

9 Netzanschlussbedingungen

9.1 Allgemeines

Die Netzanschlussbedingungen für Erzeugungsanlagen werden festgelegt – getrennt für unterschiedliche Spannungsebenen – in den Anwendungsregeln des VDE [4.1; 4.3; 4.4; 4.5] und in den Technischen Richtlinien der Netzbetreiber. Eine Übersicht findet sich z. B. in [4.21].

Folgende Anforderungen sind definiert:

- Beitrag zur Spannungshaltung im stationären Betrieb
- Beitrag zur Frequenzhaltung
- Spannungsstützung im Fehlerfall und Verhalten bei Netzstörungen
- sonstige Forderungen (Kurzschlussströme, Spannungsband)
- zulässige Störaussendungen wie Oberschwingungsströme, Flicker usw.
- technische Ausführung des Netzanschlusses
- Ausführung des Schutzes sowie dessen Einstellungen

9.2 Spannungshaltung im stationären Betrieb

9.2.1 Spannung und Blindleistung

Die Spannungshaltung eines Netzes wird wesentlich durch die Blindleistungsbilanz bestimmt. Im Rahmen der Maßnahmen, die zur Erhaltung der Funktionstüchtigkeit des Netzes zusätzlich erforderlich sind zur Übertragung und Verteilung der Elektroenergie, ist es notwendig, den Blindleistungsbedarf jederzeit der Nachfrage anzupassen. Aus dem Netz entnommene, induktive Blindleistung führt zu Spannungsabsenkungen, in das Netz eingespeiste, kapazitive Blindleistung führt zu Spannungsanhebungen. Die Einhaltung eines gewünschten Spannungsbereichs ist nur zu gewährleisten mittels lokaler Maßnahmen durch Transformatorstufenschalter, Blindleistungskompensationsanlagen, Erzeugungseinheiten und u. U. Änderungen der Netztopologie.

9.2.2 Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz

Anforderungen an Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz sind in VDE-AR-N 4105 [4.2] und in der TAR Niederspannung [4.1] definiert. Alle Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz müssen sich an der Spannungsstützung für normalen, d. h. ungestörten Netzbetrieb beteiligen. Für Erzeugungsanlagen, die prinzipbedingt keine Blindleistung regeln können, wie z. B. direkt gekoppelte Asynchrongeneratoren, die bei Klein-BHKW oder kleinen Biogasanlagen eingesetzt werden, ist ein fester $\cos\varphi = 0,95$ induktiv (untererregt) einzuhalten. Alle anderen Erzeugungsanlagen vom Typ 2 (d. h. alle, die zur Erzeugung elektrischer Energie keinen direkt netzgekoppelten Synchrongenerator verwenden) müssen bei Nennspannung und innerhalb des zulässigen Betriebsbereichs wie folgt betrieben werden:

Bei $\sum S_{E, \max} \leq 4,6$ kVA muss der Verschiebungsfaktor ab einer Wirkleistungseinspeisung größer 20 % der Bemessungswirkleistung im Bereich 0,95 induktiv bis 0,95 kapazitiv liegen (siehe Bild 9.1).

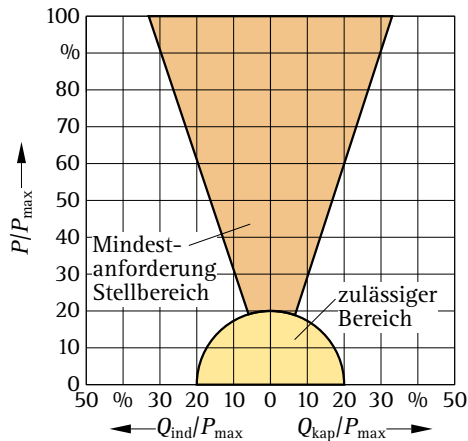


Bild 9.1 Geforderter Blindleistungsbereich von Erzeugungsanlagen mit $\sum S_{E, \max} \leq 4,6$ kVA bei Wirkleistungseinspeisung im Niederspannungsnetz (nach Bild 5 [4.2])

P_{\max} Bemessungswirkleistung

Q_{ind} Bezug von Blindleistung (induktiv, untererregt)

Q_{kap} Einspeisung von Blindleistung (kapazitiv, übererregt)

Bei $\sum S_{E, \max} \leq 4,6$ kVA muss der Verschiebungsfaktor ab einer Wirkleistungseinspeisung größer 10 % der Bemessungswirkleistung im Bereich 0,9 induktiv bis 0,9 kapazitiv liegen (siehe Bild 9.2).

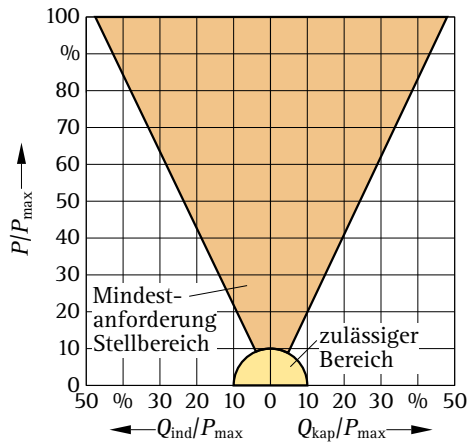


Bild 9.2 Geforderter Blindleistungsbereich von Erzeugungsanlagen mit $\sum S_{E, \max} \leq 4,6 \text{ kVA}$ bei Wirkleistungseinspeisung im Niederspannungsnetz (nach Bild 6 [4.2])

P_{\max} Bemessungswirkleistung

Q_{ind} Bezug von Blindleistung (induktiv, untererregt)

Q_{kap} Einspeisung von Blindleistung (kapazitiv, übererregt)

Die Blindleistung muss grundsätzlich einstellbar sein, wobei der vereinbarte Bereich innerhalb weniger Minuten und beliebig oft zu durchfahren sein muss. Die Blindleistungsvorgabe kann erfolgen durch:

- einen festen Sollwert des Verschiebungsfaktors $\cos \varphi$
- einen Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ in Abhängigkeit von der erzeugten Wirkleistung P
- eine Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie $Q = f(U)$

9.2.3 Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz

Am Verknüpfungspunkt ist als Grundforderung ein festgelegter Bereich des Verschiebungsfaktors einzuhalten. Abweichende Werte von den in den Technischen Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung [4.3]) festgelegten Werten können vertraglich vereinbart werden. Der definierte Bereich des Verschiebungsfaktors muss bei Wirkleistungsabgabe in jedem Betriebspunkt möglich sein. Es ist zu beachten, dass die zulässige Wirkleistungsabgabe bei unterschiedlichem Verschiebungsfaktor u. U. unterschiedlich sein wird. Soll die zulässige Wirkleistungsabgabe im

gesamten zulässigen Betriebsbereich gleich sein, so muss die Anlage hinsichtlich der Strombelastbarkeit entsprechend dimensioniert werden, da der Scheinstrom bei einem Verschiebungsfaktor ungleich „1“ größer als der Wirkstrom ist. **Bild 9.3** zeigt den zulässigen Bereich der Blindleistung bzw. des Verschiebungsfaktors von Kundenanlagen bei Wirkleistungsbezug, d. h. auch im Falle von Erzeugungsanlagen mit Bezug von Eigenbedarf oder im Leerlauf.

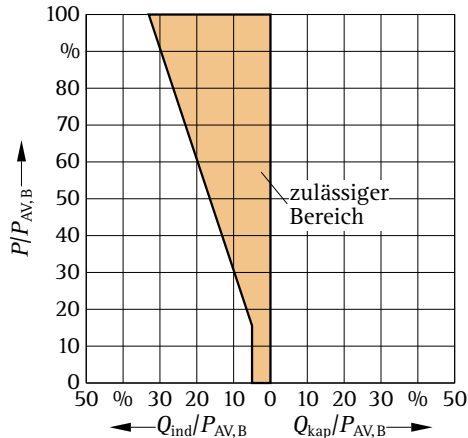


Bild 9.3 Zulässiger Blindleistungsbereich von Kundenanlagen bei Wirkleistungsbezug im Mittelspannungsnetz (nach Bild 2 TAR Mittelspannung [4.3])

$P_{AV,B}$ vereinbarte Anschlusswirkleistung bei Bezug

Q_{ind} Bezug von Blindleistung (induktiv, untererregt)

Q_{kap} Einspeisung von Blindleistung (kapazitiv, übererregt)

Bild 9.4 zeigt den geforderten Bereich der Blindleistung von Erzeugungsanlagen bei Wirkleistungseinspeisung.

Die Blindleistung muss grundsätzlich einstellbar sein, wobei der vereinbarte Bereich innerhalb weniger Minuten und beliebig oft zu durchfahren sein muss. Die Blindleistungsvorgabe kann erfolgen durch:

- einen festen Sollwert des Verschiebungsfaktors $\cos\varphi$
- eine fest vorgegebene Blindleistung Q
- einen Verschiebungsfaktor $\cos\varphi$ in Abhängigkeit von der erzeugten Wirkleistung P
- eine Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie $Q = f(U)$, wobei die Koordination mit den Regelzeiten des Stufenschalters im Mittelspannungstransformator erforderlich ist

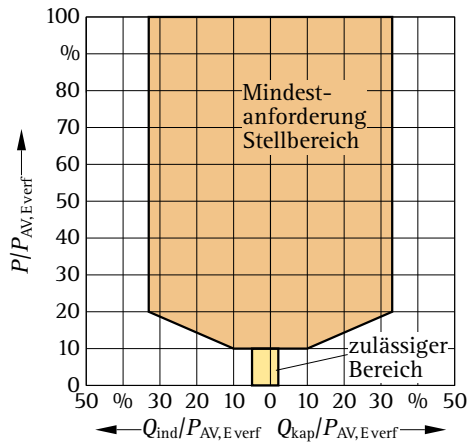


Bild 9.4 Geforderter Blindleistungsbereich von Erzeugungsanlagen bei Wirkleistungseinspeisung im Mittelspannungsnetz (nach Bild 6 TAR Mittelspannung [4.3])

$P_{AV,E\text{ verf}}$ technisch verfügbarer Anteil der vereinbarten Anschlusswirkleistung bei Einspeisung

Q_{ind} Bezug von Blindleistung (induktiv, untererregt)

Q_{kap} Einspeisung von Blindleistung (kapazitiv, übererregt)

Bei Kennlinienregelung sollte eine Kennlinie mit begrenzter Steilheit und kontinuierlichem Verlauf gewählt werden, um Spannungssprünge zu vermeiden.

9.2.4 Erzeugungsanlagen am Hochspannungsnetz

In stationärem Betrieb dürfen Kundenanlagen bei Wirkleistungsbezug – d. h. auch im Falle von Erzeugungsanlagen mit Bezug von Eigenbedarf oder im Leerlauf – im zulässigen Spannungsbereich Blindleistung nur gemäß des zulässigen Bereichs nach **Bild 9.5** aus dem Netz entnehmen. Maßgeblich sind die 15-min-Mittelwerte der Blindleistung bzw. des Verschiebungsfaktors.

Bild 9.6 zeigt den geforderten Bereich der Blindleistung von Erzeugungsanlagen bei Wirkleistungseinspeisung.

Erzeugungsanlagen in quasistationärem Betrieb müssen im Frequenzbereich 47,5 Hz bis 51,5 Hz und im Spannungsbereich 93,5 kV bis 127 kV dauerhaft bzw. für festgelegte Mindestzeiten am Netz betrieben werden können. Der quasistationäre Betrieb ist definiert durch die zulässigen Spannungs- und Frequenzgradienten. Bei Spannungen $U > 123$ kV bzw. $U < 96$ kV und Überlastungsgefahr von Betriebsmitteln in der Erzeugungsanlage darf die Wirkleistung der Erzeugungsanlage reduziert werden, um durch geeignete Maßnahmen das Netz zu stützen, wie z. B. Blindleistungsregelung.

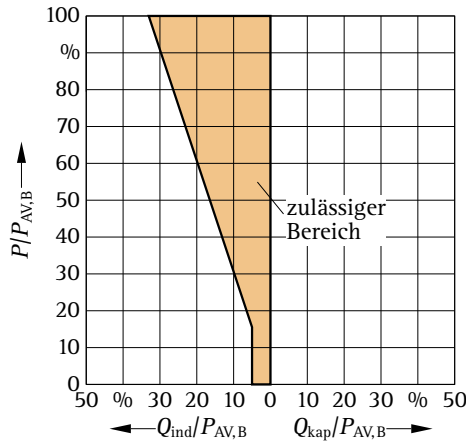


Bild 9.5 Zulässiger Blindleistungsbereich von Kundenanlagen bei Wirkleistungsbezug im Hochspannungsnetz (nach Bild 2 TAR Hochspannung [4.4])

$P_{AV,B}$ vereinbarte Anschlusswirkleistung bei Bezug

Q_{ind} Bezug von Blindleistung (induktiv, untererregt)

Q_{kap} Einspeisung von Blindleistung (kapazitiv, übererregt)

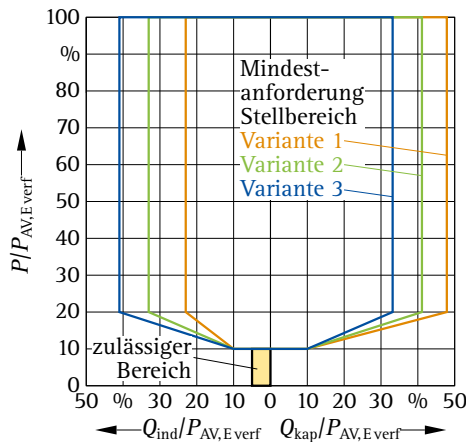


Bild 9.6 Geforderter Blindleistungsbereich von Erzeugungsanlagen bei Wirkleistungseinspeisung im Hochspannungsnetz (nach Bild 6 TAR Hochspannung [4.4])

$P_{AV,E,verf}$ technisch verfügbarer Anteil der vereinbarten Anschlusswirkleistung bei Einspeisung

Q_{ind} Bezug von Blindleistung (induktiv, untererregt)

Q_{kap} Einspeisung von Blindleistung (kapazitiv, übererregt)

Durch Netzpendelungen können Spannungen kleiner als die für den quasistationären Betriebsbereich festgelegten Werte auftreten. Diese Betriebsbedingungen dürfen nicht zur Trennung der Erzeugungsanlagen vom Netz und nicht zu einer Einschränkung der Wirkleistungsabgabe führen.

Erzeugungsanlagen müssen sich an der statischen Spannungshaltung im Normalbetrieb des Netzes durch Blindleistungsregelung beteiligen. Dadurch können langsame Spannungsänderungen reduziert werden. Dazu sind Anforderungen an den zulässigen Bereich des Verschiebungsfaktors sowie an die Schnelligkeit der Regelung definiert. Transformatoren zum Anschluss der Erzeugungsanlage an das Hochspannungsnetz sind mit einem Laststufenschalter auszurüsten. Das geforderte Blindleistungsverhalten der Erzeugungsanlage am Anschlusspunkt muss unter Berücksichtigung des Transformatorübersetzungsverhältnisses und des Stellbereichs des Stufenschalters im betrieblich zulässigen Bereich der Spannung gewährleistet sein. Eine kurzzeitige Reduzierung der Wirkleistungserzeugung während der Stufenschalterbetätigung ist zulässig, um die geforderte Blindleistung bereitzustellen. Die Anforderungen sind unterschiedlich festgelegt für Vollastbetrieb und Teillastbetrieb.

Die Blindleistung muss grundsätzlich einstellbar sein, wobei der vereinbarte Bereich innerhalb weniger Minuten und beliebig oft zu durchfahren sein muss. Die Blindleistungsbereitstellung darf die dynamische Netzstützung nicht beeinträchtigen. Im Rahmen der Netzanschlussplanung legt der Netzbetreiber eines der folgenden Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung fest:

- Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie $Q = f(U)$
- Blindleistungs-Wirkleistungs-Kennlinie $Q = f(P)$
- Blindleistung Q
- Verschiebungsfaktor $\cos\varphi$

9.2.5 Erzeugungsanlagen am Höchstspannungsnetz

In stationärem Betrieb dürfen Kundenanlagen bei Wirkleistungsbezug – d. h. auch im Falle von Erzeugungsanlagen mit Bezug von Eigenbedarf oder im Leerlauf – im zulässigen Spannungsbereich Blindleistung nur gemäß des zulässigen Bereichs nach **Bild 9.7** aus dem Netz entnehmen.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Netzspannung am Netzanschlusspunkt muss die Erzeugungsanlage bei Bemessungsbetrieb im Frequenzbereich 49,5 Hz bis 50,5 Hz die Anforderungen an den Verschiebungsfaktor gemäß **Bild 9.8** erfüllen. Der vereinbarte Blindleistungsbereich muss innerhalb einer festgelegten Zeit durchfahren werden können und bei Bemessungsleistung verfügbar sein.

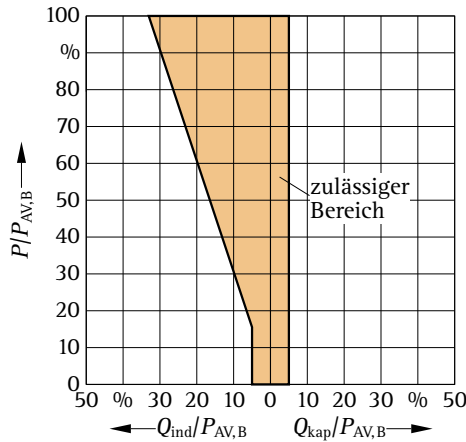


Bild 9.7 Zulässiger Blindleistungsbereich von Kundenanlagen bei Wirkleistungsbezug im Höchstspannungsnetz (nach Bild 2 TAR Höchstspannung [4.5])

$P_{AV,B}$ vereinbarte Anschlusswirkleistung bei Bezug

Q_{ind} Bezug von Blindleistung (induktiv, untererregt)

Q_{kap} Einspeisung von Blindleistung (kapazitiv, übererregt)

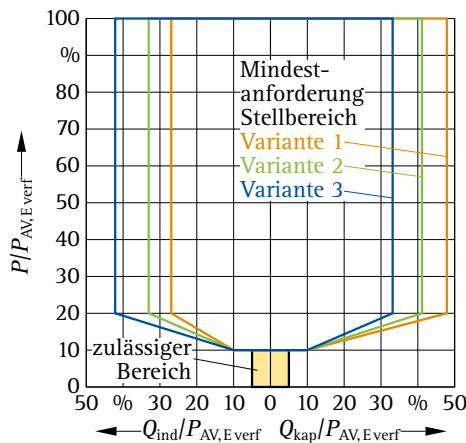


Bild 9.8 Geforderter Blindleistungsbereich von Erzeugungsanlagen bei Wirkleistungseinspeisung im Höchstspannungsnetz (nach Bild 6 TAR Höchstspannung [4.5])

$P_{AV,E\ verf}$ technisch verfügbarer Anteil der vereinbarten Anschlusswirkleistung bei Einspeisung

Q_{ind} Bezug von Blindleistung (induktiv, untererregt)

Q_{kap} Einspeisung von Blindleistung (kapazitiv, übererregt)

Es sind verschiedene Varianten möglich, die vom Netzbetreiber zum Zeitpunkt des Netzanschlusses festzulegen sind. Die Anforderungen sind getrennt festgelegt für Vollastbetrieb und für Teillastbetrieb. Im Rahmen der Netzanschlussplanung legt der Netzbetreiber Verfahren der Blindleistungsbereitstellung fest:

- Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie $Q = f(U)$
- Blindleistung Q
- Verschiebungsfaktor $\cos\varphi$

9.3 Frequenzhaltung und Wirkleistungsreduzierung

9.3.1 Allgemeines

Die Regelung der Netzfrequenz erfolgt durch Veränderung der Wirkleistungsbilanz. Eine Zunahme der erzeugten Wirkleistung führt ebenso zu einer Frequenzerhöhung wie eine Abnahme der verbrauchten Wirkleistung, wohingegen eine Abnahme der erzeugten Wirkleistung ebenso wie eine Zunahme der verbrauchten Wirkleistung zu einer Frequenzabsenkung führt.

Die Reduzierung der Wirkleistungseinspeisung von Erzeugungsanlagen ist zulässig, wenn:

- Gefahr für den sicheren Netzbetrieb besteht
- Gefahr von Überlastungen im Netz besteht
- Gefahr für Inselnetzbildung gegeben ist
- Gefährdung der dynamischen und statischen Stabilität gegeben ist
- ein systemgefährdender Frequenzanstieg vorliegt
- Baumaßnahmen und Instandsetzungen durchgeführt werden müssen
- Erzeugungs- bzw. Netzsicherheitsmanagement erforderlich ist

9.3.2 Anforderungen an Erzeugungsanlagen

Erzeugungsanlagen in allen hier betrachteten Spannungsebenen (aber mit Einschränkungen in der Niederspannungsebene) müssen ihre Wirkleistung in Stufen in Abhängigkeit der vereinbarten Anschlusswirkleistung aus jedem möglichen Betriebszustand heraus auf jeden vorgegebenen neuen Sollwert reduzieren können. Um einem systemgefährdenden Frequenzanstieg zu begegnen, müssen Er-