

# Versorgungszuverlässigkeit und Einflüsse auf die Spannungsqualität im Versorgungsgebiet der N-ERGIE Netz GmbH

Die Versorgungsqualität am Netzanschlusspunkt hängt von zahlreichen Faktoren ab, die durch den Netzbetreiber und den Netzkunden mehr oder weniger beeinflusst werden können. Im Industriebereich ist eine unterbrechungsfreie Stromversorgung die wesentliche Voraussetzung für einen stabilen Produktionsprozess. Der FNN-Hinweis „Störfestigkeit im Zusammenspiel von Kundenanlagen und Elektrizitätsnetzen“, der im August 2016 veröffentlicht wurde [10], gibt eine systematische Hilfestellung, wie sich ein störungsfreier Betrieb auch bei hochempfindlichen Produktionsprozessen dauerhaft und wirtschaftlich erreichen lässt. Folgender Beitrag liefert einen kompakten Überblick über die auftretenden Ereignisse, die die Versorgungsqualität beeinflussen können und mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Versorgungsqualität.

## 1 Versorgungszuverlässigkeit und Spannungsqualität

Ein Maß für die Versorgungszuverlässigkeit eines Energieversorgungsnetzes ist u.a. die Anzahl und Dauer von Versorgungsunterbrechungen. Hierauf sind international gültige Kenngrößen erstellt worden, die einen länderübergreifenden Vergleich der Netze im Punkte Zuverlässigkeit ermöglichen. Als wesentliches Kriterium wird die durchschnittliche Nichtverfügbarkeit (Qu) des Netzes in Minuten pro Jahr ermittelt und veröffentlicht [6]. Deutsche Stromnetze nehmen hier einen Spitzenwert ein. Auch innerhalb des Netzgebietes der N-ERGIE Netz GmbH liegt die Versorgungszuverlässigkeit stets auf einem sehr guten Niveau. Folgende Abbildung zeigt die Entwicklung in den letzten Jahren.

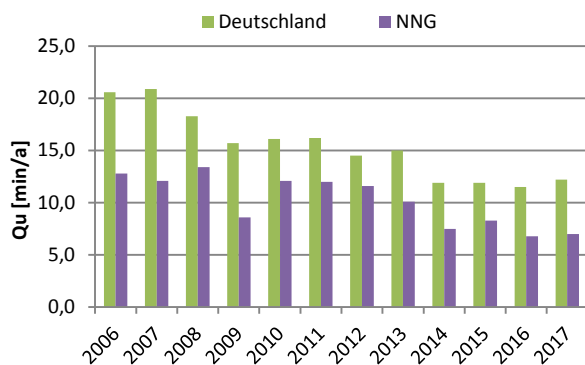


Abbildung 1: Kenngröße Nichtverfügbarkeit Qu in min/a: Stochastische Versorgungsunterbrechungen ohne höhere Gewalt

Die Spannungsqualität am Netzanschlusspunkt eines Netzkunden wird von verschiedenen Faktoren bestimmt, welche nur zum Teil durch den Netzbetreiber beeinflusst werden können. Größtenteils sind die Ereignisse, die zu einer Unterbrechung oder einem Einbruch der Spannung führen, nicht vorhersehbar.

Die Merkmale der Netzspannung in öffentlichen Versorgungsnetzen unter Normalbedingungen sind in der europäischen Norm EN 50160 festgeschrieben [1]. Sie sind vom Netzbetreiber an jedem Netzanschlusspunkt bereitzustellen. Die elektrischen Einrichtungen der Netzkunden müssen entsprechend ausgelegt werden. Die EN 50160 stellt dabei eine Mindestanforderung dar.

Wesentlichen Einfluss auf die Spannungsqualität haben folgende Faktoren:

- Netzurückwirkungen aus Erzeugungsanlagen und Verbrauchsgeräten 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 ausgedehnten Energieversorgungsnetzen, 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.

werden als Langzeitunterbrechung bezeichnet.

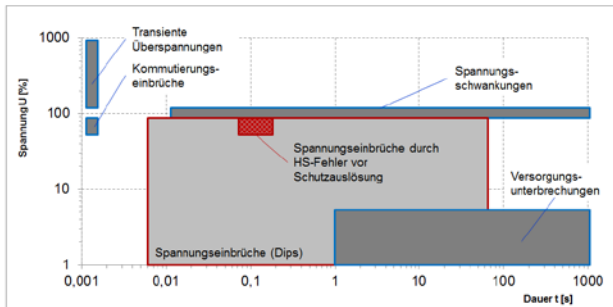


Abbildung 2: Klassifizierung Spannungseinschränkungen

An der Übergabestelle können unterschiedliche Phänomene auftreten:

- **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 (siehe Kapitel 2)
- **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 Last- und Einspeiserläufe 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

## 2 Kurzzeitige Spannungseinbrüche

Spannungseinbrüche (engl. Dips) sind plötzliche Änderungen des Effektivwertes der Spannung auf Werte unterhalb von z.B. 90 % der Referenzspannung mit anschließender Normalisierung des Spannungsniveaus. Als Referenzspannung wird die Netzennspannung  $U_N$  herangezogen. Zudem werden Spannungseinbrüche durch eine Dauer im Bereich von 10 ms bis 1 min gekennzeichnet.

Speziell in den Sommermonaten treten z.B. durch Gewitteraktivitäten, gehäuft kurzzeitige Spannungseinbrüche auf. Ihre Ursache sind größtenteils einpolige Erdkurzschlüsse im Hochspannungsnetz, bei denen es zu einem Lichtbogenüberschlag zwischen Leiterseil und geerdeten Komponenten kommt. Der Lichtbogen erlischt in der Regel nicht von selbst, auch wenn die Fehlerursache, z.B. ein herabgefallener Ast in der Leitung, nicht mehr besteht. Diese Kurzschlüsse werden von der nächsten Schutz-einrichtung binnen weniger Millisekunden erfasst und selektiv abgeschaltet, wodurch der Lichtbogen unmittelbar erlischt. Die Wiederschaltung der Leitung erfolgt i.d.R. automatisch durch eine sog. Automatische Wiedereinschaltung (AWE). Liegt die Fehlerursache nicht mehr vor, kann die Stromversorgung wieder aufgenommen werden. Da die Wiederschaltung unmittelbar und ohne manuellen Eingriff erfolgt, wird die Unterbrechungsdauer auf ein Minimum reduziert. Die AWE ist somit ein sehr effektiver Schutzmechanismus zur Vermeidung größerer Netzausfälle und nicht Ursache für den Spannungseinbruch. Sie sorgt für eine wesentliche Steigerung der Versorgungszuverlässigkeit.

Bis zur Fehlerklärung durch die AWE vergehen je nach Fehlerart und Netzstruktur ca. 100 ms. Dabei kann die verbleibende Restspannung je Phase auf Werte bis zu ca. 60 % der Nennspannung absinken. Nach erfolgreicher AWE pendelt sich die Spannung unverzüglich wieder im Bereich von  $\pm 10\%$  der Nennspannung ein.

Bei Netzkunden sind diese Ereignisse aufgrund der Dauer von nur wenigen Millisekunden in der Regel nicht wahrnehmbar, empfindliche Elektronik von Industrieanlagen kann jedoch sensibel

reagieren. Das Ausfallverhalten von elektronischen Geräten hängt hauptsächlich von der Höhe der Restspannung und der Dauer des Spannungseinbruchs ab. Die ITI-Kurve (Information Technology Industry) stellt diesen Zusammenhang als Richtwert zur Auslegung von elektronischen Geräten im Hinblick auf die Störfestigkeit dar und kann als geeigneter Maßstab herangezogen werden. Diese Grenzkurve wurde in weiten Bereichen der Industrie als Vergleichsmaßstab für alle Arten von Betriebsmitteln übernommen.

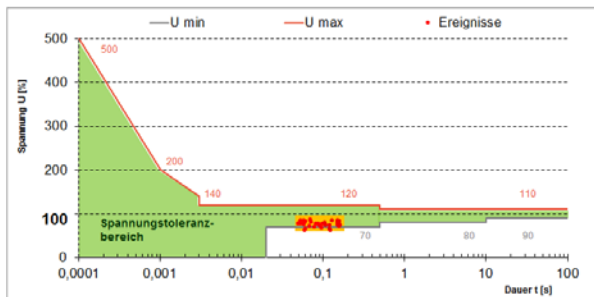


Abbildung 3: ITI- Kurve und registrierte Spannungseinbrüche

Ausgehend von den im Netz der N-ERGIE Netz GmbH seit 2011 registrierten automatischen Wiedereinschaltungen wurde festgestellt, dass die meisten der Ereignisse innerhalb bzw. am Rand des dargestellten Toleranzbereiches liegen. Die Restspannung beträgt hierbei mindestens 65 % der Nennspannung, die Spannungseinbruchsdauer ist kürzer als 200 ms. Bei Dimensionierung der Kundenbetriebsmittel unter Berücksichtigung der ITI-Kurve sollte demnach eine ausreichende Störfestigkeit bei den Industrieprozessen gegeben sein.

### 3 Häufigste Ursachen und Abhilfemaßnahmen

Neben den häufig durch Blitzschlag oder Heuflug hervorgerufenen Lichtbogenüberschlägen, gibt es einen weiteren ebenso saisonal und örtlich unvorhersehbaren Auslöser für kurzzeitige Spannungseinbrüche. Durch ihre exponierte Lage werden Hochspannungsmasten von Großvögeln wie Störchen oder Bussarden gerne als Sitzgelegenheit bzw. Nachtquartier genutzt. Vögel dieser Größe sind in der Lage, durch ihren

Kotstrahl die Isolierstrecke zwischen geerdeter Traverse und Leiterseil zu überbrücken. Hierdurch kommt es zu einpoligen Kurzschlüssen und somit zu Spannungseinbrüchen. Bei entsprechenden Ansammlungen dieser Tiere, z.B. aufgrund eines üppigen Nahrungsangebotes, werden einzelne Masten von mehreren Vögeln bzw. ganzen Kolonien gleichzeitig besetzt, wodurch sich in Bezug auf die kurzzeitigen Spannungseinbrüche regelrechte Hot-Spots ausbilden können. Die Konstruktion der Masten gewährleistet, dass die Tiere selbst hierbei keinen Schaden nehmen.



Abbildung 4: Ansammlung von Jungstörchen auf einem Hochspannungsmast

In den letzten Jahren ist in Mittelfranken ein signifikantes Anwachsen der Population des Weißstörches zu beobachten:

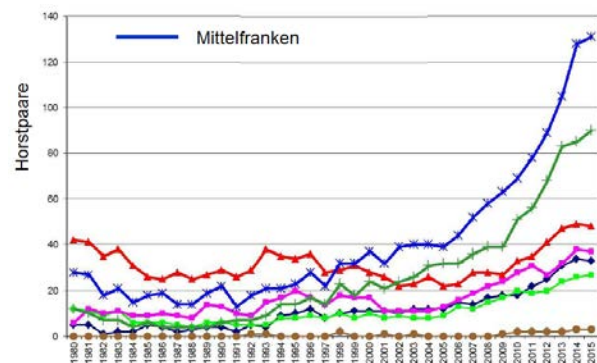


Abbildung 5: Populationsentwicklung Weißstörche in Bayern, [7]

#### 3.1 Wirksame Maßnahmen des Netzbetreibers

Studien haben gezeigt, dass der Netzbetreiber zur Reduktion der kurzzeitigen Spannungseinbrüche vor allem auf zwei Dinge Einfluss nehmen kann:

- Besserer Schutz vor Fremdeinwirkungen durch Vögel
- Verringerung der Spannungseinbruchsdauer durch Optimierung der Schutzeinrichtung

Um diese Maßnahmen gezielt umzusetzen, betreibt die N-ERGIE Netz GmbH ein umfangreiches Netzmonitoring mit hochauflösenden Messgeräten. Hierdurch können Häufigkeit der Ereignisse, die betroffenen Leitungsabschnitte sowie die Charakteristika der Spannungseinbrüche ermittelt und Hot-Spot-Gebiete zeitnah identifiziert werden.

Fällt im Zuge dieser kontinuierlichen Analyse eine saisonale und tageszeitabhängige örtliche Ereignishäufung auf, sind meist Großvögel die Ursache. Um zu verhindern, dass sich diese Tiere über spannungsführenden Leiterseilen niederlassen, gibt es Abweisertechniken in unterschiedlichen Bauformen. Diese werden auf den betroffenen Hochspannungsmasten so angebracht, dass der Kotstrahl des darauf sitzenden Vogels keine leitfähige Verbindung zwischen spannungsführenden Teilen und geerdeten Mastelementen erzeugen kann.

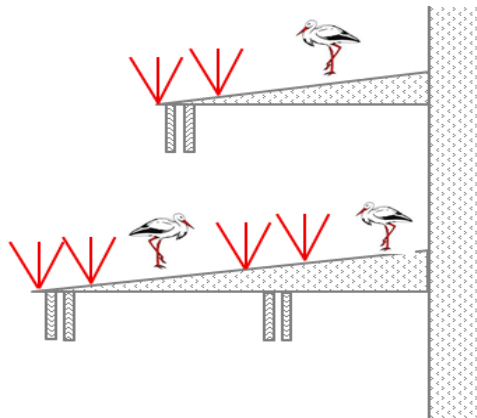


Abbildung 6: Schematische Darstellung Vogelabweiser

Neben der Reduktion der Häufigkeit durch die aufgezeigten Abweisersysteme strebt die N-ERGIE Netz GmbH an, die Dauer der Spannungseinbrüche auf maximal 100 ms zu begrenzen.

Die Zeitspanne vom Eintritt bis zur Fehlerklärung hängt im Wesentlichen von der Reaktionszeit der Schutzgeräte und der Schaltelemente ab. Dem Netzbetreiber sind hier physikalisch Grenzen hinsichtlich einer Verringerung der Dauer gesetzt. Durch Optimierung der Schutzeinstellwerte, Verwendung von digitalen Schutzgeräten mit

schnellen Rechenzeiten und turnusmäßiger Prüfung der Schaltzeiten kann die Einbruchsdauer jedoch auf ein Minimum reduziert werden.

### 3.2 Wirksame Maßnahmen bei Kundenanlagen

Wesentliche Ursache für die empfindlichere Reaktion von Geräten auf Spannungseinbrüche ist die deutlich veränderte Gerätetechnik. In zunehmendem Maße wird die relativ unempfindliche 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 DIN EN 61000-4-xx (Elektromagnetische Verträglichkeit, kurz: EMV) maßgeblich. Die gegenseitige Beeinflussung unterschiedlicher Prozesse ist zu berücksichtigen. 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, beispielsweise sei an dieser Stelle auf [8] und [9] verwiesen.

In einzelnen Fällen kann die Überprüfung der Transformator-Schaltgruppen, die Installation von Transformatoren mit Ausgleichswicklung oder eine Erhöhung der Transformator – Kurzschlussleistungen 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. [10]

### **3.3 Wirksame Maßnahmen bei dezentralen Erzeugungsanlagen**

Dezentrale Erzeugungsanlagen müssen sich unter bestimmten Bedingungen vom Netz trennen, um einen sicheren Netzbetrieb nicht zu gefährden. Hierfür sorgen die sogenannten Entkopplungsschutzeinrichtungen. Mit Zunahme der installierten Leistung steigt die Verantwortung dieser Erzeugungsanlagen, auch aktive Beiträge zur Netz- und Systemstabilität zu leisten. Daher wird zunehmend gefordert, dass die Anlagen bei bestimmten Netzfehlern am Netz bleiben und ggf. sogar das Netz stützen. Ein zu sensibel eingestellter Entkopplungsschutz kann dafür sorgen, dass sich die Anlagen bereits bei kurzzeitigen Spannungseinbrüchen vom Netz trennen, obwohl dies aus Netzsicht nicht erforderlich wäre. Die richtige Parametrierung der Entkopplungsschutzeinrichtung gewährleistet zum einen den sicheren Netzbetrieb, zum anderen eine hinreichende Störfestigkeit bei Spannungseinbrüchen. Die im Netzgebiet der N-ERGIE Netz GmbH geforderten Einstellwerte für den Entkopplungsschutz sind auf der Internetseite veröffentlicht [11].

## **4 Fazit & Empfehlung**

Der Netzbetreiber hat den gesetzlichen Auftrag zur Gewährleistung einer möglichst sicheren, preisgünstigen, verbraucherfreundlichen, effizienten und umweltverträglichen leitungsgebundenen Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität.

Die N-ERGIE Netz GmbH kommt dieser Verpflichtung in vollem Umfang nach und stellt den Netzkunden jederzeit eine angemessene Versorgungsqualität zur Verfügung. Um bei Störsereignissen, die nur bedingt vom Netzbetreiber beeinflusst werden können, diese Qualität aufrecht zu erhalten, bedarf es der Anstrengungen sowohl des Netzbetreibers als auch der Netzkunden.

Durch Maßnahmen wie z.B. das Anbringen von Abweisersystemen oder dem Einsatz von Schutzgeräten mit kurzen Reaktionszeiten leistet die N-ERGIE Netz GmbH einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Störungshäufigkeit sowie deren Dauern.

Wird bei der Auslegung von Netzkunden - Anlagen die Störfestigkeit angemessen berücksichtigt, können Produktionsausfälle minimiert oder bestenfalls vermieden werden. Häufig sind einzelne Betriebsmittel oder Komponenten als Schwachstellen identifizierbar, deren Beseitigung durch richtige Einstellung von Schutzparametern oder mit geringem Aufwand möglich ist.

Durch eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Netz- und Anlagenbetreiber können Störungsursachen identifiziert und effektive Gegenmaßnahmen veranlasst werden.

## 5 Literatur

- [1] DIN EN 50160: 2011-02 „Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen.“ Berlin: Beuth
- [2] FNN im VDE: „FNN Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik“, Berlin; 2015
- [3] Information Technology Industry Council (ITI), Washington, D.C./USA: [www.itic.org](http://www.itic.org)
- [4] Dr. M.Fette: „Spannungseinbrüche im Hochspannungsnetz - Bewertung der Netzsituation der N-ERGIE Netz GmbH“; Fette Dynamics GmbH; 2013
- [5] IHK Bayern: „Energiewende im Strommarkt: Chancen nutzen-Risiken vermeiden“; München; 2012
- [6] A. Haber: „Analyse von Spannungseinbrüchen und mögliche Abhilfemaßnahmen in einem Industriebetrieb.“; TU Graz; 2001
- [7] Landesbund für Vogelschutz in Bayern: „Rundbrief für Horstbetreuer/ innen und Weißstorch-Interessenten“, Hilpoltstein, 2016
- [8] RWE Netzservice GmbH & Condensator dominit: „OSKaR-Dynamischer Spannungsregler - Zuverlässiger Schutz bei Spannungseinbrüchen“
- [9] Ruhstrat GmbH: „OLIVER – Online Voltage Regulation – Neuartiger Schutz vor Spannungseinbrüchen“
- [10] FNN-Hinweis: „Störfestigkeit im Zusammenspiel von Kundenanlagen und Elektrizitätsnetzen“; 2016
- [11] Internetseite der N-ERGIE Netz GmbH [www.n-ergie-netz.de](http://www.n-ergie-netz.de)