

## Vorwort

Dieser technische Hinweis soll möglichst zeitnah auf notwendige Entwicklungen bei Erzeugungsanlagen und die Weiterentwicklung der VDE Technische Anschlussregeln (TARs) hinwirken, die aufgrund der veränderten Erzeugungsstruktur für die Stabilität von Verbundsystemen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Im Fokus stehen dabei drei nachfolgend beschriebene systemrelevante Fähigkeiten der Erzeugungsanlagen, die mit regelungstechnischen Maßnahmen erzielt werden können und nur bei seltenen Störereignissen vollumfänglich angefordert werden und damit die Erzeugungsanlage im Normalbetrieb nicht zusätzlich beanspruchen.

### ■ Teilnetzbetriebsfähigkeit von Erzeugungsanlagen mit Synchronmaschinen

Sowohl in kleinen Netzen wie auch in großen Verbundsystemen ergibt sich das Frequenzverhalten aus der summarischen Wirkung aller frequenzabhängigen Einspeisungen und Abnahmen von Wirkleistung. Dies gilt nicht nur für die Beherrschung eines spontanen Leistungsungleichgewichts, sondern auch für die Fähigkeit, bei ungestörtem Betrieb einen stabilen Arbeitspunkt aufrecht zu halten.

Die aktuell gültigen Netzanschlussregeln für die Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetze sind so ausgestaltet, dass neue Erzeugungsanlagen keinen Beitrag für die Stabilität der Netzfrequenz im ungestörten Betrieb leisten müssen. Aufgrund der beobachteten Umsetzung der Anforderung „Fahren auf der Kennlinie“ kommt es sowohl in kleinen Netzen als auch in großen Verbundsystemen zu einer Reduzierung der Dämpfung des Frequenzverhaltens. Im Extremfall können sogar aufklingende Schwingungen entstehen – auch dann, wenn keine Störung der Leistungsbilanz vorliegt.

Ein positiver Beitrag einer Erzeugungsanlage zur Dämpfung des Frequenzverhaltens eines Verbundsystems wird durch ihre Teilnetzbetriebsfähigkeit sichergestellt. Teilnetzbetriebsfähige Anlagen können Frequenz und Spannung im ungestörten Alleinbetrieb in einem stabilen Arbeitspunkt konstant halten und sorgen für eine ausreichende Dämpfung der Frequenz- und Spannungsregelung.

Die Teilnetzbetriebsfähigkeit wird ausschließlich durch geeignete regelungstechnische Strukturen und Parameter erzielt. Beispielsweise sind Dampfturbinen bereits mit dem von James Watt entworfenen Fliehkraftregler grundsätzlich teilnetzbetriebsfähig. Besondere Fähigkeiten des Erzeugungsprozesses der Anlage (wie Regelhub, Regelgeschwindigkeit) sind hierfür nicht erforderlich. Diese sind erst im Zusammenhang mit der zu beherrschenden Störung von Bedeutung. Geeignete Regelungskonzepte, welche die Anforderungen an die Teilnetzbetriebsfähigkeit erfüllen und einen positiven Beitrag zur Dämpfung der Frequenzregelung sicherstellen, sind bereits in den 1990er-Jahren beschrieben worden [1] [2] [3]. Simulationsergebnisse mit unterschiedlichen Turbinenreglern veranschaulichen den Sachverhalt (siehe [Anhang A](#)).

Bei kleinen Netzen wird die fehlende Teilnetzbetriebsfähigkeit einzelner Anlagen durch eine abnehmende Dämpfung der Frequenzregelung unmittelbar sichtbar. So wurde in der Vergangenheit aus kleinen Netzen darüber berichtet, dass mit Inbetriebnahme einer bestimmten Erzeugungsanlage die Frequenz „unruhiger“ wurde.

Bei großen Verbundsystemen ist die Wirkung einzelner Anlagen hingegen betrieblich nicht feststellbar. Ihre fehlende Teilnetzbetriebsfähigkeit bleibt in großen Verbundsystemen weitgehend verborgen, solange das Fehlverhalten durch andere Anlagen ausreichend kompensiert wird. Bisher waren die ÜNB in der Lage, die an das Übertragungsnetz angeschlossenen Erzeugungsanlagen mit Synchronmaschinen hinsichtlich ihrer Teilnetzbetriebsfähigkeit zu überprüfen. Diese Anlagen werden in Zukunft jedoch durch eine große Zahl kleiner Erzeugungsanlagen ersetzt, die in unterlagerten Netzebenen angeschlossen werden. Die Kontrolle

ihres Regelverhaltens sowie die Durchführung von individuellen Abhilfemaßnahmen sind dann nicht mehr praktikabel.

Für das deutsche und europäische Verbundsystem ist daher eine schleichende Fehlentwicklung zu befürchten, die möglicherweise über einen relativ langen Zeitraum betrieblich unbeobachtet bleibt. Das Problem kommt jedoch bei einer Teilnetzbildung (System Split) oder beim Verlassen des  $\pm 200$  mHz Totbandes spontan zum Vorschein, wobei die Stabilität eines Teilnetzes bis hin zum gesamten Verbundsystem dann akut gefährdet sein kann.

#### ■ Teilnetzbetriebsfähigkeit von umrichterbasierten Erzeugungsanlagen

Sämtliche, auf Basis der aktuellen TARs zukünftig installierten umrichterbasierten Anlagen, wie auch Bestandsanlagen, haben infolge ihres Regelungskonzepts eine stromeinprägende Eigenschaft. Nur im Parallelbetrieb mit einer Synchronmaschine entsteht eine betriebsfähige Konfiguration. Hierbei sorgt die Synchronmaschine für eine sinusförmige Spannung am Netzanschlusspunkt, die für umrichterbasierte Erzeugungsanlagen eine Grundvoraussetzung für ihre Funktionsfähigkeit darstellt. Durch die Nutzung der Schwungmasse und der netzbildenden Eigenschaften von Synchronmaschinen kann eine umrichterbasierte Erzeugungsanlage zur stabilen und ausreichend gedämpften Frequenz- und Spannungsregelung beitragen.

Der Parallelbetrieb ausreichender Kapazitäten von Synchronmaschinen wird jedoch in Zukunft nicht vorausgesetzt werden können. Die damit einhergehende ungünstige Entwicklung der dynamischen Eigenschaften wird in einem großen Verbundsystem betrieblich zunächst unbeobachtet bleiben. Sie führt aber möglicherweise dazu, dass eine Teilnetzbildung oder das Verlassen des  $\pm 200$  mHz Totbandes nicht beherrschbare Zustände mit sich bringen. Netzstabilität kann dann nur mit einer ausreichenden Kapazität teilnetzbetriebsfähiger Anlagen sichergestellt werden.

#### ■ Überfrequenzabregelung

Mit zunehmendem weiträumigem Transport elektrischer Energie steigt bei seltenen Störereignissen das Risiko einer spontanen Auftrennung des Verbundsystems. Dabei tritt die vorher übertragene Leistung als spontanes Leistungsungleichgewicht in den getrennten Teilnetzen auf. Um den spontanen Leistungsmangel zu beherrschen, dient der frequenzabhängige Lastabwurf als Rettungsmaßnahme für das abgetrennte Teilnetz.

Die Beherrschung des spontanen Leistungsüberschusses erfordert eine sehr schnelle Reduktion der von Erzeugungsanlagen eingespeisten Leistung. Da diese Anforderung nur sehr selten in vollem Umfang benötigt wird, sind Lebensdauerverbrauch, Emissionen, usw. von untergeordneter Bedeutung. In Anbetracht der kaum überschaubaren ökonomischen, ökologischen und politischen Konsequenzen eines möglicherweise länderübergreifenden Blackouts hat die Systemrettung Vorrang.

#### Fazit

Aufgrund der außerordentlich hohen Bedeutung für die Systemsicherheit ist es geboten, die Teilnetzbetriebsfähigkeit i. d. R. als Mindestanforderung an Erzeugungsanlagen gemäß §19 EnWG festzulegen. Dies ist insbesondere der Tatsache geschuldet, dass sie eine notwendige systeminhärente Systemeigenschaft beschreibt.

Dieser Hinweis stellt keine rechtsverbindlichen Anforderungen dar. Die Übernahme des Inhalts ist der Revision der TARs [4] [5] [6] [7] [8] vorbehalten.