

**Neue Auswertung der Berichtsjahre 1994 bis 2001**

## **Ermittlung von Eingangsdaten für Zuverlässigkeitsberechnungen aus der VDN-Störungsstatistik**

### **Using the VDN Statistic on Incidents to Derive Component Reliability Data for Probabilistic Reliability Analyses**

Dipl.-Ing. Markus **Obergünner**

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW) der RWTH Aachen

Dr.-Ing. Michael **Schwan**

Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH) e.V.,  
Mannheim

Dipl.-Ing. Christian **Krane**

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW) der RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Klaus **Pietsch**, Dr.-Ing. Klaus **von Sengbusch**

Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH) e.V.,  
Mannheim

Dipl.-Ing. Carsten **Bock**

E.ON Netz GmbH, Bayreuth

Dipl.-Ing. Dieter **Quadflieg**

Verband der Netzbetreiber – VDN – e.V. beim VDEW, Berlin

### **Zusammenfassung**

Die Verfasser geben eine kurze Darstellung relevanter Grundlagen zur Zuverlässigkeitsberechnung und die Erläuterung einiger Aspekte der Auswertung von Zuverlässigkeitskenndaten. Im Anschluss daran sind die aus der VDN-Störungsstatistik der Erfassungsjahre 1994-2001 ermittelten Zuverlässigkeitskenndaten tabellarisch dargestellt.

### **Summary of the report**

The authors shortly describe some basic aspects relating to probabilistic reliability calculation and to the derivation of component reliability data. Then, component reliability data gained from the VDN statistic of incidents from the years 1994 to 2001 are presented.

### **Einführung**

Durch den oftmals großen Ermessensspielraum qualitativer Kriterien zur Bewertung der Zuverlässigkeit elektrischer Netze werden bereits seit den 70er Jahren probabilistische Verfahren z. B. [1-4] entwickelt, die es ermöglichen, unter Berücksichtigung des stochastischen Störungsgeschehens der Komponenten dieser Netze die Systemzuverlässigkeit quantitativ zu prognostizieren. Diese Verfahren basieren auf charakteristischen Ausfallmodellen und entsprechenden Kenndaten der Komponenten zur Beschreibung des Störungsgeschehens, die aus der VDN-(vormals VDEW-)Störungsstatistik gewonnen werden können. Die Auswertung dieser inzwischen sehr umfangreichen Datenbasis (bisher verfügbare Erfassungsjahre 1994-2001, Erfassungsgrad rd. 60 % der Stromkreislänge in Netzen der

öffentlichen Versorgung in Deutschland) erlaubt die statistische Beschreibung von Störungen für Netze mit Nennspannungen über 1 kV.

Jedoch ermöglicht die bisherige VDN-Störungsstatistik keine vollständige Beschreibung des Komponentenverhaltens in Netzen mit Nennspannungen kleiner als 110 kV, da hier keine Erfassung des Störungsverlaufs stattfindet. Des Weiteren gibt es bei der Interpretation Freiheitsgrade, durch die Auswertungen mit unterschiedlichen Sichtweisen zu geringfügig unterschiedlichen Eingangsdaten für Zuverlässigkeitsberechnungen führten. Im Rahmen der Neugestaltung des Erfassungsschemas für die VDN Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik ab 2004 [5;6] durch die Projektgruppe Störungsstatistik des VDN sind die Statistik um Bereiche zur Erfassung des Störungsverlaufs in Netzen mit Nennspannungen zwischen 1 und 110 kV erweitert und die Freiheitsgrade hinsichtlich der Gewinnung von Eingangsdaten für Zuverlässigkeitsberechnungen durch Reduzierung redundanter Bereiche verringert worden.

Im Folgenden werden die relevanten Grundlagen kurz dargestellt und einige Aspekte der Auswertung von Zuverlässigkeitskenndaten erläutert. Im Anschluss daran sind die aus den Erfassungsjahren 1994 bis 2001 mit überarbeiteten Auswertemethoden ermittelten Eingangsdaten für Zuverlässigkeitsberechnungen in tabellarischer Form aufgeführt.

## Probabilistische Zuverlässigkeitsberechnung

### Übersicht

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Ablauf einer Zuverlässigkeitsanalyse. Als Datenbasis dient das in der Vergangenheit beobachtete Systemverhalten. Daraus wurden charakteristische Ausfallmodelle abgeleitet, die eine Klassifizierung und mathematische Beschreibung des Störungsgeschehens ermöglichen. Für die betrachteten Komponenten sind hierzu geeignete Zuverlässigkeitskenndaten zu ermitteln. Diese bilden, zusammen mit den elektrischen und topologischen Netzdaten aus einem üblichen Datensatz für Lastfluss- und Kurzschlussstromberechnungen, die Eingangsdaten für die Zuverlässigkeitsberechnung.

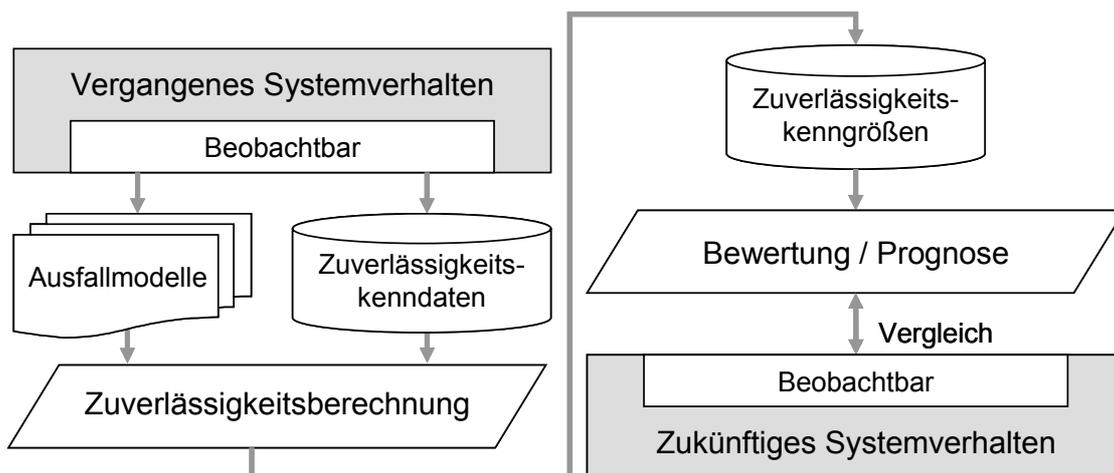


Bild 1: Prinzipieller Ablauf von Zuverlässigkeitsanalysen

Die eigentliche Zuverlässigkeitsberechnung generiert Fehlerzustände und bestimmt jeweils die Auswirkungen auf die Versorgungssituation der Verbraucher. Bei aufgetretenen Versorgungsunterbrechungen wird dann der Prozess der Wiederversorgung nachgebildet, bis

– spätestens nach Ablauf der Aus-Dauer der fehlerbetroffenen Komponenten – wieder alle Verbraucher vollständig versorgt sind.

Aus den Kennwerten der einzelnen Fehlerzustände werden schließlich die Zuverlässigkeitskenngrößen für das Gesamtsystem sowie für einzelne Kunden, wie z. B. Häufigkeit und mittlere Dauer von Versorgungsunterbrechungen oder nicht zeitgerecht gelieferte Energie, berechnet. Mit diesen Kenngrößen lässt sich das zukünftige Systemverhalten prognostizieren und anhand geeigneter Planungskriterien bewerten.

Zu berücksichtigen ist, dass sich das System innerhalb einer beschränkten zukünftigen Beobachtungszeit in der Regel zufallsbedingt abweichend von den berechneten Erwartungswerten verhalten wird, da es sich bei der Beobachtung nur um eine sehr begrenzte Stichprobe von Störungen aus der berechneten Grundgesamtheit handelt. Diese statistische Prognoseunschärfe ist systemimmanent und nicht auf Näherungen oder Ungenauigkeiten in der Berechnung zurückzuführen [7].

### Komponentenabgrenzung

Für die Zuverlässigkeitsberechnung werden Betriebsmittel zu Komponenten zusammengefasst, so dass Betriebsmittel, deren Nicht-Betrieb-Zustände gleiche Auswirkungen auf das Netz haben, als Einheiten betrachtet werden [8]. Die Abgrenzung wird auslösbereichsorientiert oder freischaltbereichsorientiert vorgenommen (*Bild 2*).

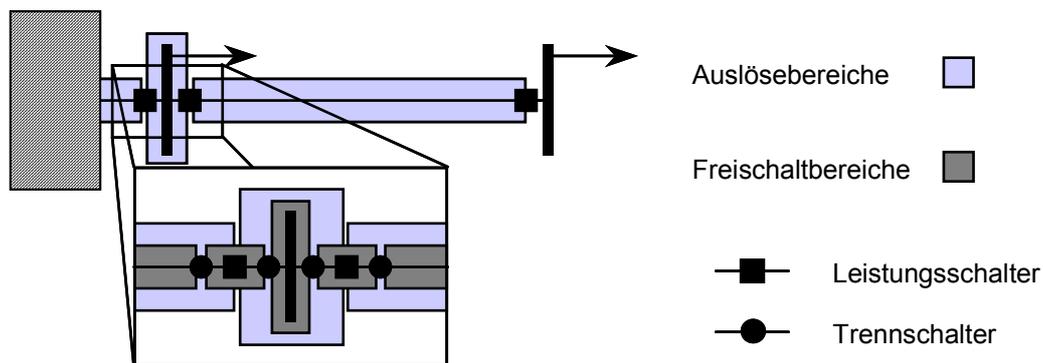


Bild 2: Konzepte der Komponentenabgrenzung

Die vorgestellten Komponentenabgrenzungen und die damit verbundenen Vereinfachungen resultierten in der Vergangenheit nicht zuletzt aus Rechenzeitgründen. Die Komponentenabgrenzungen sind ineinander überführbar und werden heute zunehmend in Mischformen angewendet. *Bild 3* zeigt die insgesamt verwendeten Komponenten:

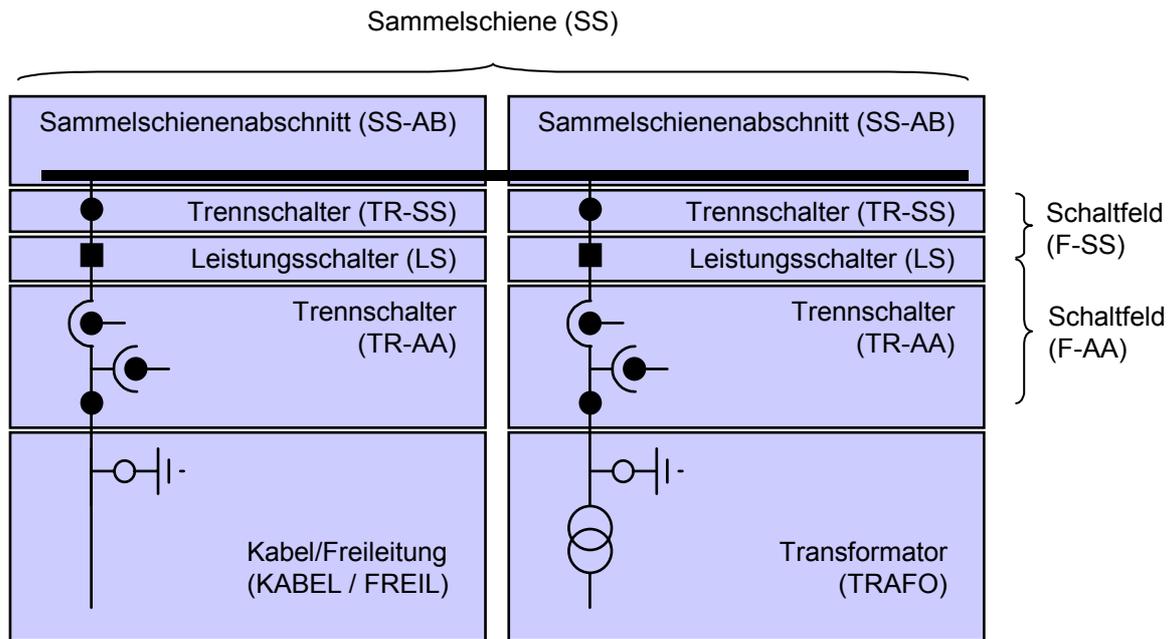


Bild 3: Betrachtete Komponenten

## Ausfallmodelle

Mit den im Folgenden beschriebenen Ausfallmodellen lassen sich charakteristische Störungen durch Komponentenkenndaten in Form von Häufigkeiten  $H$  von Ereignissen, bedingten Wahrscheinlichkeiten  $p$  bei Folgeereignissen und den jeweils zugehörigen Aus-Dauern  $T$  abbilden:

- **Unabhängiger Einfachausfall (UNE):** Ausfall einer Komponente, für dessen Eintritt keine Abhängigkeit zu Störungen oder Ausfällen anderer Komponenten besteht (zusammengesetztes Ausfallmodell aus Einfachausfällen mit Schutzauslösung und unverzögerter Handausschaltung).
- **Einfachausfall mit Schutzauslösung mit kurzer/langer Aus-Dauer (EAS-kurz/lang):** Einfachausfall mit Ausschaltung durch Schutz. Es wird nach kurzen und langen Aus-Dauern unterschieden, weil sich nach Schutzauslösungen ein großer Teil der Aus-Dauern im Bereich weniger Minuten (Störungen ohne Schäden) und damit außerhalb der üblichen Dauern für Reparaturmaßnahmen befindet.
- **Unverzögerte Handausschaltung (UHA):** Einfachausfall mit Ausschaltung von Hand. Die Ausschaltung muss zur Vermeidung von Gefährdungen, Schäden oder Störungsausweitungen sofort stattfinden, ohne dass vorher Maßnahmen zur Sicherstellung der Versorgung der Verbraucher ergriffen werden können.
- **Verzögerte Handausschaltung (VHA):** Einfachausfall mit Ausschaltung von Hand, wobei im Gegensatz zur unverzögerten Handausschaltung vor der Handausschaltung eine beschränkte Zeitspanne zur Verfügung steht, um Maßnahmen zur Sicherstellung der Versorgung der Verbraucher zu ergreifen.
- **Stehender Erdschluss (E1P):** Stehender Erdschluss in Netzen mit Erdschlusskompensation oder mit isoliertem Sternpunkt – der allein jedoch nicht zu einer Versorgungsunterbrechung führt.

- **Mehrfacherdschluss mit Mehrfachausfall (MEM):** Abhängiger Ausfall mehrerer Komponenten in Netzen mit Erdschlusskompensation oder mit isoliertem Sternpunkt, der mit einem stehenden Erdschluss auf einer Komponente beginnt. Ein Mehrfacherdschluss mit Mehrfachausfall liegt vor, wenn auf Grund der stationären Erhöhung der Leiter-Erde-Spannung in den fehlerfreien Leitern ein oder mehrere weitere Erdschlüsse auftreten, die zum zeitlich überlappenden Ausfall von mindestens zwei Komponenten führen.
- **Common-Mode-Ausfall (COM):** Gleichzeitiger Ausfall mehrerer Komponenten aufgrund einer gemeinsamen Ursache.
- **Schutzversager (SVS):** Abhängiges Versagen des Schutzes im Fehlerfall mit Ausweitung der Ausschaltung auf den Reserveschutzbereich.
- **Leistungsschalterversager (LVS):** Abhängiges Versagen des Leistungsschalters im Fehlerfall mit Ausweitung der Ausschaltung auf den Reserveschutzbereich.
- **Schutzüberfunktion (SUE):** Nichtselektives und ungewolltes Auslösen des Schutzes im Fehlerfall.
- **Spontane Schutzüberfunktion (SPS):** Ungewolltes Auslösen des Schutzes, ohne dass ein elektrischer Fehler im Netz ansteht.

Programme zur probabilistischen Zuverlässigkeitsberechnung verwenden dabei i.d.R. nicht alle hier aufgeführten Ausfallmodelle. Das Programm RAMSES [2] berücksichtigt die Modelle EAS, UHA, VHA, und das Programm ZUBER [4] das Modell UNE. Die übrigen Modelle – EIP, MEM, COM, SVS, LVS, SUE und SPS – sind sowohl in RAMSES wie auch in ZUBER implementiert.

## Ermittlung von Kenndaten aus der VDN-Störungsstatistik

### Grundlagen zur Ermittlung der Kenndaten

Die folgenden zuverlässigkeitstechnischen Kenndaten beschreiben die Ausfallmodelle zur Nachbildung des Störungsgeschehens jeder Komponente: Einzelne Ausfallereignisse werden durch die Häufigkeit  $H$  und Folgeereignisse durch die bedingte Wahrscheinlichkeit  $p$  für das Auftreten eines Folgeausfalls während eines Fehlerzustandes im Netz parametrisiert. Ferner sind die Ausfallereignisse durch die jeweiligen Aus-Dauern  $T$  charakterisiert.

Zur Berechnung der Eintrittshäufigkeit bzw. der bedingten Eintrittswahrscheinlichkeit werden unabhängig vom Ausfallmodell Gl. (1) und (2) verwendet:

$$H_{AM,K} = \frac{n_{AM,K}}{G_{AM,K}} \quad (1)$$

mit

$n_{AM,K}$ : Anzahl der Ausfallereignisse nach dem Ausfallmodell AM auf der Komponente K im Betrachtungszeitraum, z. B. Anzahl der Einfachausfälle mit Schutz auslösung auf Freileitungen;

$G_{AM,K}$ : entsprechende Grundgesamtheit im Betrachtungszeitraum, z. B. gesamte Stromkreislänge von Freileitungen;

$$p_{AM,K} = \frac{n_{AM,K}}{n_E} \quad (2)$$

mit

$n_{AM,K}$ : Anzahl der Folgeausfallereignisse nach dem Ausfallmodell AM auf der Komponente K im Betrachtungszeitraum, z. B. Anzahl der Mehrfacherdschlüsse mit Mehrfachausfall auf Freileitungen;

$n_E$ : entsprechende Anzahl des Auftretens des relevanten Fehlerzustandes im Betrachtungszeitraum, z. B. Anzahl der stehenden Erdschlüsse im galvanisch verbundenen Netzgebiet.

Zahlreiche Untersuchungen der vorliegenden Datenbasis [2] haben ergeben, dass die Verteilung von Aus-Dauern durch Exponentialverteilungen oder durch die Überlagerung von Exponentialverteilungen angenähert und die Erwartungswerte für die Aus-Dauern aus den Parametern dieser Verteilungen abgeleitet werden können.

So hat sich für viele Komponenten bei Einfachausfällen mit Schutzauslösung ein typischer Verlauf mit einem großen Anteil von Störungen mit kurzen Aus-Dauern, sowie einem Anteil mit längeren, über einen großen Bereich streuenden Aus-Dauern gezeigt. Dies führt dazu, dass die Verteilung mathematisch nur unzureichend durch eine Exponentialverteilung, aber sehr gut durch eine Hyperexponentialverteilung als Überlagerung zweier Exponentialverteilungen modellierbar ist. *Bild 4* stellt dies am Beispiel der Verteilung der Aus-Dauern für Einfachausfälle mit Schutzauslösung von Transformatoren in niederohmig geerdeten 220-kV-Netzen dar.

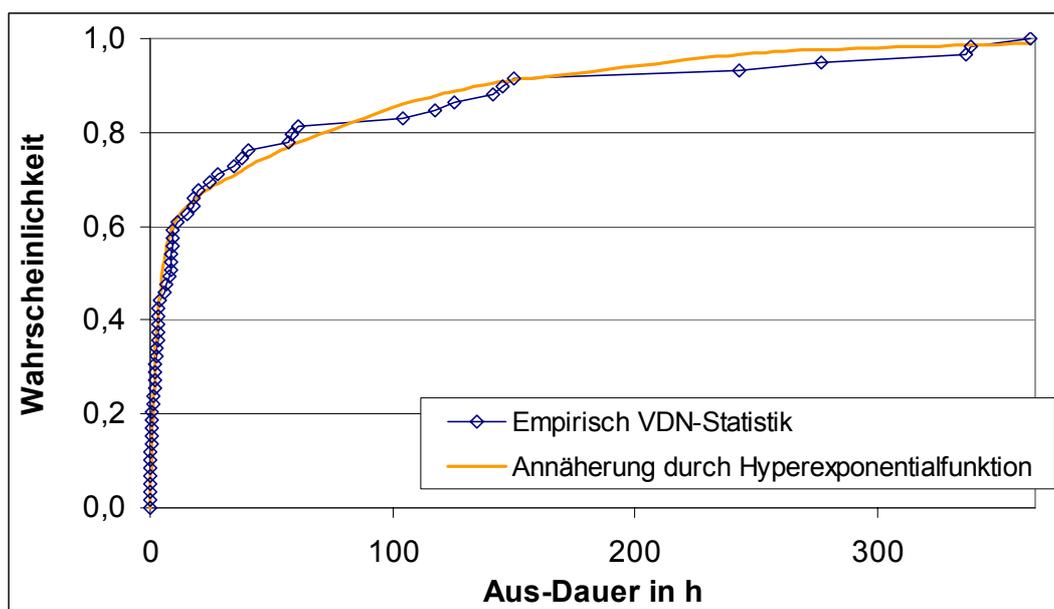


Bild 4: Verteilung der Aus-Dauer – Einfachausfall mit Schutzauslösung, 220 kV niederohmig geerdetes Netz, Transformator

Die Aus-Dauern der meisten anderen Ausfallmodelle sind, sofern aus der Statistik ermittelbar, durch den Parameter einer angenäherten Exponentialfunktion zu beschreiben.

### Interpretation der Statistik

In der Praxis erweist es sich als problematisch, die jeweils relevanten Ereignisse aus einer geeigneten Systemstatistik zu ermitteln. Die VDN-Störungsstatistik liefert hier eine qualitativ

hochwertige und umfangreiche Datenbasis, vor allem für Netze mit Nennspannungen von 110 kV und darüber. Trotzdem bestehen Interpretationsspielräume, die eine einheitliche und eindeutige Auswertung der Statistik erschweren. An anderen Stellen ist es darüber hinaus zur Begrenzung des Erfassungsaufwandes unumgänglich, dass erforderliche Daten lediglich geschätzt oder aus anderen, einfacher zu ermittelnden Angaben bestimmt werden.

Bei der Ermittlung von Eingangsdaten für die Zuverlässigkeitsberechnung stellt sich zunächst die Frage, welche Ereignisse aus Sicht der Zuverlässigkeit zu berücksichtigen sind. In der im Folgenden vorgestellten Auswertung wurden alle Störungen ohne Ausschaltung eines Betriebsmittels, mit erfolgreichen automatischen Wiedereinschaltungen, sowie Störungen mit den Fehlerarten Rückwirkung, Überlast oder fehlende Spannung (Fehler im überlagerten Netz) von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Die Zuordnung der Störungen zu den zu betrachtenden Komponenten erfolgt über das Störungsmerkmal „Fehlerort E“ und – in Einzelfällen – ergänzend über das Störungsmerkmal „Schadensort I“, das eine weitere Differenzierung zulässt. Da nicht bei jeder Störung ein Schaden entstanden ist, sind bei Auswertung des „Schadensortes I“ als Zusatzinformation geeignete Skalierungsfaktoren zu wählen, um nicht die Gesamtzahl der aufgetretenen Störungen je Komponente fälschlicherweise zu verringern.

Die Zuordnung der Störungen zu den Ausfallmodellen geschieht – je nach Ausfallmodell und Verfügbarkeit der Störungsmerkmale – über das Störungsmerkmal „Ausfallart RA/RB“, das bis Ende 2003 nur für Komponenten in Netzen mit Nennspannungen  $\geq 110$  kV erfasst worden ist, oder über die Störungsmerkmale „Störungsauswirkung B“, „Fehlerart C“ und „Zusatzangaben H“. Ohne das Störungsmerkmal "Ausfallart RA/RB" in Netzen mit Nennspannungen  $< 110$  kV sind in den betroffenen Spannungsebenen für manche Ausfallmodelle, z. B. Common-Mode-Ausfall, keine Kenndaten ermittelbar. Andererseits gibt es in Netzen mit Nennspannungen  $\geq 110$  kV für einige Ausfallmodelle mehrere Möglichkeiten zur Kenndatenermittlung, so dass hier Freiheitsgrade hinsichtlich der Interpretation bestehen, die zu gering abweichenden Komponentenkenndaten führen können.

Bei Common-Mode-Ausfällen stellt sich zusätzlich die Frage, ob die Ermittlung der Kennzahlen über die einzelnen Fehlerorte (mindestens 2 Fehlerorte je Common-Mode-Störung) oder die aufgetretenen Common-Mode-Störungen stattfindet – wie es in der aktuellen Auswertung der Fall ist.

## **Zuverlässigkeitskenndaten für Komponenten**

Im Vorfeld der aktuellen Auswertung der VDN-Störungsstatistik zur Ermittlung von Zuverlässigkeitskenndaten wurde von der Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH) und dem Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der RWTH Aachen (IAEW) das Auswertungsverfahren von Grund auf überarbeitet und detailliert festgelegt. Somit existiert erstmals ein einheitliches Auswertungsverfahren zur Ermittlung der erforderlichen Kenndaten für verschiedene Programme zur probabilistischen Zuverlässigkeitsberechnung.

Die grundlegende Überarbeitung des Auswertungsverfahrens und die sorgfältige Prüfung der Ergebnisse auf Plausibilität, sowie die gegenüber früheren Auswertungen umfangreichere Datenbasis gewährleisten eine zuvor nicht erreichte Qualität der Zuverlässigkeitskenndaten.

Das aktuelle Auswerteverfahren weicht dabei in einigen Punkten von der Interpretation früherer Auswertungen ab (s. Abschn. »Ermittlung von Kenndaten...«), so dass sich entsprechend auch Änderungen gegenüber Kenndaten aus früheren Auswertungen, z. B. [9], ergeben.

In den nachfolgenden Tabellen sind die ermittelten Zuverlässigkeitskenndaten dargestellt. Zusätzlich zu den Kenndaten  $H$ ,  $p$  und  $T$  ist als Indikator der Repräsentativität jeweils die Anzahl  $N$  der entsprechenden Ereignisse angegeben.

Dieser Fachbeitrag ist mit den Zuverlässigkeitskenndaten für kompensierte und niederohmig geerdete 110-kV-Netze auch in der Fachzeitschrift **ew**, Heft 15/2004, veröffentlicht worden.

## Literatur

- [1] Haubrich, H.-J. (Hrsg.): Zuverlässigkeitsberechnung von Verteilungsnetzen. Grundlagen - Verfahren - Anwendungen. ABEV Band 36, Verlag der Augustinus Buchhandlung, Aachen, 1996
- [2] Cheng, S.; Sengbusch, K. v.; Vennegeerts, H.: Rechnergestützte probabilistische Zuverlässigkeitsanalyse - Weiterentwicklung von RAMSES. Jahresbericht 2003 des Instituts für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der RWTH Aachen in Verbindung mit der Forschungsgesellschaft Energie an der RWTH Aachen e.V., Aachener Beiträge zur Energieversorgung, Band 92, Klinkenberg Verlag, Aachen 2003
- [3] Bitzer, B.: Störungsanalyse und Modellbildung zur Berechnung der Versorgungszuverlässigkeit von 110-kV-Netzen. Dissertation, TH Darmstadt, Darmstadt, 1981
- [4] Schwan, M.; Slupinski, A.: ZUBER – Programm zur Berechnung der Versorgungszuverlässigkeit in Netzen der Elektrischen Energieversorgung. Handbuch. FGH e.V., 2004
- [5] VDN Projektgruppe Störungsstatistik: Neues Erfassungsschema der VDN-Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik – Anpassungen an die Erfordernisse im liberalisierten Markt, ew Jg. 103 (2004), Heft 4, S. 30-33
- [6] VDN Projektgruppe Störungsstatistik: VDN-Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik – Anleitung. Systematische Erfassung von Störungen und Versorgungsunterbrechungen in elektrischen Energieversorgungsnetzen und deren statistische Auswertung. VDN, Berlin, 2004
- [7] Wellßow, W.H.: Ein Beitrag zur Zuverlässigkeitsberechnung in der Netzplanung. Dissertation, TH Darmstadt, Darmstadt, 1986
- [8] Vennegeerts, H.: Modellierung des Störungsgeschehens. FGH-AKEI-Seminar "Zuverlässigkeitsanalyse für elektrische Energieversorgungssysteme", Aachen, 2004
- [9] Böse, C.; Hügel, R.; Weber, Th.; Wellßow, W.H.: Auswertungen der VDEW-Störungsstatistik für Zuverlässigkeitsanalysen. ELEKTRIE Jg. 51 (1997), Heft 03/04, S. 130-139

### **Legende zu den nachfolgenden Tabellen der Zuverlässigkeitskenndaten**

Weitere Erläuterungen in den Abschnitten »Komponentenabgrenzung« und »Ausfallmodelle«

|          |  |
|----------|--|
| <i>N</i> | Anzahl der Ereignisse                      |
| <i>H</i> | Eintrittshäufigkeit                        |
| <i>T</i> | Aus-Dauer                                  |
| <i>p</i> | Bedingte Wahrscheinlichkeit (Folgeausfall) |

|     |  |
|-----|--|
| UNE | Unabhängiger Einfachausfall              |
| EAS | Einfachausfall mit Schutzauslösung       |
| UHA | Unverzögerte Handausschaltung            |
| VHA | Verzögerte Handausschaltung              |
| COM | Common-Mode-Fehler                       |
| SVS | Schutzversager (Folgeausfall)            |
| LVS | Leistungsschalterversager (Folgeausfall) |
| SUE | Schutzüberfunktion (Folgeausfall)        |
| SPS | Spontane Schutzüberfunktion              |
| E1P | Stehender Erdschluss                     |
| MEM | Mehrfacherdschluss mit Mehrfachausfall   |

|       |                       |
|-------|-----------------------|
| FREIL | Freileitung           |
| SS    | Sammelschiene         |
| F     | Feld                  |
| LS    | Leistungsschalter     |
| TR    | Trennschalter         |
| -AB   | Abschnitt             |
| -AA   | Abgangsseitig         |
| -SS   | Sammelschieneneseitig |

| Ausfallmodell | Komponente | 10 kV isoliert |               |         | 10 kV kompensiert |               |         | 10 kV niederohmig geerdet |               |         |  |
|---------------|------------|----------------|---------------|---------|-------------------|---------------|---------|---------------------------|---------------|---------|--|
|               |            | N              | H<br>in 1/a * | P       | N                 | H<br>in 1/a * | P       | N                         | H<br>in 1/a * | P       |  |
| UNE           | FREIL      | 257            | 0,09881       |         | 3673              | 0,02348       |         | 92                        | 0,09910       |         |  |
|               |            | 2558           | 0,02334       |         | 4885              | 0,01252       |         | 3435                      | 0,03235       |         |  |
|               | KABEL      | Alle           | 1577          | 0,02610 |                   | 2973          | 0,01426 |                           | 1400          | 0,03153 |  |
|               |            | Masse          | 28            | 0,00888 |                   | 341           | 0,01982 |                           | 144           | 0,02918 |  |
|               |            | PE             | 58            | 0,04890 |                   | 16            | 0,00774 |                           | 18            | 3,17788 |  |
|               |            | PVC            | 73            | 0,00947 |                   | 267           | 0,00417 |                           | 180           | 0,03421 |  |
|               |            | VPE            | 237           | 0,00203 |                   | 392           | 0,00089 |                           | 315           | 0,00288 |  |
|               | TRAFO      | Alle           | 82            | 0,00280 |                   | 13            | 0,00032 |                           | 28            | 0,00063 |  |
|               |            | Gebäude        | 52            | 0,0163  |                   | 134           | 0,00958 |                           | 145           | 0,00383 |  |
|               |            | Kompakt        | 18            | 0,0043  |                   | 38            | 0,0038  |                           | 13            | 0,00130 |  |
|               |            | Mast           | 32            | 0,02056 |                   | 128           | 0,00195 |                           | 37            | 0,03339 |  |
|               |            | sonstige ONS   | 33            | 0,14699 |                   | 28            | 0,00467 |                           | 68            | 0,40154 |  |
|               | ONS-FELD   | Einbau         | 12            | 0,00012 |                   | 15            | 0,00010 |                           | 9             | 0,00006 |  |
|               |            | Gebäude        | 36            | 0,00031 |                   | 134           | 0,00016 |                           | 54            | 0,00041 |  |
|               |            | Kompakt        | 20            | 0,00015 |                   | 50            | 0,00017 |                           | 2             | 0,00008 |  |
|               |            | Mast           | 30            | 0,01325 |                   | 159           | 0,00211 |                           | 5             | 0,00450 |  |
|               | UW/SA      | sonstige ONS   | 7             | 0,01080 |                   | 28            | 0,00131 |                           | 15            | 0,02887 |  |
|               |            | SS-AB          | 53            | 0,00013 |                   | 120           | 0,00009 |                           | 50            | 0,00011 |  |
|               |            | F-AA           | 46            | 0,00110 |                   | 147           | 0,00334 |                           | 32            | 0,00052 |  |
|               |            | F-SS           | 55            | 0,00148 |                   | 118           | 0,00140 |                           | 35            | 0,00095 |  |
| EAS           | FREIL      | 208            | 0,07997       |         | 2890              | 0,01848       |         | 83                        | 0,08940       |         |  |
|               |            | 2524           | 0,02303       |         | 4778              | 0,01225       |         | 3417                      | 0,03218       |         |  |
|               | KABEL      | Alle           | 1559          | 0,02300 |                   | 2930          | 0,01405 |                           | 1386          | 0,03144 |  |
|               |            | Masse          | 27            | 0,00856 |                   | 335           | 0,01947 |                           | 142           | 0,02918 |  |
|               |            | PE             | 58            | 0,04890 |                   | 15            | 0,00725 |                           | 18            | 3,17788 |  |
|               |            | PVC            | 73            | 0,00947 |                   | 259           | 0,00405 |                           | 179           | 0,03402 |  |
|               |            | VPE            | 228           | 0,00195 |                   | 363           | 0,00082 |                           | 307           | 0,00281 |  |
|               | TRAFO      | Alle           | 81            | 0,00277 |                   | 13            | 0,00032 |                           | 26            | 0,00059 |  |
|               |            | Gebäude        | 51            | 0,00180 |                   | 129           | 0,00056 |                           | 143           | 0,00377 |  |
|               |            | Kompakt        | 16            | 0,0043  |                   | 34            | 0,00034 |                           | 13            | 0,00130 |  |
|               |            | Mast           | 27            | 0,01735 |                   | 112           | 0,00171 |                           | 35            | 0,03159 |  |
|               |            | sonstige ONS   | 32            | 0,14283 |                   | 27            | 0,00450 |                           | 68            | 0,40154 |  |
|               | ONS-FELD   | Einbau         | 11            | 0,00011 |                   | 14            | 0,00010 |                           | 9             | 0,00006 |  |
|               |            | Gebäude        | 33            | 0,00028 |                   | 119           | 0,00014 |                           | 52            | 0,00039 |  |
|               |            | Kompakt        | 20            | 0,00015 |                   | 41            | 0,00014 |                           | 2             | 0,00006 |  |
|               |            | Mast           | 29            | 0,01281 |                   | 129           | 0,00171 |                           | 5             | 0,00450 |  |
|               | UW/SA      | sonstige ONS   | 8             | 0,00926 |                   | 27            | 0,00127 |                           | 14            | 0,02884 |  |
|               |            | SS-AB          | 50            | 0,00012 |                   | 110           | 0,00008 |                           | 49            | 0,00011 |  |
|               |            | LS             | 19            | 0,00048 |                   | 16            | 0,00033 |                           | 8             | 0,00028 |  |
|               |            | TR-AA          | 44            | 0,00122 |                   | 119           | 0,00125 |                           | 31            | 0,00076 |  |
|               | TR-SS      | 36             | 0,00100       |         | 102               | 0,00107       |         | 27                        | 0,00066       |         |  |
| UHA           | FREIL      | 49             | 0,01884       |         | 783               | 0,00501       |         | 9                         | 0,00969       |         |  |
|               |            | 34             | 0,00031       |         | 107               | 0,00027       |         | 18                        | 0,00017       |         |  |
|               | KABEL      | Alle           | 18            | 0,00030 |                   | 43            | 0,00021 |                           | 0             | 0,00009 |  |
|               |            | Masse          | 1             | 0,00032 |                   | 6             | 0,00035 |                           | 0             |         |  |
|               |            | PE             | 0             |         |                   | 1             | 0,00048 |                           | 0             |         |  |
|               |            | PVC            | 0             |         |                   | 8             | 0,00013 |                           | 1             | 0,00019 |  |
|               |            | VPE            | 9             | 0,00008 |                   | 29            | 0,00007 |                           | 8             | 0,00007 |  |
|               | TRAFO      | Alle           | 1             | 0,00003 |                   | 0             |         |                           | 2             | 0,00005 |  |
|               |            | Gebäude        | 1             | 0,00003 |                   | 5             | 0,00002 |                           | 2             | 0,00005 |  |
|               |            | Kompakt        | 0             |         |                   | 4             | 0,00004 |                           | 0             |         |  |
|               |            | Mast           | 5             | 0,00321 |                   | 16            | 0,00024 |                           | 2             | 0,00181 |  |
|               |            | sonstige ONS   | 1             | 0,00445 |                   | 1             | 0,00017 |                           | 0             |         |  |
|               | ONS-FELD   | Einbau         | 1             | 0,00001 |                   | 1             | 0,00001 |                           | 0             |         |  |
|               |            | Gebäude        | 3             | 0,00003 |                   | 15            | 0,00002 |                           | 2             | 0,00002 |  |
|               |            | Kompakt        | 0             |         |                   | 9             | 0,00003 |                           | 0             |         |  |
|               |            | Mast           | 1             | 0,00044 |                   | 30            | 0,00040 |                           | 0             |         |  |
|               | UW/SA      | sonstige ONS   | 1             | 0,00154 |                   | 1             | 0,00005 |                           | 1             | 0,00193 |  |
|               |            | SS-AB          | 3             | 0,00001 |                   | 10            | 0,00001 |                           | 1             | 0,00004 |  |
|               |            | LS             | 0             |         |                   | 2             | 0,00004 |                           | 1             | 0,00004 |  |
|               |            | TR-AA          | 1             | 0,00003 |                   | 13            | 0,00014 |                           | 0             |         |  |
|               | TR-SS      | 1              | 0,00003       |         | 13                | 0,00014       |         | 0                         |               |         |  |
| VHA           | FREIL      | 23             | 0,00884       |         | 502               | 0,00321       |         | 8                         | 0,00862       |         |  |
|               |            | 633            | 0,00578       |         | 2393              | 0,00613       |         | 266                       | 0,00251       |         |  |
|               | KABEL      | Alle           | 369           | 0,00611 |                   | 1061          | 0,00509 |                           | 88            | 0,00198 |  |
|               |            | Masse          | 41            | 0,01300 |                   | 364           | 0,02116 |                           | 43            | 0,00871 |  |
|               |            | PE             | 16            | 0,01349 |                   | 32            | 0,01548 |                           | 1             | 0,17655 |  |
|               |            | PVC            | 31            | 0,00402 |                   | 395           | 0,00617 |                           | 25            | 0,00475 |  |
|               |            | VPE            | 327           | 0,00280 |                   | 153           | 0,00035 |                           | 13            | 0,00012 |  |
|               | TRAFO      | Alle           | 296           | 0,01012 |                   | 2             | 0,00005 |                           | 4             | 0,00009 |  |
|               |            | Gebäude        | 16            | 0,00050 |                   | 46            | 0,00020 |                           | 5             | 0,00013 |  |
|               |            | Kompakt        | 14            | 0,00033 |                   | 7             | 0,00007 |                           | 0             |         |  |
|               |            | Mast           | 1             | 0,00064 |                   | 84            | 0,00128 |                           | 0             |         |  |
|               |            | sonstige ONS   | 0             |         |                   | 7             | 0,00117 |                           | 3             | 0,01772 |  |
|               | ONS-FELD   | Einbau         | 5             | 0,00005 |                   | 6             | 0,00004 |                           | 0             |         |  |
|               |            | Gebäude        | 10            | 0,00009 |                   | 62            | 0,00007 |                           | 9             | 0,00007 |  |
|               |            | Kompakt        | 10            | 0,00008 |                   | 15            | 0,00005 |                           | 0             |         |  |
|               |            | Mast           | 4             | 0,00177 |                   | 70            | 0,00093 |                           | 1             | 0,00090 |  |
|               | UW/SA      | sonstige ONS   | 1             | 0,00154 |                   | 11            | 0,00002 |                           | 2             | 0,00385 |  |
|               |            | SS-AB          | 2             | 0,00001 |                   | 22            | 0,00002 |                           | 3             | 0,00001 |  |
|               |            | F-AA           | 29            | 0,00069 |                   | 98            | 0,00223 |                           | 11            | 0,00018 |  |
|               |            | F-SS           | 22            | 0,00053 |                   | 76            | 0,00173 |                           | 8             | 0,00013 |  |
|               | LS         | 7              | 0,00018       |         | 13                | 0,00027       |         | 2                         | 0,00007       |         |  |
|               | TR-AA      | 22             | 0,00061       |         | 85                | 0,00089       |         | 9                         | 0,00022       |         |  |
|               | TR-SS      | 22             | 0,00061       |         | 76                | 0,00080       |         | 8                         | 0,00020       |         |  |
| SVS           |            |                | 0,00448       |         | 59                |               | 0,00461 | 22                        |               | 0,00601 |  |
| ETP           | FREIL      | 27             | 0,01638       |         | 789               | 0,00504       |         |                           |               |         |  |
|               |            | 666            | 0,00608       |         | 3521              | 0,00902       |         |                           |               |         |  |
|               | KABEL      | Alle           | 363           | 0,00601 |                   | 1973          | 0,00946 |                           |               |         |  |
|               |            | Masse          | 27            | 0,00856 |                   | 451           | 0,02621 |                           |               |         |  |
|               |            | PE             | 18            | 0,01518 |                   | 32            | 0,01548 |                           |               |         |  |
|               |            | PVC            | 28            | 0,00363 |                   | 368           | 0,00575 |                           |               |         |  |
|               |            | VPE            | 20            | 0,00017 |                   | 108           | 0,00025 |                           |               |         |  |
|               | TRAFO      | Alle           | 3             | 0,00010 |                   | 3             | 0,00007 |                           |               |         |  |
|               |            | Gebäude        | 3             | 0,00009 |                   | 40            | 0,00017 |                           |               |         |  |
|               |            | Kompakt        | 2             | 0,00005 |                   | 8             | 0,00008 |                           |               |         |  |
|               |            | Mast           | 9             | 0,00578 |                   | 46            | 0,00070 |                           |               |         |  |
|               |            | sonstige ONS   | 1             | 0,00445 |                   | 4             | 0,00067 |                           |               |         |  |
|               | ONS-FELD   | Einbau         | 0             |         |                   | 3             | 0,00002 |                           |               |         |  |
|               |            | Gebäude        | 1             | 0,00001 |                   | 40            | 0,00005 |                           |               |         |  |
|               |            | Kompakt        | 1             | 0,00001 |                   | 8             | 0,00002 |                           |               |         |  |
|               |            | Mast           | 7             | 0,00309 |                   | 80            | 0,00106 |                           |               |         |  |
|               | UW/SA      | sonstige ONS   | 1             | 0,00154 |                   | 3             | 0,00014 |                           |               |         |  |
|               |            | SS-AB          | 1             | 0,00000 |                   | 39            | 0,00003 |                           |               |         |  |
|               |            | F-AA           | 5             | 0,00012 |                   | 42            | 0,00095 |                           |               |         |  |
|               |            | F-SS           | 4             | 0,00010 |                   | 41            | 0,00093 |                           |               |         |  |
|               | LS         | 1              | 0,00003       |         | 4                 | 0,00008       |         |                           |               |         |  |
|               | TR-AA      | 5              | 0,00014       |         | 42                | 0,00044       |         |                           |               |         |  |
|               | TR-SS      | 3              | 0,00008       |         | 37                | 0,00039       |         |                           |               |         |  |
| MEM           | FREIL      | 9              |               | 0,01120 | 180               |               | 0,00160 |                           |               |         |  |
|               |            | 146            |               | 0,00430 | 686               |               | 0,00240 |                           |               |         |  |
|               | KABEL      | Alle           | 73            |         | 0,00260           | 268           |         | 0,00130                   |               |         |  |
|               |            | Masse          | 2             |         | 0,00140           | 170           |         | 0,01030                   |               |         |  |
|               |            | PE             | 8             |         | 0,01450           | 3             |         | 0,00150                   |               |         |  |
|               |            | PVC            | 12            |         | 0,00330           | 58            |         | 0,00090                   |               |         |  |
|               |            | VPE            | 0             |         |                   | 13            |         | 0,00000                   |               |         |  |
|               | TRAFO      | Alle           | 0             |         |                   | 1             |         | 0,00000                   |               |         |  |
|               |            | Gebäude        | 0             |         |                   | 1             |         | 0,00000                   |               |         |  |
|               |            | Kompakt        | 0             |         |                   | 1             |         | 0,00000                   |               |         |  |
|               |            | Mast           | 0             |         |                   | 9             |         | 0,00010                   |               |         |  |
|               |            | sonstige ONS   | 0             |         |                   | 0             |         |                           |               |         |  |
|               | ONS-FELD   | Einbau         | 2             |         | 0,00010           | 3             |         | 0,00000                   |               |         |  |
|               |            | Gebäude        | 0             |         |                   | 14            |         | 0,00000                   |               |         |  |
|               |            | Kompakt        | 0             |         |                   | 3             |         | 0,00000                   |               |         |  |
|               |            | Mast           | 6             |         | 0,00740           | 34            |         | 0,00040                   |               |         |  |
|               | UW/SA      | sonstige ONS   | 1             |         | 0,00450           | 1             |         | 0,00010                   |               |         |  |
|               |            | SS-AB          | 2             |         | 0,00000           | 22            |         | 0,00000                   |               |         |  |
|               |            | F-AA           | 9             |         | 0,00052           | 59            |         | 0,00043                   |               |         |  |
|               |            | F-SS           | 18            |         | 0,00099           | 118           |         | 0,00099                   |               |         |  |
|               | LS         | 9              |               | 0,00050 | 59                |               | 0,00050 |                           |               |         |  |
|               | TR-AA      | 9              |               | 0,00060 | 59                |               | 0,00020 |                           |               |         |  |
|               | TR-SS      | 9              |               | 0,00060 | 59                |               | 0,00020 |                           |               |         |  |

| Ausfallmodell | Komponente     | 20 kV kompensiert |               |         | 20 kV niederohmig geerdet |               |    | 30 kV kompensiert |               |   |
|---------------|----------------|-------------------|---------------|---------|---------------------------|---------------|----|-------------------|---------------|---|
|               |                | N                 | H<br>in 1/a * | p       | N                         | H<br>in 1/a * | p  | N                 | H<br>in 1/a * | p |
| UNE           | FREIL<br>KABEL | Alle              | 16919         | 0,02926 | 32                        | 0,21491       |    | 898               | 0,02302       |   |
|               |                | Masse             | 6228          | 0,01195 | 547                       | 0,01971       |    | 300               | 0,00683       |   |
|               |                | Ol                | 2242          | 0,01491 | 250                       | 0,04924       |    | 144               | 0,01055       |   |
|               |                | PE                | 52            | 0,12573 | 0                         |               |    | 1                 | 0,00682       |   |
|               |                | PVC               | 1240          | 0,03113 | 42                        | 0,09054       |    | 46                | 0,02209       |   |
|               |                | VPE               | 104           | 0,29967 | 0                         |               |    | 1                 | 0,14125       |   |
|               | TRAF0          | Alle              | 1130          | 0,00553 | 113                       | 0,00777       |    | 7                 | 0,00127       |   |
|               |                | Einbau            | 2407          | 0,00293 | 51                        | 0,00165       |    | 92                | 0,00532       |   |
|               |                | Gebäude           | 42            | 0,00092 | 2                         | 0,00100       |    | 1                 | 0,00725       |   |
|               |                | Kompakt           | 733           | 0,00162 | 14                        | 0,00192       |    | 14                | 0,00153       |   |
|               |                | Mast              | 222           | 0,00155 | 22                        | 0,00110       |    | 0                 |               |   |
|               |                | sonstige ONS      | 1096          | 0,00593 | 4                         | 0,04621       |    | 20                | 0,00812       |   |
|               | ONS-FELD       | Einbau            | 95            | 0,00458 | 1                         | 0,00117       |    | 1                 | 0,02000       |   |
|               |                | Gebäude           | 46            | 0,00032 | 5                         | 0,00078       |    | 1                 | 0,00240       |   |
|               |                | Kompakt           | 1084          | 0,00083 | 53                        | 0,00215       |    | 23                | 0,00079       |   |
|               |                | Mast              | 209           | 0,00054 | 16                        | 0,00025       |    | 0                 |               |   |
|               | UW/SA          | SS-AB             | 78            | 0,00437 | 1                         | 0,01458       |    | 10                | 0,00290       |   |
|               |                | F-AA              | 484           | 0,00265 | 22                        | 0,00614       |    | 28                | 0,00162       |   |
|               |                | F-SS              | 467           | 0,00562 | 20                        | 0,00596       |    | 22                | 0,00111       |   |
|               |                | sonstige ONS      | 78            | 0,00152 | 0                         |               |    | 1                 | 0,00857       |   |
| EAS           | FREIL<br>KABEL | Alle              | 14841         | 0,02567 | 31                        | 0,20819       |    | 775               | 0,01986       |   |
|               |                | Masse             | 5911          | 0,01135 | 546                       | 0,01967       |    | 289               | 0,00850       |   |
|               |                | Ol                | 2165          | 0,01440 | 250                       | 0,04924       |    | 140               | 0,01025       |   |
|               |                | PE                | 48            | 0,11606 | 0                         |               |    | 0                 | 0,00682       |   |
|               |                | PVC               | 1196          | 0,03002 | 42                        | 0,09054       |    | 45                | 0,02161       |   |
|               |                | VPE               | 99            | 0,28526 | 0                         |               |    | 1                 | 0,14125       |   |
|               | TRAF0          | Alle              | 1076          | 0,00526 | 113                       | 0,00777       |    | 7                 | 0,00127       |   |
|               |                | Einbau            | 2280          | 0,00277 | 51                        | 0,00165       |    | 86                | 0,00497       |   |
|               |                | Gebäude           | 39            | 0,00086 | 2                         | 0,00100       |    | 1                 | 0,01225       |   |
|               |                | Kompakt           | 693           | 0,00153 | 14                        | 0,00192       |    | 13                | 0,00142       |   |
|               |                | Mast              | 212           | 0,00148 | 22                        | 0,00110       |    | 0                 |               |   |
|               |                | sonstige ONS      | 1036          | 0,00560 | 4                         | 0,04621       |    | 19                | 0,00771       |   |
|               | ONS-FELD       | Einbau            | 92            | 0,00443 | 1                         | 0,00117       |    | 1                 | 0,02000       |   |
|               |                | Gebäude           | 44            | 0,00030 | 5                         | 0,00078       |    | 1                 | 0,00240       |   |
|               |                | Kompakt           | 1018          | 0,00078 | 52                        | 0,00211       |    | 21                | 0,00073       |   |
|               |                | Mast              | 199           | 0,00051 | 16                        | 0,00025       |    | 0                 |               |   |
|               | UW/SA          | SS-AB             | 970           | 0,00394 | 1                         | 0,01458       |    | 8                 | 0,00232       |   |
|               |                | F-AA              | 74            | 0,00145 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | F-SS              | 595           | 0,00204 | 23                        | 0,00022       |    | 17                | 0,00025       |   |
|               |                | TR-SS             | 103           | 0,00204 | 4                         | 0,00143       |    | 14                | 0,00082       |   |
| UHA           | FREIL<br>KABEL | Alle              | 2078          | 0,00359 | 1                         | 0,00672       |    | 123               | 0,00315       |   |
|               |                | Masse             | 317           | 0,00061 | 1                         | 0,00004       |    | 11                | 0,00032       |   |
|               |                | Ol                | 77            | 0,00051 | 0                         |               |    | 4                 | 0,00029       |   |
|               |                | PE                | 4             | 0,00967 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | PVC               | 44            | 0,00111 | 0                         |               |    | 1                 | 0,00048       |   |
|               |                | VPE               | 5             | 0,01441 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               | TRAF0          | Alle              | 54            | 0,00026 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | Einbau            | 127           | 0,00015 | 0                         |               |    | 6                 | 0,00035       |   |
|               |                | Gebäude           | 3             | 0,00007 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | Kompakt           | 40            | 0,00009 | 0                         |               |    | 1                 | 0,00011       |   |
|               |                | Mast              | 10            | 0,00007 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | sonstige ONS      | 60            | 0,00032 | 0                         |               |    | 1                 | 0,00041       |   |
|               | ONS-FELD       | Einbau            | 3             | 0,00014 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | Gebäude           | 2             | 0,00001 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | Kompakt           | 66            | 0,00005 | 1                         | 0,00004       |    | 2                 | 0,00007       |   |
|               |                | Mast              | 10            | 0,00003 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               | UW/SA          | SS-AB             | 105           | 0,00043 | 0                         |               |    | 2                 | 0,00058       |   |
|               |                | F-AA              | 4             | 0,00008 | 0                         |               |    | 1                 | 0,00057       |   |
|               |                | F-SS              | 54            | 0,00002 | 0                         |               |    | 3                 | 0,00004       |   |
|               |                | TR-SS             | 4             | 0,00006 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
| VHA           | FREIL<br>KABEL | Alle              | 1812          | 0,00313 | 0                         |               |    | 135               | 0,00346       |   |
|               |                | Masse             | 4099          | 0,00787 | 34                        | 0,00123       |    | 340               | 0,01000       |   |
|               |                | Ol                | 1340          | 0,00891 | 11                        | 0,00217       |    | 159               | 0,01164       |   |
|               |                | PE                | 75            | 0,18134 | 0                         |               |    | 2                 | 0,01364       |   |
|               |                | PVC               | 856           | 0,02149 | 5                         | 0,01078       |    | 35                | 0,01681       |   |
|               |                | VPE               | 61            | 0,17577 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               | TRAF0          | Alle              | 925           | 0,00453 | 7                         | 0,00048       |    | 20                | 0,00362       |   |
|               |                | Einbau            | 377           | 0,00046 | 3                         | 0,00010       |    | 27                | 0,00156       |   |
|               |                | Gebäude           | 7             | 0,00015 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | Kompakt           | 93            | 0,00021 | 1                         | 0,00014       |    | 3                 | 0,00033       |   |
|               |                | Mast              | 46            | 0,00032 | 2                         | 0,00010       |    | 0                 |               |   |
|               |                | sonstige ONS      | 179           | 0,00097 | 0                         |               |    | 2                 | 0,00081       |   |
|               | ONS-FELD       | Einbau            | 21            | 0,00101 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | Gebäude           | 7             | 0,00005 | 1                         | 0,00016       |    | 0                 |               |   |
|               |                | Kompakt           | 186           | 0,00014 | 7                         | 0,00028       |    | 7                 | 0,00024       |   |
|               |                | Mast              | 41            | 0,00011 | 4                         | 0,00006       |    | 0                 |               |   |
|               | UW/SA          | SS-AB             | 202           | 0,00082 | 0                         |               |    | 3                 | 0,00087       |   |
|               |                | F-AA              | 17            | 0,00033 | 0                         |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | F-SS              | 57            | 0,00002 | 3                         | 0,00003       |    | 13                | 0,00019       |   |
|               |                | TR-SS             | 198           | 0,00009 | 8                         | 0,00223       |    | 36                | 0,00208       |   |
| SVS           | FREIL<br>KABEL | Alle              | 2817          | 0,00453 | 2                         |               |    | 20                | 0,01066       |   |
|               |                | Masse             | 6804          | 0,01306 |                           |               |    | 194               | 0,01448       |   |
|               |                | Ol                | 2409          | 0,01802 |                           |               |    | 257               | 0,01882       |   |
|               |                | PE                | 124           | 0,29981 |                           |               |    | 2                 | 0,01364       |   |
|               |                | PVC               | 1335          | 0,03351 |                           |               |    | 49                | 0,02353       |   |
|               |                | VPE               | 93            | 0,26797 |                           |               |    | 1                 | 0,14125       |   |
|               | TRAF0          | Alle              | 1454          | 0,00711 |                           |               |    | 20                | 0,00362       |   |
|               |                | Einbau            | 416           | 0,00051 |                           |               |    | 15                | 0,00087       |   |
|               |                | Gebäude           | 6             | 0,00013 |                           |               |    | 1                 | 0,00725       |   |
|               |                | Kompakt           | 82            | 0,00018 |                           |               |    | 4                 | 0,00044       |   |
|               |                | Mast              | 30            | 0,00021 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | sonstige ONS      | 263           | 0,00142 |                           |               |    | 3                 | 0,00122       |   |
|               | ONS-FELD       | Einbau            | 14            | 0,00067 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | Gebäude           | 8             | 0,00006 |                           |               |    | 1                 | 0,00240       |   |
|               |                | Kompakt           | 205           | 0,00016 |                           |               |    | 9                 | 0,00031       |   |
|               |                | Mast              | 43            | 0,00011 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               | UW/SA          | SS-AB             | 190           | 0,00077 |                           |               |    | 1                 | 0,00029       |   |
|               |                | F-AA              | 13            | 0,00025 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | F-SS              | 79            | 0,00003 |                           |               |    | 11                | 0,00016       |   |
|               |                | TR-SS             | 101           | 0,00055 |                           |               |    | 23                | 0,00133       |   |
| MEM           | FREIL<br>KABEL | Alle              | 576           | 0,00070 |                           |               |    | 23                | 0,00080       |   |
|               |                | Masse             | 2114          | 0,00300 |                           |               |    | 55                | 0,00230       |   |
|               |                | Ol                | 464           | 0,00180 |                           |               |    | 17                | 0,00110       |   |
|               |                | PE                | 25            | 0,03430 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | PVC               | 279           | 0,02797 |                           |               |    | 11                | 0,00470       |   |
|               |                | VPE               | 19            | 0,03110 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               | TRAF0          | Alle              | 715           | 0,00200 |                           |               |    | 5                 | 0,00080       |   |
|               |                | Einbau            | 46            | 0,00000 |                           |               |    | 4                 | 0,00030       |   |
|               |                | Gebäude           | 0             |         |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | Kompakt           | 9             | 0,00000 |                           |               |    | 1                 | 0,00010       |   |
|               |                | Mast              | 7             | 0,00000 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | sonstige ONS      | 19            | 0,00010 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               | ONS-FELD       | Einbau            | 6             | 0,00020 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | Gebäude           | 4             | 0,00000 |                           |               |    | 1                 | 0,00340       |   |
|               |                | Kompakt           | 125           | 0,00010 |                           |               |    | 10                | 0,00040       |   |
|               |                | Mast              | 16            | 0,00000 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               | UW/SA          | SS-AB             | 38            | 0,00020 |                           |               |    | 2                 | 0,00080       |   |
|               |                | F-AA              | 11            | 0,00010 |                           |               |    | 0                 |               |   |
|               |                | F-SS              | 33            | 0,00000 |                           |               |    | 4                 | 0,00010       |   |
|               |                | TR-SS             | 291           | 0,00022 |                           |               |    | 29                | 0,00127       |   |
| MEM           | SS-AB          | 582               | 0,00047       |         |                           |               | 58 | 0,00245           |               |   |
|               | F-AA           | 291               | 0,00099       |         |                           |               | 29 | 0,00120           |               |   |
|               | F-SS           | 291               | 0,00040       |         |                           |               | 29 | 0,00080           |               |   |
|               | TR-SS          | 291               | 0,00040       |         |                           |               | 29 | 0,00080           |               |   |
|               | sonstige ONS   | 11                | 0,00010       |         |                           |               | 0  |                   |               |   |
|               | sonstige ONS   | 11                | 0,00010       |         |                           |               | 0  |                   |               |   |

\* Angabe der Häufigkeiten und bedingten Wahrscheinlichkeiten bei Freileitungen und Kabeln in 1/(km a) bzw. 1/km

| Ausfallmodell | Komponente | 110 kV kompensiert |               |           |         | 110 kV niederohmig geerdet |               |           |         |  |
|---------------|------------|--------------------|---------------|-----------|---------|----------------------------|---------------|-----------|---------|--|
|               |            | N                  | H<br>in 1/a * | T<br>in h | p<br>*  | N                          | H<br>in 1/a * | T<br>in h | p<br>*  |  |
| UNE           | FREIL      | 871                | 0,00218       | 3,20      |         | 426                        | 0,00789       | 2,74      |         |  |
|               | KABEL      | 44                 | 0,00432       | 66,09     |         | 104                        | 0,00657       | 68,22     |         |  |
|               | TRAFO      | 193                | 0,00785       | 8,35      |         | 53                         | 0,00679       | 21,59     |         |  |
|               | SS         | 12                 | 0,00073       | 3,38      |         | 17                         | 0,00628       | 16,41     |         |  |
|               | SS-AB      | 12                 | 0,00013       | 3,38      |         | 17                         | 0,00074       | 16,41     |         |  |
|               | F-AA       | 103                | 0,00214       | 14,39     |         | 79                         | 0,00553       | 19,93     |         |  |
|               | F-SS       | 18                 | 0,00038       | 12,22     |         | 14                         | 0,00084       | 21,00     |         |  |
| EAS - kurz    | FREIL      | 417                | 0,00105       | 0,10      |         | 213                        | 0,00395       | 0,09      |         |  |
|               | KABEL      | 8                  | 0,00075       | 1,38      |         | 21                         | 0,00132       | 8,90      |         |  |
|               | TRAFO      | 34                 | 0,00139       | 0,05      |         | 27                         | 0,00343       | 1,66      |         |  |
|               | SS         | 8                  | 0,00049       | 0,45      |         | 5                          | 0,00197       | 1,81      |         |  |
|               | SS-AB      | 8                  | 0,00008       | 0,45      |         | 5                          | 0,00023       | 1,81      |         |  |
|               | LS         | 4                  | 0,00009       | 1,18      |         | 4                          | 0,00030       | 3,30      |         |  |
|               | TR-AA      | 4                  | 0,00003       | 0,09      |         | 2                          | 0,00005       | 3,95      |         |  |
| EAS - lang    | FREIL      | 247                | 0,00062       | 8,04      |         | 186                        | 0,00345       | 5,72      |         |  |
|               | KABEL      | 5                  | 0,00053       | 64,67     |         | 37                         | 0,00235       | 132,50    |         |  |
|               | TRAFO      | 117                | 0,00476       | 8,87      |         | 11                         | 0,00144       | 69,54     |         |  |
|               | SS         | 0                  |               |           |         | 2                          | 0,00061       | 15,93     |         |  |
|               | SS-AB      | 0                  |               |           |         | 2                          | 0,00007       | 15,93     |         |  |
|               | LS         | 6                  | 0,00015       | 32,10     |         | 8                          | 0,00065       | 29,24     |         |  |
|               | TR-AA      | 15                 | 0,00013       | 6,63      |         | 6                          | 0,00016       | 47,27     |         |  |
| UHA           | FREIL      | 207                | 0,00052       | 3,69      |         | 27                         | 0,00050       | 3,11      |         |  |
|               | KABEL      | 31                 | 0,00305       | 82,27     |         | 46                         | 0,00291       | 43,28     |         |  |
|               | TRAFO      | 42                 | 0,00171       | 13,62     |         | 15                         | 0,00192       | 21,18     |         |  |
|               | SS         | 4                  | 0,00024       | 9,38      |         | 10                         | 0,00369       | 24,28     |         |  |
|               | SS-AB      | 4                  | 0,00004       | 9,38      |         | 10                         | 0,00043       | 24,28     |         |  |
|               | LS         | 50                 | 0,00122       | 15,34     |         | 61                         | 0,00481       | 14,27     |         |  |
|               | TR-AA      | 23                 | 0,00020       | 19,99     |         | 7                          | 0,00018       | 41,13     |         |  |
| VHA           | FREIL      | 166                | 0,00042       | 3,69      |         | 53                         | 0,00098       | 3,11      |         |  |
|               | KABEL      | 31                 | 0,00305       | 82,27     |         | 19                         | 0,00120       | 43,28     |         |  |
|               | TRAFO      | 53                 | 0,00216       | 13,62     |         | 22                         | 0,00282       | 21,18     |         |  |
|               | SS         | 6                  | 0,00036       | 9,38      |         | 5                          | 0,00185       | 24,28     |         |  |
|               | SS-AB      | 6                  | 0,00006       | 9,38      |         | 5                          | 0,00022       | 24,28     |         |  |
|               | F-AA       | 75                 | 0,00156       | 16,34     |         | 44                         | 0,00308       | 19,77     |         |  |
|               | F-SS       | 8                  | 0,00017       | 13,97     |         | 5                          | 0,00035       | 38,69     |         |  |
| COM           | FREIL      | 164                | 0,00087       | 3,33      |         | 32                         | 0,00135       | 2,19      |         |  |
|               | SVS        | 1                  |               |           | 0,00021 | 4                          |               |           | 0,00194 |  |
|               | LVS        | 1                  |               |           | 0,00021 | 3                          |               |           | 0,00145 |  |
|               | SUE        | 17                 |               |           | 0,00354 | 10                         |               |           | 0,00485 |  |
|               | SPS        | 136                | 0,00161       |           |         | 75                         | 0,00358       |           |         |  |
|               | E1P        | FREIL              | 242           | 0,00061   |         |                            |               |           |         |  |
|               |            | KABEL              | 34            | 0,00334   |         |                            |               |           |         |  |
| TRAFO         |            | 24                 | 0,00098       |           |         |                            |               |           |         |  |
| SS            |            | 7                  | 0,00043       |           |         |                            |               |           |         |  |
| SS-AB         |            | 7                  | 0,00007       |           |         |                            |               |           |         |  |
| F-AA          |            | 25                 | 0,00052       |           |         |                            |               |           |         |  |
| F-SS          |            | 10                 | 0,00021       |           |         |                            |               |           |         |  |
| LS            |            | 5                  | 0,00012       |           |         |                            |               |           |         |  |
| MEM           | FREIL      | 67                 |               | 3,86      | 0,00030 |                            |               |           |         |  |
|               | KABEL      | 2                  |               | 293,88    | 0,00030 |                            |               |           |         |  |
|               | TRAFO      | 25                 |               | 15,38     | 0,00150 |                            |               |           |         |  |
|               | SS         | 1                  |               | 3,52      | 0,00009 |                            |               |           |         |  |
|               | SS-AB      | 1                  |               | 3,52      | 0,00002 |                            |               |           |         |  |
|               | F-AA       | 5                  |               | 9,82      | 0,00008 |                            |               |           |         |  |
|               | F-SS       | 10                 |               | 9,82      | 0,00015 |                            |               |           |         |  |
|               | LS         | 5                  |               | 9,82      | 0,00009 |                            |               |           |         |  |
| TR-AA         | 5          |                    | 9,82          | 0,00003   |         |                            |               |           |         |  |
| TR-SS         | 5          |                    | 9,82          | 0,00003   |         |                            |               |           |         |  |

\* Angabe der Häufigkeiten und bedingten Wahrscheinlichkeiten bei Freileitungen und Kabeln in 1/(km a) bzw. 1/km

| Ausfallmodell | Komponente | 220 kV niederohmig geerdet |               |           |         | 380 kV niederohmig geerdet |               |           |         |
|---------------|------------|----------------------------|---------------|-----------|---------|----------------------------|---------------|-----------|---------|
|               |            | N                          | H<br>in 1/a * | T<br>in h | p<br>*  | N                          | H<br>in 1/a * | T<br>in h | p<br>*  |
| UNE           | FREIL      | 766                        | 0,00492       | 2,81      |         | 492                        | 0,00353       | 2,94      |         |
|               | KABEL      | 7                          | 0,06711       | 15,65     |         | 2                          | 0,00488       | 201,24    |         |
|               | TRAFO      | 138                        | 0,03500       | 41,69     |         | 89                         | 0,03383       | 39,33     |         |
|               | SS         | 8                          | 0,00281       | 5,63      |         | 12                         | 0,00701       | 5,74      |         |
|               | SS-AB      | 8                          | 0,00049       | 5,63      |         | 12                         | 0,00130       | 5,74      |         |
|               | F-AA       | 107                        | 0,01117       | 20,86     |         | 174                        | 0,03122       | 19,44     |         |
|               | F-SS       | 17                         | 0,00177       | 29,81     |         | 13                         | 0,00233       | 35,97     |         |
| EAS - kurz    | FREIL      | 391                        | 0,00251       | 0,21      |         | 220                        | 0,00158       | 0,20      |         |
|               | KABEL      | 1                          | 0,00508       | 0,00      |         | 0                          |               |           |         |
|               | TRAFO      | 34                         | 0,00859       | 2,87      |         | 12                         | 0,00461       | 2,29      |         |
|               | SS         | 2                          | 0,00059       | 0,36      |         | 3                          | 0,00178       | 0,46      |         |
|               | SS-AB      | 2                          | 0,00010       | 0,36      |         | 3                          | 0,00033       | 0,46      |         |
|               | LS         | 2                          | 0,00028       | 3,17      |         | 3                          | 0,00061       | 1,14      |         |
|               | TR-AA      | 1                          | 0,00004       | 4,35      |         | 3                          | 0,00017       | 4,32      |         |
| TR-SS         | 5          | 0,00017                    | 12,43         |           | 3       | 0,00016                    | 1,91          |           |         |
| EAS - lang    | FREIL      | 278                        | 0,00178       | 6,14      |         | 218                        | 0,00156       | 5,34      |         |
|               | KABEL      | 5                          | 0,05245       | 19,50     |         | 1                          | 0,00244       | 144,30    |         |
|               | TRAFO      | 24                         | 0,00612       | 96,21     |         | 17                         | 0,00641       | 65,99     |         |
|               | SS         | 3                          | 0,00117       | 8,06      |         | 3                          | 0,00173       | 6,35      |         |
|               | SS-AB      | 3                          | 0,00020       | 8,06      |         | 3                          | 0,00032       | 6,35      |         |
|               | LS         | 10                         | 0,00113       | 45,60     |         | 7                          | 0,00147       | 64,69     |         |
|               | TR-AA      | 16                         | 0,00055       | 68,48     |         | 10                         | 0,00051       | 67,63     |         |
| TR-SS         | 0          |                            |               |           | 0       |                            |               |           |         |
| UHA           | FREIL      | 97                         | 0,00062       | 3,75      |         | 54                         | 0,00039       | 4,43      |         |
|               | KABEL      | 1                          | 0,00959       | 2,89      |         | 1                          | 0,00244       | 402,25    |         |
|               | TRAFO      | 80                         | 0,02029       | 12,42     |         | 60                         | 0,02281       | 16,26     |         |
|               | SS         | 3                          | 0,00106       | 5,91      |         | 6                          | 0,00350       | 8,13      |         |
|               | SS-AB      | 3                          | 0,00018       | 5,91      |         | 6                          | 0,00065       | 8,13      |         |
|               | LS         | 54                         | 0,00634       | 10,69     |         | 98                         | 0,02036       | 17,11     |         |
|               | TR-AA      | 22                         | 0,00076       | 18,08     |         | 37                         | 0,00195       | 21,15     |         |
| TR-SS         | 14         | 0,00048                    | 12,06         |           | 26      | 0,00137                    | 9,62          |           |         |
| VHA           | FREIL      | 155                        | 0,00100       | 3,75      |         | 64                         | 0,00046       | 4,43      |         |
|               | KABEL      | 1                          | 0,00959       | 2,89      |         | 0                          |               |           |         |
|               | TRAFO      | 92                         | 0,02333       | 12,42     |         | 24                         | 0,00912       | 16,26     |         |
|               | SS         | 6                          | 0,00212       | 5,91      |         | 5                          | 0,00292       | 8,13      |         |
|               | SS-AB      | 6                          | 0,00037       | 5,91      |         | 5                          | 0,00054       | 8,13      |         |
|               | F-AA       | 91                         | 0,00950       | 12,15     |         | 55                         | 0,00987       | 18,65     |         |
|               | F-SS       | 13                         | 0,00136       | 12,06     |         | 12                         | 0,00215       | 9,62      |         |
|               | LS         | 73                         | 0,00857       | 10,69     |         | 34                         | 0,00707       | 17,11     |         |
| TR-AA         | 18         | 0,00062                    | 18,08         |           | 21      | 0,00111                    | 21,15         |           |         |
| TR-SS         | 13         | 0,00045                    | 12,06         |           | 12      | 0,00063                    | 9,62          |           |         |
| COM           | FREIL      | 30                         | 0,00040       | 7,68      |         | 19                         | 0,00028       | 6,64      |         |
| SVS           |            | 4                          |               |           | 0,00146 | 1                          |               |           | 0,00047 |
| LVS           |            | 3                          |               |           | 0,00110 | 5                          |               |           | 0,00243 |
| SUE           |            | 11                         |               |           | 0,00402 | 15                         |               |           | 0,00702 |
| SPS           |            | 140                        | 0,00957       |           |         | 95                         | 0,01174       |           |         |

\* Angabe der Häufigkeiten und bedingten Wahrscheinlichkeiten bei Freileitungen und Kabeln in 1/(km a) bzw. 1/km