

e|m|w

Zeitschrift für Energie, Markt, Wettbewerb
Nr. 6 | Dezember 2011

6|11

Special
Erneuerbare Energien

e|m|w
Strompreisentwicklung im
Spannungsfeld zwischen Eurokrise
und Energiewende

Berliner Energierunde
Zum Thema
„Personalmanagement“

ener|gate

con|energy gruppe

ener|gate Verlag, Essen

Zustandsbasierte Instandhaltung von Transformatoren

Retrofit versus Neuanschaffung

Transformatoren sind teure Betriebsmittel, deren Instandhaltung möglichst effektiv und kostengünstig sein sollte. Da jeder Transformator einzigartigen Bedingungen unterliegt, sind generelle Aussagen zur Lebensdauer wenig verlässlich. Auch die Abschätzung der Kosten und betriebswirtschaftlichen Risiken ist schwierig. Ein Business-Case ist daher unverzichtbar für eine solide Entscheidung für oder gegen einen Retrofit.

VON JOHANNES RITTER

Leistungstransformatoren bei Energieversorgungsunternehmen (EVU) sind häufig die teuersten Betriebsmittel einer Anlage. Ihr Ausfall kann zu immensen Kosten führen. Ihre Anschaffung bedeutet Investitionen in Millionenhöhe und je größer der Transformator, umso höher der Transportaufwand und die Installationsanforderungen. Neuanschaffungen vermeiden zu wollen, ist daher nicht unverständlich. Zunehmend ausgeklügelte Instandhaltungslösungen sollen den ohnehin langen Lebenszyklus der Transformatoren noch weiter verlängern. Sie sind deswegen so aussichtsreich, weil sie zustandsbasiert operieren.

Zustandsanalyse des Transformators

Die Bewertung des aktuellen Alterszustands ist alles andere als trivial. Transformatoren sind Individualisten. Keiner ist wie der andere. Je nach Unternehmen können sich die Baupläne unterscheiden. Je nach Aufstellungsort oder Funktion können die Bedingungen der Abnutzung sehr unterschiedlich sein. Mit Online-Monitoring und diversen Laboranalysen, zum Beispiel die Gas-in-Öl-Analyse und die Analyse der Cellulose, versucht man daher, jeden Transformator

individuell zu erfassen, sodass die Instandhaltung die maximale Lebensdauer gewährleisten kann.

Das Online-Monitoring hat die Laboruntersuchungen nicht ersetzt, sondern führt häufig zu mehr Laboruntersuchungen, weil mehr Unregelmäßigkeiten auffallen, die genauer untersucht werden sollen. Doch die Genauigkeit und Vielzahl der Daten muss nicht automatisch in eine genauere Zustandsbeschreibung münden, da die Interpretation nicht nur viel Spielraum gibt, sondern auch fehlerhaft sein kann. Klare Unregelmäßigkeiten in der Ölanalyse, die auf einen zu hohen Säuregehalt oder einen Zerfall der Cellulose hindeuten, führen zu einem Wartungseinsatz. Nun ist dies aber im Grunde zu spät beziehungsweise fällt nicht mehr in die vorausschauende Wartung, die mit dem Online-Monitoring angestrebt ist. Die Daten sind nicht immer eindeutig. So kann die Ölanalyse etwas indiziert haben, was sich beim Wartungseinsatz nicht vollständig oder nicht in dem Maße bestätigt, sodass nach weiteren Ursachen gesucht werden muss. Dennoch melden diese Daten schneller mögliche Probleme und bedeuten dadurch eine Verbesserung gegenüber der rein zeit- oder erfahrungsbasierten Instandhaltung.

Die größte Herausforderung dieser Daten liegt jedoch in ihrer Interpretation. Es gibt Richtwerte, anhand derer bestimmt wird, wann eine Wartung notwendig ist. Daraus kann man jedoch noch nicht auf den Zustand des Transformators schließen. Das funktioniert nur, wenn man diesem Richtwert einen bestimmten Faktor zuschreiben könnte, mit dem er die Lebensdauer des Transformators beeinflusst. Dazu bräuchte man gleichermaßen Kompetenzen in Chemie und Elektrotechnik, die selten zu finden sind. Entweder gibt es Kopfmultipole, die ihr Wissen nicht teilen mögen, oder die

typisch deutsche Spezialisierung verschärft das Problem. Es gibt Spezialisten, zum Beispiel für die Ölanalyse, doch das Öl wirkt nicht monokausal auf den Zustand des Transformators, sondern unterschiedliche Faktoren korrelieren. Daher ist die Frage zum Zustand des Transformators trotz immensen Datenmaterials nicht eindeutig zu beantworten. Wenn es jedoch eine Formel gäbe, die zumindest Richtwerte in Bezug auf die Korrelation des Analysewerts zum Zustand des Transformators zuließe, dann wäre das ein wesentlicher Fortschritt. Dann würden die Kosten für die Messungen tatsächlich in eine vorbeugende Instandhaltung fließen können, die optimale Lebenszyklen ermöglicht. Die Kosten für eine Ölanalyse betragen 800 Euro, die Interpretation weitere 1.600 Euro. Dieses Geld muss sich betriebswirtschaftlich rentieren. Dies ist nur möglich, wenn die Daten effektiv genutzt werden und sie auch tatsächlich Informationen liefern, die Wartungseinsätze rechtfertigen und diese beschleunigen.

Allerdings lassen sich aus den Daten Trends ableiten. Damit reduziert sich das Problem, dass präzise Aussagen nicht möglich sind. Die Aussage der Probenreihe ist recht zuverlässig und kann wichtige Handlungsanweisungen geben. Ausreißer, die sich bei den

Punktanalysen zeigen können, werden hier relativiert. Auf Trends statt auf hundertprozentige Präzision zu setzen, ist häufig der bessere Weg.

Betriebswirtschaftliche Bewertung der Lebensdauer

Die Möglichkeiten und Schwierigkeiten der Zustandsanalyse eines Transformators sind denen der betriebswirtschaftlichen Bewertung ähnlich. Ein Business-Case, der als solide Entscheidungsgrundlage für das Asset-Management dienen soll, steht vor den gleichen Anforderungen an Genauigkeit und Verlässlichkeit. Im Alltag von EVU arbeiten Ingenieure und Asset-Manager meist getrennt voneinander, wodurch sicherlich eine Menge interdisziplinäres Potenzial verschenkt wird, denn beide sind aufeinander angewiesen. Um eine tragfähige betriebswirtschaftliche Handlungsempfehlung zu generieren, muss die technische Zustandsbewertung möglichst genau erfasst werden. Ein Business-Case, der über die optimale Instandhaltungsstrategie gegenüber der möglichen Neuanschaffung entscheiden soll, ist aber darüber hinaus darauf angewiesen, eine möglichst verlässliche Prognose auf mehrere Jahre im Voraus zu machen.

Die bestmögliche Erfassung und Interpretation der betriebswirtschaftlichen Daten deckt sich insofern mit den technischen Analyseverfahren, dass auch hier Punktschätzungen nicht zu den gewünschten Ergebnissen führen. Während die Trends der Online- oder Laboranalysen verlässliche Aussagen ermöglichen, sind es in der Business-Case-Analyse die Intervallschätzungen.

Die zustandsbasierte Instandhaltung ist die für das Asset-Management sicherlich interessanteste Variante, da es durch sie möglich ist, die kostengünstigste und risikoärmste Strategie zu wählen. Es muss kein neuer Transformator auf Verdacht gekauft werden. Unnötige Wartungen können entfallen. Je genauer der jetzige Zustand und seine daraus ableitbare

erwartbare Lebensdauer erfasst werden kann, umso besser für den Business-Case. Ein Business-Case betrachtet den Transformator daher sinnvollerweise möglichst in Verbindung mit den technischen Details und berücksichtigt diese in entsprechenden Berechnungen. Dazu werden Werkzeuge benötigt, die diese Übersetzung leisten. Die Einflussmap dient der Übersetzung technischer Details in ihre betriebswirtschaftlichen Effekte. Dazu werden beispielsweise aus der Höhe der Verlustleistung die daraus entstehenden Kosten errechnet.

Die Einzigartigkeit der Transformatoren muss sich im Business-Case ebenfalls widerspiegeln. Daher ist ein Business-Case für Leistungstransformatoren ebenfalls individuell. Er erfasst die Daten für einen spezifischen Transformator oder eine ausgewählte Gruppe eines bestimmten Risikoprofils.

Individuelle Lösung anstreben

Die Vielfalt der Transformatoren innerhalb eines EVU führt dazu, dass die Instandhaltungslösungen ebenso vielfältig sein können. Realistisch kann man natürlich nicht jeden Transformator einzeln betrachten. Daher wird man die Transformatoren für eine umfassendere Strategie nach geeigneten technischen Kriterien clustern und zum Beispiel bestimmten Risikoprofilen zuordnen. An einem möglichst genauen Blick auf die Vielfalt der Transformatoren kommt man jedoch nicht vorbei und dieser Blick ist sinnvollerweise mit einem Business-Case zu stützen, der technische und betriebswirtschaftliche Kriterien gleichermaßen anlegt. Das betrifft unterschiedliche Lösungen im Verlauf des gesamten Lebenszyklus wie Inspektionsintervalle im frühen Lebenszyklus oder Erneuerungen im mittleren Lebenszyklus. Die besonders kostenintensiven und risikoreichen Entscheidungen fallen am Anfang und Ende des Lebenszyklus. Das bildet sich in der typischen Badewannenkurve der vorbeugenden Instandhaltung ab. Nach der Transport- und Installationsphase sinkt die Möglichkeit des Ausfalls und bleibt während des langen mittleren Lebenszyklus sehr niedrig, bis sie am Ende altersbedingt wieder ansteigt. In diesen Phasen eines hohen Ausfallrisikos und hoher Kosten ist ein Business-Case eine sinnvolle Absicherung.

Die Neuanschaffung

Mit der Neuanschaffung geht man technisch kein Risiko ein und hat einen optimierten Leistungstransformator, der im Vergleich zu alten Transformatoren aufgrund der technischen Neuerungen effizienter ist, da er eine geringere Verlustleistung hat. Die Investition in Millionenhöhe versucht man jedoch aus betriebswirtschaftlicher Sicht zu meiden. Außerdem lassen sich die Entwicklungsfort-

schritte nicht eindeutig bewerten. Die neuen Transformatoren haben zwar eine geringere Verlustleistung, aber da sie auch in Blick auf das Material verändert wurden, sind sie nicht mehr so haltbar wie die alten Modelle. Hier überschneidet sich technisches und betriebswirtschaftliches Abwägen elementar.

Retrofit

Der Retrofit, der einen alten Transformator bis auf die Wanne komplett modernisiert, indem er die meisten Komponenten austauscht, wird damit zu einer Option am Lebenszyklusende, die technisch und betriebswirtschaftlich sinnvoll sein kann. Wenn der Retrofit inklusive möglichen Transports zum Beispiel circa 80 Prozent des Preises eines neuen Transformators kostet, kann sich diese Entscheidung lohnen. Die Möglichkeiten sind mittlerweile immens. Der Retrofit sollte möglichst nicht vor Ort, sondern in der Werkhalle durchgeführt werden, da eine kontrollierte Umgebung optimale Prüfbedingungen bietet. Doch wenn der Transport zu schwierig oder schlichtweg zu kostenintensiv ist, kann der Retrofit auch vor Ort durchgeführt werden. Bei besonders abseitigen Orten hat das den Vorteil, dass das Risiko unvorhersehbarer Transportkosten und möglicher Transportschäden ausgeschlossen wird und dementsprechende Kosten minimiert werden.

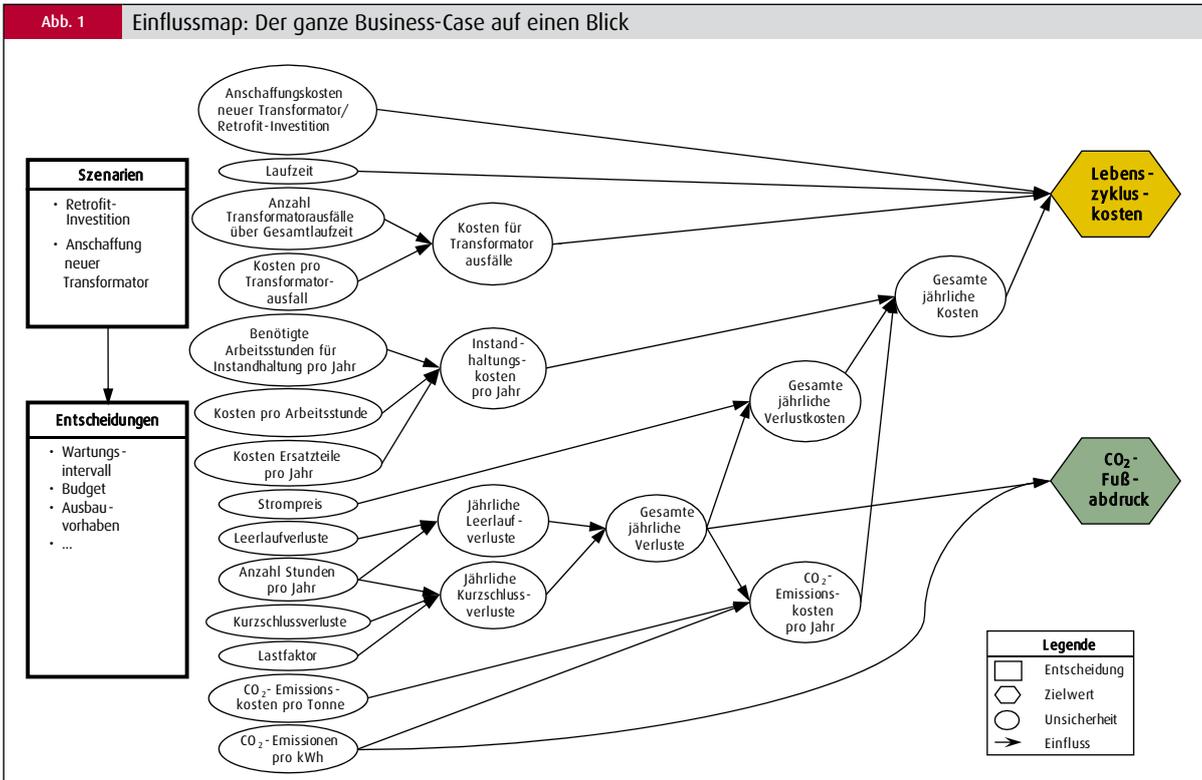
Entscheidung mittels Business-Case

Welche der oben genannten Alternativen die betriebswirtschaftlich sinnvollere darstellt, wird mithilfe eines Business-Case analysiert. Das Vorgehen erfolgt im Wesentlichen in drei Schritten.

Schritt 1: Die Einflussmap

Zuerst wird das zu bewertende Projekt mit einer Einflussmap (Abb. 1) strukturiert dargestellt. Die Einflussmap ist ein Visualisierungswerkzeug, welches die Zielwer-

Abb. 1 Einflussmap: Der ganze Business-Case auf einen Blick



ten pro Arbeitsstunde und den Ersatzteilkosten ab. Da diese und andere Größen, die das Ergebnis des Business-Case beeinflussen, im Vorhinein nicht bekannt und auch nicht kontrollierbar sind, werden sie als Unsicherheiten bezeichnet. Die Einflussmap wird sinnvollerweise durch die Zusammenarbeit aller am Projekt beteiligten und in ihren Spezialgebieten kompetenten Mit-

arbeiter erstellt. Dies führt nicht nur zu Vollständigkeit und Richtigkeit, sondern fördert gleich zu Beginn des Projektes Zusammenarbeit und Konsens unter allen Beteiligten.

te, die Unsicherheiten und die Entscheidungen jeder Alternative zueinander in Beziehung stellt. In der Einflussmap wird eine Alternative als Szenario bezeichnet. In diesem Fall wird also das Szenario 'Retrofit' mit dem Szenario 'Neuer Transformator' verglichen. Jedes Szenario geht mit dazugehörigen Entscheidungen einher, welche die Eigenschaften des jeweiligen Szenarios näher eingrenzen. Die (ent-

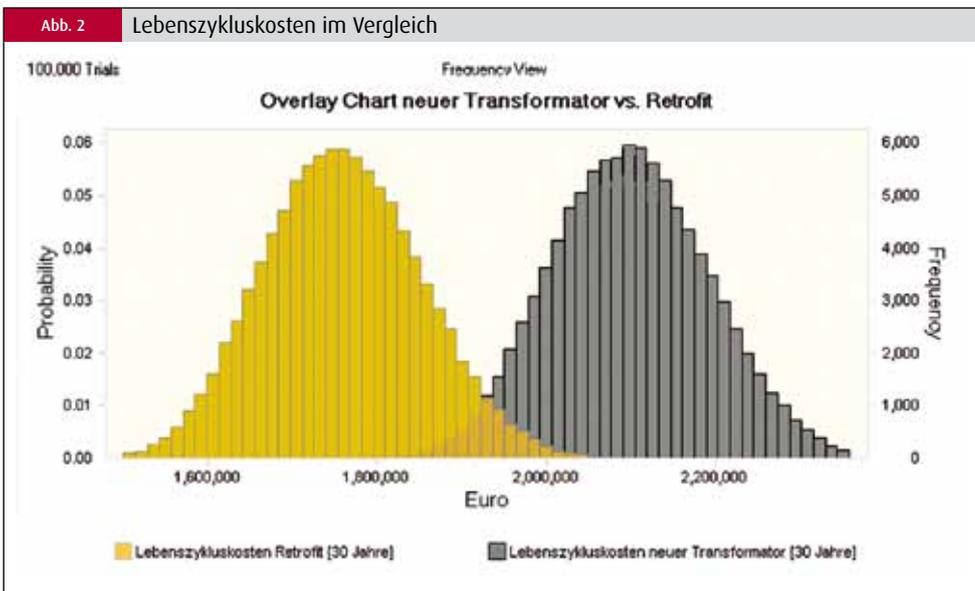
scheidende) Bewertung der Szenarien erfolgt anhand der Zielwerte, also Lebenszykluskosten und CO₂-Fußabdruck. Das Szenario, welches die geringeren Lebenszykluskosten und den geringeren CO₂-Fußabdruck erzeugt, ist vorteilhaft. Welchen Wert die Zielwerte annehmen, hängt von den zugrunde liegenden Unsicherheiten und deren Einflüssen untereinander ab. So beeinflussen unsichere Größen wie die jährlichen Instandhaltungskosten und Verlustkosten die Lebenszykluskosten. Die Instandhaltungskosten hängen wiederum von den benötigten Arbeitsstunden, den Kos-

ten pro Arbeitsstunde und den Ersatzteilkosten ab. Da diese und andere Größen, die das Ergebnis des Business-Case beeinflussen, im Vorhinein nicht bekannt und auch nicht kontrollierbar sind, werden sie als Unsicherheiten bezeichnet. Die Einflussmap wird sinnvollerweise durch die Zusammenarbeit aller am Projekt beteiligten und in ihren Spezialgebieten kompetenten Mit-

Schritt 2: Das Finanzmodell

Nach Erstellung der Einflussmap erfolgt der zweite Schritt im Business-Case-Prozess, nämlich die Erstellung des Finanzmodells. Die Einflussmap bildet nicht nur die analytische Basis für die Bewertung, sondern auch das Grundgerüst für den Aufbau und die Berechnung des Finanzmodells. Die Unsicherheiten stellen dar, welche Größen innerhalb des Finanzmodells quantifiziert werden müssen, um die Zielwerte berechnen zu können. Die Struktur der Einflussmap illustriert, welche Unsicherheiten dabei als Daten in das Finanzmodell eingegeben werden und welche mithilfe von Formeln berechnet werden. Sämtliche Unsicherheiten, die in der Einflussmap ganz links angeordnet sind, werden als Daten in das Modell eingespeist. Alle Unsicherheiten, denen ein Pfeil vorausgeht, werden durch Formeln aus den

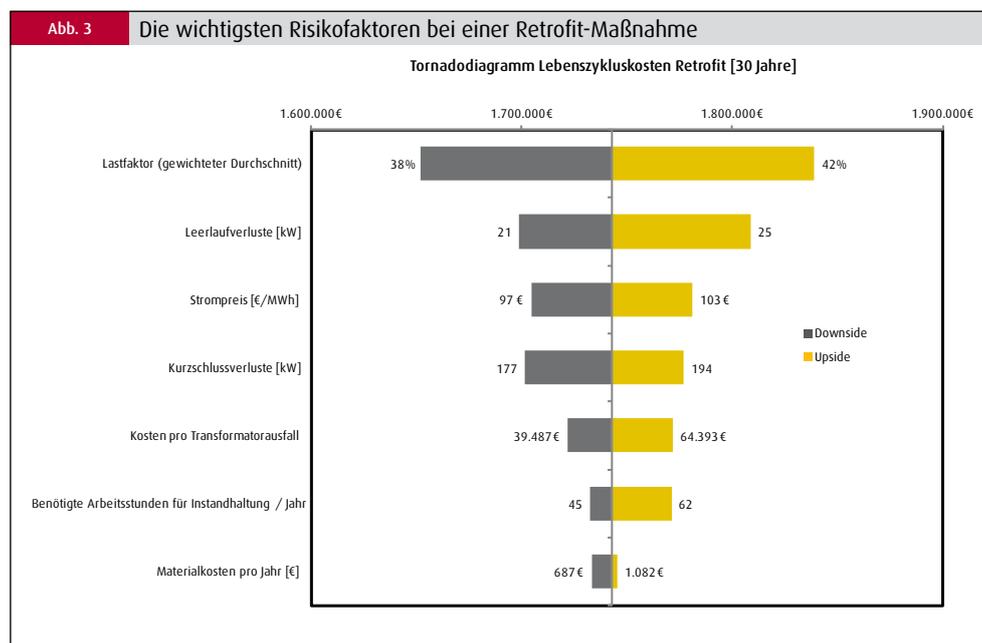
Abb. 2 Lebenszykluskosten im Vergleich



Basisdaten berechnet. Um das Finanzmodell nun mit Daten zu füllen, werden in der Regel Experteninterviews durchgeführt. Das heißt, es wird für jede Unsicherheit mindestens ein kompetenter Mitarbeiter befragt, der der jeweiligen Unsicherheit in Abhängigkeit vom unterliegenden Szenario einen Wert zuweist. Allerdings sind auch Experten nicht in der Lage, die zukünftige Entwicklung der Unsicherheiten genau einzuschätzen. Auch dem kompetentesten Experten wird es schwerfallen, die Anzahl der Transformatorausfälle über den gesamten Lebenszyklus exakt vorherzusagen. Zudem wird er mit einer Punktschätzung höchstwahrscheinlich danebenliegen. Um dieser Schwäche der Punktschätzungen zu begegnen, werden die Daten mittels Intervallschätzungen erhoben. Dazu geben die Experten einen minimalen, einen wahrscheinlichsten und einen maximalen Wert an. Anstatt das Finanzmodell also mit einem Einzelwert, wie drei Transformatorausfälle über den Lebenszyklus, zu speisen, wird ein Intervall von minimal zwei, am wahrscheinlichsten drei und maximal fünf eingegeben. Dieses Vorgehen hilft nicht nur dabei, die Unsicherheit der Bewertung zu modellieren, sondern bildet auch die Basis für die spätere Risiko- und Sensitivitätsanalyse. Sobald sämtliche Daten erhoben sind, können die Zusammenhänge mit geeigneten Formeln hinterlegt und die Zielwerte berechnet werden.

Schritt 3: Die Risiko- und Sensitivitätsanalyse

Das fertiggestellte Finanzmodell kann nun im dritten Schritt einer Risiko- und Sensitivitätsanalyse unterzogen werden. Dies ermöglicht die statistische Validierung der Ergebnisse. Die Risikoanalyse ermöglicht Aussagen über die Wahrscheinlichkeit bestimmter Ergebnisse und grenzt einen Bereich möglicher Ergebnisse ein. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Risikoanalyse für beide Szenarien in einem sogenannten Overlay-Chart. Dabei ist deutlich zu se-



hen, dass der Wertebereich für die Lebenszykluskosten bei Anschaffung eines neuen Transformators höher ist als bei einer Investition in Retrofit. Die Lebenszykluskosten liegen bei Anschaffung eines neuen Transformators zwischen ca. 1,8 und 2,4 Millionen Euro, während der Wert bei Retrofit-Investition zwischen 1,5 und 2 Millionen schwankt. Die Variation der ursprünglich erhobenen Daten spiegelt sich also im Bereich möglicher Werte für das Endergebnis wider.

Die Sensitivitätsanalyse ermöglicht Aussagen über die größten Risikofaktoren des Finanzmodells (des Projekts) und zeigt wie und in welcher Stärke diese sich auf das Endergebnis auswirken. Abbildung 3 zeigt ein sogenanntes Tornadodiagramm, welches die Unsicherheiten gemäß ihrem Einfluss auf das Endergebnis hierarchisch anordnet. Dieses Tornadodiagramm zeigt die Risikofaktoren im Hinblick auf die Lebenszykluskosten bei Durchführung des Retrofit-Szenarios. Zu den wichtigsten Einflussfaktoren und damit den größten Risikofaktoren zählen Lastfaktor, Leerlaufverluste, Strompreis und Kurzschlussverluste. Änderungen in diesen Variablen haben relativ betrachtet den

größten Einfluss auf das Endergebnis. Die Informationen aus dem Tornadodiagramm können also einen wichtigen Beitrag zur Projektsteuerung liefern.

Die Ergebnisse des Business-Case

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Investition in Retrofit in der Regel betriebswirtschaftlich sinnvoller ist als die Anschaffung eines neuen Transformators. Das Vorgehen illustriert, wie die Einflussmap dabei hilft, das Projekt strukturiert darzustellen und den Zustand des Transformators genau zu erfassen. Zudem bringt die Einflussmap alle Beteiligten an einem Tisch zusammen und definiert, welche Experten zu welchen Daten befragt werden müssen. Das Finanzmodell bringt alle für die Bewertung des Projekts relevanten Größen zusammen und berechnet die entscheidenden Ergebnisse. Die abschließende Risiko- und Sensitivitätsanalyse liefert eine statistische Validierung der Ergebnisse. Außerdem generiert das Verfahren Aussagen zur Wahrscheinlichkeit bestimmter Ergebnisse und analysiert die wichtigsten Risiken und Größen für die erfolgreiche Projektsteuerung. ■

zur Person

Johannes Ritter

- Jahrgang 1974
- Studium der Betriebswirtschaft in Passau, Helsinki und Harvard
- seit 2003 Partner bei Solution Matrix, Frankfurt am Main
- Johannes.Ritter@SolutionMatrix.de