

# Neuberechnung und Online-Dokumentation großer elektrischer Anlagen

*Elektrische Anlagen in der Industrie, Flughäfen, Universitäten und Kliniken sind im Laufe der Zeit von unterschiedlichen Unternehmen errichtet worden und verfügen daher oft nicht über einheitliche Berechnungs- und Dokumentations-Standards. Darüber hinaus sind die Unterlagen meist unvollständig, veraltet und nicht auf Datenträgern. Die heutigen Anforderungen können besser mit einem einheitlichen, rechnergestützten Berechnungs-, Dokumentations- und Informationssystem erfüllt werden. Im Beitrag wird eine Software-Lösung vorgestellt, die für diese Anforderungen maßgeschneidert ist.*

Karl Helmut Hannappel

sich eine gemeinsame Berechnungsvariante aller daran beteiligten Anlagen.

Zu jeder Anlage gehört ein Übersichtsplan. Was liegt näher, als die grafischen Eingaben direkt in den Übersichtsplan zu machen, der dann in zwangsläufiger Übereinstimmung mit allen Daten einen aufwändigen Arbeitsschritt einspart. Bisherige MS-Übersichtspläne sind oft verschachtelt dargestellt, und NS-Übersichtspläne haben Linienbündel mit Rich-

## Situation bisheriger Anlagendokumentation

Es existieren Abrechnungsunterlagen in Papierform von ausführenden Unternehmen, als Nebenleistung nach der Vergabe- und Vertragsordnung Bauleistungen VOB (früher Verdingungsordnung Bauleistungen) und deren Teil C, DIN 18382:2002-12 [1] gefordert. Sind diese Unterlagen im Sinne der VOB vollständig, bestehen sie aus Lageplänen, Übersichts-, Installations- und Verteilerplänen. Darüber hinaus gibt es selten Dokumente über die größten und kleinsten Kurzschlussströme, Kabel- und Selektivitätsberechnungen. Es liegt auf der Hand, dass bei zahlreichen Projekten und Auftragnehmern über einen längeren Zeitraum ohnehin keine Homogenität in Inhalt und Form zu erreichen ist. Die unbefriedigende Situation wird auch aus dem Umstand gespeist, dass die Realität im Bauwesen immer noch weit von einem industriellen Bauen entfernt ist. Am ehesten kann es eine gewisse Standardisierung bei den Verteilerplänen geben, wenn Softwaresysteme für die elektrische Steuerungstechnik vorgeschrieben sind und auf Installationstechnik/Stromversorgung

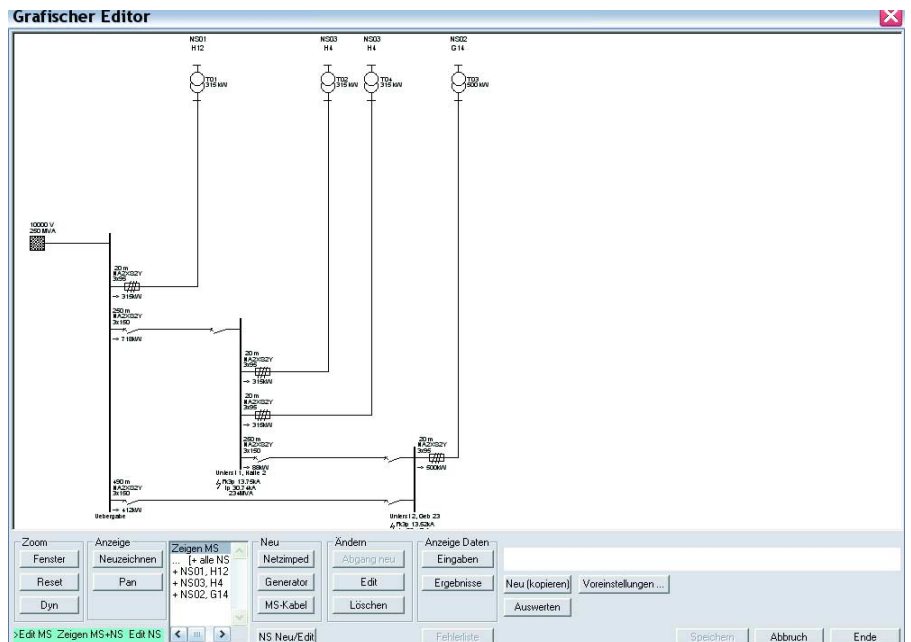


Bild 1. Blick auf ein Mittelspannungsnetz

ausgedehnt werden. Dann fehlt aber eine Verknüpfung zu Berechnung und den anderen Plänen.

## Das Grafik-Konzept

Die Zeichnung ist die Sprache des Ingenieurs. Bietet sich bei Dateneingabe und -ausgabe auch eine Grafik statt reinem Text an, muss der Grafik der Vorzug gehören. Diese Maxime wurde bei der neuen Version von „elcoPower“ [2] konsequent umgesetzt. Die Topologie bildet die elektrische Hierarchie nach: unter der logischen Ebene einer MS-Anlage befinden sich die zugehörigen NS-Anlagen. Existieren NS-Querverbindungen unterhalb unterschiedlicher MS-Anlagen, empfiehlt

tungsänderungen und Kreuzungen; dies bedeutet ein Mangel an Übersichtlichkeit, ferner eignen sich diese Darstellungsarten nicht für eine automatisierte CAD-Lösung.

Das Grafikkonzept von „elcoPower“ beruht auf einem Mix von interaktiver und passiver, automatisierter Grafikeingabe, wobei sich das interaktive Arbeiten lediglich auf die Wahl von Einspeisungen und Abgängen beschränkt. Analog den Pfaden bei Stromlaufplänen werden hier die Achsen von fremden Grafikelementen und Linien freigehalten; dies gelingt fast immer ohne den Einsatz von Querverweisen. Sind die Achsen einmal definiert worden, werden sie von da an in den unterschiedlichen technischen und grafi-

Dipl.-Ing. Karl Helmut Hannappel (71), VDE und VBI, betreibt nach Übertragung der operativen Führung in der Hannappel Software GmbH, Wiesbaden an die nächste Generation weiterhin in seinem Ingenieurbüro-Software-Entwicklung und Pilotanwendungen. E-Mail: [ha@elcosystem.de](mailto:ha@elcosystem.de)





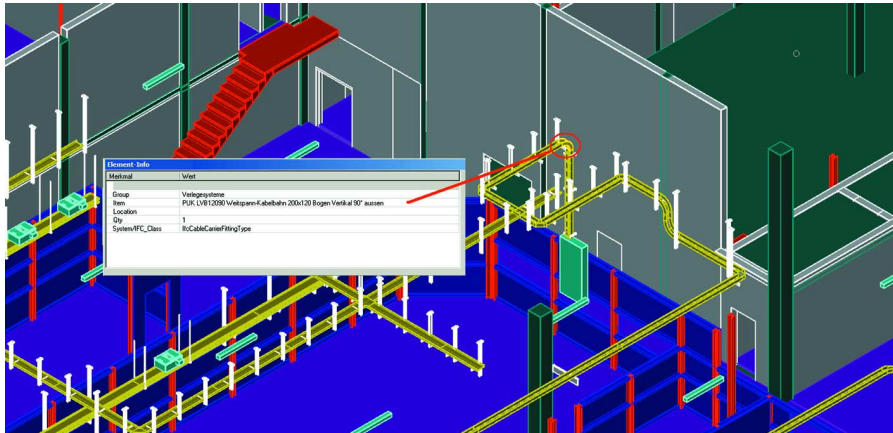
schen Anforderungen automatisch gezeichnet und zusammengefügt.

Die Verbindungen zwischen den MS-Schaltanlagen werden waagrecht und

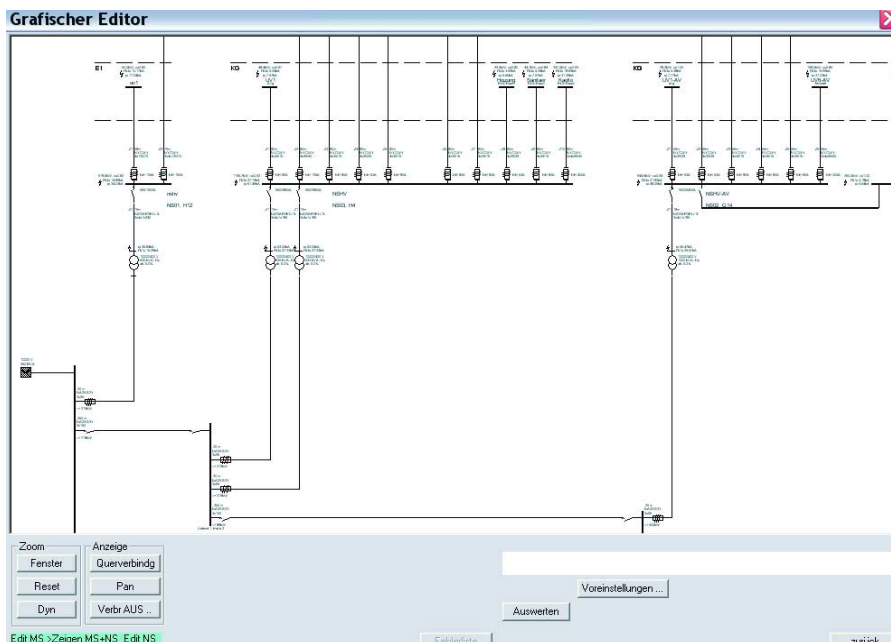
und Verteiler dargestellt. Der Plan kann um die Darstellung der Verbraucherabgänge expandiert werden. In „elcoPower Plus“ gelangt der Benutzer zuerst in die

ternativ lässt sich die Verteilerhierarchie nachbilden, in dem jede gestaffelte Zuleitung in die jeweils nächste Ebene geführt wird, sinnvoll auch für Industriehallen. Man sieht auf einen Blick das Bild der Selektivitäts-Kaskade. Wird diese Struktur flach gehalten, erleichtert dies die selektive Staffelung.

Allgemeine Grafikfunktionen orientieren sich am Industriestandard. Mit der Maus lassen sich z. B. Ziehen, dynamischer Zoom, Pan (Verschieben des sichtbaren Ausschnitts ohne Zoomen), Kopieren und Löschen ausführen, per Doppelklick wird das am nächsten gelegene Betriebsmittel zum Editieren in einem Fenster aufgerufen. Daten der Eingabe, der Rechenergebnisse und der Impedanzen erscheinen durch Ein-fachklick. Bis zu zehn Arbeitsschritte können rückgängig gemacht werden.



**Bild 2.** Konstruktiver Aufbau des 3D-Verlegesystems mit Darstellung der Materialspezifikation



**Bild 3.** Elektrische Berechnungen – unten MS-Anlage, oben NS-Anlagen

die Transformatorabgänge senkrecht gezeichnet (Bild 1). Bei NS-Anlagen sind Einspeisungen und Abgänge senkrecht ausgerichtet. Müssen Anlagenteile eingefügt oder erweitert werden, wird der weiter rechts befindliche Teil der Grafik automatisch verschoben. Charakteristisch für die Darstellung der MS-Anlagen sind die in einheitlicher Höhe angeordneten Transformatoren, hier klinken sich bei gemeinsamer MS- und NS-Darstellung die NS-Anlagen ein und verlängern die MS-Verbindungslinien entsprechend.

Die normale Ausbaustufe „elcoPower“ behandelt und editiert die NS-Anlagen. Bei Aufruf eines vorhandenen Plans werden zunächst Einspeisungen, Zuleitungen

editierbare MS-Ebene. Die Entstehung einer NS-Anlage wird durch Klick auf einen freien Transformator eingeleitet. Weist die NS-Anlage weitere Transformatoren auf, werden automatisch weiter rechts befindliche Transformatoren in der MS-Übersicht belegt. Sind schon NS-Anlagen mit der MS-Anlage verknüpft, können gleichzeitig alle oder einzelne NS-Anlagen gemeinsam mit der MS-Anlage gezeigt werden. In einer weiteren Bearbeitungsstufe gelangt man auf die editierbare NS-Ebene, was dem geschilderten Eintritt von „elcoPower“ entspricht.

Die Unterverteiler der NS-Anlagen werden frei beschriftbaren Ebenen zugeordnet, etwa analog einem Geschossbau. Al-

## Handhabung von Kabeltrassen

Für eine integrierte CAE/CAD-Planung besteht eine bidirektionale Schnittstelle zu „elcoCAD R4“. Hierbei werden aus einem geschoss- und gebäudeübergreifenden 3D-Trassenmodell die korrekten Kabellängen automatisch an „elcoPower“ übergeben. Nach erfolgter Berechnung können die ermittelten Kabelquerschnitte zurück in die CAD-Umgebung geschrieben werden, wo sie die Werte für Durchmesser, Gewicht, Brandlast sowie der bestehenden Belegungsreserve dynamisch aktualisieren. Die in der Berechnung angelegten Betriebsmittel können per Schnittstelle in den Datenstrom für die Massenermittlung in „elcoSystem R4“ eingespeist werden und stehen für die Erstellung von GAEB/ÖNORM-konformen Leistungsverzeichnissen [3, 4] sowie für die Aufmaß-Prozesskette zur Verfügung. Neben der auf „AutoCAD“ [5] basierenden CAD-Lösung „elcoCAD“ wird auch das Microstation-basierende Produkt „Bentley Building Electrical Systems“ [6] voll unterstützt.

Schon einige Meter Kabel mit ihrem Einfluss auf die Impedanzen und Kurzschlussströme können VDE-Nachweise und Selektivitätsanalyse verändern. Dies zeigt sich auch bei Neuplanungen ohne CAD-Verknüpfung. Die vorab grob ermittelten Kabellängen werden im Zuge der weiteren Trassenkoordinierung nach den Erfahrungen selten aktualisiert. Die Zwangsläufigkeit zwischen CAD-Trassenmodell und Berechnung sichert in „elcoSystem“ dagegen die erforderliche Genauigkeit (Bild 2).

## Aufnahmen der Kabelwege und der Schutzgeräte

Bei der Erfassung vorhandener Kabeltrassen werden an Ort und Stelle Skizzen

angefertigt mit Bezugsmaßen zu Wänden und Stützen sowie mit Höhenangaben, aber ohne die Trassenlängen selbst. Nach der CAD-Eingabe in die Pläne entsteht dann automatisch ein dreidimensionales Trassenmodell mit den Längen aus dessen Koordinaten. Beim anschließenden Kabelrouting sucht sich der Rechner die kürzesten Verbindungen zwischen Transformatoren, Generatoren, Wechselrichtern und Verteilern. Der Kabelweg kann aber auch durch Klick auf Trassenabschnitte beeinflusst werden. Die Erfassung vorhandener Anlagen kann an den Unterverteilern enden oder auch noch wichtige Verbraucherstromkreise umfassen.

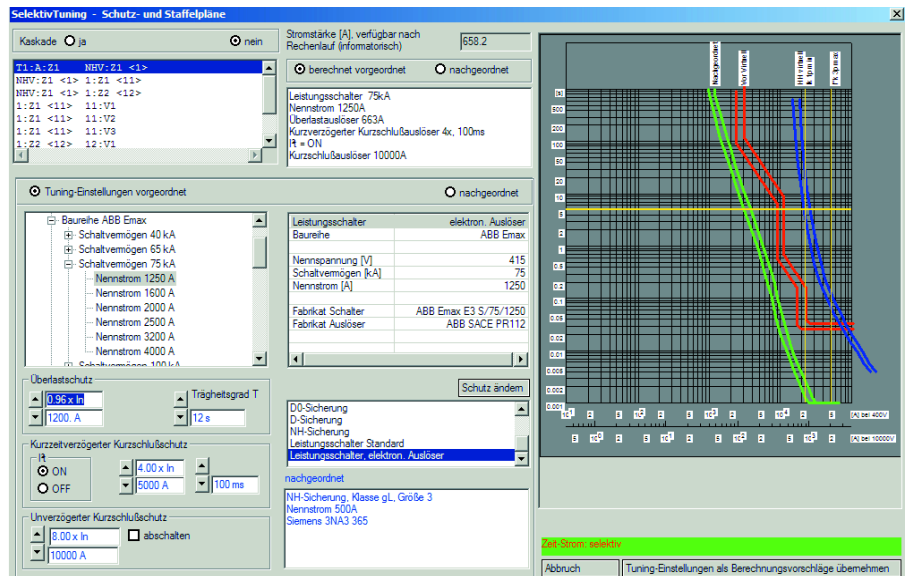
Eine vorausgehende Anlagen-Systemanalyse zeigt die Notwendigkeit von Software-Customizing, wenn der Anlagenbetreiber ein Betriebsmittel-Kennzeichnungssystem oder besondere Zeichnungsstandards eingeführt hat.

## Elektrische Berechnungen

Auf den Ebenen der Mittelspannung (MS) sowie der Niederspannung (NS) können die erforderlichen Berechnungen mit vollgrafischer, automatisierter Ein- und Ausgabe durchgeführt werden. Eine umfangreiche Datenbasis aller namhaften Schutzgerätehersteller mit Gerätedaten und Kennlinien, darunter allein etwa 600 Standard-Leistungsschalter sowie etwa 900 Leistungsschalter mit elektronischen Auslösern, wird ständig aktualisiert, auch bei Bedarf an ausgelaufenen Schalterbaureihen.

Bei den elektrischen Berechnungen selbst handelt es sich um die Kurzschlussstrom-, Lastfluss- und Kabelberechnungen für Netzstrukturen als Stich, Ring oder vermascht (Bild 3). Meist treten MS-Ringe auf, die offen oder bei entsprechender MS-Schutztechnik auch geschlossen gefahren werden. Die MS-Schutztechnik kann zum Nachweis der thermischen Kurzschlussbeanspruchung vereinfacht mit ihrer Ausschaltzeit eingegeben werden, während die HH-Sicherungen und Leistungsschalter mitgezeichnet werden können. Wahlweise können aber auch HH-Sicherungen, Überstromzeitschutz (UMZ), Überstromrichtungszeitschutz und Leitungs-Differenzialschutz auftreten. Der Rechner prüft zunächst, ob es sich um ein Strahlennetz handelt und berücksichtigt in diesem Fall etwa eingegebene Gleichzeitigkeitsfaktoren.

Als Ausgabe können Word-Dokumente für die Kurzschlussströme, für Lastfluss und für Kabelberechnung gewählt



**Bild 4.** Schutzstaffelung von Anlagen mittels „Selektiv-Tuning“-Werkzeug

werden, außerdem die grafische Ausgabe der Anlagenübersicht im DXF-Format. Selektivitäts-Staffelpäne sind in Vorbereitung.

Die elektrische Berechnung auf Niederspannungsebene ist bereits in [7, 8] dargestellt. Besonders hervorzuheben sind die Berechnungen von Kurzschlussströmen und Selektivität, die nach Vorschriftenlage technisch und wirtschaftlich nur rechnerunterstützt erbracht werden können. Als wichtigste Kriterien für die Anlagenauslegung werden diese in der Praxis gerne vernachlässigt, da große Auftraggeber wie Industrie und öffentliche Hand diese nicht einfordern, obwohl sie nach VOB als Nebenleistung auch ohne Erwähnung zur vertraglichen Leistung gehören.

Der Anwender kann seine Schutztechnik nach unterschiedlichen Herstellern ausrichten. Das „elcoPower“-Regelwerk zur Abbildung der Schutzdaten und Kennlinien der Hersteller wird permanent weitergepflegt.

Die Software liefert eine umfangreiche Dokumentation der berechneten Anlagen mit automatisch erstellten Übersichts-, Verteiler- und Staffelpänen mit den VDE-Nachweisen. Wenn es nicht um eine Neuplanung, sondern um eine vorhandene Anlage geht, liefert das System eine Analyse zwischen Ist- und Soll-Zustand der Anlage, seitenweise im Word-Dokument nebeneinander gestellt.

Die Netzanalyse der Anlagenberechnung zeigt die mit Vorschriften und Vorgaben konformen Anlagenteile, nicht-konforme Anlagenteile mit akutem Handlungsbedarf sowie Verbesserungsmöglichkeiten für eine Anlagensanierung in der Zukunft. Hierzu gehört die selekti-

ve Kurzschlussabschaltung zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit zum Vermeiden von Produktionsausfällen.

## Die Selektivität

Mit dem „Selektiv-Tuning“ steht ein leicht handhabbares Werkzeug zur Verfügung, das dem Anwender gestattet, die Schutzstaffelung seiner Anlagen komfortabel zu planen (Bild 4). Bei Leistungsschaltern sind z. B. die Einstellregler nachgebildet. Sie sind in Übereinstimmung mit den Listenangaben, Kennlinien und Einstellreglern des jeweiligen Geräteherstellers. Während die Schutztechnik-Staffelpäne bei manueller Bearbeitung Tage und Wochen erfordern können, werden sie so in Echtzeit automatisch erzeugt. Dabei verschieben sich die benachbarten Kennlinien kontinuierlich und die mitlaufende Selektivitätsbeurteilung wird auf dem Bildschirm ständig aktualisiert. Durch den Wechsel zwischen den Schaltgeräteherstellern wird das Selektivitätsziel in kurzer Zeit erreicht; es sei denn, dass die vorliegende Konstellation aufgrund zu hoher Kurzschlussströme oder ungünstiger Paarung der benachbarten Schutzeinrichtungen technisch und physikalisch kein selektives Abschalten zulässt.

Die Diagramme werden bei den heutigen Rechnern so schnell aufgebaut, dass ein Blättern durch die ganze Anlage oder eine ausgewählte Kaskade einschließlich Grafikaufbau und Selektivitätsbeurteilung möglich ist. Etwa 60 Selektivitäts-Fallunterscheidungen werden so aus dem „elcoPower“-Regelwerk abgeleitet.

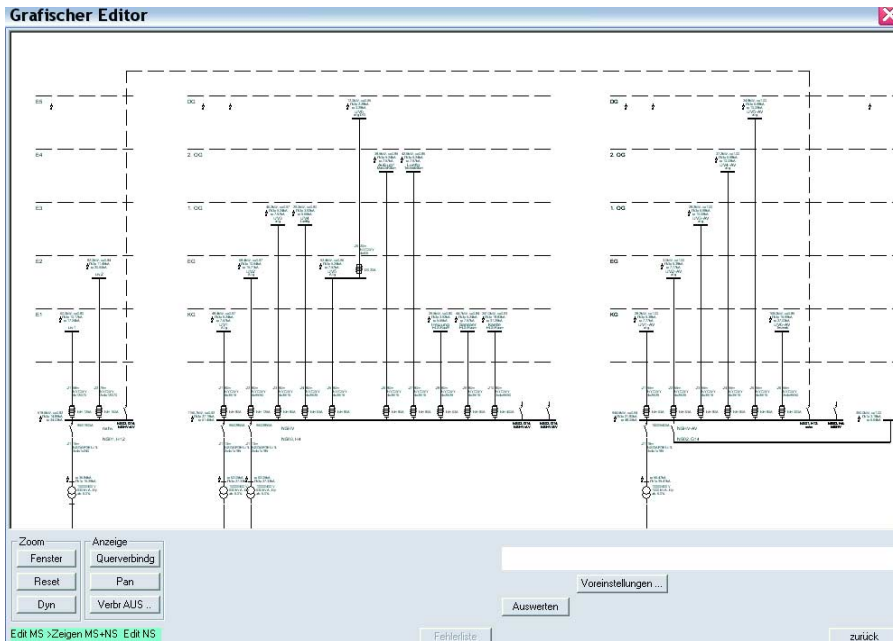


Bild 5. Niederspannungsanlage mit einer sichtbaren Querverbindung und Querverweisen

### Die Betriebsmittelvorschriften

Die Software verfügt über vielfältige Kopier- und Editiermöglichkeiten. Darüber hinaus kann der Anwender sich im Einklang mit etwaigen Betriebsmittelvorschriften Kundenstandards einrichten, die ihm komplette, editierfähige Einspeise- und Abgangsvarianten unterschiedlicher Leistung mit Schutzeinstellungen, Herstellerdaten, Kabelarten, Soll-Spannungsfällen und Gleichzeitigkeitsfaktoren liefern. Oft sind nur noch die Kabellängen zu ergänzen. Damit ist eine einheitliche Linie des Anwenders bzw. der ganzen Elektroabteilung bei der Anlagenauslegung gewährleistet.

### Querverbindungen zwischen NS-Anlagen

Querverbindungen (Kupplungen) zwischen den NS-Anlagen können in der Anlagenübersicht als gestrichelte Linien eingeblendet oder unterdrückt werden (Bild 5). Die Querverweise als Text erscheinen immer. Handelt es sich um zu viele Querverbindungen, werden nur die von einer bestimmten NS-Anlage unmittelbar ausgehenden Linien mit den zugehörigen NS-Anlagen gezeichnet. Die Querverbindungen lassen sich auch für Berechnungssimulationen nutzen, die in der Projektverwaltung als Bearbeitungsstand registriert und fortgeschrieben werden können.

### Online-Dokumentation als Informationssystem für Anlagenbetreiber

Bei der Online-Dokumentation als Informationssystem für Anlagenbetreiber

macht es Sinn, wenn die Berechnungsunterlagen nicht einfach abgelegt und vergessen werden, sondern die Anlagen in der Online-Dokumentation ständig auf großformatigen Bildschirmen einsehbar sind. Zunächst wird die gewünschte MS- bzw. NS-Anlage gewählt. Durch Klick auf die Verteilerliste zoomt der Rechner den Übersichtsplan, stellt den Verteiler in die Bildschirmmitte und markiert die Sammelschiene. In Vorbereitung sind anlagenübergreifende Suchfunktionen über die Betriebsmittel-Kennzeichnungen für Sammelschienen, Schutzgeräte oder Kabel, die zum gleichen Ziel führen.

Alle bisherigen Auswertungen für diesen Teilbereich können dann angefordert werden. Dazu zählen: Plot im DXF-Format, Berechnungsnachweis einschließlich der Betriebsmittelkennzeichnungen mit den größten und kleinsten Kurzschlussströmen für Schutz bei Überlast, Schutz bei Kurzschluss, Schutz gegen elektrischen Schlag, Spannungsfall (auch kumuliert), Selektivitäts-Staffelplan; ferner Kabellängen, Kabeltyp, Leiterquerschnitt, Schutzgeräte mit Fabrikat, Typenbezeichnung und Auslösereinstellungen, Umrechnungsfaktoren, Gleichzeitigkeitsfaktoren sowie die Belegung der Trassenabschnitte mit Durchmesser, Gewicht und Brandlast der Kabel. Mit diesen Informationen gerüstet, lässt sich die Arbeitsvorbereitung für Wartung, Änderung oder Erweiterung gezielt angehen.

### Die Anlagenfortschreibung

Stehen betriebliche Änderungen an, haben sie immer Einfluss auf die elektri-

schen Netze. Änderungen im Netzaufbau werden in einem neuen Bearbeitungsstand durch Kopieren der aktuellen Version vorgenommen. Frühere Bearbeitungsstände bleiben so erhalten und sichern die Konsistenz der Datenbasis. In „elcoCAD“ als Kabelmanagementsystem werden neue Leitungswege dreidimensional gewählt. Dabei helfen die vorhandenen Trasseninformationen. Alle Kabelverläufe können immer visualisiert werden, wobei die entsprechenden Pläne nacheinander automatisch aufgerufen und der Kabelverlauf ausgeleuchtet werden.

Die neuen Leistungsanforderungen werden automatisch nach oben durchgereicht und können dann zu neuen Einspeiseschaltern, Zuleitungskabeln, Transformatoren und Generatoren sowie zu Veränderungen auf der MS-Ebene führen. Anlagenbetreiber können ein solches Berechnungs- und Informationssystem bei neuen Projekten vorgeben, so dass sich externe Planer und ausführende Unternehmen – wie es sinngemäß auch in der Steuerungstechnik gehandhabt wird – an den eingeführten Standard halten. Die Fortschreibung der Daten sollte also Vertragsbestandteil sein. Die so entstehende Verfahrenskette spart bei den Beteiligten Zeit und Kosten, trägt zur Vermeidung von Koordinierungsfehlern bei und beugt Planungsfehlern in der Zukunft vor.

Wenn der Auftraggeber nicht das Personal für die Aufnahme der vorhandenen elektrischen Anlagen zur Verfügung stellt, können diese Dienstleistungen übernommen bzw. an Beratende Ingenieure delegiert werden. Auch Pflege und Fortschreiben der Anlagen können im Rahmen eines Wartungsvertrags erfolgen.

### Literatur

- [1] DIN 18382:2002-12 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Nieder- und Mittelspannungsanlagen mit Nennspannungen bis 36 kV. Berlin-Offenbach: VDE VERLAG
- [2] Hannappel Software GmbH, Wiesbaden: [www.elcosystem.de](http://www.elcosystem.de)
- [3] Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB), bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn: [www.gaeb.de](http://www.gaeb.de)
- [4] ON Österreichisches Normungsinstitut (ÖNORM), Wien/Österreich: [www.oenorm.at](http://www.oenorm.at)
- [5] AutoCAD, Autodesk GmbH, München: [www.autodesk.de](http://www.autodesk.de)
- [6] Bentley Building Electrical Systems, Bentley Systems Germany GmbH, Ismaning: [www.bentley.de](http://www.bentley.de)
- [7] Hannappel, K. H.: Berechnen elektrischer Anlagen. etz Elektrotech. + Autom. 121 (2000) H. 15, S. 26–29 (ISSN 0948-7387)
- [8] Hannappel, K. H.: Selektivschutz mit unterschiedlichen Schaltgeräteherstellern, de 78 (2003) H. 10, S. 66–67 (ISSN 1617-1160)