



SEW
EURODRIVE

Handbuch



Frequenzumrichterbetrieb an Notstromgeneratoren





Inhaltsverzeichnis

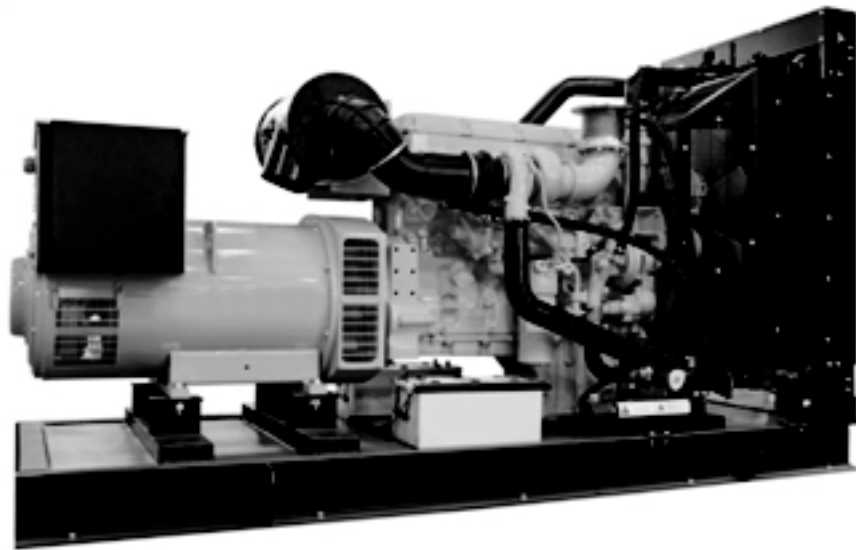
1	Einleitung	4
2	Besonderheiten im Inselnetz	5
2.1	Generatoreigenschaften im Vergleich zum Transformator	6
2.2	Kurzschluss-Schutz bei Generatorbetrieb	7
2.3	Blindstromkompensation bei Generatorbetrieb.....	7
2.4	Parallelbetrieb von Generatoren	7
3	Betrieb nichtlinearer Lasten am Generator im FU-Betrieb	8
3.1	Netzeigenschaften nichtlinearer Verbraucher	8
3.2	Auslegungsvariante für nichtlineare Lasten oder für starke Lastschwankungen	9
4	Rückspeisung am Generator	10
5	Übersicht über mögliche Anlagenkonstellationen	12
5.1	Anbindung über Mittelspannungsnetz und Transformator	12
5.2	Notstromaggregat auf der Niederspannungsseite	12
5.3	Einspeisung über Mittelspannung.....	13
5.3.1	Direkte Einspeisung auf Mittelspannungsebene.....	13
5.3.2	Einspeisung auf Mittelspannungsebene über Anpasstransformator	13
6	Literaturhinweise	14
7	Ansprechpartner bei SEW-EURODRIVE	15



1 Einleitung

Anlagenbetreiber, vor allem in der Logistikbranche, erwägen immer öfter den Einbau einer Notstromversorgung, um auch bei Energieausfall ihre Anlage weiterbetreiben zu können. Meistens kommen Synchrongeneratoren mit Dieselmotor zur Anwendung, bei kleineren Leistungen kommen auch Benzinmotoren zum Einsatz. Der Leistungsbereich erstreckt sich von einigen kVA bis zu 1500 – 2500 kVA.

Der Betrieb der Anlage mit verminderter Leistung wird dabei bereits einkalkuliert, da der Generator oft nur einen Teilbereich der installierten Netzeinspeiseleistung abdeckt.



Die Anforderungen an Generatoren haben sich im Lauf der Zeit geändert: Lagen früher hauptsächlich ohmisch-induktive Lasten mit sinusförmigen Strömen vor, sind heutzutage viele nichtlineare Verbraucher wie Frequenzumrichter, Leuchtmittel und USV-Anlagen zu versorgen. Die Eigenschaften dieser Lasten müssen in die Projektierung des Generators einfließen.



2 Besonderheiten im Inselnetz

Der Betrieb an einem Generator ohne weitere Netzanbindung wird als Inselnetzbetrieb bezeichnet. Im Gegensatz zum öffentlichen Verbundnetz, wo eine sehr hohe Spannungs- und Frequenzstabilität herrscht, können beim Inselnetz bei Belastungsänderungen deutlich höhere Spannungs- und Frequenzschwankungen auftreten. Die Ursache liegt darin, dass die abverlangte Leistung in einer Anlage deutlich näher an der Nennleistung des Aggregats liegt. Beim Verbundnetz verteilen sich dagegen auch sehr große Leistungssprünge auf eine Vielzahl von Generatoren und haben so nur geringe Auswirkungen.

Ein Lastsprung kann zu einem Spannungseinbruch und einem Frequenzeinbruch auf der Verbraucherseite führen. Dieser Effekt wird von der Spannungsregelung des Generators und der Drehzahlregelung des Verbrennungsmotors ausgeglichen. Der Ausgleich unterliegt einem Zeitverhalten der Regelung.

Große dynamische Lastsprünge können auch die Überstromüberwachung des Generators auslösen.

Ein Lastabwurf kann zu einer Frequenz- und zu einer Spannungserhöhung führen, da einerseits die Kraftstoffzufuhr gedrosselt werden muss, andererseits der Erregerstrom im Generator einige Zeitkonstanten zum Abklingen benötigt.

Die Spannungs- und Frequenzqualität des Verbundnetzes kann bei Generatorbetrieb nicht immer garantiert werden. Der Betreiber muss damit rechnen, dass die zulässigen Grenzen für Spannungs- und Frequenzabweichungen überschritten werden oder dass die Schutzeinrichtungen des Generators diesen abschalten.

Auf der Umrichterseite kann sich dies durch Netz- oder Zwischenkreisfehlermeldungen auswirken.

Sternpunktbehandlung:

Der Sternpunkt des Generators sollte so geschaltet sein, dass das Netz die gleichen Eigenschaften wie bei Netzbetrieb aufweist.

Wurde das vorhandene Netz als IT-Netz betrieben, kann der Sternpunkt frei bleiben; wurde das Netz als TT-/TN-Netz betrieben, muss der Generatorsternpunkt auch an PE angebunden werden.

Einschaltreihenfolge:

Der Notstromgenerator sollte immer zuerst im Leerlauf hochfahren und dann die Verbraucher sukzessiv zugeschaltet werden.



2.1 Generatoreigenschaften im Vergleich zum Transformator

Generatoren haben im Vergleich zum Transformator einen höheren Innenwiderstand. Dies bedeutet, dass der innere Spannungsfall deutlich höher ist und der Generator im Vergleich zu einer Transformatoreinspeisung ein weiches Verhalten zeigt.

Zur Berechnung der Netzimpedanz werden bei Transformatoren die Nennleistung, Nennspannung und die Kurzschluss-Spannung benötigt. Damit kann die Kurzschlussimpedanz des Transformators berechnet werden.

Im Folgenden wird der Unterschied zwischen Generator und Transformator mit Hilfe einer Vergleichsrechnung gezeigt:

$$S_{Tr} = 630 \text{ kVA}; U_N = 400 \text{ V}; u_k = 6\%$$

$$Z_{Tr} = U_N^2 \times \frac{u_k}{S_{Tr}}$$

$$Z_{Tr} = (400 \text{ V})^2 \times \frac{0.06}{630000 \text{ VA}}$$

$$Z_{Tr} = 15.2 \text{ m}\Omega$$

Bei 400 V Sekundärspannung hat dieser Transformator eine Kurzschlussimpedanz von 15 mΩ.

Bei Synchrongeneratoren gilt die gesättigte Subtransiente Längsreaktanz x_d'' als Vergleichswert. Der Wert liegt in der Regel zwischen 8 % und 16 % und ist dem Datenblatt des Generators zu entnehmen.

$$Z_G = U^2 \times \frac{x_d''}{S_N}$$

$$Z_G = (400 \text{ V})^2 \times \frac{0.115}{630000 \text{ VA}}$$

$$Z_G = 29 \text{ m}\Omega$$

Ein Generator mit 630 kVA Nennleistung und x_d'' mit 11,5 % hat bei 400 V eine Impedanz von 29 mΩ, also den doppelten Wert des Transformators mit gleicher Leistung.

Geht man dann noch zusätzlich davon aus, dass ein im Vergleich zum Transformator kleinerer Generator vorgesehen wird, z. B. 400 kVA, steigt die Netzimpedanz auf 46 mΩ. Das entspricht ca. der 3-fachen Trafoimpedanz.



HINWEIS

Ein Generator hat einen höheren inneren Spannungsfall als ein leistungsgleicher Transformator. Aus diesem Grund sollte immer ein Generator mit möglichst niedrigem x_d'' projiziert werden, um diesen Effekt möglichst gering zu halten.



2.2 Kurzschluss-Schutz bei Generatorbetrieb

Im Kurzschlussfall gibt es einige Besonderheiten zu beachten:

Bei Generatorbetrieb sind die Kurzschluss-Ströme infolge der hohen Eigenimpedanz und der Verkettung der magnetischen Flüsse kleiner als beim Transformator und zudem mit der Zeit stark abklingend. Die Ursache liegt darin, dass der Kurzschluss-Strom ein Gegenfeld zum Erregerfeld ausbildet. Dadurch klingt der zuerst auftretende Stoßkurzschluss-Strom nach einigen 100 ms auf einen im Vergleich zu Transformatoren relativ kleinen Dauerkurzschluss-Strom ab.

Durch die Spannungsregelung des Generators kann ein Dauerkurzschluss-Strom von ca. 2 – 5-fache Generatormennstrom fließen. Damit sind herkömmliche Schutzeinrichtungen wie Sicherungen oder Leistungsschalter nur bedingt geeignet, da diese Elemente zum sofortigen Auslösen einen deutlich höheren Kurzschluss-Strom benötigen. Besser geeignet sind Leistungsschalter, die über Überstrom-Zeitrelais ausgelöst werden.

2.3 Blindstromkompensation bei Generatorbetrieb

Bei Generatorbetrieb ist die Spannungswelligkeit meistens höher als bei Netzbetrieb. Dies stellt eine zusätzliche Belastung für die Kondensatoren dar.

Der Einsatz einer Kompensation am Generator muss geprüft werden. Unverdrosselte Kompensationen sollten bei Generatorbetrieb abgeschaltet werden.

2.4 Parallelbetrieb von Generatoren

Werden mehrere Generatoren zu Leistungserhöhung im Parallelbetrieb gefahren, müssen sowohl die Generatoren (geeignete Wicklung) als auch die Regelung für den Parallelbetrieb geeignet sein.

Ist dies nicht der Fall, muss man mit erhöhten Ausgleichsströmen zwischen den Generatoren rechnen.



3 Betrieb nichtlinearer Lasten am Generator im FU-Betrieb

3.1 Netzeigenschaften nichtlinearer Verbraucher

Frequenzumrichter stellen aufgrund der oberwellenbehafteten Netzströme erhöhte Anforderungen an die Generatoren. Der Oberwellengehalt (THD) liegt dabei für 3-phasige SEW-Umrichter mit B6-Brücke je nach Leistung und Zwischenkreis-Kapazität typischerweise zwischen 35 und 45 %.

- Bei Dreiphasengeräten kommen Oberwellen mit 5. / 7. / 11. / 13. / 17. / 19.... Ordnung vor.
- Bei Einphasengeräten kommen zusätzlich die 3. / 9. / 15. / 21.(durch 3 teilbare) Oberwellen vor.

Einphasige Verbraucher mit nichtsinusförmigen Strömen wirken sich ungünstig auf die Nulleiterbelastung aus. Eine möglichst symmetrische Verteilung der Verbraucher auf die Netzphasen bringt Vorteile für die Wicklungsbelastung des Generators, die Oberwellen (vor allem 3. Oberwelle) addieren sich aber im Nulleiter auf und können ggf. zu einer Überlastung des Sternpunkts im Generator führen.

Aufgrund des erhöhten Innenwiderstands des Generators und der nichtsinusförmigen Ströme muss auch mit einer erhöhten Spannungswelligkeit gerechnet werden. Verstärkt wird dieser Effekt, wenn die Generatorleistung kleiner als die sonst übliche einspeisende Transformatorleistung ist. Als Folge davon können die Vorgaben zur Netzqualität nicht immer eingehalten werden.

In der Fachliteratur wird empfohlen, Notstromgeneratoren bei unverdrosselten Umrichtern nur bis $\approx 20\%$ auszulasten, bei verdrosselten Umrichtern bis $\approx 35 - 40\%$.

Diese Empfehlung bezieht sich auf Umrichter mit großer Zwischenkreis-Kapazität. Die unverdrosselten SEW-Umrichter mit kleiner Zwischenkreis-Kapazität entsprechen von der Oberwellenbelastung her einem verdrosselten Umrichter mit großer Zwischenkreis-Kapazität.

Zudem gibt es die Empfehlung, bei einem nichtlinearen Lastanteil mit $> \approx 15\%$ der Generatorleistung den Generator auf die Oberwellenlast zu projektieren.

Hier muss der Anlagenplaner mit dem Generatorhersteller in Kontakt treten.



3.2 Auslegungsvariante für nichtlineare Lasten oder für starke Lastschwankungen

Um nichtlineare Lasten kostengünstig zu betreiben, kann folgende Auslegungsvariante realisiert werden:

Der Verbrennungsmotor wird auf die zu erwartende Wirkleistung projiziert. Der Generator wird überdimensioniert.

Anlagenbeispiel:

	Anlagentypenschild	Generatortypenschild
Scheinleistung	1050 kVA	2150 kVA
Wirkleistung	840 kW	–
Ausgangsstrom	1517 A	3103 A
Spannung	400 V	400 V
Frequenz	–	50 Hz

In diesem Beispiel wird der Generator von der Wirkleistung her mit 40 % ausgelastet.



HINWEIS

Zur Beurteilung einer Anlage reicht das Anlagentypenschild allein nicht aus. Es muss auch das Generatortypenschild mit herangezogen werden.



4 Rückspeisung am Generator

SEW-EURODRIVE wird in letzter Zeit öfter mit der Anforderung konfrontiert, Rückspeisungen an einem Notstromgenerator zu betreiben. Einerseits werden viele Regalbediengeräte mit Rückspeisungen ausgestattet. Zusätzlich sollen die Anlagen aber auch im Notbetrieb mit einem Generator zusammenarbeiten.

Bei Rückspeisebetrieb auf einen Generator müssen zusätzlich zu den schon angeführten Punkten mehrere Aspekte beachtet werden, die die Betriebssicherheit von Rückspeisungen am Generator sehr stark einschränken:

1. Die anfallende Energie muss jederzeit von anderen Verbrauchern in der Anlage aufgenommen werden können. Der Generator selbst kann keine generatorische Last aufnehmen und wird in der Regel durch eine Rückstromüberwachung geschützt.
2. Die anfallende generatorische Energie darf ca. 20 – 30 % der Generatorleistung nicht überschreiten, da sonst die Regelung des Generators die anfallenden Lastsprünge nicht bewältigen kann.

Bei Generatorbetrieb kann zudem nicht mit einer starren Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz gerechnet werden, da die Frequenz bei Lastsprüngen stark schwanken kann.

Bei blockförmig kommutierten Rückspeisungen tritt dies weniger als Problem auf, da diese Geräte ihre Leistungshalbleiter einfach auf die höchste Netzphase durchschalten. Bei sinusförmig kommutierten Rückspeisungen darf die Frequenzänderung pro Zeit ein gewisses Maß nicht überschreiten, sonst fällt die Erfassung außer Tritt.

3. Das Oberwellenmanagement muss komplett vom Generator übernommen werden, wenn keine Oberwellenfilter in der Anlage eingebaut sind. Dies erwärmt den Generator zusätzlich.
4. Rückspeisungen benötigen im Vergleich zu Umrichtern ein steiferes Netz; der Generator muss darauf dimensioniert sein. Da der Innenwiderstand vergleichbar höher ist als ein leistungsgleicher Transformator, muss der Generator entsprechend überdimensioniert werden.
5. Blockförmig kommutierte Rückspeisungen führen Prinzip bedingt zu Netzzrückwirkungen, die auch die Netzspannung beeinflussen (Kommutierungs-Einbrüche). Wenn die Spannungsregelung des Generators zum Zeitpunkt der Kommutierung abtastet, arbeitet die Regelung falsch.
6. Das Verhalten weiterer Netzteilnehmer mit bedämpfender oder anregender Wirkung im Netz ist SEW-EURODRIVE in der Regel nicht bekannt.



HINWEIS

Aufgrund dieser Punkte ist von einem Betrieb von Rückspeisungen am Generator dringend abzuraten. Möchte dies ein Kunde trotzdem realisieren, so ist er darauf hinzuweisen (möglichst vor Angebotsabgabe), dass er den Betrieb der Rückspeisung auf eigenes Risiko durchführen muss.

Ausnahme: Sperrung der blockförmig kommutierten Rückspeisungen MDR / MXR.

Für die MDR60A und die neue blockkommutierte Rückspeisung MXR081 besteht die Möglichkeit, den Rückspeiseweig über einen Binäreingang zu sperren und dadurch die generatorische Energie über Brems-Chopper und Bremswiderstand abzuführen. Im motorischen Betrieb arbeitet das Gerät wie ein Umrichter.



Folgende Geräte sind betroffen:

MDR0150	Binäreingang X3/3
MDR0370	Binäreingang X3/3
MDR0750	Binäreingang X3/3
MDR1320 ab Seriennummer DCV200	Klemmen A1/A2
MXR81A	Binäreingang DI03

Damit arbeitet die MDR / MXR wie ein Umrichter am Netz, es gelten die Hinweise zur Generatordimensionierung.



HINWEIS

Die sinusförmig kommutierten Rückspeisungen bieten diese Möglichkeiten nicht:

- MXR80A 50/75 kW
- MDR61B 160/250 kW

Prinzipbedingt kann der Energiefluss bei diesen Geräten nicht in eine Richtung begrenzt werden, da die Endstufen ständig aktiv sind, um den Zwischenkreis zu regeln.

Die Energierichtung wird allein durch die Last bestimmt: Wird dem Zwischenkreis Energie entzogen, arbeitet das Gerät als Einspeisung; wird dem Zwischenkreis Energie zugeführt, ist die Rückspeisung aktiv.

Schlussfolgerung:

Der Betrieb von nichtsinusförmigen Verbrauchern an einem Notstromgenerator ist prinzipiell möglich, setzt jedoch in Bezug auf Auslastung und Dynamik Grenzen.

Plant ein Betreiber eine Notstromversorgung in einer Anlage mit nichtsinusförmigen Verbrauchern, muss der Generator in Zusammenarbeit mit dem Generatorhersteller ausgelegt werden.

Ist dies nicht möglich, kann als Faustformel für den Generator für den Anteil der nichtlinearen Last eine Überdimensionierung um den Faktor 2,5 – 3 angesetzt werden.

Der Betrieb von Rückspeisungen an einem Inselnetz ist zwar prinzipiell möglich, wegen der Unwägbarkeiten in der Anlage aber nur sehr eingeschränkt durchzuführen.

Aus diesem Grund rät SEW-EURODRIVE vom Betrieb von Rückspeisungen am Inselnetz ab.



5 Übersicht über mögliche Anlagenkonstellationen

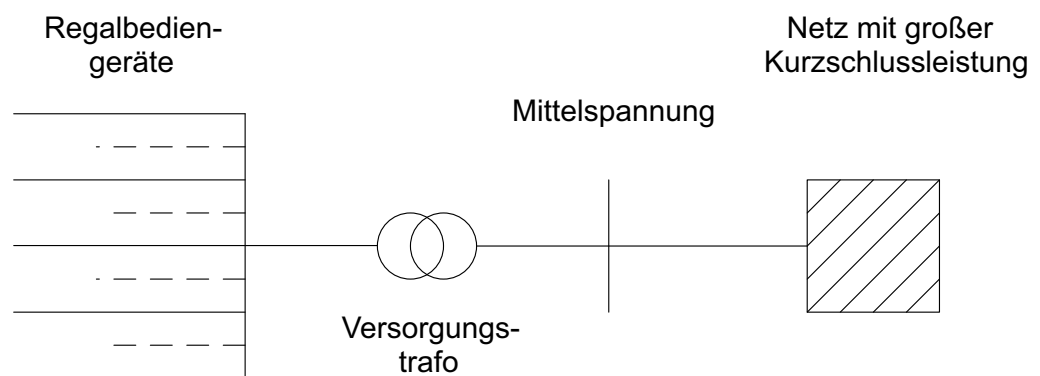
Beispiel: Hochregallager.

Für den Betrieb von Notstromgeneratoren gibt es 2 Möglichkeiten:

- Unterstützungsbetrieb am vorhandenen Netz bei schwacher Einspeisung, der Generator arbeitet parallel zum Netz
- Inselbetrieb mit einem oder mehreren Generatoren

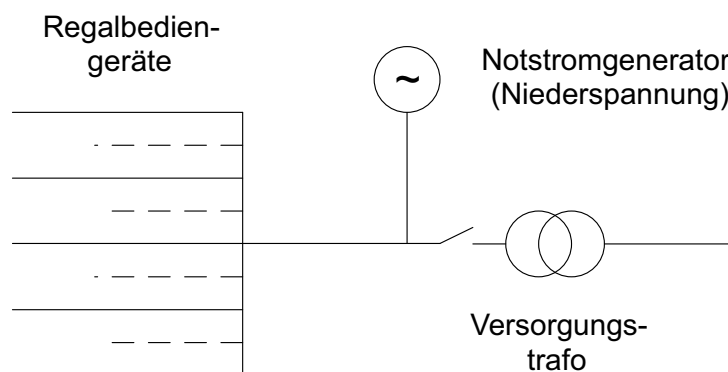
5.1 Anbindung über Mittelspannungsnetz und Transformator

Als Impedanz wirkt der Transformator, das Mittelspannungsnetz kann aufgrund der großen Kurzschlussleistung vernachlässigt werden. Die Projektierung erfolgt nach SEW-Richtlinien.



5.2 Notstromaggregat auf der Niederspannungsseite

Als Impedanz wirkt die Subtransiente Längsreaktanz x_d'' des Generators.



Die Netzimpedanz ist größer als beim Betrieb mit Transformator.

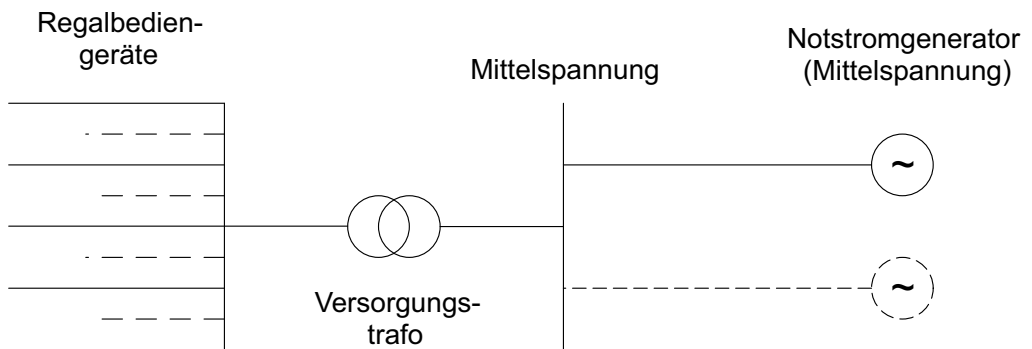


5.3 Einspeisung über Mittelspannung

Will ein Betreiber eine ausgedehnte Anlage mit mehreren Transformatoren über Notstromaggregate betreiben, kann dies über die kundenseitige Mittelspannungsebene realisiert werden. Dabei gibt es folgende Möglichkeiten:

5.3.1 Direkte Einspeisung auf Mittelspannungsebene

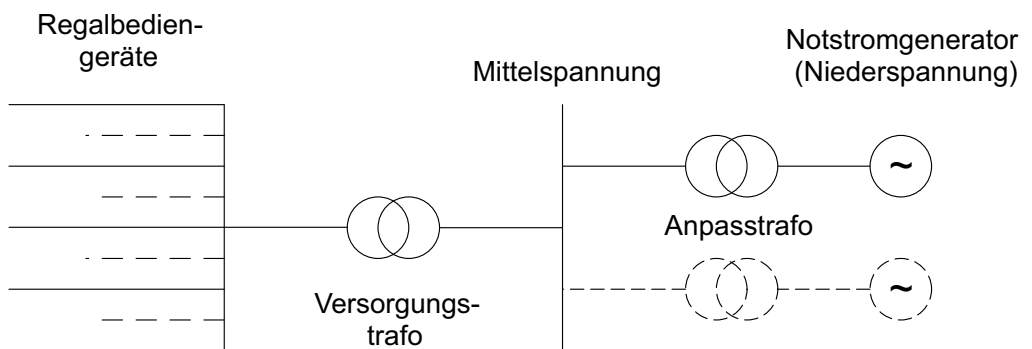
Bei größeren Anlagen mit einer Notstromleistung von mehreren MVA können mehrere Generatoren parallel über die Mittelspannungsebene einspeisen. Dadurch kann ein Betreiber ein größeres Netz mit mehreren Verteilerstationen bei Netzausfall versorgen. Bis ca. 15 kV stehen Generatoren zur Verfügung, die direkt einspeisen können.



Die Impedanz ergibt sich aus der Trafoimpedanz und der resultierenden Impedanz der Generatoren.

5.3.2 Einspeisung auf Mittelspannungsebene über Anpasstransformator

Können die Generatoren nicht direkt einspeisen, muss ein Anpasstransformator gesetzt werden, der von Niederspannung (z. B. 400 V / 500 V / 690 V) auf die Mittelspannungsebene (10 kV – 20 kV) hochtransformiert.



Dies ist der für den Betrieb der Regalbediengeräte der ungünstigste Fall, da hier zum Generator und Versorgungstransformator zusätzlich die Impedanz des Anpasstrafos wirkt.



6 Literaturhinweise

Fender / Dorner / Weida: Umrichterbetrieb an Notstromgeneratoren (antriebstechnik.fh-stralsund.de)

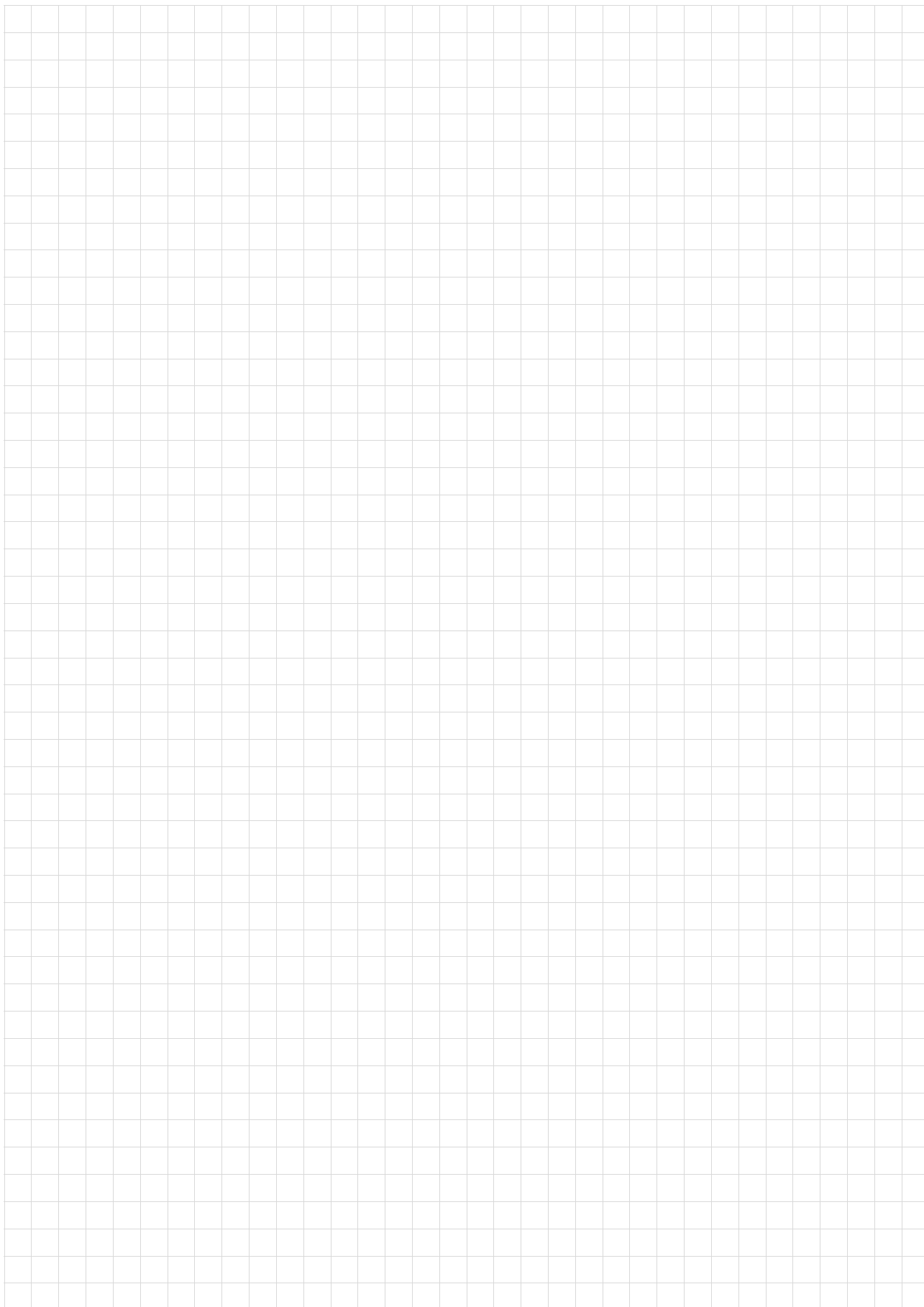
Sofic: Oberschwingungen im Generator-Inselbetrieb (eab-rhein-main.de)

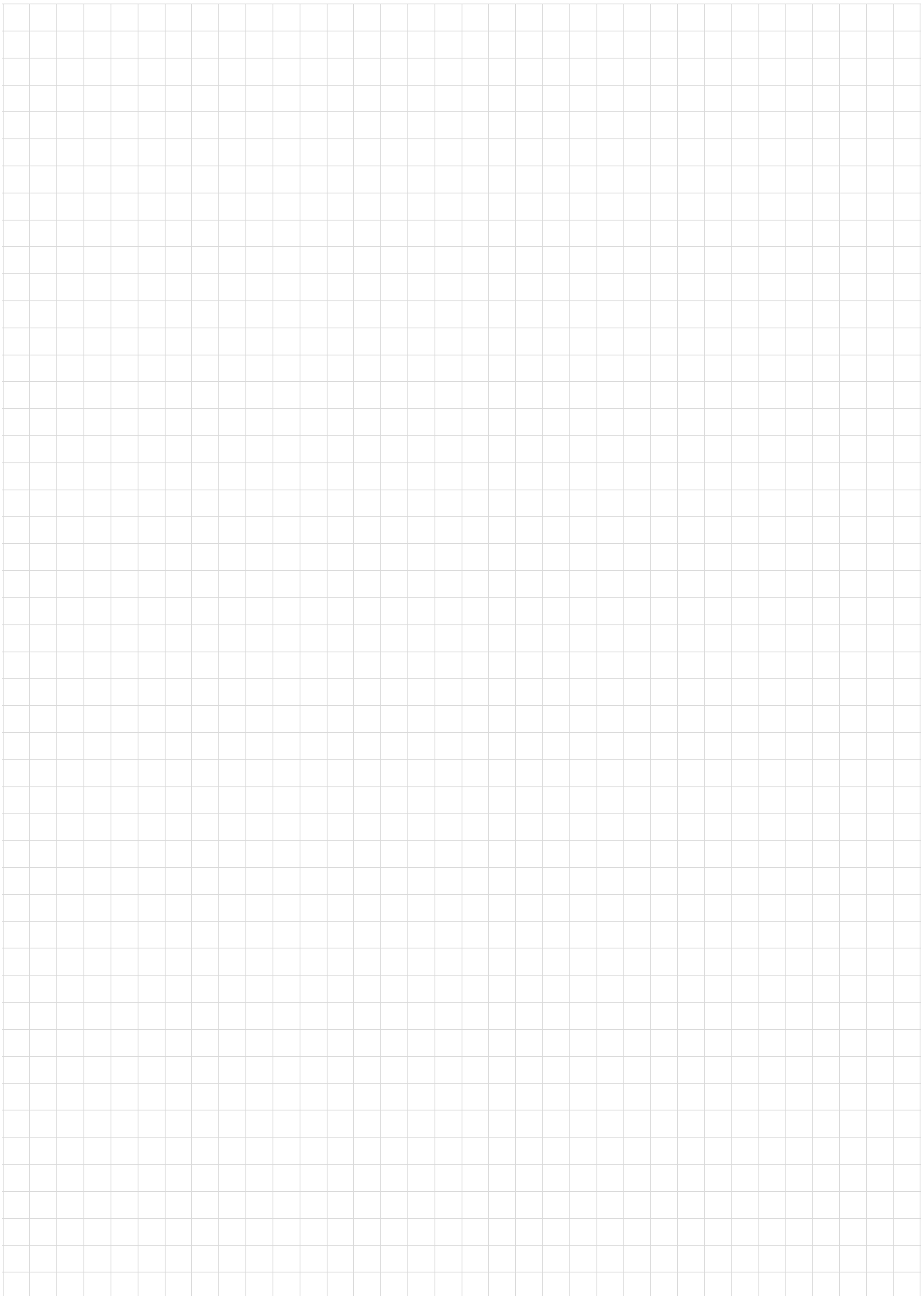
TÜV Süddeutschland - Bau und Betrieb GmbH: Besonderheiten beim Einsatz von Stromerzeugungsanlagen

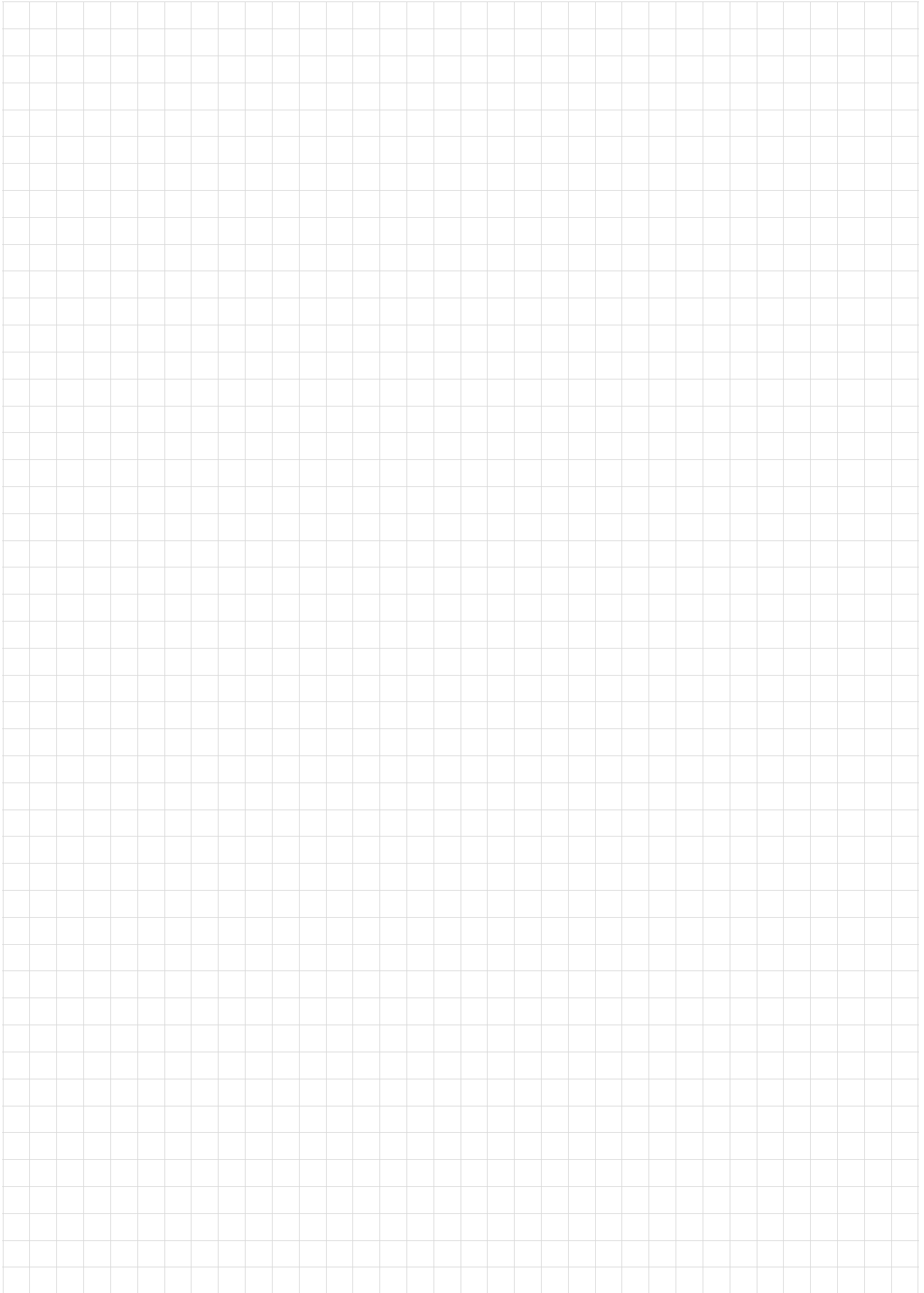


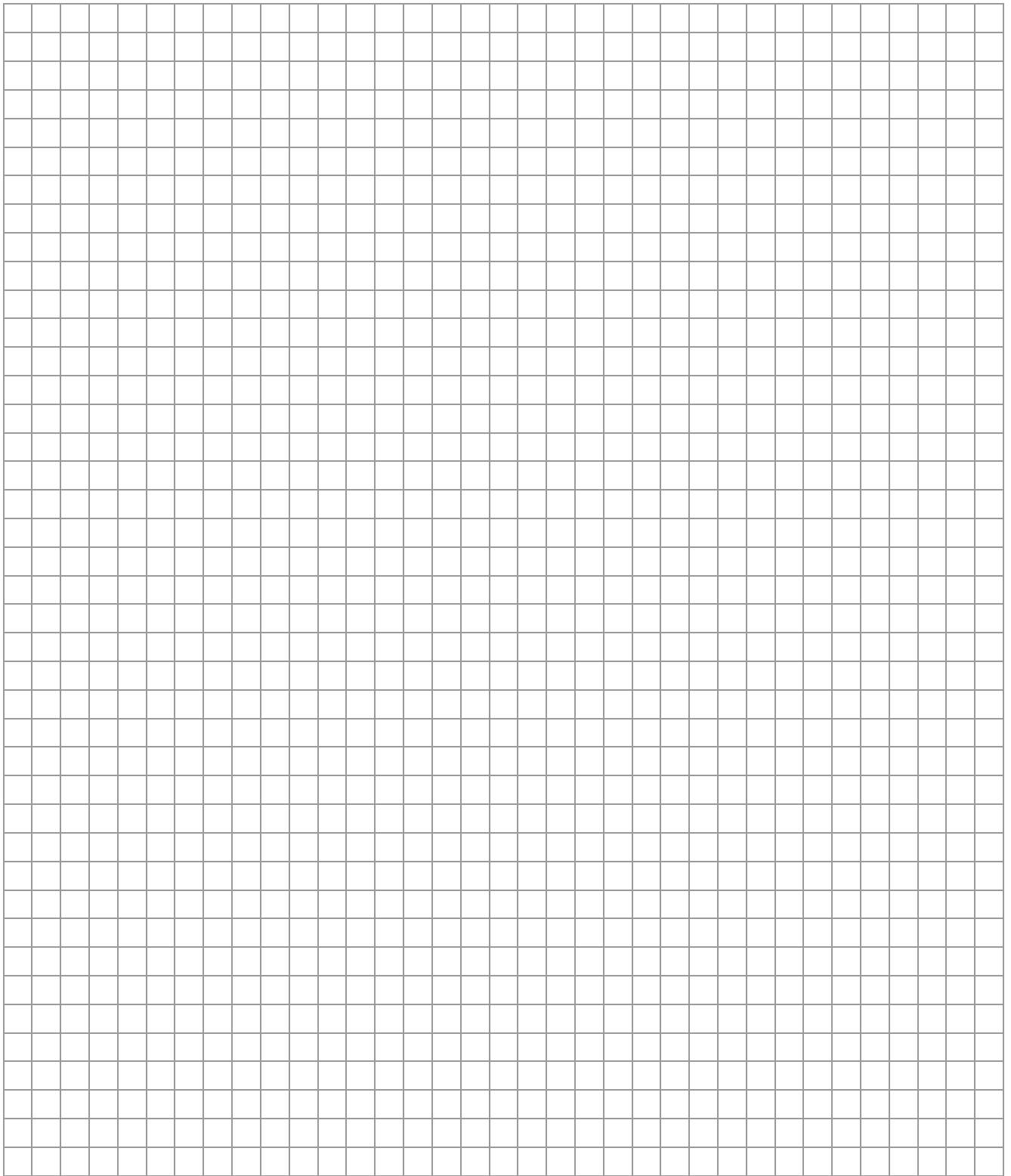
7 Ansprechpartner bei SEW-EURODRIVE

Deutschland				
Hauptverwaltung Fertigungswerk Vertrieb	Bruchsal	SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG Ernst-Blickle-Straße 42 D-76646 Bruchsal Postfachadresse Postfach 3023 • D-76642 Bruchsal	Tel. +49 7251 75-0 Fax +49 7251 75-1970 http://www.sew-eurodrive.de sew@sew-eurodrive.de	
Service Competence Center	Mitte	SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG Ernst-Blickle-Straße 1 D-76676 Graben-Neudorf	Tel. +49 7251 75-1710 Fax +49 7251 75-1711 sc-mitte@sew-eurodrive.de	
	Nord	SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG Alte Ricklinger Straße 40-42 D-30823 Garbsen (bei Hannover)	Tel. +49 5137 8798-30 Fax +49 5137 8798-55 sc-nord@sew-eurodrive.de	
	Ost	SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG Dänkritzter Weg 1 D-08393 Meerane (bei Zwickau)	Tel. +49 3764 7606-0 Fax +49 3764 7606-30 sc-ost@sew-eurodrive.de	
	Süd	SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG Domagkstraße 5 D-85551 Kirchheim (bei München)	Tel. +49 89 909552-10 Fax +49 89 909552-50 sc-sued@sew-eurodrive.de	
	West	SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG Siemensstraße 1 D-40764 Langenfeld (bei Düsseldorf)	Tel. +49 2173 8507-30 Fax +49 2173 8507-55 sc-west@sew-eurodrive.de	
	Elektronik	SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG Ernst-Blickle-Straße 42 D-76646 Bruchsal	Tel. +49 7251 75-1780 Fax +49 7251 75-1769 sc-elektronik@sew-eurodrive.de	
	Drive Service Hotline / 24-h-Rufbereitschaft			+49 180 5 SEWHELP +49 180 5 7394357 14 Cent/Min. aus dem deutschen Festnetz, max. 42 Cent/Min. aus Mobilfunknetzen
	Weitere Anschriften über Service-Stationen in Deutschland auf Anfrage.			











SEW-EURODRIVE
Driving the world

SEW
EURODRIVE

SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG
P.O. Box 3023
D-76642 Bruchsal/Germany
Phone +49 7251 75-0
Fax +49 7251 75-1970
sew@sew-eurodrive.com

→ www.sew-eurodrive.com