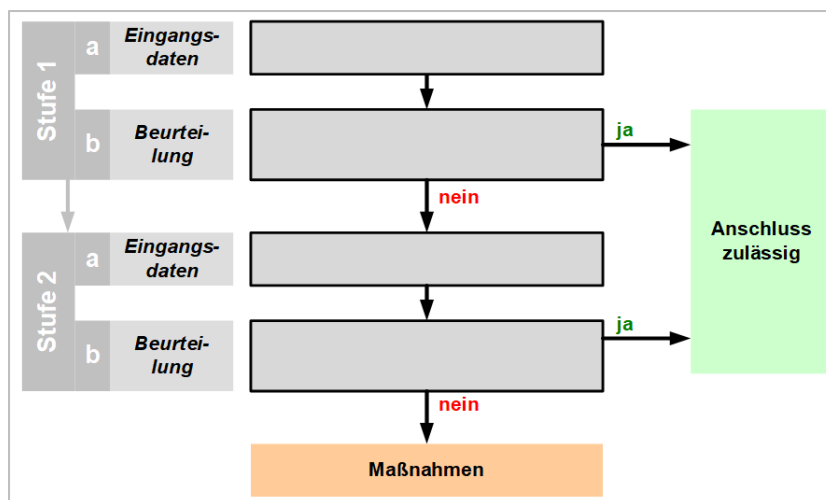


Technische Regeln für die Beurteilung von Netzurückwirkungen

Teil B: Anforderungen und Beurteilung

Abschnitt II: Mittelspannung



Dieses Dokument wurde erarbeitet unter der Verantwortung des internationalen Arbeitskreises EMC & Power Quality (D-A-CH-CZ).

Impressum und Kontakt

Herausgeber

OE Oesterreichs Energie

Brahmsplatz 3
A-1040 Wien
akademie@oesterreichsenergie.at

VSE Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Hintere Bahnhofstrasse 10
CH-5000 Aarau
www.strom.ch

CSRES – Ceske sdruzeni regulovanych elektroenergetickych spolecnosti

Na hroude 19/2149
10000 Praha 10 – Strasnice
www.csres.cz

Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (VDE FNN)

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
Bismarckstr. 33
10625 Berlin

Copyright

© VSE, OE, VDE FNN, CSRES

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Jegliche inhaltliche Veränderung ist untersagt. Die Autoren übernehmen keine Haftung für Fehler und behalten sich das Recht vor, dieses Dokument ohne weitere Ankündigungen jederzeit zu ändern.

Inhalt

Vorwort	5
1. Spannungsänderungen und Flicker	6
1.1 Spannungsänderungen	6
1.1.1 Langsame Spannungsänderungen	6
1.1.2 Schnelle Spannungsänderungen	6
1.2 Flicker	6
1.2.1 Planungspegel und anteiliger Beitrag	7
1.2.2 Emissionsgrenzwerte	8
1.3 Beurteilung	10
1.3.1 Vereinfachte Beurteilung (Stufe 1)	10
1.3.2 Detaillierte Beurteilung (Stufe 2)	10
1.3.3 Schema zur Bestimmung der Emissionsgrenzwerte	12
1.3.4 Zusätzliche Hinweise für die Beurteilung	13
1.3.5 Nachweisverfahren	14
2. Unsymmetrie	15
2.1 Planungspegel	15
2.2 Emissionsgrenzwerte	15
2.3 Beurteilung	17
2.3.1 Vereinfachte Beurteilung (Stufe 1)	17
2.3.2 Detaillierte Beurteilung (Stufe 2)	18
3. Harmonische, Zwischenharmonische, Supraharmonische	20
3.1 Harmonische	20
3.1.1 Planungspegel	20
3.1.2 Emissionsgrenzwerte	20
3.1.3 Beurteilung	22
3.2 Zwischenharmonische	25
3.2.1 Planungspegel	25
3.2.2 Emissionsgrenzwerte	25
3.2.3 Beurteilung	26
3.3 Supraharmonische	26
3.3.1 Planungspegel	26
3.3.2 Emissionsgrenzwerte	26
3.3.3 Beurteilung	27
3.4 Nachweismessungen	27
4. Kommutierungseinbrüche	28
4.1 Planungspegel	28
4.2 Emissionsgrenzwerte	28
4.3 Beurteilung	28
4.3.1 Stufe 1 - Vereinfachte Beurteilung	29
4.3.2 Stufe 2 - Detaillierte Beurteilung	30
5. Signalspannungen	31
5.1 Signalpegel	31
5.2 Beurteilung	31
5.2.1 Pegelbeeinflussung durch Anlagen von Netzbenutzern	31
5.3 Emissionen durch Anlagen von Netzbenutzern	33

Normenverzeichnis.....	34
Literaturverzeichnis	35

Vorwort

Das vorliegende Dokument fasst die Beurteilungsverfahren und die Berechnung der Grenzwerte für Anlagen von Netzbenutzern zum Anschluss an das Mittelspannungsnetz zusammen. Es stellt den zweiten von drei Abschnitten im Teil B der 3. Ausgabe der D-A-CH-CZ Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen dar.

Die drei Abschnitte für Bewertungen in Niederspannung, Mittelspannung und Hochspannung sind unabhängig voneinander anwendbar. Grundsätzlich werden für die Anwendung der Dokumente allgemeine Kenntnisse und Spezifikationen aus Teil A: Grundlagen vorausgesetzt.

Das Dokument dient sowohl Netzbetreibern als auch Planern und Errichtern, die Netzurückwirkungen der Anlage eines Netzbenutzers im Rahmen der Planung sachgerecht zu beurteilen und entsprechende Emissionsgrenzwerte für einen netzverträglichen Betrieb vorzugeben. Darüber hinaus kann dadurch frühzeitig abgeschätzt werden, ob ggf. zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung der Störaussendungen erforderlich sind.

Anmerkung:

Es können nationale Regelwerke existieren, die sich in den Anforderungen möglicherweise von dem vorliegenden Dokument unterscheiden und Vorrang in der Anwendung haben.

1. Spannungsänderungen und Flicker

1.1 Spannungsänderungen

1.1.1 Langsame Spannungsänderungen

Langsame Spannungsänderungen werden als relative Spannungsabweichung Δu bewertet.

Planungspegel für langsame Spannungsänderungen in öffentlichen Mittelspannungsnetzen werden nicht angegeben.

Anforderungen:

- Im ungestörten Betrieb des Netzes darf der Betrag der von **allen Erzeugungs- und/oder Speicheranlagen** verursachten langsamen Spannungsänderung an keinem Verknüpfungspunkt in diesem Netz einen Wert von 2 % gegenüber der Spannung ohne Erzeugungs- und/oder Speicheranlagen überschreiten.

Der Netzbetreiber kann für langsame Spannungsänderungen davon abweichende Grenzwerte vorgeben, wenn die Art und Betriebsweise des Netzes dies erlauben beziehungsweise erfordern.

Anmerkung:

Für Bezugsanlagen wird die zulässige langsame Spannungsänderung auf Basis der individuellen Planungsrichtlinien des Netzbetreibers festgelegt.

1.1.2 Schnelle Spannungsänderungen

Planungspegel für schnelle Spannungsänderungen in öffentlichen Mittelspannungsnetzen werden nicht angegeben.

Anforderungen:

- Die von einer einzelnen Anlage eines Netzbenutzers verursachte maximale Spannungsänderung darf bei häufigen Ereignissen (Wiederholrate $r \geq 0,01 \text{ min}^{-1}$) 2 % nicht überschreiten. Für Wiederholraten $r \geq 0,1 \text{ min}^{-1}$ ist zusätzlich eine Flickerbewertung durchzuführen.
- Für seltene Spannungsänderungen (Wiederholrate $r < 0,01 \text{ min}^{-1}$, d.h. mehrere Male pro Tag) sind 3 % in Ausnahmefällen nach Rücksprache mit dem Netzbetreiber zulässig.

Schnelle Spannungsänderungen von Anlagen mehrerer Netzbenutzer überlagern sich in der Regel nicht, es sei denn, die schnellen Spannungsänderungen treten synchronisiert auf.

Anmerkung:

Wenn die Spannung während eines Spannungsänderungsverlaufs abfällt, dann ist der resultierende d-Wert positiv. Wenn die Spannung während eines Spannungsänderungsverlaufs ansteigt, dann ist der resultierende d-Wert negativ [EN 61000-4-15].

1.2 Flicker

Bei bekanntem relativen Spannungsänderungsverlauf $d(t)$ kann der P_{st} -Wert durch Rechnersimulation oder durch Rechnung nach dem analytischen Verfahren ermittelt werden (vgl. Teil A: Grundlagen). Nicht regelmäßige Spannungsänderungen können ausschließlich durch Messung oder spezielle Simulationen beurteilt werden.

Mit steigender Netzkurzschlussleistung sollte der zulässige P_{st} - und P_{lt} -Wert in öffentlichen Netzen sinken, da in den meisten Fällen entsprechend dem Flickerausbreitungsprinzip mehr Anlagen von Netzbenutzern davon betroffen sind.

1.2.1 Planungspegel und anteiliger Beitrag

Richtwerte für die Planungspegel sind:

$$L_{Pst\ MS} = 0,8$$

$$L_{Plt\ MS} = 0,55$$

Mit dem Ziel, eine Koordination der Störaussendung auf der sicheren Seite durchführen zu können, legen die Netzbetreiber Planungspegel für die HS-Netzebene fest. Richtwerte sind:

$$L_{Pst\ HS} = 0,7$$

$$L_{Plt\ HS} = 0,46$$

Der aus dem HS-Netz in das MS-Netz übertragene maximal mögliche Flickerpegel beträgt:

$$P_{st\ HS/MS} = T_{Pst\ HS/MS} \cdot L_{Pst\ HS} \quad (1-1)$$

Damit kann der anteilige Beitrag für alle Anlagen der Netzbenutzer im MS-Netz ermittelt werden.

$$\begin{aligned} P_{st\ MS\ ges} &= \sqrt[3]{L_{Pst\ MS}^3 - P_{st\ HS/MS}^3} \\ &= \sqrt[3]{L_{Pst\ MS}^3 - (T_{Pst\ HS/MS} \cdot L_{Pst\ HS})^3} \end{aligned} \quad (1-2)$$

$L_{Pst\ MS}$ Planungspegel im MS-Netz

$P_{st\ MS\ ges}$ anteiliger Beitrag der Kurzzeit-Flickerstärke für alle Netzbenutzer, die direkt an ein MS - Netz angeschlossen sind

$P_{st\ HS/MS}$ maximal möglicher übertragener Flickerpegel HS/MS

$T_{Pst\ HS/MS}$ Transferkoeffizient HS/MS

$L_{Pst\ HS}$ Planungspegel im HS - Netz

Unter Berücksichtigung eines üblichen Transferkoeffizienten von $T_{Pst\ HS/MS} = 0,8$ [IEC 61000-3-7] kann der anteilige Beitrag zu Kurzzeit-Flickerstärke für die Gesamtheit aller Anlagen der MS-Netzbenutzer ermittelt werden:

$$P_{st\ MS\ ges} = 0,7$$

Für die Langzeit-Flickerstärke ergibt sich gemäß Gleichung (1-10):

$$P_{lt\ MS\ ges} = 0,46$$

Die Anwendung von Gleichung (1-2) sowie der entsprechenden Gleichungen für die höheren Spannungsebenen bietet dem Netzbetreiber die Möglichkeit die Störkoordination für Flicker über alle Netzebenen hinweg individuell zu gestalten. Damit wird es möglich die vorhandenen Ressourcen sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Sicht optimal zu nutzen. Falls die Spannungsebenen im Verantwortungsbereich verschiedener Netzbetreiber liegen, muss die Koordination in gemeinschaftlicher Abstimmung zwischen allen beteiligten Netzbetreibern erfolgen.

Dreiwickler-Transformator

Dreiwickler-Transformatoren besitzen zwei galvanisch getrennte Unterspannungswicklungen (Index US1 und US2), die jedoch induktiv gekoppelt sind. Die Bemessungsleistung des Transformators wird auf die beiden Unterspannungswicklungen aufgeteilt, wobei die Summe der Teilleistungen der Bemessungsleistung des HS/MS-Transformators entspricht.

$$S_{rT} = S_{US1} + S_{US2} \quad (1-3)$$

S_{US1}	(Absolute) anteilige Leistung der Unterspannungsseite 1 an der Bemessungsleistung des HS/MS-Transformators
S_{US2}	(Absolute) anteilige Leistung der Unterspannungsseite 2 an der Bemessungsleistung des HS/MS-Transformators
S_{rT}	Bemessungsleistung des HS/MS-Transformators

Der relative Anteil der Unterspannungsseite 1 an der Bemessungsleistung des HS/MS-Transformators ergibt sich zu:

$$p = \frac{S_{US1}}{S_{rT}} \quad (1-4)$$

p	Relativer Anteil der Unterspannungsseite 1 an der Bemessungsleistung des HS/MS-Transformators
-----	---

Der (gesamte) anteilige Beitrag zur Kurzzeit-Flickerstärke $P_{st\ MS\ ges}$ wird leistungsproportional auf die beiden Unterspannungswicklungen aufgeteilt.

$$P_{st\ US1\ ges} = P_{st\ MS\ ges} \cdot \sqrt{p} \quad (1-5)$$

$$P_{st\ US2\ ges} = P_{st\ MS\ ges} \cdot \sqrt{1-p} \quad (1-6)$$

Bei Verwendung eines Dreiwickler-Transformators ist bei der Ermittlung der Emissionsgrenzwerte $P_{st\ MS\ ges}$ durch $P_{st\ US1\ ges}$ bzw. $P_{st\ US2\ ges}$ zu ersetzen.

1.2.2 Emissionsgrenzwerte

Der anteilige Beitrag für eine Netzebene an der zulässigen gesamten Flickerstärke wird mit Hilfe eines Verteilungsschlüssels auf die einzelnen Netzbenutzer aufgeteilt.

Als möglicher Verteilungsschlüssel ist der Anschlussfaktor k_A allgemein anerkannt. Zusätzlich ist ein Gleichzeitigkeitsfaktor g in Verbindung mit bereits vorhandenen flickererzeugenden Anlagen zu berücksichtigen, der vom Netzbetreiber aufgrund von Studien bereitgestellt wird.

Die zulässigen Störaussendungspegel der Anlage eines Netzbenutzers sind als Richtwerte anzusehen, die vom Netzbetreiber aufgrund von Planungsrechnungen in eigener Verantwortung angepasst werden können.

$$P_{st\ MS\ V} = P_{st\ MS\ ges} \cdot \sqrt{k_{A\ MS}} \cdot \sqrt{\frac{1}{g}} \quad (1-7)$$

Für das MS-Netz wird der folgende Anschlussfaktor verwendet.

$$k_{A\ MS} = \frac{S_A}{S_{MS}} \quad (1-8)$$

Die zulässige Störaussendung der Anlage eines Netzbenutzers im MS-Netz beträgt

$$P_{st\ MS\ V} = P_{st\ MS\ ges} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_{MS}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{g}} \quad (1-9)$$

$$P_{lt\ MS\ V} = 0,65 \cdot P_{st\ MS\ V} \quad (1-10)$$

Die gesamte verfügbare Anschlussleistung des MS-Netzes S_{MS} wird vom Netzbetreiber ermittelt. Unter Berücksichtigung der Faktoren k_B , k_E , k_S kann sie aus der Bemessungsleistung des speisenden Transformators S_{rT} näherungsweise bestimmt werden. Die Summe $k_B + k_E + k_S$ kann größer als 1 sein.

$$S_{MS} = (k_B + k_E + k_S) S_{rT} \quad (1-11)$$

$P_{st\ MS\ ges}$	gesamte zulässige Kurzzeit-Flicker-Störaussendung von Lasten, die direkt an ein MS-Netz angeschlossen sind
$P_{st\ MS\ V}$	zulässige maximale Kurzzeit-Flicker-Störaussendung der Anlage des Netzbenutzers
$P_{lt\ MS\ V}$	zulässige maximale Langzeit-Flicker-Störaussendung der Anlage des Netzbenutzers
S_A	Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers
S_{MS}	gesamte verfügbare Anschlussleistung des MS-Netzes
S_{rT}	Bemessungsleistung des HS/MS-Transformators
g	Gleichzeitigkeitsfaktor der benachbarter Flicker-Störquellen im gleichen Netz
$k_{A\ MS}$	Anschlussfaktor MS
k_B	Bezugsfaktor
k_E	Erzeugerfaktor
k_S	Speicherfaktor

Anmerkung 1:

Der Gleichzeitigkeitsfaktor wird aus der Anzahl der zeitgleich Flicker erzeugenden Geräte zur Anzahl der vorhandenen Flicker erzeugenden Geräte in dem betreffenden Netzgebiet bzw. in der Anlage eines Netzbenutzers bestimmt. (Wahrscheinlichkeit überlagernder Flicker)

Anmerkung 2:

Die Faktoren k_B , k_E , k_S werden phänomenunabhängig festgelegt.

Anmerkung 3:

Sind die Faktoren k_B , k_E , k_S nicht bekannt, kann für Netze in denen kein Anschluss von Erzeugungs- und Speicheranlagen zu erwarten ist, $k_B + k_E + k_S = 1$ angenommen werden. Ist es nicht auszuschließen, dass in einem Netz Erzeugungs- und Speicheranlagen angeschlossen werden, wird die Annahme von $k_B + k_E + k_S = 1,35$ empfohlen.

Bei Dreiwickler-Transformatoren ist in Gleichung (1-11) anstelle der Bemessungsleistung des HS/MS-Transformators die (absolute) anteilige Leistung der jeweiligen Unterspannungsseite (S_{US1} oder S_{US2}) einzusetzen (vgl. Abschnitt 1.2.1).

Bei kleinen Anschlussleistungen ergeben sich sehr kleine Störaussendungsgrenzwerte. Deswegen wird für jede Anlage eines Netzbenutzers ein Mindestwert von $P_{st\ MS\ V} = 0,35$ bzw. $P_{lt\ MS\ V} = 0,25$ empfohlen.

Ergeben die Berechnungen nach Gleichungen (1-9) und (1-10) Emissionsgrenzwerte $P_{st\ MS\ V} > 0,75$ bzw. $P_{lt\ MS\ V} > 0,5$, ist die maximal zulässige Störaussendung für die Anlage des Netzbenutzers auf $P_{st\ MS\ V} = 0,75$ bzw. $P_{lt\ MS\ V} = 0,50$ begrenzt.

1.3 Beurteilung

Im MS-Netz wird die verkettete Spannung beurteilt.

Die Einhaltung der im Rahmen der Beurteilung ermittelten Anschlussbedingungen für Anlagen von Netzbenutzern bedeutet im Allgemeinen noch nicht, dass diese ohne weitere Auflagen betrieben werden dürfen. Vielmehr ist auch die Summenwirkung mit Anlagen weiterer Netzbenutzer zu beachten.

1.3.1 Vereinfachte Beurteilung (Stufe 1)

Eine vereinfachte Beurteilung ist für Anlagen von Netzbenutzern zum Anschluss an das MS-Netz nicht vorgesehen.

1.3.2 Detaillierte Beurteilung (Stufe 2)

Die detaillierte Beurteilung basiert auf regelmäßigen Spannungsänderungen. Es ist zu beachten, dass die ungünstigste flickerrelevante Scheinleistungsänderung ΔS_A eingesetzt wird.

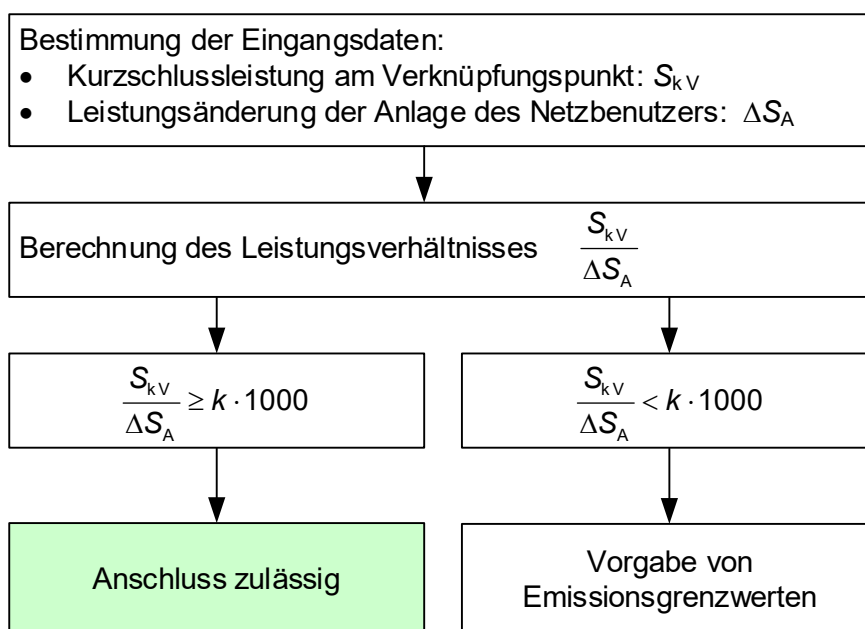


Abb. 1-1 Schema zur detaillierten Beurteilung Spannungsänderungen und Flicker

Der Faktor k ist nach Tabelle Tab. 1-1 zu wählen.

Tab. 1-1 Faktor k

Anschlussart	k
dreiphasig	1
zweiphasig (ohne Neutralleiter)	$\sqrt{3}$

Ist die von der Anlage des Netzbenutzers zu erwartende, ungünstigste Wiederholrate bekannt, kann das Leistungsverhältnis $k \cdot 1000$ in Abb. 1-1 entsprechend Tab. 1-2 für die Beurteilung verwendet werden.

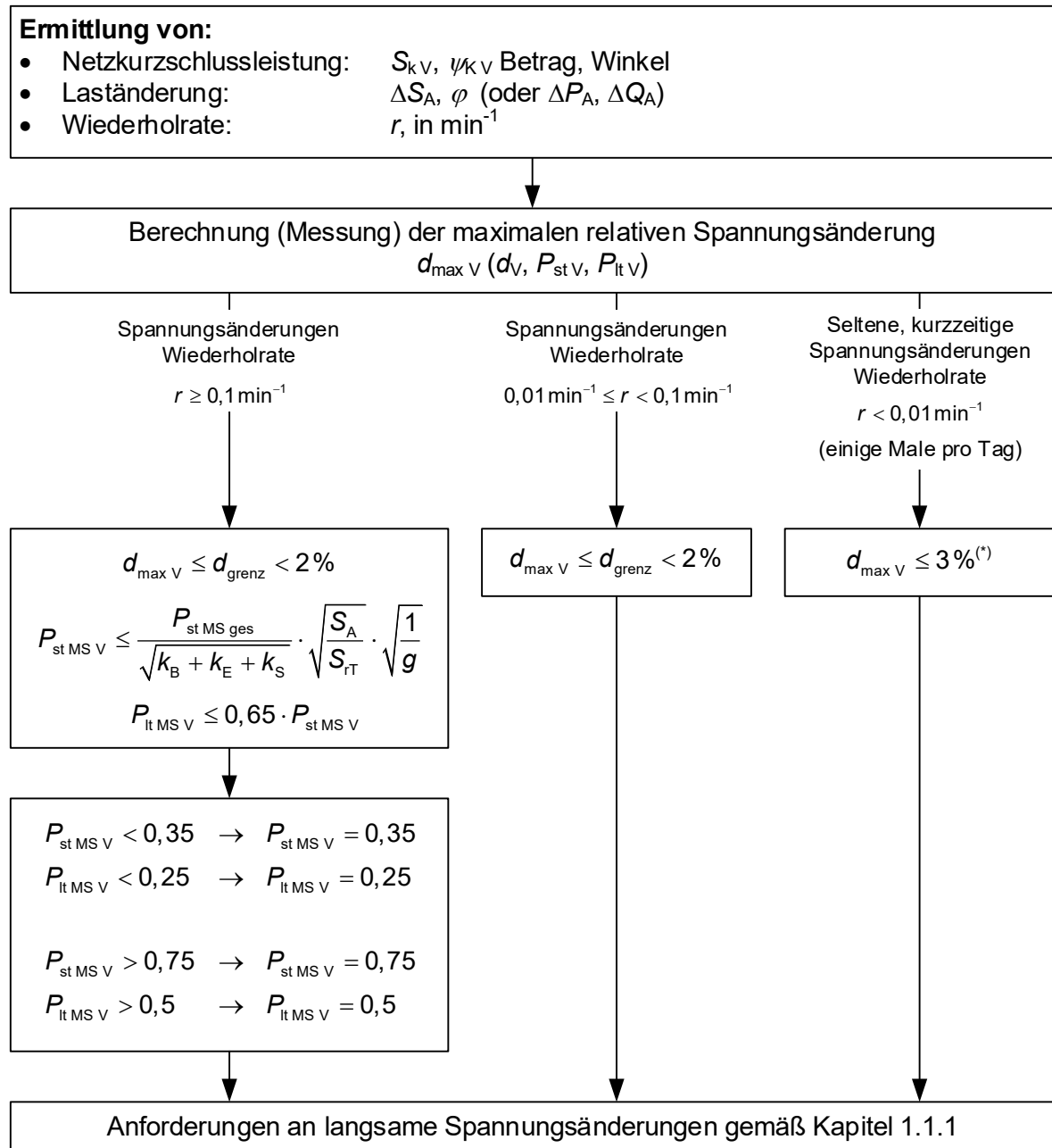
Tab. 1-2 Grenzwerte des Leistungsverhältnisses bei verschiedenen Wiederholraten

Wiederholrate r / min^{-1}	Leistungsverhältnis $S_{kV} / \Delta S_A$
$r > 500$	$k \cdot 1000$
$10 \leq r \leq 500$	$135 \cdot k \cdot \sqrt[3]{r / \text{min}^{-1}}$
$r < 10$	$k \cdot 300$

1.3.3 Schema zur Bestimmung der Emissionsgrenzwerte

Für jede Anlage eines Netzbenutzers, welche die Bedingungen der detaillierten Beurteilung nicht erfüllt, ist eine individuelle Vorgabe von Emissionsgrenzwerten vorgesehen. Dies ist notwendig, da Anlagen von Netzbenutzern mit größerer Leistung ein größeres Netzgebiet beeinflussen können.

Das Schema zur Vorgehensweise bei der Berechnung der Emissionsgrenzwerte zeigt Abb. 1-2. Die Einhaltung der Anforderungen für langsame Spannungsänderungen ist zusätzlich erforderlich.



(*) nach Rücksprache mit dem Netzbetreiber

Abb. 1-2 Schema zur Bestimmung der Emissionsgrenzwerte für schnelle Spannungsänderungen und Flicker

Die angegebenen Emissionsgrenzwerte sind Richtwerte, die in Abhängigkeit von der Anzahl der Flicker erzeugenden Lasten ggf. reduziert werden müssen.

1.3.4 Zusätzliche Hinweise für die Beurteilung

Die Beurteilung der Anlage eines Netzbenutzers hat unter den folgenden Gesichtspunkten zu erfolgen:

- Bei der Festlegung der Langzeit-Flickerstärke der Anlage eines Netzbenutzers muss berücksichtigt werden, dass durch die Überlagerung mit Anlagen anderer Netzbenutzer und dem Flickeranteil aus dem übergeordneten Netz, der Summenpegel den gewählten Planungspegel an allen Verknüpfungspunkten im MS-Netz einhält.
- Maßgebend für das Verhalten einer Anlage ist die Kurzschlussleistung am Anschlusspunkt. Die am Anschlusspunkt erhaltenen Werte für Δu , d , P_{st} , P_{lt} sind auf den Verknüpfungspunkt umzurechnen.
- Die Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt S_{kV} bzw. am Anschlusspunkt S_{kAP} wird nach Teil A: Grundlagen Abschnitt 3 berechnet. Zur Ermittlung der relativen Spannungsänderung ist zusätzlich die Kenntnis der Laständerung in Form der Scheinleistungsänderung ΔS_A der Anlage des Netzbenutzers oder des zu beurteilenden Gerätes erforderlich.
- Die Wiederholrate r ist bei der Beurteilung der Spannungsänderung zu berücksichtigen. Die maximale Spannungsänderung d_{max} durch den Betrieb der Anlage eines Netzbenutzers errechnet sich aus jener Leistungsänderung, die den größten Spannungssprung bzw. die größte Flickerstärke bewirkt.
- Es ist jene verkettete Spannung auszuwählen, in welcher die größten Spannungsänderungen auftreten. Nicht flickerwirksame transiente Spannungsänderungen sind für die Ermittlung von $d_{max,i}$ nicht zu berücksichtigen.
- Die Störaussendung der Anlage eines Netzbenutzers ist die Spannungsänderung d bzw. die Kurzzeit-Flickerstärke P_{st} , die allein durch die Laständerung dieser Anlage am Verknüpfungspunkt verursacht wird.
- Die Beobachtungszeit muss insbesondere den Teil der gesamten Betriebsdauer enthalten, in welcher die ungünstigste Folge von Spannungsänderungen erzeugt wird.
- Die Kurzzeit-Flickerstärke P_{st} im Netz bzw. der resultierende Spannungsänderungsverlauf $d(t)$ ist das Ergebnis der Summenwirkung der Anlagen aller Netzbenutzer im Netz und ist dementsprechend stets höher als die entsprechenden Werte der Anlage eines einzelnen Netzbenutzers.
- Bei der Beurteilung von bereits vorhandenen Anlagen von Netzbenutzern sind sowohl die maximalen Werte von d als auch von P_{st} und P_{lt} durch Messung zu ermitteln. Insbesondere bei stochastischen Spannungsänderungen unregelmäßiger Höhe und Form kann eine sichere Beurteilung nur durch Messung erfolgen.
- Für Laständerungen, die nur einige Male am Tag auftreten (z.B. Zuschalten großer Lasten in der Anlage des Netzbenutzers), sind die Flicker-Grenzwerte nicht anzuwenden. Für seltene Laständerungen mit $r < 0,01 \text{ min}^{-1}$ können höhere Spannungsänderungen zugelassen werden (siehe Abb. 1-2).

1.3.5 Nachweisverfahren

Zur Überprüfung der zulässigen Störemission der Anlage eines Netzbenutzers bzw. zur Überprüfung der gesamten Störemission der Anlagen aller Netzbenutzer sind die 95-%-Wahrscheinlichkeitswerte über eine Woche zu beurteilen:

- $P_{lt\ 95\%}$ und $P_{st\ 95\%}$ dürfen an keinem Verknüpfungspunkt im Netz die zulässigen Werte P_{lt} und P_{st} überschreiten.
Außerdem darf kein Einzelwert der Kurzzeit-Flickerstärke größer als $1,3 \cdot P_{st}$ sein.
- $P_{lt\ ges\ 95\%}$ und $P_{st\ ges\ 95\%}$ dürfen an keinem Verknüpfungspunkt im Netz die zulässigen Werte $P_{lt\ ges}$ und $P_{st\ ges}$ überschreiten.
Außerdem darf kein Einzelwert der Kurzzeit-Flickerstärke größer als $1,3 \cdot P_{st\ ges}$ sein.

Anmerkung:

Bei dem messtechnischen Nachweis ist ggf. der Hintergrundpegel zu berücksichtigen.

2. Unsymmetrie

Die Bestimmung von Emissionsgrenzwerten der Anlage eines Netzbenutzers geht im Grundsatz von einer Allokation zulässiger Beiträge zum Unsymmetriegrad der Spannung aus. Zur einfacheren Bewertung werden diese üblicherweise als Gegensystemströme der Anlage des Netzbenutzers ausgedrückt.

Besteht die Anlage eines Netzbenutzers aus unsymmetrisch angeschlossenen Erzeugungseinheiten und/oder Speichereinheiten und/oder Verbrauchsgeräten, sind diese derart auf die Außenleiter zu verteilen, so dass im Betrieb die unsymmetrische Leistung der Anlage des Netzbenutzers möglichst gering ist.

2.1 Planungspegel

Als Richtwert für den Planungspegel des Unsymmetriegrades der Spannung ist in [IEC 61000-3-13] $L_{U2} = 1,8 \%$ angegeben.

2.2 Emissionsgrenzwerte

Die Gleichung zur Berechnung des Emissionsgrenzwertes einer Anlage des Netzbenutzers am Verknüpfungspunkt basiert auf der gleichen Methodik wie für Anlagen zum Anschluss an das NS-Netz:

$$I_{2V} = \frac{s}{1000} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_B + k_E + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (2-1)$$

S_A	Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers
S_{kV}	Kurzschlussleistung
k_B	Bezugsfaktor
k_E	Erzeugerfaktor
k_S	Speicherfaktor
I_{2V}	zulässiger Gegensystemstrom der Anlage des Netzbenutzers
I_A	Anlagenstrom
s	Proportionalitätsfaktor der Unsymmetrie

Der Proportionalitätsfaktor s wird maßgeblich durch die Charakteristik des MS-Netzes bestimmt und hängt u.a. von der Länge der Abgänge, von den Unterschieden in der Länge zwischen den Abgängen sowie der Verteilung der Anlagen der Netzbutzer innerhalb der Abgänge ab. Die Charakteristik des MS-Netzes wird durch die kleinste minimale Kurzschlussleistung von allen Netzknotenpunkten im betrachteten MS-Netz und die vereinbarte Versorgungsspannung berücksichtigt. Tab. 2-1 gibt Richtwerte für den Proportionalitätsfaktor.

Tab. 2-1 Richtwerte für den Proportionalitätsfaktor s in Abhängigkeit der vereinbarten Versorgungsspannung und der kleinsten minimalen Kurzschlussleistung im MS-Netz

U_c	Proportionalitätsfaktor s					
	30	25	20	15	10	
$\leq 10 \text{ kV}$	$> 60 \text{ MVA}$	$60 \dots 35 \text{ MVA}$	$35 \dots 25 \text{ MVA}$	$25 \dots 10 \text{ MVA}$	$< 10 \text{ MVA}$	Kleinste minimale Kurzschlussleistung
$> 10 \text{ kV}$	$> 155 \text{ MVA}$	$155 \dots 90 \text{ MVA}$	$90 \dots 55 \text{ MVA}$	$55 \dots 30 \text{ MVA}$	$< 30 \text{ MVA}$	

Sind keine näheren Angaben zum Aufbau des Netzes bekannt, so wird für den Proportionalitätsfaktor ein Wert von $s = 15$ empfohlen.

Anstelle des zulässigen Gegensystemstromes kann auch die zulässige unsymmetrische Leistung berechnet und als Grenzwert vorgegeben werden:

$$S_{A\text{ un}} = \frac{s}{1000} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_B + k_E + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot S_A \quad (2-2)$$

s	Proportionalitätsfaktor der Unsymmetrie
$S_{A\text{ un}}$	zulässige unsymmetrische Leistung der Anlage des Netzbenutzers
S_A	Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers
S_{kV}	Kurzschlussleistung
k_B	Bezugsfaktor
k_E	Erzeugerfaktor
k_S	Speicherfaktor

Anmerkung 1:

Die Faktoren k_B , k_E , k_S werden phänomenunabhängig festgelegt.

Anmerkung 2:

Sind die Faktoren k_B , k_E , k_S nicht bekannt, kann für Netze in denen kein Anschluss von Erzeugungs- und Speicheranlagen zu erwarten ist, $k_B + k_E + k_S = 1$ angenommen werden. Ist es nicht auszuschließen, dass in einem Netz Erzeugungs- und Speicheranlagen angeschlossen werden, wird die Annahme von $k_B + k_E + k_S = 1,35$ empfohlen.

Bei Kenntnis der entsprechenden Parameter kann ein spezifischer Proportionalitätsfaktor s gemäß folgender Gleichung bestimmt werden:

$$s = \sqrt{1 - k_{NMS}} \cdot \frac{k_{uSS} \cdot G_{unMS}}{\sqrt{u_k}} \cdot 1000 \quad (2-3)$$

s	Proportionalitätsfaktor der Unsymmetrie
k_{NMS}	für das MS-Netz reservierter Anteil am anteiligen Beitrag
k_{uSS}	Reduktionsfaktor, abhängig von der Netzcharakteristik
G_{unMS}	anteiliger Beitrag im MS-Netz
u_k	Kurzschlussspannung des HS/MS-Transformators

Der Wertebereich für den anteiligen Beitrag im MS-Netz G_{unMS} (0,9 % .. 1,4 %) ergibt sich unter Annahme des Planungspegels für den Unsymmetriegrad der Spannung im HS-Netz nach [IEC 61000-3-13], dem Planungspegel für den Unsymmetriegrad der Spannung im MS-Netz nach [IEC 61000-3-13] sowie realistischen Wertebereichen für den Summationsexponent α (1,4 .. 2,0) und den Transferkoeffizienten zwischen HS- und MS-Netz (0,8 .. 0,9).

Der Reduktionsfaktor k_{uSS} kann dabei mit folgender Näherungsformel abgeschätzt werden:

$$k_{uSS} = a + b \cdot \ln \left(\frac{S_{k\min}}{\text{MVA}} \right) \quad (2-4)$$

$S_{k\min}$	kleinste minimale Kurzschlussleistung aller Anschlusspunkte im gesamten Netz
k_{uSS}	Reduktionsfaktor, abhängig von der Netzcharakteristik
a, b	Parameter lt. Tab. 2-2

Die Parameter für Gleichung (2-4) sind in Tab. 2-2 aufgeführt.

Tab. 2-2 Parameter zur Abschätzung des Reduktionsfaktors $k_{un\ SS}$ im MS-Netz

U_c	a	b
$\leq 10\text{ kV}$	-0,31	0,28
$> 10\text{ kV}$	-0,57	0,28

Richtwerte für $k_{N\ MS}$ sind in [IEC 61000-3-13] angegeben. Die Werte nach Tab. 2-1 gelten für $k_{N\ MS} = 0$.

Soll der Wert für $k_{u\ SS}$ mit höherer Genauigkeit bestimmt werden, kann in Analogie zur NS das in [IEC 61000-3-14] beschriebene Verfahren zur Berechnung von $k_{u\ SS}$ angewendet werden. Nach diesem Verfahren ist der Wert für $k_{u\ SS}$ nach jeder zusätzlich angeschlossenen Anlage eines Netzbenutzers bzw. bei Änderungen des Netzaufbaus neu zu bestimmen.

[IEC 61000-3-13] beschreibt ein alternatives Verfahren zur Berechnung von Emissionsgrenzwerten, welches zu ähnlichen, etwas konservativeren Emissionsgrenzwerten wie das in diesem Abschnitt beschriebene Verfahren führt.

2.3 Beurteilung

2.3.1 Vereinfachte Beurteilung (Stufe 1)

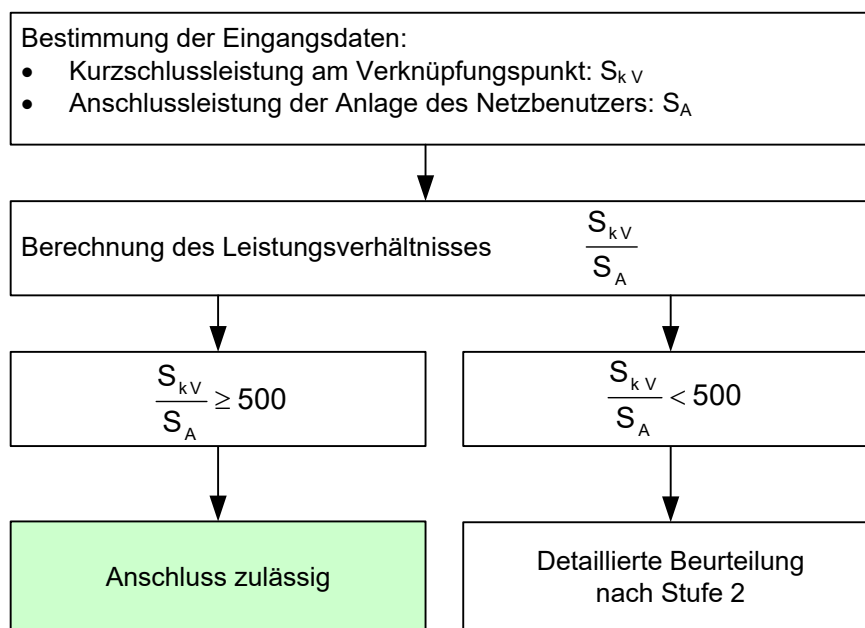


Abb. 2-1 Schema vereinfachte Beurteilung Unsymmetrie

Anmerkung:

Unter der Annahme, dass die unsymmetrische Leistung der Anlage eines Netzbenutzers unter bestimmten Umständen auch der Anschlussleistung der Anlage eines Netzbenutzers entsprechen kann, ergibt sich für das Verhältnis $S_{kV}/S_A = 500$ ein Beitrag zum Unsymmetriegrad der Spannung von $k_{U2} \approx 0,2\%$.

2.3.2 Detaillierte Beurteilung (Stufe 2)

Sind Angaben über den Anteil symmetrischer Einzelgeräte bzw. Einheiten innerhalb der Anlage des Netzbenutzers bekannt, so kann auf Basis folgender Gleichungen ein Grenzverhältnis $S_{A \text{ unsym}}/S_A$ angegeben werden, wobei alle Leistungen positiv einzusetzen sind:

$$\frac{S_{A \text{ unsym}}}{S_A} = \frac{1}{\sqrt{500}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \quad (2-5)$$

$$S_{A \text{ unsym}} = (S_{AB} - S_{AB \text{ sym}}) + (S_{AE} - S_{AE \text{ sym}}) + (S_{AS} - S_{AS \text{ sym}}) \quad (2-6)$$

$S_{A \text{ unsym}}$	<i>unsymmetrischer Anteil der Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers</i>
S_{AB}	<i>Gesamtleistung aller Bezugseinheiten der Anlage des Netzbenutzers</i>
$S_{AB \text{ sym}}$	<i>symmetrisch angeschlossene Leistung der Bezugseinheiten der Anlage des Netzbenutzers</i>
S_{AE}	<i>Gesamtleistung aller Erzeugungseinheiten der Anlage des Netzbenutzers</i>
$S_{AE \text{ sym}}$	<i>symmetrisch angeschlossene Leistung der Erzeugungseinheiten der Anlage des Netzbenutzers</i>
S_{AS}	<i>Gesamtleistung aller Speichereinheiten der Anlage des Netzbenutzers</i>
$S_{AS \text{ sym}}$	<i>symmetrisch angeschlossene Leistung der Speichereinheiten der Anlage des Netzbenutzers</i>
S_A	<i>Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers</i>
S_{kV}	<i>Kurzschlussleistung</i>

Anmerkung:

Der unsymmetrische Anteil der Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers $S_{A \text{ unsym}}$ steht in keinem Zusammenhang mit der unsymmetrischen Leistung $S_{A \text{ un}}$. Übersteigt $S_{A \text{ unsym}}$ den Betrag von S_A so ist $S_{A \text{ unsym}}$ gleich S_A zu setzen.

Alternativ kann zur Beurteilung nachstehendes Diagramm (Abb. 2-2) verwendet werden. Der Anschluss der Anlage des Netzbenutzers ist zulässig, wenn das Wertepaar $[S_{A \text{ unsym}}/S_A; S_{kV}/S_A]$ im Diagramm unterhalb der markierten Kurve liegt.



Abb. 2-2 Diagramm für die detaillierte Beurteilung

Der Anschluss der Anlage des Netzbewers ist ohne Maßnahmen zulässig, wenn das Wertepaar $[S_{kV}/S_A; S_{A unsym}/S_A]$ im Diagramm in Abb. 2-2 unterhalb der markierten Kurve liegt. Falls das Wertepaar $[S_{kV}/S_A; S_{A unsym}/S_A]$ im Bereich oberhalb der markierten Kurve liegt, ist ein Emissionsgrenzwert gemäß Gleichung (2-1) zu berechnen, welcher von der Anlage des Netzbewers einzuhalten ist.

Es ist zu empfehlen, einen Emissionsgrenzwert (Absolutwert des Gegensystemstromes I_{2V} bzw. unsymmetrische Leistung $S_{A un}$) für die Anlage eines Netzbewers auch vorzugeben, wenn die Anlage des Netzbewers im zulässigen Bereich liegt.

Anmerkung:

Schließt man bspw. an einem Anschlusspunkt mit einer Kurzschlussleistung von 80 MVA eine Anlage des Netzbewers mit einer Anschlussleistung von 400 kVA an, so muss der Anteil an symmetrisch angeschlossener Leistung mindestens 36,8 % (147 kVA) betragen.

Gleichung (2-1) kann zu unverhältnismäßig kleinen Emissionsgrenzwerten führen. Deshalb wird jeder Anlage des Netzbewers unabhängig von ihrer Größe ein Beitrag zum Unsymmetriegrad der Spannung von $k_{U2} = 0,2\%$ zugestanden. Der zulässige Gegensystemstrom I_{2V} ergibt sich dann zu

$$I_{2V} = \frac{1}{500} \cdot \frac{S_{kV}}{\sqrt{3} \cdot U_V} \quad (2-7)$$

S_{kV}	Kurzschlussleistung
I_{2V}	zulässiger Gegensystemstrom der Anlage des Netzbewers
U_V	verkettete Spannung

Die entsprechende unsymmetrische Leistung berechnet sich nach

$$S_{A un} = \frac{1}{500} \cdot S_{kV} \quad (2-8)$$

S_{kV}	Kurzschlussleistung
$S_{A un}$	unsymmetrische Leistung der Anlage des Netzbewers

3. Harmonische, Zwischenharmonische, Supraharmonische

Die Bestimmung von Emissionsgrenzwerten der Anlage des Netzbenutzers geht im Grundsatz von einer Allokation zulässiger Beiträge zur Verzerrung der Spannung aus. Zur einfacheren Bewertung werden diese üblicherweise als harmonische, zwischenharmonische oder supraharmonische Ströme der Anlage des Netzbenutzers ausgedrückt.

Werden Nieder- und Mittelspannungsnetze typischerweise als einfach gespeiste Strahlennetze (bzw. offene Ringe) betrieben, ist ein Hochspannungsnetz üblicherweise vermascht und wird durch mehrere Einspeisepunkte versorgt. Die Gleichungen zur Berechnung der Emissionsgrenzwerte unterscheiden sich deshalb zwischen Nieder-/Mittelspannung und Hochspannung.

3.1 Harmonische

3.1.1 Planungspegel

Richtwerte für Planungspegel für Oberschwingungsspannungen in öffentlichen Mittelspannungsnetzen sind in [IEC 61000-3-6] angegeben.

Tab. 3-1 Planungspegel für die Oberschwingungsanteile der Spannung in öffentlichen Mittelspannungsnetzen

ungeradzahlige Oberschwingungen				geradzahlige Oberschwingungen	
keine Vielfache von 3		Vielfache von 3 ^{a)}			
ν	Oberschwingungsspannung in %	ν	Oberschwingungsspannung in %	ν	Oberschwingungsspannung in %
5	5,0	3	4,0	2	1,8
7	4,0	9	1,0	4	1,0
11	3,0	15	0,3	6	0,5
13	2,5	21	0,2	8	0,5
$17 \leq \nu \leq 37$	$1,9 \cdot \left(\frac{17}{\nu}\right) - 0,2$	$27 \leq \nu \leq 39$	0,2	$10 \leq \nu \leq 40$	$0,25 \cdot \left(\frac{10}{\nu}\right) + 0,22$

3.1.2 Emissionsgrenzwerte

Alle Grenzwerte für Oberschwingungen mit der Ordnungszahl ν beziehen sich auf die entsprechende harmonische Untergruppe gemäß [EN 61000-4-7].

Die allgemeine Gleichung zur Berechnung des Emissionsgrenzwertes einer Stromharmonischen der Ordnungszahl ν einer Anlage des Netzbenutzers am Verknüpfungspunkt lautet:

$$I_{\nu \text{ zul V}} = \frac{p_{\nu}}{1000} \cdot \frac{1}{k_{\nu}} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_B + k_E + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_{KV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-1)$$

- p_{ν} Proportionalitätsfaktor für Harmonische der Ordnung ν
 $I_{\nu \text{ zul V}}$ zulässiger Oberschwingungsstrom der Anlage des Netzbenutzers
 I_A Anlagenstrom der Anlage des Netzbenutzers
 S_{KV} Kurzschlussleistung

S_A	Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers
k_v	Resonanzfaktor für die Harmonische mit der Ordnungszahl v
k_B	Bezugsfaktor
k_E	Erzeugerfaktor
k_S	Speicherfaktor

Anmerkung 1:

Die Faktoren k_B , k_E , k_S werden phänomenunabhängig festgelegt.

Anmerkung 2:

Sind die Faktoren k_B , k_E , k_S nicht bekannt, kann für Netze in denen kein Anschluss von Erzeugungs- und Speicheranlagen zu erwarten ist, $k_B + k_E + k_S = 1$ angenommen werden. Ist es nicht auszuschließen, dass in einem Netz Erzeugungs- und Speicheranlagen angeschlossen werden, wird die Annahme von $k_B + k_E + k_S = 1,35$ empfohlen.

Anmerkung 3:

Als Resonanzfaktor wird $k_v = 1,5$ für alle Oberschwingungen von 2. bis 19. Ordnung empfohlen. Für Harmonische größer 19. Ordnung wird $k_v = 1,0$ empfohlen.

Anmerkung 4:

Für MS-Netze ist die Anwendung des Impedanzwinkelfaktors k_{XR} nicht vorgesehen. Sollte jedoch für einen Anschlusspunkt das X/R-Verhältnis kleiner 2,5 sein, ist es dem Netzbetreiber vorbehalten, den Impedanzwinkelfaktor k_{XR} bei der Berechnung in gleicher Weise wie in den Anforderungen für den Anschluss von Anlagen von Netzbenutzern an das NS-Netz anzuwenden.

Tab. 3-2 enthält Richtwerte für den Proportionalitätsfaktor p_v .

Tab. 3-2 Richtwerte für den Proportionalitätsfaktor p_v zur Berechnung der zulässigen Oberschwingungsströme

v	p_v	v	p_v	v	p_v
2	4,8	15	0,4	28	0,3
3	5,1	16	0,6	29	0,7
4	2,6	17	2,1	30	0,3
5	12,4	18	0,5	31	0,6
6	1,0	19	1,6	32	0,2
7	7,4	20	0,4	33	0,1
8	0,9	21	0,2	34	0,2
9	1,2	22	0,4	35	0,5
10	1,1	23	1,2	36	0,2
11	4,3	24	0,3	37	0,5
12	0,8	25	1,0	38	0,2
13	3,1	26	0,3	39	0,1
14	0,7	27	0,1	40	0,2

Es wird empfohlen die k -Faktoren in Gleichung (3-1) individuell für das betrachtete Netz zu bestimmen.

Unter Berücksichtigung dieser vereinfachenden Annahmen ($k_B + k_E + k_S = 1$) ist zur Berechnung der zulässigen Oberschwingungsgrenzwerte folgende, vereinfachte Gleichung anwendbar:

$$v = 2 \dots 19: \quad I_{v \text{ zul}} = \frac{p_v}{1500} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-2)$$

$$v > 19: \quad I_{v \text{ zul}} = \frac{p_v}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-3)$$

Soll die konservativere Annahme $k_B + k_E + k_S = 1,35$ verwendet werden, ist zur Berechnung der zulässigen Oberschwingungsgrenzwerte folgende, vereinfachte Gleichung anwendbar:

$$v = 2 \dots 19: \quad I_{v \text{ zul}} = \frac{p_v}{1743} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-4)$$

$$v > 19: \quad I_{v \text{ zul}} = \frac{p_v}{1162} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-5)$$

3.1.3 Beurteilung

3.1.3.1 Vereinfachte Beurteilung (Stufe 1)

Die vereinfachte Beurteilung erfolgt gemäß dem Ablaufschema in Abb. 3-1.

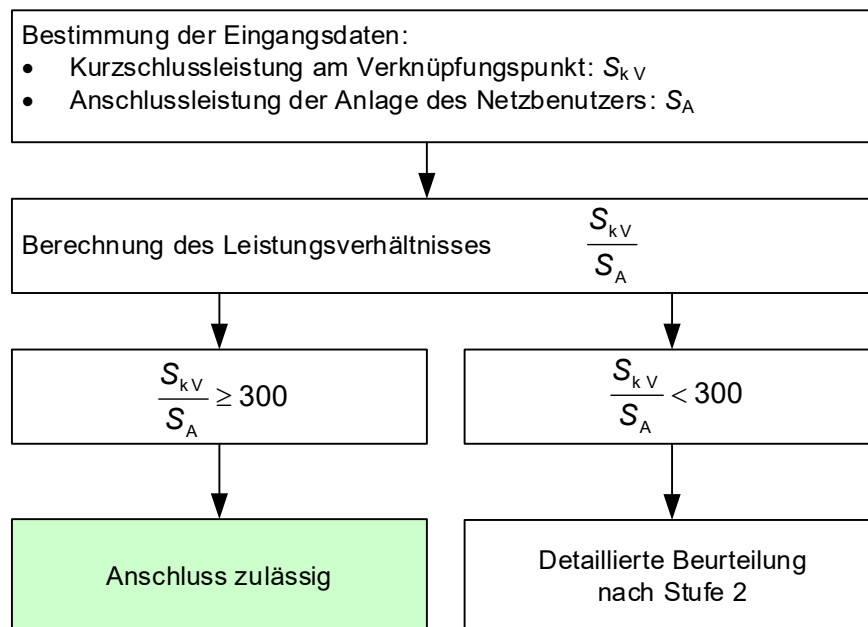


Abb. 3-1 Schema zur vereinfachten Beurteilung

3.1.3.2 Detaillierte Beurteilung (Stufe 2)

Sind Angaben über den Anteil überschwingungserzeugender Einzelgeräte bzw. Einheiten innerhalb der Anlage des Netzbenedutzers bekannt, so kann auf Basis folgender Gleichungen ein Grenzverhältnis S_{OS}/S_A berechnet werden:

$$\frac{S_{OS}}{S_A} = \frac{1}{\sqrt{300}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \quad (3-6)$$

S_{OS}	<i>überschwingungserzeugender Anteil der Anschlussleistung der Anlage des Netzbenedutzers</i>
S_A	<i>Anschlussleistung der Anlage des Netzbenedutzers</i>
S_{kV}	<i>Kurzschlussleistung</i>

Die detaillierte Beurteilung beruht darauf, dass alle nennenswerten überschwingungserzeugenden Geräte in der Anlage eines Netzbenedutzers zu einer resultierenden überschwingungserzeugenden Gesamtleistung S_{OS} zusammengefasst werden.

Zur Bestimmung des überschwingungserzeugenden Anteils der Anschlussleistung der Anlage des Netzbenedutzers werden unter Berücksichtigung ggf. vorhandener Gleichzeitigkeiten alle überschwingungserzeugenden Geräte in drei Gruppen gemäß Abschnitt 6.7 im Teil A: Grundlagen eingeteilt und deren Gesamtleistung nach folgender Gleichung bestimmt.

$$S_{OS} = \frac{1}{2} \cdot S_{Gr1} + S_{Gr2} + 2 \cdot S_{Gr3} \quad (3-7)$$

S_{OS}	<i>überschwingungserzeugender Anteil der Anschlussleistung der Anlage des Netzbenedutzers</i>
S_{Gr1}	<i>Gesamtleistung aller Geräte, welche der Gruppe 1 ($THDi \leq 25\%$) zugeordnet sind</i>
S_{Gr2}	<i>Gesamtleistung aller Geräte, welche der Gruppe 2 ($25\% < THDi \leq 50\%$) zugeordnet sind</i>
S_{Gr3}	<i>Gesamtleistung aller Geräte, welche der Gruppe 3 ($THDi > 50\%$) zugeordnet sind</i>

Übersteigt S_{OS} den Betrag von S_A so ist S_{OS} gleich S_A zu setzen. Bei der Summenbildung werden die Bemessungsleistungen verwendet. Enthält eine Anlage des Netzbenedutzers neben überschwingungserzeugenden Verbrauchsgeräten auch überschwingungserzeugende Geräte für Erzeugung und/oder Speicherung, sind deren Bemessungsleistungen ohne Vorzeichen zu berücksichtigen.

Die detaillierte Beurteilung erfolgt gemäß dem Ablaufschema in Abb. 3-2.

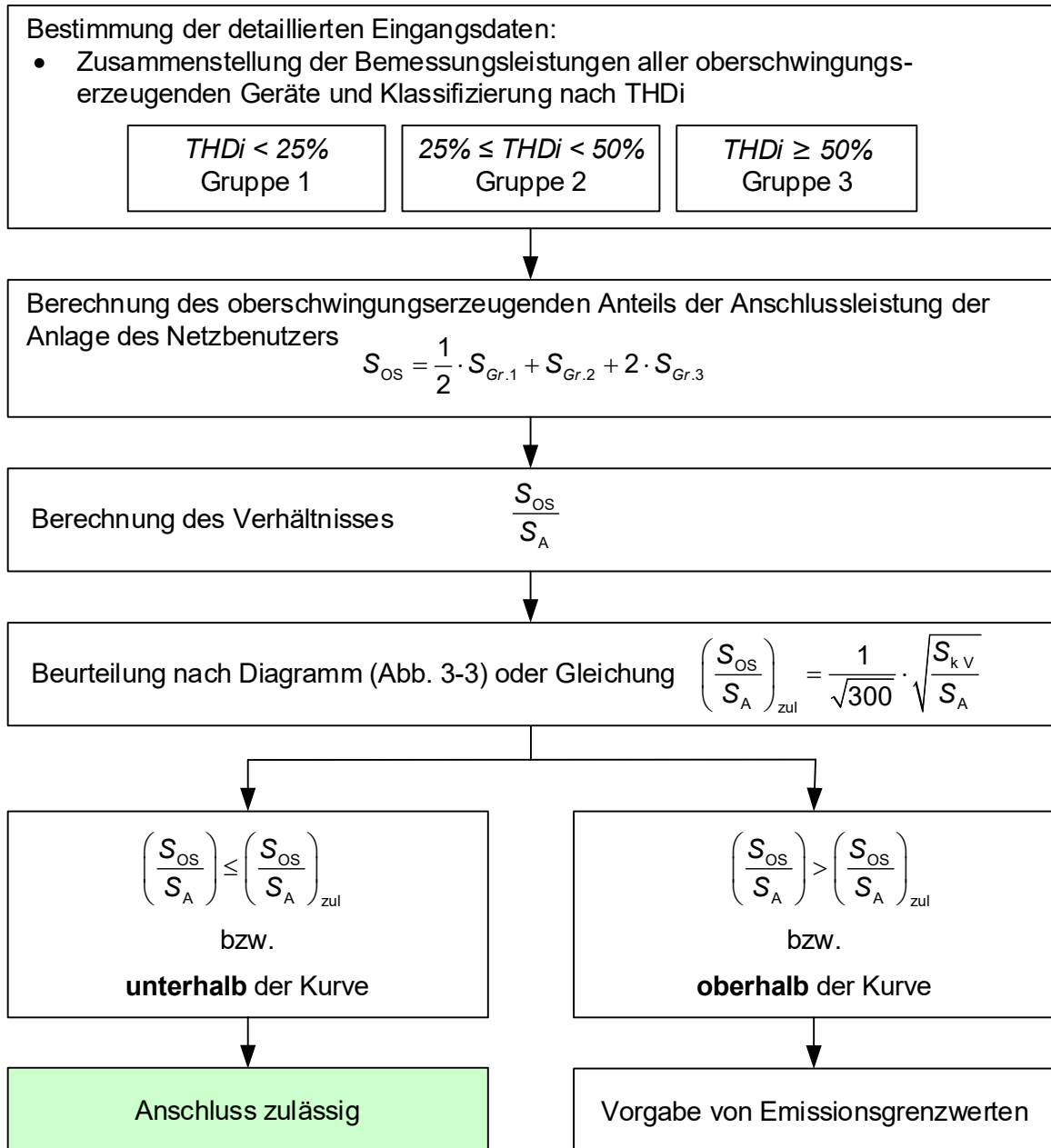


Abb. 3-2 Schema zur detaillierten Beurteilung

Der Anschluss der Anlage des Netzbenutzers ist ohne Maßnahmen zulässig, wenn das Wertepaar $[S_{kV}/S_A; S_{OS}/S_A]$ im Diagramm in Abb. 3-3 unterhalb der markierten Kurve liegt. Falls das Wertepaar $[S_{kV}/S_A; S_{OS}/S_A]$ im Bereich oberhalb der markierten Kurve liegt, sind entsprechende Emissionsgrenzwerte zu berechnen, welcher von der Anlage des Netzbenutzers einzuhalten ist.

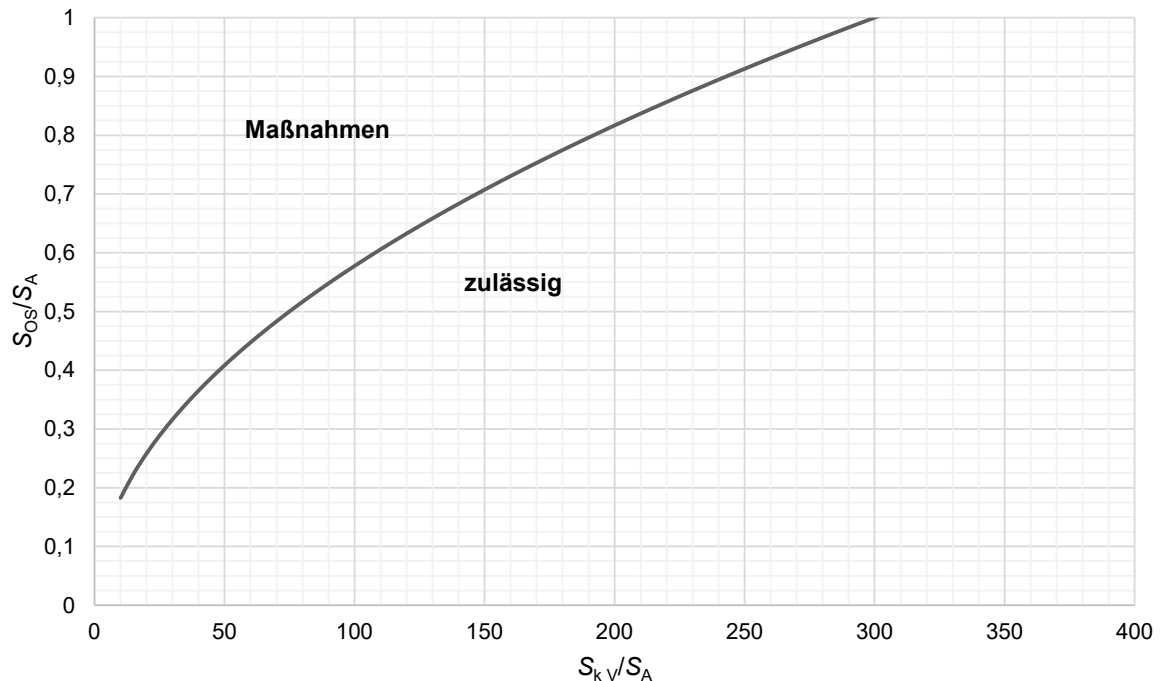


Abb. 3-3 Diagramm für die Beurteilung bei genauerer Kenntnis des überschwingungserzeugenden Anteils der Leistung der Anlage eines Netzbenutzers

3.2 Zwischenharmonische

3.2.1 Planungspegel

Richtwerte für Planungspegel für Zwischenharmonische sind auf internationaler Ebene in Erarbeitung.

3.2.2 Emissionsgrenzwerte

Alle Grenzwerte für Zwischenharmonische mit der Ordnungszahl μ beziehen sich auf die entsprechende zwischenharmonische Untergruppe gemäß [EN 61000-4-7].

Die allgemeine Gleichung zur Berechnung der Emissionsgrenzwerte lautet:

$$I_{\mu \text{ zul}} = \frac{1}{k_{\mu}} \cdot \frac{g_{\mu}}{100} \cdot \frac{S_{kV}}{S_A} \cdot I_A \quad (3-8)$$

g_{μ}	Proportionalitätsfaktor für Zwischenharmonische der Ordnung μ
$I_{\mu \text{ zul}}$	zulässiger zwischenharmonischer Strom
I_A	Anlagenstrom der Anlage des Netzbenutzers
S_{kV}	Kurzschlussleistung
S_A	Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers
k_{μ}	Resonanzfaktor für die Zwischenharmonische mit der Ordnungszahl μ

Für die Zwischenharmonische μ der Anlage eines Netzbenutzers gelten die Proportionalitätsfaktoren g_μ nach Tabelle Tab. 3-3.

Tab. 3-3 Proportionalitätsfaktoren für die vereinfachte Berechnung der zulässigen zwischenharmonischen Ströme

μ	g_μ
1 .. 2	$0,1/(\mu+0,5)$
3 .. 30	$0,2/(\mu+0,5)$
31 .. 39	$0,3/(\mu+0,5)$
3 .. 39 ¹⁾	$0,1/(\mu+0,5)$

¹⁾ gilt für die Zwischenharmonische bei bzw. in der Nähe der Rundsteuerfrequenz (vgl. dazu auch Abschnitt 5.3)

Ergibt sich nach Gleichung (3-8) ein Grenzwert I_μ/I_A größer 2 %, so ist dieser Wert auf 2 % zu begrenzen.

3.2.3 Beurteilung

Eine Beurteilung auf Basis von Leistungsverhältnissen ist für Zwischenharmonische nicht vorgesehen.

3.3 Supraharmonische

3.3.1 Planungspegel

Richtwerte für Planungspegel für Supraharmonische sind auf internationaler Ebene in Erarbeitung.

3.3.2 Emissionsgrenzwerte

Alle Grenzwerte für Supraharmonische des Frequenzbandes b im Frequenzbereich 2 kHz bis 9 kHz beziehen sich auf das entsprechende 200-Hz-Band nach [EN 61000-4-7].

Für die Berechnung der maximal zulässigen supraharmonischen Ströme der Anlage eines Netzbenutzers ist folgende Gleichung anzuwenden.

$$I_{b\text{zul}} = \frac{1}{k_b} \cdot \frac{g_b}{100} \cdot \frac{S_{kV}}{S_A} \cdot I_A \quad (3-9)$$

$I_{b\text{zul}}$	zulässiger supraharmonischer Strom
k_b	Resonanzfaktor für die Supraharmonische mit der Mittenfrequenz b
S_{kV}	Kurzschlussleistung
S_A	Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers
g_b	Proportionalitätsfaktor für Supraharmonische im Frequenzband b

Der Proportionalitätsfaktor berechnet sich gemäß

$$g_b = 1,015 \cdot b^{-0,52} \cdot \left(\frac{0,05 \text{ kHz}}{b} \right) \quad (3-10)$$

b	Mittenfrequenz des Frequenzbandes b
-----	---------------------------------------

3.3.3 Beurteilung

Eine Beurteilung auf Basis von Leistungsverhältnissen ist für Supraharmonische nicht vorgesehen.

3.4 Nachweismessungen

Nachweismessungen zur Bewertung der Emission der Anlage eines Netzbenutzers sind möglichst am entsprechenden Punkt im MS-Netz durchzuführen. Wird vereinfachend an einem Punkt im NS-Netz gemessen (z.B. NS-Seite eines MS/NS-Transformators, wobei der Anschlusspunkt der Anlage des Netzbenutzers tatsächlich auf der MS-Seite des MS/NS-Transformators liegt), ist bei der Bewertung der Ströme zu beachten, dass bei Dy-Transformatoren keine Nullsysteme von der NS-Seite auf die MS-Seite übertragen werden. Dies gilt unabhängig von der Ordnungszahl der Harmonischen. Deshalb sind nullsystembildende Anteile (typischerweise Oberschwingungsströme mit durch 3 teilbarer Ordnungszahl) bei einer Messung auf der NS-Seite und Bewertung auf der MS-Seite nicht zu berücksichtigen. Soll der Beitrag der Anlage des Netzbenutzers zur Spannung bewertet werden, so sind die Messungen grundsätzlich am entsprechenden Punkt im MS-Netz durchzuführen. Wird dennoch aus Gründen der Vereinfachung auf der NS-Seite gemessen, so ist bei einer Überschreitung der Grenzwerte eine messtechnische Überprüfung auf der MS-Seite erforderlich.

Weitere Hinweise zu Nachweismessungen sind im Teil A: Grundlagen zu finden.

4. Kommutierungseinbrüche

4.1 Planungspegel

Planungspegel für Kommutierungseinbrüche werden nicht angegeben.

4.2 Emissionsgrenzwerte

Die relative Tiefe der Kommutierungseinbrüche d_{Kom} durch netzgeführte Umrichter in Bezugs-, Erzeugungs- oder Speichieranlagen darf am Verknüpfungspunkt im ungünstigsten Betriebszustand $d_{\text{Kom}} = 5 \%$ nicht überschreiten.

4.3 Beurteilung

Eine Anschlussbeurteilung hinsichtlich Kommutierungseinbrüchen ist nur für gesteuerte, netzgeführte Stromrichter notwendig.

Im MS - Netz kann der Kommutierungseinbruch in den meisten Fällen als solcher noch identifiziert werden. Er kann zudem von stark ausgeprägten Kommutierungsschwingungen überlagert sein, die jedoch in der Berechnung nicht berücksichtigt werden. Die Tiefe der Kommutierungseinbrüche kann nach Gleichung (4-1) hinreichend genau ermittelt werden.

$$d_{\text{Kom}} = K \cdot \sin \alpha \cdot \frac{6}{p} \cdot \left(u_{\text{k Kom}} \cdot \frac{S_{\text{kV}}}{S_{\text{SRA}}} + 1 \right)^{-1} \quad (4-1)$$

Bei der Beurteilung ist immer der ungünstigste, im Betrieb auftretende Steuerwinkel anzunehmen. Dabei sind auch Anfahrvorgänge zu berücksichtigen. Bei Verwendung eines Drehstromtransformators mit der unüblichen Schaltgruppe Dd5 oder Yy0 (Stern-Stern) gilt der Faktor $K = \sqrt{3}/2$. Bei Anschluss mit der üblicheren Transformatorschaltgruppe Dy5 oder Yd5 (Stern-Dreieck) gilt $K = 1$.

Durch vereinfachende Annahmen ($K = 1$, $\alpha = 90^\circ$, $p = 6$) ergibt sich:

$$d_{\text{Kom}} = \left(u_{\text{k Kom}} \cdot \frac{S_{\text{kV}}}{S_{\text{SRA}}} + 1 \right)^{-1} \quad (4-2)$$

d_{Kom}	relative Tiefe eines Kommutierungseinbruches (period. transienter Spannungseinbruch)
K	Anschlussfaktor in Abhängigkeit der Anschlussart bzw. Transformatorschaltgruppe
$u_{\text{k Kom}}$	relative Kurzschlussleistung der Kommutierungsreaktanz
S_{kV}	Kurzschlussleistung
S_{SRA}	Anschlussleistung der Stromrichteranlage
p	Pulszahl des Stromrichters
α	Steuerwinkel des Stromrichters

Im Allgemeinen genügt es, jeden Stromrichter für sich zu betrachten, da die Wahrscheinlichkeit einer Überlagerung von Kommutierungseinbrüchen gering ist. Werden hingegen mehrere Stromrichter bewusst synchron betrieben, dann ist darauf zu achten, dass durch die Summenwirkung der Emissionsgrenzwert nicht überschritten wird.

Wenn sich bei einer messtechnischen Überprüfung herausstellt, dass die Kommutierungsschwingungen im Kommutierungsvorgang überwiegen und damit die Kommutierungseinbrüche nicht

mehr eindeutig zu identifizieren sind, ist eine zusätzliche Beurteilung von Harmonischen, Zwischenharmonischen und Supraharmonischen gemäß Kapitel 3 erforderlich.

4.3.1 Stufe 1 - Vereinfachte Beurteilung

Die vereinfachte Beurteilung erfolgt gemäß dem Ablaufschema in Abb. 4-1.

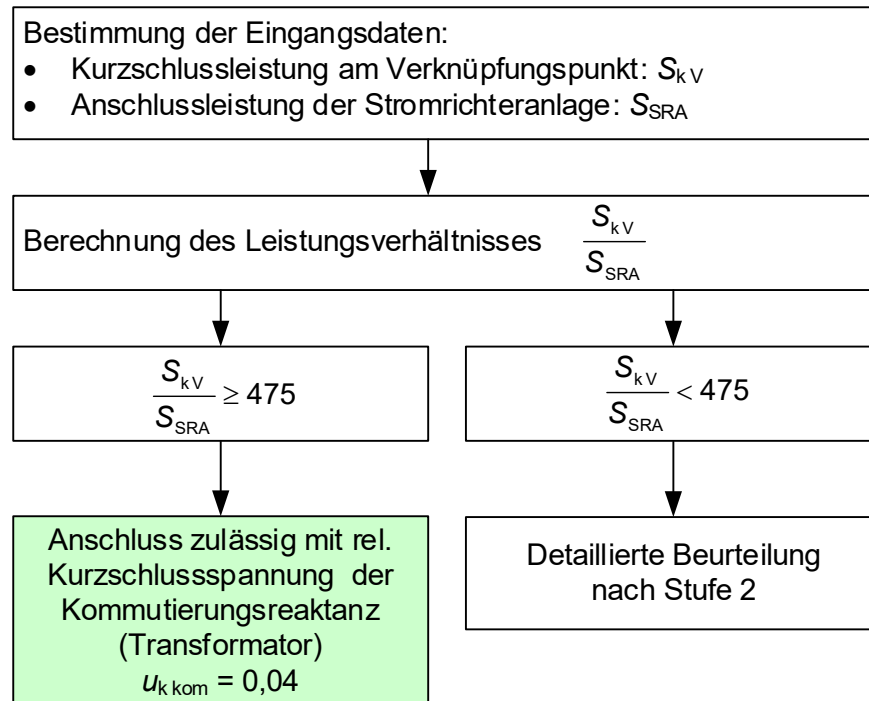


Abb. 4-1 Schema für die vereinfachte Beurteilung von Kommutierungseinbrüchen

Enthält die Anlage nur einen einzelnen Stromrichter mit bekannter Bemessungsleistung $S_{r\,Str}$, kann diese anstelle der Stromrichteranlagenleistung S_{SRA} bei der vereinfachten Beurteilung eingesetzt werden.

4.3.2 Stufe 2 - Detaillierte Beurteilung

Die detaillierte Beurteilung erfolgt gemäß dem Ablaufschema in Abb. 4-2.

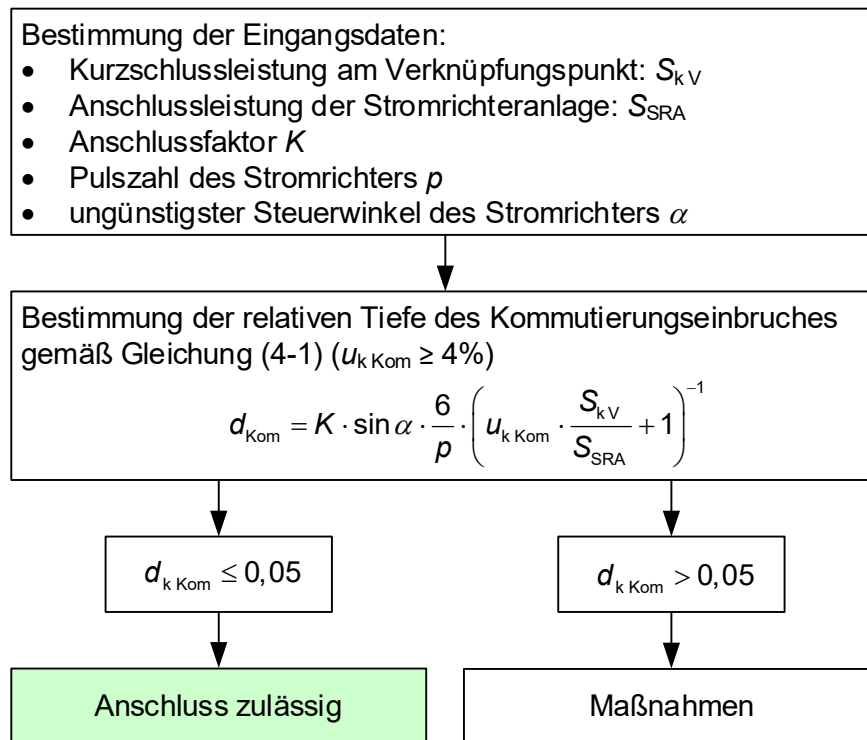


Abb. 4-2 Schema für die detaillierte Beurteilung von Kommutierungseinbrüchen

5. Signalspannungen

5.1 Signalpegel

Damit ein sicheres Ansprechen der Rundsteuerempfänger im Verteilnetz gewährleistet werden kann, muss der minimale Signalpegel bei allen Empfängern mit genügender Reserve über deren Funktionspegel liegen.

Unzulässig hohe Signalpegel können jedoch zu Störungen von Geräten bzw. Anlagen von Netzbenutzern führen, die hauptsächlich im unterlagerten NS-Netz angeschlossen sind. Verträglichkeitspegel für Netzkommunikation sind in [EN 61000-2-12] (Tab. 5-1) angegeben und sollten durch den Netzbetreiber nicht überschritten werden.

Tab. 5-1 Verträglichkeitspegel (Gegentakt) für Netzkommunikation gemäß [EN 61000-2-12]

	Frequenzbereich	Signalpegel
TRA	0,11 kHz – 0,5 kHz	9 % U_c
	0,5 kHz – 3 kHz	9 % - 1,5 % (logarithmisch abnehmend mit dem Logarithmus der Frequenz)
PLC	3 kHz – 20 kHz	in Beratung
	20 kHz – 148,5 kHz	in Beratung

5.2 Beurteilung

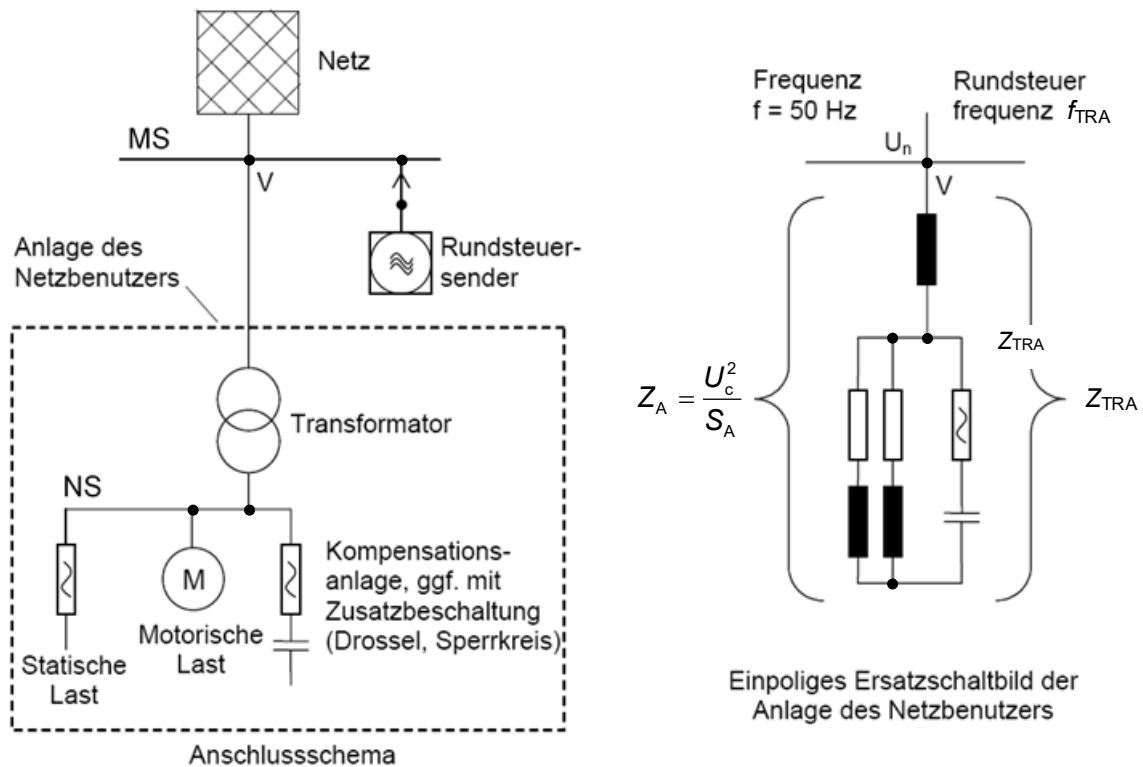
Für die Beurteilung sind einerseits Beeinflussungen des TRA-Pegels durch die frequenzabhängige Impedanz der Anlagen von Netzbenutzern bzw. Kompensationsanlagen sowie die Beeinflussung durch unbeabsichtigte Emissionen der Anlagen von Netzbenutzern in der Nähe der TRA-Frequenz zu betrachten.

5.2.1 Pegelbeeinflussung durch Anlagen von Netzbenutzern

Bezugsanlagen

Die meisten Beeinflussungen der Rundsteuerung werden von Motoren und Kompensationsanlagen verursacht. Diese Anlagen sind gewöhnlich auf der NS-Seite des Transformators angeschlossen. In Ausnahmefällen können Kompensationsanlagen aber auch direkt an das MS-Netz angeschlossen sein.

Betreibt oder plant der Netzbetreiber eine Rundsteuerung im MS-Netz und liegt der Verknüpfungspunkt V der Anlage des Netzbenutzers ebenfalls in diesem MS-Netz, so muss die Tonfrequenzimpedanz Z_{TRA} der Anlage des Netzbenutzers ausreichend hoch sein. Ansonsten wird die Rundsteuerung unzulässig beeinflusst.

Abb. 5-1 Vereinfachte Modellbildung zur Bestimmung der Anschlussimpedanz Z_A [1]

Für Bezuganlagen mit Verknüpfungspunkt V im MS-Netz gilt:

$$\varepsilon = \frac{Z_{TRA}}{Z_A} \geq 0,4 \quad (5-1)$$

ε	Impedanzfaktor
Z_{TRA}	Impedanz bei Rundsteuerfrequenz
Z_A	Anschlussimpedanz bei 50 Hz (vgl. Abb. 5-1)

Unter bestimmten Bedingungen, z.B. Häufung von großen Anlagen von Netzbewerbern mit Impedanzfaktor $\varepsilon \approx 0,4$ oder Vorhandensein von Kompensationsanlagen, ist der Impedanzfaktor ggf. anzuheben. Der erforderliche Wert ist dann mit dem Netzbetreiber abzustimmen.

Kann die Impedanz bei Rundsteuerfrequenz der Bezugsanlage in der Planungsphase aufgrund fehlender Daten nicht genügend genau bestimmt werden, so wird eine Abnahmemessung nach Fertigstellung der Bezugsanlage empfohlen. Dabei ist die Einhaltung der Impedanzfaktoren mit Hilfe einer frequenzselektiven Spannungs-/Strom-Messung zu überprüfen.

Erzeugungs- und Speicheranlagen

Der Einfluss von Erzeugungs- und Speicheranlagen, welche mittels Umrichter an das Netz angeschlossen sind, hängt vom Typ des Umrichters, seiner Bemessungsleistung und der Tonfrequenz ab. Es wird empfohlen seitens des Netzbetreibers eine Einzelfallbetrachtung jeder entsprechenden Anlage des Netzbewerbers durchzuführen.

Ein direkter Anschluss von Erzeugungs- und Speicheranlagen (ohne Umrichter) an das Netz ist bis zu den in Tab. 5-2 angeführten Bemessungsleistungen ohne besondere Maßnahmen zulässig [1].

Tab. 5-2 Anschließbare Summenleistung von Erzeugungs- und Speicheranlagen ohne Umrichter

Am jeweiligen Verknüpfungspunkt	Im betrachteten Versorgungsbereich
500 kVA	1 MVA

Bei Überschreitung der in Tab. 5-2 aufgeführten Grenzwerte können besondere Maßnahmen erforderlich werden. Diese werden anhand einer individuellen Beurteilung bestimmt. Die Absenkung des TRA-Pegels durch eine Erzeugungs- oder Speicheranlage darf dabei nicht mehr als

$$\Delta u_{\text{TRA}} = 2 \%$$

betragen. Der reduzierte Pegel muss mit genügender Reserve die Funktionsspannung der Rundsteuerempfänger überschreiten. Ist dies nicht der Fall, muss der Betreiber der Anlage des Netzbetreibers Tonfrequenzsperren installieren oder eine andere wirksame Maßnahme treffen. Die Höhe der erforderlichen Reserve wird vom Netzbetreiber festgelegt.

Misch- bzw. Überschusseinspeiseanlagen

Enthält die Anlage des Netzbetreibers Bezug und/oder Erzeugung und/oder Speicher, wird sie als Mischanlage bzw. Überschusseinspeiseanlage betrachtet. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Dominiert der Anteil an Bezug, erfolgt die Beurteilung nach dem Abschnitt Bezugsanlagen.
2. Dominiert der gemeinsame Anteil von Erzeugung und/oder Speicher, ist nach dem Abschnitt Erzeugungs- und Speicheranlagen zu beurteilen.

5.3 Emissionen durch Anlagen von Netzbetutzern

Verursacht die Anlage eines Netzbetreibers Emissionen, deren Frequenz der TRA-Frequenz im NS-Netz entspricht oder in deren unmittelbarer Nähe liegt, darf diese Emission einen Wert von 0,1 % von U_c nicht überschreiten.

Verursacht die Anlage eines Netzbetreibers Emissionen, deren Frequenz den Nebenfrequenzen der TRA-Frequenz $f_{\text{TRA}} \pm 100 \text{ Hz}$ entspricht oder in deren unmittelbarer Nähe liegt, darf diese Emission einen Wert von 0,3 % von U_c nicht überschreiten.

Normenverzeichnis

EN 61000-2-12:2004-01

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 2-12: Umgebungsbedingungen -
Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in
öffentlichen Mittelspannungsnetzen (IEC 61000-2-12:2003)

IEC/TR 61000-3-6 ED. 2.0:2008-02

Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the
connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems

IEC/TR 61000-3-7 ED. 2.0:2008-02

Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-7: Limits - Assessment of emission limits for the
connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems

IEC/TR 61000-3-13 ED. 1.0:2008 02

Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-13: Limits - Assessment of emission limits for the
connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems

IEC/TR 61000-3-14 ED. 1.0:2011 10

Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-14: Assessment of emission limits for harmonics,
interharmonics, voltage fluctuations and unbalance for the connection of disturbing installations to
LV power systems

EN 61000-4-7:2002+A1:2009

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-7: Prüf- und Messverfahren; Allgemeiner
Leitfaden für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und
Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten

EN 61000-4-15:2011

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-15: Prüf- und Messverfahren - Flickermeter -
Funktionsbeschreibung und Auslegungsspezifikation

Literaturverzeichnis

- [1] E-Control TOR D3: „Tonfrequenz-Rundsteuerung; Empfehlung zur Vermeidung unzulässiger Rückwirkungen.“, Version 2.1, 03/ 2006.