Unterstationsplanung

Autor(en): **Bosshart, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **92 (2001)**

Heft 15

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855734

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Unterstationsplanung

Funktionale Anforderungen für Unterstationen der Energieübertragung

Beim heute praktizierten Unterstationsdesign beginnt die Lösungssuche häufig schon, bevor sämtliche Anforderungen vorliegen. Zudem enthalten solche Anforderungen oft bereits Lösungsvorgaben. Beides behindert die Suche nach optimalen Lösungen. Unter Anwendung aktueller Erkenntnisse aus dem System-Engineering lässt sich eine Schnittstelle zwischen Auftraggeber und Lösungsentwickler definieren, die auf eine verbesserte Lösungssuche (Prozess und Ergebnis) abzielt. Die bei der Einführung dieser Schnittstelle auftretenden Hindernisse können überwunden werden.

Wird heute eine Schaltanlage gebaut, sind oft drei Parteien an der Lösung beteiligt (Bild 1): der Auftraggeber selber, möglicherweise sein Berater sowie der Lieferant. Der Auftraggeber erarbeitet zusammen mit dem Berater ein einpoliges Schaltschema (SLD, Single Line Diagram) und eine Spezifikation. Beides

Peter Bosshart

macht den Löwenanteil der Lösung aus. Der Lieferant übernimmt diese Vorgaben und ergänzt selbständig oder in Absprache mit dem Auftraggeber die Lösung für den noch nicht definierten Rest. Häufig betrifft dies das Anlagenlayout, Stahlstrukturen, Bauten, Erdungsanlagen, Verkabelung und Komponentenwahl.

Diese Situation ist gemäss Erkenntnissen aus dem System-Engineering nicht optimal, weil die Anforderungen zu Beginn der Lösungssuche oft unvollständig vorliegen und meist noch Lösungsanweisungen enthalten. Stellvertretend für weitere Designgebiete sei dies aus Sicht der Softwareentwicklung dargestellt:

«Der häufigste Fehler ist, dass in den Anforderungen schon zu viele Lösungsentscheide vorweggenommen werden. Erfahrene Softwareentwickler haben gelernt, den Wunsch eines Auftraggebers nach einer zweiten Treppe ins Obergeschoss zu überhören und nach den tiefer liegenden, eigentlichen Anforderungen zu forschen (nämlich eine Möglichkeit, im Haus die Essenszeit anzukündigen). Richtig formulierte Anforderungen lassen dem Designer genügend Freiraum, die beste Lösung zu finden (z.B. eine Gegensprechanlage, ein Telefonruf oder ein Gong). Überbestimmte Anforderungen führen zu schlecht passenden Lösungen» (nach Steve Colwell).

Eine teilweise vergleichbare Situation liegt heute im Schaltanlagendesign vor. Mit dem einpoligen Schaltschema SLD gibt der Auftraggeber einen wichtigen Teil der Lösung vor. Obwohl das SLD eine gute Abstraktion von Funktionen wie Schalten, Trennen, Transformieren, Messen usw. ermöglicht, spezifiziert es, wie diese Elemente miteinander zu verbinden sind, was als wesentlicher Teil der Lösung den Freiheitsgrad des Entwicklers einschränkt. Der zerstückelte Lösungsraum verhindert hier die umfassende Suche nach einer optimalen Lösung, wie sie durch Kombination neuer Schaltanlagentopologien mit der Vielfalt innovativer Technologien und Geräte entstehen kann.

Die Situation ist nicht nur aus Sicht der Lösung unbefriedigend, sondern auch hinsichtlich des Lösungsprozesses und der damit verbundenen Kosten. Mangels geeigneter Schnittstellen und klar geregelter Verantwortung wird viel Zeit für Kommunikation benötigt. Dabei besteht die Gefahr von Missverständnissen und Informationsverlust, was Kosten durch Nacharbeit und Korrekturen nach sich zieht.

Strukturiertes Vorgehen ist nötig

Bei der Entwicklung von Software oder Digitalsystemen hat man sich schon länger an einem strukturierten Vorgehen orientiert, das die Phasen «Erfassen von Anforderungen» und «Design» klar trennt. Bei der Hardwareentwicklung hat man zur Kopplung dieser beiden Phasen eine Sprache erfunden (VHDL, VHSIC Hardware Description Language; VHSIC =Very High Speed Integrated Circuit) [1], die beschreibt, was eine digitale Maschine zu tun hat, ohne festzulegen, wie sie es tun muss. Für die Softwareentwick-

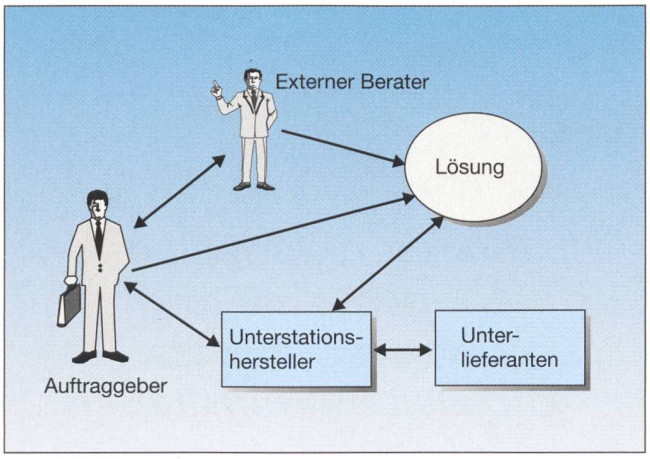


Bild 1 Verteilte Verantwortung für die Lösung im heutigen Schaltanlagendesign

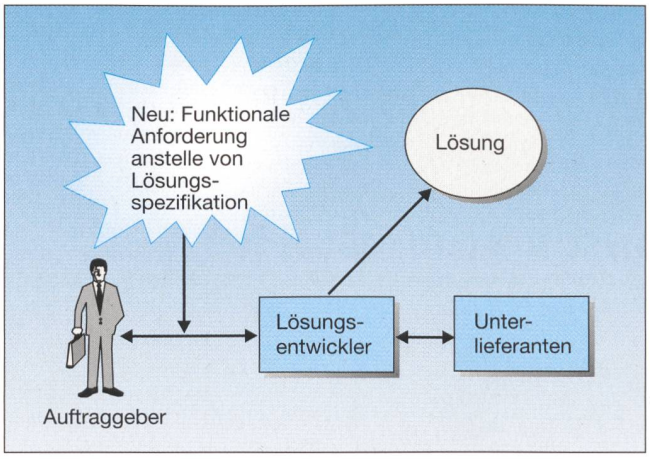


Bild 2 Schaltanlagendesign basierend auf funktionalen Anforderungen

lung wurde im Standard IEEE Std 830-1993 [2] vorgeschlagen, wie Anforderungen an eine Software zu formulieren sind, um die erwähnten Fehler zu vermeiden.

Diese Aufteilung in «Anforderung» und «Design» kann auch an das Schaltanlagendesign adaptiert werden (Bild 2). Das neue Schlüsselelement ist die Schnittstelle zwischen Auftraggeber und Lösungsentwickler, als *funktionale Anforderung* bezeichnet. Als Konsequenz liegt die Designverantwortung beim Lösungsentwickler. Seine Aufgabe ist es, für eine geforderte Funktion eine für den Auftraggeber optimale Lösung zu erarbeiten.

Funktionale Anforderung

Dieser Begriff steht für den gesamten Satz von Anforderungen, bestehend aus Grundanforderungen, Parametern und speziellen Anforderungen, mit denen eine Unterstation beschrieben wird. Das Adjektiv «funktional» wird benutzt, um diese neuen Anforderungen von den traditionellen Anforderungen an eine Unterstation zu unterscheiden. Eine wichtige Unterscheidung in diesem Bericht betrifft Typ und Wert einer funktionalen Anforderung. In Bild 3 wird dies am Beispiel eines Leistungsschalters erläutert. Der gesamte Leistungsschalter wird durch mehrere Anforderungen (Zeilen in Bild 3) bezeichnet. Jede einzelne Anforderung besteht aus einem Typ und einem zugehörigen Wert.

Die funktionale Anforderung «Nennspannung 170 kV» hat den Typ «Nennspannung». Die Typenbeschreibung bezeichnet jede Anforderung und erlaubt eine eindeutige Interpretation des zugehörigen Wertes. Optional kann ein Wertebereich oder eine Auswahlmöglichkeit von Werten dazukommen. Typen können auch zusammengesetzter Natur sein, z.B. eine Karte. Ein zugehöriger Wert könnte ein bebaubares Grundstück bezeichnen.

Hindernisse bei der Definition funktionaler Anforderungen

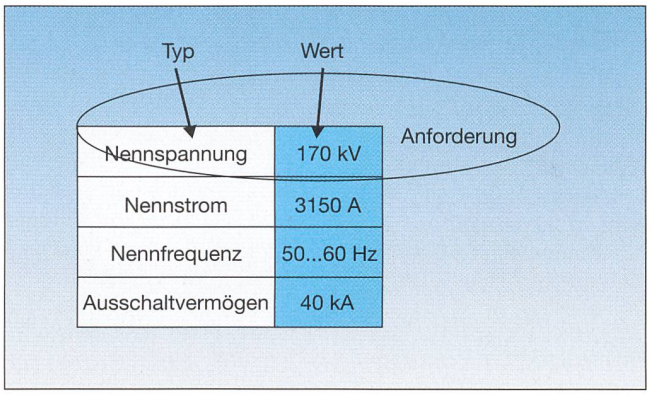
Seit einem Jahr entwickelt ABB die Definition einer funktionalen Anforderung für das Schaltanlagendesign. Dabei ist sie mit verschiedenen Problemen konfrontiert worden, die teilweise beim Lösungsentwickler während der Definition, teilweise beim Auftraggeber bei der Anwendung der funktionalen Anforderung auftreten.

Unterstation und Netzplanungspraxis

Der Auftraggeber arbeitet bei seiner Netzplanung mit Netzvarianten. Eine optimale Netzvariante wird dabei aus einer Gesamtbetrachtung aller eng verflochtenen Elemente aus Erzeugung, Übertragung und Verbrauch gewonnen [6]. Aus praktischen Gründen unterteilt der Netzplaner diese grosse Planungsaufgabe in möglichst unabhängige Entscheidungsblöcke. Bisher befragte Auftraggeber behandeln die Unterstation eher als bauliche Einheit und nicht als funktionalen Block. Dies ist daran erkennbar, dass der Auftraggeber für die Unterstation selber keine funktionalen Anforderungen besitzt. Er geht direkt dazu über, die Lösung für den Block im SLD vorzugeben.

Das Problem besteht hier also darin, dass der Auftraggeber bisher nicht explizit motiviert ist, funktionale Anforderungen einer Netzvariante auf der Ebene von Unterstationen zu formulieren.

Bild 3 Anforderungen am Beispiel eines Leistungsschalters



Änderung einer Tradition

Ein optimales Schaltanlagendesign gemäss Bild 2 bedingt eine Änderung der traditionellen Rollenverteilung. Beim Auftraggeber müsste sich die technische Kompetenz vom Erarbeiten der Lösung in Richtung Anforderung verlagern. Konkret bedeutet dies, dass der Auftraggeber aus seiner übergeordneten Netzplanung die funktionalen Anforderungen an die zu projektierende Unterstation ableitet.

Fehlender Anreiz zur Optimierung einer Lösung

Im bestehenden Schaltanlagendesign gemäss Bild 1 können bis zu drei Stellen Einfluss auf die Lösung haben. In dieser Konstellation ist es praktisch unmöglich, jemanden für die Optimierung verantwortlich zu machen. Es fehlen Anreize zum Verbessern der Situation, z.B. durch Mithilfe bei Aufbau und Einführung einer funktionalen Anforderung.

Komplexität des Produktes Unterstation

Verglichen mit der traditionellen Spezifikation ist die Handhabung der funktionalen Anforderungen einfacher. Der Definitionsprozess einer funktionalen Anforderung ist jedoch aufwändig, da die Unterstation ein komplexes Produkt ist, dessen Eigenschaften z.B. massgeblich mit dem umgebenden Netz, der lokalen Gesetzgebung und der Umgebung verknüpft sind.

Die funktionale Anforderung soll alle diese Informationen enthalten, damit der Lösungsentwickler eine optimal passende Lösung erarbeiten kann. Von der funktionalen Anforderung werden folgende Eigenschaften erwartet, die teilweise im Widerspruch zueinander stehen:

- Gleichwertiger, allgemein akzeptierter Ersatz für das gewohnte einpolige Schema SLD
- Berücksichtigung verschiedener Grössen und Typen von Unterstationen
- Berücksichtigung vielfältiger Randbedingungen wie die Einbindung in vorhandene Schutzkonzepte, Versorgungsverpflichtungen während Umbauphasen, Transporteinschränkung für Baugruppen usw.
- Eignung für verschiedene Geschäftsfälle (Neubau, Ausbau, Erneuerung)
- Handhabbarkeit noch unbekannter Anforderungen
- Erfassung von Präferenzen des Auftraggebers zur Auswahl der gewünschten Lösung, wie z.B. durch Gewichtung von Kosten, betrieblicher Flexibilität, Umweltfreundlichkeit usw.
- Einfach und anwendungsfreundlich in der Handhabung

Ein kritischer Punkt ist die Definition eines gleichwertigen, aber lösungsneutralen Ersatzes der Schaltanlagentopologie des SLD.

Für die Definition der funktionalen Anforderungen sind folgende Kompetenzen erforderlich:

- Fähigkeit zur Unterscheidung zwischen Anforderung und Lösungsspezifikation
- Fähigkeit, verteiltes Expertenwissen zusammenzuführen

– Fähigkeit zur Generalisierung. Die funktionale Schnittstelle soll wiederverwendbar sein.

Die Schwierigkeiten in diesem Punkt werden unterschätzt. Eine Generalisierung erfordert Abstraktion. Sobald man das Feld konkreter Lösungen verlässt, wird die Anforderung unanschaulich, was die Kommunikation erschwert und den Definitionsprozess verlangsamt.

Beiträge zur Lösung

Grundsätzlich stellt sich die Frage, wer die funktionalen Anforderungen, genauer gesagt deren Typen, definieren könnte. Es sind die in Tabelle I gezeigten Fälle denkbar.

Auftraggeber	Lösungsentwickler	Fall
•		1
	•	2
•	•	3

Tabelle I Mögliche Definitionen der Typen funktionaler Anforderungen

Aus Sicht des Lösungsentwicklers ergeben sich je nach Fall unterschiedliche Konsequenzen. Die Fälle 1 und 2 stellen die in Bild 4 gezeigten Extremfälle dar.

Fall 1

Der Auftraggeber sammelt seine Anforderungen (Typen und Werte), z.B. durch Einsatz eines Requirement-Management-Werkzeuges[1]. Damit lässt sich immerhin ein Anforderungsdokument erzeugen, das den im nachfolgenden Abschnitt «Adaption bestehender Normen» dargestellten Qualitätsansprüchen genügt. Es könnte als Basis eines Liefervertrages herangezogen werden. Da der Lösungsentwickler die Anforderungstypen jedoch nicht im Voraus kennt, kann er solche Anforderungen nicht automatisiert weiterverarbeiten. Sie bedürfen immer noch einer manuellen Interpretation. Diese muss der Lösungsentwickler für jeden Auftraggeber neu vornehmen, solange nicht alle Auftraggeber ein einziges, standardisiertes Format von Typen verwenden.

Fall 2

Es gelingt dem Lösungslieferanten, sämtliche denkbaren Anforderungen zu typisieren. Das Ergebnis ist eine wiederverwendbare funktionale Anforderung. Jeder Anwendungsfall wird dabei durch einen Satz von Werten bzw. festgelegten Schlüsselwörtern repräsentiert. Solche Werte lassen sich problemlos automatisch weiterverarbeiten, z.B. zur raschen Offertstellung durch einen Produktekonfigurator.

Fall 3

Zwischen den Extremen liegt der Fall 3: Sobald besondere Anforderungen zu berücksichtigen sind, können nicht mehr alle Anforderungstypen im Voraus definiert werden. Einen möglichen Ausweg stellen leere Textfelder dar, die der Lösungsentwickler nur so weit beschriftet, dass ein Auftraggeber darin mühelos seine Spezialanforderungen zuordnen kann.

Aus Sicht des Lösungsentwicklers ist daher Fall 2 für alle Standardfälle und Fall 3 für Fälle mit Spezialanforderungen anzustreben. Das Augenmerk wird daher auf Fall 2 gelegt.

Adaption bestehender Normen

Auf diesem Gebiet sind noch keine Normen zur Spezifikation von Anforderungen bekannt. Daher wurde auf einen «fremden» Standard zurückgegriffen, der einen Definitionsprozess von Anforderungen empfiehlt, damit

– der Auftraggeber genau beschreibt, was er erhalten möchte
– der Lösungsentwickler genau versteht, was der Auftraggeber möchte
– die Anwender einen Rahmen erhalten, in dem sie Anforderungen ihres Gebiets inhaltlich und formal festlegen können
– die Anwender Hilfestellung in Form von Checklisten und Qualitätskriterien erhalten

Genau dieses Ziel verfolgt die Norm IEEE Std 830-1993 [2] im Bereich der Softwareentwicklung für die Schnittstelle zwischen Auftraggeber und Lösungsentwickler. Drei Punkte zeigen die wichtigsten Empfehlungen und deren Anwendung:

Rahmen für die Anforderungen

Neben den funktionalen Anforderungen werden weitere Informationen benötigt, damit der Definitionsprozess konvergieren kann und ein klares Bild von der Anwendbarkeit entsteht.

Gültigkeitsbereich: Welche Design-Detaillierung soll beschrieben werden? Entwurf, Offerte, vollständige Ausführung?

Systemfestlegung: Modell der Unterstation; was gehört zum Netz, was zur Unterstation?

Geschäftsfälle: Festlegen, welche Geschäftsfälle man mit der funktionalen Anforderung abdecken möchte, wie z.B. Neuaufbau, Nachrüstung oder Ausbau einer bestehenden Anlage.

Struktur für die Menge der Anforderungen

Sie ist eine Voraussetzung, um Übersichtlichkeit und Verständlichkeit sicherzustellen. Für Unterstationen hat sich folgende Aufteilung herauskristallisiert:

– Grundfunktionen. Darunter sind die stillschweigend vorausgesetzten Anforderungen zu verstehen, für die der Auftraggeber bisher im SLD schon Lösungen spezifiziert hat. Sie werden hier ausdrücklich genannt. Es sind die beiden Energieübertragungsfunktionen Versorgung und Transfer, die wichtige Aufhänger für weitere Anforderungen sind.
– Parameter (Performance) und Randbedingungen
– spezielle Anforderungen

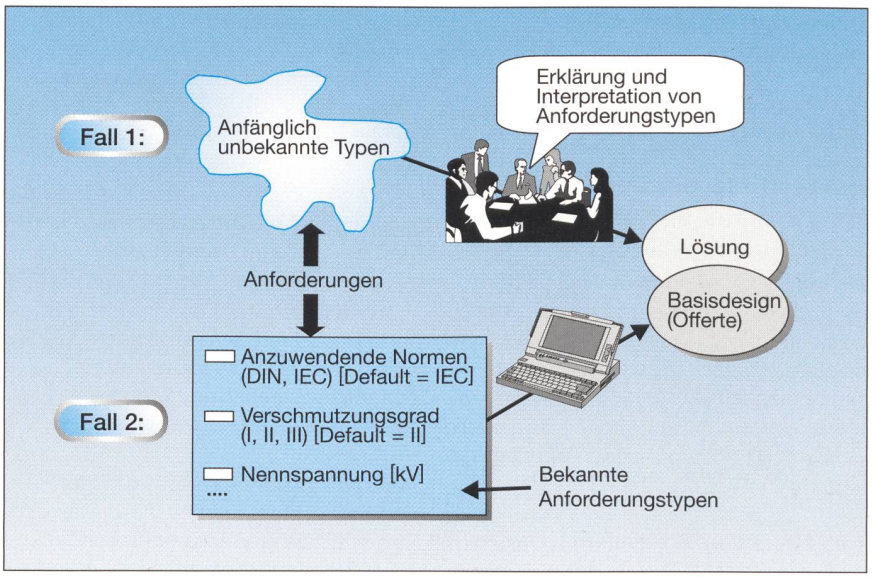


Bild 4 Extremfälle bei der Unbestimmtheit von Anforderungstypen

Qualitätskriterien

Die Kriterien *Korrektheit, Eindeutigkeit, Vollständigkeit, Konsistenz, Prüfbarkeit, Änderungsfreundlichkeit* sowie *Begründbarkeit* sind sehr hilfreich für die Auswahl und Formulierung der Anforderungen. Ein zentrales Qualitätskriterium ist, dass Anforderungen keine technische Lösung vorgeben sollen.

Das Strukturieren der Anforderung, wie oben gezeigt, verbessert die Qualität massgebend, weil dadurch Redundanz vermieden wird. Die Qualitätskriterien sind selbstverständlich auch bei der Formulierung spezieller Anforderungen anzuwenden.

Definition von Anforderungstypen aus Sicht des Lösungsentwicklers

Hier wird zusammengefasst, wie bei der Definition funktionaler Anforderungen beim ABB-Projekt Oscar (Optimal Substation Concept And Research) [3, 4] vorgegangen wurde. Es werden die nachfolgend aufgeführten Phasen A bis D beschrieben, die in mehreren Iterationen durchlaufen wurden.

A: Sammlung der Anforderungen

Die folgenden vier Quellen wurden benützt, um mögliche Typen von Anforderungen zu identifizieren:

1. Systemanforderungen: Welche Aufgaben erfüllt eine Unterstation in einem Energieübertragungssystem? Die stillschweigend vorausgesetzten – jedoch fundamentalen – Aufgaben einer Unterstation sind:

- Einstellung einer bestimmten Netztopologie
- Fehlerisolation: möglichst lokale Begrenzung von Fehlerauswirkungen
- Sicherstellen von topologischer Redundanz, damit während Revisionen (z.B. bei Transformatoren, Leistungsschaltern usw.) Einfachausfälle keine Versorgungsausfälle bewirken

2. Designentscheidungen und Komponentenauswahl: Der Ansatz eignet sich, Anforderungen wie technische Parameter und Betriebsbereiche zusammenzutragen. Hierbei propagieren wir Leistungsbegrenzungen von unten nach oben: Der Lösungsentwickler kennt die Entscheidungen, die er an verschiedenen Stellen treffen muss, sei dies bei der Auslegung von Leitern, Isolationsstrecken, Gerüsten, Fundamenten oder bei der Auswahl von Komponenten. Der Betriebsbereich jeder Komponente hat mindestens mechanische, elektrische und thermische Grenzen. Weitere Grenzen können z.B. Schalt- und Reaktionszeiten darstellen.

Nichtidealitäten von Komponenten wirken daher als Anforderungen an eine gesamte Unterstation. Die Gefahr dabei ist allerdings, dass der Satz von Anforderungen zu gross und überdies technologieabhängig wird. So hat sich der Parameter «Höhe über Meer» als Anforderung eingebürgert, obschon er bei Anwendung nicht luftisolierter Technik überflüssig ist.

Das Vorgehen erweist sich dennoch als praktikabel, solange man davon ausgeht, dass künftige Technologien mit etwa denselben Begrenzungen behaftet sind.

3. Eingabedaten von technischen und ökonomischen Bewertungsmethoden von Unterstationslösungen: Mit Hilfe dieser Daten prüft der Entwickler mögliche Lösungsvorschläge. Generell besteht ein Zielkonflikt zwischen Kosten und erhöhter Verfügbarkeit. Damit eine optimale Lösung gebaut werden kann, muss der Lösungsentwickler vom Auftraggeber über die Anforderungen Anhaltspunkte für die optimale Lösungsauswahl erhalten [3], z.B. über die Ausfallkosten (stochastisch/geplant) nicht gelieferter Leistung und Energie sowie über Reparaturkosten.

4. Bestehende Ansätze: Eine weitere Quelle sind Checklisten zur Abwicklung kompletter Unterstationsdesigns sowie Projekte mit Stossrichtung E-Commerce. Auf wissenschaftlicher Seite gibt es ein Expertensystem für das Design von Unterstationen (Side) [5]. Seine Eingabeparameter entsprechen weitgehend den Kriterien funktionaler Anforderungen und sind daher mögliche Kandidaten.

B: Redundante Anforderungen identifizieren und beseitigen

In diesem Schritt werden die gesammelten Anforderungen mit den Qualitätskriterien daraufhin untersucht, ob die Anforderungen miteinander verträglich bzw. redundant sind. Dies kann leicht der Fall sein, wenn gleichzeitig verschiedene Beschreibungssysteme nebeneinander in einer Spezifikation stehen.

C: Auswahl der Anforderungen

Eine anwendungsfreundliche funktionale Anforderung soll natürlich eine minimale Menge von Anforderungen enthalten. Diese ist jedoch weitgehend davon abhängig, was man mit den Anforderungen alles beschreiben möchte. Für die Auswahl von Topologie und Schaltertypen reichen 12 bis 30 Anforderungstypen zum Entwurf einer Schaltstation, je nachdem, ob mit deterministischen oder probabilistischen Zuverlässigkeitsanforderungen gearbeitet wird. Für ein Basisdesign von Umspannstationen benötigt man mindestens 90 Anforderungstypen[2], und für Umspannstationen mit Kompensation und Beeinflussung der Spannungsqualität gibt es Vorschläge mit etwa 250 Anforderungstypen.

Anforderungen können daher nur für ein festgelegtes Beschreibungsziel ausgewählt werden. Es ist schwierig, alleine aus der Optik des Lösungsentwicklers heraus Kriterien zur Auswahl von Anforderungstypen aufzustellen. Ein Kriterium, das nur den Einfluss auf die Lebenszykluskosten einer Lösung betrachtet, greift zu kurz und würde kostengünstige Anforderungen unterschlagen, die dennoch wichtig für die geforderte Funktion sind.

Hingegen kann der Lösungsentwickler Kriterien hinsichtlich des Designprozesses aufstellen. Der Designprozess ist auch bei Unterstationen ein mehrstufiger Entscheidungsprozess. Im heutigen Schaltanlagendesign nach Bild 1 sind der Auftraggeber und sein Berater auf mehreren Stufen beteiligt. Es überrascht daher nicht, dass heute viel mehr Anforderungen zwischen Auftraggeber, Berater und

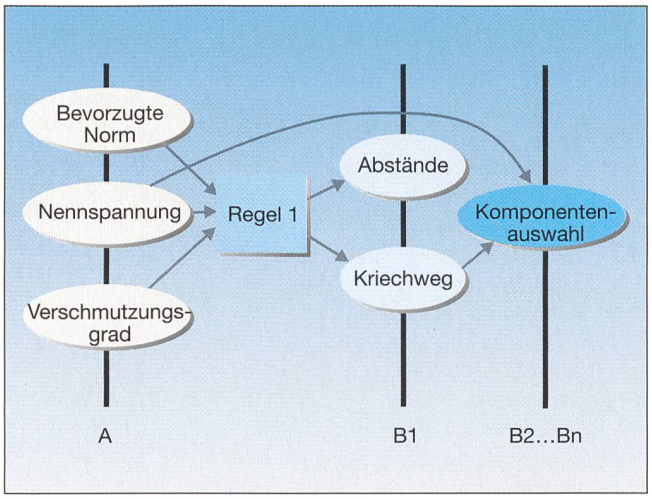


Bild 5 Beispiel für Design-interne Anforderungen in Zwischenebene B

Hersteller kommuniziert werden, als in der funktionalen Anforderung notwendig sind.

Zum Ausfiltern solcher «Design-internen» Anforderungen stellen sich folgende Fragen:

1. Ist die Anforderung immer noch notwendig, wenn eine interne Designentscheidung geändert wird? Falls sie mit Nein beantwortet wird, kann man die Anforderung weglassen. Beispiel: Maximaler Fülldruck als Anforderung macht nur Sinn in einer gasisolierten Technologie. Falls sich der Lösungsentwickler für die luftisolierte Technik entscheidet, ist die Anforderung überflüssig, falls nicht spezielle Anforderungen des Auftraggebers vorliegen, wie z.B. die Benützbarkeit vorhandener Füllanlagen.
2. Ist die Anforderung über eine allgemein bekannte Regel von einer andern Anforderung ableitbar? Ist die Antwort ja, handelt es sich nicht um eine funktionale Anforderung (Bild 5). Die beiden Anforderungen «Abstände» und «Kriechweg» sind Design-interne Anforderungen, da sie sich über eine Regel, z.B. IEC-Norm 71-2 (1996), von der Nennspannung und dem Verschmutzungsgrad der Luft am Aufstellungsort der Unterstation ableiten lassen.

Nur die in Ebene A liegenden Anforderungen «Nennspannung», «bevorzugte Norm» und «Verschmutzungsgrad» gehören zur funktionalen Anforderung.

D: Review durch Experten aus Engineering und Offertwesen

Im Review wird die Frage beantwortet, ob sich auf Grund der aktuellen funktionalen Anforderung eine Unterstation offerieren lässt. Im Verlaufe der Reviews können einzelne Anforderungen als überflüssig oder fehlend eingestuft werden. Reviews sind dann effektiv und zielführend, wenn der Moderator neben den Qualitätskriterien auch die Begründungen einzelner Anforderungen griffbereit hat und auch den Grund noch kennt, weshalb eine Anforderung in einer früheren Runde ausgeschlossen wurde.

Anwendungsfreundliche Schnittstelle

Funktionale Anforderungen lassen sich aus einem interaktiven Dialog mit Hilfe eines Computers gewinnen, z.B. Webbasiert. Pro Anforderung wird dem Auftraggeber eine konkrete Frage vorgelegt. Möglicherweise ist dieses Vorgehen anwendungsfreundlicher als eine abstrakte Formatspezifikation. Überdies lässt sich ein Dialog mit Beispielen ergänzen, falls der Auftraggeber zusätzliche Hilfe braucht, um Werte für funktionale Anforderungen herauszufinden oder sich über Kosten bestimmter Anforderungswerte zu informieren.

Der Eingabeprozess endet immer mit einer vollständigen funktionalen Anforderung. Vollständigkeit ist auch das Kriterium für das Starten nachfolgender Prozesse, z.B. für eine Offerte oder ein Design.

Ausblick

Eine funktionale Anforderung ist eine Vorbedingung bei der Suche nach einer umfassend optimalen Lösung. Darüber hinaus ist sie ein effektives Mittel, um die Verantwortlichkeiten klar festzulegen und verteiltes Wissen zu konzentrieren und damit zu sichern. Der Prozess der genauen Analyse und Bestimmung von Anforderungen an eine Schaltstation wird dadurch deutlich transparenter und einfacher durchzuführen. Die gesamte Optimierung führt dann auf Grund eines optimalen Anforderungskataloges im Zusammenhang mit dem Gesamtsystem eher zu einer gesamtheitlich optimalen Lösung. Dies erspart Kosten auf allen Seiten, die sonst durch nachträgliches Ändern, Testen, Wiederinbetriebsetzen usw. entstehen können.

Eine funktionale Anforderung kann ferner als Grundlage für einen Liefervertrag herangezogen werden.

Das Weiterverfolgen dieses Weges erscheint aus Sicht des Lösungsentwicklers sinnvoll. Als Nächstes ist die Erprobung der funktionalen Anforderung in Zusammenarbeit mit Auftraggebern geplant.

Der Schritt über die funktionale Anforderung wird als Vorbedingung für künftige E-Commerce-Lösungen, z.B. die Konfiguration einer Schaltanlage via Internet mit rascher und präziser Offertstellung, betrachtet.

Für den Hersteller von Schaltanlagenkomponenten wird es dadurch auch einfacher, typische Anforderungsmuster zu erkennen und dafür geeignete Produkte zu finden.

Referenzen

[1] IEEE Std 1076-1993 IEEE Standard VHDL Language Reference Manual.

[2] IEEE Std 830-1993 IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications.

[3] *P. Bosshart, A. Carvalho:* Network Reliability Impact on Substation Design, Cigré SC23 Colloquium, Zurich, September 1999.

[4] *A. Carvalho, P. Bosshart, U. Christiansen, G. Guerra, L. Tang, H. E. Olovsson:* Functional specification as driver for technical/economical optimisation of substation, Cigré session 2000, paper 23-101.

[5] *D. Atanackovic, D. McGillis, F. D. Galiana:* A New Tool For Substation Design, IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 13, No. 4, Nov. 1998.

[6] Hütte Taschenbücher der Technik: Elektrische Energietechnik Band 3, Netze. Berlin, Springer, 1988.

Adresse des Autors

ABB Hochspannungstechnik, 8050 Zürich: Dr. *Peter Bosshart*, peter.bosshart@ch.abb.com

[1] z.B.: Doors (Quality Systems & Software), RequisitePro (Rationale Software Corp.), Casets (Rockwell International Corp.), RDT (GEC-Marconi Systems Pty Ltd)

[2] Umfang für Offerte neuer Schaltstationen, Kostentoleranz +/–10 %

Exigences fonctionnelles pour sous-stations de transmission d'énergie

Avec le concept actuellement pratiqué pour les sous-stations, la recherche de la solution commence souvent déjà avant même que toutes les exigences soient connues. En outre, il est fréquent que ces exigences contiennent déjà des ébauches de solution. Ces deux faits gênent la recherche de solutions optimales. En appliquant les expériences actuelles de l'ingénierie de système, il est possible de définir une interface entre le mandant et le développeur de solution permettant une meilleure recherche (processus et résultat). Il est possible de surmonter les obstacles surgissant lors de l'introduction de cette interface. Une exigence fonctionnelle est une condition préalable à la recherche d'une solution optimale. En outre, c'est un moyen efficace de définir clairement les responsabilités et de concentrer, pour le protéger, le savoir disséminé. Le processus d'analyse et de détermination précises des exigences posées à un poste de couplage peut ainsi être exécuté de manière nettement plus simple et transparente.