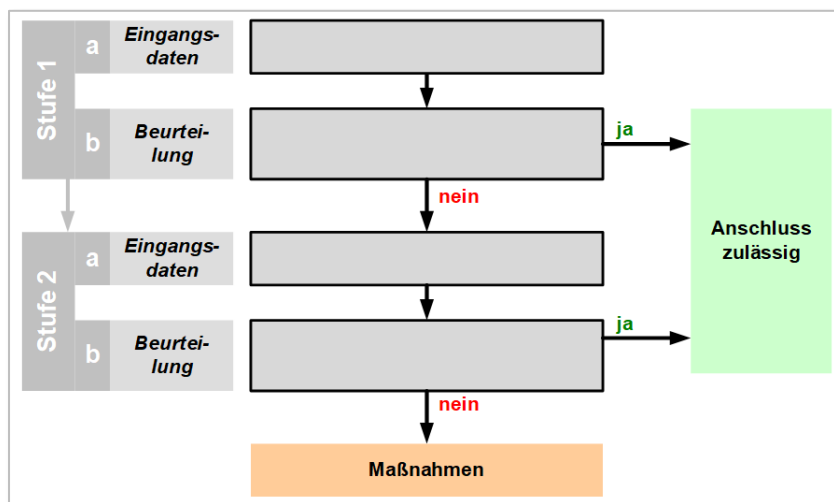


Technische Regeln für die Beurteilung von Netzzrückwirkungen

Teil B: Anforderungen und Beurteilung

Abschnitt I: Niederspannung



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

Impressum und Kontakt

Herausgeber:

Österreichs E-Wirtschaft

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 Verträglichkeitspegel	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).....	12
1.3.3 Schema zur Bestimmung der Emissionsgrenzwerte	13
1.3.4 Zusätzliche Hinweise für die Beurteilung	14
1.3.5 Regelbarer Ortsnetztransformator	15
1.3.6 Nachweisverfahren.....	15
2. Unsymmetrie	16
2.1 Verträglichkeitspegel	16
2.2 Emissionsgrenzwerte	16
2.3 Beurteilung	19
2.3.1 Marginalkriterium.....	19
2.3.2 Vereinfachte Beurteilung (Stufe 1).....	20
2.3.3 Detaillierte Beurteilung (Stufe 2).....	20
3. Harmonische, Zwischenharmonische, Supraharmonische.....	23
3.1 Harmonische	23
3.1.1 Verträglichkeitspegel	23
3.1.2 Emissionsgrenzwerte	23
3.1.3 Beurteilung	25
3.2 Zwischenharmonische.....	28
3.2.1 Verträglichkeitspegel	28
3.2.2 Emissionsgrenzwerte	28
3.2.3 Beurteilung	29
3.3 Supraharmonische	29
3.3.1 Verträglichkeitspegel	29
3.3.2 Emissionsgrenzwerte	30
3.3.3 Beurteilung	30
4. Kommutierungseinbrüche.....	31
4.1 Verträglichkeitspegel	31
4.2 Emissionsgrenzwerte	31
4.3 Beurteilung	31
4.3.1 Stufe 1 - Vereinfachte Beurteilung	32
4.3.2 Stufe 2 - Detaillierte Beurteilung	33

5. Signalspannungen.....	34
5.1 Signalpegel	34
5.2 Beurteilung	34
5.2.1 Pegelbeeinflussung durch Anlagen von Netzbenutzern.....	34
5.2.2 Pegelbeeinflussung durch Blindstrom-Kompensationsanlagen.....	35
5.3 Emissionen durch Anlagen von Netzbenutzern	36
Normenverzeichnis.....	37
Literaturverzeichnis	38

Vorwort

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

Sind die drei Abschnitte für Bewertungen in Niederspannung, Mittelspannung und Hochspannung unabhängig voneinander anwendbar, sind an bestimmten Stellen allgemeine Kenntnisse und Spezifikationen aus dem Teil A (Grundlagen) eine Grundvoraussetzung für die Anwendung dieses Dokumentes. Alle relevanten Stellen im Dokument sind mit entsprechenden Verweisen versehen.

Das Dokument dient sowohl Netzbetreiber als auch Planern und Errichtern, die Netzzrückwirkungen 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.

1. Spannungsänderungen und Flicker

1.1 Spannungsänderungen

1.1.1 Langsame Spannungsänderungen

Relative langsame Spannungsänderungen werden als Spannungsabweichung Δu bewertet.

Verträglichkeitspegel für langsame Spannungsänderungen in öffentlichen Niederspannungsnetzen werden nicht angegeben. Die Spannungsabweichung sollte unter normalen Betriebsbedingungen und unter Ausschluss von Unterbrechungen $\pm 10\%$ nicht überschreiten.

Anforderungen:

- Im ungestörten Betrieb des Netzes darf der Betrag der von **allen Erzeugungs- und oder Speichieranlagen** verursachten langsamen Spannungsänderung an keinem Verknüpfungspunkt in diesem Netz einen Wert von 3% gegenüber der Spannung ohne Erzeugungsanlagen 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

Verträglichkeitspegel für schnelle Spannungsänderungen in öffentlichen Niederspannungsnetzen werden nicht angegeben.

Anforderungen:

- Die von einer einzelnen Anlage eines Netzbenutzers verursachte maximale Spannungsänderung darf bei häufigen Ereignissen (Wiederholrate $r \geq 0,01 \text{ min}^{-1}$) 3 % nicht überschreiten. Für Wiederholraten $r \geq 0,1 \text{ min}^{-1}$ ist zusätzlich eine Flickerbewertung durchzuführen.
- Für seltene Spannungsänderungen (mehrere Male pro Tag mit Wiederholraten von $r < 0,01 \text{ min}^{-1}$) sind nach Rücksprache mit dem Netzbetreiber bis zu 6 % zulässig.

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

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_{lit} -Wert in öffentlichen Netzen sinken, da in den meisten Fällen entsprechend dem Flickerausbreitungsprinzip mehr Anlagen von Netzbenutzern davon betroffen sind.

1.2.1 Verträglichkeitspegel

Die Verträglichkeitspegel betragen nach [EN 61000-2-2]:

$$C_{Pst\ NS} = 1,0$$

$$C_{Plt\ NS} = 0,8$$

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

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

$$L_{Plt\ MS} = 0,6$$

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

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

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

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

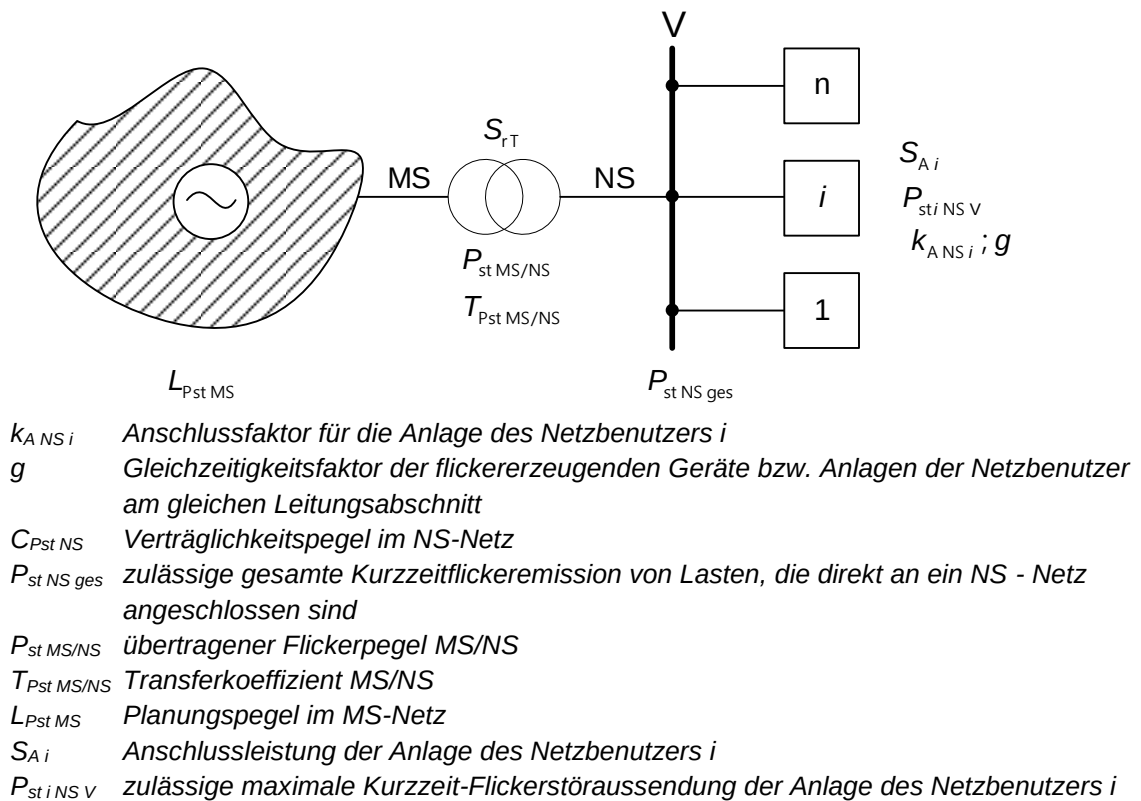


Abb. 1-1 Übertragung/Aufteilung der Flickerpegel im Netz

Unter Berücksichtigung eines üblichen Transferkoeffizienten von $T_{\text{Pst MS/NS}} = 1,0$ kann die gemeinsame zulässige Störaussendung für alle Anlagen der NS - Netzbetreiber ermittelt werden. Die gemeinsame zulässige Störaussendung im NS - Netz beträgt damit

$$P_{\text{st NS ges}} = 0,8$$

$$P_{\text{lt NS ges}} = 0,6$$

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.

1.2.2 Emissionsgrenzwerte

Der für eine Netzebene zulässige gesamte Flickerpegel wird mit Hilfe eines Verteilungsschlüssels auf die einzelnen Netzbetreiber aufgeteilt.

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

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

$$P_{\text{st NS V}} = P_{\text{st NS ges}} \cdot \sqrt{k_{A \text{ NS}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{g}} \quad (1-3)$$

Für das NS - Netz wird der folgende Anschlussfaktor verwendet.

$$k_{A \text{ NS}} = \frac{S_A}{S_{\text{NS}}} \quad (1-4)$$

Die zulässige Störaussendung einer einzelnen Anlage eines Netzbetreibers im NS - Netz beträgt

$$P_{\text{st NS V}} = P_{\text{st NS ges}} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_{\text{NS}}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{g}} \quad (1-5)$$

$$P_{\text{lt NS V}} = 0,65 \cdot P_{\text{st NS V}} \quad (1-6)$$

Die gesamte verfügbare Anschlussleistung des NS - Netzes S_{NS} 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.

$$S_{NS} = (k_B + k_E + k_S) S_{rT} \quad (1-7)$$

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

Anmerkung 1:

Der Gleichzeitigkeitsfaktor drückt die Wahrscheinlichkeit der zeitlichen Überlappung der Flicker erzeugenden Geräte/Anlagen aus. Er wird vom Netzbetreiber in Kenntnis der Netzstruktur und der Betriebszeiten (morgen, mittags, abend, ganztägig) der Geräte/Anlagen in dem betreffenden Netzgebiet bestimmt. Liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor, dann ist $g = 1$ zu setzen.

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. Anderenfalls wird die Annahme von $k_B + k_E + k_S = 1,35$ empfohlen.

Anmerkung 4:

In öffentlichen Netzen werden üblicherweise Zweiwicklungstransformatoren als Verteiltransformatoren eingesetzt. Dreiwicklungstransformatoren stellen einen Sonderfall dar und werden bspw. zur Aufteilung auf verschiedene Teilnetze eingesetzt. Unter der Voraussetzung, dass keine gegenseitige Beeinflussung der Teilnetze gegeben ist, können zur Beurteilung die jeweiligen Transformator-Teilleistungen eingesetzt werden.

Bei kleinen Anschlussleistungen ergeben sich sehr kleine Störaussendungsgrenzwerte. Deswegen wird jeder Anlage eines Netzbenutzers ein Mindestwert von $P_{st\ NS\ V} = 0,30$ bzw. $P_{lt\ NS\ V} = 0,25$ empfohlen.

Ergeben die Berechnungen nach Gleichungen (1-5) und (1-6) Emissionsgrenzwerte $P_{st\ NS\ V} > 0,75$ bzw. $P_{lt\ NS\ V} > 0,5$, ist die maximal zulässige Störaussendung für die Anlage des Netzbenutzers auf $P_{st\ NS\ V\ max} = 0,75$ bzw. $P_{lt\ NS\ V\ max} = 0,50$ begrenzt.

1.3 Beurteilung

Im NS - Netz wird die Außenleiter-Neutralleiter-Spannung beurteilt.

Geräte, die die Anforderungen nach [EN 61000-3-3] erfüllen, dürfen im Allgemeinen ohne weitere Prüfung angeschlossen werden. Für Geräte, die die Sonderanschlussbedingungen nach [EN 61000-3-11] erfüllen, ist zu gewährleisten, dass die Anschlussimpedanz kleiner der spezifizierten Anschlussimpedanz ist. In jedem Fall ist sicherzustellen, dass bei einer Häufung von Flicker erzeugenden Geräten bei hohem Gleichzeitigkeitsfaktor in der Anlage des Netzbenutzers die Emissionsgrenzwerte der Anlage eingehalten werden.

Die Einhaltung der in den Stufen 1 und 2 ermittelten Anschlussbedingungen für Geräte/Anlagen bedeutet im Allgemeinen noch nicht, dass diese Anlagen/Geräte ohne weitere Auflagen betrieben werden dürfen. Vielmehr sind auch die Summenwirkungen mit Anlagen und Geräten weiterer Netzbenutzer zu beachten.

1.3.1 Vereinfachte Beurteilung (Stufe 1)

Wenn das Verhältnis S_{kv}/S_r für ein Gerät bzw. eine Anlage größer als der in Tab. 1-1 angegebene Wert ist, kann davon ausgegangen werden, dass an diesem Verknüpfungspunkt keine störenden Spannungsänderungen oder Flicker auftreten. Die Werte in Tab.1-1 sind durch Erfahrungswerte für die verschiedenen Gerätetypen entstanden und geben einen ersten Anhaltswert für die Beurteilung. Wird das Verhältnis S_{kv}/S_r nach Tab. 1-1 nicht eingehalten, ist eine Beurteilung nach Stufe 2 erforderlich.

Falls an diesem Verknüpfungspunkt weitere Geräte angeschlossen sind, welche Spannungsänderungen und/oder Flicker erzeugen, sind diese gemäß Überlagerungsgesetz zu berücksichtigen.

Tab. 1-1 Vereinfachte Beurteilung von Spannungsänderungen und Flicker im Netz

Geräte-/Anlagentyp	Beispiel	erforderliches Verhältnis S_{KV} / S_r bei Anschluss an			
		1p: 230 V (2p: 400 V)		3p: 400 V	
Elektrowärme mit geringer Schalthäufigkeit	Heizungen	> 120		> 30	
	Schweißmaschinen ²⁾	> 600 (> 400)		> 150 ¹⁾ > 250	
mit großer Schalthäufigkeit	Punktschweißmaschinen ²⁾	> 1000 (> 500)		> 500	
	Kopiergeräte, Laserdrucker, Schwingungspaket- steuerung (z.B. Durchlauferhitzer)	> 1000			
Leistungs- elektronik	Schnellladestationen für Elektrofahrzeuge			> 175	
Motoren		direkte Einschal- tung	Anlauf- hilfe	direkte Einschal- tung	Anlauf- hilfe
ohne Einschaltstrom- begrenzung und Schaltungen geringer Häufigkeit	Kühlgeräte, Wärmepumpen, Lifte im Wohnbereich	> 600	> 300	> 150	> 75
ohne Einschaltstrom- begrenzung und Schaltungen großer Häufigkeit	Lifte im kommerz. Bereich, Baukrane	> 1000	> 500	> 250	> 125
mit Einschaltstrom- begrenzung bzw. Anschluss über Stromrichter	Pumpen	> 250		> 70	
	Gattersägen Häcksler			> 500 (bis 1500) > 250 (bis 750)	

1) Gleichstromschweißmaschinen

2) S_r = 50 % Einschaltdauer (ED) – Leistung in der Regel auf dem Typenschild angegeben.

Anmerkung:

Photovoltaikanlagen können auch Flicker verursachen. Eine Ergänzung von Empfehlungen für die vereinfachte Beurteilung ist für eine zukünftige Ausgabe der Technischen Regeln 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_{Ai} (z.B. maximale Wechselleistung oder Anlaufleistung) eingesetzt wird. Anlagen von Netzbenutzern mit kleinen Leistungsänderungen können somit ohne weitere Überprüfung zugelassen werden.

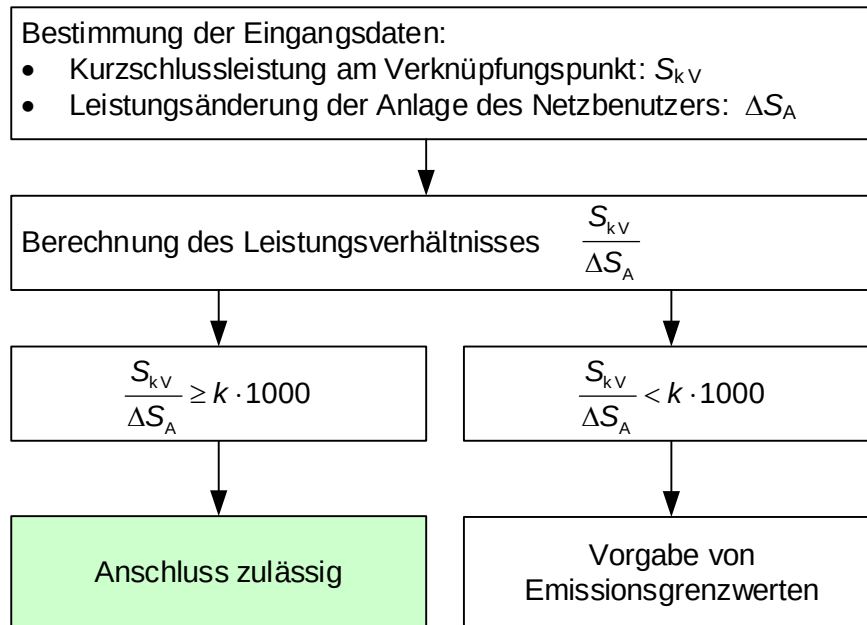


Abb. 1-2 Schema zur detaillierten Beurteilung Spannungsänderungen und Flicker

Der Faktor k ist nach Tabelle Tab. 1-2 zu wählen.

Tab. 1-2 Faktor k

Anschlussart	k
dreiphasig	1
zweiphasig (ohne Neutraleiter)	$\sqrt{3}$
einphasig	6

Ist die von der Anlage des Netzbenutzers zu erwartende, ungünstigste Wiederholrate bekannt, kann das Leistungsverhältnis in Abb. 1-2 entsprechend Tab. 1-3 für die Beurteilung verwendet werden.

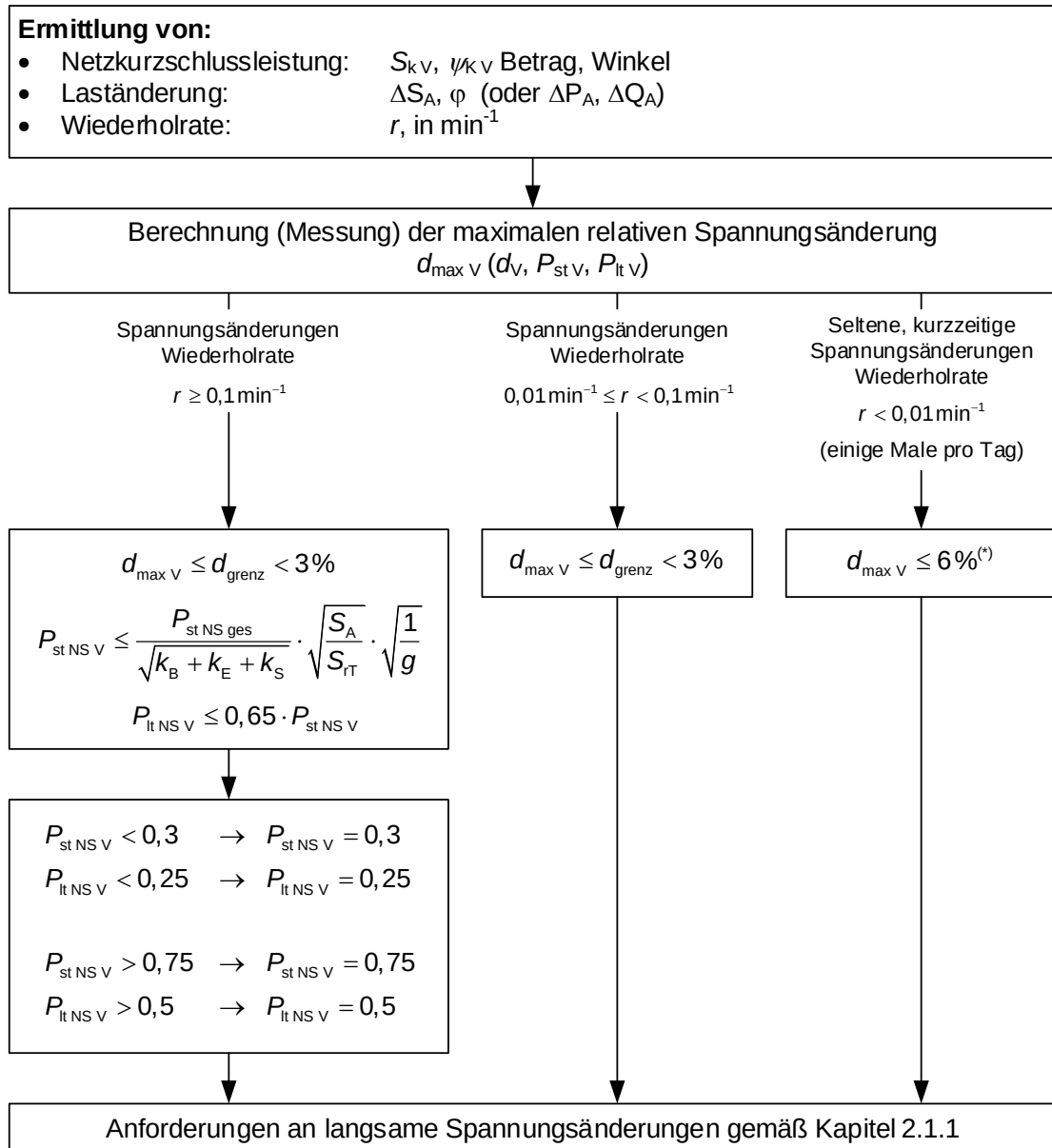
Tab. 1-3 Grenzwerte des Leistungsverhältnisses bei verschiedenen Wiederholraten

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

1.3.3 Schema zur Bestimmung der Emissionsgrenzwerte

Für jede Anlage eines Netzbenutzers, welche die Bedingungen der vereinfachten bzw. 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. 1-3. Die Einhaltung der Anforderungen für langsame Spannungsänderungen ist zusätzlich erforderlich.



(*) nach Rücksprache mit dem Netzbetreiber

Abb. 1-3 Schema zur Bestimmung der Emissionsgrenzwerte für schnelle Spannungsänderungen und Flicker

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 einhält. In keinem Fall darf der Verträglichkeitspegel für die Langzeit-Flickerstärke $P_{lt} = 0,8$ [EN 61000-2-2] überschritten werden.
- 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_i ist bei der Beurteilung der Spannungsänderung zu berücksichtigen. Die maximale Spannungsänderung $d_{max,i}$ durch den Betrieb der Anlage eines Netzbenutzers errechnet sich aus jener Leistungsänderung, die den größten Spannungssprung bzw. den größten Flickerpegel bewirkt.
- Es ist jener Außenleiter auszuwählen, in dem 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_i bzw. die Flickerstärke P_{sti} , 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.
- Der Flickerpegel 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_i als auch von P_{sti} und P_{lti} 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 Schema).

1.3.5 Regelbarer Ortsnetztransformator

Regelbare Ortsnetztransformatoren erzeugen durch ihr Regelverhalten Spannungsschwankungen, die zu Flicker führen können. Es ist daher notwendig, technische Anforderungen festzulegen.

Es werden folgende Grenzwerte empfohlen:

- für den selbstregelnden Betrieb:
 - maximale Spannungsänderung $d_{\max} = 3\%$
 - $P_{\text{st V}} = 0,35$; $P_{\text{lt V}} = 0,25$
- für die Grobstufung:
 - maximale Spannungsänderung $d_{\max} = 6\%$
 - für Wiederholraten mit $r < 0,01 \text{ min}^{-1}$ (einige Male pro Tag) sind keine Flickergrenzwerte einzuhalten.

Anmerkung:

$P_{\text{st}} = 0,35$ wird bei 2 Spannungsänderungen in 10 min mit $d=1,5\%$ eingehalten.

1.3.6 Nachweisverfahren

Zur Überprüfung der zulässigen Störemission einer einzelnen Kundenanlage bzw. zur Überprüfung der gesamten Störemission der Anlagen aller Netzbenutzer sind die 95%-Wahrscheinlichkeitswerte über eine Woche zu beurteilen.

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

Erzeugungseinheiten, Speichereinheiten und Verbrauchsgeräte größerer Leistung sind grundsätzlich dreiphasig symmetrisch anzuschließen.

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 Verträglichkeitspegel

Der Verträglichkeitspegel des Unsymmetriegrads der Spannung beträgt nach [EN 61000-2-2] $C_{U2} = 2 \%$.

2.2 Emissionsgrenzwerte

Die Gleichung zur Berechnung des Emissionsgrenzwertes einer Anlage des Netzbenutzers am Verknüpfungspunkt basiert auf dem allgemeinen Ansatz nach [IEC 61000-3-14]. Durch vereinfachende Annahmen und geeignete Zusammenfassungen bzw. Umstellungen ergibt sich:

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

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

Gleichung (2-1) wurde in Analogie zur Bewertung der Harmonischen abgeleitet. Der Proportionalitätsfaktor s wird maßgeblich durch die Charakteristik des NS-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 Netzbenutzer innerhalb der Abgänge ab. Die Charakteristik des NS-Netzes wird durch die kleinste Kurzschlussleistung von allen Netzknotenpunkten im betrachteten NS-Netz und die Bemessungsleistung des einspeisenden MS/NS-Transformators abgebildet. Tab. 2-1 gibt Anhaltswerte für den Proportionalitätsfaktor in Abhängigkeit der Transformatorbemessungsleistung S_{rT} und der kleinsten Kurzschlussleistung im betrachteten Netz.

Tab. 2-1 Richtwerte für den Proportionalitätsfaktor s in Abhängigkeit der Transformatorbemessungsleistung und der kleinsten Kurzschlussleistung im NS-Netz

S_{rT}	Proportionalitätsfaktor s					
	30	25	20	15	10	
100 kVA	> 0,7 MVA	0,7 .. 0,5 MVA	0,5 .. 0,3 MVA	0,3.. 0,2 MVA	< 0,2 MVA	Kleinste Kurzschlussleistung
250 kVA	> 1,7 MVA	1,7 .. 1,1 MVA	1,1 .. 0,8 MVA	0,8 .. 0,5 MVA	< 0,5 MVA	
400 kVA	> 2,1 MVA	2,1 .. 1,7 MVA	1,7 .. 1,4 MVA	1,4 .. 1,2 MVA	< 1,2 MVA	
630 kVA	> 3,2 MVA	3,2 .. 2,5 MVA	2,5 .. 2,0 MVA	2,0 .. 1,5 MVA	< 1,5 MVA	
1000 kVA	> 4,1 MVA	4,1 .. 3,1 MVA	3,1 .. 2,4 MVA	2,4 .. 1,8 MVA	< 1,8 MVA	

Für nicht in der Tabelle aufgeführte Bemessungsleistungen des Transformators ist die nächstgrößere bzw. die größte Bemessungsleistung auszuwählen.

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:

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

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_E	Erzeugerfaktor
k_B	Bezugsfaktor
k_S	Speicherfaktor

Anmerkung:

Sind die Faktoren k_B , k_E , k_S nicht bekannt, kann für Netze in denen kein Anschluss von Erzeugungs- und Speichereinrichtungen zu erwarten ist, $k_B + k_E + k_S = 1$ angenommen werden. Anderenfalls wird die Annahme von $k_B + k_E + k_S = 1,35$ empfohlen.

Falls erforderlich, kann die Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers S_A entweder aus der Sicherungsnenngröße oder aus den Anschlussleistungen der Einzelgeräte bzw. Einheiten sowie deren Aufteilung auf die Außenleiter berechnet werden. Bei bekannter Sicherungsnenngröße der Anlage des Netzbenutzers berechnet sich die Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers S_A zu

$$S_A = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \quad (2-3)$$

S_A	Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers
U_n	Netznominalspannung
I_n	Sicherungsnennstrom

Für eine vorgegebene Kombination von Einzelgeräten und Einheiten entspricht die Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers S_A dem dreifachen Wert der betragsmäßig größten Strangleistung, welche im ungünstigsten Betriebsfall auftreten kann. Tabelle 2-2 führt einige

Beispiele zur Berechnung der Anschlussleistung der Anlage des Netzbewutzers bei Anschluss einphasiger Einzelgeräte und Einheiten auf.

Tab. 2-2 Beispiele zur Berechnung der Anschlussleistung der Anlage eines Netzbewutzers

Beispiel	S_{L1}	S_{L2}	S_{L3}	S_A
Erzeugungsanlage (3,7 kVA) in L1, Speichereinheit (3,0 kVA, Entladung) in L2	3,7 kVA	3,0 kVA	0 kVA	$3 \cdot 3,7 \text{ kVA} = 11,1 \text{ kVA}$
Erzeugungseinheit (3,7 kVA) in L1, Verbrauchsgerät (3,0 kVA) in L1	3,7 kVA	0 kVA	0 kVA	$3 \cdot 3,7 \text{ kVA} = 11,1 \text{ kVA}$
Erzeugungseinheit (3,7 kVA) in L1, Speicheranlage (3,0 kVA, Entladung) in L1	$3,7 \text{ kVA} + 3,0 \text{ kVA}$	0 kVA	0 kVA	$3 \cdot 6,7 \text{ kVA} = 20,1 \text{ kVA}$
Verbrauchsgerät (3,0 kVA) in L1, Speichereinheit (3,0 kVA, Ladung) in L1	$3,0 \text{ kVA} + 3,0 \text{ kVA}$	0 kVA	0 kVA	$3 \cdot 6,0 \text{ kVA} = 18,0 \text{ kVA}$

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

$$s = \frac{k_{uSS} \cdot G_{unNS}}{\sqrt{u_k}} \cdot 1000 \quad (2-4)$$

- s Proportionalitätsfaktor der Unsymmetrie
 k_{uSS} Reduktionsfaktor, abhängig von der Netzcharakteristik
 G_{unNS} anteiliger Beitrag im NS-Netz
 u_k Kurzschlussspannung des MS/NS-Transformators

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

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

$$k_{uSS} = a + b \cdot \ln \left(\frac{S_{kmin}}{\text{MVA}} \right) \quad (2-5)$$

- S_{kmin} kleinste minimale Kurzschlussleistung aller Anschlusspunkte im gesamten Netz
 k_{uSS} Reduktionsfaktor, abhängig von der Netzcharakteristik
 a, b Parameter lt. Tab. 2-3

Die Parameter für Gleichung (2-5) sind in Tab. 2-3 aufgeführt.

Tab. 2-3 Parameter zur Abschätzung des Reduktionsfaktors k_{uSS} im NS-Netz

S_{IT} in kVA	a	b
100	0,78	0,25
250	0,43	0,25
400	0,26	0,40
630	0,11	0,40
1000	0,08	0,35

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

2.3 Beurteilung

2.3.1 Marginalkriterium

Marginalkriterium für Einzelgeräte und Einheiten

Für Einzelgeräte und Einheiten mit längerer Betriebsdauer (z.B. PV-Wechselrichter, Speichereinheiten, Ladegeräte für Elektrofahrzeuge) darf in Abhängigkeit der Anschlussart und der Betriebsweise deren Bemessungsleistung die Werte entsprechend Tab. 2-4 nicht überschreiten.

Tab. 2-4 Maximale Bemessungsleistung von Einzelgeräten und Einheiten NS

Anschlussart des Einzelgerätes / der Einheit	$S_{r\text{ zul}}$
einphasig	3,7 kVA
zweiphasig ohne Neutralleiter	3,7 kVA
zweiphasig mit Neutralleiter	2·3,7 kVA

Für Einzelgeräte und Einheiten mit einer Betriebsdauer kleiner 10 Minuten (z.B. Durchflusserhitzer) ist eine maximale Bemessungsleistung $S_{r\text{ zul}} = 4,6 \text{ kVA}$ ($I_{r\text{ zul}} = 20 \text{ A}$) zulässig.

Werden mehrere unsymmetrisch angeschlossene Einzelgeräte bzw. Einheiten in einer Anlage des Netzbenutzers kombiniert, ist grundsätzlich eine Beurteilung der unsymmetrischen Leistung durchzuführen.

Marginalkriterium für Anlagen

Für eine Anlage des Netzbenutzers, welche aus mehreren Einzelgeräten bzw. Einheiten besteht, ist unabhängig vom Anschlussort immer eine unsymmetrische Leistung von 3,7 kVA zulässig. Bei Referenzimpedanz nach [IEC 60725] ergibt sich damit ein Beitrag zum Unsymmetriegrad der Spannung von:

$$k_{U2} = \frac{S_{A\text{ un}}}{S_{kV}} \leq \frac{3,7 \text{ kVA}}{565 \text{ kVA}} \leq 0,65 \% \quad (2-6)$$

$S_{A\text{ un}}$ zulässige unsymmetrische Leistung der Anlage des Netzbenutzers

S_{kV} Kurzschlussleistung

k_{U2} Beitrag zum Unsymmetriegrad der Spannung

Wird das Marginalkriterium nicht erfüllt, ist eine Beurteilung nach Stufe 1 erforderlich.

2.3.2 Vereinfachte Beurteilung (Stufe 1)

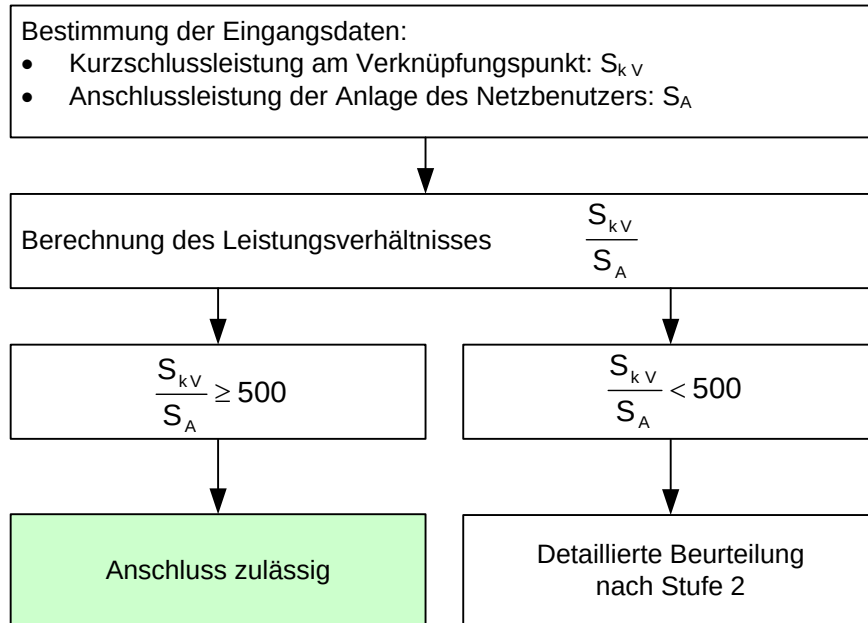


Abb. 2-1 Schema vereinfachte Beurteilung Unsymmetrie NS

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 $k_{U2} \approx 0,2 \%$.

2.3.3 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 Grenzwertverhältnis $S_{A \text{ unsym}}/S_A$ angegeben werden, wobei alle Leistungen positiv einzusetzen sind:

$$\frac{S_{A \text{ unsym}}}{S_A} = \frac{1}{\sqrt{500}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \quad (2-7)$$

$$S_{A \text{ unsym}} = (S_{AE} - S_{AE \text{ sym}}) + (S_{AB} - S_{AB \text{ sym}}) + (S_{AS} - S_{AS \text{ sym}}) \quad (2-8)$$

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

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 Kurve liegt.

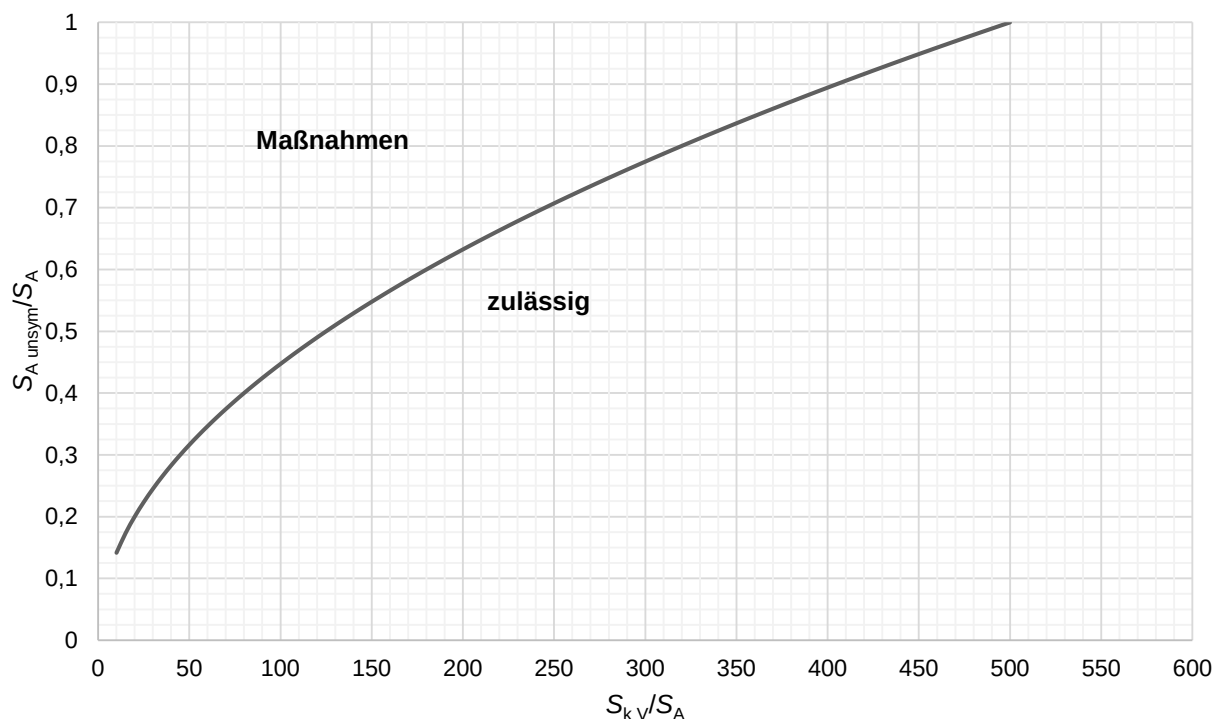


Abb. 2-2 Diagramm für die detaillierte Beurteilung

Im Fall das Wertepaar $[S_{A \text{ unsym}}/S_A; S_{kV}/S_A]$ im unzulässigen Bereich oberhalb der Kurve liegt, ist ein Emissionsgrenzwert gemäß Gleichung (2-1) zu berechnen, welcher von der Anlage des Netzbenutzers einzuhalten ist.

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

Anmerkung:

Schließt man an einem Anschlusspunkt mit einer Kurzschlussleistung von 10 MVA eine Anlage des Netzbenutzers mit einer Anschlussleistung von 50 kVA an, so muss der Anteil an symmetrisch angeschlossener Leistung mindestens 36,8 % (18,4 kVA) betragen.

Gleichung (2-1) kann zu unverhältnismäßig kleinen Emissionsgrenzwerten führen. Deshalb wird jeder Anlage des Netzbenutzers 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

$$I_{2V} = \frac{1}{500} \cdot \frac{S_{kV}}{\sqrt{3} \cdot U_V} \quad (2-9)$$

S_{kV} *Kurzschlussleistung*

I_{2V} *zulässiger Gegensystemstrom der Anlage des Netzbenutzers*

U_V *verkettete Spannung*

Die entsprechende unsymmetrische Leistung berechnet sich nach

$$S_{Aun} = \frac{1}{500} \cdot S_{kV} \quad (2-10)$$

S_{kV} *Kurzschlussleistung*

S_{Aun} *unsymmetrische Leistung der Anlage des Netzbenutzers*

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 bzw. zwischenharmonische bzw. 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 Verträglichkeitspegel

Die Verträglichkeitspegel für Oberschwingungsspannungen in öffentlichen Niederspannungsnetzen sind in [EN 61000-2-2] festgelegt.

Tab. 3-1 Verträglichkeitspegel für die Oberschwingungsanteile der Spannung in öffentlichen Niederspannungsnetzen

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

a) Die für ungeradzahlige Oberschwingungen, die Vielfache von 3 sind, angegebenen Pegel gelten für Nullsystem-Oberschwingungen. Außerdem können die Werte für die Oberschwingungen der 3. und 9. Ordnung in einem Dreiphasennetz ohne Nullleiter oder ohne zwischen Phase und Masse geschalteter Last in Abhängigkeit von der Unsymmetrie des Netzes viel geringer als die Verträglichkeitspegel sein.

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:

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

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_{ν}	Resonanzfaktor für die Harmonische mit der Ordnungszahl ν
k_{XR}	Impedanzwinkelfaktor
k_B	Bezugsfaktor
k_E	Erzeugerfaktor
k_S	Speicherfaktor

Weiterführende Hinweise und Erläuterungen zu den einzelnen Faktoren sind im Teil A: Grundlagen Abschnitt 6 zu finden.

Tab. 3-2 enthält Richtwerte für den Proportionalitätsfaktor p_{ν} .

Tab. 3-2 Richtwerte für den Proportionalitätsfaktor p_{ν} zur Berechnung der zulässigen Oberschwingungsströme

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

Anmerkung:

Durch drei teilbare Harmonische bilden bevorzugt Nullsysteme aus, welche sich im Neutralleiter addieren. Deshalb werden entsprechend niedrigere Proportionalitätsfaktoren festgelegt. Wenn für eine Anlage des Netzbenutzers bekannt ist, dass diese keine Nullsysteme emittieren kann (z.B. ohne Neutralleiteranschluss) oder die Anlage direkt an der Transformatorsammelschiene

angeschlossen ist, können in Abstimmung mit dem Netzbetreiber größere Werte für die Proportionalitätsfaktoren der durch Drei teilbaren Harmonischen angewendet werden.

Es wird empfohlen die k -Faktoren in Gleichung (3-1) individuell für das betrachtete Netz zu bestimmen. Hinweise und Richtwerte dazu sind in den Abschnitten 6.2 bzw. 6.3 im Teil A: Grundlagen zu finden.

Liegen keine genaueren Angaben vor, können folgende vereinfachende Annahmen getroffen werden:

- Sind die Faktoren k_B , k_E , k_S nicht bekannt, kann für Netze in denen kein Anschluss von Erzeugungs- und Speichereinrichtungen zu erwarten ist, $k_B + k_E + k_S = 1$ angenommen werden. Anderenfalls wird die Annahme von $k_B + k_E + k_S = 1,35$ empfohlen.
- Die Kurzschlussimpedanz am Anschlusspunkt wird durch ihren induktiven Anteil dominiert, so dass für den Impedanzwinkelfaktor $k_{XR} = 1$ angenommen werden kann.
- Als Resonanzfaktor wird $k_V = 1,15$ für alle Oberschwingungen von 7. bis 25. Ordnung empfohlen. Diese Annahme beruht auf der Tatsache, dass insbesondere in Netzen mit hoher Dichte leistungselektronischer Geräte aufgrund deren kapazitiven Verhaltens bereits bei niedrigeren Oberschwingungsordnungen mit Resonanzstellen zu rechnen ist. Die Anhaltswerte basieren auf umfangreichen Messungen und gelten für ca. 90 % der Messorte.

Unter Berücksichtigung dieser vereinfachenden Annahmen ist zur Berechnung der zulässigen Oberschwingungsgrenzwerte folgende, vereinfachte Gleichung anwendbar:

$$v = 7 \dots 25: \quad I_{v \text{ zul}} = \frac{p_v}{1150} \cdot \sqrt{\frac{S_{KV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-2)$$

$$v \neq 7 \dots 25: \quad I_{v \text{ zul}} = \frac{p_v}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{KV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-3)$$

Für harmonische Ströme im Bereich $v = 16 \dots 40$ sind Grenzwertüberschreitungen auf Werte bis zu 1 % von I_A ($v = 16 \dots 30$) bzw. bis zu 0,8 % von I_A ($v = 31 \dots 40$) zulässig. Dabei darf die gewichtete partielle Verzerrung (PWHIDI) aller harmonischen und zwischenharmonischen Stromemissionen

$$\text{PWHIDI} = \frac{1}{I_A} \cdot \sqrt{\sum_{v=16}^{40} v \cdot I_v^2 + \sum_{\mu=16}^{39} \mu \cdot I_\mu^2} \quad (3-4)$$

nicht über dem PWHIDI der Grenzwerte oder 17 % (der größere Wert gilt) liegen (vgl. Abschnitt 3.2.2).

3.1.3 Beurteilung

Geräte, die die Anforderungen nach [EN 61000-3-2] erfüllen, dürfen im Allgemeinen ohne weitere Prüfung angeschlossen werden. Für Geräte, die die Sonderanschlussbedingungen nach [EN 61000-3-12] erfüllen, ist zu gewährleisten, dass die Anschlussimpedanz kleiner der spezifizierten Anschlussimpedanz ist. In jedem Fall ist sicherzustellen, dass bei einer Häufung von überschwingungserzeugenden Geräten bei hohem Gleichzeitigkeitsfaktor in der Anlage des Netzbenutzers die Emissionsgrenzwerte der Anlage einzuhalten sind.

3.1.3.1 Vereinfachte Beurteilung (Stufe 1)

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

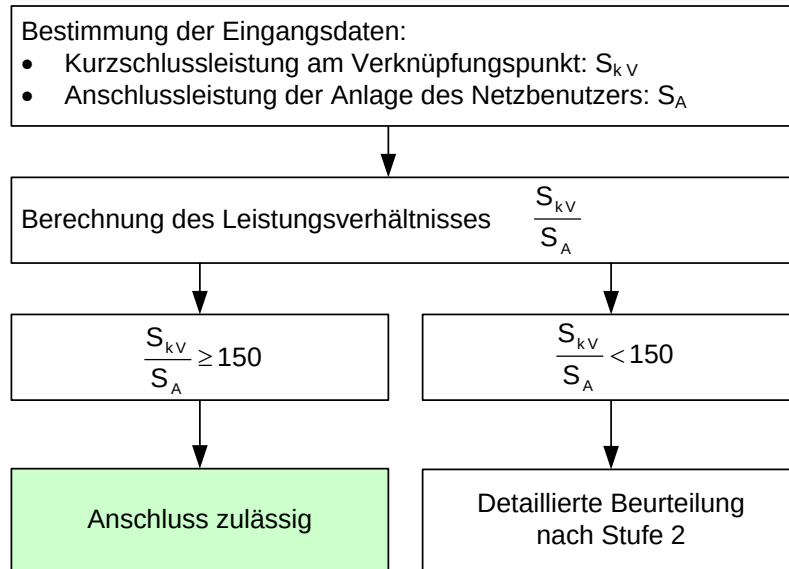


Abb. 3-1 Schema zur vereinfachten Beurteilung

3.1.3.2 Detaillierte Beurteilung (Stufe 2)

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

$$\frac{S_{OS}}{S_A} = \frac{1}{\sqrt{150}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \quad (3-5)$$

S_{OS} überschwingungserzeugender Anteil der Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers

S_A Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers

S_{kV} Kurzschlussleistung

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

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

$$S_{OS} = \frac{1}{2} \cdot S_{Gr1} + S_{Gr2} + 2 \cdot S_{Gr3} \quad (3-6)$$

S_{OS} überschwingungserzeugender Anteil der Anschlussleistung der Anlage des Netzbenutzers

S_{Gr1} Gesamtleistung aller Geräte, welche der Gruppe 1 ($THDi \leq 25\%$) zugeordnet sind

- S_{Gr2} Gesamtleistung aller Geräte, welche der Gruppe 2 ($25 \% < THDi \leq 50 \%$) zugeordnet sind
- S_{Gr3} Gesamtleistung aller Geräte, welche der Gruppe 3 ($THDi > 50 \%$) zugeordnet sind

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 Netzbenutzers 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.

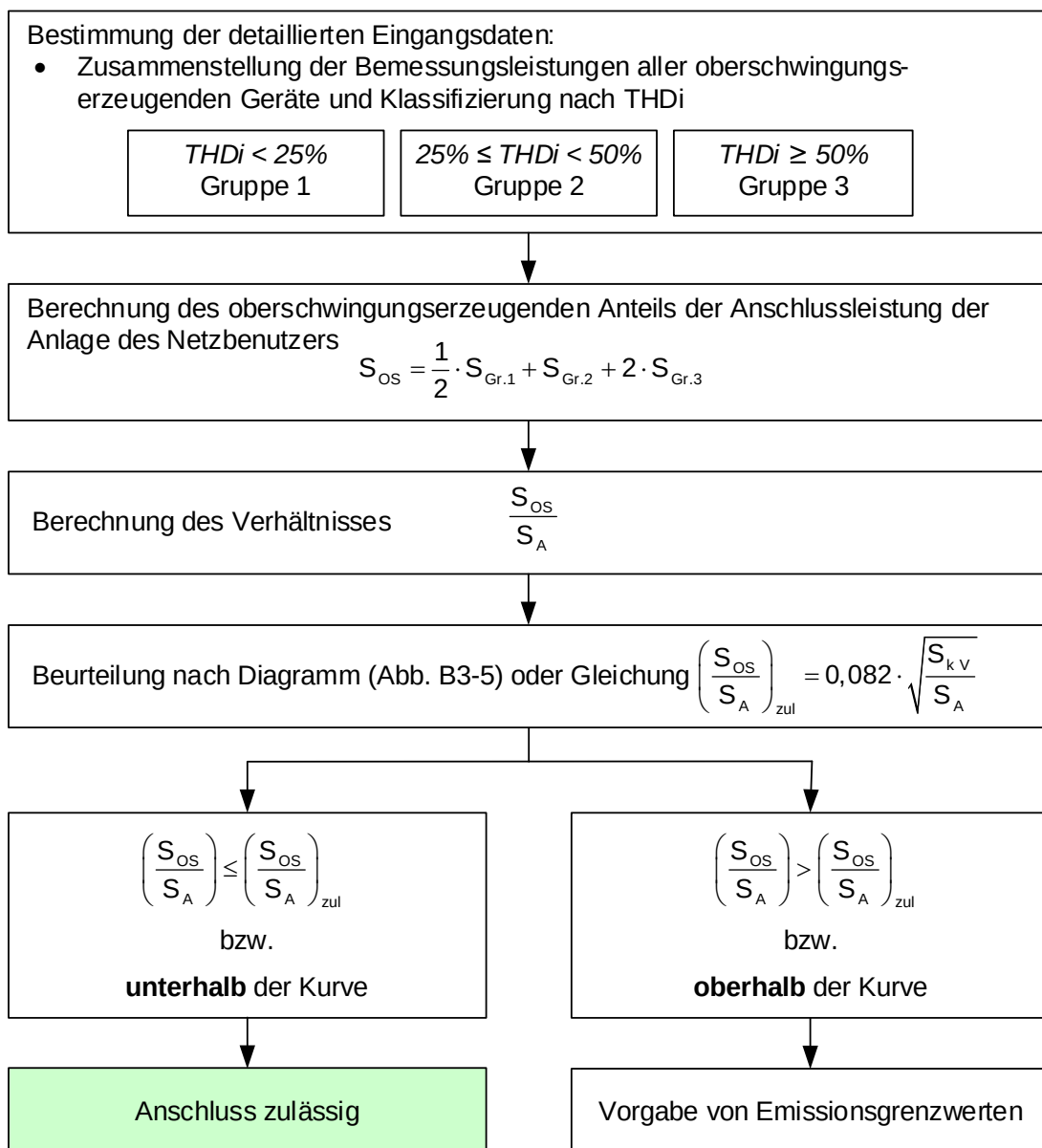


Abb. 3-2 Schema zur detaillierten Beurteilung

Der Anschluss der Anlage des Netzbenutzers ist zulässig, wenn das Wertepaar $[S_{OS}/S_A; S_{kV}/S_A]$ im Diagramm in Abb. 3-3 unterhalb der Kurve liegt.

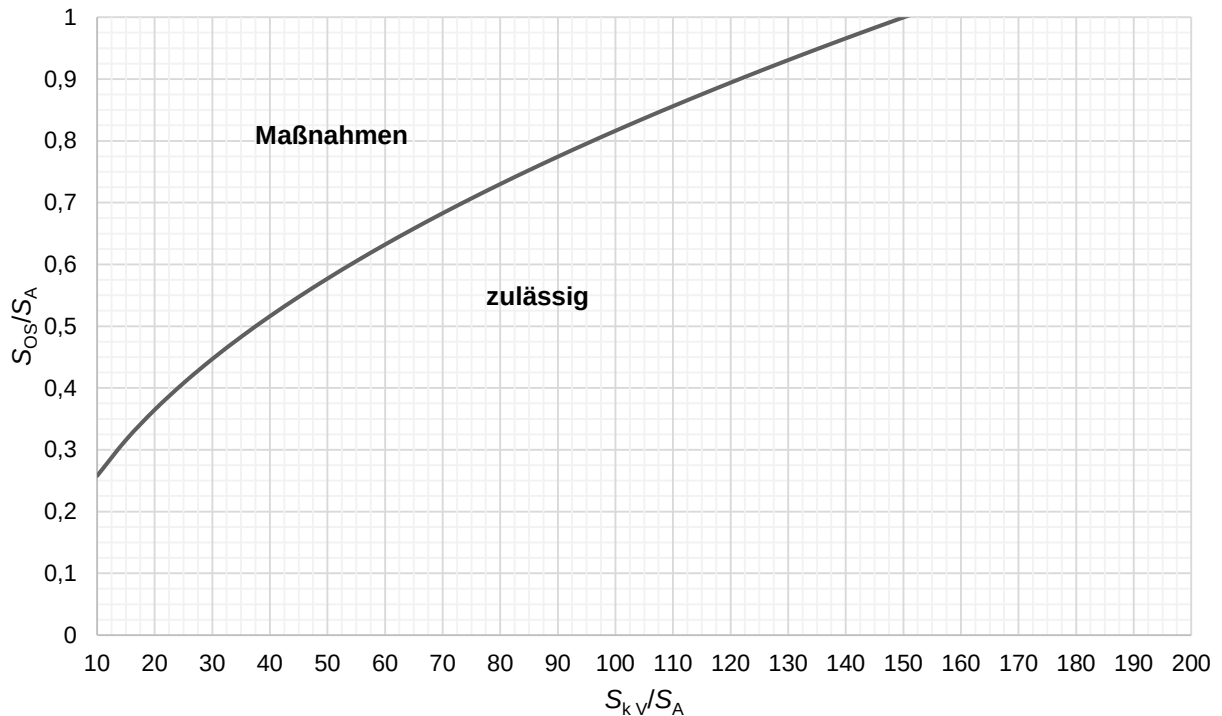


Abb. 3-3 Diagramm für die Beurteilung bei genauerer Kenntnis des überschwingungserzeugenden Anteils der Leistung der Anlage eines Netzbenutzers

3.2 Zwischenharmonische

3.2.1 Verträglichkeitspegel

Die Verträglichkeitspegel (Tab. 3-3) basieren auf den informativen Angaben in [EN 61000-2-2].

Tab. 3-3 Verträglichkeitspegel für die zwischenharmonische Spannung in öffentlichen Niederspannungsnetzen

Ordnung μ	Verträglichkeitspegel
1, 2	0,15%
$\mu > 2$ bei Rundsteuerfrequenz	0,1%
$\mu > 2$ außerhalb Rundsteuerfrequenz	0,3%

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:

$$I_{\mu \text{ zul}} = \frac{1}{k_{\mu}} \cdot \frac{g_{\mu}}{100} \cdot \frac{S_{kV}}{S_A} \cdot I_A \quad (3-7)$$

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

Für die Zwischenharmonische μ einer Kundenanlage gelten die Proportionalitätsfaktoren g_{μ} nach Tabelle Tab. 3-4.

Tab. 3-4 Proportionalitätsfaktoren für die vereinfachte Berechnung der zulässigen zwischenharmonischen Ströme

μ	g_{μ}
1 .. 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 Kapitel 5.3)

Für zwischenharmonische Ströme im Bereich $\mu = 16 \dots 39$ sind Grenzwertüberschreitungen auf Werte bis zu 1 % von I_A ($\mu = 16 \dots 29$) bzw. bis zu 0,8 % von I_A ($\mu = 30 \dots 39$) zulässig, falls diese nicht in der Nähe der Rundsteuerfrequenz liegen. Dabei darf die gewichtete partielle Verzerrung (PWHIDI) aller harmonischen und zwischenharmonischen Stromemissionen

$$\text{PWHIDI} = \frac{1}{I_A} \cdot \sqrt{\sum_{v=16}^{40} v \cdot I_v^2 + \sum_{\mu=16}^{39} \mu \cdot I_{\mu}^2} \quad (3-8)$$

nicht über dem PWHIDI der Grenzwerte oder 17 % (der größere Wert gilt) liegen (vgl. auch Abschnitt 3.1.2.)

3.2.3 Beurteilung

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

3.3 Supraharmonische

3.3.1 Verträglichkeitspegel

Die Verträglichkeitspegel für ein Frequenzband mit der Mittenfrequenz b im Frequenzbereich 2 kHz bis 9 kHz für unbeabsichtigte, symmetrische Störemissionen nach [EN 61000-2-2] zeigt Tab. 3-5.

Tab. 3-5 Verträglichkeitspegel für supraharmonische Spannungen in öffentlichen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 2 kHz bis 9 kHz

Frequenzbereich (kHz)	Verträglichkeitspegel (%)
2 – 3	1,4%
3 – 9	$u_b = 3,02 \% \cdot b^{-0,7}$

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.

$$I_{b\text{ zul}} = \frac{1}{k_b} \cdot \frac{3,3 \cdot b^{-0,52} \cdot 1\text{ A}}{\left(10,25 - \frac{9\text{ kHz} - b}{\text{kHz}}\right) \cdot \left(r + (1-r) \cdot \frac{0,57\text{ MVA}}{S_{kV}}\right)} \quad (3-9)$$

$I_{b\text{ zul}}$	zulässiger supraharmonischer Strom
k_b	Resonanzfaktor für die Supraharmonische mit der Mittenfrequenz b
S_{kV}	Kurzschlussleistung
b	Mittenfrequenz des Frequenzbandes b
r	Aufteilungsfaktor

Anmerkung:

Die Gleichung gilt für eine Netznennspannung von $U_n = 400\text{ V}$. Für andere Netznennspannungen kann eine lineare Umrechnung erfolgen.

Für den Aufteilungsfaktor r sind die Werte in folgender Tabelle anzuwenden.

Tab. 3-6 Aufteilungsfaktor zur Berechnung der zulässigen supraharmonischen Ströme

Kurzschlussleistung S_{kV} (MVA)	Aufteilungsfaktor r
< 2	0,45
≥ 2	0,1

Anmerkung:

Die zulässigen supraharmonischen Ströme nach Gleichung (3-9) gelten für Anlagen von Netzbenutzern, die einen Neutralleiter besitzen. Für symmetrisch angeschlossene Kundenanlagen ohne Neutralleiter können um den Faktor 1,8 größere Emissionsgrenzwerte zugelassen werden.

3.3.3 Beurteilung

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

4. Kommutierungseinbrüche

4.1 Verträglichkeitspegel

Verträglichkeitspegel 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 $d_{\text{Kom}} = 10\%$ nicht überschreiten.

4.3 Beurteilung

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

Im NS - Netz betriebene Stromrichteranlagen weisen in der Regel ausgeprägte Kommutierungseinbrüche auf, deren Tiefe nach Gleichung (4-1) hinreichend genau berechnet werden kann. Bei der Beurteilung ist immer der im Betrieb ungünstigste Steuerwinkel anzunehmen. Dabei sind auch Anfahrvorgänge zu berücksichtigen.

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

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}	Netzkurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt
S_{SRA}	Anschlussleistung der Stromrichteranlage
p	Pulszahl des Stromrichters
α	Steuerwinkel des Stromrichters

Für Direktanschluss ohne Transformator oder bei Verwendung eines Drehstromtransformators mit der üblichen Schaltgruppe Dd5 oder Yy0 (Stern-Stern) gilt der Faktor $K = \sqrt{3}/2$. Bei Anschluss mit der üblicheren Trafoschaltgruppe Dy5 oder Yd5 (Stern-Dreieck) gilt $K = 1$.

Für den Fall, dass der NS - seitige Anschluss des Stromrichters über eine Kommutierungsdrossel und einen separaten Stromrichtertransformator mit dem Übersetzungsverhältnis $\dot{u}_T = 1$ erfolgt, ergibt sich die resultierende relative Kurzschlussleistung der Kommutierungsreaktanz gemäß:

$$u_{\text{k Kom}} = u_{\text{k T}} + u_{\text{k D}} \quad (4-2)$$

$u_{\text{k T}}$	relative Kurzschlussleistung des Stromrichtertransformators
$u_{\text{k D}}$	relative Kurzschlussleistung der Kommutierungsdrossel

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

$$d_{\text{Kom}} = \left(u_{\text{k Kom}} \cdot \frac{S_{\text{kV}}}{S_{\text{SRA}}} + 1 \right)^{-1} \quad (4-3)$$

d_{Kom}	relative Tiefe eines Kommutierungseinbruches (periodischer transienter Spannungseinbruch)
$u_{\text{k Kom}}$	relative Kurzschlussspannung der Kommutierungsreaktanz (Reaktanz Transformator und/oder Kommutierungsdrossel)
S_{kV}	Netzkurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt
S_{SRA}	Anschlussleistung der Stromrichteranlage

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.

4.3.1 Stufe 1 - Vereinfachte Beurteilung

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

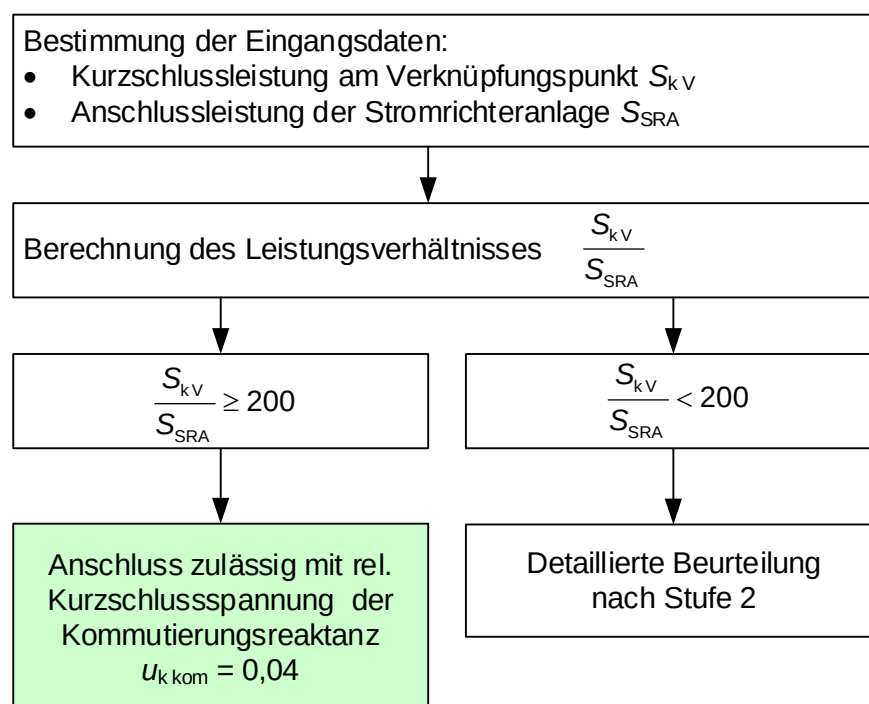


Abb. 4-1 Schema für die vereinfachte Beurteilung von Kommutierungseinbrüchen

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

4.3.2 Stufe 2 - Detaillierte Beurteilung

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

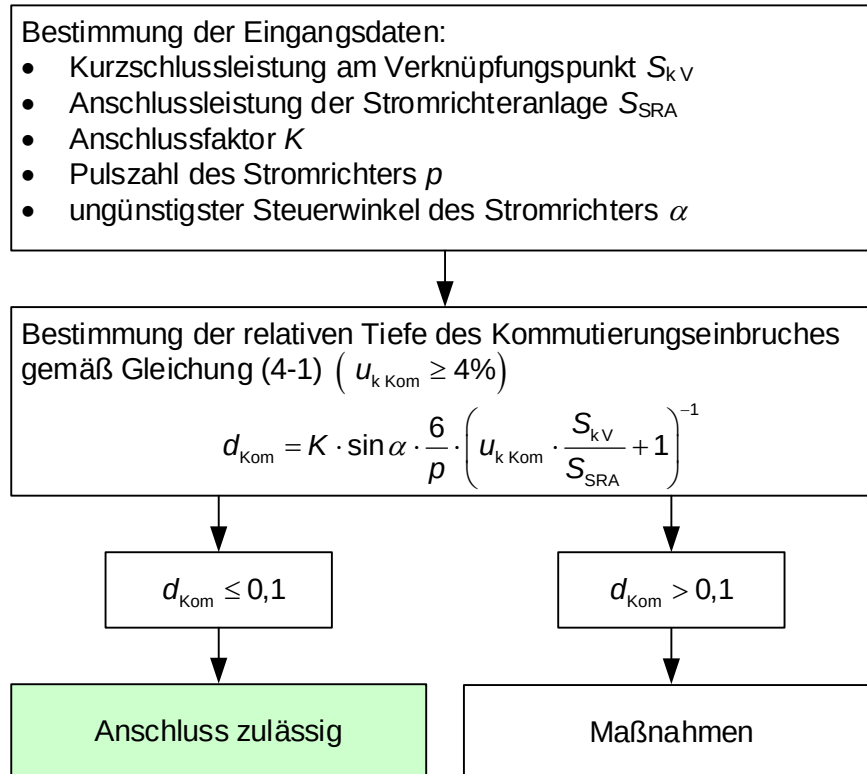


Abb. 4-2 Schema für die detaillierte Beurteilung von Kommutierungseinbrüchen

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 zu Störungen von Geräten bzw. Anlagen von Netzbenutzern führen. Verträglichkeitspegel für Netzkommunikation sind in [EN 61000-2-2] angegeben (Tab. 5-1) und sollten durch den Netzbetreiber nicht überschritten werden.

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

	Frequenzbereich	Signalpegel
TRA	0,11 kHz – 0,5 kHz	9 % U_n
	0,5 kHz – 3 kHz	9 % - 1,5 % (logarithmisch abnehmend mit dem Logarithmus der Frequenz)
PLC	3 kHz – 9 kHz	140 dB μ V
	9 kHz – 95 kHz	140 dB μ V – 128 dB μ V (linear abnehmend mit dem Logarithmus der Frequenz)
	95 kHz – 150 kHz	128 dB μ V

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

Die in einem NS – Netz angeschlossenen Anlagen von Netzbenutzern dürfen den Steuerpegel im NS - Netz weder unzulässig absenken noch anheben. Die maximal zulässige Pegelabsenkung ist abhängig von der vorhandenen Reserve des aktuellen TRA-Pegels im MS - Netz zur Funktionsspannung der Rundsteuerempfänger. Im nachstehenden Diagramm (Abb. 5-1) ist die vorhandene Reserve σ (Pegelfaktor) abgetragen, wobei folgende Gleichungen gelten:

$$\sigma = \frac{U_{sMS}}{U_f} \quad (5-1)$$

$$\Delta U_{TRA} = \frac{U_{sMS} - U_{sE}}{U_{sMS}} = \frac{\sigma \cdot U_f - 1,5 \cdot U_f}{\sigma \cdot U_f} = 1 - \frac{1,5}{\sigma} \quad (5-2)$$

U_{sMS}	Steuerpegel im Mittelspannungsnetz
U_{sE}	Steuerpegel am Rundsteuerempfänger
U_f	Funktionspegel TRA
σ	Pegelfaktor
ΔU_{TRA}	zulässige maximale Pegelabsenkung

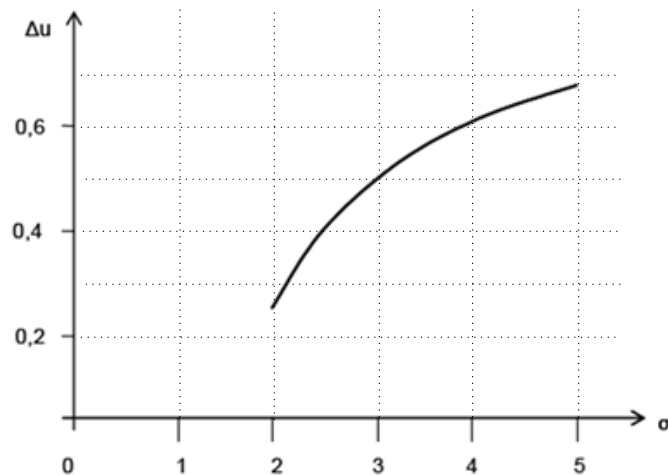


Abb. 5-1 Maximal zulässige Absenkung des Steuerpegels in Abhängigkeit von σ [1]

Bei Rundsteuerfrequenzen $f_{\text{TRA}} \leq 250 \text{ Hz}$ gilt $\sigma = 2$ und damit eine max. zulässige Spannungsabsenkung von $\Delta u_{\text{TRA}} = 0,25$. Bei Rundsteuerfrequenzen $f_{\text{TRA}} > 250 \text{ Hz}$ wird der Pegelfaktor $\sigma > 2$ gewählt.

Eine Anhebung des Rundsteuersignals darf unabhängig von der Rundsteuerfrequenz nicht mehr als 50 % betragen.

Ein direkter Anschluss von rotierenden Maschinen (ohne statische Umrichter) ist bis zu einer Bemessungsleistung von 5 kVA an einem Verknüpfungspunkt bzw. bis zu 10 kVA im gesamten NS – Netz ohne besondere Maßnahmen zulässig.

Damit die maximal zulässige Absenkung oder Anhebung des Rundsteuerpegels im NS-Netz durch die Summenwirkung der Anlagen aller Netzbenutzer eingehalten wird, wird für die einzelne Anlage eines Netzbenutzers ein niedrigerer Grenzwert festgelegt. Die Absenkung oder Anhebung des TRA-Pegels durch die Anlage eines Netzbenutzers darf $\Delta u_{\text{TRA}} = 5 \%$ nicht überschreiten.

Der abgesenkte TRA-Pegel muss in jedem Fall mit genügender Reserve die Funktionsspannung der Rundsteuerempfänger überschreiten. Ist dies nicht der Fall, muss der Netzbenutzer Tonfrequenzsperrern installieren oder eine andere wirksame Maßnahme treffen. Die Größe der erforderlichen Reserve legt der Netzbetreiber fest.

Der Netzbetreiber kann höhere Pegeländerungen durch die Anlage eines Netzbenutzers tolerieren, solange der Pegel an allen Punkten im NS-Netz genügend Reserve zum Funktionspegel aufweist.

5.2.2 Pegelbeeinflussung durch Blindstrom-Kompensationsanlagen

Vom MS-Netz gesehen bildet die Kapazität der Kompensationskondensatoren mit der Induktivität des MS-/NS-Transformators einen Serienschwingkreis. Mit zunehmender Kapazität sinkt dessen Resonanzfrequenz. Bei Kompensationsanlagen mit mehreren, in Stufen schaltbaren Kondensatoren ergeben sich dadurch mehrere Resonanzfrequenzen.

Verdrosselung bedeutet, dass den Kondensatoren eine Induktivität vorgeschaltet wird. Diese Induktivität wird so ausgelegt, dass die Resonanzfrequenz des Schwingkreises unterhalb der TRA-Frequenz liegt, so dass der Schwingkreis bei TRA-Frequenz hochohmig ist.

Alle Kompensationsanlagen mit einer Leistung $S_{\text{Komp}} \leq 25 \text{ kvar}$ und TRA-Frequenzen $f > 350 \text{ Hz}$ müssen verdrosselt werden. Kompensationsanlagen mit einer Leistung $S_{\text{Komp}} > 25 \text{ kvar}$ sind unabhängig von der verwendeten Rundsteuerfrequenz immer zu verdrosseln.

Das Maß der Verdrosselung wird durch den Verdrosselungsgrad p ausgedrückt, für den folgender Zusammenhang gilt.

$$p = \left(\frac{f_N}{f_{\text{res}}} \right)^2 \quad (5-3)$$

p Verdrosselungsgrad
 f_N Netzfrequenz
 f_{res} Reihenresonanzfrequenz der verdrosselten Kompensationsanlage

Für den Verdrosselungsgrad werden die Werte entsprechend nachfolgender Tabelle empfohlen.

Tab. 5-2 Empfohlener Verdrosselungsgrad p

Rundsteuerfrequenz	Verdrosselungsgrad p
< 250 Hz	$\geq 14 \%$
250-350 Hz	$\geq 7\%$
>350 Hz	$\geq 5\%$

Anmerkung:

Der Verdrosselungsgrad ist das Verhältnis der 50-Hz-Leistung der vorgeschalteten Drossel zur 50-Hz-Leistung der Kompensationskapazität.

Für eine mit $p = 7 \%$ verdrosselte Kompensationsanlage ergibt sich entsprechend Gleichung (5-3) eine Resonanzfrequenz von 189 Hz.

5.3 Emissionen durch Anlagen von Netzbenutzern

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

Verursacht die Anlage eines Netzbenutzers 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 $0,3 \%$ U_n nicht überschreiten.

Normenverzeichnis

IEC/TR 60725 ED. 3.0:2012 06

Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase

EN 61000-2-2:2020

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 2-2: Umgebungsbedingungen - Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen (IEC 61000-2-2:2002 + A1:2017 + A2:2018); Deutsche Fassung EN 61000-2-2:2002 + A1:2017 + A2:2019

EN 61000-3-2:2014

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 3-2: Grenzwerte - Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangsstrom = 16 A je Leiter)

EN 61000-3-3:2013

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 3-3: Grenzwerte - Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen für Geräte mit einem Bemessungsstrom ≤ 16 A je Leiter

EN 61000-3-11:2000

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Teil 3-11: Grenzwerte - Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen für Geräte mit einem Bemessungsstrom ≤ 75 A je Leiter

EN 61000-3-12:2011

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 3-12: Grenzwerte - Grenzwerte für Oberschwingungsströme, verursacht von Geräten und Einrichtungen mit einem Eingangsstrom > 16 A und ≤ 75 A je Leiter, die zum Anschluss an öffentliche Niederspannungsnetze vorgesehen sind

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