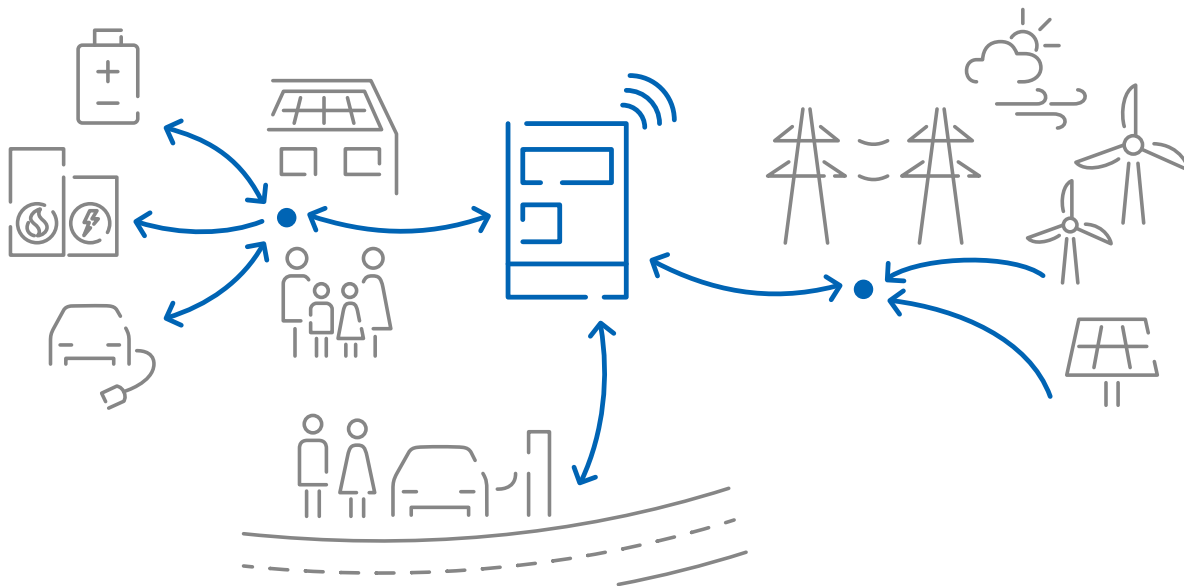


VDE FNN Impuls



Definition der technischen Parameter zur Annahme einer Gefährdung oder Störung

Die Notwendigkeit einer Vorgabe von Grenzwerten für diesen Phasenübergang begründet sich durch die Festlegung BK6-22-300 der Bundesnetzagentur vom 27.11.2023. Gemäß Ziffer 4.1 der Anlage 1 von BK6-22-300 ist der Verteilnetzbetreiber (VNB) berechtigt und verpflichtet im Fall „einer strom- oder spannungsbedingten Gefährdung oder Störung der Sicherheit oder Zuverlässigkeit seines Netzes“, eine netzorientierte Steuerung im Sinne der genannten Festlegung durchzuführen. In der Tenorziffer 2 heißt es, dass „zur weiteren Förderung einer bundesweit standardisierten massengeschäftstauglichen Einrichtung und Abwicklung der netzorientierten Steuerung [...] die Netzbetreiber verpflichtet [werden], unter angemessener Beteiligung aller relevanten Marktpartner und in Abstimmung mit der Bundesnetzagentur bundeseinheitliche Empfehlungen nach dem Stand der Technik zu erarbeiten“. Unter Tenorziffer 2 c wird hierzu explizit die „Definition der technischen Parameter zur Annahme einer Gefährdung oder Störung im Netzbereich“ genannt.

Das im VDE FNN Hinweis [„Netzbetrieb mit Flexibilitäten: Umgang mit der kurativen Steuerung über iMSys und Ausblick auf mögliche vorausschauende Steuerungsmaßnahmen“](#) vorgestellte Ampelphasenmodell verbildlicht die verschiedenen Phasen des Netzzustandes und zeigt die jeweiligen Maßnahmen der Phasen sowie die Wirkung auf den Netzanschluss auf. Die entsprechenden Grenzwerte für den Übergang zwischen der grünen und roten Phase sollen in diesem VDE FNN Impuls analysiert und definiert werden. Dieser VDE FNN Impuls ist ein Auszug aus dem VDE FNN Hinweis [„Netzbetrieb mit Flexibilitäten“](#).

Der in diesem Dokument beschriebene Vorschlag steht zur Kommentierung.

Über das Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (VDE FNN)

Das Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (VDE FNN) entwickelt die technischen Anforderungen an den Betrieb der Stromnetze vorausschauend weiter. Ziel ist der jederzeit sichere Systembetrieb bei steigender Aufnahme von Strom aus erneuerbaren Energien

Einleitung und Einordnung in den Kontext

Neben der Pflicht der VNB zur Definition der Grenzwerte ergeben sich auch für den VNB Vorteile durch die einheitliche Definition der Grenzwerte für den Phasenübergang. VNB unterliegen strengen Informationspflichten zum Nachweis der netzorientierten Steuerung. Die Konformität mit der Festlegung kann vermutet werden, wenn sich VNB an die anerkannten Regeln der Technik halten, wie beispielsweise von VDE FNN, DKE oder DIN.

Ziel der vorgestellten Überlegungen ist es, eine möglichst einfache, pragmatische und praxistaugliche Lösung aufzuzeigen, die direkt für den Start der netzorientierten Steuerung nutzbar ist.

Zur Definition der entsprechenden Parameter für den Phasenübergang werden zunächst die betrachteten physikalischen Größen erläutert und die Netzbetriebszustände näher definiert. Der Fokus liegt auf dem Übergang von der grünen zur roten Phase. Fraglich ist hier, wann ein VNB zur netzorientierten Steuerung legitimiert ist. Die Definition eines Grenzwertes sowie deren Herleitung folgt im Anschluss. Der Übergang von der grünen zur gelben Phase ist netzbetreiber-individuell und kann bzw. sollte daher nicht einheitlich definiert werden. Die gelbe Phase, die in Kapitel 3 des VDE FNN Hinweis „[Netzbetrieb mit Flexibilitäten](#)“ ebenfalls beschrieben wurde, wird in diesem VDE FNN Impuls daher nicht betrachtet.

Anmerkungen zu diesem VDE FNN Impuls sind willkommen. Nutzen Sie hierfür das zur Verfügung gestellte [Excel-Formular](#) und senden Sie dieses bitte bis zum 15.06.2024 an VDE FNN (fnn@vde.com).

Betrachtete physikalische Größen

Für einen sicheren Netzbetrieb muss der Betreiber die folgenden physikalischen Größen betrachten und sicherstellen, dass diese Größen innerhalb zulässiger Grenzen bleiben.

Strom

Je höher die Strombelastung ist, umso größer ist Verlustleistung und damit die Temperatur des betrachteten elektrischen Betriebsmittels. Die Einhaltung des höchstzulässigen Stromes ist zum Schutz vor thermischen Schäden und zur Vermeidung beschleunigter Alterung zwingend notwendig. Dabei ist zu beachten, dass die Strombelastbarkeit auch von der Umgebungstemperatur sowie von der Dauer der Last bzw. von der Lastgangcharakteristik abhängig ist. Beispielsweise können in Gebäuden aufgestellte Transformatoren im Vergleich zu Freiluftaufstellungen schlechter Wärme abführen. Bei Freiluftaufstellung sind hingegen gegebenenfalls zusätzliche Einträge von Wärmeenergie durch Sonneneinstrahlung zu berücksichtigen.

Zusätzlich können Begrenzungen der Strombelastbarkeit durch Schutzeinstellungen vorhanden sein. Dies kann z. B. durch einen notwendigen Kompromiss zwischen zulässiger Kabellänge und zulässiger Strombelastbarkeit entstehen. Ziel ist hierbei die zuverlässige Unterscheidung durch die Schutzgeräte zwischen höchstzulässigem Betriebsstrom und kleinstmöglichem Kurzschlussstrom. Eine Überschreitung des zulässigen Stromes könnte hier sonst zu einer Abschaltung des Schutzbereiches führen, obwohl kein Fehler vorliegt.

In einem Niederspannungs-Stromkreis befinden sich immer mehrere in Reihe geschaltete Betriebsmittel. Im einfachsten Fall die Leitung selbst sowie zugehörige Trennstellen. Die Strombelastbarkeit dieser Kette wird dabei vom jeweils schwächsten Element in der Kette bestimmt. Das schwächste Element kann sich je nach Umgebungstemperatur und je nach Lastgangcharakteristik innerhalb der Übertragungskette verschieben.

Die alleinige Anwendung des Bemessungsstromes oder der Bemessungsleistung für die Definition einer Überlast ist daher nicht ausreichend. Vielmehr sind durch den VNB unter Berücksichtigung der realen Umgebungs- und Betriebsbedingungen geeignete Festlegungen der zulässigen Strombelastbarkeit zu treffen.

Für die Festlegung der zulässigen Strombelastbarkeit stehen unter anderem folgende Normen zur Verfügung:

- Freileitungen: DIN EN 48210, Normenreihe VDE 0276
- Kabel: Normenreihe VDE 0276, IEC 60287 und IEC 60853
- Transformatoren: IEC 60076-7

Spannung

In allen elektrischen Betriebsmitteln treten Spannungsabfälle auf. Dieser Effekt ist unter anderem auch von der Leitungslänge und der Strombelastung abhängig. Dadurch kann es zu Verletzungen des Spannungsbandes kommen. Für die Niederspannung (Nenn-Effektivwert $U_n \leq 1 \text{ kV}$) sind unter anderem das Spannungsband und der Oberschwingungsgehalt in der DIN EN 50160 festgelegt.

Unsymmetrie

Unsymmetrische Belastung der drei Außenleiter kann in Niederspannungsnetzen zu weiteren Begrenzungen führen. Ursächlich für Unsymmetrie kann z. B. das einphasige Laden von Elektrofahrzeugen sein.

Im Jahr 2022 wurde die VDE FNN Studie „[Unsymmetrie in der Niederspannungsebene](#)“ veröffentlicht, in der die bisherigen Unsymmetrie-Grenzwerte überprüft wurden. Das Ergebnis der Studie war, dass die aktuellen Grenzwerte beibehalten werden können. Zudem ist derzeit bei den meisten Netzbetreibern im Niederspannungsnetz keine Überwachungen der einzelnen Außenleiter möglich. Gezielte Auswertungen und darauf basierte Steuerung sind damit nicht möglich.

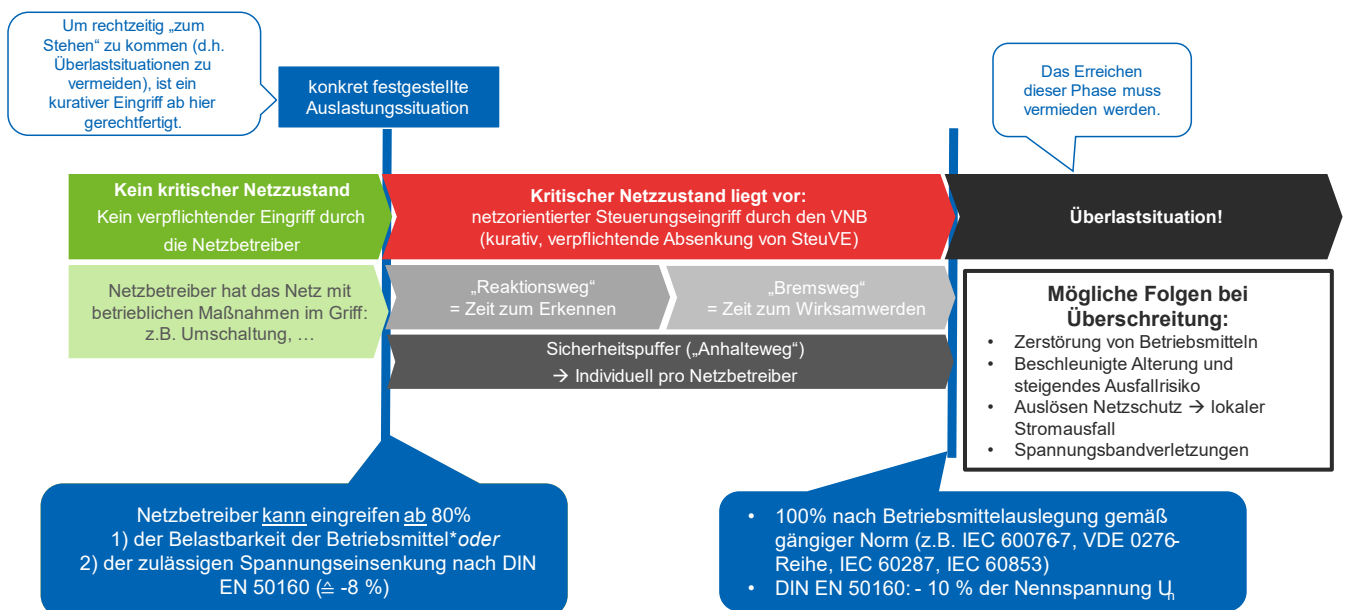
Aus diesen zwei Gründen wird Unsymmetrie für dieses Dokument nicht betrachtet. Mit dem Vorliegen von Erfahrungen nach mehreren Jahren Betrieb müsste erneut geprüft werden, ob dieses Kriterium mit in den Entscheidungspfad aufgenommen werden sollte.

Definition der Netzbetriebszustände

Für einen zuverlässigen Netzbetrieb muss der Betreiber Verletzungen technischer Parameter vermeiden. Ziel ist der sichere Netzbetrieb. Das bedeutet, der Betreiber muss die Parameter selbst sowie deren Entwicklung beobachten.

Die Notwendigkeit einer netzorientierten Steuerung durch den VNB muss rechtzeitig erkannt werden, sodass für die Entscheidungsfindung und die Durchführung einer Maßnahme ausreichend Zeit bleibt, bevor der Grenzwert des Parameters verletzt wird. Aus diesem Grund ist bei der netzorientierten Steuerung im Niederspannungsnetz ein Sicherheitspuffer erforderlich. Ab diesem Wert muss der VNB entscheiden, was zu tun ist und die entsprechende Maßnahme bis zur Wirksamkeit bringen. Wird die Reaktion des VNB erst gestartet, wenn ein Grenzwert erreicht wird, ist die Verletzung dieses Grenzwertes nicht zu vermeiden. Grundsätzlich gilt dies für manuelle und auch für automatisierte Reaktionen. Der Sicherheitspuffer ist somit vergleichbar mit dem Anhalteweg eines Kraftfahrzeugs. Ab Erkennen der Gefahr wird der Reaktionsweg und der Bremsweg bis zum Stillstand benötigt. Die Festlegung der Höhe sowie der Herleitung des Sicherheitspuffers wird nachfolgend beschrieben.

Im Sinne des Erkennens und Vermeidens von Grenzwertverletzungen werden daher verschiedene Netzbetriebszustände festgelegt, siehe Bild 1. In diesem Dokument bezieht sich der Begriff „Netzbetriebszustand“ auf die Einhaltung von Grenzwerten der betrachteten physikalischen Größen. Damit ist der Begriff „Netzbetriebszustand“ unabhängig vom Instandhaltungsbedarf und von der Alterung der Betriebsmittel



* Die Belastbarkeit der Betriebsmittel ist unter anderem temperaturabhängig und damit nicht konstant.

Bild 1 Definition der Netzbetriebszustände und Prozess der netzorientierten Steuerung

Normalbetrieb (grün)

Alle Parameter befinden sich innerhalb ihrer Grenzwerte. Zum Beispiel ist in diesem Betriebszustand die Strombelastung kleiner gleich dem zulässigen Wert abzüglich des Sicherheitspuffers.

Kritischer Betrieb (rot)

Die zulässige Strombelastbarkeit oder die zulässige Spannungseinsenkung abzüglich des Sicherheitspuffers ist erreicht. Der VNB erhält eine Warnung. Jetzt muss eine Entscheidung getroffen werden, z. B. den netzwirksamen Leistungsbezug von SteuVE zu begrenzen. Bei Erkennen einer Stagnation oder Verringerung der Last sind keine Maßnahmen erforderlich.

Überlastsituation (schwarz)

Einer oder mehrere Parameter liegen außerhalb der zulässigen Grenzwerte. Dies kann eine Verletzung des Spannungsbandes sein oder eine Überschreitung der zulässigen Strombelastung.

Dadurch besteht das Risiko, dass Fehlfunktionen in Kundenanlagen auftreten oder thermische Schäden an Netzbetriebsmitteln auftreten. Weiter kann es zum Auslösen des Netzschutzes und damit zum Stromausfall im Versorgungsgebiet kommen.

Dieser Zustand ist zu vermeiden. Verantwortlich dafür ist der VNB. Am Ende des kritischen Betriebs (rot) beginnt die Überlastsituation (schwarz).

Konkrete Definition einer kritischen Netzsituation

In diesem Abschnitt soll nun konkret die Frage erörtert werden, ab wann ein VNB legitimiert ist, die netzorientierte Steuerung anzuwenden.

Die Überlastsituation kann mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Normen und unter Berücksichtigung der örtlichen Begebenheiten eindeutig definiert werden. Damit kann auch der Übergang vom kritischen Betrieb (rot) zur Überlastsituation (schwarz) nachvollziehbar ermittelt werden.

Der Übergang vom Normalbetrieb (grün) zum kritischen Betrieb (rot) ist allerdings stark von den typischen Lastgangcharakteristiken und den Reaktionsmöglichkeiten des VNB abhängig.

Der VNB sollte entweder ab 80 % Auslastung der zulässigen Strombelastbarkeit oder ab 80 % der zulässigen Spannungseinsenkung berechtigt sein, den Prozess zur Entscheidungsfindung und zur Einleitung einer Gegenmaßnahme, z. B. eine Steuerungshandlung nach § 14a EnWG, durchzuführen. Der Prozess zur Entscheidungsfindung dient zur sicheren Erkennung der sich aufbauenden Überlastsituation und der Abwägung der minimalinvasivsten Gegenmaßnahme.

Die Festlegung des zulässigen Eingriffs von VNB ab 80 % der Grenzwerte lässt sich technisch folgendermaßen begründen:

- Der VNB erhält hierdurch eine angemessene Zeit, zur Prüfung, Einleitung und Durchführung von Maßnahmen, bevor technische Parameter verletzt werden.
- Die Auslösung von Schutzgeräten wird vermieden.
- Es besteht die Möglichkeit, Änderungen in der Lastgangcharakteristik Richtung Dauerlast zu erkennen. Aus Versuchen ist bekannt, dass einzelne Betriebsmittel im Niederspannungsnetz bei Dauerlast versagen können und dies in der Folge zu Störungen führen kann. 80 % des Bemessungsstromes können jedoch getragen werden.

- Die Sicherstellung der Wiederversorgung im Störfall (z. B. Trennstellenversetzung) muss gewährleistet sein. Begründete Ausnahmen zum Unterschreiten des Sicherheitspuffers sollten daher ebenfalls möglich sein.

Folgendes vereinfachtes Rechenbeispiel soll die Methodik und Notwendigkeit der 80%-Regelung verdeutlichen:

- Betrachtet wird der Abgang einer Netzstation mit einer typischen 250A-Absicherung.
- Dieser Abgang versorgt durchschnittlich 25 bis 40 Haushalte.
- Der Bemessungsstrom der Sicherung (250 A) entspricht hierbei 100 %. Demzufolge entsprechen 80 % 200 A.
- Damit bleiben 50 A Sicherheitspuffer bis zum Erreichen einer Überlastsituation auf dem Abgang.

Eine beispielhafte Betrachtung mit der Ladung von Elektrofahrzeugen:

- Eine deutliche Laststeigerung kann z. B. durch das Starten des Ladevorgangs von drei Elektrofahrzeugen je 11 kW bzw. 16 A pro Phase entstehen ($3 \cdot 16 = 48$ A).
- Das gleichzeitige Laden von drei Elektrofahrzeugen ist bei 25 bis 40 Wohneinheiten als realistisch einzuschätzen, z. B. abends oder bei marktorientierten Preis-Anreizen.
- Je nach Tages- und Jahreszeit kann zur zusätzlichen Last der Elektrofahrzeuge noch Laststeigerung durch den typischen Haushaltslastgang oder andere SteuVE entstehen und dadurch die 50 A Sicherheitspuffer überschritten werden.

Konklusion: Durch kurzfristige Laständerung ist ein Sicherheitspuffer notwendig.

Der VNB benötigt diesen Sicherheitspuffer, um seine Prozesse zur Entscheidungsfindung und Umsetzung der Gegenmaßnahme durchzuführen. Nach Einschätzung von VDE FNN sollte der VNB sowohl ab 80 % Auslastung der zulässigen Strombelastbarkeit als auch ab 80 % der zulässigen Spannungseinsenkung hierzu berechtigt sein. Die Entscheidung darüber, wann ein VNB tatsächlich eine Leistungsreduzierung von SteuVE auslöst, obliegt ihm im Rahmen seiner Betreiberverantwortung nach § 11 EnWG. Generell gilt, dass Leistungsreduzierungen von Kundenanlagen so weit wie möglich zu vermeiden sind. Oberstes Ziel bleibt jedoch der zuverlässige und sichere Netzbetrieb.

Sobald belastbare Praxiserfahrungen vorliegen, sollte eine Überprüfung der hier getroffenen Empfehlung durchgeführt werden.

Stand 04/2024

**VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.**

Forum Netztechnik/Netzbetrieb im
VDE (VDE FNN)
Bismarckstraße 33, 10625 Berlin
Tel. +49 30 383868-70

www.vde.com/fnn