

Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten

Assetsimulation steuert Investitionsbudget

- Einfluss auf die Zuverlässigkeit an Netzpunkten,
- Bestimmung der Investitions- und Betriebskosten,
- Festlegung des jährlichen Budgets und
- Identifikation von Investitionsspitzen zur Festlegung der erforderlichen Ressourcen.

Darüber hinaus wird die langfristige Nachbildung auf der Basis von zwei verschiedenen Betriebsmittelmodellen durchgeführt. Schließlich wird die Vorgehensweise beschrieben, welche Betriebsmittel ersetzt werden sollen, wenn das jährliche Budget festliegt.

Assetsimulation

Betriebsmittelmodell

Grundsätzlich können verschiedene Betriebsmittelmodelle verwendet werden, um eine langfristige Instandhaltungs- bzw. Erneuerungsstrategie abzuleiten. Im Folgenden werden zwei Modelle und deren unterschiedliche Ergebnisse vorgestellt:

- statistisches Modell, z. B. Normalverteilung,
- Ableitung der Verteilungsfunktion auf der Basis des aktuellen Betriebsmittelkollektivs.

Während das erste Verfahren auf allgemeinen Erfahrungen basiert, indem das Austauschverhalten von bekannten Betriebsmittelgruppen verwendet wird (z. B. aus der Literatur), wird im zweiten Fall der aktuelle Zustand der zu betrachtenden Betriebsmittel berücksichtigt [3].

Im Allgemeinen wird eine Reihe von Daten benötigt, um eine Simulation durchzuführen. Im vorliegenden Fall handelt es sich um 110-kV-Leistungsschalter. Darüber hinaus werden nur die Investitionskosten (Capex) betrachtet, da dies für einen Vergleich der beiden Betriebsmittelmodelle ausreichend ist.

Daten der Betriebsmittelgruppe

Der Datenbestand, an dem beispielhaft die Vorgehensweise erläutert wird, besteht aus 1 000 Leistungsschaltern (Anzahl normiert) mit unterschiedlicher Technologie und Installationsjahren. Die Altersverteilung ist in *Bild 1* dargestellt. Des Weiteren werden u. a. folgende Daten für eine komplette Simulation benötigt:

- Zahl der betrachteten Betriebsmittel,

Grundsätzlich kann der Assetmanagementprozess in verschiedene Schritte unterteilt werden: Hierbei wird ausgehend von der Ermittlung einer langfristigen Instandhaltungsstrategie bis zu einer konkreten Maßnahme an Betriebsmitteln der gesamte Prozess abgebildet [1;2]. Im Folgenden wird der erste Teil dargestellt, indem sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten über den gesamten Lebenszyklus einer Betriebsmittelgruppe beschrieben werden. In diesem Zusammenhang können folgende Fragen beantwortet werden:

- Ableitung einer langfristigen Instandhaltungsstrategie,

Dipl.-Wirt.-Ing. **Leyla Asgari**, wissenschaftliche Mitarbeiterin, und Prof. Dr.-Ing. **Gerd Balzer**, Fachgebietsleiter, Fachgebiet Elektrische Energieversorgung, TU Darmstadt; Dr.-Ing. **Armin Gaul**, Leiter Assetmanagement Prozesse und Werkzeuge, RWE Deutschland AG, Essen; Dipl.-Ing. **Manfred Mathis**, Leiter Tools und Support Elektrische Systemberatung, ABB AG, Mannheim.

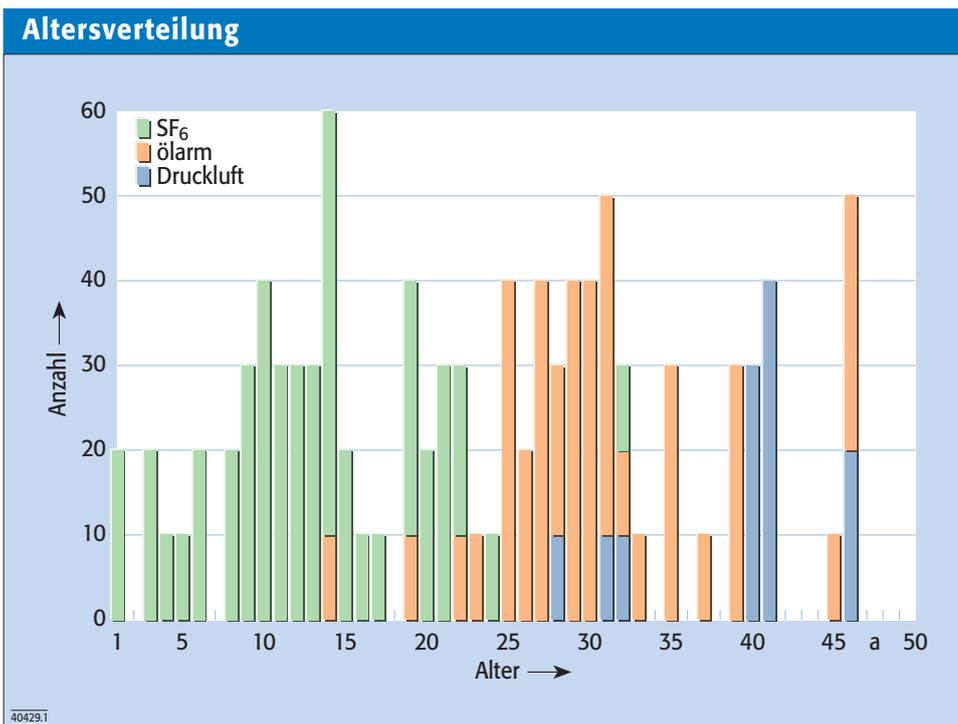


Bild 1. Altersverteilung der betrachteten Leistungsschalter

- maximales Betriebsmittelalter, nachdem ein Betriebsmittel spätestens ausgetauscht wird,
- statistisches Verhalten der gesamten Betriebsmittelgruppe,
- Altersverteilung (Bild 1),
- Investitionskosten für ein Betriebsmittel, zur Vereinfachung wird für die Berechnung ein Betrag von 25 000 € für einen neuen 110-kV-Leistungsschalter angenommen,
- Austausch-Ersatz-Verhältnis abhängig von der Netzentwicklung (≤ 1).

Nach Bild 1 ist der Übergang zwischen den einzelnen Schaltertechnologien zu sehen: Ausgehend von den Druckluftschaltern, die noch vereinzelt vorhanden sind, gibt es seit einigen Jahren ausschließlich SF₆-Leistungsschalter. Bei der nachfolgenden Simulation wird berücksichtigt, dass die auszutauschenden Geräte stets durch Schalter der neuesten Technologie ersetzt werden.

Statistische Methode (Normalverteilung)

Wenn das statistische Betriebsmittelmodell Verwendung findet, wird angenommen, dass entweder eine Dichteverteilung oder die entsprechende Verteilungsfunktion existiert. Hierbei wird vorausgesetzt, dass eine genügend große Zahl an Betriebsmitteln vorliegt. Im Prinzip können auch andere Verteilungen eingesetzt werden, z. B. die Weibull-Verteilung, die einen asymmetrischen Verlauf nachbildet, um das Alterungsverhalten eines Betriebsmittels besser anzupassen. Wenn entsprechend Bild 2 ein Mittelwert von $\mu = 42$ a für 110-kV-Leistungsschalter mit einer Standardabweichung von $\sigma = 6$ a angenommen wird, kann die Zahl der zu ersetzenden Geräte abhängig von der Lebensdauer bestimmt werden. Darüber hinaus sollte angenommen werden, dass alle Geräte, die ein maximales Betriebsmittelalter t_{\max} überschreiten, sofort ersetzt werden.

Im Allgemeinen gibt es drei verschiedene Funktionen, die das statistische Verhalten beschreiben, die ineinander überführt werden können:

- Dichtefunktion $f(t)$, Bild 2,
- Verteilungsfunktion $F(t)$,
- Ersatzrate $\lambda(t)$.

Wenn die Zahl der zu ersetzenden Geräte mit den Verteilungen berechnet wird, ist es möglich, die jährli-

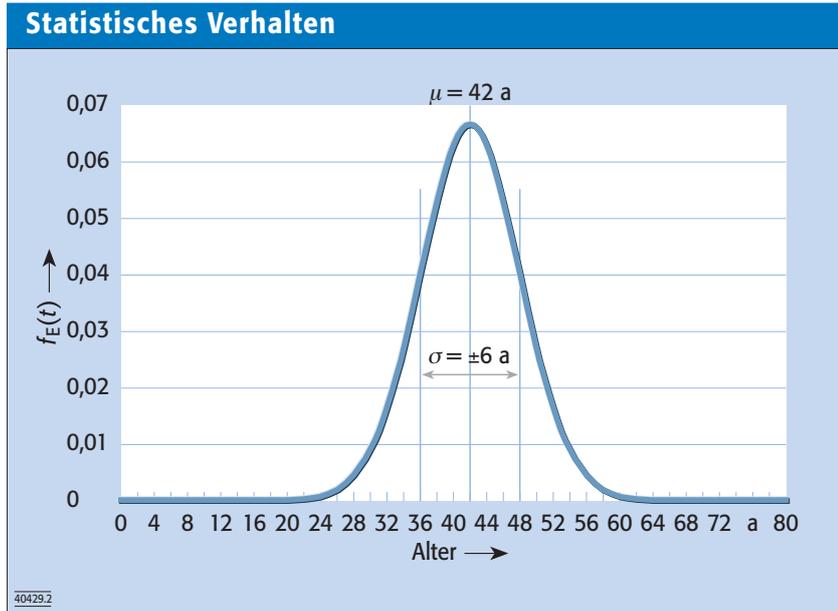


Bild 2. Statistisches Verhalten von Leistungsschaltern (Dichtefunktion $f(t)$, Normalverteilung)

chen Investitionskosten (Capex) hiervon abzuleiten. Bild 3 stellt das Ergebnis der Simulation über einen Zeitbereich 80 von Jahren dar.

In den ersten fünf Jahren werden nach der Berechnung durchschnittlich 29 Leistungsschalter ausgetauscht. Da das statistische Verhalten des gesamten Kollektivs be-

trachtet wird, ist eine Zuordnung der Geräte im Einzelfall jedoch nicht möglich.

Ableitung der Verteilungsfunktion unter Berücksichtigung des Zustands der Betriebsmittelgruppe
Während die im vorigen Abschnitt beschriebene Methode das allge-

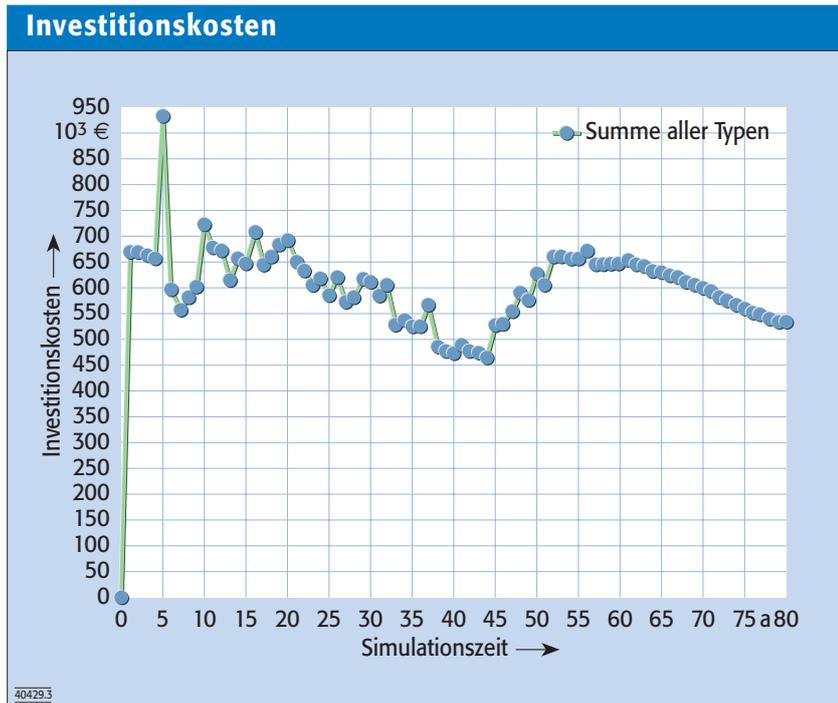


Bild 3. Jährliche Investitionskosten (Capex) des Schalterkollektivs, Normalverteilung

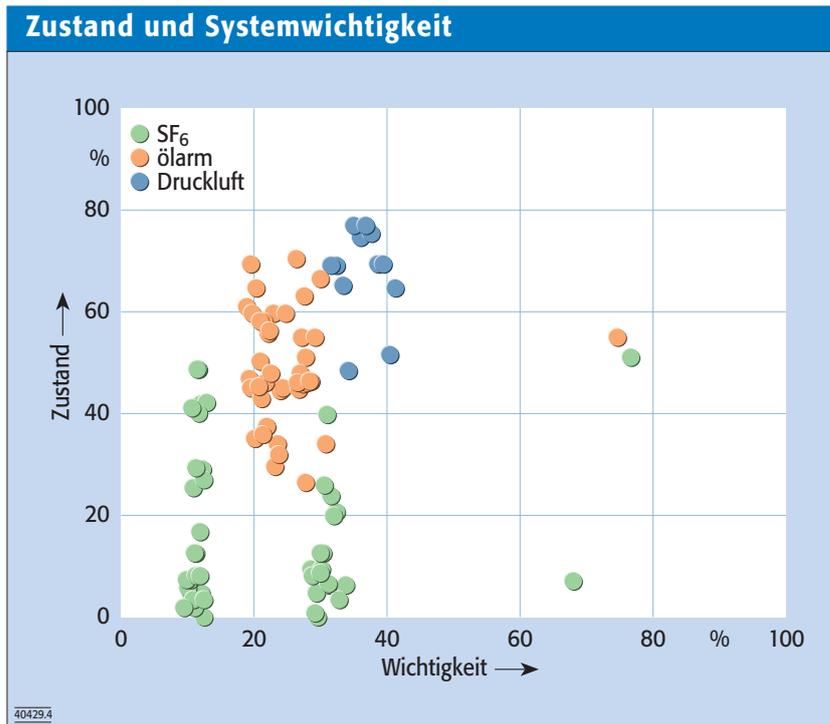


Bild 4. Zustand und Systemwichtigkeit der betrachteten Leistungsschalter

meine statistische Verhalten verwendet, das z. B. aus Veröffentlichungen abgeleitet werden kann, wird in diesem Abschnitt unterstellt, dass eine Verteilungsfunktion ausgehend vom Zustand der zu betrachteten Betriebsmittelgruppe abgeleitet wird. Diese Vorgehens-

weise ist ausführlich in [3] beschrieben. Die Vorgehensweise kann hierbei in verschiedene Arbeitsschritte unterteilt werden:

- Bewertung des Zustands der betrachteten Betriebsmittel,
- Darstellung des Zustands, abhängig vom Betriebsmittelalter,

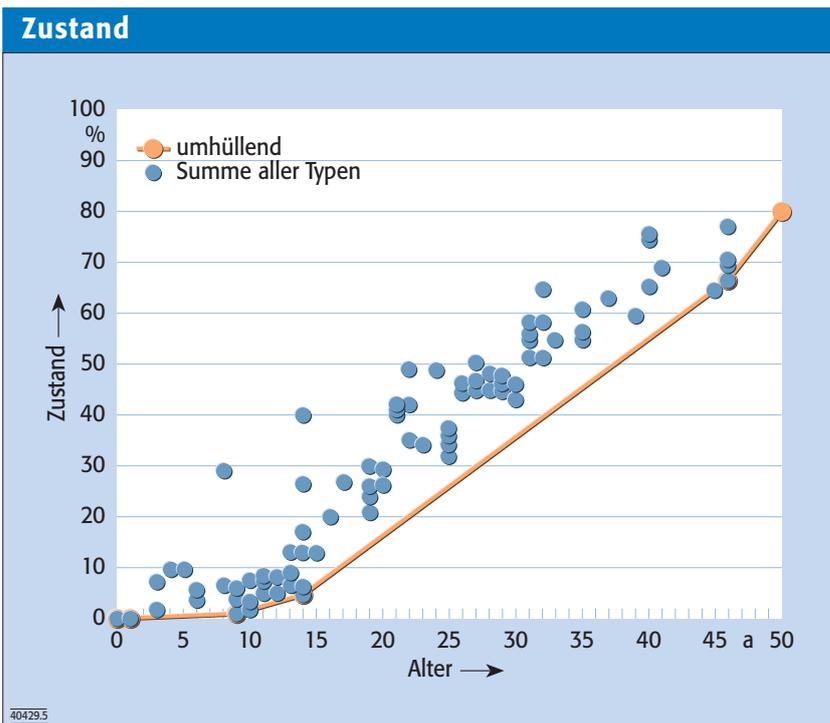


Bild 5. Zustand der Betriebsmittel als Funktion des Alters

Tafel 1		
Jahr	Anzahl Bild 3	Anzahl Bild 6
1	27	34
2	27	41
3	26	26
4	26	60
5	37	32
Mittel	29	39

Tafel 1. Vergleich der zu ersetzenden Schaltgeräte, abhängig von der Simulation

- Ableitung der Verteilungsfunktion,
- Durchführung der Assetsimulation.

Der Zustand der einzelnen Betriebsmittel kann mit unterschiedlichen Kriterien bestimmt werden, die den Zustand und die Wichtigkeit des Betriebsmittels für das Netz beschreiben [4]. Nachdem die Parameter Zustand c und Wichtigkeit i ermittelt worden sind, kann das Ergebnis im Achsensystem nach Bild 4 dargestellt werden, wobei mit »100« ein schlechter Zustand und eine hohe Systemwichtigkeit beschrieben werden können. Die Vorgehensweise in Bezug auf die Durchführung einer Instandhaltungsstrategie ist in [6] dargestellt.

Um die zukünftige Entwicklung des Zustands der Betriebsmittelgruppe zu bestimmen, wird zwischen einem künstlichen und realen Alter unterschieden. Wenn z. B. der Zustand der Schaltgeräte altersgemäß ist, sind das künstliche und das reale Alter identisch, im anderen Fall ergibt sich eine Abweichung zwischen diesen beiden Definitionen. Bild 5 stellt den Zusammenhang dar, wobei die eingetragene Grenzkurve die Geräte beschreibt, die dem besten Zustand entsprechen. Das künstliche Alter kann nach Bild 5 aus der horizontalen Abweichung zwischen dem Zustand der Betriebsmittels und der Einhüllenden abgeleitet werden [3;5].

Aufgrund der bisherigen Zustandsentwicklung der Betriebsmittelgruppe kann ein Austausch der Komponenten bestimmt werden, wenn z. B. ein maximales Alter von 50 Jahren angenommen wird. Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass das zukünftige Verhalten dem vergangenen entspricht. Dieses führt zu der Bestimmung einer Vertei-

lungsfunktion, die den Austausch der Betriebsmittel als Funktion des Alters angibt. Schließlich ist es möglich, die Ersatzrate zu ermitteln, wenn die Verteilungsfunktion mit dem Alter der Betriebsmittelgruppe korreliert wird. Das Ergebnis ist in *Bild 6* zu sehen, hier wurde die Anzahl der in jedem Jahr zu installierenden Geräte mit den Investitionskosten multipliziert.

Vergleich der Berechnungsmethoden

Als Folge der unterschiedlichen Berechnungsmethoden sind auch die jährlichen Investitionskosten bezogen auf die betrachtete Betriebsmittelgruppe unterschiedlich, wenn *Bild 3* und *6* miteinander verglichen werden. Während die Dichtefunktion nach *Bild 2* das statistische Verhalten einer Gruppe nachbildet, die sich aus allgemeinen Erfahrungen ableiten lässt, verwendet das zweite Verfahren die Zustandsbewertung der aktuellen Betriebsmittel. Das Ergebnis der beiden Verfahren ist in *Tafel 1* wiedergegeben, indem die ersten fünf Jahre verglichen werden.

In diesem Fall wurde ein Szenario gewählt, das bei der Nachbildung mit Berücksichtigung des Zustands der Betriebsmittelgruppe zu Ergebnissen mit höheren Ersatzraten in den ersten Jahren führt, was eine Folge der Zustandsbewertung des Leistungsschalterkollektivs ist. Führt eine Bewertung im Gegensatz hierzu zu besseren Zuständen bei gleichem Alter (*Bild 5*), so ergibt die Berechnung eine jährliche Austauschrate, die unterhalb der mit der statistischen Methode berechneten Austauschrate liegt.

Endgültige Ersatzstrategie

Das Resultat der Simulation ist grundsätzlich die Berechnung des jährlichen Investitionsbudgets. Aufgrund der unterschiedlichen Bearbeitungsschritte im Assetmanagementprozess [1] besteht der nächste Vorgang darin, für das nächste Jahr das geeignete Betriebsmittel auszuwählen, das ausgetauscht werden sollte. Das Ergebnis besteht im Vergleich von *Bild 6* (Simulation) und *4* (Zustandsbewertung). Das *Bild 7* spiegelt die Wichtigkeit der einzelnen Komponenten im Netz wider. Die jährlichen Investitionskosten, die sich

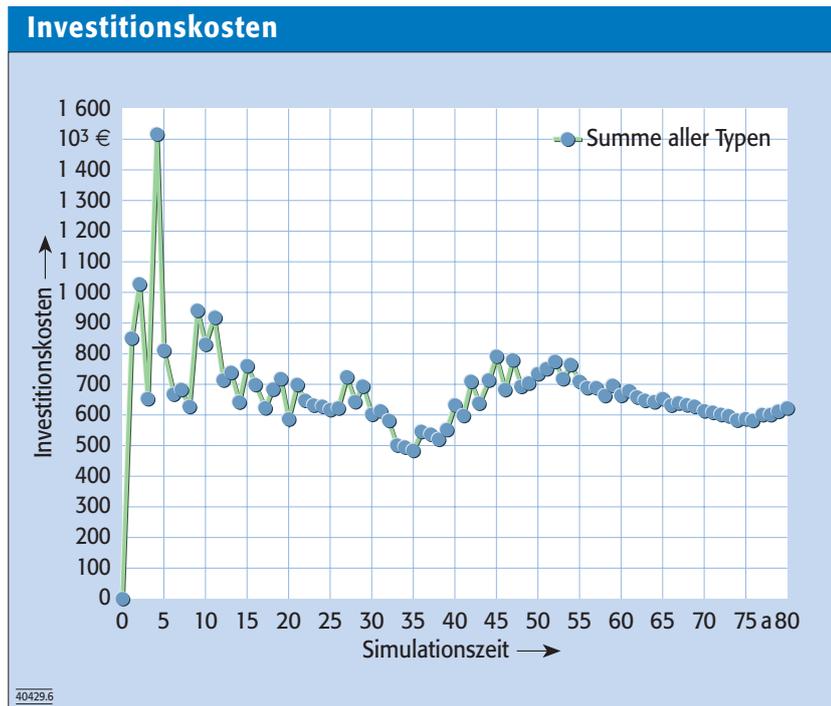


Bild 6. Jährliche Investitionskosten der zu installierenden Leistungsschalter

aus der Assetsimulation (*Bild 7*, rechts) ergeben, begrenzt die Zahl der zu ersetzenden Betriebsmittel, so dass konkret die geeigneten Schaltgeräte ausgewählt werden können (*Bild 7*, links), indem von rechts nach links im Erneuerungsfeld vorgegangen wird. Die Darstellungen in *Bild 7* sind Ergebnisse, die mit dem Programm Neplan-Maintenance berechnet wurden [7].

Zusammenfassung

Die Investitions- als auch die Instandhaltungskosten können unter Berücksichtigung der heute gültigen Randbedingungen abgeschätzt werden. Bei Änderung dieser Randbedingungen, z. B. Veränderung der maximalen Lebensdauer, kann der Einfluss auf die finanziellen Bedingungen ermittelt werden. Hierbei bietet das vorgestellte Verfahren unter Berücksichtigung des Zustands des Betriebsmittelkollektivs den Vorteil, dass diese Berechnung der tatsächlichen Betriebsmittelgruppe angepasst ist und somit die aktuellen Verhältnissen besser widerspiegelt. In einem zweiten Schritt ist es möglich, die geeigneten Betriebsmittel mit dem RCM-Prozess zu identifizieren, die ausgetauscht werden sollten. Der Vorteil der ganzheitlichen Vorgehensweise besteht darin, neben der Ermittlung der zu

ersetzenden Betriebsmittel, eine geschlossene Dokumentation des Entscheidungsprozesses zu erhalten.

LITERATUR

- [1] Balzer, G.; Schorn, C.: Assetmanagement für Infrastrukturanlagen – Energie und Wasser. Springer Verlag, 2011, ISBN 978-3-642-05391-7.
- [2] Asgariéh, L.; Balzer, G.; Mathis, M.; Jordan, U.: Realization of Long Term Investment Strategies for medium voltage cables. Cired 2009, paper 88.
- [3] Asgariéh, L.; Balzer, G.: Comparison of Two Methods for Calculating Yearly Costs and Balances for High Voltage Equipment. Powertech 2011.
- [4] Balzer, G.; Orlowska, T.; Halfmann, M.; Neumann, C.; Strnad, A.: Life Cycle Management of Circuit-Breakers by Application of Reliability Centered Maintenance. Cigré session 2000, Paris, rep. 13-177.
- [5] Asgariéh, L.; Balzer, G.; Gaul, A. J.: Circuit-Breaker Estimation with the Aid of Ageing models. 2008, PMAPS 10th international conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Paper No 050.
- [6] Balzer, G.; Strnad, A.; Schnettler, A.: Rechnergestützte Instandhaltungsplanung für elektrische Netze. ABB Technik, 1997, H. 4.
- [7] www.neplan.ch.

(40429)

leyla.asgariéh@eev.tu-darmstadt.de

gerd.balzer@eev.tu-darmstadt.de

armin.gaul@rwe.com

manfred.mathis@de.abb.com

Vorgehensweise

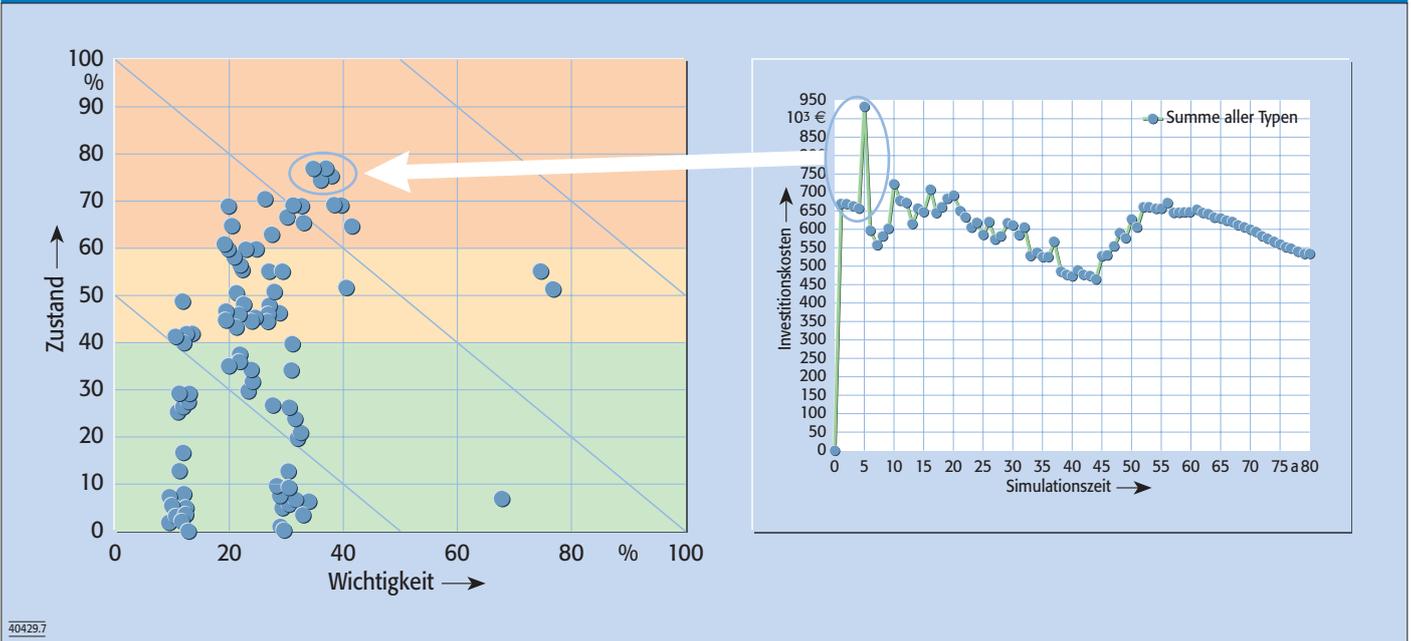


Bild 7. Vorgehensweise bei der Auswahl der Betriebsmittel



ABB AG
Energietechnik
 Postfach 10 03 51
 68128 Mannheim, Deutschland
 Telefon: 0621 381-3000
 Telefax: 0621 381-2645
 E-Mail: powertech@de.abb.com

www.abb.de/pt

Hinweis:

Technische Änderungen der Produkte sowie Änderungen im Inhalt dieses Dokuments behalten wir uns jederzeit ohne Vorankündigung vor. Bei Bestellungen sind die jeweils vereinbarten Beschaffenheiten maßgebend. Die ABB AG übernimmt keinerlei Verantwortung für eventuelle Fehler oder Unvollständigkeiten in diesem Dokument. Wir behalten uns alle Rechte an diesem Dokument und den darin enthaltenen Gegenständen und Abbildungen vor. Vervielfältigung, Bekanntgabe an Dritte oder Verwertung seines Inhaltes – auch von Teilen – ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung durch die ABB AG verboten.

Copyright© 2011 ABB
 Alle Rechte vorbehalten