

## Leitfaden

für eine Optimierung der Versorgungsqualität

Version 1.0  
27. November 2025

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Das Energiesystem verändert sich</b> .....	<b>6</b>
1.1 System ist Gesamtheit von Erzeuger, Verbraucher und Netzbetriebsmittel .....	6
1.1.1 Netzbetreiber .....	6
1.1.2 Netzkunden.....	6
1.1.3 Geräte-/Anlagenhersteller .....	7
1.2 Handlungsfelder bei der Spannungsqualität .....	7
1.3 Sonderfall: Anschluss von Industriekunden .....	8
<b>2 Wer ist für was verantwortlich</b> .....	<b>9</b>
2.1 Aufgabe der Netzbetreiber.....	9
2.2 Aufgabe der Netzkunden/Anlagenbetreiber .....	10
2.3 Aufgabe der Gerätehersteller.....	10
2.4 Verhältnis der Gesetze zu Normen und technischen Regelwerken.....	10
2.5 Zusammenwirken der Verantwortungsbereiche und verbleibendes Restrisiko.....	10
<b>3 Wege zur Problemlösung bzw. Minimierung des Restrisikos einer Störung in der Kundenanlage</b> .....	<b>12</b>
3.1 Normalbetrieb .....	12
3.2 Vorgehen bei Beschwerden zur Spannungsqualität.....	12
3.3 Empfehlenswerte Vorgehensweise für eine Kostenübernahmevereinbarung zwischen Netzbetreiber und Kunde.....	13
3.4 Störungsursache im Verantwortungsbereich des Netzbetreibers .....	14
3.5 Störungsursache in Kundenanlage .....	14
3.6 Störung anderer Netzkunden durch eine Kundenanlage.....	15
<b>4 Präventive Maßnahmen</b> .....	<b>16</b>
4.1 Vorgehensweise bei der Planung und Errichtung einer Kundenanlage.....	16
4.2 Überprüfung in bestehenden Kundenanlagen.....	16
4.3 Vorgehensweise bei der Änderung einer Kundenanlage .....	16
<b>5 Allgemeine wirksame Maßnahmen bei Kundenanlagen</b> .....	<b>17</b>
5.1 Geeignete Messungen helfen bei der Erkennung und Behebung .....	17
5.2 Maßnahmen zur Ursachenklärung.....	18
5.3 Mögliche Abhilfemaßnahmen in der Kundenanlage.....	18
5.4 Qualitätssicherung .....	19
5.5 Unterstützung durch Power Quality Experten .....	19
<b>6 Prozessoptimierung</b> .....	<b>20</b>
<b>7 Abstimmung zwischen Netzbetreiber und Netzkunde bei Abhilfemaßnahmen</b> .....	<b>20</b>
<b>8 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>22</b>
<b>Anhang A Begriffe/Definitionen</b> .....	<b>23</b>
<b>Anhang B Abkürzungen</b> .....	<b>26</b>

**Anhang C Qualität der Stromversorgung - Grundbegriffe.....27**  
Versorgungsqualität .....27  
Spannungsqualität und ihre Merkmale .....28  
Störfestigkeit in der Normung .....31  
Versorgungszuverlässigkeit – Statistische Kenngrößen .....32

# Bildverzeichnis

Bild 1 Mögliche Systemzustände in der allgemeinen elektrischen Energieversorgung und möglicher sicherer Betrieb von Geräten und Anlagen .....	11
Bild 2 Wichtige Gesichtspunkte bei der Dokumentation von Störungen .....	18
Bild 3 Komponenten der Versorgungsqualität .....	27
Bild 4 Schematische Klassifizierung von Spannungsänderungen .....	30
Bild 5 Entwicklung der Strom-Unterbrechungsdauer .....	32
Bild 6 Ländervergleich zur Strom-Unterbrechungsdauer .....	33
Bild 7 Entwicklung der Zahl der Spannungseinbrüche .....	33

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mögliche Abhilfe-Maßnahmen bei verschiedenen Unterbrechungsdauern .....	19
Tabelle 2: Übersicht zu ausgesuchten Merkmalen der DIN EN 50160 und deren Wertebereich in der Niederspannung im Normalbetrieb.....	28

## Vorwort

Der hohe Standard der Versorgungsqualität im deutschen Energieversorgungssystem sorgt bei Privatverbrauchern für angemessenen Komfort und stellt für Industrie und Gewerbe einen bedeutenden Standortvorteil dar. Allerdings stellen die Transformation des Energiesystems, d.h. der Ausbau der Erneuerbaren und deren Integration sowie die daraus resultierenden neuen Anforderungen an Technik und Schutzsysteme aber auch die Entwicklungen auf der Kundenseite immense Herausforderungen in allen Netzebenen dar.

Um den hohen Standard der Versorgungsqualität auch in Zukunft zu gewährleisten, ist es von großer Bedeutung, die Technik und deren Anforderungen kontinuierlich weiterzuentwickeln. Es muss aber auch der Dialog zwischen den Netzbetreibern und den Kunden von beiden Seiten intensiviert werden, um im Falle von Unregelmäßigkeiten schnelle Abhilfe schaffen zu können. Das gilt insbesondere für Gewerbe- und Industriekunden mit sensiblen Produktionsanlagen oder Prozessen. Aus verschiedenen Umfrageergebnissen lässt sich ableiten, dass in der Wahrnehmung von Kunden heute ein Anstieg an Funktionsstörungen gegenüber der Vergangenheit zu verzeichnen ist. Gleichzeitig zeigt die VDE FNN Störungs- und Verfügbarkeitsstatistiken über mehrere Jahre, dass die Ereignisse, die das wahrgenommene Verhalten von Geräten und Anlagen in der Kundenanlage beschreiben würden, auf einem nahezu gleichen Niveau liegen. Daraus kann man schließen, dass sich die angeführte Statistik und die Wahrnehmung der angesprochenen Kunden widersprechen. Dieser augenscheinliche Widerspruch lässt sich jedoch mit einem besseren Verständnis für die Komplexität auflösen.

Der vorliegende Leitfaden beschreibt die wichtigsten Aspekte hinsichtlich der Versorgungsqualität, um ein tieferes Verständnis für die Zusammenhänge zu fördern und somit zur Identifikation und Reduktion elektrisch bedingter Funktions- und Prozessstörungen beizutragen. Auf dieser Basis werden Maßnahmen vorgeschlagen, die Industrie- und Gewerbekunden bei der Auslegung ihrer empfindlichen Prozesse unterstützen. Damit sollen z. B. Störungen im Betrieb der Kundenanlage durch Spannungseinbrüche weitestgehend vermieden werden. Mit Blick auf geeignete Abhilfemaßnahmen wird ein direkter Austausch zwischen Netzkunden und Netzbetreiber empfohlen.

Im Anhang werden weiterführende technische Informationen und Zusammenhänge erläutert.

# 1 Das Energiesystem verändert sich

## 1.1 System ist Gesamtheit von Erzeuger, Verbraucher und Netzbetriebsmittel

Die Spannungsqualität im Elektrizitätsversorgungssystem wird bestimmt durch die Netzstruktur (Netzkurzschlussleistung und Netzimpedanzen), die Abnehmerstruktur (Verknüpfungspunkte) und die Planungsgrundsätze (Resonanzstelle etc.) sowie von Netzurückwirkungen von Erzeugungsanlagen und Verbrauchsgescherten. Netzurückwirkungen von Erzeugungsanlagen und Verbrauchsgescherten können nur bis zu einem gewissen Maß durch Normen und Verträge beeinflusst werden. Ereignisse, die die Versorgungsqualität bestimmen, wie kurze Versorgungsunterbrechungen, werden stark durch atmosphärische Erscheinungen (Gewitter, Sturm) oder durch Eingriffe Dritter (z.B. durch Erd- und Baggerarbeiten) bestimmt. Im Anhang C werden einige Grundbegriffe zur Qualität der Stromversorgung beschrieben.

Wesentlichen Einfluss auf die Versorgungsqualität [Vgl. Anhang A] haben folgende Faktoren:

- Netzurückwirkungen aus Erzeugungsanlagen und Verbrauchsgescherten von Netzkunden
- Atmosphärische Einflüsse, z.B. hervorgerufen durch Blitze
- Fremdeinwirkungen von Tieren und Dritten, die zu Erd- oder Kurzschlüssen führen
- Struktur, Beschaffenheit und Zustand des Energieversorgungsnetzes.

In Elektrizitätsversorgungsnetzen, insbesondere mit hohem Freileitungsanteil, kommt es systembedingt zu einer größeren Anzahl möglicher Störeinflüsse. Deren Häufigkeit kann aufgrund der aufgezeigten Faktoren regionalen, jahres- aber auch tageszeitlichen Schwankungen unterliegen.

### 1.1.1 Netzbetreiber

Netzbetreiber leisten einen wesentlichen Beitrag zur Versorgungsqualität, indem sie entsprechende Maßnahmen ergreifen, beispielsweise

- Netzausbau entsprechend der Anforderungen gemäß NOVA-Prinzip (Netzoptomierung vor Verstärkung vor Ausbau),
- permanente Überwachung und Steuerung des Netzes,
- Einsatz leistungsfähiger Betriebsmittel,
- Begrenzung der zulässigen Netzurückwirkungen von Erzeugungsanlagen und Verbrauchsgescherten.

### 1.1.2 Netzkunden

Verbraucher und auch Erzeuger können neutral oder netzstützend wirken. Ebenso können sie Netzurückwirkungen verursachen, die Auswirkungen auf das Netz selbst oder andere Nutzer, etwa am Nachbaranschluss, haben.

Netzurückwirkungen sind beispielsweise

- Oberschwingungen (Schwingungen mit anderer Frequenz als 50 Hz, produziert u.a. durch Gleichrichter wie in Fernsehgeräten, Energiesparlampen, EDV-Geräten und Geräten der Unterhaltungselektronik, durch Frequenzumrichter für Drehstrommotoren, wie Pumpen, Papiermaschinen und Bandsägen oder Klimageräte oder durch Wechselrichter wie in Windkraftanlagen)

- Flicker (Flackern oder Flimmern, das durch Lastschwankungen beispielsweise bei Widerstandsschweißmaschinen oder Lichtbogenöfen verursacht wird), die zum Beispiel beim Glühlampenlicht direkt wahrgenommen werden können
- Unsymmetrien (durch einphasigen Anschluss leistungsstarker Verbraucher oder Erzeuger, wie z.B. Durchlauferhitzer, oder PV-Anlagen), die unter anderem zur Überhitzung von Motoren führen können.

### 1.1.3 Geräte-/Anlagenhersteller

Hersteller bauen ihre Geräte nach den geltenden Produktnormen, die weltweit (größtenteils über IEC) abgestimmte Anforderungen an die Störfestigkeit (in welchem Rahmen der sichere Betrieb zuverlässig möglich sein muss) und an die zulässigen Störaussendungen (welche negativen Rückwirkungen auf das Netz zulässig sind) beschreiben. Damit können Geräte im Normalbetrieb weltweit sicher und mit bestimmungsgemäßer Funktion betrieben werden, ohne dass sich beispielsweise Nachbarn gegenseitig beeinträchtigen.

Die Konstruktion moderner Geräte erfolgt zunehmend nach der Vorgabe ‚Leistungselektronik statt Kupfer‘ [13]. Moderne Geräte und Anlagen der Leistungselektronik wie Dimmer, Ladegeräte für Elektrofahrzeuge, Computerschaltnetzteile, Stromrichterantriebe und Gleichrichteranlagen ermöglichen die Steuerung und Umwandlung elektrischer Energie. Dies bedeutet, dass keine Transformatoren und keine großen (Glättungs-)kondensatoren und demnach auch weniger Energiespeicher verwendet werden. So können auch sehr kurze Spannungseinbrüche (im Millisekundenbereich) Auswirkungen auf den Betrieb der Geräte haben.

Auf der Erzeugerseite verursacht beispielsweise der Wechselrichterbetrieb von PV-Anlagen und Windenergieanlagen Netzrückwirkungen.

Die bei den Netzkunden eingesetzten Geräte/ Anlagen werden empfindlicher. Die Nutzung moderner Geräte und Anlagen der Leistungselektronik begünstigen, dass auch sehr kurze Spannungseinbrüche Auswirkungen auf den Betrieb der Geräte haben.

## 1.2 Handlungsfelder bei der Spannungsqualität

Vor diesem Hintergrund ist die europäische Norm EN 50160 "Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen" [1] zu sehen, welche ein Bestandteil eines abgestimmten Normenwerkes ist, bestehend aus einer Beschreibung der Versorgungsspannung, Normen für die Installation und Isolationskoordination sowie Gerätesicherheitsnormen inkl. EMV-Normen (IEC 61000-x-y). D.h. das entsprechende Normengebäude kann nur unter Beachtung möglicher neuer Geräte und Anlagen auf der Verbraucher- und Erzeugerseite sowie der Veränderungen im Systembetrieb der elektrischen Energieversorgung durch neue Betriebsmittel in sich konsistent weiterentwickelt werden. Die DIN EN 50160 [1] schreibt die Merkmale der Netzspannung in öffentlichen Versorgungsnetzen unter Normalbedingungen fest. Diese Bedingungen sind von Netzbetreibern an jedem Netzanschlusspunkt

bereitzustellen. Die elektrischen Einrichtungen der Netzkunden müssen so ausgelegt werden, dass dies möglich ist (siehe auch VDE-AR-N 41xx, D-A-CH-CZ).

Eine Voraussetzung für einen sicheren und zuverlässigen Systembetrieb ist, dass zum Beispiel die Netzurückwirkungen der an das Netz angeschlossenen Betriebsmittel, Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen in einem verträglichen Rahmen gehalten werden.

### 1.3 Sonderfall: Anschluss von Industriekunden

Der Anschluss von Industriekunden erfolgt abhängig von deren individuellen Anforderungen und wird im Netzanschlussvertrag geregelt (siehe auch VDE-AR-N 41xx, D-A-CH-CZ). Möglich sind etwa ein einfacher oder ein unabhängiger doppelter Netzanschluss. Zum Beispiel können in Schmelzwerken bei längerem Stromausfall große Schäden dadurch entstehen, dass die Schmelze in den Öfen abkühlt, sich verfestigt und vor Wiederinbetriebnahme mühselig entfernt werden muss. Im schlimmsten Fall muss der komplette Ofen ersetzt werden. Bei chemischen Prozessen und in Walzstraßen können auch Schäden durch kurze Versorgungsunterbrechungen entstehen, wenn hierdurch die Steuerung aufwendiger Produktionsprozesse ausfällt. In der Lebensmittelproduktion können bereits kurze Spannungseinbrüche Produktionsausfälle oder Chargenverluste verursachen.

Als ein Beispiel zur Verdeutlichung eines Sonderfalls werden die Folgen von Kurzschlüssen näher betrachtet. Durch Kurzschlüsse entstehen Spannungseinbrüche, die sich „trichterförmig“ im Netz ausbreiten, d. h. direkt am Kurzschlussort ist die Spannung gleich Null Volt und mit zunehmender elektrischer Entfernung vom Kurzschlussort steigt der Spannungswert wieder trichterförmig an. Solch ein Spannungstrichter, der durch einen einzigen Kurzschluss verursacht werden kann, wirkt sich bereits in der Fläche großräumig aus und betrifft eine Vielzahl an Netzkunden. Bei Kunden innerhalb dieses Trichters senkt sich die anstehende Spannung ab [2]. Dort reagieren dann u.U. bereits eingebaute Sicherheitseinrichtungen (Spannungsüberwachungsschutz) und schalten ab, um die Anlage zu schützen. Mögliche Fehler bei der Einstellung der Schutzparameter können dabei zu unnötigen Abschaltungen und somit zu eigentlich vermeidbaren Einschränkungen in der Kundenanlage führen.

### Industriekunden haben häufig besondere Anforderungen

Die Geräte der Netzkunden sind unterschiedlich sensibel und reagieren teilweise schon auf kleinste Abweichungen oder Störungen. Selbst sehr kurze Versorgungsunterbrechungen, welche auf den Betrieb des Netzes durch z.B. automatische Wiedereinschaltung keine Auswirkungen haben, können bei besonders empfindlichen elektronischen Steuerungen zu Beeinträchtigungen führen. In Industriebetrieben sind oft ganze Produktionsstraßen mit entsprechenden Steuerungen ausgestattet. Ausfälle können hier also große Schäden verursachen. Industriekunden schützen besonders empfindliche Steuerungen durch Vorschaltung einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), die genau hierfür ausgelegt ist.

Zusammengefasst muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen:

- Privatkunden (hohe Versorgungszuverlässigkeit bei niedrigen Netzentgelten)

- Industriekunden (teilweise höchste Versorgungszuverlässigkeit mit besonderen Ansprüchen hinsichtlich einer Aufwandsminimierung bei der Ersatzstromversorgung o.ä.)
- Gerätehersteller (geringer Aufwand für Störfestigkeit elektrischer Geräte)
- Netzbetreiber (hoher Aufwand für Störungsbeseitigung).

Eine volkswirtschaftliche Sicht bei der Auswahl technischer Maßnahmen hilft Kosten zu begrenzen:

- Was ist technisch zu akzeptablen Kosten machbar?
- Welche Aufwendungen sind auf Netzseite realistisch, beispielsweise unter Berücksichtigung technischer Aspekte, wie Schutzauslösezeiten?
- Welche Aufwendungen sind auf Kundenseite sinnvoll leistbar, beispielsweise im Bereich der Störfestigkeit betriebener Geräte oder in Form geeigneter Vorsorgemaßnahmen? Um dies zu beurteilen ist eine entsprechende kundeneigene und prozessabhängige Bewertung notwendig.

## 2 Wer ist für was verantwortlich

### 2.1 Aufgabe der Netzbetreiber

Die Aufgaben der Netzbetreiber umfassen die Wahrung eines sicheren und zuverlässigen Elektrizitätsversorgungssystem und somit einer sicheren Energieversorgung. Die Aufgaben sowie Verantwortungen der Netzbetreiber sind maßgeblich im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) geregelt.

- §§ 12 und 14 EnWG beschreiben die Aufgaben der Betreiber von Elektrizitätsversorgungsnetzen sowie Elektrizitätsverteilernetzen

Deutschland zeichnet sich im Vergleich zu den europäischen Nachbarländern durch eine sehr hohe Zuverlässigkeit der Netze aus. Der Gesetzgeber hat die Einführung einer Qualitätsregulierung für Netzbetreiber vorgeschrieben, um zu vermeiden, dass Kosteneinsparungen und damit die vorgeschriebenen Erlösabsenkungen zu Lasten der Versorgungszuverlässigkeit gehen. Mit der Einführung der Qualitätsregulierung bekommt die Versorgungszuverlässigkeit einen „Preis“ und wird damit zu einem entscheidungsrelevanten Faktor für die Netzbetreiber. Ziel der Regulierung ist eine gesamtwirtschaftliche Optimierung, wobei das politische Verständnis voraussetzt, dass die bestehende Zuverlässigkeit beibehalten wird. Dazu erfasst die Bundesnetzagentur (BNetzA) entsprechende Kenndaten aller Netzbetreiber.

- § 17 (1) Betreiber von Energieversorgungsnetzen haben Letztverbraucher, gleich- oder nachgelagerte Elektrizitäts- und Gasversorgungsnetze sowie –leitungen, Erzeugungs- und Speicheranlagen sowie Anlagen zur Speicherung elektrischer Energie zu technischen und wirtschaftlichen Bedingungen an ihr Netz anzuschließen, die angemessen, diskriminierungsfrei, transparent [...] sind [...].
- § 19 (1) Betreiber von Elektrizitätsversorgungsnetzen sind verpflichtet, unter Berücksichtigung der nach § 17 festgelegten Bedingungen für den Netzanschluss von Erzeugungsanlagen, Anlagen zur Speicherung elektrischer Energie, Elektrizitätsverteilernetzen, Anlagen direkt angeschlossener Kunden, Verbindungsleitungen und Direktleitungen technische Mindestanforderungen an deren Auslegung und deren Betrieb festzulegen und im Internet zu veröffentlichen.

Der Netzbetreiber hat die Anschlusspflicht (§ 17 EnWG) und das Recht und die Pflicht, entsprechende technische Mindestanforderungen (§ 19 EnWG) zu definieren und zu veröffentlichen.

- § 49 (2) Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wird vermutet, wenn bei Anlagen zur Erzeugung, Fortleitung und Abgabe von
  1. Elektrizität die technischen Regeln des Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.,
  2. Gas die technischen Regeln der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. eingehalten worden sind.

## 2.2 Aufgabe der Netzkunden/Anlagenbetreiber

Die Netzkunden/Anlagenbetreiber müssen Norm- bzw. Regelkonforme Geräte/Anlagen und Installationen betreiben. Zudem müssen die entsprechenden Technischen Anschlussregeln (VDE-AR-N 41xx) des Netzbetreibers eingehalten werden.

## 2.3 Aufgabe der Gerätehersteller

Die Gerätehersteller müssen Norm- und Regelkonforme Geräte entwickeln und anbieten.

## 2.4 Verhältnis der Gesetze zu Normen und technischen Regelwerken

Innerhalb der Gesetzgebung wird die Frage des Zusammenspiels von elektrischem Netz und angeschlossenen Geräten an verschiedenen Stellen erwähnt, teilweise sogar direkt adressiert. Wie alle Bestimmungen stehen auch technische Vorgaben unter dem Zweck des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG), eine „möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche“ Elektrizitätsversorgung anzustreben. Bei der Bewertung von Maßnahmen für elektrische Netze sowie der Entwicklung von Vorgaben für das Zusammenspiel von elektrischem Netz und Kundenanlagen sind also eine Vielzahl, einander teilweise widersprechender Kriterien zu berücksichtigen. Dies bedingt einerseits einen Einbezug der Interessen aller betroffenen Gruppen – Netzbetreiber, Geräte-/Anlagenbetreiber, Hersteller – bei der konkreten Ausgestaltung, schließt aber im Regelfall Sonderlösungen für bestimmte Kunden oder Kundengruppen zu allgemein gültigen Netzentgelten bereits aus.

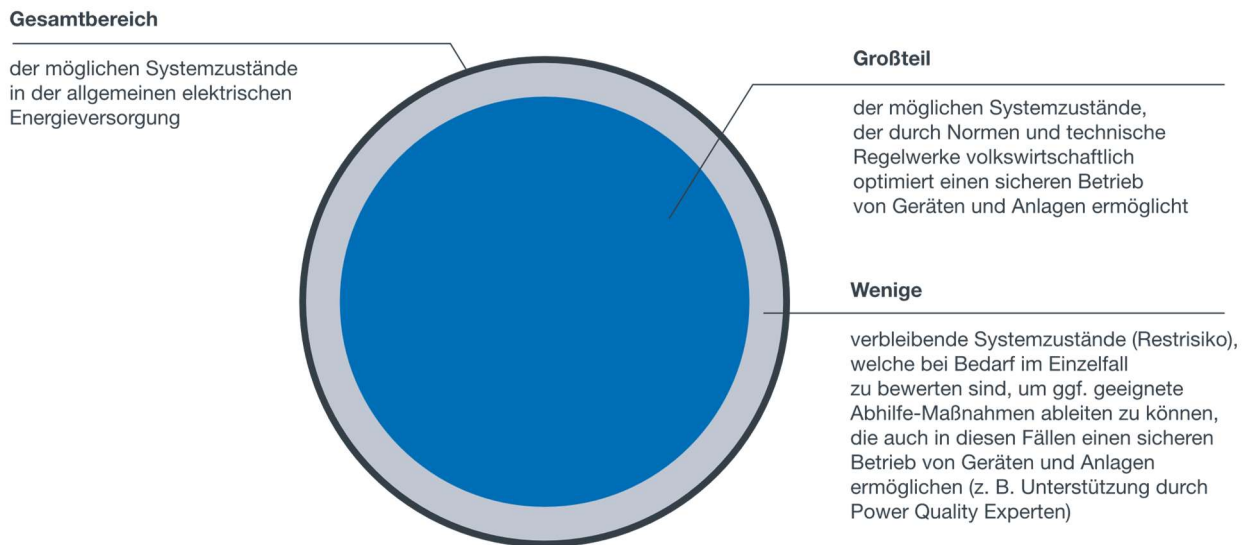
Die Europäische Kommission erließ für den Geltungsbereich der Europäischen Union eine EMC-Directive (2004/108/EG), die durch alle Mitgliedstaaten in ein jeweils nationales Gesetz zur Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV-Gesetz) überführt wurde. In Deutschland erfolgte dies durch das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG). Das EMVG verweist auf die Einhaltung der „einschlägig harmonisierten Normen“ als Konformitätsvermutung. Damit wird die Einhaltung des EMV-Schutzzieles „bestimmungsgemäße Funktion“ sichergestellt. In den Normen werden Aussendungsgrenzwerte und Störfestigkeitspegel geregelt. Dies umfasst auch die Störfestigkeit gegenüber Spannungseinbrüchen.

## 2.5 Zusammenwirken der Verantwortungsbereiche und verbleibendes Restrisiko

Die Einhaltung des Technischen Regelwerks inkl. der Normen ist das gemeinsame zentrale Element der verschiedenen Verantwortungsbereiche. Bei der Festsetzung des EMV-Niveaus (Verträglichkeitspegel) in den Normen werden die Interessen der Betroffenen (Hersteller/Inverkehrbringer, Netzbetreiber und Anlagenbetreiber) berücksichtigt und zugleich ein ökonomisches Optimum angestrebt.

Die Normung fokussiert auf die Festlegung von Grenzwerten für Massengeräte wie Fernsehgeräte, Kompaktleuchtstofflampen mit eingebautem elektronischen Vorschaltgerät, IT-Geräte. In den Normen werden auch Anforderungen zur Störfestigkeit von Geräten in einer Industrieumgebung gestellt (s. DIN EN 61000-6-2, [8]). Darüber hinaus gibt es spezielle Anwendungen unter spezifischen Bedingungen, die weitergehende Lösungen erfordern.

Für den Großteil der Systemzustände im Elektrizitätsversorgungssystem ermöglichen die Normen und technischen Regelwerke einen volkswirtschaftlich effizienten und sicheren Betrieb (Bild 1). Die verbleibenden wenigen Systemzustände (Restrisiko) sind bei Bedarf im Einzelfall zu bewerten, um ggf. geeignete Abhilfemaßnahmen ableiten zu können, die auch in diesen Fällen einen sicheren Betrieb ermöglichen. Dies betrifft insbesondere die möglichen Auswirkungen von Spannungseinbrüchen. Daher wird nachfolgend der Fokus hierauf gelegt.



*Bild 1 Mögliche Systemzustände in der allgemeinen elektrischen Energieversorgung und möglicher sicherer Betrieb von Geräten und Anlagen*

### 3 Wege zur Problemlösung bzw. Minimierung des Restrisikos einer Störung in der Kundenanlage

Durch Abweichungen von der Normspannung können Schäden und damit Kosten bei Netzbetreibern und stromabnehmenden Unternehmen entstehen. So können kurzzeitige Spannungsabsenkungen oder Spannungseinbrüche erhebliche Produktionsausfälle verursachen, z. B. wenn industrielle Anlagen wie etwa Papiermaschinen bei diesen Situationen in den sicheren Betriebszustand fahren und anschließend mehrere Stunden für den Wiederhochlauf benötigen. Zugleich ist eine mögliche Ursache für die Wahrnehmung zunehmender Funktionsstörungen die auf Seiten der Netzkunden stattfindende zunehmende Technologieverschiebung auf der Geräteseite. Hier kommen verstärkt Elektronik und insbesondere Leistungselektronik zum Tragen. Deren Einsatz ist häufig in hohem Maße wirtschaftlich und technisch vorteilhaft, bringt aber auch neue Herausforderungen im Hinblick auf deren Störfestigkeit mit sich. Um Kosten und Schäden so gering wie möglich zu halten, wird es daher immer wichtiger, dass sich Netzbetreiber und Netzkunden ihrem jeweiligen Verantwortungsbereich bewusst sind, damit sie rechtzeitig die erforderlichen Abhilfe- und Vorsorgemaßnahmen treffen können.

Wenn in Einzelfällen höhere Anforderungen an die Versorgungsqualität bestehen, so sind entsprechende optimale Vorsorgemaßnahmen häufig nur direkt in der abzusichernden Anlage umzusetzen, wenn sie kostengünstig realisiert werden können.

#### 3.1 Normalbetrieb

Im normalen Betriebszustand überwacht jeder Netzbetreiber Spannungshöhe, Wirk- und Blindleistung an wesentlichen Punkten in seinem Netzgebiet. Anzahl und lokale Anordnung hängen von Netzspannungsebenen, Netztopologie und Erfahrungswerten ab. Üblicherweise nimmt der Überwachungsumfang mit der Netzspannungsebene ab. Das Höchst- und Hochspannungsnetz, die Umspannwerke sowie Teile des Mittelspannungsnetzes sind fernüberwacht und fernsteuerbar. In diesen Bereichen werden Schaltbefehle ausgeführt sowie Betriebsmeldungen und Messwerte erfasst. Auf den vom Umspannwerk abgehenden Mittelspannungsringen sind über Kabel oder Freileitung die Mittelspannungsstationen wie Perlen an einer Kette aufgereiht. An jeder Station erfolgt dann die weitere Verteilung entweder ins öffentliche Niederspannungsverteilnetz oder das kundeneigene Arealnetz.

Spannungseinbrüche und Spannungsausfälle werden im Hoch- und Mittelspannungsnetz unmittelbar in der Netzleitstelle registriert und Gegenmaßnahmen eingeleitet. Das Niederspannungsnetz ist, mit Stand heute, in der Regel nicht fernüberwacht. Versorgungsunterbrechungen, Probleme mit der Spannungsqualität, Abweichungen vom Normalzustand u. ä. melden die betroffenen Anschlussnutzer direkt dem Verteilnetzbetreiber (VNB).

Sollte der zuständige VNB nicht bekannt sein, kann dieser z.B. im Internet über die Seite [VNBdigital](#) oder die [Netzbetreibersuche Strom](#) des Energieverbraucherportals ermittelt werden.

#### 3.2 Vorgehen bei Beschwerden zur Spannungsqualität

Den Netzbetreiber erreichen beispielsweise Meldungen wie:

- Licht flackert
- Stromversorgung ist/war kurzzeitig unterbrochen

- Unterspannungsschutz der Kundenanlage hat angesprochen
- partiell kein Strom in der Kundenanlage

Durch weitergehende Expertenfragen kann der Netzbetreiber die Ursache ggf. weiter eingrenzen, d. h. ob evtl. Flicker (Licht flackert), der Ausfall einer der drei Phasen und somit die Ursachen für die Meldungen sein können. In der Folge wird die mögliche Ursache anhand einer Bestandsdokumentation (z. B. Netzpläne) ermittelt sowie deren räumliche Ausdehnung eingegrenzt, um das Ausmaß bzw. den Umfang für die betroffenen Kunden abzuschätzen.

Eine Analyse der gemeldeten Einschränkungen erfolgt anhand der Netzpläne, der Last-/ Einspeisesituation im betroffenen Netzgebiet sowie einer Bewertung vor Ort. Erforderlichenfalls werden an geeigneten Stellen im Netz Messegeräte installiert, um die Fehlerquelle(n) lokal einzugrenzen.

Der Netzbetreiber verfügt in der Regel über die notwendige personelle und technische Ausstattung, um die erforderlichen Messungen durchzuführen. Bei Bedarf kann er sich auch eines fachkundigen Dienstleisters bedienen. Moderne Messgeräte ermöglichen die Überwachung der Spannungsqualität auch über längere Zeiträume. Ereignisse, die zu einer Verletzung der in der DIN EN 50160 [1] vorgegebenen Werte führen, werden automatisch erfasst und aufgezeichnet.

Im Fall von Kundenbeschwerden sind im ersten Schritt zwei Fälle zu unterscheiden:

- Anforderungen der DIN EN 50160 werden eingehalten, Kunde hat trotzdem Schwierigkeiten:  
Der Kunde sucht in seiner Anlage weiter nach der Ursache. Der Netzbetreiber kann hierbei sein Know-how auf Dienstleistungsbasis zur Verfügung stellen.
- Anforderungen der Norm werden nicht eingehalten:  
Der Netzbetreiber sucht nach der Quelle der Störung. Liegt die Störquelle im Netz, muss der Netzbetreiber Abhilfemaßnahmen einleiten. Liegt die Störquelle in einer Kundenanlage, die negativ auf z.B das Verteilnetz rückwirkt, muss der entsprechende Netzkunde die Rückwirkungen unverzüglich abstellen. Insbesondere wenn der störungsverursachende Netzkunde selbst nicht von den negativen Auswirkungen betroffen ist, ist die Situation besonders schwierig zu erklären. Hier kann die Einschaltung eines neutralen Gutachters helfen, wobei im Vorfeld unbedingt die Kostenübernahme geklärt werden sollte.

### **3.3 Empfehlenswerte Vorgehensweise für eine Kostenübernahmevereinbarung zwischen Netzbetreiber und Kunde**

Um die Kostenimplikationen besser abschätzen zu können, sollten im Vorfeld zumindest die Art, Anzahl und Umfang sowie Zeitraum der Messungen vereinbart werden. Für den Zeitraum der Messung wird in der DIN EN 50160 ein Produktionszyklus empfohlen. Für die Kostenübernahmevereinbarung hat sich folgendes Verfahren bei Befundprüfungen von Messgeräten als praktikabel erwiesen und kann sinngemäß auch auf Gutachten bei Spannungsproblemen angewandt werden:

Jeder Kunde, der Zweifel an korrekten Messwerten seines Stromzählers hat, kann eine Befundprüfung bei einer staatlich anerkannten Prüfstelle einfordern. Erweist sich sein Verdacht, dass ein fehlerhaftes Messgerät vorliegt, als zutreffend, muss der Messstellenbetreiber die Kosten der Befundprüfung tragen. Hat die Prüfung ergeben, dass der Zähler korrekt die Werte erfasst, trägt der Kunde die Kosten der Befundprüfung. Ggf. darüber hinaus gehende Kostenerstattungsansprüche sind separat zu klären. Für das Gutachten bei Spannungsproblemen heißt das: Liegt der Fehler in der Kundenanlage, trägt der

Kunde die Kosten, liegt der Fehler andernorts, trägt der Netzbetreiber die Kosten des Gutachtens. Da der Umfang im Vorfeld definiert wurde und im Idealfall auch ein Angebot vorliegt, sind die möglichen Kosten beiden Parteien im Voraus bekannt.

### 3.4 Störungsursache im Verantwortungsbereich des Netzbetreibers

Spannungseinbrüche in der Verantwortung des Netzbetreibers können durch fehlerhafte Betriebsmittel (z. B. Kabelfehler) oder bei Fehlschaltungen in starr geerdeten Netzen entstehen, wenn hohe Kurzschlussströme die Spannung kurzzeitig erheblich reduzieren, bis die Schutzeinrichtungen in wenigen Sekunden den Kurzschlussstrom unterbrechen. In gelöschten betriebenen Freileitungsnetzen können Gegenstände (z. B. Äste) in die Leitungen geraten. Der Kurzschluss oder Erdkurzschluss behaftete Stromkreis wird zum Schutz der Betriebsmittel durch eine so genannte automatische Wiedereinschaltung (AWE) kurzzeitig abgeschaltet und rasch danach wieder unter Spannung gesetzt. Ist der kurzschlussverursachende Gegenstand z.B. zu Boden gefallen oder der Lichtbogen erloschen, „heilt“ der Fehler von allein.

Andererseits kann der Betrieb von motorischen Lasten, Aufzügen, Kälteanlagen mit hohen Anlaufströmen bei zu geringer Kurzschlussleistung z.B. im Verteilnetz zu unzulässigen Spannungseinbrüchen führen, obwohl die Anschlussbedingungen der Verbraucher eingehalten sind. Dies kann auftreten, wenn das Netz nicht im Normalbetrieb geführt wird (z. B. Änderung des Normalschaltzustand im Störfall) oder wenn sich die Anforderungen an die Auslegung des Netzes so verändert haben, dass die Kurzschlussleistungen nicht mehr ausreichen. Im letzten Fall kann in der Regel durch eine Netzverstärkung (z.B. Vergrößerung des Leitungsquerschnitts, Trafo mit besserer Kurzschlussleistung) Abhilfe geschaffen werden.

### 3.5 Störungsursache in Kundenanlage

Im Kundennetz gibt es verschiedene Ursachen, welche die Spannungsqualität beeinflussen. Mögliche Störungen werden durch einzelne Störereignisse, oder durch die Summe verschiedener partieller Störungen verursacht. In Kundenanlagen kommt es u.a. zu Störungen aufgrund folgender Ursachen:

- Witterungsbedingte Einflüsse wie z.B. Blitzeinschläge in Betriebsmittel, Sturmschäden
- Beschädigung von stromführenden Kabeln z.B. durch Erd- und Baggerarbeiten
- Technisches Versagen: Fehlerhafte Bauteile, Montagefehler oder technische Defekte an elektrischen Betriebsmitteln
- Nicht bedarfsgerechte Planung oder Umsetzung der Energieversorgungsanlagen innerhalb der Kundenanlage (Einschaltströme von Kondensatoren, Motoren, Aufzügen und anderen Geräten)
- Plötzlicher Lastabwurf durch defekte Geräte
- Schweißströme (Schweißanlagen).

Zur Vermeidung von Spannungseinbrüchen in Kundenanlagen gibt es folgende Abhilfemaßnahmen, die vom Unternehmen durchgeführt werden können:

- Sanftanlaufschaltungen bei Motoren, sowie Überstromschutzeinrichtungen wie z.B. Leitungsschutzschalter
- Schutzgeräte im Industrienetz, wie Staffelschutzsysteme und den üblichen Kurzschlusschutz für Mittelspannungsnetze (Strahlennetze) zur Begrenzung des Spannungseinbruchs
- Falls eine Eigenversorgungsanlage vorhanden ist, kann durch Regelung der Fahrweise der Spannungseinbruch begrenzt bzw. dem Spannungseinbruch entgegengewirkt werden.

- Einsatz von aktiven Filtern zur Verbesserung der Spannungsqualität und zur Vermeidung von Spannungseinbrüchen.
- Spannungsstabilisatoren (Anlagen mit und ohne Energiespeicher kommen zum Einsatz):
  - Batteriespeicher
  - Kapazitive Energiespeicher wie Doppelschicht-Kondensatoren
- Sofortiger Austausch/Reparatur von defekten elektrischen Geräten
- Regelmäßige Überprüfung der Betriebssicherheit von elektrischen Geräten.

Weitere Maßnahmen und Störungsursachen finden sich im VDE FNN Hinweis: „Störfestigkeit im Zusammenspiel von Kundenanlagen und Elektrizitätsnetzen“ [2].

### 3.6 Störung anderer Netzkunden durch eine Kundenanlage

Bei Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik sowie den Technischen Anschlussregeln (TAR) und den spezifischen Technischen Anschlussbedingungen (TAB) des Netzbetreibers in der Kundenanlage werden Störungen anderer Netzkunden in der Regel vermieden. Sollte es dennoch zu Rückwirkungen und Störungen anderer Netzkunden kommen, wird der Netzbetreiber aktiv. Denn für die Einhaltung der Spannungsqualität an allen Kundenanschlüssen gemäß DIN EN 50160 trägt der Netzbetreiber die Verantwortung. Daher wird der Netzbetreiber bei störenden Einflüssen einer Kundenanlage auf andere Kundenanlagen oder auf das Netz, in Absprache mit dem Kunden unverzüglich eine Lösung suchen. Soweit dies nicht gelingt, ist der Netzbetreiber verpflichtet, den Anschluss nach vorheriger Ankündigung vom Netz zu trennen, wenn anderweitig die Spannungsqualität und somit Versorgungsqualität nicht angemessen gewährleistet werden kann.

Um dies zu vermeiden, sind seitens des Kunden nach Bekanntwerden der störenden Einflüsse unverzüglich Abhilfemaßnahmen zu treffen. Um eine potentielle Trennung vom Netz zu verhindern, sollten die Abhilfemaßnahmen, welche auch bei Störungen im Kundennetz angewandt werden, umgesetzt werden. Sind z. B. viele Schweißanlagen im Kundennetz, empfiehlt sich der Einsatz von aktiven Filtern, um den Spannungseinbrüchen entgegenzuwirken, zusätzlich erhöht der Einsatz auch die Spannungsqualität im Allgemeinen und damit die Versorgungsqualität.

## 4 Präventive Maßnahmen

### 4.1 Vorgehensweise bei der Planung und Errichtung einer Kundenanlage

Im Rahmen der Planung einer Kundenanlage sollten folgende Aspekte geklärt bzw. berücksichtigt werden:

- Welche Verfügbarkeit der Kundenanlage wird angestrebt?
- Welche Störgrößen werden bei den Verbrauchern (Geräte, Anlagenkomponenten) erwartet und welche Priorität haben diese Verbraucher für den Prozess?
- Wo sind kritische Verbraucher im Prozess?

Hierzu sollte der Netzbetreiber einbezogen werden, damit er auf mögliche Versorgungsqualitätsprobleme hinweisen kann und diese dann durch die Planer der Kundenanlage geeignet berücksichtigt werden können. Bei Bedarf sind geeignete Power Quality Experten einzubinden.

### 4.2 Überprüfung in bestehenden Kundenanlagen

In bestehenden Kundenanlagen kann eine Überprüfung unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte durchgeführt werden:

- Analyse der Versorgungsstruktur bzgl. der Frage, welche Störgrößen auf die angeschlossenen Verbraucher einwirken können. Welche Verbraucher müssen abgesichert werden?
- Überprüfen, ob die in der Kundenanlage eingestellten Geräteparameter bereits im ausreichenden Maße die Auswirkungen möglicher Netzverhältnisse / Netzbetriebszustände berücksichtigen
- Schutzkonzept und -parameter überprüfen und angleichen, so dass der Über-/Unterspannungsschutz auf die Gerätestörfestigkeit abgestimmt ist und damit das Schutzgerät nicht ungewollt auslöst. Zum Beispiel sollten Geräte nicht mit der Werkseinstellung (Einstellvorgabe des Herstellers) ungeprüft in Betrieb gehen. Eine Abstimmung von Schutzparametern zwischen Schalter an der Übergabestelle (Einspeisung) und nachgeschalteten USV-Anlagen ist erforderlich.
- Mit einer Risikomatrix kann eine Abschätzung zu möglichem wirtschaftlichem Schaden, bei Häufigkeit von Spannungseinbrüchen unterschiedlicher Dauer, dokumentiert werden.

Bei Auslegung des gesamten Prozesses muss auch die einzelne Komponente der Kundenanlage geeignet berücksichtigt werden, um Schwachstellen erkennen und geeignete Abhilfemaßnahmen ergreifen zu können.

### 4.3 Vorgehensweise bei der Änderung einer Kundenanlage

Es ist ein Änderungsmanagement bei Erweiterung, Umbau oder Ersatzbeschaffung von Geräten, Maschinen und Anlagen erforderlich, um den bisherigen Status bezüglich der Störfestigkeit zu erhalten. Hierzu dient eine regelmäßige Überprüfung der Spannungsverhältnisse in der Kundenanlage, insbesondere bei Veränderungen, wie neue Maschinen höherer Leistung und Strombezüge oder neue Leitungen, welche sich auf den Spannungsfall in der Kundenanlage negativ auswirken können. Aber auch gegenseitige Wechselwirkungen und erhöhte Empfindlichkeiten der neuen Anlagen/Maschinensteuerung etc.

## 5 Allgemeine wirksame Maßnahmen bei Kundenanlagen

Wesentliche Ursache für die empfindlichere Reaktion von Geräten auf Spannungseinbrüche ist die deutlich veränderte Gerätetechnik. In zunehmendem Maße wird die unempfindlichere direkte elektrothermische bzw. elektromechanische Energieumwandlung durch elektronische Strom-/ Spannungsumwandlung (Umrichter) ersetzt und um elektronische Steuerungsgeräte ergänzt.

Insbesondere in Industrieanlagen sollte die Einhaltung einer angemessenen Störfestigkeit bereits bei der Projektierung von Neuanlagen berücksichtigt werden. Hierbei sind DIN EN 50160 (Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen) und die Normen der Reihe IEC 61000-x-y (Elektromagnetische Verträglichkeit, kurz: EMV) [9, 10, 11, 12] maßgeblich. Eine hinsichtlich der Störfestigkeit auf ihren Einsatzort dimensionierte Anlage wird einen zuverlässigen Betrieb sicherstellen.

Technologien wie z.B. Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (sog. USV-Anlagen, Klassifizierung gemäß IEC 62040-3) können einen wesentlichen Beitrag zur Störfestigkeit leisten. Auch bestehende Industrieanlagen sind mit diesen Techniken nachrüstbar. Spezielle Geräte zum schnellen Ausregeln von netzseitigen Spannungseinbrüchen mit aktiven Spannungsreglern oder Dynamic Voltage Restorer (DVR) sind am Markt verfügbar und können anlagenseitig für einen störungsfreien Betrieb sorgen.

In einzelnen Fällen kann die Überprüfung der Transformator-Schaltgruppen oder eine Erhöhung der Kurzschlussleistungen des Transformators die Situation verbessern. Hierbei wird eine positive Wirkung durch einen geringeren Spannungseinbruch an der Sekundärseite des Transformators erzielt.

Auch die Sensitivität der Spannungsüberwachungseinrichtungen der Industrieanlage kann eine Schwachstelle darstellen. Gegebenenfalls ist durch eine robustere Einstellung Abhilfe möglich. Hierdurch darf jedoch die Anlagensicherheit nicht gefährdet werden.

In jedem Fall ist eine genaue Kenntnis der Spannungsqualität im kundeneigenen Netz hilfreich, womit bei Spannungseinbrüchen der Zusammenhang zwischen Spannungseinbruchsdauer, Einbruchtiefe und ausgefallenem Betriebsmittel ermittelt werden kann. Dies ist durch Implementierung von Monitoring Systemen aus dem Bereich der Power Quality möglich. Auf dieser Basis können zielgerichtet Maßnahmen abgeleitet werden, welche z.B. singulär die Schwachstelle an einem Betriebsmittel oder aber ganzheitlich die Stabilität der Gesamtprozesse erhöhen. Die Überwachung der Spannungsqualität sowie die angemessene Störfestigkeit der Anlagen sollten innerhalb des Qualitätsmanagements von Unternehmen Berücksichtigung finden (s. z. B. BNetzA-Leitfaden für ortsfeste Anlagen, [3]).

### 5.1 Geeignete Messungen helfen bei der Erkennung und Behebung

Von Seiten des Netzbetreibers muss die Einhaltung der DIN EN 50160 an der Übergabestelle zur Kundenanlage sichergestellt werden. Dies kann bei Bedarf durch entsprechende Nachweise erfolgen. Trotz Einhaltung der DIN EN 50160 durch den Netzbetreiber kann es in der Kundenanlage zu Problemen oder Störungen im Betrieb kommen.

Zudem werden Versorgungsunterbrechungen vom Netzbetreiber mit dem jeweiligen Störungsanlass erfasst. Trotz Aufrechterhaltung der Versorgung mit elektrischer Energie von Seiten des Netzbetreibers kann es durch Störungen in der Kundenanlage zu Versorgungsunterbrechungen in der Kundenanlage kommen.

Vor diesem Hintergrund wird klar, dass geeignete Messungen am Netzanschlusspunkt und innerhalb der Kundenanlage erforderlich sind, um die Anlässe/Ursachen für aufgetretene Probleme oder Störungen in der Kundenanlage ermitteln zu können. Die Ursachen bzw. Störungsanlässe können im öffentlichen Netz liegen oder innerhalb der Kundenanlage.

## 5.2 Maßnahmen zur Ursachenklärung

Als wesentliche Quelle zur Ermittlung möglicher und sinnvoller Abhilfemaßnahmen dient eine geeignete Dokumentation der Störungen und des entsprechenden Umfeldes. Daher werden hierzu nachfolgend einige Hinweise gegeben:

- Für eine ausreichende Dokumentation sind aussagekräftige Prozessdaten und die Spannungsverläufe möglichst aller externen Verknüpfungspunkte und internen Kundenverteilungen erforderlich
- Ort, Datum, Uhrzeit des Störungsereignisses sowie betroffene Geräte bzw. Anlagen (Fehlerbildbeschreibung)
- Spannungseinbrüche sind systematisch zu erfassen, z.B. nach DIN EN 50160 Klassifizierung (diese Klassifizierung basiert u.a. auf den Produktnormen)
- Die Ursachen eines Betriebsmittelausfalls sind zu analysieren (hier speziell elektrische Ursache, z.B. tatsächliche Gerätestörung oder Schutzauslösung)
- Zur Erstellung einer Risikomatrix ist die Dokumentation von Störungen (z.B. Häufigkeit und Dauer) unter den Gesichtspunkten in Bild 2 notwendig
- Funktionsfähigkeitskriterium ggf. einfügen und diskutieren: ab wann liegt eine Störung bzw. ein Ausfall vor
- Bei Spannungseinbrüchen sind zwei Bereiche zu unterscheiden:
  - Anlass des Spannungseinbruchs innerhalb der Kundenanlage (z.B. durch Schaltvorgänge oder Lastabtrennung)
  - Anlass des Spannungseinbruchs im vorgelagerten Netz (z.B. durch atmosphärische Einwirkungen, wie Gewitter).

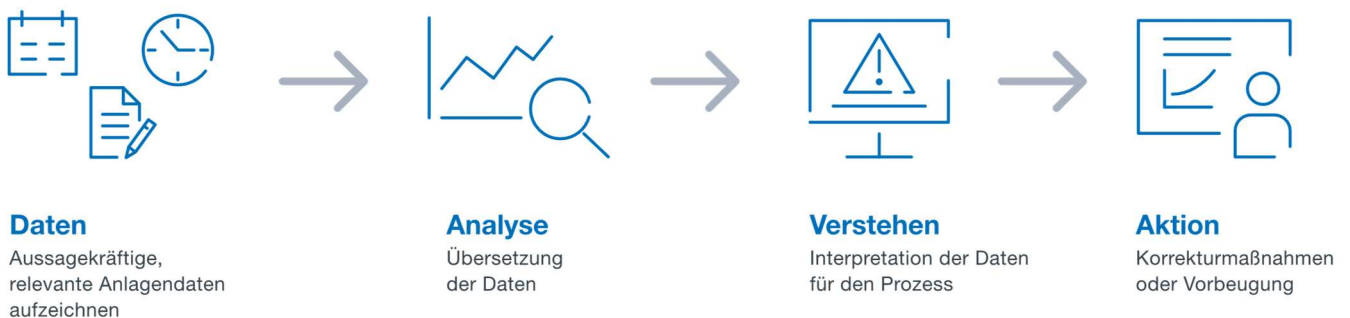


Bild 2 Wichtige Gesichtspunkte bei der Dokumentation von Störungen

## 5.3 Mögliche Abhilfemaßnahmen in der Kundenanlage

Allgemein mögliche Abhilfemaßnahmen in der Kundenanlage zur Verminderung der Auswirkungen von Spannungseinbrüchen sind z.B.:

- Es sollten Geräte eingesetzt werden, die über eine ausreichende Störfestigkeit verfügen. Eine CE-Kennzeichnung ist hierfür nicht ausreichend. Wichtig sind z.B. nach welcher Norm die Geräte und welche Parameter jeweils geprüft wurden.
- Für sensible Sensoren oder Aktoren können gepufferte Systeme eingesetzt werden. In vielen Fällen sind auch Automaten oder Maßnahmen in der Leittechnik z.B. Totzeiten, Umschaltungen oder Wiederanlaufprozeduren der Produktionsanlage hilfreich.

Bei Anschluss großer Umrichter oder sensibler Verbraucher sollte der Netzbetreiber bereits in der Planungsphase eingebunden werden.

Weiterführende spezifische Abhilfemaßnahmen sind z.B.:

- Schnelles Ausregeln von netzseitigen Spannungseinbrüchen, z.B. mit aktivem Spannungsregler oder Dynamic Voltage Restorer (DVR);
- Netzanschlusspunkt von spannungssensiblen Anlagen und Geräten prüfen;
- Frequenzumrichter mit EMV-Filter, Netzdrossel am Ausgang um Netzurückwirkungen zu reduzieren.

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind mögliche Abhilfemaßnahmen bei verschiedenen Unterbrechungsdauern angegeben.

*Tabelle 1: Mögliche Abhilfe-Maßnahmen bei verschiedenen Unterbrechungsdauern*

Unterbrechungsdauer	Problem	Maßnahme
< 500 ms (alternative Unterscheidung: Schnellzeit / Schutzlaufzeit MS / Unterbrechung)	Kritisch für alle Leistungselektroniken und Mikro-Prozessor gesteuerten Geräte	z.B. Netzteile mit entsprechender Geräte- interner Spannungspufferung einsetzen
0,5 s – 30 min	Spannungsabweichungen, die auch robuste Geräte beeinträchtigen	Dynamische USV-Anlagen ab 200 kVA, 0 – 15 s; USV-Anlagen 5 - 200 kVA, 0 – 15 min
> 30 min	Produktionsstillstand bei längerem Ausfall	Ersatzstromaggregat

#### 5.4 Qualitätssicherung

Zur Qualitätssicherung dient eine geeignete Dokumentation

- von Störungen,
- vorgenommenen Abhilfemaßnahmen (z. B. andere Anschlusspunkte gewählt unter Berücksichtigung der internen Verteilungsstruktur),
- durchgeführten Änderungen in der Kundenanlage (z. B. Erweiterung, Umbau oder Ersatzbeschaffung) sowie
- eine regelmäßige Überprüfung der Spannungsqualität in der Kundenanlage.

#### 5.5 Unterstützung durch Power Quality Experten

Bei Bedarf sollten/müssen geeignete Power Quality Experten (PQ Experten) unterstützen, die Industriekunden bei der Planung, Überprüfung/Messung in Anlagen und der Erarbeitung von Abhilfemaßnahmen bei Spannungsqualitätsproblemen helfen können, s. z. B. ZVEI, [4] bzw. BDEW [5].

## 6 Prozessoptimierung

Im Rahmen einer Prozessoptimierung sind insbesondere folgende Abhilfemaßnahmen in der Kundenanlage zur Verminderung der Auswirkungen von Spannungseinbrüchen zu beachten:

- Geräte mit Unterspannungsauslösung: Einstellung prüfen, Auslöseverzögerung optimieren (150 - 200 ms oft ausreichend, aber von der Ursache abhängig)
- Geräte mit Überspannungsauslösung: Einstellung prüfen, Spannungsschwelle optimieren (mit Zunahme dezentraler Erzeugung wird vermehrt die obere Spannungstoleranz verwendet, daher sind frühere Einstellungen ggf. nicht mehr zeitgemäß)
- SPS- Steuerungen und Leitsysteme absichern durch USV
- EMV gerechte Installation zur Vermeidung von Strömen über galvanische Verbindungen oder elektromagnetische Einkopplungen (ansonsten können Störungen an elektronischen Komponenten auftreten)
- Auf vollständigen Potentialausgleich achten und nur TN-S Netze installieren
- Blitz- und Überspannungsschutz installieren
- Bei sensiblen Anlagen im Vorfeld mit dem zuständigen Netzbetreiber Kontakt aufnehmen (Netzverhältnisse klären, Netzanschlusspunkt festlegen, Historie auswerten, Konformität prüfen)

## 7 Abstimmung zwischen Netzbetreiber und Netzkunde bei Abhilfemaßnahmen

Bei einer Bewertung der Versorgungszuverlässigkeit müssen unterschiedliche Einflussfaktoren wie historisch gewachsene Netzstrukturen, regionale Gebietsmerkmale (städtisch oder ländlich, Berge oder Flachland) und meteorologische Einflüsse berücksichtigt und als Kriterien für Vergleiche herangezogen werden.

Abhilfemaßnahmen sind aber nicht nur unter technologischen Kriterien, sondern auch unter ökonomischen Aspekten zu bewerten. Der Fokus liegt zunächst auf der Schnittstelle zwischen Kundenanlagen und Stromnetz. Dort gilt es herauszufinden, wo ggf. Ursache für Auffälligkeiten oder Unregelmäßigkeiten liegen: im Netz des Netzbetreibers oder in der Kundenanlage.

Beispielhaft werden zur Ermittlung geeigneter Maßnahmen folgende Schritte vorgeschlagen:

1. Störungsdatenerfassung durch den Netzkunden und den Netzbetreiber  
Zu erfassen sind Ort, Datum, Uhrzeit von Störsereignissen sowie betroffene Geräte bzw. Anlagen. Spannungseinbrüche sind ggf. systematisch messtechnisch zu erfassen und möglichst als digitale Messreihe zu dokumentieren. Seitens Netzbetreiber gehört die Stördatenerfassung ohnehin zu den Betreiberpflichtungen.
2. Abgleich der erfassten Störungsdaten von Netzbetreiber und Netzkunde  
Leitfragen für den Abgleich:
  - Liegen beim Netzbetreiber bereits Beschwerden anderer Kunden vor?
  - Korrelieren Störungen des Netzes mit Kundenstörungen?
3. Bei Bedarf zeitgleiche diagnostische Messung am Kundenanschluss auf Netzspannungsebene sowie auf Spannungsebene der gestörten Stromverbraucher.  
Leitfragen für die Messung:

- Sind die Regularien der DIN EN 50160 netzseitig eingehalten?
  - Treten zusätzliche Spannungsänderungen auf, die in den Regularien der DIN EN 50160 nicht erfasst werden?
  - Welche Spannungsverhältnisse liegen am gestörten Gerät/Anlage/Maschine vor?
  - Auf welcher Seite liegt die Störungsursache?
4. Gemeinsame Abstimmung über das weitere Vorgehen  
In der Regel ergeben sich an diesem Punkt zielführende Maßnahmen unter Berücksichtigung der nachfolgend aufgeführten Erwägungen.

Sind im Ergebnis einer gemeinsamen Analyse die Ursachen von Unregelmäßigkeiten in der Versorgung in der Kundenanlage begründet, müssen die finanziellen Konsequenzen von Produktions- oder Betriebsausfällen nachvollziehbar aufgezeigt werden. Sie bilden die Basis für eine Entscheidung hinsichtlich der detaillierten Untersuchung der vorhandenen Probleme und der ggf. notwendigen Investitionen in Abhilfemaßnahmen.

Aus der Analyse der Auswirkungen von Spannungseinbrüchen ergeben sich technische/betriebliche Veränderungen beim Kunden und zusätzlich mögliche technische Abhilfemaßnahmen. Letztendlich muss eine Abwägung getroffen werden zwischen den Kosten, die durch Einwirkungen der Spannungsqualität entstehen, und den Kosten der Abhilfemaßnahmen.

Das Spektrum möglicher Beratungsleistungen im Zusammenhang mit den oben erwähnten Problemen ist groß. Es beginnt bei relativ einfachen Gutachten über strukturelle Maßnahmen in den kundeneigenen Anlagen und endet bei umfangreichen Messreihen, die Eingang zu komplizierten Netzberechnungen im Bereich der Nennfrequenz, Harmonischen und Zwischenharmonischen finden können. Darüber hinaus können weitere Betrachtungen von EMV-Phänomenen etc. sinnvoll sein. Darauf basieren dann verschiedene Vorschläge für technische Lösungen.

Typische Abhilfemaßnahmen sind bspw. die Pufferung kritischer Steuerungsfunktionen über unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) oder der Einsatz von Ersatzstromaggregaten. Jenach Art und Umfang von Ursachen und Auswirkungen sowie der Komplexität der Kundenanlagen ergibt sich eine Vielzahl von Handlungsmöglichkeiten. Im VDE FNN Hinweis „Störfestigkeit im Zusammenspiel von Kundenanlagen und Elektrizitätsnetzen“ ist eine Sammlung sowohl netzseitiger- als auch kundenseitiger-Maßnahmen zur Verminderung von spannungsbedingten Funktionsstörungen bei elektrischen Geräten aufgeführt [2]. Bei Bedarf können bilaterale Vereinbarungen zwischen Anlagen- und Netzbetreiber zur Art des Netzanschlusses sinnvoll sein, wie z.B. Netzanschluss an eine andere Netzebene, Anschaltung an einen Verknüpfungspunkt mit höherer Netzkurzschlussleistung (z.B. anderer MS-Ring) oder über eine eigene Transformatorstation.

Aufgrund der erwähnten Vielzahl an Handlungsmöglichkeiten ist es aber nicht möglich, die Kosten dafür pauschaliert abzuschätzen. Dies muss je Einzelfall separat betrachtet werden. Ziel der gemeinsamen Abstimmung ist in jedem Fall, dass Kunde und Netzbetreiber einen Überblick über die Maßnahmen und Möglichkeiten zur Verbesserung der Situation erhalten.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 50160, Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen
- [2] FNN  
VDE FNN Hinweis „Störfestigkeit im Zusammenspiel von Kundenanlagen und Elektrizitätsnetzen“, August 2016
- [3] BNetzA  
Leitfaden zur Dokumentation von ortsfesten Anlagen entsprechend dem Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG)
- [4] ZVEI Leitfaden  
Verbesserung der Spannungsqualität in elektrischen Netzen, Juni 2021
- [5] BDEW  
Register von Power Quality Experten
- [6] ITIC  
ITI-Kurve (ITIC, amerikanisches Information Technology Industry Council)
- [7] DIN EN 61000-6-1 (VDE 0839-6-1)  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-1: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe (IEC 61000-6-1:2005); Deutsche Fassung EN 61000-6-1:2007
- [8] DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2)  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-2: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Industriebereiche (IEC 61000-6-2:2005); Deutsche Fassung EN 61000-6-2:2005
- [9] DIN EN 61000-4-7 (VDE 0847-4-7),  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-7: Prüf- und Messverfahren – Allgemeiner Leitfaden für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten (IEC 61000-4-7:2002 + A1:2008); Deutsche Fassung EN 61000-4-7:2002 + A1:2009
- [10] DIN EN 61000-4-11 (VDE 0847 Teil 4-11),  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-11: Prüf- und Messverfahren – Prüfungen der Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen (IEC 61000-4-11:2004); Deutsche Fassung EN 61000-4-11:2004
- [11] DIN EN 61000-4-30 (VDE 0847-4-30),  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-30: Prüf- und Messverfahren – Verfahren zur Messung der Spannungsqualität (IEC 61000-4-30:2015); Deutsche Fassung EN 61000-4-30:2015
- [12] DIN EN 61000-4-34 (VDE 0847-4-34),  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-34: Prüf- und Messverfahren – Prüfungen der Störfestigkeit von Geräten und Einrichtungen mit einem Netzstrom > 16 A je Leiter gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen (IEC 61000-4-34:2005 + A1:2009 + Cor.:2009); Deutsche Fassung EN 61000-4-34:2007 + A1:2009
- [13] EMC & Power Quality (D-A-CH-CZ)  
D-A-CH-CZ Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen, 3. Ausgabe (2021)

## Anhang A

### Begriffe/Definitionen

#### **Netzanschlusspunkt**

Der Netzanschlusspunkt ist der Netzpunkt, an dem die Kundenanlage an das Netz des Netzbetreibers angeschlossen ist.

#### **Netzurückwirkungen**

Unter Netzurückwirkung versteht man die von einer Anlage oder einem Gerät verursachten Störungen des Versorgungsnetzes (des speisenden Netzes).

Die Netzurückwirkungen entstehen z. B. durch Einschaltströme von größeren Verbrauchern, Stromgleichrichter oder elektronische Schalter. Die Folge davon ist eine Verzerrung der Netzspannung. Als Folge können andere an das Netz angeschlossene elektrische Geräte und Anlagen störend beeinflusst werden.

#### **Spannungseinbruch (engl. voltage dip)**

Der Spannungseinbruch ist ein plötzliches Absinken der Spannung an einem Punkt des elektrischen Netzes, dem eine Wiederherstellung der Spannung nach einem kurzen Zeitabschnitt folgt.

Gemäß DIN EN 50160 [1] ist die Anfangseinbruchschwelle gleich 90 % der Bezugsspannung und die Dauer eines Spannungseinbruchs reicht von 10 ms bis einschließlich 1 min.

#### **Spannungsqualität**

Die Spannungsqualität wird durch die Eigenschaften von Stromstärke, Spannung und Frequenz an einem gegebenen Punkt in einem Elektrizitätsversorgungssystem beschrieben, welche nach einem Satz von technischen Bezugsparametern bewertet werden. Die Merkmale der Spannung unter normalen Betriebsbedingungen in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen sind europaweit geregelt (DIN EN 50160).

Die Spannung wird im Normalbetrieb durch Lastschwankungen, Störeinflüsse und Fehler (z.B. Kurzschlüsse) beeinflusst.

#### **Störfestigkeit**

Die Störfestigkeit ist die Resistenz eines Systems gegen externe Störquellen, die es ihm bis zu einem gewissen Grad erlaubt, ungestört arbeiten zu können. Normen, die die Grenzwerte für die Störfestigkeit beschreiben, lehnen sich größtenteils an die Merkmale der Versorgungsspannung gemäß EN 50160 an.

#### **Übergabestelle [DIN EN 50160]**

Stelle in einem öffentlichen Versorgungsnetz, die dafür vorgesehen und vertraglich festgelegt ist, um elektrische Energie zwischen den Vertragspartnern auszutauschen.

ANMERKUNG Diese Stelle kann z. B. vom Punkt der Messung des elektrischen Energieverbrauchs oder vom Verknüpfungspunkt mit dem öffentlichen Netz abweichen.

#### **Verknüpfungspunkt [IEV 161-07-15]**

Punkt in einem öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetz, der elektrisch einem speziellen Verbraucher am nächsten liegt und an den andere Verbraucher angeschlossen sind oder sein können

ANMERKUNG 1: Diese Verbraucher können entweder Geräte, Einrichtungen oder Systeme oder bestimmte Anlagen beim Kunden sein.

ANMERKUNG2: Netzanschlusspunkt (Netzpunkt), an dem die Kundenanlage an das Netz des Netzbetreibers angeschlossen ist. Der Netzanschlusspunkt hat vor allem Bedeutung im Zusammenhang mit der Netzplanung. Eine Unterscheidung zwischen Netzanschlusspunkt und Verknüpfungspunkt ist nicht in allen Fällen erforderlich.

### **Versorgungsqualität**

Die Versorgungsqualität in der allgemeinen elektrischen Energieversorgung umfasst die folgenden Aspekte:

- **Spannungsqualität**  
(Eigenschaften von Stromstärke, Spannung und Frequenz an einem gegebenen Punkt in einem Elektrizitätsversorgungssystem)
- **Versorgungszuverlässigkeit**  
(Häufigkeit und Dauer von Versorgungsunterbrechungen).
- **Servicequalität**  
(Qualität der Geschäftsvorgänge vor und während der Vertragslaufzeit)

### **Versorgungsunterbrechung**

Eine Versorgungsunterbrechung liegt vor, wenn die Spannung an der Übergabestelle/Netzanschlusspunkt zu einem oder mehreren Kunden weniger als 5 % der Bezugsspannung beträgt.

- Eine geplante Versorgungsunterbrechung liegt vor, wenn der Netznutzer/Netzkunde hierüber im Voraus benachrichtigt wurde, z.B. aufgrund von geplanten Arbeiten am Netz.
- Eine zufällige Versorgungsunterbrechung wird durch andauernde oder vorübergehende Störungen verursacht. Sie treten meist in Zusammenhang mit äußeren Einflüssen, Anlagenausfällen oder anderen Störungen auf.

Versorgungsunterbrechungen werden eingeteilt in:

- lange Versorgungsunterbrechungen (länger als 3 min);
- kurze Versorgungsunterbrechungen (größer 1 Sekunde bis einschließlich 3 Minuten).

Die Auswirkungen einer „automatischen Wiedereinschaltung“ (Wirkungsdauer im Bereich von Millisekunden bis zu wenigen Sekunden) durch ein Schutzgerät werden definitionsgemäß der Spannungsqualität zugeordnet.

### **Versorgungszuverlässigkeit**

Die Versorgungszuverlässigkeit wird durch die Anzahl und Dauer von Versorgungsunterbrechungen gekennzeichnet. Sie zeigt die Fähigkeit eines elektrischen Systems seine Versorgungsaufgaben unter vorgegebenen Bedingungen während einer bestimmten Zeitspanne zu erfüllen.

Für die Bewertung der Versorgungszuverlässigkeit werden die Versorgungsunterbrechungen beim Letztverbraucher (Netzkunden) ausgewertet. Hierzu gibt es international und europaweit abgestimmte Definitionen für Kenngrößen, wie zum Beispiel die der Nichtverfügbarkeit in Minuten pro Jahr. Diese Kenngrößen sind auf Kriterien ausgerichtet, die durch den Netzbetreiber beeinflusst werden können. Damit können die Kenngrößen als Grundlage für eine Qualitätsregulierung dienen. Wichtig ist, dass sie mit vertretbarem Aufwand erfasst werden können.

### **Versorgungssicherheit**

langfristige Sicherung ausreichender Erzeugungskapazität

### **Automatische Wiedereinschaltung**

Automatische Wiedereinschaltung (AWE) wird in Freileitungsnetzen eingesetzt. Dabei nutzt man den Umstand, dass nach kurzen Aus- und Wiedereinschalten (Millisekunden bis zu wenigen Sekunden) die Fehlerursache (heruntergefallene Äste etc.) häufig von selbst verschwinden, bzw. der Lichtbogen gelöscht wird. Dadurch kann der Normalbetrieb/die Versorgung automatisch und sehr schnell wieder hergestellt werden.

## Anhang B Abkürzungen

AWE	Automatische Wiedereinschaltung
CE	Europäische Konformität
DISQUAL	Distribution Quality
DVR	Dynamic Voltage Restorer
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EN	Europäische Normen
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ETG	Energietechnische Gesellschaft
FNN	Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE
MS	Mittelspannung
NS	Niederspannung
PQ	Power Quality
PV	Photovoltaik
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
TAB	Technische Anschlussbedingungen
TAR	Technische Anschlussregeln
TN-S Netze	Netze mit separaten Neutralleiter und Schutzleiter
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgungen
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
VNB	Verteilnetzbetreiber

## Anhang C Qualität der Stromversorgung - Grundbegriffe

### Versorgungsqualität

Bild 3 gibt einen Überblick zur Versorgungsqualität und ihren Komponenten, wobei die Beeinflussbarkeit dieser drei Komponenten durch den Netzbetreiber von der Servicequalität über die Versorgungszuverlässigkeit bis zur Spannungsqualität abnimmt, da zunehmend äußere unvorhersehbare Einflüsse wirken.

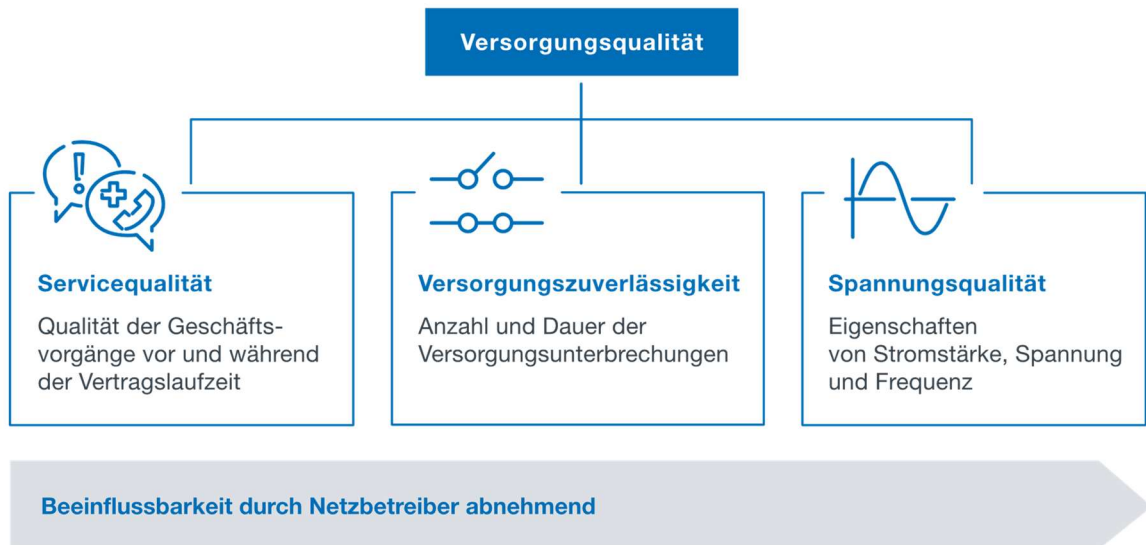


Bild 3 Komponenten der Versorgungsqualität

## Spannungsqualität und ihre Merkmale

Die Spannungsqualität wird durch europäische und internationale Normen gekennzeichnet. Kurzgefasst beschreibt sie die Übereinstimmung zwischen den physikalischen Werten der Netzspannung, wie sie z.B. beim Kunden ankommen, und den vom Betreiber zugesagten Eigenschaften der Netzspannung. Die Spannungsqualität wird von verschiedenen teilweise komplexen Einflussgrößen bestimmt. Dies erschwert eine einfache Zuordnung der verschiedenen Effekte auf einen bestimmten Verursacher.

Die Spannungsqualität wird bestimmt durch

- das Netz des Betreibers und dessen Schalthandlungen
- Netzurückwirkungen von Erzeugungsanlagen und Verbrauchsgeräten beim Kunden (z. B. Schweißmaschinen und eine Vielzahl leistungselektronischer Geräte). Diese sind vom Netzbetreiber nur sehr eingeschränkt und indirekt durch Normen oder Verträge beeinflussbar.
- weitere Einflussgrößen, wie z.B. atmosphärischen Erscheinungen (u.a. Gewitter, Sturm oder Raureif), die z. B. zu transienten Überspannungen führen können oder
- Fremdeinwirkungen (u.a. Kabelschaden durch Bagger), die zu Erd- oder Kurzschlüssen und somit zu Spannungseinbrüchen führen können.

Das bedeutet, dass im Falle einer Störung nicht ohne weiteres geklärt werden kann, wo genau die Ursachen für einen bestimmten Vorgang liegen. Die Ursache kann beispielsweise beim von der Störung betroffenen Netzkunden selbst, bei einem anderen Kunden (z. B. in der Nachbarschaft) oder beim Netzbetreiber liegen. Dabei können sich auch mehrere Ursachen überlagern. Einzelne Effekte und Störgrößen breiten sich außerdem unterschiedlich aus. Größtenteils sind die Ereignisse, die zu einer Unterbrechung oder einem Einbruch der Spannung führen, nicht vorhersehbar.

Die Merkmale der Versorgungsspannung sind in der europaweit geltenden Norm DIN EN 50160<sup>1</sup> [1] beschrieben. Darin sind unter anderem für den Normalbetrieb in der Niederspannung folgende Merkmale gelistet (Auszug siehe Tabelle 2):

*Tabelle 2: Übersicht zu ausgesuchten Merkmalen der DIN EN 50160 und deren Wertebereich in der Niederspannung im Normalbetrieb*

Merkmal	Wertebereich
Netzfrequenz	49,5 Hz bis 50,5 Hz
Langsame Spannungsänderung	230 V ± 10 % <sup>2</sup>
Schnelle Spannungsänderung	230 V ± 5 % (selten bis 10 %)
Spannungseinbrüche (≤ 1 min)	Einige 10 bis 100 pro Jahr, Einbruch (10-95 %)
Kurze Versorgungsunterbrechung (<3 min)	Einige 10 bis mehrere 100 pro Jahr, (Spannung < 5 % U <sub>n</sub> <sup>3</sup> )

Die DIN EN 50160 regelt nicht abschließend alle Fragen und Bedürfnisse, die Netzkunden beim Thema Spannungsqualität haben, wie z.B. kurzzeitige Spannungseinbrüche (< 1 s).

<sup>1</sup> DIN EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, Deutsche Fassung der EN 50160:2022

<sup>2</sup> Toleranzbereich

<sup>3</sup> Vereinbarte Versorgungsspannung (im Normalfall gleich der Nennspannung U<sub>n</sub> des Netzes).

Die DIN EN 50160 definiert die Spannungsqualität in der öffentlichen Versorgung und ist Grundlage für Netzanschlussverträge. Die Netzbetreiber sind gegenüber ihren Kunden verantwortlich für deren Einhaltung.

Wenn Kunden höhere Ansprüche an die Spannungsqualität haben, ist ein frühzeitiger Austausch zwischen Netzbetreiber und Netzkunden notwendig.

Im Folgenden werden die wichtigsten Auswirkungen der verschiedenen Spannungs-Merkmale kurz beschrieben:

- Zu Netzurückwirkungen zählen Oberschwingungen, Flicker und Spannungsunsymmetrien:
  1. Oberschwingungen sind Schwingungen mit einer anderen Frequenz als 50 Hz. Sie entstehen u.a. durch Gleichrichter wie in Fernsehgeräten, Energiesparlampen, EDV-Geräten und Geräten der Unterhaltungselektronik, durch Frequenzumrichter für Drehstrommotoren, zum Betrieb von Pumpen, Papiermaschinen, Bandsägen oder Klimageräte oder durch Wechselrichter wie sie z.B. in Windkraft- und PV-Anlagen eingesetzt werden. Sie führen zu einer Verzerrung des sinusförmigen Verlaufs der Netzspannung.
  2. Flicker sind schnelle Spannungsschwankungen, die bei unregelmäßigen elektrischen Leuchtmitteln wie Leuchtstoff- und Glühlampen zu wahrnehmbaren Leuchtdichteschwankungen führen können (Flackern oder Flimmern). Häufig werden sie durch Lastschwankungen, beispielsweise Widerstandsschweißmaschinen oder Lichtbogenöfen, ausgelöst. Flicker können z.B. beim Glühlampenlicht direkt wahrgenommen werden.
  3. Spannungsunsymmetrien entstehen durch einphasigen Anschluss leistungsstarker Verbraucher oder Erzeuger, wie z.B. elektrische Warmwassererzeuger und Elektrofahrzeuge oder PV-Anlagen. Sie können u.a. zur Überhitzung von Motoren führen.
- Ein Spannungseinbruch ist das Absinken der Wechselspannung bei einer bestimmten Frequenz. Die Ursachen für Spannungseinbrüche bis hin zum vollständigen Ausfall der Versorgungsspannung (Versorgungsunterbrechung) werden hauptsächlich durch Fehler und Störungen im Netz oder das Aufschalten von Lasten mit hohen Anlaufströmen verursacht.
- Das Gegenteil eines Spannungseinbruchs ist eine Erhöhung der Netzwechselspannung, d.h. ein Spannungsanstieg. Dieser wird beispielsweise durch plötzliche (insbesondere große) Lastreduzierungen sowie Einphasenfehler in einem Dreiphasensystem hervorgerufen.
- Kurze Versorgungsunterbrechungen (bis 3 Minuten) liegen vor, wenn die Versorgung eines oder mehrerer Netzkunden und gegebenenfalls Weiterverteiler länger als eine Sekunde und nicht mehr als 3 Minuten unterbrochen wird, unabhängig davon, wie viele Leiter betroffen sind. Ereignisse mit Dauern  $\leq 1$  Sekunde werden den Spannungseinbrüchen zugeordnet (siehe oben). Kurze Versorgungsunterbrechungen können z. B. durch Arbeiten von Umschaltautomatiken, erfolgreiche automatische Wiedereinschaltungen (AWE) oder kurzzeitige Ausschaltungen zur Erdschlusssuche infolge atmosphärischer Einwirkungen wie z.B. Gewitter und Windböen oder von Fremdeinwirkungen z.B. Tiere verursacht werden.
- Transiente Überspannungen sind kurzzeitige oder „flüchtige“ Überspannungen von sehr kurzer Dauer und einer Anstiegszeit im Bereich von weniger als einer Mikrosekunde bis hin zu wenigen Millisekunden. Verursacht werden diese transienten Überspannungen meistens entweder durch den direkten Blitzeinschlag in das Leiterseil einer Freileitung oder als Folge eines Blitzschlags durch kapazitiv oder induktiv übertragene Störspannungen. Diese Art von transienter Überspannung ist gekennzeichnet durch einen hohen Scheitelwert, aber geringer Energie.

Transiente Überspannungen können auch durch Schalthandlungen entstehen. Diese sind zwar weniger hoch als Blitzüberspannungen, doch ist die Dauer und somit der Energieinhalt weitaus größer und somit für elektrische und elektronische Geräte gefährlicher. Schaltüberspannungen entstehen typischerweise beim Schalten von Induktivitäten wie Motoren oder Vorschalt-drosseln von Leuchtstofflampen oder durch Schalthandlungen im Netz.

Eine detaillierte Darstellung der technischen Sachverhalte, Abhängigkeiten und Handlungsmöglichkeiten findet sich im technischen Hinweis des VDE FNN „Störfestigkeit im Zusammenspiel von Kundenanlagen und Elektrizitätsnetzen“, August 2016 [2].

An der Übergabestelle können unterschiedliche Phänomene auftreten, s. Bild 4:

#### ■ Transiente Überspannungen

Hierbei handelt es sich um kurzzeitige Überspannungen mit einer Dauer von einigen Millisekunden (ms) oder weniger. Transiente Überspannungen werden in der Regel durch Blitzeinwirkungen, Schalthandlungen oder das Auslösen von Sicherungen verursacht.

#### ■ Kommutierungseinbrüche

Durch Kommutierungsvorgänge entstehen Spannungseinbrüche im Bereich weniger Millisekunden. Sie werden i.d.R. durch Stromrichterschaltungen bei Endkunden verursacht.

#### ■ Spannungseinbrüche

Der Effektivwert der Spannung sinkt kurzzeitig unter eine festgelegte Anfangseinbruchschwelle, i.d.R. 10% der Nennspannung. Die Dauer eines Spannungseinbruchs liegt im Bereich von 10 ms bis 1 min.

#### ■ Spannungsschwankungen

Änderungen der Effektivspannung im Bereich des für den Normalbetrieb zulässigen Spannungsbandes von  $\pm 10\%$  um den Nennwert werden als Spannungsschwankungen bezeichnet. Sie entstehen durch variierende Lastverläufe oder Einspeisungsverläufe in Kundenanlagen.

#### ■ Versorgungsunterbrechungen

Bei diesen Netzzuständen beträgt die Spannung an der Übergabestelle weniger als 5 % der Bezugsspannung. Sie entstehen durch Netzstörungen oder geplante Abschaltungen. Kurzzeitunterbrechungen dauern maximal 3 min, längere Versorgungsunterbrechungen werden als Langzeitunterbrechung bezeichnet.

### Schematische Klassifizierung von Spannungseinschränkungen

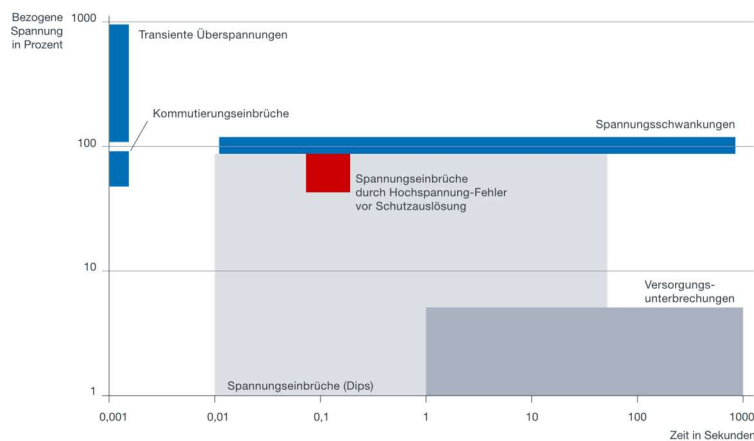


Bild 4 Schematische Klassifizierung von Spannungsänderungen

### Störfestigkeit in der Normung

Eine Störfestigkeit gegen tiefe Spannungseinbrüche wird von den Normen nur für eine Dauer bis 10 ms (für IT-Produkte) bzw. 20 ms (für sonstige Geräte im Wohn-, Gewerbe- und Industriebereich) gefordert.

Für Geräte im Industriebereich gelten strengere Grenzwerte für die Störfestigkeit als für Geräte im Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebereich sowie Kleinbetriebe hinsichtlich der Dauern von Spannungseinbrüchen zwischen 20 und 200 ms, die ohne Fehlfunktion oder gar Ausfall überstanden werden müssen.

Zudem gibt es Selbstverpflichtungen von Herstellern oder deren Verbände. Besonders bekannt ist die sogenannte ITI-Kurve (ITIC, früher CBEMA-Kurve), die vom amerikanischen Information Technology Industry Council für Geräte der Informationstechnik definiert wurde [6]. Bezüglich Dips stimmt sie bis Dauern von 500 ms mit derjenigen aus der DIN EN 61000-6-1 überein. Zudem werden auch Anforderungen im Zeitbereich über 500 ms formuliert.

Als Beispiel für Branchen spezifische Anforderungen sei SEMI genannt. Diese geben für die Halbleiterindustrie Grenzwerte an, welche Restspannung deren Geräte für einen bestimmten Zeitraum ohne Ausfall überstehen müssen. Demnach werden im Zeitbereich bis 20 ms und im Zeitbereich 200 ms bis 500 ms die gleichen Anforderungen gestellt wie nach DIN EN 61000-6-1 und DIN EN 61000-6-2. Im Zeitbereich zwischen 20 ms und 200 ms ist die Anforderung etwas geringer als in der DIN EN 61000-6-2. Zudem werden Anforderungen im Zeitbereich über 500 ms gestellt. Dies zeigt, dass bestimmte Branchen die Bedeutung der Störfestigkeit bereits erkannt haben und höhere Anforderungen stellen als in der Normung.

## Versorgungszuverlässigkeit – Statistische Kenngrößen

Zur Ermittlung der Versorgungszuverlässigkeit werden die auftretenden Versorgungsunterbrechungen betrachtet. Zugrunde gelegt werden dabei deren Dauer und Ausmaß (z.B. unterbrochene Bemessungsleistung). Diese Ausprägungen sind unabhängig voneinander und können unter Berücksichtigung der zugehörigen Systemgröße (z.B. installierte Bemessungsleistung) zu weiteren Kenngrößen aggregiert werden, die das durchschnittliche Zuverlässigkeitsniveau beschreiben wie z.B. die Nichtverfügbarkeit  $Q_U$ . Die Nichtverfügbarkeit gibt die durchschnittliche Strom-Unterbrechungsdauer pro Kunde in Minuten pro Jahr an. Diese international definierte Kenngröße ermöglicht einen länderübergreifenden Vergleich der Netze im Punkte Zuverlässigkeit.

Deutsche Stromnetze nehmen hier einen Spitzenwert ein. Die Bild 5 und Bild 6 zeigen die Entwicklung der Strom-Unterbrechungsdauer in den vergangenen Jahren sowie den entsprechenden Ländervergleich. Zudem wird in Bild 7 die Entwicklung der Zahl der Spannungseinbrüche dargestellt.

## Hohe Versorgungszuverlässigkeit

Durchschnittliche Strom-Unterbrechungsdauer pro Kunde in Minuten

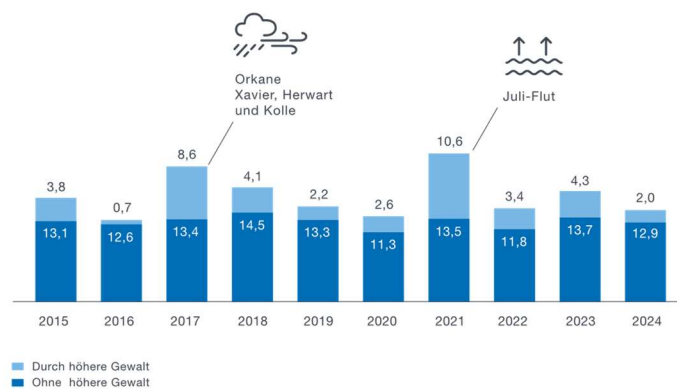
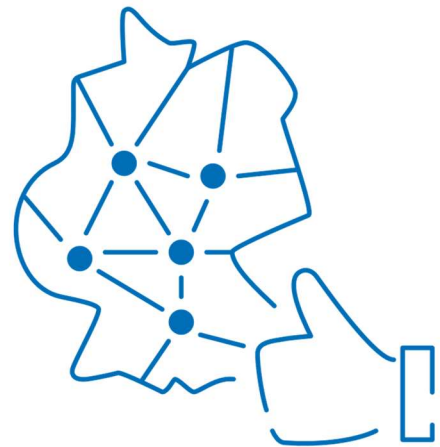
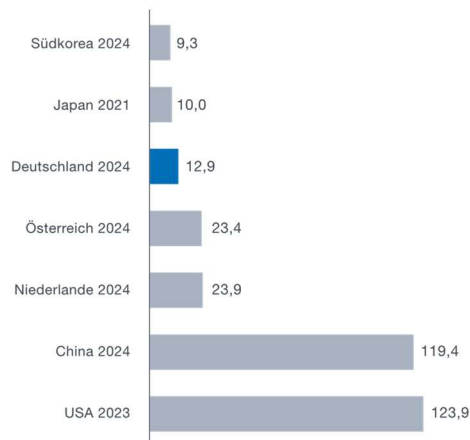


Bild 5 Entwicklung der Strom-Unterbrechungsdauer

## Die Stromversorgung in Deutschland ist weltweit eine der zuverlässigsten

Durchschnittliche Strom-Unterbrechungsdauer SAIDI im Ländervergleich in Minuten



Quelle: e-Control (Österreich), JEPIC: The Electric Power Industry in Japan, KEPCO (Südkorea), Movares: Betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten in Nederland Resultaten 2024 (Niederlande), U.S. Energy Information Administration (USA), VDE FNN (Deutschland), China Daily (China)

Bild 6 Ländervergleich zur Strom-Unterbrechungsdauer

## Zahl der Spannungseinbrüche ohne Auffälligkeiten

Spannungseinbrüche werden durch kurzschlussartige Fehler verursacht.

Anzahl kurzschlussartiger Fehler pro 100-km-Stromkreislänge

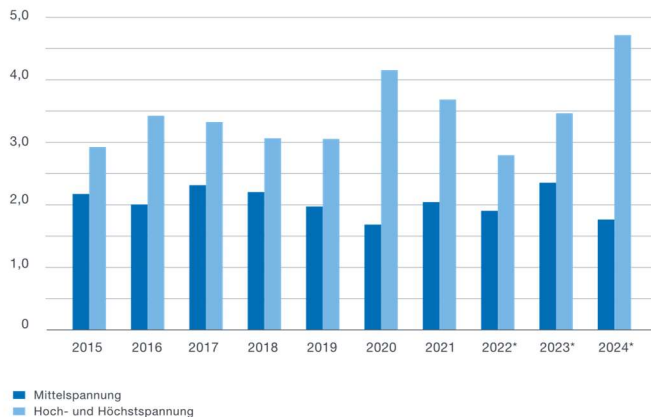


Bild 7 Entwicklung der Zahl der Spannungseinbrüche

Zur Erfassung der Verfügbarkeiten und Störungen bei der Stromversorgung gibt es in Deutschland verschiedene statistische Erhebungen. Ein Beispiel ist die VDE FNN-Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik. Diese deckt jedoch nicht vollständig alle Netzgebiete ab. Zu beachten ist auch, dass die in der Statistik dargestellten Kenngrößen deutschlandweite Mittelwerte sind. Für die Situation vor Ort bieten sie somit keine belastbaren Aussagen. Je nach den vor Ort vorliegenden Randbedingungen können erhebliche Abweichungen zwischen dem statistischen Kennwert und der

tatsächlichen Spannungsqualität auftreten. Insoweit ist ein regelmäßiger Informationsaustausch zwischen Netzbetreiber und Netzkunden empfehlenswert.

VDE FNN veröffentlicht jährlich eine Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik<sup>4</sup>. Grundlage ist eine Datenerhebung in Deutschland mit einer Erfassung von rund 75 % der gesamten Stromkreislängen. Im Fokus sind Störungen in Niederspannungs-, Mittelspannungs-, Hochspannungs- und Höchstspannungsnetzen. Die VDE FNN-Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik wird jedes Jahr im Herbst veröffentlicht und umfasst folgende zwei Schwerpunkte:

#### ■ Verfügbarkeitsstatistik

Es werden Versorgungsunterbrechungen bei Stromnetzkunden mit einer Dauer von mehr als 1 Sekunde in der Nieder- (NS) und Mittelspannung (MS) erfasst. Daraus werden die Störungen mit einer Versorgungsunterbrechungsdauer von mehr als 3 Minuten separiert und die Verfügbarkeitskenngrößen nach DISQUAL<sup>5</sup> ermittelt. Darüber hinaus werden sogenannte DISQUAL-ähnliche Verfügbarkeitskenngrößen berechnet, denen die Störungen mit einer Versorgungsunterbrechungsdauer von mehr als 1 Sekunde zugrunde liegen. Dabei gelten ergänzend folgende Bedingungen:

- nach Ablauf aller Automaten und
- ohne Erdschluss-Eingrenzungsschaltungen bis 3 min.

Der Hinweis nach Ablauf aller Automaten ist wichtig, um definierte Zustände zu haben. Mit Erdschluss-Eingrenzungsschaltungen wird der Störungsort ermittelt. Dies sind Schalthandlungen, die nur lokal/regional eine sehr begrenzte Anzahl an Netzkunden betreffen. Die Anzahl kurzer Versorgungsunterbrechungen ab einer Dauer von 1 Sekunde ist über die vergangenen Jahre stabil und weist keine Auffälligkeiten auf. Die Versorgungsunterbrechungen im Bereich oberhalb 1 s und bis 3 min leisten keinen nennenswerten Beitrag zur Nichtverfügbarkeit. Die bundesweite Auswertung erfolgt durch VDE FNN.

#### ■ Störungsstatistik

Ausgewertet werden stochastische Störungen in den Mittelspannungs-, Hochspannungs- und Höchstspannungsnetzen mit Fokus auf das Betriebsgeschehen im Netzbetrieb. Es werden u.a. erfasst:

- Störungsverlauf
- Ort des Fehlers
- Anlass der Störung

Aus den erfassten Daten werden dann die Einflüsse verschiedener Größen und die Betriebsmittelkenndaten für Zuverlässigkeitsberechnungen ermittelt.

---

<sup>4</sup> [Versorgungszuverlässigkeit - die FNN Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik](#). Siehe auch Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (VDE FNN)

<sup>5</sup> DISQUAL (Distribution Quality): Studienkomitee (Group of Experts 50.05.DISQUAL) der UNIPED (Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique = Internationale Union der Erzeuger und Verteiler elektrischer Energie), Availability of Supply Indices. UNIPED, Ref. 05005Ren9733, Paris, 1997.

VDE Verband der Elektrotechnik  
Elektronik Informationstechnik e.V.

Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN)  
Bismarckstraße 33  
10625 Berlin  
Tel. +49 30 383868-70  
[fnn@vde.com](mailto:fnn@vde.com)  
[www.vde.com/fnn](http://www.vde.com/fnn)

**bdew**  
Energie. Wasser. Leben.

**VDE** FNN