Praxiserfahrungen aus der Zustandsbewertung von Verteilungsnetzen
Practical experience from condition assessment of distribution grids

Dominik Beerboom, M. Sc., Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, beerboom@uni-wuppertal.de
Christopher Johae, M. Sc., Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, christopher.johae@uni-wuppertal.de
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, zdrallek@uni-wuppertal.de
Dipl.-Geogr. Nico Schultze, SAG GmbH, CeGIT, Dortmund, nico.schultze@sag.eu
Reiner Timmreck, Stadtwerke Iserlohn GmbH, Iserlohn, r.timmreck@stadtwerke-iserlohn.de
Dr.-Ing. Bernd Voges, WSW Netz GmbH, Wuppertal, bernd.voges@wsw-netz.de

Kurzfassung

Die Basis aller optimierten Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien, die auch vermehrt auf der Verteilnetzebene Anwendung finden, ist die möglichst objektive und realitätsgerechte Bestimmung des aktuellen Netz- und Betriebsmittelzustands. In einem Forschungsprojekt ist daher ein geeignetes Verfahren zur systematischen Zustandsbewertung von Verteilungsnetzen am Beispiel von Mittelspannungs-Ortsnetzstationen entwickelt worden. In diesem Beitrag werden nun die ersten Praxiserfahrungen mit der Anwendung des Verfahrens aus zahlreichen Feldversuchen bei verschiedenen Netzbetreibern präsentiert. Der subjektive Einfluss bei der Bewertung während der Feldtests wird aufgezeigt und geeignete, wirksame Gegenmaßnahmen zur Reduzierung der Subjektivität werden vorgestellt. Als Fazit aus den zahlreichen Feldtests lässt sich erkennen, dass eine objektive Zustandsbewertung erreicht und auf dieser Basis die Instandhaltungsplanung deutlich optimiert werden kann.

Abstract

Basis of all optimized maintenance and replacement strategies which are increasingly applied to the distribution system level is the most objective and realistic assessment of the condition of the various units of electrical equipment. Therefore a suitable method for the systematic condition assessment of medium-voltage substations was developed in a research project. In this paper the first practical experience of the use of this method is presented in numerous field tests by various distribution system operators. The subjective influence on assessment is shown during the field tests as well as the appropriate effective countermeasures to reduce the subjective influence. One conclusion from the numerous field tests is that an objective condition assessment has been achieved and on this basis maintenance strategies and planning can be considerably optimized.

1 Ausgangssituation

Durch die Liberalisierung und die Anreizregulierung stehen die Verteilnetzbetreiber (VNB) in Deutschland unter einem stetig steigenden Kostendruck und streben nach einer Effizienzsteigerung bei der Bewirtschaftung ihrer Netze. Die Instandhaltung rückt daher verstärkt in den Fokus und vermehrt finden optimierte Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien Einzug bei den Verteilnetzbetreibern und Stadtwerken. Ziel dabei ist, dass Instandhaltungsmaßnahmen im Normalfall seltener durchgeführt werden müssen und dass das häufig begrenzte Budget zielgerichteter eingesetzt werden kann, was in Summe zu einer Reduktion der entstehenden Kosten führen soll. [1] Die Basis all dieser optimierten Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien ist dabei aber die möglichst objektive und realitätsgerechte Bestimmung des aktuellen Netz- und Betriebsmittelzustands!

Traditionell werden Wartungen häufig vorbeugend im zyklischen Turnus (z. B. alle vier Jahre) ungeachtet des Anlagenzustandes und der strategischen Wichtigkeit im Netz durchgeführt. Die Bewertung des zuständigen Instandhaltungspersonals, die einen subjektiven Einfluss aufweist, oder reine statische Parameter (z. B. das Alter des Betriebsmittels) führen bisher zur Terminierung und Festlegung der Instandhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen. Auf dieser Basis werden auch bei vielen anderen Verteilnetzbetreibern die Entscheidungen über Instandhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen im Asset Management getroffen.

Um die Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategie zu optimieren, ist daher ein wissenschaftlich begleitetes Projekt zur Zustandsbewertung mittels objektivierter Betriebsmittelaufnahme und -bewertung des Anlagenzustandes durchgeführt worden. In diesem Forschungsprojekt, welches von der Bergischen Universität Wuppertal und der SAG GmbH initiiert wurde, sind entsprechende Bewertungssystematiken und -modelle für elektrische Betriebsmittel des Verteilungsnetzes entwickelt worden. Das entwickelte Verfahren für Mittelspannungs-Ortsnetzstationen ist in [2] ausführlich dargestellt. Da die Zustandsbewertung von Betriebsmitteln des Verteilungsnetzes möglichst kostengünstig und ohne großen Zusatzaufwand erfolgen muss, basiert das in [2] vorgestellte Verfahren auf visuellen Inspektionen, die auch durch Einsatz einfacher Messverfahren ergänzt werden.
Einheitliche, zu verwendende Inspektions-Checklisten stellen die Basis der Zustandserfassung dar, deren Punkte

ISBN 978-3-8007-3648-5

© VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach

vor Ort durch das Instandhaltungspersonal anhand eines definierten Klassifizierungsschemas bewertet werden. Anschließend werden die einzelnen, bewerteten Inspektionspunkte in einem Bewertungsmodell zu einem Gesamtzustandsindex für die Ortsnetzstation und deren Hauptkomponenten aggregiert. Zudem können wie erwähnt einfache Messverfahren hinzugezogen werden, die in Kombination mit der visuellen Bewertung eine tiefergreifende Zustandsbeurteilung der einzelnen Komponenten sowie der kompletten Ortsnetzstation ermöglichen. Der Gesamtzustandsindex erlaubt somit eine Klassifizierung und Priorisierung der Vielzahl an Ortsnetzstationen eines Verteilnetzbetreibers. Jedoch galt es noch, die entwickelten Modelle und deren Wirksamkeit in der Praxis zu validieren.

Bei verschiedenen Netzbetreibern wurde die entwickelte Zustandsbewertungssystematik nun im Praxiseinsatz intensiv getestet und auf Basis der erzielten Erkenntnisse weiterentwickelt. Die Ergebnisse werden nachfolgend in diesem Beitrag ausführlich dargestellt.

2 Feldtests des Bewertungsmodells

2.1 Rahmenbedingungen

Um die Aussagefähigkeit des entwickelten Modells bzw. der Gesamtsystematik zu validieren, sind mehrere umfangreiche Feldtests bei verschiedenen Verteilnetzbetreibern an realen, in Betrieb befindlichen MS-Ortsnetzstationen durchgeführt worden. An diesen Feldtests haben sich u.a. die Stadtwerke Iserlohn und die WSW Netz GmbH beteiligt.

Bei den Verteilnetzbetreibern ist jeweils eine stichprobenartige Auswahl an Ortsnetzstationen, die einen repräsentativen Querschnitt der Netzstationen im Netzgebiet darstellten, anhand der entwickelten Checkliste inspiziert worden. Dabei wurden Netzstationen mit unterschiedlichen Bauformen (Gebäudestationen, Kompaktstationen und Maststationen), Schaltanlagentypen, Ausstattungen und Alter seitens der Verteilnetzbetreiber für die Feldtests ausgewählt. Die ausgewählten Stationen sind jeweils von mehreren Personen unabhängig voneinander bewertet worden. Durch den Einsatz von Mitarbeitern unterschiedlicher Institutionen (BUW, SAG, VNB) konnte überprüft werden, ob einheitliche Bewertungsgrundsätze und Erfahrungen bei der Inspektion vorlagen oder ob betriebsintern die subjektiven Einflüsse geringer ausfielen.

2.2 Ergebnisse aus dem ersten Feldtest

In einem ersten Feldtest ist die Inspektion (Sichtkontrolle) von 26 Ortsnetzstationen von sechs Personen durchgeführt worden. Hierbei handelte es sich um drei Mitarbeiter der SAG und um drei Mitarbeiter der Stadtwerke Iserlohn. Um speziell auch den subjektiven Einfluss bei der Bewertungsabgabe zu untersuchen, ist den durchführenden Personen die Vorgehensweise und die Bewertung der Inspektionspunkte nur rudimentär erläutert worden und es ist bewusst auf eine ausführliche Schulung zu den einzelnen Inspektionspunkten verzichtet worden. Die Bewertungen sollten auf Basis des individuellen Erfahrungsschatzes des IH-Personals erfolgen. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, wurden die Inspektionen der Ortsnetzstationen jeweils unabhängig voneinander durchgeführt.

Hierbei hat sich - wie erwartet - gezeigt, dass die Bewertungsergebnisse trotz einheitlicher Checkliste aufgrund der „rein“ visuellen Inspektion („Soft-Facts“) dem individuellen Erfahrungsschatz des IH-Personals und damit einer nicht zu vernachlässigenden subjektiven Beurteilung unterliegen. Je nach Inspekteur werden die Ausprägungen vorhandener Mängel unterschiedlich bewertet. Teilweise werden auch einzelne Mängel bei Inspektionen von verschiedenen Inspekteuren nicht erkannt. Da die entwickelte Bewertungssystematik nun auf diesen Einzelbewertungen aufsetzt und diese aggregiert, haben die subjektiven Einzelbewertungen natürlich einen deutlichen Einfluss auf den ermittelten Zustandsindex der jeweiligen Station. Daher ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt, wenn generell unterschiedliche Herangehensweisen und Bewertungsgrundlagen beim Instandhaltungspersonal vorliegen. Wie der Feldtest gezeigt hat, wird die Subjektivität durch die systematische Vorgehensweise und Auswertung zwar deutlich reduziert, jedoch wird der Zustand immer noch sehr stark von den Erfahrungen und Präferenzen des Instandhaltungspersonals beeinflusst.

Die Abweichung untereinander aufgrund des subjektiven Einflusses der Bewertungen bei einer Ortsnetzstation wird in **Bild 1** für den ersten Feldtest explizit veranschaulicht. Es sind der Mittelwert der Bewertungen der sechs Personen (roter Balken) sowie der minimale und maximale Index eines Inspekteurs aufgetragen. Die Spannweite bzw. Streuung der Indices wird dadurch ersichtlich. Die aus dem ersten Feldtest erzielten Ergebnisse waren somit noch nicht zufriedenstellend, da keine valide Entscheidungsgrundlage bedingt durch die große Streuung der Zustandsindices für das Asset Management gegeben ist.

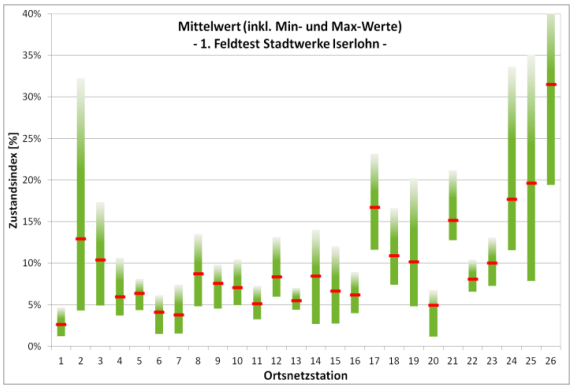


Bild 1 Abweichung der Zustandsindices bei den Netzstationen im ersten Feldtest

2.3 Gegenmaßnahmen zur Reduzierung des subjektiven Einflusses

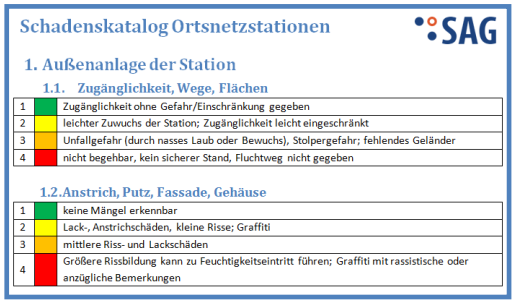
Um die Ergebnisse zu objektivieren, sind verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung der Subjektivität umgesetzt und erprobt worden.

Eine Maßnahme, um den Einfluss der Subjektivität zu verringern, besteht darin, die Bewertungsgrundsätze der

jeweiligen Mitarbeiter durch intensive Schulungen vorab zu vereinheitlichen. Gerade die Intention, dass der Erfahrungsschatz der Mitarbeiter in die Entscheidungen des Asset Managements einfließen und genutzt werden soll, muss dem Instandhaltungspersonal vermittelt werden. Außerdem gilt es, das Klassifizierungsschema zu erläutern und die Verwendung des Bemerkungsfeldes hervorzuheben.

Zudem sind umfassende Schadens- und Bilderkataloge erstellt worden, die das IH-Personal bei der visuellen Bewertung unterstützen sollen.
Diese Unterstützung durch typische Schadensbilder bei der Erfassung und Bewertung von Schäden wird beispielsweise auch bei der Begutachtung von Gebäuden genutzt (siehe z. B. [3]). Es ist dort ein Spektrum an typischen Bauschäden anhand von Schadensbildern dargestellt. Dieses ermöglicht einen Vergleich mit einem individuell vorliegenden Schadensfall und erleichtert die anschließende Schadensanalyse und -bewertung.
Somit sind solche umfassenden Schadens- und Bilderkataloge auch für dieses Einsatzgebiet der Zustandsbewertung von Ortsnetzstationen mit deren Komponenten entwickelt worden. Außerdem hat dieses auch den zusätzlichen Vorteil, dass die Schadens- und Bilderkataloge dabei helfen, ein Wissensmanagement im Unternehmen aufzubauen. Das vorhandene Wissen und die langjährigen Erfahrungen der Mitarbeiter sowie bekannte Auffälligkeiten sind in die Erstellung eingeflossen und können stetig ergänzt werden. Dadurch wird ein Referenzkatalog an auftretenden Mängeln mit entsprechender Einordnung in das Klassifizierungsschema geschaffen, der als Vergleich bei der Bewertung dient.

Der Schadenskatalog ist in zwei Ausführungen entstanden. Eine Variante, der sog. Ampelkatalog (Auszug in **Bild 2**) ist eine übersichtliche Form und enthält in Kurzform charakteristische Mängelbeschreibungen. Neben der schriftlichen Form sind auch typische Fotos dokumentiert worden, die in bildlicher Form die Einordnung zu einer Bewertungsnote präsentieren. Der Ampelkatalog ist für den Einsatz vor Ort für das IH-Personal gedacht. Eine zweite Variante, der sog. Bewertungs- und Schadenskatalog, stellt die Langfassung des Ampelkatalogs dar. Er enthält neben der übersichtlichen Form ausführliche Beschreibungen zu den einzelnen Inspektionspunkten und Mängel werden expliziter beschrieben. Dieser Bewertungs- und Schadenskatalog ist als Schulungsunterlage und vor allem als Nachschlagewerk entwickelt worden. Für die Anwendung vor Ort ist dieser zu unhandlich.


Schadenskatalog Ortsnetzstationen

SAG

1. Außenanlage der Station

1.1. Zugänglichkeit, Wege, Flächen

1		Zugänglichkeit ohne Gefahr/Einschränkung gegeben
2		leichter Zuwuchs der Station; Zugänglichkeit leicht eingeschränkt
3		Unfallgefahr (durch nasses Laub oder Bewuchs), Stolpergefahr; fehlendes Geländer
4		nicht begehbar, kein sicherer Stand, Fluchtweg nicht gegeben

1.2.Anstrich, Putz, Fassade, Gehäuse

1		keine Mängel erkennbar
2		Lack-, Anstrichschäden, kleine Risse; Graffiti
3		mittlere Riss- und Lackschäden
4		Größere Rissbildung kann zu Feuchtigkeitseintritt führen; Graffiti mit rassistische oder anzügliche Bemerkungen

Bild 2 Auszug aus dem entwickelten Schadenskatalog für Ortsnetzstationen

2.4 Wirksamkeit der entwickelten Maßnahmen in weiteren Feldtests

Die Subjektivität bzw. die unterschiedliche Bewertung der Inspekteure wird, wie zuvor beschrieben, durch die Streuung der Zustandsindices ausgedrückt und soll in diesem Kapitel nun anhand der mittleren Abweichung quantifiziert werden. In Bild 1 sind zur Verdeutlichung jeweils der Mittelwert der Inspekteure und die dazugehörigen minimalen und maximalen Werte aufgetragen. Anhand dieser Darstellung kann die Spannweite der Ergebnisse (Differenz zw. größtem und kleinstem Wert) erkannt werden. [4]

Die mittlere absolute Abweichung gibt hingegen die durchschnittliche Entfernung einer Reihe von Merkmalsausprägungen von ihrem Mittelwert an und ist damit ein Maß für die Streuung innerhalb einer Datengruppe. [4]

Mittlere absolute Abweichung nach [4]:

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left| x_i - \tilde{x} \right|$$

mit: n - Anzahl der Merkmale
x_i - Merkmalsausprägung
$\tilde{x}$ - Median

Da die Anzahl der Personen pro Station während der weiteren Feldtests variierte, ist zuerst für jede inspizierte Netzstation die mittlere absolute Abweichung der ermittelten Zustandsindices der Inspekteure berechnet worden. Anschließend ist daraus der Mittelwert der mittleren Abweichungen bestimmt worden. Es ergibt sich eine Kennzahl, die den subjektiven Einfluss verdeutlicht und auch eine Vergleichbarkeit über die verschiedenen Feldtests ermöglicht.

Im zweiten Feldtest sind nun die erwähnten Maßnahmen zur Objektivierung der Zustandsbewertung angewendet und weiterentwickelt worden. So ist auch bereits ein erster Entwurf eines Schadenskatalogs zum Einsatz gekommen. Die praktische Anwendung des Katalogs wurde getestet. Zudem ist dieser Katalog durch die beteiligten Service-Mitarbeiter noch weiterentwickelt und vervollständigt worden. Daher spiegelt sich die Anwendung des Katalogs im zweiten Feldtest nur teilweise in den Ergebnissen wider, weil zu einigen Inspektionspunkten noch keine detaillierte Beschreibung oder typische Schadensbilder vorlagen.

Die nachfolgende Abbildung (**Bild 3**) gibt die Mittelwerte der mittleren Abweichungen der Feldtests wider. Es lässt sich bereits durch den Einsatz der ersten Version des Schadenskatalogs und den Schulungen der Service-Mitarbeiter eine erste starke Reduzierung der Abweichungen zwischen den verschiedenen Service-Mitarbeitern erkennen. Ein eindeutiger, positiver Trend hinsichtlich der Reduzierung der Subjektivität und einer einheitlicheren Bewertungsabgabe lässt sich festhalten. Die Streuung der Indices ist im Vergleich zum ersten Feldtest um über 20% reduziert worden. In weiteren Feldtests war durch die Weiterentwicklung des Schadenkatalogs (charakteristische Schadensbilder, Aufnahme weite-

ISBN 978-3-8007-3648-5

© VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach

rer Inspektionspunkte) und die geschultere Anwendung der systematischen Zustandsbewertung eine weitere Reduzierung um bis zu 35% festzustellen.

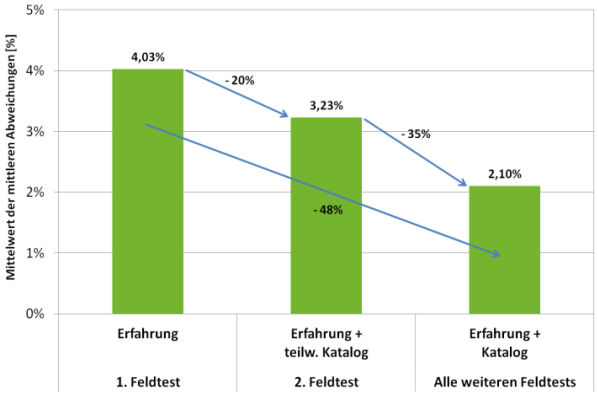


Bild 3 Reduzierung der Subjektivität durch die Verwendung eines bebilderten Schadenskatalogs

In Summe haben die Auswertungen weiterer Feldtests bei verschiedenen Verteilnetzbetreibern gezeigt, dass durch den Einsatz der durchgeführten Maßnahmen die Streuungsbreite, die als Indikator für den subjektiven Einfluss herangezogen werden kann, von Zustandsbewertungen gegenüber ungestützten Inspektionsverfahren um über 48% reduziert werden konnte (Bild 3).

Jedoch bleibt zu beachten, dass der subjektive Einfluss nicht gänzlich unterdrückt werden kann und ein Mindestmaß bestehen bleibt, da die Bewertungen in gewissen Grenzen weiterhin von den Erfahrungen und Präferenzen des Instandhaltungspersonals beeinflusst werden. Der Erfahrungsschatz der Mitarbeiter für die Zustandsbewertung ist weiterhin maßgeblich und soll schließlich ebenfalls in diese Bewertung mit einfließen.

Durch die Entwicklung des bebilderten Schadenskatalogs, welcher im Vorfeld zur Unterstützung bei der Bewertung geschult und zudem als Dokument zur Verfügung gestellt wird, ist es aber gelungen, den subjektiven Einfluss zu reduzieren und eine relativ personenneutrale Bewertung zu erzielen. Nur durch eine systematische Auswertung der Checklisten, einen umfassenden Schadens- und Bilderkatalog sowie einer intensiven Schulung des IH-Personals zur Vereinheitlichung der Bewertungsgrundsätze wird eine fundierte und nachvollziehbare Zustandsbeurteilung ermöglicht, die als valide Entscheidungsgrundlage für das Asset Management und den Netzbetrieb dienen kann.

3 Objektive Zustandsbewertung bei den Stadtwerken Iserlohn

Aufgrund der positiven Untersuchungsergebnisse der Feldtests wurde die Zustandsbewertungssystematik anschließend beispielsweise auf alle Mittelspannungsstationen im Netzgebiet der Stadtwerke Iserlohn angewendet. 500 Netzstationen wurden dabei überprüft und aus den Ergebnissen über das entwickelte, mathematische Bewertungsmodell der jeweilige Zustandsindex ermittelt.

Als Erweiterung ist bei den Stadtwerken Iserlohn neben dem technischen Zustand auch noch die Wichtigkeit der Netzstationen auf Basis verschiedener Parameter ermittelt worden, um die Anwendung einer zuverlässigkeitsorientierten Instandhaltungsstrategie (RCM) zu realisieren. [5] Die Wichtigkeit spiegelt dabei eine Bewertung des Betriebsmittels bezogen auf die Versorgungszuverlässigkeit wider und wird häufig mit Hilfe der probabilistischen Zuverlässigkeitsberechnung ermittelt. [6][7] Allerdings ist die Quantifizierung nur mit Hilfe von entsprechenden Software-Tools und ausreichenden Eingangsdaten möglich.

Da bei der Wichtigkeitsbewertung prinzipiell die gleichen Anforderungen an den Aufwand wie bei der Zustandsbewertung gelten und diese zudem sehr stark von der vorhandenen Daten- und Informationsgrundlage abhängig ist, ist der Wichtigkeitsindex im Rahmen dieser Bewertung über einfache, ausgewählte Parameter angenähert worden. Zu den Parametern, die unter anderem in die Bestimmung des Wichtigkeitsindexes einer Station eingeflossen sind, gehören die installierte Trafoleistung, die Höchstlast, der Stationstyp und die übergeordnete Bedeutung der Netzstationen im Netz. Aus den bewerteten Kriterien wird zur Kombination zum Wichtigkeitsindex der gewichtete Mittelwert bestimmt und das Ergebnis anschließend normiert, um einen Wertebereich zwischen 0 und 100% abzudecken, wobei die Wichtigkeit mit Zunahme des Indexes steigt. [5]

Auf Basis der daraus erzielten Resultate zur Zustands- und Wichtigkeitsbewertung wurde anschließend die bisher eingesetzte Instandhaltungsstrategie überprüft, angepasst und wirtschaftlich bewertet. In **Bild 4** ist die resultierende RCM-Grafik der Netzstationen zusammengefasst dargestellt. Die Grenzwerte - aus denen die schraffierten Flächen resultieren - beruhen auf ersten Erfahrungen mit der Zustands- und Wichtigkeitsbewertung während der Feldtests, sind aber noch im Detail weiter zu verifizieren. Zudem hat sich gezeigt, dass die Grenzwerte auch netzbetreiberspezifisch und individuell festzulegen sind, da in diese auch immer der Grad der Risikobereitschaft des Netzbetreibers mit einfließt.

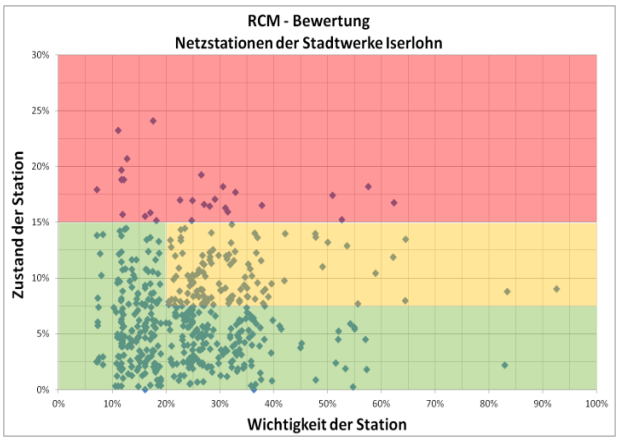


Bild 4 Darstellung der RCM-Ergebnisse der Stadtwerke Iserlohn

Die Ergebnisse der Zustandsbewertung zeigen, dass lediglich ca. 6 % aller Ortsnetzstationen im Netzgebiet im „roten“ Bereich liegen, d.h. diese Netzstationen müssen zeitnah einer Wartung bzw. Instandsetzung unterzogen werden. Daher sind diese im Wartungsplan vorgezogen worden. Bei den Netzstationen im grünen Bereich hingegen, welche sich in einem guten Zustand befinden, konnten die Wartungsintervalle entsprechend gestreckt werden. Im gelben Bereich wird der Wartungszyklus beibehalten. Somit sind die Wartungsintervalle auf Basis der neu erzielten Ergebnisse optimiert worden.

Durch die Veränderungen der Wartungsintervalle aufgrund des guten Zustandes der Netzstationen können laut Aussage der Stadtwerke Iserlohn zukünftig 15 Stationswartungen pro Jahr gegenüber der bisherigen vierjährigen zyklischen Terminierung eingespart werden. Das Ziel, die Wartung und Instandhaltung zu optimieren, wurde somit erreicht. Durch Veränderung der Wartungsintervalle und dem gezielten Einsatz des Budgets können die Stadtwerke Iserlohn laut eigener Aussage zukünftig ihr Instandhaltungsbudget um etwa 12 % entlasten.

4 Mehrwert des Einsatzes von zusätzlicher Messtechnik

Wie bereits in [2] erwähnt, können zusätzlich einfache, kostengünstige Messverfahren, die allesamt ohne Freischalten von Anlagen einsetzbar sind, in den Inspektions- und Erfassungsprozess integriert werden. Mit Hilfe der durch die Messtechnik gewonnenen Messwerte lässt sich die rein visuelle Sichtkontrolle („Soft-Facts“) um Messergebnisse („Hard-Facts“) erweitern. Dazu werden die konkreten Messergebnisse mit den Bewertungspunkten der visuellen Inspektion zu einer aussagekräftigen und realitätsgerechten Gesamtsystematik für die Zustandsbewertung kombiniert.

Folgende Messverfahren zur Zustandsbewertung von Mittelspannungs-Ortsnetzstationen sind dabei als geeignet eingestuft worden [2]:

- Akustische Teilentladungsdetektion
- Detektion von Transienten Ableitspannungen
- Erdschleifenmessungen
- Thermografische Analysen

Generell lässt sich durch die Einbindung dieser Messverfahren, die ebenfalls im Rahmen der verschiedenen Feldtests eingesetzt und überprüft wurden, feststellen, dass der subjektive Einfluss bei der Zustandsbewertung noch weiter verringert werden kann. So lässt sich in **Bild 5** erkennen, dass die Streubreite zwischen den unterschiedlichen Personen um weitere 34% verringert wird. Zudem kann gleichzeitig die generelle Aussagefähigkeit einer Inspektion erhöht werden, da durch die Messtechnik auch Fehlstellen aufgedeckt werden konnten, die bei einer rein visuellen Inspektion nicht erkennbar gewesen wären.

Zusammenfassend konnte durch die durchgeführten Maßnahmen eine Verringerung der Abweichung zwischen den verschiedenen Personen um knapp 66% erreicht werden (Bild 5). Durch das Zusammenspiel von objektivierter, systematischer Sichtkontrolle und den Einsatz einfacher, aber aussagekräftiger Messtechnik ist eine fundierte und nachvollziehbare Zustandsbeurteilung von Mittelspannungs-Ortsnetzstationen ermöglicht worden, welche eine valide Basis für Instandhaltungs- und Erneuerungsentscheidungen im Asset-Management darstellt.

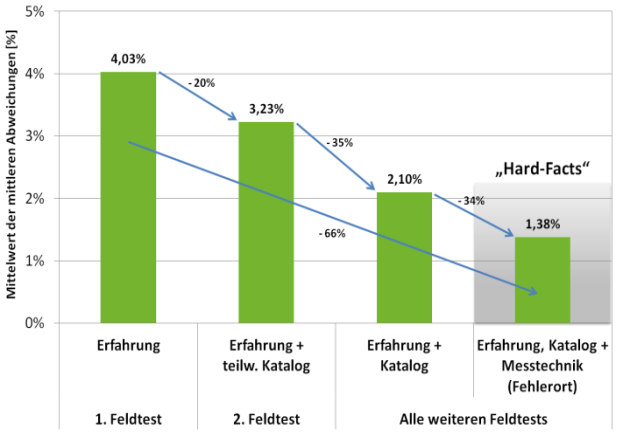


Bild 5 Zusammenfassung der unterschiedlichen Maßnahmen zur Reduktion des subjektiven Einflusses

5 Ausblick Evidenz-Theorie

Um den verbleibenden subjektiven Einfluss auszudrücken, wird die Bewertungssystematik um die mathematischen Grundzüge der Evidenz-Theorie [8][9] erweitert. Die Evidenz-Theorie wird auch als Dempster-Shafer-Theorie bezeichnet und kann als eine Verallgemeinerung der klassischen (Bayes´schen) Wahrscheinlichkeitsrechnung betrachtet werden. Sie bietet ein mathematisches Modell für plausibles Schließen durch Bestätigung oder Widerlegung von Aussagen und berücksichtigt dabei die Glaubwürdigkeit der zugrundeliegenden unterschiedlichen Quellen.

Der sich dadurch ergebende Mehrwert für die Zustandsbewertung liegt in der Berücksichtigung von unsicherem Wissen (z. B. durch Messungenauigkeiten, widersprüchliche Informationen, fehlende oder veraltete Messdaten, unsichere Bewertungskriterien) und wurde beispielsweise in [10] und [11] angewendet. So schlägt sich z. B. der Einsatz von Messtechnik in einer geringeren „Unsicherheit“ in Form eines kleineren Vertrauensintervalls für das Gesamtergebnis nieder. Dieses soll in **Bild 6** exemplarisch an einem Beispiel verdeutlicht werden. Das Ergebnis einer reinen Sichtkontrolle, die an einer Ortsnetzstation durchgeführt wurde, ist im linken Teil von Bild 6 abgebildet. Es handelt sich bei der ONS um eine relativ gut bewertete Station (IH-Bedarf = 2,2%). Da aber lediglich eine reine Sichtkontrolle durchgeführt und außerdem einige wenige Komponenten nicht inspiziert werden konnten, liegt ebenfalls eine Unsicherheit von 25,7% vor. Der gesamte Zustandsindex Z_{ONS}, der sich aus der Kombination von Z (IH-Bedarf) und der Unsicherheit ergibt, beträgt somit 4,6%. Werden nun verschiedene Messverfahren eingesetzt, über die kein IH-Bedarf ermittelt wird, und diese „Hard-Facts“ mit der Sichtkontrolle kombiniert, so verkleinert sich die Unsicherheit auf 8,2 %. Der gesamte

ISBN 978-3-8007-3648-5

© VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach

Zustandsindex der Station verbessert sich durch die eingesetzten Messverfahren ebenfalls, wie in Bild 6 zu erkennen ist, da die Unsicherheit verringert wurde. Neben dem Zustandsindex wird durch die Anwendung der Evidenz-Theorie auch die Qualität der zugrundeliegenden Daten ausgedrückt bzw. quantifiziert.

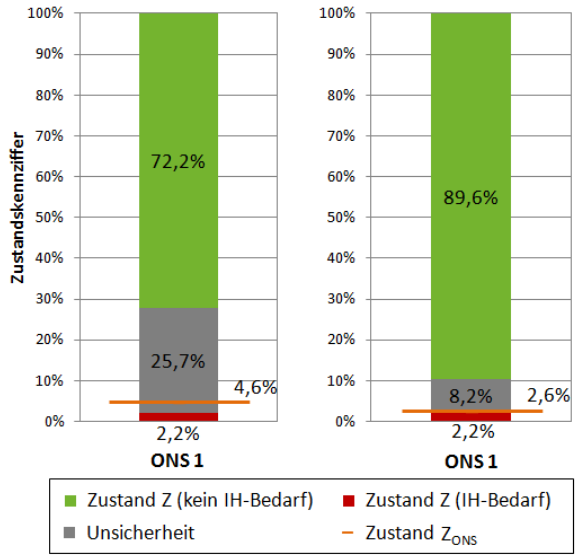


Bild 6 Exemplarische Ergebnisse einer Ortsnetzstation bei Anwendung der Evidenz-Theorie

6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag sind die Praxisverfahrungen mit einem entwickelten Verfahren zur objektiven und realitätsgerechten Zustandsbewertung von Verteilungsnetzen - am Beispiel der MS-Ortsnetzstationen - präsentiert worden.

Im Rahmen von verschiedenen Feldtests bei unterschiedlichen Netzbetreibern sind die Aussagefähigkeit und Praktikabilität des Verfahrens überprüft sowie Weiterentwicklungen vorgenommen worden. Dabei hat sich gezeigt, dass, wenn der Erfahrungsschatz der Mitarbeiter vor Ort genutzt wird, der subjektive Einfluss bei der Zustandsbewertung über Inspektionen nicht vernachlässigt werden darf. Durch die Entwicklung eines Schadens- und Bilderkatalogs kann der subjektive Einfluss jedoch deutlich reduziert und eine möglichst objektive Zustandsbewertung erzielt werden. Durch den Einsatz von einfachen Messverfahren kann eine noch weitergehende Objektivierung erreicht werden. Denn erst das Zusammenspiel von Sichtkontrolle und Einsatz einfacher Messtechnik ermöglicht eine fundierte und nachvollziehbare Zustandsbeurteilung.

Auf Basis der objektiven Zustandsergebnisse bei Anwendung des Modells auf das gesamte Netzgebiet eines Netzbetreibers konnte zudem gezeigt werden, dass die Planung von Instandhaltungsmaßnahmen effizienter und nachvollziehbarer erfolgen kann und damit das vorhandene Budget gezielt und optimal eingesetzt werden konnte.

Jedoch muss aufgrund der dargelegten Anforderungen an die Eingangsdaten für die Zustandsbewertung im Verteilungsnetz ein verbleibender, subjektiver Einfluss bzw. eine Unsicherheit beachtet werden. Diese Unsicherheit der zugrundeliegenden Daten kann durch die Erweiterung des dargestellten Verfahrens um die Evidenz-Theorie berücksichtigt und quantifiziert werden. Erste positive Tendenzen zur Eignung dieser Erweiterung sind ermittelt worden, müssen jedoch noch im Detail weiterentwickelt und verifiziert werden.

7 Literatur

[1] Schreiner, A.: Operationale Risiken in der Energieversorgung: Modelle und Methoden zur Berechnung der Risiken mit der Hilfe von Value-at-Risk. Dissertation, Universität Darmstadt, 2012

[2] Beerboom, D. et al.: Realitätsgerechte Zustandsbewertung von Verteilungsnetzen als Basis optimierter Asset-Strategien. ETG-Fachbericht 134 „Diagnostik elektrischer Betriebsmittel“, Fulda, 2012

[3] Ertl, R. et al.: Typische Bauschäden im Bild. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2010

[4] Bourier, G.: Beschreibende Statistik. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag, 2014

[5] Balzer, G.; Schorn, C.: Asset Management für Infrastrukturanlagen - Energie und Wasser. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011

[6] Balzer, G., Montebauer, A.; Osterholt, A.: Zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung am Beispiel eines regionalen Netzbetreibers. ETG-Fachbericht 92 „Zuverlässigkeit in der Stromversorgung“, Mannheim, 2003

[7] Stötzel, M.; Zdrallek, M.: Optimierung der Instandhaltungsstrategie von 110-kV-Netzen durch Zuverlässigkeitsanalysen. ETG-Fachbericht 92 “Zuverlässigkeit in der Stromversorgung“, Mannheim, 2003

[8] Dempster, A. P.: Upper and lower probability induced by a multivalued mapping. Annals of Mathematical Statistics 38, S. 325-339, 1967

[9] Shafer, G.: A mathematical theory of evidence. Princeton University Press, London, Princeton, 1976

[10] Feilhauer, W.: Ein Verfahren zur Zustandsbewertung elektrischer Betriebsmittel. Dissertation, Universität Dortmund, 2005

[11] Handschin, E. et al.: Novel Methods for the Condition Based Maintenance of Distribution Networks. IEEE Power Tech Conference, Lausanne, 2007

ISBN 978-3-8007-3648-5

© VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach