

WARTUNGSPRÜFUNGEN NACH DEM VORBILD VON REGRESSIONSTESTS – EINE SICHERE METHODE ZUR ERKENNUNG DEFEKTER KOMPONENTEN

Richard Marenbach, Michael Albert (OMICRON electronics Deutschland GmbH)

richard.marenbach@omicronenergy.com

Deutschland

Zusammenfassung

Die Lebenszyklen moderner Schutz-IEDs werden immer kürzer, genauso wie die Zeiträume zwischen angebotenen Firmwareupdates dieser Geräte. In der Folge steigt der Bedarf an qualifizierten Prüfstrategien. So muss der Netzbetreiber beispielsweise die funktionalen Anforderungen, die Qualität der neuen Firmware, die korrekte Inbetriebnahme und die Parametereinstellungen verifizieren.

Dieser Artikel beschreibt eine Prüfmethode, die sich an das Regressionstestverfahren anlehnt, bekannt aus der Softwareentwicklung. Dabei wird eine Prüfmethode, die beispielsweise während der Inbetriebnahmephase entwickelt wird, als Referenz für weitere Prüfungen festgelegt. Eine der Grundvoraussetzungen für diese Methode sind schriftliche Definitionen, in denen festgeschrieben ist, welche Prüfungen das IED während seines Lebenszyklus durchlaufen muss. Die damit einhergehende hohe Qualität der Dokumentation bietet dem Netzbetreiber darüber hinaus eine gute Basis, das Spezialwissen im Unternehmen zu sichern, und für das interne Wissensmanagementsystem bereitzustellen.

Mit diesem neuen Ansatz kann die Prüfqualität erhöht und zugleich der dafür erforderliche Zeitaufwand reduziert werden.

Suchwörter: Regressionstest, Prüfstrategie, IED-Lebenszyklus, Wissensmanagement, Wartungsprüfung

1 Einführung

Die Anforderungen an das Prüfen moderner IEDs (Intelligent Electronic Device) wachsen immer schneller. Die Lebenszyklen der IEDs werden kürzer und es müssen Hunderte Parameter geprüft oder verifiziert werden. Außerdem sind die Gründe für die Prüfung oft recht unterschiedlich. Aus Sicht der Hersteller ist die Produktqualität entscheidend, aus Sicht des Netzbetreibers müssen die Anforderungen an die Schutzfunktionen, die Aktualisierung der Firmware, die Qualität der Inbetriebnahme und anderes geprüft werden.

In diesem Kontext ist es sehr wichtig, zunächst einen Blick auf den gesamten Lebenszyklus eines IED zu werfen, von der Planungs- und Entwicklungsphase bis zu dem Zeitpunkt, an dem es wieder außerbetrieb genommen wird. Sämtliche Prüfungen während der Planung, Engineering und Montage laufen letztendlich auf die Abnahmeprüfung (Site Acceptance Test – SAT) hinaus. Diese Prüfung soll nachweisen, dass das IED für den Einsatz entsprechend seinem Anwendungszweck bereit ist und die Anlage zugeschaltet werden kann.

2 Lebenszyklus eines Betriebsmittels

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Phasen während des Lebenszyklus eines IED aus Sicht eines Netzbetreibers aufgezeigt. Die Phasen, die hauptsächlich am Standort des IED-Herstellers stattfinden, sollen nicht Gegenstand dieser Betrachtung sein. Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Phasen ist in [1] zu finden. Die verschiedenen Phasen können grob wie folgt bezeichnet werden:

- Planung und Engineering
- Ausschreibung
- Werksabnahmeprüfung
- Inbetriebnahme
- Wartung

In jeder Phase sind bezüglich der Prüfung andere Aktionen erforderlich. Bei diesen Aktionen kann es aber auch zu Fehlern kommen. Diese Fehler sollen verhindert oder eliminiert werden.

Während der Planungsphase eines Schutzsystems wird das gesamte System definiert. Der Planungsingenieur muss festlegen, welche primärseitigen Betriebsmittel zu schützen sind und wie sich dies umsetzen lässt. Das Schutzsystem ist gekennzeichnet durch seine Selektivität, Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Alle diese Attribute müssen so gewählt sein, dass die Schutzphilosophie des Netzbetreibers erfüllt wird. Dabei sind mehrere Fragen zu beantworten, wie beispielsweise: Welche Schutzfunktionen werden verwendet? Wenn ein doppelt ausgelegtes Schutzsystem erforderlich ist, welche Schutzfunktionen werden von IED 1 und welche von der IED 2 abgedeckt? Wie wird der Reserveschutz umgesetzt? Welches Kommunikationssystem wird innerhalb der Schaltanlage oder zwischen Schaltanlagen verwendet?

Die anschließende Ausschreibungsphase besteht aus vielen unterschiedlichen Schritten. Zuerst muss ein Präqualifizierungsverfahren definiert werden, das die Beschreibung aller Prüffälle beinhaltet, die ein neues

Schutz-IED durchlaufen muss, um sich zu qualifizieren d.h. in die engere Auswahl zu kommen [2]. Dieses Verfahren hilft, den Zeitdruck aus dem Ausschreibungsverfahren zu nehmen, da es jederzeit vor der Veröffentlichung der Ausschreibung gestartet werden kann. Auf diese Weise lassen sich ein Hersteller und dessen Produkt vorqualifizieren. Dadurch erhält der Ausschreibende die Sicherheit, dass nur Produkte zum Angebot kommen, die seine Anforderungen erfüllen. Er kann sich dann auf andere Aspekte konzentrieren, wie etwa den Preis [3]. Das Präqualifizierungsverfahren kann eine schriftliche Beschreibung der geplanten Tests beinhalten, die das IED durchlaufen muss und auch digitale Dateien, die auf den zu testenden Geräten auszuführen sind. Dies wird ausführlicher in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Die Phase der Werksabnahmeprüfung findet – wie der Name schon sagt – im Werk des IED-Herstellers oder des Schrankherstellers statt. Bei den Prüfungen ist der Kunde selbst oder ein anderer Beauftragter anwesend. In dieser Phase lässt sich die Funktionalität des IED in seinem Schutzschrank prüfen. Auch die Kommunikation zwischen IEDs im selben oder in unterschiedlichen Schränken, sowie andere Remoteprozesse, können Teil der Prüfung sein. Die Leistungsfähigkeit des IED wird häufig mit Parametern geprüft, die auf der Standardeinstellung des Kunden beruhen.

3 Inbetriebnahmephase und SAT

Die Phase der Inbetriebnahme beginnt mit der Lieferung der Schutzschränke an den Standort. Alle IEDs, alle Prozesse und alle Kommunikationskanäle müssen geprüft werden. Das ganze System wird so aufgebaut, dass es anschließend perfekt funktioniert. Dazu gehören auch Stromwandler, Spannungswandler, Merging Units (MU) und Leistungsschalter.

Während der Inbetriebnahmephase müssen alle Komponenten des Schutzsystems verdrahtet und miteinander verbunden werden. Außerdem sind alle Parameter des IED wie erforderlich einzustellen. Es bedarf also vieler Prüffälle mit unterschiedlichen Prüfzwecken.

Zweck der Prüfung	Inhalt (als Beispiel)
Verdrahtungsprüfungen	Prüfung, ob alle Drähte an die richtigen Klemmen angeschlossen sind
Verifizieren der IED-Parameter	Prüfen, ob das IED mit den tatsächlichen Parametereinstellungen innerhalb seiner vom Hersteller beschriebenen Toleranzen ordnungsgemäß funktioniert
Allgemeines Schutzschema	Prüfen, ob das Schutzsystem (alle installierten IEDs) auf einer parallelen Leitung ordnungsgemäß funktioniert: Selektivität für alle Arten von Fehlern, Reserveschutz ist korrekt konfiguriert, der Leistungsschalter-Ausfallschutz funktioniert richtig
Selbst entwickelte Funktionserweiterungen	Prüfen, ob selbst entwickelte logische Funktionen in einem IED der Definition entsprechend arbeiten
Meldungen	Prüfen, ob alle Meldungen wie gewünscht ausgelöst werden und am Ziel ankommen. Der Prüfer sollte sich ganz darauf konzentrieren, einen Prüffall so zu definieren, dass nur die zu prüfende Meldung ausgelöst werden.
Anlagenkommunikation	Prüfen, ob die Kommunikation in der Anlage selbst oder mit Remoteprozessen wie gewünscht funktioniert
End-to-End-Prüfungen	Prüfen, ob ein Distanzschutzsystem oder ein Leitungsdifferenzial-IED ordnungsgemäß funktioniert

Diese Phase wird mit einer Abnahmeprüfung (SAT) abgeschlossen. Für die folgenden Verfahren ist es notwendig, dass eine Prüfausrüstung verwendet wird, die automatisch alle verwendeten Prüffälle aufzeichnet und diese Prüffälle später mit denselben Prüfgrößen und derselben Genauigkeit wiederholen kann.

4 Anforderungen an fehlerfreie Inbetriebnahmeprüfungen

Nach einer Abnahmeprüfung stellt sich eine wichtige Frage: Befindet sich das Schutzsystem jetzt in einem Zustand, in dem es sich so verhält wie es soll? Dabei ist zu beachten, dass es nie eine hundertprozentige Sicherheit gibt, dass sich im Schutzsystem nicht doch intern Fehler verstecken, die unter bestimmten Umständen zu einer Fehlfunktion führen. Das Prüfpersonal kann aber gut definierte Verfahren einrichten, um in der Inbetriebnahmephase möglichst viele Fehler zu eliminieren.

Bei den folgenden Betrachtungen gehen wir davon aus, dass eine gut definierte Präqualifizierungsphase stattgefunden hat, sodass die verwendeten Schutz-IEDs die gewünschten Schutzfunktionen bereitstellen können.

Für bestmögliche Ergebnisse bei der Inbetriebnahmeprüfung, sollte diese die folgenden Elemente beinhalten:

- eine Beschreibung der zu prüfenden Systemfunktionen (Commissioning Functional Requirement Specification – CFRS)
- eine Beschreibung, wie die Funktionen zu prüfen sind (Commissioning Testing Requirement Specification – CTRS)
- Prüfwerkzeuge mit einer Genauigkeit, die mindestens 10-mal besser als die Toleranzen der verwendeten IEDs ist
- Prüfwerkzeuge, mit denen die Prüfmethodik bereits vor der SAT definiert wird (digitale Prüfdateien)
- Prüfwerkzeuge, die alle Prüfergebnisse so speichern können, dass kein manuelles Eingreifen erforderlich ist oder dass der Prüfbericht anschließend nicht manuell ohne Benachrichtigung geändert werden kann
- eine Beschreibung, wie die Prüfwerkzeuge für die konkrete Anwendung zu verwenden sind (Anwenderhandbuch der kundenspezifischen Prüfpläne)
- Prüfpersonal, das das Schutzsystem kennt und weiß, wie das Prüfwerkzeug zu verwenden ist

In Abbildung 1 ist ein Beispiel für eine CTRS und ein Anwenderhandbuch zu sehen.

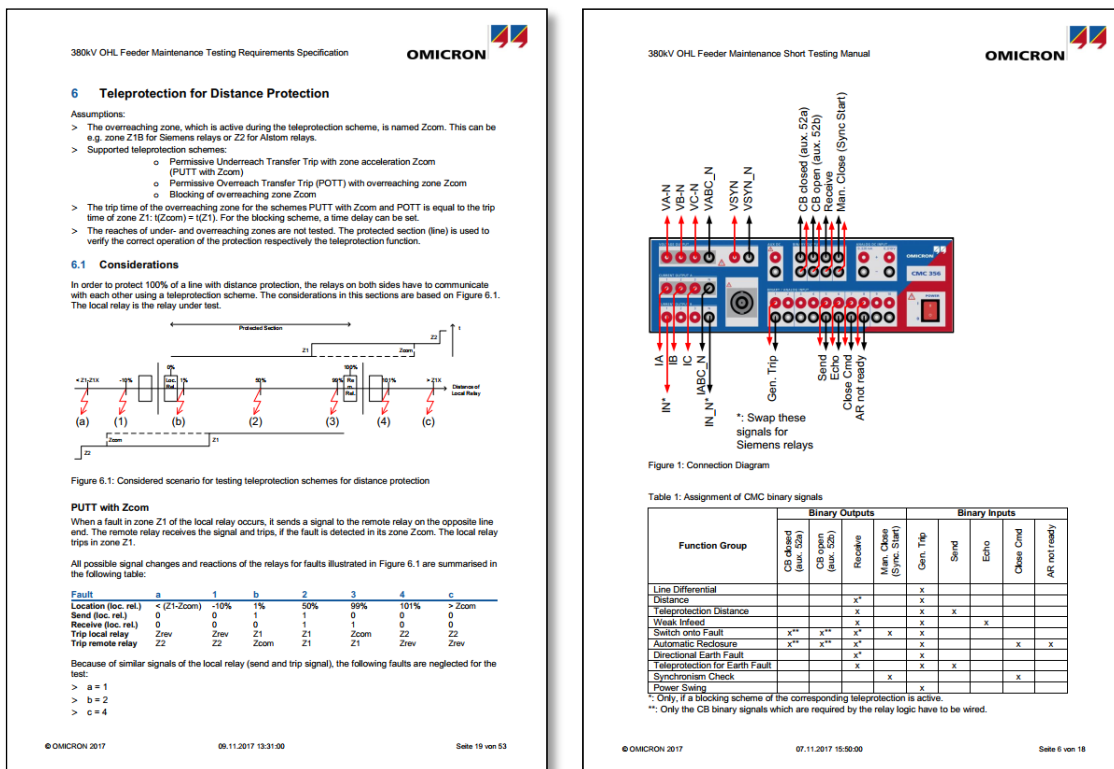


Abbildung 1: Beispiel für eine CTRS und ein Anwenderhandbuch für Prüfpersonal

Wenn alle diese Anforderungen erfüllt sind, können die Prüfunterlagen einschließlich aller Prüfdateien und -ergebnisse, die während der SAT erhoben wurden, gespeichert werden, um sie für spätere Prüfungen in der Wartungsphase als Referenz zu verwenden.

5 Was ist ein Regressionstest?

Weshalb ist eine solche Referenz für weitere Prüfungen so wichtig? Werfen wir zur Erklärung einen kurzen Blick auf eine andere Art von Testverfahren, die bei der Softwareentwicklung eingesetzt wird.

Bei der Entwicklung neuer Komponenten in der OMICRON-Software muss unter anderem sichergestellt werden, dass alte Softwarekomponenten in der neuen Softwareversion weiterhin genau so funktionieren, wie in der

- Abweichungen bei Komponenten (Nominalwerte liegen außerhalb der Toleranz)
- lose Kontakte aufgrund mechanischer Probleme
- Schwäche der Isolation
- Signalunterbrechungen z. B. durch das Einwirken von Tieren
- und mehr

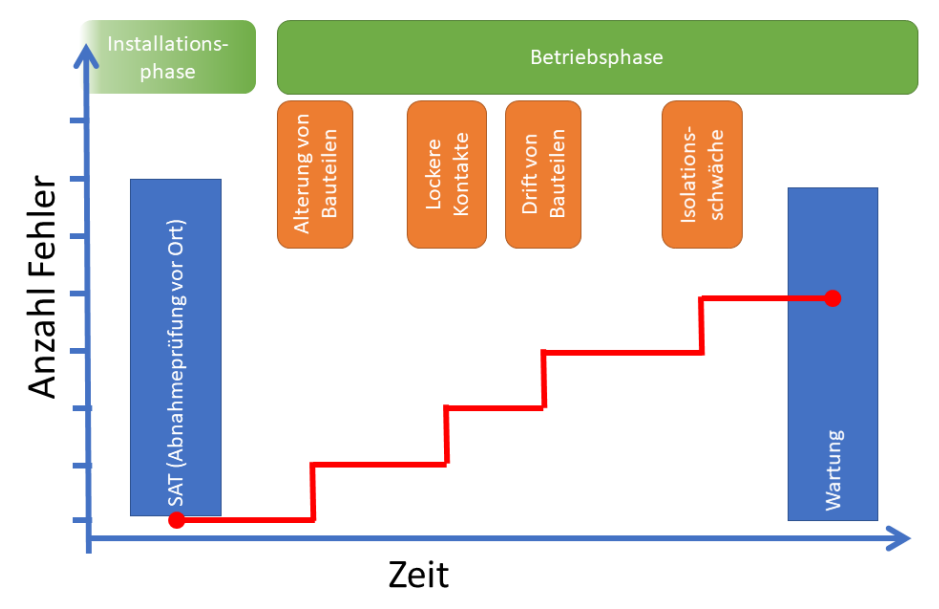


Abbildung 3: Fehler im Schutzsystem seit der SAT

Das bedeutet, dass es in der Zeit seit der SAT zu verschiedenen Fehlern im Schutzsystem gekommen sein kann, die aufgrund der Fehlfunktion des Schutzes bis zu diesem Zeitpunkt nicht festgestellt wurden (Abbildung 3). Jetzt ist es an der Zeit, die Prüfdefinitionen und die Prüfdateien aus der SAT zu nehmen und sie für die Wartungsprüfung zu verwenden. Normalerweise enthält die SAT viele Prüffälle und es ist sinnvoll zu besprechen, ob alle diese Prüffälle auch für die Wartungsprüfung erforderlich sind. Das ist eine Frage der Prüfphilosophie des Netzbetreibers, und die Antwort kann von „wir verwenden dieselben Prüffälle wie in der SAT“ bis zu „wir führen lediglich eine visuelle Inspektion durch“ reichen.

Werden die hochqualifizierten Prüfsequenzen aus der SAT verwendet, ist garantiert, dass alle seither aufgetretenen Fehler während der Wartungsprüfung entdeckt werden.

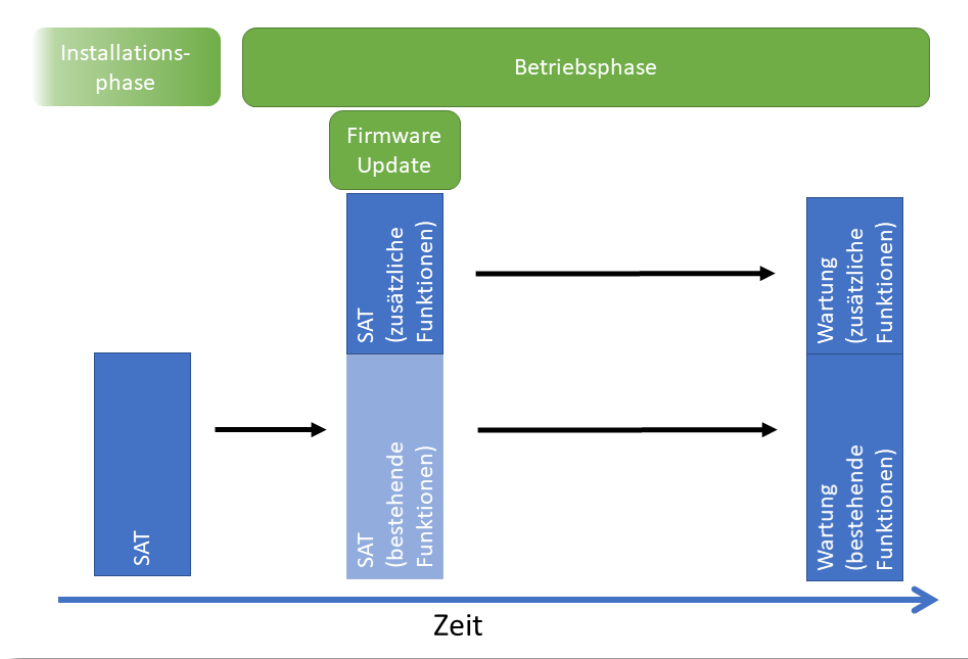


Abbildung 4: Vorgehensweisen zur Prüfung von Firmware-Aktualisierungen

7 Firmware-Aktualisierungen und andere Änderungen

Heutzutage kommt es relativ häufig vor, dass im IED eine geänderte Firmware implementiert werden muss, noch bevor die Wartungsprüfung fällig ist. In diesem Fall ist es nötig, vor der Freigabe der neuen Firmware auch eine Art Präqualifizierungsprozess einzuführen.

An dieser Stelle sind drei verschiedene Szenarien denkbar:

- A. Der IED-Hersteller hat im IED lediglich Funktionsfehler abgestellt, das heißt, es kommen keine neuen Funktionen hinzu. In diesem Fall kann der Prüfer die Prüffälle aus der SAT verwenden. Das sorgt für maximale Qualität und Geschwindigkeit der Prüfung.
- B. Der IED-Hersteller hat zusätzliche Funktionen hinzugefügt. (Beispiel: Ein Schutzparameter, der bis dahin für den Anwender nicht sichtbar wird, ist jetzt sichtbar, sodass der Wert geändert werden kann.) In diesem Fall kann der Prüfer die Prüfsequenzen aus der SAT verwenden. Außerdem müssen die neuen Funktionen in einer Art SAT geprüft werden. Die gewünschte Prüfqualität kann durch Verwendung der Prüfsequenzen aus der SAT erzielt werden (Abbildung 4).
- C. Netzbetreiber nutzen sehr oft Firmware-Aktualisierungen (oder sogar Wartungsprüfungen) auch dazu, einige Relaisparameter zu aktualisieren, weil sich die Primärdaten des Stromnetzwerks inzwischen geändert haben. In diesem Fall ist es sehr sinnvoll, ein Prüfsystem zu haben, das alle Prüffälle nicht als absolute Werte, sondern als relative Werte in Bezug auf die Relaisparameter produzieren kann. Unabhängig von der Arbeitsweise empfiehlt es sich, eine Art SAT durchzuführen, dessen Grundlage hochwertige Prüfdateien sind.

8 Prüfabdeckung der SAT und der Wartungsprüfung

Wie bereits erwähnt, wird sehr oft darüber diskutiert, was eine Wartungsprüfung beinhalten sollte. Dafür sollte der Aspekt der Netto- und Brutto-Prüfzeit (entspricht dem Verhältnis zwischen Gesamtprüfzeit und IED-Prüfzeit) berücksichtigt werden.

Es hat sich bereits in vielen Anlagen erwiesen, dass über eine standardisierte Prüfphilosophie, die mit einem voll automatisierten Prüfsystem durchgeführt wird, viele Prüffälle in sehr kurzer Zeit getestet werden können. Beispiele zeigen, dass für eine SAT eines 400-kV-Leitungsdifferenzial-Schutzes eine Prüfzeit von 1,5 Stunden (ohne Prüfen der Meldungen) benötigt wird. Dies ist die Nettoprüfzeit, ohne Fahrtzeit zur Anlage, vorbereiten der Einspeisung, anschließen der Prüfausrüstung usw. Das bedeutet, dass selbst wenn die Zahl der Prüffälle für die Wartungsprüfung auf nur 50 % der Zahl der Prüffälle der SAT reduziert wird, lediglich 45 Minuten Prüfzeit eingespart werden können, was in diesem Fall nur 10 % der Bruttoprüfzeit entspricht (Abbildung 5).

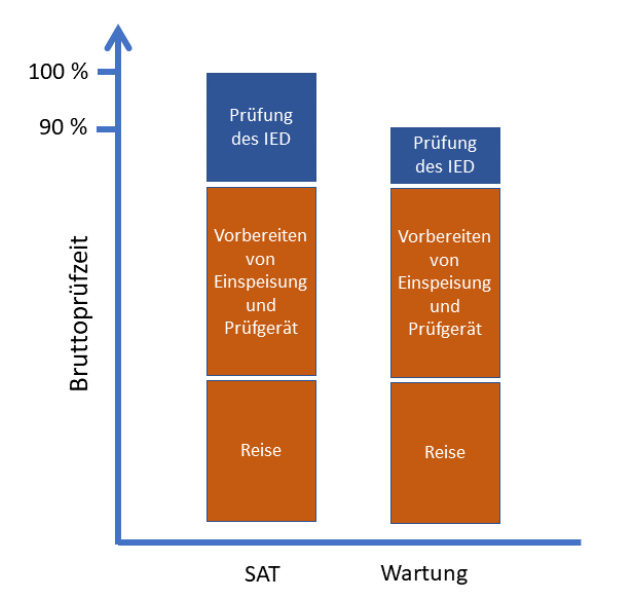


Abbildung 5: Vergleich der Bruttoprüfzeit für die SAT und die Wartungsprüfung

Aus diesem Grund verwenden viele Netzbetreiber vollautomatisierte Prüflösungen, die keinen Unterschied zwischen der Prüfdeckung der SAT und der Wartungsprüfung machen. Es werden immer alle Prüfsequenzen aus der SAT verwendet.

9 Wissensmanagement und Prüfqualität

Die Verwendung einer standardisierten Prüfmethode, die auf einer CFRS (Commissioning Functional Requirement Specification) und einer CTRS (Commissioning Testing Requirement Specification) basiert, kann, wie sich in mehreren Fällen aus der Praxis gezeigt hat, für den Netzbetreiber viele Vorteile haben [4].

Der Prüfer selbst spart beim Entwickeln des Prüfverfahrens Zeit: Das Prüfverfahren ist bereits definiert, sodass vor Beginn der Prüfung eines neuen Schutzgeräts nur die geänderten Parameter angepasst werden müssen. Alle Prüfpläne enthalten dieselben Prüfungen, sodass die Prüfqualität besser gesteuert werden kann und sich verbessert. Das Arbeiten als Team ist einfacher, da jeder mit denselben Standards arbeitet. Die Team-Mitglieder können ihre Erfahrungen untereinander austauschen und ihr Wissen weitergeben.

Ein wesentliches Argument ist, dass eine solche Standardisierung dazu beiträgt, das Know-how der Mitarbeiter im Unternehmen zu halten. Die Erfahrungen des Unternehmens werden dokumentiert und es wird ganz einfach, Schulungskurse für neue Mitarbeiter einzurichten, in denen ihnen die Prüfphilosophie des Netzbetreibers vermittelt wird.

Neue Schutzfunktionen oder neue (verbesserte) Algorithmen in Schutzfunktionen können erkannt werden und die aktualisierte Prüflösung kann für alle Prüfer zur selben Zeit freigegeben werden. Eine solche Prüfung muss nur einmal entwickelt werden.

10 Fazit

Da die Entwicklungszyklen der IED-Hersteller in naher Zukunft kürzer sein werden, müssen auch die Prüfprozesse in den Unternehmen angepasst werden. Das Überdenken der Arbeitsprinzipien kann sich positiv auf die Prüfzeit und die Prüfqualität auswirken.

- Qualitätsaspekte: Die Prüfungen sind im Vergleich zu manuellen Prüfungen besser reproduzier- und wiederholbar.
- Es lassen sich Kosten sparen, da bei der Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation der Prüfung selbst Zeit gespart wird.
- Die Standards werden schriftlich festgehalten, sodass das Wissen erfahrener Mitarbeiter im Unternehmen bleibt.
- Technische Probleme können durch ein zentrales Team von Spezialisten gelöst werden und die standardisierte Lösung wird an die Prüfer im Feld übermittelt.
- Durch Prüffälle, die hochgradig durchdacht sind, verbessert sich die Prüftiefe. Diese Prüfungen können normalerweise nicht von jedem Prüfer durchgeführt werden.
- Die Prüfwerkzeuge gestatten allen Prüfpersonen die gleiche Qualität des Prüfergebnisses zu liefern.

Referenzen

- [1] Regression test approach for testing of protection IEDs to improve field testing quality and support knowledge management, Michael Albert, Richard Marenbach, DPSP 2018, Belfast, 2018
- [2] Prequalification of new Assets using the Example of Distance Protection Devices, Christoph Trabold, Michael Albert, Richard Marenbach (OMICRON electronics Deutschland), PAC World Conference 2016, Ljubljana, 2016
- [3] Richtlinie 2014/25/EU über die Vergabe von Aufträgen durch Auftraggeber im Bereich der Wasser-, Energie- und Verkehrsversorgung sowie der Postdienste und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/17/EG
- [4] 380-kV-OHL protection testing at National Grid using customized test plans, Nashmi H. Al-Harbi, Ahmed Abdulhamied M. Yanbawi (National Grid, Saudi Arabia), OMICRON Saudi User Meeting, Al-Khobar, Saudi-Arabien, 7.–9. Mai 2017

OMICRON ist ein weltweit tätiges Unternehmen, das innovative Prüf- und Diagnoselösungen für die elektrische Energieversorgung entwickelt und vertreibt. Der Einsatz von OMICRON-Produkten bietet höchste Zuverlässigkeit bei der Zustandsbeurteilung von primär- und sekundärtechnischen Betriebsmitteln. Umfassende Dienstleistungen in den Bereichen Beratung, Inbetriebnahme, Prüfung, Diagnose und Schulung runden das Leistungsangebot ab.

Kunden in mehr als 160 Ländern profitieren von der Fähigkeit des Unternehmens, neueste Technologien in Produkte mit überragender Qualität umzusetzen. Servicezentren auf allen Kontinenten bieten zudem ein breites Anwendungswissen und erstklassigen Kundensupport. All dies, zusammen mit einem starken Netz von Vertriebspartnern, ließ OMICRON zu einem Marktführer der elektrischen Energiewirtschaft werden.

Mehr Informationen, eine Übersicht der verfügbaren Literatur und detaillierte Kontaktinformationen unserer weltweiten Niederlassungen finden Sie auf unserer Website.