

# 4-ÜNB-Papier zu Anforderungen an netzbildende Umrichter

1. Eine gemeinsame 4-ÜNB-Position zu Anforderungen an netzbildende Umrichter .....	3
1.1 Warum netzbildende Umrichter? .....	3
1.2 Motivation für ein gemeinsames 4-ÜNB-Papier .....	3
2. Grundlegende Anforderungen an netzbildende Umrichter .....	4
2.1 Zwingend notwendige Eigenschaften netzbildender Umrichter .....	4
2.2 Weitere, vom ÜNB einforderbare Eigenschaften netzbildender Umrichter.....	5
2.3 Optionale Eigenschaften netzbildender Umrichter .....	6
3. Zusammenfassung .....	6
Literaturverzeichnis .....	7

# 1. Eine gemeinsame 4-ÜNB-Position zu Anforderungen an netzbildende Umrichter

## 1.1 Warum netzbildende Umrichter?

Die Erfüllung der europäischen Klimaschutzziele im Rahmen des Green Deals führen zu einer europaweiten Reduzierung der synchronen Erzeugungsleistung. In Deutschland ist mit dem bereits eingeleiteten Kohleausstieg auf Grundlage des Gesetzes zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung (KVBG) zusammen mit dem Ende der Kernenergie eine besonders signifikante Reduzierung der synchronen Erzeugungsleistung eingeleitet worden. Die synchrone Erzeugungsleistung muss und wird daher konsequent durch stromrichterbasierte Erzeugung in zunehmendem Maße abgelöst werden.

Die hohe Durchdringung der zukünftigen Energieversorgungsnetze mit nicht-synchroner Erzeugung führt allerdings gleichzeitig zu einem breiten Spektrum an Stabilitätsproblemen, die maßgeblich durch die Abnahme der Systemträgheit und Kurzschlussleistung hervorgerufen werden und nach wie vor beherrscht werden müssen. Der sichere Netzbetrieb und die konzeptmäßige Klärung von Netzstörungen ist auch unter dem zunehmenden Einfluss der nicht-synchronen Erzeugungsleistung das übergeordnete und gesetzlich verpflichtende Ziel der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB). Ein technischer Ansatz zur Bewältigung zukünftiger Herausforderungen der sich wandelnden Erzeugungsstruktur ist der Zubau netzbildender Umrichter, deren Eigenschaften im Englischen hinlänglich als *Grid Forming* bezeichnet werden.

Um den stabilen Netzbetrieb auch bei einem hohen Anteil an stromrichterbasierter Erzeugung von 60% bis 100% zu gewährleisten, haben sich die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber in diesem Papier einvernehmlich auf sieben grundlegende Eigenschaften verständigt, die, im Englischen sogenannten *Grid Forming Capabilities* netzbildender Umrichter.

Die Bereitstellung von netzbildenden Eigenschaften kann prinzipiell von allen Anlagen mit selbstgeführten Netzumrichtern oder Synchrongeneratoren erfolgen. Dies beinhaltet die konventionelle und Umrichter basierte Erzeugung und weitere ÜNB-Anlagen wie HGÜ-Verbindungen, STATCOM und rotierende Phasenschieber. Dabei muss die Bereitstellung von netzbildenden Eigenschaften auch auf Basis von applikationsspezifischen technologischen Begrenzungen und Kosten bewertet werden, die allerdings nicht Gegenstand dieses Dokuments sind. Ebenso wird nicht auf die regionale Verteilung zukünftiger netzbildender Umrichter eingegangen, welche gesondert betrachtet werden muss.

## 1.2 Motivation für ein gemeinsames 4-ÜNB-Papier

Die Verantwortung für den stabilen Netzbetrieb in seiner Regelzone obliegt zwar jedem einzelnen Übertragungsnetzbetreiber, aber die zukünftigen technischen Herausforderungen an die Stabilität, die Sicherheit und die Verfügbarkeit des Übertragungsnetzes können nur gemeinschaftlich gelöst werden.

Die vier deutschen ÜNB messen zukünftigen netzbildenden Umrichtern in der nicht-synchronen Erzeugungsstruktur einen hohen Stellenwert bei, welcher in diesem gemeinschaftlich entwickelten Papier verdeutlicht und detailliert werden soll.

Ziel ist es, die Bedeutung von netzbildenden Umrichtern für die Stabilität des deutschen und europäischen Verbundnetzes zu motivieren, die grundlegenden Eigenschaften netzbildender Umrichter in der Neuauflage der entsprechenden europäischen Netzkodizes NC RfG (Network code on requirements for grid connection of generators) und NC HVDC (Network code on requirements for grid connection of high voltage direct current systems and direct current-connected power park modules) zu adressieren und bereits jetzt auf nationaler Ebene Anforderungen an netzbildende

Umrichter für das deutsche Übertragungsnetz im Rahmen einer kommenden Revision der Technischen Anwendungsregeln (TAR) zu formulieren.

## 2. Grundlegende Anforderungen an netzbildende Umrichter

Im internationalen Umfeld wurden in der jüngeren Vergangenheit verschiedene Studien zu netzbildenden Umrichtern durchgeführt. Eine der wahrscheinlich wichtigsten und bekanntesten Vorarbeiten in Europa zur Definition der begriffsbestimmenden Eigenschaften netzbildender Umrichter stellt der technische Abschlussbericht HPoPEIPS (High Penetration of Power Electronic Interfaced Power Sources) der ENTSO-E dar. Dieser wurde im Rahmen der interdisziplinären Zusammenarbeit von ENTSO-E und anderen Herstellerverbänden Anfang 2020 publiziert [1].

Der HPoPEIPS-Bericht identifiziert sieben Eigenschaften, welche einen netzbildenden Umrichter auszeichnen. Im Folgenden werden diese Eigenschaften aus Sicht der vier deutschen ÜNB in zwingend notwendige und weitere, vom ÜNB einforderbare Eigenschaften klassifiziert. Je nach lokaler Netzsituation und Netzbedarf können die genannten Grundanforderungen parametrisiert und durch optionale Eigenschaften ergänzt werden.

Nur die gleichzeitige Integration aller zwingend notwendigen Eigenschaften zeichnet diese neue Klasse von netzbildenden Umrichtern aus. Bei Nicht-Implementierung nur einer oder gar mehrerer zwingend notwendiger Eigenschaften erfüllt die Anlage die Anforderungen an netzbildende Umrichter nicht.

### 2.1 Zwingend notwendige Eigenschaften netzbildender Umrichter

Im Folgenden werden mit Bezug auf den HPoPEIPS-Bericht diejenigen Eigenschaften netzbildender Umrichter aufgeführt und weitergehend definiert, die aus Sicht der vier deutschen ÜNB als zwingend erforderlich klassifiziert werden.

#### 1. Spannungsbildung analog zur Polradspannung von Synchrongeneratoren (*Creating System Voltage*):

Jeder netzbildende Umrichter verhält sich wie eine Spannungsquelle hinter einer Impedanz. Für netzbildende Umrichter muss der Grundswingungsanteil (50 Hz-Anteil) der bereitgestellten Quellenspannung im Kurzzeitbereich (wenige Netzperioden nach Netzänderung) hinsichtlich seiner Änderungsgeschwindigkeit begrenzt sein. Als Konsequenz entstehen stabilisierende Ausgleichsströme zwischen Netzspannung und gestellter Spannung.

Ergänzende Anmerkung: Außerhalb des Kurzzeitbereichs können auch bei einem netzbildenden Umrichter Sollwerte nachgeführt werden. Eine Analogie zur Synchronmaschine bedeutet an dieser Stelle nicht zwangsläufig, dass das Regelverhalten des netzbildenden Umrichters die Bewegungsgleichung einer Synchronmaschine wiedergibt.

Ein schneller Umrichterschutz, der nicht zur Abschaltung führt, (z. B. Strombegrenzung) ist zulässig - z. B. bei Fehlern mit niedriger Restspannung oder großen Netzstörungen.

#### 2. Instantaner Kurzschlussstrombeitrag (*Contribution to Fault Level*):

Bei einem Netzfehler (sprungförmige Spannungsänderung) führt der unter Pkt. 1 beschriebene Ausgleichstrom zu einem Beitrag zum Kurzschlussstrom. Die Zeitkonstante, die Phasenlage und die Amplitude des Kurzschlussstroms sind im Kurzzeitbereich über die wirksame Netz- und Fehlerimpedanz sowie weitere Impedanzen der Gesamtanlage bestimmt. Außerhalb des Kurzzeitbereichs kann, sofern noch ein Fehlerzustand vorliegt, das Mitsystem des Umrichterstroms entsprechend einer Kennlinie bzw. einer einstellbaren Anlagencharakteristik geregelt zur Verfügung gestellt werden. Der Übergang zwischen der ersten Reaktion und einer übergeordneten Kennlinie muss dabei unterbrechungsfrei und möglichst Stoß frei sein. Alternativ kann sich außerhalb des Kurzzeitbereichs der Umrichter weiterhin als eine Spannungsquelle hinter einer Impedanz verhalten. Eine schnelle Strombegrenzung zum Schutz der

Anlage – z. B. bei Fehlern mit geringer Restspannung (anlagennaher Kurzschluss) – ist zulässig und darf nicht zum Verlust des Synchronismus führen. Die Strombegrenzung muss hinsichtlich ihrer Priorisierung parametrierbar sein (z. B. winkeltreu oder mit Priorisierung auf Wirk- oder Blindstrom). Bei unsymmetrischen Netzfehlern ist zusätzlich ein definiertes Anlagenverhalten für das Gegensystem erforderlich.

### 3. **Bereitstellung von elektrischer Trägheit (*Contribution to Inertia*) innerhalb der Auslegungsgrenzen:**

Bei einer Last- bzw. Einspeiseänderung im System (sprungförmige Winkeländerung der Spannung) führt der unter Pkt. 1 beschriebene Ausgleichstrom mit seiner Wirkkomponente zu einem Beitrag zur Momentanreserve (im Kurzzeitbereich). Kommt es über den Kurzzeitbereich hinausgehend zu einer kontinuierlichen Winkeländerung, führt der unter Pkt. 1 beschriebene Ausgleichstrom zu einer Wirkkomponente proportional zum Frequenzgradienten (gemäß einer einstellbaren, virtuellen Trägheit des Umrichters). Eine schnelle Strom- und Energiebegrenzung (siehe folgender Absatz) zum Schutz der Anlage z. B. bei Großstörungen, die zu einer Leistungsbereitstellung außerhalb der Auslegungsgrenzen führen würde, ist zulässig und darf nicht zum Verlust des Synchronismus führen.

Die maximal mit dem angeschlossenen Netz austauschbare Energie ist über die inhärente Energiespeicherfähigkeit der Anlagenbauteile begrenzt. Ein dedizierter Energiespeicher zur Bereitstellung von Momentanreserve ist keine zwingende Voraussetzung. Sollte die Anlage in positiver oder in negativer Richtung über eine asymmetrische Energiespeicherfähigkeit verfügen, so ist diese asymmetrische Energiespeicherfähigkeit je nach Netzereignis zu nutzen (z. B. Leistungsreduzierung bei Erneuerbare Energien).

Das beschriebene Verhalten führt dazu, dass sich die vom Umrichter gestellte Spannung in ihrer Phasenlage und Frequenz mit einer gewissen Trägheit mit der Netzspannung synchronisiert. Dadurch wird die Frequenz des Systems im Gradienten begrenzt, aber gleichzeitig proportional zum Leistungsungleichgewicht angepasst. Damit ist sichergestellt, dass übergeordnete Notfallfunktionen (z. B. der frequenzabhängige Lastabwurf LFDD oder LFSM-O) bei Teilnetzbetrieb konzeptgemäß greifen.

### 4. **Verhinderung unerwünschter Reglerinteraktionen (*Preventing adverse Control Interaction*):**

Der Umrichter soll sich für Frequenzanteile ungleich der Grundschiwingung (50 Hz) passiv verhalten und einen Beitrag zur stabilen Parallelschaltung mehrerer Umrichter und anderer Netzkomponenten leisten. Für quasistationäre Vorgänge (mit Frequenzanteilen um 50 Hz) muss ein definierter Dämpfungsbeitrag für die Wirk- und Blindleistungsregelung bereitgestellt werden, so dass ein passives, bestmöglich dämpfendes Verhalten der Anlage sichergestellt ist.

### 5. **Teilnetzbetriebsfähigkeit**

Die Teilnetzbetriebsfähigkeit wird für netzbildende Erzeugungsanlagen sowie netzbildende HGÜ-Systeme, die nichtsynchrone Stromerzeugungsanlagen mit einem Übertragungs- oder Verteilnetz verbinden, gefordert.

## 2.2 Weitere, vom ÜNB einforderbare Eigenschaften netzbildender Umrichter

Im Folgenden werden mit Bezug auf den HPoPEIPS-Bericht diejenigen Eigenschaften netzbildender Umrichter aufgeführt und weitergehend definiert, die aus Sicht der vier deutschen ÜNB eingefordert werden können, sofern aus netzplanerischer Sicht erforderlich.

### 1. **Begrenzung des Beitrags zu Oberschwingungen (*Sink for Harmonics*):**

Prinzipiell sind, gemäß Kapitel 2.1, netzbildende Umrichter dahingehend auszuführen, dass ein positiver Realteil der Umrichterimpedanz für Frequenzanteile ungleich 50 Hz resultiert. Dies

entspricht einer harmonischen Senke mit Impedanz gegen Erde und muss für alle relevanten Zeitbereiche und Betriebsmodi erfüllt sein.

Darüber hinaus bieten selbstgeführte Umrichter zusätzlich die Möglichkeit ausgewählte Harmonische mittels dedizierter Regelschleifen aktiv zu dämpfen. Hierbei sollte ein ohmscher Anteil dominieren, insbesondere für die typischen Harmonischen der 5., 7., 11. und 13. Ordnung. Diese zusätzliche Funktionalität ist parametrierbar und entsprechend der spezifizierten Grenzen auszuführen.

## 2. **Regelung des Gegensystems (*Sink for Unbalance*):**

Prinzipiell sind netzbildende Umrichter dahingehend auszuführen, dass ein positiver Realteil der Umrichterimpedanz für das Gegensystem resultiert. Dies entspricht einer Senke mit Impedanz gegen Erde und muss für alle relevanten Zeitbereiche und Betriebsmodi erfüllt sein.

Darüber hinaus bieten selbstgeführte Umrichter zusätzlich die Möglichkeit das Gegensystem mittels dedizierter Regelschleifen aktiv zu dämpfen. Hierbei sollte ein ohmscher Anteil dominieren (ggf. eingeschränkter Winkelbereich). Diese zusätzliche Funktionalität ist parametrierbar und entsprechend der spezifizierten Grenzen auszuführen.

## 3. **Bereitstellung von zusätzlicher elektrischer Trägheit (*Contribution to Inertia*) mittels erweiterter Energiereserve:**

Zusätzlich zu den Anforderungen gemäß Punkt 3 in Kapitel 2.1 wird ein zusätzlicher Energiespeicher vorgesehen. Die maximal mit dem angeschlossenen Netz austauschbare Energie kann diesem dedizierten Energiespeicher entnommen werden, und zwar gemäß den konkreten Vorgaben des zuständigen ÜNB bis zu einer Dauer und Höhe eines definierten Wirkleistungsbeitrags.

## 2.3 **Optionale Eigenschaften netzbildender Umrichter**

Netzbildende Umrichter können schwarzstartfähig ausgelegt werden.

## 3. **Zusammenfassung**

Das vorliegende Papier zu den Anforderungen an netzbildende Umrichter wurde aufgrund der Notwendigkeit zukünftiger netzbildender Umrichter und deren Bedeutung für den sicheren Netzbetrieb gemeinschaftlich von den vier deutschen Übertragungsnetzbetreibern erarbeitet.

Die vorgestellten Eigenschaften netzbildender Umrichter basieren in den Grundzügen auf den entsprechenden Anforderungen des technischen Abschlussberichts HPoPEIS (High Penetration of Power Electronic Interfaced Power Sources) der ENTSO-E.

Wesentlicher Bestandteil dieses Dokuments ist die Differenzierung nach zwingend notwendigen, weiteren, vom ÜNB einforderbaren und optionalen Eigenschaften netzbildender Umrichter. Zwingend notwendige Eigenschaften sind verpflichtend und müssen von netzbildenden Umrichtern grundsätzlich erfüllt werden. Die weiteren Eigenschaften können je nach Anforderung des Übertragungsnetzes am konkreten Netzanschlusspunkt im individuellen Projekt vom zuständigen ÜNB zusätzlich gefordert werden.

Darüber hinaus existieren weitere optionale Eigenschaften netzbildender Umrichter, deren Bedarf im konkreten Projekt evaluiert werden muss.

Die aufgeführten Eigenschaften stellen zunächst ausschließlich technische Definitionen als Ausgangspunkt für die Beschreibung netzbildender Umrichter dar. Diese Definitionen müssen nun im Weiteren in technisch detaillierten Untersuchungen in Regelungskonzepten, Grenzwertvorgaben und Kennlinienfelder der Anlagencharakteristik umgesetzt werden.



## Literaturverzeichnis

- [1] ENTSO-E Technical Group on High Penetration of Power Electronic Interfaced Power Sources, „High Penetration of Power Electronic Interfaced Power Sources and the Potential Contribution of Grid Forming Converters“, 2020.