

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 92 (2001)

**Heft:** 23

**Artikel:** Fehleranalyse an Hochspannungsleistungsschaltern

**Autor:** Balzer, G. / Dzieia, M. / Meister, R.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-855785>

### **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:** 14.01.2026

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

# Fehleranalyse an Hochspannungsleistungsschaltern

Die Failure Mode Effects Analysis (FMEA) ist eine Methode zur Beurteilung von Fehlerauswirkungen an technischen Systemen. Dabei werden Fehlerarten und deren Auswirkungen auf die Funktionen untersucht und die Beeinflussungen durch veränderte Instandhaltungsmassnahmen systematisch ermittelt. Mit Hilfe der FMEA können so die Zuverlässigkeit eines technischen Systems sowie die Instandhaltungsmassnahmen optimiert werden.

Ziel der FMEA ist es, kritische Baugruppen zu ermitteln und Massnahmen zur Minderung der Fehlerauswirkungen vorzuschlagen – unkritische Elemente können auch bei vermindertem Instand-

*G. Balzer, M. Dzieia, R. Meister, C. Neumann, A. Schneider*

haltungsaufwand noch eine angemessene Verfügbarkeit gewährleisten.

In diesem Bericht soll die systematische Analyse der Fehlermöglichkeiten am Beispiel der Antriebsladeeinrichtung eines Leistungsschalters dargestellt werden, da diese eine wichtige Aufgabe im Energieversorgungsnetz erfüllen [1]. Zunächst mussten dazu die erwarteten Haupt- und Nebenfunktionen definiert werden. Auf Basis dieser Definitionen konnten Fehler und Schäden aufgelistet werden. Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit der Daten wurde eine Unterteilung in Funktionsgruppen des Leistungsschalters vorgenommen, innerhalb welcher von den einzelnen Baugruppen geforderte Funktionen definiert wurden.

Um die Fehlerwahrscheinlichkeiten beurteilen zu können, wurde auf eine umfangreiche Datenbank zurückgegriffen, die über 500 Fehler bei 11000 berücksichtigten Feldjahren umfasst.

## FMEA-Beschreibung

Die FMEA ermittelt den Einfluss einzelner Teilsysteme auf die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Hierbei werden

mögliche Fehlerquellen und deren Ursachen aufgezeigt, Massnahmen zur Verminderung der Fehlerwahrscheinlichkeit ermittelt und umfangreich dokumentiert [2, 3]. Neben einer entwicklungsbegleitenden FMEA gibt es auch eine Analyse bestehender Systeme, um Instandhaltungsstrategien zu optimieren. Üblicherweise wird eine FMEA in die folgenden Abschnitte untergliedert

- Funktionsbeschreibung
- Fehlerdefinition
- Analyse der Fehlerursachen
- Fehlerauswirkungen und Massnahmen ermitteln

## Funktionsbeschreibung

Es sind die Funktionen zu definieren, die das betrachtete System unter definier-

ten Randbedingungen ausführen soll, wobei zwischen Primär- und Sekundärfunktionen unterschieden wird. Primärfunktionen sind diejenigen, die massgebend für den Einsatz des Systems sind. Funktionen, die erwartet werden, ohne dass sie für den konkreten Einsatz notwendig sind, werden als Sekundärfunktionen bezeichnet und betreffen beispielsweise die Personensicherheit, die Kontrollfunktionen usw. Die Beschreibung muss sowohl die minimal geforderte Funktion als auch die technisch möglichen Funktionen umfassen und sollte möglichst quantitativ erfolgen. So können persönliche Auslegungsdifferenzen vermieden werden. Bei komplexen Systemen empfiehlt es sich, das Gesamtsystem in mehrere Funktionseinheiten zu zerlegen, deren Teilfunktionen im Einzelnen definiert werden.

## Fehlerdefinition

Als Fehler bezeichnet man den Zustand des Systems, wenn eine der definierten Funktionen nicht ausgeführt werden kann. Hierbei ist es möglich, dass eine Funktion teilweise oder vollständig ausfällt. Ist eine Funktionsstörung so gravierend, dass es zu einem sofortigen Ausfall des Betriebsmittels kommt oder dieses innerhalb 30 Min. ausser Betrieb genommen werden muss, so handelt es sich um einen Major Failure (MF). Eingeschränkte Funktionsstörungen, die über eine längere Zeit vorliegen können, werden auch als Minor Failure (mf) be-

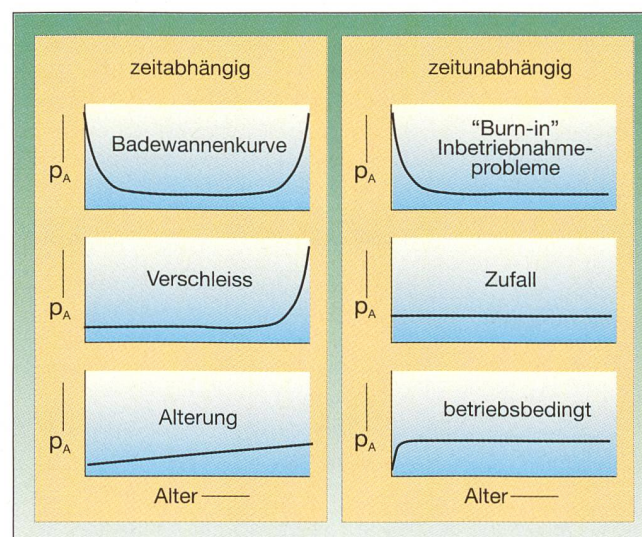
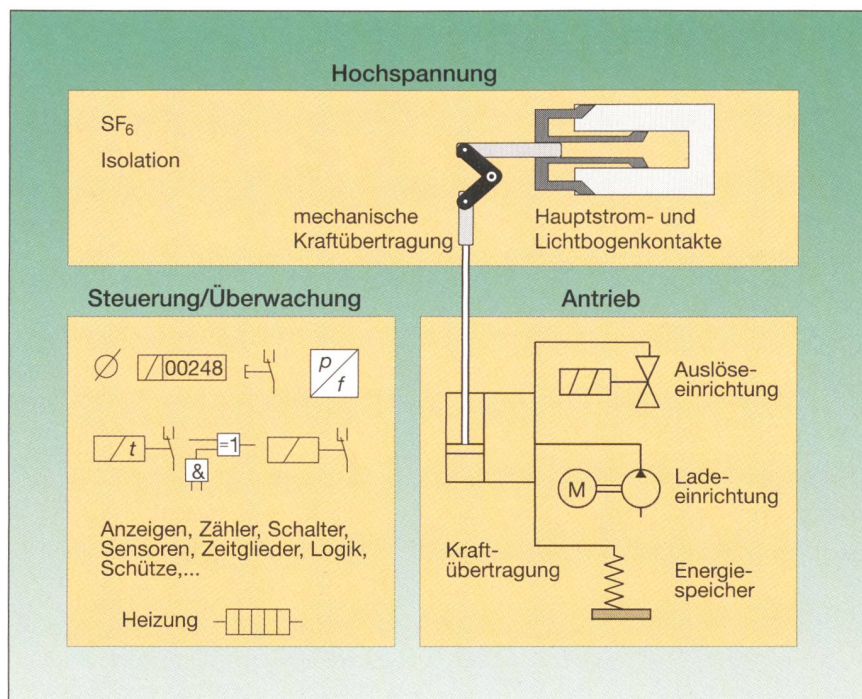


Bild 1 Alterungsverhalten der Fehlerwahrscheinlichkeit ( $p_A$ ) [1]





**Bild 2 Leistungsschalter-Funktionsgruppen**  
Bsp: SF<sub>6</sub>-Leistungsschalter mit hydraulischem Federspeicherantrieb

zeichnet. Die Grenzen für eine Funktionsstörung müssen genau bestimmt werden, da es häufig vom persönlichen Standpunkt abhängt, ob der vorliegende Fall als Fehler behandelt wird oder nicht (z.B. geringer Ölverlust).

## Analyse der Fehlerursachen

Zu jeder Funktionsstörung sind mögliche fehlerauslösende Ereignisse aufzuführen. Hierbei ist auf einen sinnvollen Detaillierungsgrad zu achten, so dass bei vertretbarem Aufwand noch eindeutig die Art des Fehlers ersichtlich wird und sich entsprechende Massnahmen ableiten lassen. Da ein bereits aufgelisteter Schaden mehrere Fehler betreffen kann, ist der Einsatz von Datenbankprogrammen sinnvoll, der eine Verknüpfung einzelner Störungsursachen mit verschiedenen Fehlern in einer Matrixstruktur zulässt.

## Fehlerauswirkungen und Massnahmen ermitteln

Mögliche Massnahmen, die in Folge einer Fehleranalyse getroffen werden können, sind z.B.

- Planung und Durchführung von Instandhaltungsmassnahmen (ereignis-/zeit-/zustandsorientiert)
- konstruktive Veränderungen
- Einsatz von Schutz-/Überwachungstechnik

Für jede einzelne Störungsursache ist zu prüfen, welche Massnahmen zu treffen sind. Neben zahlreichen Kriterien wie

Auswirkung der Fehler, Fehlerdauer, Personengefährdung usw. bietet die Fehlerhäufigkeit ein gutes Kriterium zur Planung der oben genannten Massnahmen.

Aus gut geführten Statistiken können Fehlerwahrscheinlichkeiten einzelner Funktionsbereiche ermittelt werden. Schäden durch fehlerhafte Bedienung werden hier nicht betrachtet, da sie sich nicht auf Grund von Alterungs- oder Abnutzungserscheinungen entwickeln. Entsprechend des Abnutzungs-/Alterungsverhaltens (Bild 1) einzelner Baugruppen können die erforderlichen Massnahmen angepasst werden.

## Anwendung: Leistungsschalter

Die beschriebene FMEA wird nachfolgend auf SF<sub>6</sub>-Leistungsschalter (U<sub>r</sub>=123–420 kV), angewendet. Bei der Analyse der Antriebsfehler erfolgt eine Einschränkung auf hydraulische Antriebe, da

diese im erfassten Datenbestand den grössten Anteil darstellen.

## Leistungsschalterfunktionen

Die Hauptfunktionen eines Leistungsschalters betreffen die veränderliche elektrische Verbindung zwischen zwei Anschlusspunkten und sind u.a. durch die internationale Normung festgelegt [4, 5]. Sie gibt an, unter welchen Randbedingungen die Bewahrung bzw. Veränderung des Leitzustandes gewährleistet werden soll. Ergänzend gibt es Nebenfunktionen, welche die Funktionalität, Sicherheit u.a. sinnvoll ergänzen (Tabelle I).

Bei einer einfachen Auflistung aller Fehler und Schäden entsteht eine unübersichtliche und lange Liste. Um die Übersicht zu verbessern, wird der Leistungsschalter in verschiedene Funktionsgruppen zerlegt, deren Funktionen einzeln definiert werden (Bild 2).

Die Funktionen der einzelnen Gruppen werden wie folgt definiert

### Hochspannung

- H1: Kontakttrennung durchführen; Lichtbogen löschen; ausreichende Isolationsstrecke gewährleisten
- H2: Kontaktschliessung durchführen; niederohmige Verbindung gewährleisten
- H3: spannungsführende Teile gegeneinander/gegen Erde isolieren
- H4: Isolationsfähigkeit des Löschmittels gewährleisten
- H5: Löschmittel einschliessen und gegen Verlust und Verschmutzung schützen

### Antrieb

- A1: Schaltstange mit definierter Geschwindigkeit bewegen
- A2: Hydraulische/mechanische Elemente einschliessen und gegen Verlust (Öl) und Verschmutzung schützen
- A3: Energiespeicher laden
- A4: Sichern der Arbeitskolben-Endlagen

### Steuerung/Überwachung

- S1: Schaltbefehle in Auslösesignale umsetzen

Hauptfunktionen	Nebenfunktionen	Randbedingungen
Einschalten (mit $t_{\text{ein}} < t_{\text{ein,max}}$ )	Überwachung des Löschmediums	max. zulässige Betriebsspannung bzw. max. zulässiger Betriebsstrom
Ausschalten (mit $t_{\text{aus}} < t_{\text{aus,max}}$ )	Überwachung der Antriebsenergie	max. Kurzschluss-Ausschaltstrom
«Ein»-Stellung sichern	Meldung der Schalterstellung	min./max. Betriebstemperatur
«Aus»-Stellung sichern	Einschliessen des Löschmediums	u.v.m. siehe [5]

**Tabelle I Leistungsschalter-Funktionsübersicht**



Hauptfunktionen				Bereich	Teilbereich	Baugruppe	Bauteil	Bauteil	Schaden	Auswirkung
Einschalten	Ausschalten	Ein sichern	Aus sichern							
1	1	0	0	Antrieb	Ladeeinrichtung	Motor	Kohlen		verklemmt	Motor dreht nicht
1	1	0	0	Antrieb	Ladeeinrichtung	Motor	Kohlen		Abbrand	verminderte Motorenleistung
1	1	0	0	Antrieb	Ladeeinrichtung	Motor	Kohlen		Abbrand	Motor dreht nicht
				Antrieb	Ladeeinrichtung	Motor	Wicklung	...	...	...
1	1	0	0	Antrieb	Ladeeinrichtung	Pumpe	Hydraulikverbindung	Schraubverbindung	leicht gelockert	leichter Ölverlust
2	2	0	0	Antrieb	Ladeeinrichtung	Pumpe	Hydraulikverbindung	Schraubverbindung	stark gelockert	starker Ölverlust
1	1	0	0	Antrieb	Ladeeinrichtung	Pumpe	Hydraulikverbindung	Dichtung	porös	leichter Ölverlust
2	2	0	0	Antrieb	Ladeeinrichtung	Pumpe	Hydraulikverbindung	Dichtung	gerissen	starker Ölverlust
				Antrieb	Kraftübertragung	...	...	...	...	...
				Antrieb	Auslösung	...	...	...	...	...
				Antrieb	Energiespeicher	...	...	...	...	...
				Steuerung	...	...	...	...	...	...
				Überwachung	...	...	...	...	...	...
				Hochspannung	...	...	...	...	...	...

Tabelle II Auszug aus einer Schadensliste

0 = keine Beeinflussung, 1 = Minor Failure, 2 = Major Failure, ...? = Weitere detaillierte Untergliederung

- S2: Ausreichend gespeicherte Energie gewährleisten
- S3: Aufnahme von physikalischen Grössen/Hilfsschalterinformationen
- S4: Bewertung der Messgrössen und Informationen
- S5: Verhindern von Fehlfunktionen
- S6: Meldung kritischer Zustände

#### Fehler an Leistungsschaltern

Für jede der genannten Funktionen sind Fehler auslösende Schäden denkbar, die sich auf Baugruppen und Bauteile am Leistungsschalter beziehen und die je

nach Bauart verschieden sein können. In dieser Untersuchung wurden mehrere Leistungsschalterttypen untersucht, wobei die Unterteilung in Baugruppen möglichst allgemein und typunabhängig gehalten wird. Erst in den letzten Detaillierungsstufen ist die konkrete Ausführung zu analysieren. Eine detaillierte Analyse wurde für SF<sub>6</sub>-Leistungsschalter mit hydraulischem Antrieb durchgeführt. Ein Auszug aus einer Schadensauflistung ist in Tabelle II dargestellt. Beispielsweise können mehrere Hauptfunktionen (Ein- und Ausschalten) durch den Antrieb nicht

ausgeführt werden. Ursache könnte ein defekter Motor der Ladeeinrichtung sein. Als schadhafte Bauteile können die Kohlebürsten in Betracht kommen, welche auf verschiedene Weise in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt sein können. Ergänzend sind noch die Einflüsse auf die Teil-/Nebenfunktionen anzugeben (Tabelle III). Für jeden einzelnen Schaden sind Ursachen aufzulisten, die zu einer Fehlerentwicklung führen. So kann eine Motorüberlastung, eine falsche Kohlebürste, eine gebrochene Halterung usw. zu der beschriebenen defekten Kohlebür-

Hauptfunktionen		A1	A2	Bauteil	Bauteil	Schaden	Auswirkung	Ursachen
entsprechend Tabelle II	1	2		Hydraulikverbindung	Schraubverbindung	leicht gelockert	leichter Hydraulik-Ölverlust	mechanische Erschütterungen
	1	2		Hydraulikverbindung	Schraubverbindung	leicht gelockert	leichter Hydraulik-Ölverlust	falsche Mutter verwendet
	1	2		Hydraulikverbindung	Schraubverbindung	leicht gelockert	leichter Hydraulik-Ölverlust	zu geringes Anzugsmoment
	1	0		Kohlebürsten		verklemmt	Motor dreht nicht	Halterung gebrochen
	1	0		Kohlebürsten		verklemmt	Motor dreht nicht	falsche Kohlebürsten verwendet
	1	0		Kohlebürsten		verklemmt	Motor dreht nicht	fehlerhafte Montage
	1	0		Kohlebürsten		Abbrand	verminderte Motorenleistung	Motorüberlastung
	1	0		Kohlebürsten		Abbrand	verminderte Motorenleistung	Abnutzung wegen langer Laufzeiten
	1	0		Kohlebürsten		Abbrand	verminderte Motorenleistung	...

Tabelle III Ursachen für Fehlerentwicklungen

0 = keine Beeinflussung, 1 = Beeinflussung nach Tagen, 2 = Sofortige Funktionsunfähigkeit, ...? = Weitere detaillierte Untergliederung, A1 = Antriebsfunktion «Definierte Bewegung ausführen», A2 = Antriebsfunktion «Hydraulische/mechanische Elemente einschliessen; Vor Verlust und Verschmutzung schützen»



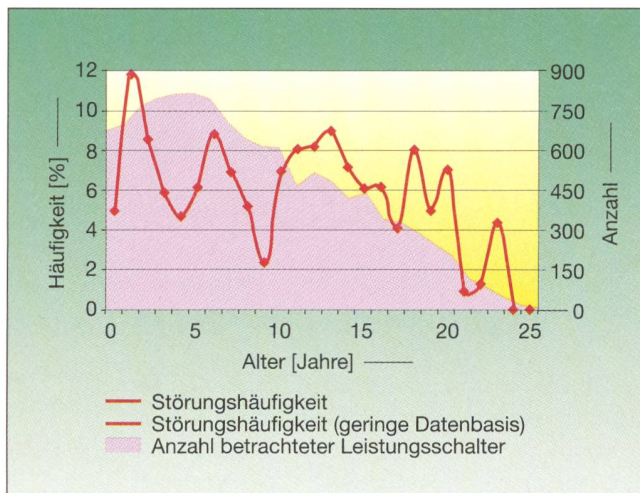


Bild 3 Fehlerhäufigkeit von SF<sub>6</sub>-Leistungsschaltern

ste und den damit verbundenen Funktionsausfällen führen. Eine Analyse aller Fehler führt zu Aussage über mögliche Ursachen wie beispielsweise

- Alterung
- Abnutzung
- fehlerhafte Montage

Je nach Typ der Fehlerentwicklung können unterschiedliche Massnahmen abgeleitet werden. Daher muss genau zwischen Abnutzungs-/Alterungserscheinungen und Ursachen in menschlichem Versagen unterschieden werden. Um eine Bewertung der verschiedenen Schäden vornehmen zu können, ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für jedes einzelne Ereignis zu ermitteln. Die hierfür nötigen Daten wurden in dieser Analyse einer Fehlerdatenbank entnommen, die insgesamt über 11 000 betrachtete Leistungsschalter-Feldjahre mehrerer Netzbetreiber enthält. Die verzeichneten Fehler enthalten neben behobenen Störungen auch Unregelmässigkeiten, die bei planmässigen Instandhaltungsarbeiten behoben wurden.

## Ergebnisse

Auf Grund der verfügbaren Datenquellen sind häufig nur einige Jahre der Betriebsmittel-Historie in die Datenbank aufgenommen worden. Somit ist die Altersverteilung der Schaltgeräte nicht gleichmässig. Aus dem Datum der Schadenserkennung und dem Baujahr des Schalters kann für jedes Alter einzeln die relative Fehlerhäufigkeit errechnet werden. Mit zunehmendem Alter sinkt die Anzahl der betrachteten Schalter. Bei geringem Datenbestand kann es sein, dass charakteristische Fehler nicht enthalten sind oder einzelne Fehlerereignisse eine grosse relative Häufigkeit hervorrufen. Bild 3 zeigt das Ergebnis für den gesamten SF<sub>6</sub>-Leistungsschalterbestand. Es ist eine mittlere Fehlerhäufigkeit von etwa 7 Fehler pro 100 Leistungsschalter und Jahr zu erkennen. Eine eindeutige Abhängigkeit vom Alter des Schaltgerätes, nach den anfangs dargestellten Mustern, ist zunächst nicht festzustellen. Die Schwankungen treten in Abständen von etwa vier Jahren auf, was auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit der Fehlerentdeckung bei

durchgeführten Instandhaltungsarbeiten hinweist.

Die erfassten Fehler teilen sich entsprechend Bild 4 auf die einzelnen Funktionsgruppen auf. Diese Aufteilung zeigt deutlich, dass der Grossteil der Fehler am Antrieb einschliesslich seiner Steuerungs- und Überwachungsfunktionen auftreten, wie dies durch andere Statistiken [6, 7] bereits ermittelt wurde. Die Fehler im Bereich Hochspannung traten meistens als Undichtigkeiten auf, durch die SF<sub>6</sub> aus der Schaltkammer entwich. Diese Fehler konnten stets behoben werden, bevor es zu einer Störung – etwa durch Überschlüsse – kommen konnte.

Zur detaillierten Analyse der aufgelisteten Fehler ist es notwendig, die unterschiedlichen Alterungsverhalten der einzelnen Funktionsbereiche zu kennen.

Die Gesamtfehlerhäufigkeit ist innerhalb eines Schwankungsbandes nahezu konstant. Bei der Betrachtung einzelner Funktionsgruppen sind jedoch drei grundsätzlich verschiedene Verhaltensweisen zu beobachten: Während der Bereich der Hochspannung deutlich die Badewannencharakteristik zeigt, haben die Bereiche Antrieb und Steuerung/Überwachung ein stark schwankendes Verhalten mit einer Spitze zu Beginn ihrer Betriebszeit. Tendenziell nimmt jedoch die Störungshäufigkeit bei Antrieben ab und bei Komponenten der Steuerung und Überwachung zu.

Beim Funktionsbereich Hochspannung treten in den ersten Betriebsjahren hauptsächlich Undichtigkeiten auf. Der Anstieg der Fehlerhäufigkeit im Alter ab 10 Jahren wird – neben den durch Flanschkorrosion verstärkt auftretenden Undichtigkeiten – auch durch häufigere mechanische Schwergängigkeit verursacht (Bild 5). Weitere Fehlerquellen wie Düsen innerhalb der Schaltkammer oder abgebrannte Schaltkontakte und defekte Schaltstangen bilden nur einen sehr ge-

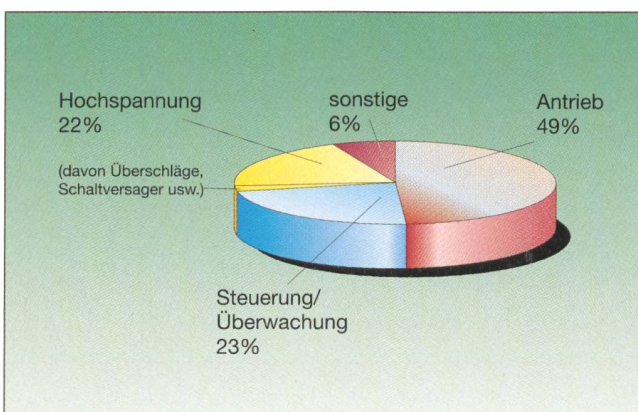


Bild 4 Fehlerbetroffene Funktionsbereiche

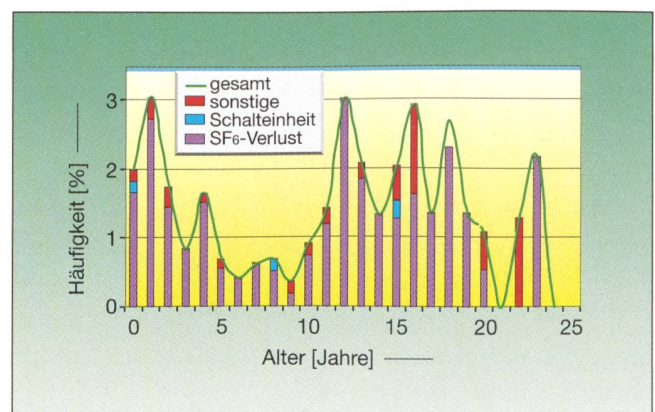


Bild 5 Fehlerhäufigkeit von Hochspannungsfunktionsgruppen



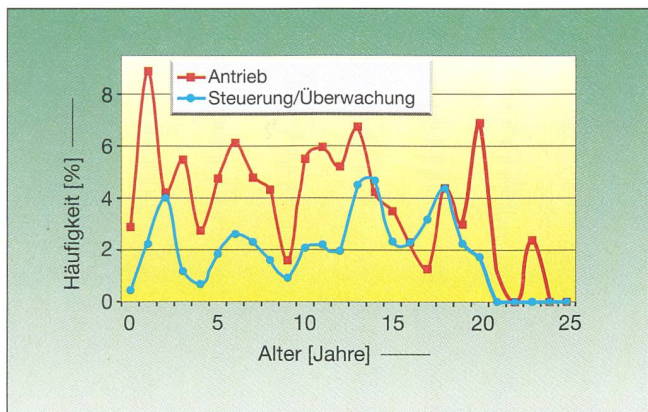


Bild 6 Fehlerhäufigkeit von Antriebs- und Steuerungs-/Überwachungsfunktionsgruppen

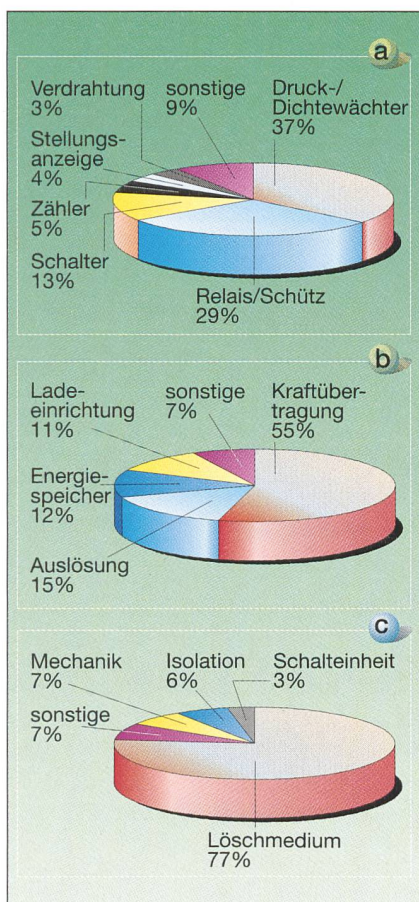


Bild 7 Verteilung der fehlerbetroffenen Bereiche a) Steuerung/Überwachung, b) Antrieb, c) Hochspannung

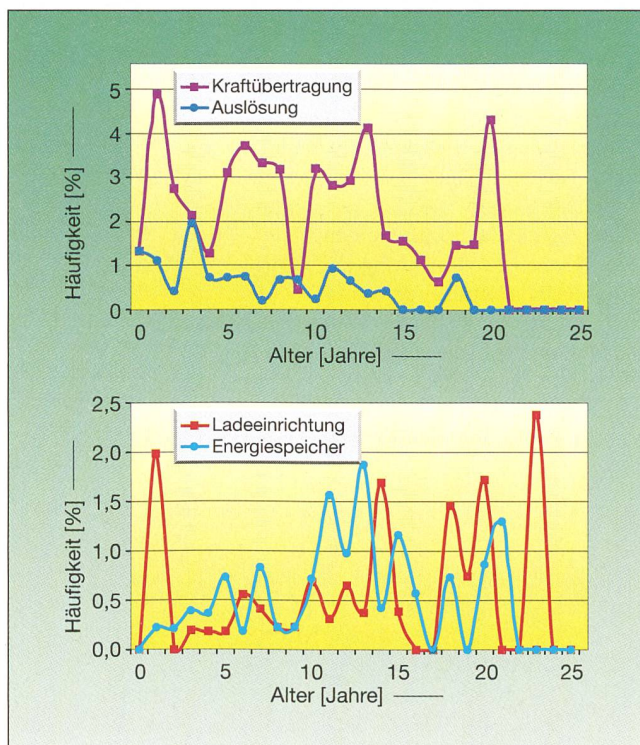
ringen, sporadisch auftretenden Anteil am Fehleraufkommen von Leistungsschaltern.

Im Funktionsbereich der Steuerung und Überwachung ist mit zunehmendem Alter ein leichter Anstieg der Fehlerhäufigkeit festzustellen (Bild 6). Hierbei sind die in Bild 7a gezeigten Bauteile betroffen, welche keine charakteristischen Unterschiede im Alterungsverhalten zeigen. Die dargestellten Fehlerhäufigkeiten von Steuerungs-/Überwachungseinrichtungen verteilen sich zu 42% auf mecha-

nisch schaltende Geräte wie Schalter und (Zeit-)Relais. Weiterhin entfallen 37% der Fehler auf Überwachungseinrichtungen (Manometer, Druck- und Dichtewächter). Bei den genannten Baugruppen im Bereich der Steuerung und Überwachung ist keine Altersabhängigkeit zu erkennen.

Da das Verhalten des Antriebs bisher eine Kombination unterschiedlicher Alterungsformen zeigt, wird dieser in detaillierteren Funktionsgruppen betrachtet. In Bild 8 ist zu erkennen, dass die Funktionsgruppe «Auslösung» mit zunehmendem Alter eine geringere Fehlerhäufigkeit aufweist. Die Bereiche «Energiespeicher» (überwiegend  $N_2$ -Speicher) und Ladeeinrichtung zeigen hingegen deutliche Alterungserscheinungen. Die hydraulische Kraftübertragung wird mit verschiedenen Teilfunktionen noch genauer zu betrachten sein.

Bild 8 Fehlerhäufigkeit von Antriebsbaugruppen



Den grössten Anteil am Fehleraufkommen des Antriebs hat das Hydrauliksystem mit seinen Komponenten (Bild 7b). Während bei der Ladeeinrichtung in den ersten Jahren noch vereinzelt Störungen an Motor und Getriebe auftreten, ist nach einigen Betriebsjahren die Pumpe die häufigste Fehlerquelle. Die Unregelmässigkeiten im Funktionsblock «Auslösung» (Bild 8) treten fast alle an Ventilen auf. Auslösespulen sind nur in Einzelfällen von einer Funktionsstörung betroffen.

Der Energiespeicher ( $N_2$ ) ist fast ausschliesslich von Undichtigkeiten betroffen, die eine Abdichtung oder den Austausch des Speichers erforderlich machen. Das Störungsgeschehen im Bereich der hydraulischen Kraftübertragung ist zum grossen Teil durch Undichtigkeiten im Hydrauliksystem geprägt, welche in Bild 9 detailliert dargestellt sind.

Undichtigkeiten an der Hydraulik sind die häufigsten Fehler am Antrieb. Obwohl sie nicht zu den kritischen Fehlern gehören, verursachen sie auf Grund ihrer Häufigkeit einen erheblichen Instandsetzungsaufwand. Einerseits sind dies die internen Undichtigkeiten, welche sich in einer erhöhten Anlaufzahl des Motors bemerkbar machen, und andererseits die externen Undichtigkeiten, die einen Verlust von Hydrauliköl zur Folge haben und leicht bei einer Sichtkontrolle entdeckt werden können. Die meisten auftretenden Undichtigkeiten sind zwar äusserst gering und führen zu keiner Einschränkung der Funktionsfähigkeit, werden aber den-



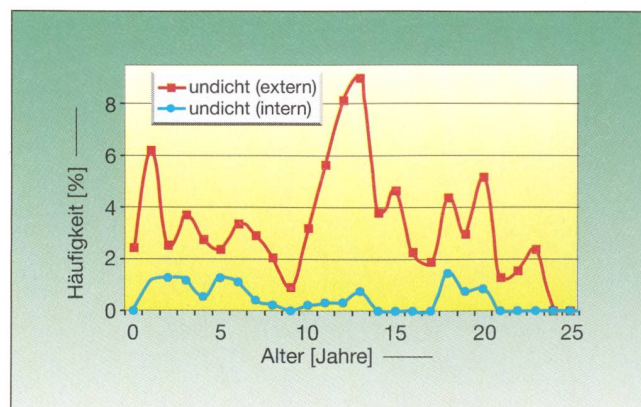
noch bei Instandhaltungsmassnahmen beseitigt. Beide Arten von Undichtigkeiten treten mit zunehmendem Alter zu-nächst seltener auf. Im Gegensatz zu den internen Fehlern nehmen die externen ab einem Alter von etwa 10 Jahren nochmals stark zu.

Es kann festgestellt werden, dass der Funktionsbereich hydraulische Kraftübertragung im Alter bis 25 Jahre keiner erkennbaren Alterung unterliegen, wodurch eine Zeit abhängige Instandhaltung unzweckmässig erscheint. Mögliche Massnahmen zur Verminderung der Fehlerhäufigkeit sind beispielsweise konstruktive Veränderungen oder der Einsatz von Überwachungstechniken. In den Bereichen Ladeeinrichtung, Energiespeicher und Hochspannung lässt sich hingegen ein deutlicher Anstieg der Fehlerhäufigkeit ab einem Alter von 10 Jahren nachweisen.

Aus dem Alterungsverhalten der einzelnen Funktionsgruppen lassen sich die Kriterien für Instandhaltungsmassnahmen in drei Gruppen zusammenfassen

1. Häufige Fehlerarten während der ersten Betriebsjahre weisen auf Schwachstellen in der Konstruktion oder Produktion hin. Die Analyse zeigt, dass hiervon vor allem der Hochspannungsbereich, die hydraulische Kraftübertragung und die Ladeeinrichtung betroffen sind. Mit einer Behebung dieser Schwachstellen an allen baugleichen Elementen so wie einer einwandfreien Qualitätskontrolle können diese Probleme gelöst werden. Sie wirken sich daher nicht weiter auf die Fehlerentwicklung aus.
2. Altersabhängige Fehler können durch eine geplante Instandhaltung vermindert werden. So sollten bei Wartungsarbeiten mögliche Undichtigkeiten am Hochspannungsteil und am Energiespeicher sowie die Ladeeinrichtung eingehender überprüft werden.
3. Im Bereich der Auslösung und der hydraulischen Kraftübertragung ist das Eintreten von Fehlern zufallsbedingt und nicht auf Alterung zurückzuführen. Um die Fehlerhäufigkeit zu senken, können entweder konstruktive Änderungen vorgenommen werden,

**Bild 9 Häufigkeit von Hydraulik-Undichtigkeiten**



die bestimmte Fehlerfälle ausschliessen, oder eine geeignete Überwachungstechnik eingesetzt werden, um die Fehler bereits vor oder direkt nach Eintreten erkennen zu können.

## Referenzen

- [1] G. Balzer: Störungsanalyse der Betriebsmittel einer Schaltanlage. Frankfurt, Elektrizitätswirtschaft JI. 96 (1997) H. 4, S. 142-144.
- [2] J. Moubray: Reliability-centered maintenance. 2nd edition, New York, Industrial Press Inc. 1997.
- [3] R. T. Anderson, L. Neri: Reliability-centered maintenance: management and engineering methods. New York, Elsevier science publishing Co. Inc. 1990.
- [4] DIN VDE 0670-101 (102)/12.92: Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV; Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter; Allgemeine Begriffe (Einstufungen).

- [5] VDE 0670-1000/10.98: Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV; Gemeinsame Bestimmungen für Hochspannungsschaltgeräte.
- [6] Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke – VDEW – e.V.: VDEW-Störungs- und Schadensstatistik. Frankfurt, VDEW Verlag 1970, 1971, ... , 1998.
- [7] Cigré-Working Group 13-06: Final Report of the second international Enquiry on High Voltage Circuit-Breaker Failures and Defects in Service. Cigré Report Nr. 83 (1994).

## Adresse der Autoren

TU Darmstadt, D-64283 Darmstadt: Prof. Dr.-Ing. G. Balzer, gbalzer@eev.tu-darmstadt.de; Dipl.-Ing. M. Dzieia, michael.dzieia@web.de  
 ABB, D-68167 Mannheim: Dr.-Ing. A. Schneider, achim.schneider@de.abb.com  
 RWE Net AG, D-44227 Dortmund: Prof.-Dr.-Ing. C. Neumann, claus.neumann@rwnet.com  
 ENBW AG: Dipl.-Ing. R. Meister, r.meister@enbw.com

## Analyse de défauts de sectionneurs de puissance haute tension

Failure Mode Effects Analysis (FMEA) est une méthode d'évaluation des répercussions de défauts de systèmes techniques. Les différents types de défauts et leurs effets sur les fonctions sont étudiés et les influences engendrées par des mesures de maintenance modifiées sont systématiquement déterminées. Avec FMEA, il est possible d'optimiser la fiabilité d'un système technique et les mesures de maintenance. L'objectif est d'identifier les ensembles critiques et de proposer des mesures de réduction des répercussions de défauts – les éléments non critiques pouvant encore garantir une disponibilité appropriée en cas de maintenance réduite. L'article présente l'analyse systématique des possibilités de défaillances à l'exemple du dispositif de charge d'entraînement pour un sectionneur de puissance.