

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 105 (2014)
Heft: 12

Artikel: Mit neuer Sternpunktbehandlung zu mehr Sicherheit
Autor: Gostelli, Yann
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856330>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Mit neuer Sternpunktbehandlung zu mehr Sicherheit

Ein Fallbeispiel von CKW

Im isolierten Mittelspannungsnetz (20 kV) steigt der Verkabelungsgrad kontinuierlich, bei der Centralschweizerischen Kraftwerke AG (CKW) zum Beispiel auf über 50 %. Mit der zunehmenden Verkabelung steigt auch der Erdschluss-Strom. Der Luzerner Stromversorger investiert aktuell acht Millionen Franken in Erdschluss-Löschspulen. Zukünftig betreibt er sein 20-kV-Netz gelöscht und schaltet permanente Fehler trotzdem rasch ab. Die Umstellung der Sternpunktbehandlung und der Einbau der Erdschluss-Löschspulen erhöht die Versorgungs- und Personensicherheit.

Yann Gosteli

Beim Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze stellt die Sternpunktbehandlung einen wichtigen Aspekt dar. Während sie im Normalbetrieb eines elektrischen Netzes kaum eine Rolle spielt, ist sie im Fall eines Erdfehlers von entscheidender Bedeutung. Bedingt durch steigende Anforderungen an das Netz und durch Veränderungen im Netz selbst sind die Überprüfung und Optimierung der Sternpunktbehandlung ein essentieller Bestandteil einer nachhaltigen Netzplanung.

Das 20-kV-Netz von CKW umfasst rund 2400 Trafostationen und weist heute eine Länge von rund 2000 km auf. In den letzten 25 Jahren ist der Verkabelungsgrad in der Mittelspannung auf über 50 % angestiegen. Der kapazitive Erdschlussstrom hat sich dadurch flächendeckend stark erhöht. Zukünftig rechnet CKW mit einer weiteren Erhöhung des Verkabelungsgrades (Bild 2).

Aktuelle Sternpunktbehandlung

In 14 Unterstationen betreibt CKW isolierte 20-kV-Netze. In drei Unterstationen sind bereits Erdschluss-Löschspulen eingebaut, die für einen Betrieb mit Erdschluss von zwei Stunden ausgelegt sind. Eine Station ist dabei mit Spulen für den Dauerbetrieb ausgerüstet und pro einspeisenden Trafo wird eine Spule eingesetzt.

Die Erdungen von Trafostationen sind auf einen Erdungswiderstand von kleiner/gleich zwei Ohm ausgelegt.

CKW schaltet Erdschlüsse auf jedem Abgang in den Unterstationen mit einem empfindlichen Erdschlussrichtungsschutz nach 0,3 s ab. Erdschlüsse auf 20-kV-Sammelschienen in den Unterstationen mit isolierten Netzen werden nicht abgeschaltet. Schutzeinrichtungen in Trafostationen im 20-kV-Netz sind selten vorhanden. In Trafostationen mit Schutztechnik wird wie in den Unterstationen ein empfindlicher Erdschlussrichtungsschutz eingesetzt. Aufgrund der kurzen Abschaltzeit ist entlang der Leitungen nur eine Staffelung der Schutzauslösungen für Kurzschlüsse möglich.

Gemäss Vorgabe von Art. 54 der Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (StV) vom 20. 1. 1998, SR 734.2 [2] dürfen bei einer Abschaltzeit von 0,3 s Berührungsspannungen von maximal 230 V auftreten. Der festgelegte Erdungswiderstand führt zu einem maximal zulässigen Erdschlussstrom von rund 115 A. Solange dieser Wert nicht überschritten wird, muss folglich nicht mit kritischen Erdungs- resp. Berührungsspannungen gerechnet werden. Doch durch den starken Zuwachs an Kabelstrecken im Netz ist der Wert von 115 A in einigen Unterstationen bereits erreicht und wird durch den Ersatz von Freileitungsstrecken durch Kabel weiter steigen. Zudem kann der festgelegte Erdungswiderstand bei 3 % der Trafostationen und 25 % der Mastschalter aus geologischen Gründen nicht erreicht werden.

Analyse von Sternpunktbehandlung und Netz

Bei der Analyse wurden folgende Methoden zur Sternpunktbehandlung in Betracht gezogen: der isolierte Sternpunkt mit schnellerer Auslösezeit durch den Erdschlusschutz; das teilkompensierte Netz mit Abschaltung der Erdschlüsse; das kompensierte Netz mit resp. ohne Abschaltung der Erdschlüsse;

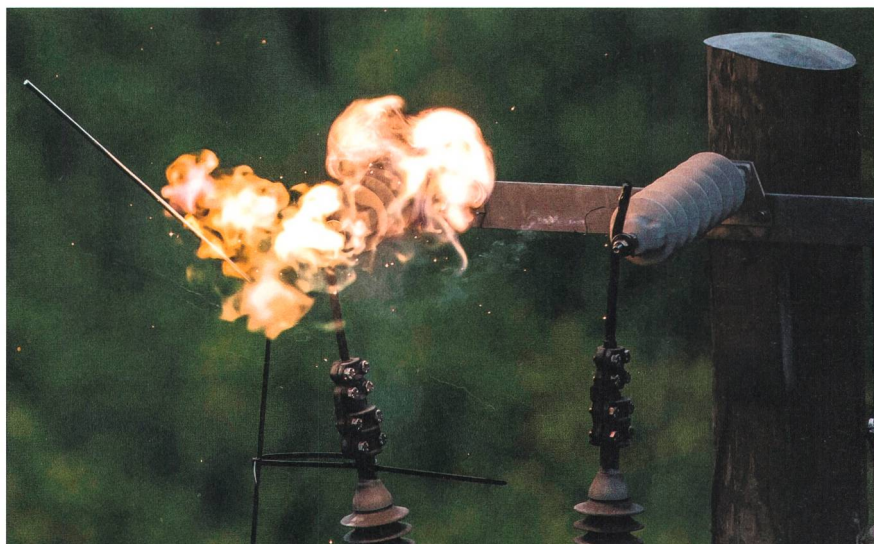


Bild 1 Im Probetrieb wurden Lichtbögen provoziert.

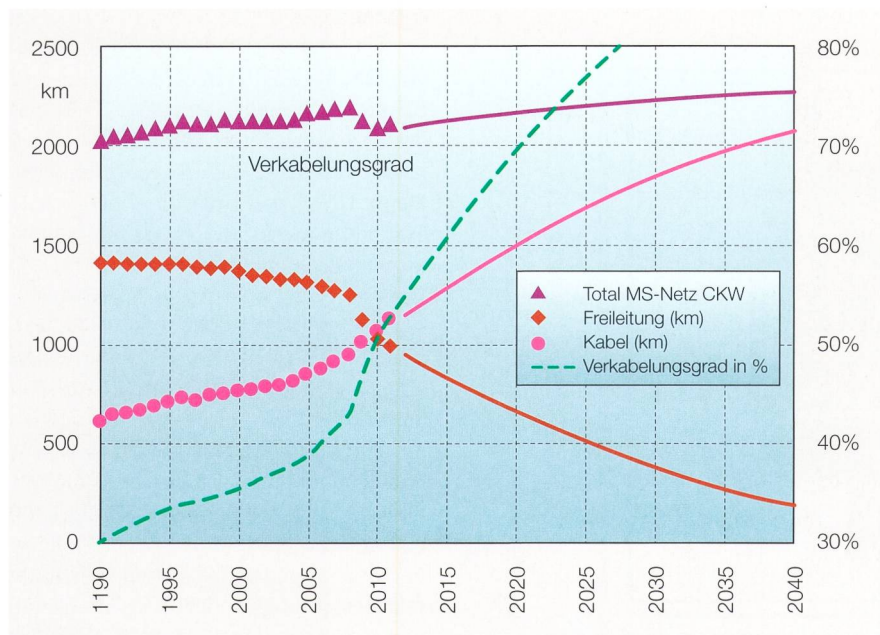


Bild 2 Entwicklung und Prognose 20-kV-Netz.

sowie die niederohmige Sternpunktterdung mit Abschaltung der Erdschlüsse. CKW legte das Augenmerk auf den Erdfehlerstrom, die Spannungsanhebung der gesunden Phasen, den Schutz, die Fehlerortung und das Engineering. Untersucht wurden die niederohmige Sternpunktterdung mit Abschaltung der Erdschlüsse, der isolierte Sternpunkt, die Resonanzsternpunktterdung (gelöscht oder teilkompensiert) sowie die vorübergehende Erdung des fehlerhaften Leiters (Erddruckschalter).

Die individuelle Ausgangslage des Netzbetreibers ist entscheidend für die passende Sternpunktbehandlung. CKW analysierte und dokumentierte deshalb im Vorfeld Bestand und Spezifikation ihrer Anlagen, Netztopologie, Schutz-, Leit- und Kommunikationstechnik, Erdschlussströme, Erdung und Berührungsspannungen sowie Fehlerortung und Störungsstatistik. Auch Resultate aus vergangenen Untersuchungen und Projekten wurden einbezogen und mit Fachliteratur und Erfahrungen anderer Netzbetreiber zusammengeführt.

Aufgrund dieser Voranalyse definierte CKW die Parameter Spulennennstrom und Abschaltzeit für fünf unterschiedliche Sternpunktbehandlungen:

- Isolierter Sternpunkt mit 0,1 s Abschaltzeit.
- Teilkompensierte Erdfehlerströme mit 500 A Spule und 0,6 s Abschaltzeit.
- Gelöschte Erdfehlerströme mit 500 A Spule und einige Sekunden Abschaltzeit.

- Gelöschte Erdfehlerströme mit 500 A Spule und einige Minuten oder Stunden Abschaltzeit.
- Niederohmig isolierter Sternpunkt mit 0,1 s Abschaltzeit.

Die Anlagenkomponenten der Varianten 2 und 3 sind identisch, wobei der Mehrnutzen von Variante 3 in der Löschung von transienten Erdschlüssen (ohne Ausschaltung bzw. Kundenabschaltungen) sowie der Möglichkeit für eine selektivere Abschaltung (intelligentes Verteilnetz, Fehlertiefenortung) besteht. Die Spule wird mit einer Betriebsdauer mit Erdschluss von 2 h spezifiziert. Die Variante 4 beinhaltet eine Spule mit der Möglichkeit vom dauernden Betrieb mit Erdschluss.

Kosten-/Nutzenanalyse

Nachfolgend beurteilte CKW die Kosten (CAPEX und OPEX) und den Nutzen (Betrieb, Technik, Versorgungsqualität) der beschriebenen Varianten anhand ausgewählter Schlüsselkriterien. Aufgrund der Grundlagenarbeit und der Kosten-/Nutzenanalyse entschied sich CKW für die Variante «Gelöscht, einige Sekunden». Das bedeutet, dass CKW transiente Fehler künftig mit Hilfe von Erdschluss-Löschspulen löscht. Der kapazitive Strom, der durch die Kapazitäten im Netz verursacht wird, wird durch induktiven Strom kompensiert. So werden der Erdschluss-Strom an der Fehlerstelle und die Auswirkungen der Erdschlüsse minimiert. Dies reduziert Stromunterbrüche. Permanente Erdfehler werden wie bisher und analog zu Kurzschlüssen abgeschaltet.

Damit hält CKW die bisherige Praxis der Erdschlussabschaltung weiterhin aufrecht und gewährleistet die Personensicherheit auch bei nicht idealen Erdungsbedingungen. Die Löschung mit Abschaltung von permanenten Fehlern ist für CKW die optimale Lösung zur Beherrschung des Erdschlusses.

Die Variante «Gelöscht, einige Minuten/Stunden» wird nicht empfohlen, weil die gesunden Phasen durch eine erhöhte Spannung beansprucht werden, die erhöhte Gefahr von Doppelerdschlüssen besteht und die heutigen Schutzgeräte und -konzepte nicht mehr vollumfänglich funktionieren.

Die Personensicherheit resp. die gesetzlichen Anforderungen an die Erdungen wurden maximal gewichtet. CKW kann dabei das heute übliche Schutzkonzept unverändert übernehmen. Bei der gewähl-

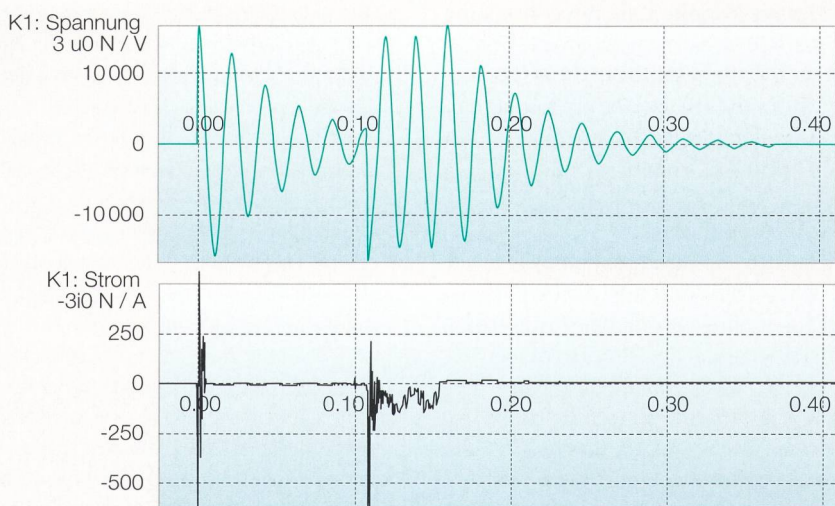


Bild 3 Nullspannung und Nullstrom während eines Fehlers.

Bilder: CKW

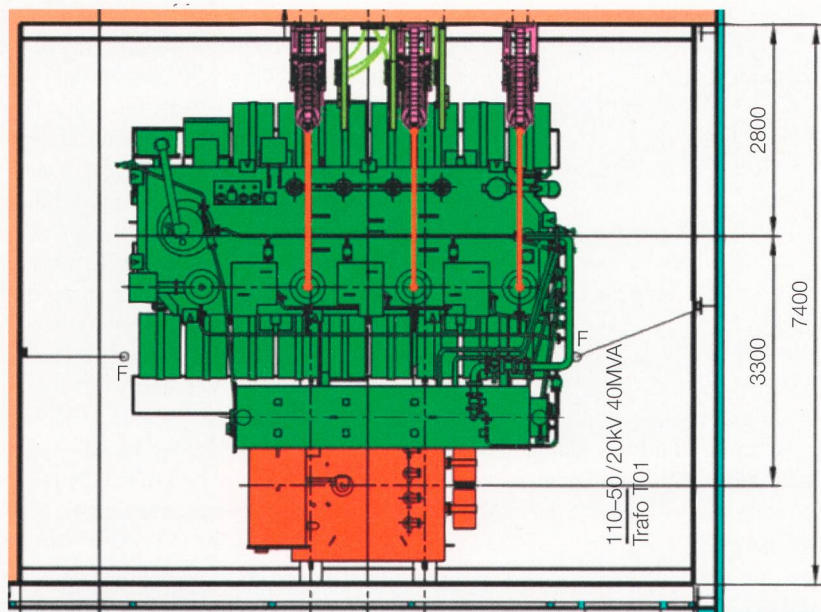


Bild 4 Disposition in einer Unterstation.

ten Variante kann das CKW-Dispatching Kurz- und Erdschlüsse über alle Spannungsebenen einheitlich handhaben. Dies reduziert den Aufwand für Schulungen und vereinfacht die Prozesse. Hinzu kommt, dass die Auswirkungen durch Spannungserhöhungen in den gesunden Phasen minimiert werden und Staffelzeiten für sämtliche Fehlerarten gleich parametrisiert werden können, was für die Netzautomatisierung von Vorteil ist.

Um die neue Sternpunktbehandlung im Mittelspannungs-Netz einzuführen, arbeiteten Spezialisten aus den Fachbereichen Anlagenbau, Netzbetrieb, Netzplanung und Netzschutz zusammen.

Vier Arbeitspakete zum Ziel

Aufgrund der technischen Komplexität und der kostenintensiven Umsetzung splittete CKW das Projekt in vier Arbeitspakete und liess sich bei der Festlegung der Sternpunktbehandlung konzeptionell von der Firma The Energy Consulting Group AG beraten.

Sofortmassnahmen

Ziel der Sofortmassnahmen war es, bei allen Trafostationen wieder die Erdungsspannungen resp. Berührungsspannungen gemäss der Starkstromverordnung (SR 734.2) einzuhalten. Dazu wertete CKW anhand der gemessenen Erdschlussströme pro Trafostation die Erdungsspannung aus. Indem die Abschaltzeiten des Erdschlussrichtungsschutzes reduziert wurden, sank die Anzahl jener Trafostationen, in denen die

Erdungsspannung grösser als die erlaubte Berührungsspannung war, deutlich. Diese Massnahme verbesserte die Situation der Personensicherheit im Netzgebiet von CKW mit wenig Aufwand.

Probetrieb, Fehlerortung und betriebliche Migration

CKW bereitete ein bereits mit Löschspulen und Stromeinspeisung aus-

gestattetes Teilnetz für den Probetrieb vor. In Versuchen provozierte Lichtbögen (**Bild 1**) gestatteten es, die Regler- und Schutzeinstellungen zu testen. Während des Probetriebs erhöhte CKW die Staffelzeit des Erdschlussrichtungsschutzes. Damit ist für den Erdschluss die gleiche Staffelung wie für den Kurzschluss möglich. Die Versuche zeigten die schnelle Löschung von Lichtbögen ohne Auslösung durch den Erdschlussrichtungsschutz. Die provozierten Fehler sind nach maximal 80 ms gelöscht. Anhand der Erkenntnisse wurde der Probetrieb mit einer Unterkompensation von 20 A und einer Abschaltzeit von 0,6 s durchgeführt. Diese Einstellungen erleichtern die betriebliche Migration, bei der isolierte und teilkompensierte Netze nebeneinander bestehen, da der Erdschlussrichtungsschutz in Trafostationen so immer einen kapazitiven Fehlerstrom messen kann. Nach dem Umbau aller Teilnetze kann die Verstimmlung reduziert werden. Die Schutzgeräte werden entsprechend umgestellt und werden dann den resistiven Fehlerstromanteil aus.

Bild 3 zeigt beispielhaft einen gemessenen Verlauf der Nullspannung und des Nullstroms. Ähnliche Messungen wurden bei allen Versuchen aufgezeichnet.

Die Versuche wurden durchgeführt in der Unterstation Küssnacht, die bereits mit Erdschluss-Löschspulen, Sternpunkt-

Résumé

Davantage de sécurité grâce à un nouveau traitement du point neutre

Un exemple de cas chez CKW

Le degré de câblage dans le réseau moyenne tension isolé (20 kV) croît constamment. Chez Centralschweizerische Kraftwerke AG (CKW) par exemple, il s'élève aujourd'hui à 50 % et devrait continuer d'augmenter au cours des années à venir. Ce qui donne lieu à de nouveaux défis au niveau du courant d'un défaut à la terre. Afin que la valeur limite de la tension de contact fixée dans l'ordonnance sur le courant fort ne soit pas dépassée, le courant maximal d'un défaut à la terre autorisé est de 115 A. Vu l'augmentation élevée des sections de câbles dans le réseau, cette valeur est déjà atteinte dans certaines sous-stations et augmentera encore.

Cette situation implique de prendre des mesures au niveau du traitement du point neutre. CKW a procédé à une analyse de diverses méthodes et a décidé d'investir quelque huit millions de francs dans des bobines de soufflage de défaut à la terre. Ces dernières compensent l'électricité capacitive résultant des capacités dans le réseau par de l'électricité inductive. Ce qui permet de minimiser tant le courant de défaut à la terre à l'endroit de l'incident, ainsi que ses répercussions. Les coupures de courant sont ainsi réduites et la sécurité des personnes et de l'approvisionnement est augmentée.

Etant donné la complexité technique et la mise en œuvre coûteuse, CKW avait divisé le projet en quatre phases de travail. La première comprenait des mesures d'urgence visant à respecter les tensions de contact de l'ordonnance sur le courant fort. Une mise en exploitation test avec des bobines de soufflage a eu lieu durant la deuxième phase. Au cours de la troisième phase, CKW a procédé à des clarifications en matière de construction, a défini les standards et s'est procuré les bobines. Puis le projet a été mis en œuvre durant la quatrième phase. D'ici à 2016, CKW mettra en place 30 nouvelles bobines dans 15 sous-stations et 26 nouveaux régulateurs dans 18 sous-stations.

Se

bildnern und der Regelung mit Stromeinspeisung ausgestattet ist. Dank der Verschaltung zu isolierten Netzen und zu einem kompensierten Netz konnte CKW alle möglichen Netzzusammenschaltungen erproben.

Für die Fehlerortung wurden die Anforderungen an Erfassungsgeräte und mögliche Geräte bestimmt wie auch mögliche Kommunikationskanäle untersucht.

Bereits heute werden isolierte, teilkompensierte und gelöschte Netze parallel betrieben. Dabei schaltet der CKW-Netzbetrieb in der Regel zwei Teilnetze mit unterschiedlichen Sternpunktbehandlungen zusammen. Eine Kombination aller drei möglichen Formen ist im Betrieb nicht zu erwarten und kann vernachlässigt werden. Das Dispatching muss für die betriebliche Migration nicht neu instruiert werden, da die Abschaltung von Erdschlüssen beibehalten wurde und der Umgang mit den Reglern aus früheren Projekten bekannt ist.

Mit dem Einbau der Löschspulen wird das Messverfahren des Nullstromes auf allen Abgängen der entsprechenden Unterstation von $\sin(\varphi)$ auf $\cos(\varphi)$ umgestellt. Die Staffelzeit des Erdschlussschutzschutzes wird gleich wie beim Kurzschlusschutz eingestellt. Nach Abschluss der Umbauarbeiten wird die Verstimmung so weit wie möglich reduziert und

ebenfalls in Trafostationen mit Schutztechnik die Messrichtung und die Staffzeiten angepasst. Bei einigen Trafostationen müssen Summenstromwandler mit einem kleineren Übersetzungsverhältnis eingebaut werden. In Unterstationen sind keine weiteren Anpassungen nötig.

Bauliche Abklärungen, Standardfestlegung und Beschaffung

Anhand von Daten aus bereits laufenden Ausschreibungen prüfte CKW, ob in allen Unterstationen die Platzverhältnisse für die maximal geplanten Trafos inklusive der zusätzlichen Löschspulen und Sternpunktbildner genügen. Die Platzverhältnisse sind teilweise sehr eng. Die Löschspulen sind je etwa 2,5 Meter hoch und 18 Tonnen schwer. Bild 4 zeigt eine mögliche Disposition einer Löschspule und eines Trafos.

Um eine Standardausrüstung für alle Unterstationen zu erreichen, untersuchte CKW unter Berücksichtigung ihrer Standards von 40 MVA und 25 MVA die Kosten verschiedener Trafos und Schaltgruppentypen. Da die heutigen Trafos keinen belastbaren Sternpunkt besitzen, prüfte CKW auch den Einsatz von Trafos mit Ausgleichwicklung. Ebenfalls berücksichtigt wurden die Kosten von Löschspule und allfälligem Sternpunktbildner sowie den kapitalisierten Verlus-

ten. Da sich keine nennenswerte Preisdifferenz zugunsten einer Lösung zeigte, entschied sich CKW für die heute gängigen Yy0-Trafos als Standard.

Mit diesen Standards in der Spezifikation konnten die Löschspulen mit Sternpunktbildner ausgeschrieben werden. Die Löschspulen sollen einen Strom von 50-500 A einspeisen können. CKW hat den Lieferanten überlassen, ob die Spule und der Sternpunktbildner kombiniert oder separat geliefert werden. Den Zuschlag erhielt EGE Deutschland GmbH mit einer Kombilösung.

Umsetzung

Arbeitspaket 4 umfasst die Umsetzung bis 2016. Innert kurzer Zeit wird CKW in 15 Unterstationen 30 neue Spulen einbauen und in 18 Unterstationen 36 neue Regler in Betrieb nehmen. Mit der Investition verschafft sich CKW nachhaltig Spielraum, denn der Verkabelungsgrad wird weiter steigen.

Referenzen

[1] Schweizerische Eidgenossenschaft, Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung), Bern, 1998.

Autor

Yann Gosteli, Eidg. Dipl. El-Ing. FH, ist Leiter Technik Netzfürung bei CKW.

Centralschweizerische Kraftwerke AG (CKW), 6002 Luzern
yann.gosteli@ckw.ch

Anzeige



SMART ASSET MANAGEMENT FOR PROFESSIONALS – NIS.CH

Für Asset Manager in erfolgreichen Utilities, welche durch Informationsgewinnung einen wesentlichen Beitrag zur Wertschöpfungskette beitragen wollen, ist die **NIS AG** ein erfahrener, innovativer und verlässlicher Partner.

Das Angebot umfasst die agile Entwicklung von Softwarelösungen, die Realisierung von Softwareprojekten sowie das Outsourcing von Leistungen im Bereich des Datenmanagements und erlaubt unseren Kunden die Umsetzung von gesamtheitlichen Lösungen. Die Kompetenz ist durch die langjährige

Partnerschaft mit General Electric sowie der Open Source Community breit abgestützt. Zu den Kunden zählen unter anderem namhafte Utilities mit höchsten Ansprüchen an das Asset Management wie:

- **BKW** BKW FMB Energie AG
- **CKW** Centralschweizerische Kraftwerke AG
- **EBL** Genossenschaft Elektra Baselland
- **EBM** Elektra Birseck Münchenstein
- **EKZ** Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
- **SAK** St.Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG
- **ewz** Elektrizitätswerk der Stadt Zürich

Im Gegensatz zu anderen Herstellern fokussiert sich die NIS AG ausschliesslich auf Netzinformationssysteme in ihrer ganzen Tiefe. Utilities erhalten durch den Fokus sowie die inkrementelle und iterative Entwicklung eine auf ihre Bedürfnisse zugeschnittene Lösung, welche Effizienz und Qualität garantiert.

Wir informieren Sie gerne über unsere Erfahrungen, Prozessframeworks wie Scrum, Trends und neue Produktentwicklungen.

Nehmen Sie Kontakt mit uns auf. **NIS**

NIS AG
Gerliswilstrasse 74
6020 Emmenbrücke
+41 (0)41 267 05 05
info@nis.ch
www.nis.ch

