergibt sich für Szenario 1 ein Zielfunktionswert $W = 0$ ④, für Szenario 2 ein Zielfunktionswert $W = 1$ ③. Diese Einstellung ist unzulässig, da eine selektive Auslösung nicht gewährleistet werden kann.

Das Verfahren ermittelt abschließend als optimalen Einstellwert den Einstellwert X_{SZ1} .

Zusammenfassung/Fazit

Das vorgestellte Verfahren wurde in dem Software-Tool GridProtect (www.gridprotect.de) umgesetzt und in einem 110-kV-Referenznetz unter Laborbedingungen erfolgreich getestet. Im nächsten Schritt plant die VSE Verteilnetz GmbH den Einsatz im Netzbetrieb ihres 110-kV-Netzes mit 900 km Leitungslänge, 850 MVA dezentraler Erzeugungsleistung und 120 Distanzschutzgeräten, um automatisiert Zeitstaffelschutzpläne zu erstellen, zu analysieren und zu optimieren. Auch die Anbindung an operative Systeme wie ein GI-System

oder ein Netzleitsystem ist in Arbeit bzw. in Planung.

Aus Sicht der VSE Verteilnetz GmbH ist das Verfahren ein wichtiger Schritt, um dem auch zukünftig steigenden Anforderungen im Rahmen der Energiewende sowie dem abzu- sehenden Fachkräftemangel durch innovative Lösungen zu begegnen. Das Verfahren wird auf der ETG/ FNN-Fachtagung Schutz- und Leittechnik in Berlin dem interessierten Fachpublikum in einem Vortrag und an einem Messestand vorgestellt.

Literatur

- [1] Zeitstaffelschutzplan automatisiert erstellen, optimieren und überprüfen, ew, Jg. 118 (2019), H. 11-12, S. 52 – 55.
- [2] Leitfaden zum Einsatz von Schutzsystemen in elektrischen Netzen, Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN), September 2009.

albert-markus@vse.de

michael.igel@htwsaar.de

www.gridprotect.de

www.powerengs.de

Anzeige

Energiemanagement | Differenzstromüberwachung | Spannungsqualität



GridVis®

GridVis® SOFTWARE

VISUALISIEREN

ANALYSIEREN

ALARMIEREN

DOKUMENTIEREN

Janitza®