



Produkt- und Installationsbeschreibung

Technische Dokumentation zur ESO-Anlage

Inhaltsverzeichnis

Wegweiser	5
Teil A - Grundlagen	5
1 Zu dieser Beschreibung	5
1.1 Qualifikation des Personals	5
1.2 Aufbau und Warnhinweise	6
2 Bestimmungsgemäße Verwendung und Einsatzgrenzen	6
2.1 Nicht bestimmungsgemäß	6
2.2 Einsatzgrenzen	6
3 Produkt und Aufbau	7
3.1 Produktdefinition und -differenzierung	7
3.2 Funktionsumfang, Aufbau der Anlage und Einbindung	8
4 Wirkungsweise	10
4.1 Leistungsfaktor	10
4.2 Oberschwingungen	11
4.3 Schiefast	11
4.4 Dynamik	11
4.5 Aufteilung der Kompensationsleistung	12
Teil B - Installation und Inbetriebnahme	12
5 Sicherheit bei Arbeiten an der Anlage	12
6 Lieferung, Transport und Material	13
6.1 Im Lieferumfang enthalten:	13
6.2 Benötigtes Material je Ausbaustufe	14
6.3 Transport, Auspacken und Lagerung:	15
6.4 Werkssiegel	15
7 Standort und Montage	16
7.1 Belüftung	16
7.2 Wandmontage	17
8 Elektrischer Anschluss	17
8.1 Anschluss ausführen	19
9 Strommessung: Spulensatz und Integrator	20
9.1 Vorgehen	20
10 Steuer-, Melde- und Datenleitungen	22
11 Mehrere Einheiten	23
11.1 Unterschiedliche Messbereiche/Unterverteiler	23
11.2 Sonderausführung: mehrere Einheiten am selben Messpunkt	24
11.3 Anzeigeeinheit	26
11.4 Datenbus	26
12 Inbetriebnahme	26

12.1 Prüfliste vor dem ersten Einschalten	27
12.2 Einschalten und Sichtprüfung	27
Teil C - Betrieb	28
13 Anzeige und Betriebszustände	28
13.1 Startbildschirm und weitere Ansichten	28
13.2 Betriebs- und Störmeldung	30
14 Ein- und Ausschalten, Startarten	30
14.1 Startarten	31
14.2 Umstellung auf Tasterstart	31
15 Regelmäßige Kontrolle und Wartung	32
15.1 Regelmäßige Sichtkontrolle	32
15.2 Reinigung	32
15.3 Wiederkehrende Prüfung	33
16 Störungen	33
16.1 Notfallmaßnahmen	34
17 Außerbetriebnahme und Entsorgung	34
Teil D - Wirkung und Daten	35
18 Wirkung im Betrieb	35
18.1 Größenordnung je Störfaktor	36
19 Wirkungsnachweis	36
20 Energiemanagement und Datenspeicher	37
20.1 Was die Anlage nicht liefert	38
20.2 Drei Wege der Einbindung	38
20.3 Datenbus und Gateway	39
20.4 Datenspeicher	40
20.5 Empfohlener Aufbau für ein Energiemanagementsystem	41
20.6 Modbus-Registerliste	41
Teil E - Kennwerte, Konformität und Gewährleistung	43
21 Technisches Datenblatt	43
21.1 Funktionen	43
21.2 Auslegungen	44
21.3 Elektrische Kennwerte	44
21.4 Kompensationswirkung	45
21.5 Mechanik und Umgebung	45
21.6 Messung, Anzeige und Schnittstellen	46
21.7 Anschluss	46
21.8 Normen und Richtlinien	47
22 EU-Konformitätserklärung	47
22.1 Hersteller	47

22.2	Erklärung	47
22.3	Angewandte Normen	48
23	Weitere Konformität	48
23.1	Für Errichtung und Betrieb maßgeblich	48
23.2	Netzanschluss	49
24	Gewährleistung und Service	49
24.1	Voraussetzungen	49
24.2	Ausschlussgründe	49
24.3	Im Servicefall bereithalten	49
24.4	Kontakt	50

Wegweiser

Diese Beschreibung gilt für vier Leserkreise. Sie müssen nicht alles lesen.

SIE SIND	SIE WOLLEN	SIE LESEN
Betreiber	die Anlage bedienen, ablesen und Störungen erkennen	Teil A, dann Teil C. Teil B und Teil D brauchen Sie nicht. Arbeiten an der geöffneten oder freigeschalteten Anlage sind der Elektrofachkraft vorbehalten.
Elektrofachkraft	aufstellen, anschließen, in Betrieb nehmen, warten, demontieren	Teil A Kapitel 2, dann Teil B vollständig, dazu Kapitel 15 und 17. Die Kennwerte stehen in Kapitel 21.
Energiemanagement und Systemintegration	Messwerte auslesen und die Anlage einbinden	Teil D. Klemmen und Leitungsführung stehen in Kapitel 10.
Energieauditor, Förderabwickler, Prüfer	Wirkung und Konformität beurteilen	Teil A Kapitel 4, Teil D und Teil E.

Teil A - Grundlagen

1 Zu dieser Beschreibung

Diese Beschreibung gilt für die elektronische Strom- und Netzoptimierungsanlage ESO. Sie richtet sich an den Betreiber der Anlage sowie an die Elektrofachkraft, die sie installiert und in Betrieb nimmt. Die Beschreibung ist Bestandteil des Lieferumfangs.

Die Anlage arbeitet vollautomatisch

Die Anlage wird werkseitig voreingestellt, ausgeliefert und passt sich dynamisch an die Bedingungen im Einsatznetz an. Sie startet nach dem Zuschalten selbsttätig, erkennt die Netzverhältnisse und regelt eigenständig. Für Errichter und Betreiber sind keine Einstellungen vorzunehmen, keine Werte vorzugeben und keine Kenntnisse über die Regelung erforderlich; nur wer die Anlage über Taster oder ein Energiemanagementsystem schalten will, stellt die Startart um (Abschnitt 14.2).

1.1 Qualifikation des Personals

Installation, Inbetriebnahme, Wartung und Demontage dürfen ausschließlich von Elektrofachkräften im Sinne der DIN VDE 0105-100 durchgeführt werden. Für den Betrieb der Anlage ist darüber hinaus keine besondere Qualifikation erforderlich, da keine Einstellungen vorzunehmen sind, ausgenommen die Startart nach Abschnitt 14.2.

1.2 Aufbau und Warnhinweise

SIGNALWORT	BEDEUTUNG
Gefahr	Unmittelbare Lebensgefahr bei Nichtbeachtung
Warnung	Sachschaden, Anlagenausfall oder Fehlfunktion bei Nichtbeachtung
Hinweis	Anwendungshinweis oder ergänzende Information

Kästen ohne Signalwort sind Leitsätze. Ein Leitsatz steht unmittelbar unter einer Kapitelüberschrift und nennt die Aufgabe des Kapitels.

2 Bestimmungsgemäße Verwendung und Einsatzgrenzen

Die Anlage ist für den netzparallelen Betrieb an öffentlich versorgten Drehstrom-Niederspannungsnetzen in Gewerbe und Industrie bestimmt. Sie verbessert den Leistungsfaktor, kompensiert Oberschwingungsströme und Schiefast der Kundenanlage und verbessert damit die Qualität des betriebsinternen Netzes. Netzparallele Photovoltaik- oder Blockheizkraftwerksanlagen am Standort stehen dem Betrieb nicht entgegen.

2.1 Nicht bestimmungsgemäß

- Betrieb an Ersatzstromaggregaten, in Inselnetzen oder an nicht netzparallelen Versorgungen ohne vorherige technische Freigabe; die Zuleitung der Anlage darf auch nicht auf dem Teil der Kundenanlage liegen, der bei Netzausfall von einer Ersatzversorgung gespeist wird
- Einsatz im Zusammenhang mit lebenserhaltenden Systemen
- Betrieb in Netzen, in denen gleichzeitig verdrosselte Kompensationsanlagen in Betrieb sind (zum Weiterbetrieb unverdrosselter Bestandsanlagen siehe Warnhinweis in Abschnitt 7)
- Aufstellung im Freien, in Nassbereichen, in explosionsgefährdeten Bereichen oder in Umgebungen mit leitfähigem Staub

2.2 Einsatzgrenzen

- Die Anlage kompensiert Ströme. Eine bereits vorhandene Verzerrung der Spannung aus dem vorgelagerten Netz kann sie nicht beseitigen. Die Anlage ist für Netze mit einem Spannungsverzerrungsgrad unter 10 Prozent am Anschlusspunkt ausgelegt. Bei höheren Werten kann der einwandfreie Betrieb beeinträchtigt sein; die Aufstellungssituation ist dann vor der Installation mit ESO abzustimmen. Der Wert wird von ESO nicht erhoben, sondern vorausgesetzt.

- > Die Anlage ist kein Überspannungs- oder Blitzschutz. Wo Transienten- oder Blitzschutz gefordert ist, sind Schutzeinrichtungen nach DIN EN 62305 und DIN VDE 0100-534 gesondert vorzusehen.
- > Die Anlage ist keine unterbrechungsfreie Stromversorgung und überbrückt keine Netzausfälle.
- > Die Anlage senkt nicht die Netzspannung. Sie ist kein Spannungsreduziergerät.
- > Die in Abschnitt 21 genannten Kennwerte werden ab einer Auslastung von 50 Prozent des Kompensationsstroms erreicht.
- > Die Anlage kompensiert Oberschwingungen der 2. bis 13. Ordnung. Höhere Ordnungen bleiben unbeeinflusst; gerade Ordnungen nur, soweit sie nicht werkseitig aktiviert wurden.
- > Die Kompensationsleistung ist auf den Bemessungswert der Anlage begrenzt. Übersteigt der Bedarf im Betrieb diesen Wert, kompensiert die Anlage bis zu ihrer Bemessungsleistung; die in Abschnitt 21 genannten Zielwerte werden dann nicht erreicht.
- > Die Anlage ist kein Spannungsregler: Sie regelt nicht auf eine Zielspannung und gleicht Spannungseinbrüche und -schwankungen aus dem vorgelagerten Netz nicht aus. Der geringere Spannungsfall im eigenen Netz ist ein Nebeneffekt der Kompensation.

3 Produkt und Aufbau

3.1 Produktdefinition und -differenzierung

ESO ist eine aktive, dynamische, halbleitergesteuerte, stufenlose elektronische Strom- und Netzoptimierungsanlage für induktive und kapazitive Lasten.

Die Anlage wird parallel zur Kundenanlage an die Niederspannungshauptverteilung angeschlossen. Ein Rogowski-Spulensatz erfasst den Strom der Anlage. Ein Signalprozessor zerlegt diesen Strom fortlaufend in seine Bestandteile - Wirkstrom, nicht wirksamer Stromanteil, Oberschwingungsströme und Gegensystem - und steuert die Leistungshalbleiter so an, dass die Anlage genau die unerwünschten Anteile als Gegenstrom erzeugt. Netzseitig bleibt ein weitgehend sinusförmiger, symmetrischer Wirkstrom übrig.

Der Unterschied zur klassischen Kompensation liegt in der Art der Bereitstellung. Eine Kondensatoranlage schaltet feste Kapazitätswerte zu und arbeitet damit in Stufen. Die ESO-Anlage erzeugt einen Strom beliebiger Amplitude und Phasenlage. Daraus ergeben sich drei Eigenschaften, die eine gestufte Anlage prinzipbedingt nicht erreicht:

- > **Stufenlose Regelung:** Die Ausgangsgröße ist kontinuierlich einstellbar. Über- oder Unterkompensation tritt nicht auf.
- > **Beide Richtungen:** Die Anlage korrigiert den Leistungsfaktor bei induktiven wie bei kapazitiven Lasten. Der Zielwert des Leistungsfaktors liegt bei 0,99 und darüber.
- > **Keine Parallelresonanz:** Die Anlage wirkt für Oberschwingungen als geregelte Stromquelle, nicht als Kapazität. Eine Verdrosselung, wie sie klassische Kompensationsanlagen benötigen, entfällt.

Im direkten Vergleich mit einer geschalteten Kondensatoranlage:

	GESCHALTETE KONDENSATORANLAGE	ESO
Regelung	in festen Stufen	stufenlos
Genauigkeit	Über- oder Unterkompensation je nach Stufung	exakt auf den Sollwert geregelt
Richtung	nur kapazitiv	induktiv und kapazitiv
Reaktionszeit	Sekunden, bestimmt durch Schützlaufzeit und Entladepausen	unter 5 Millisekunden
Oberschwingungen	werden nicht kompensiert; unverdrosselte Anlagen können mit der Netzinduktivität in Resonanz geraten	gezielt kompensiert
Verdrosselung	meist erforderlich, und mit dem Netzbetreiber abzustimmen	entfällt
Schiefast	üblicherweise nicht behandelt	aktiv symmetriert
Verschleiß	Schütze und Kondensatoren schalten mechanisch	keine mechanischen Schalthandlungen im Leistungspfad
Bauform	Standschrank, abhängig von der Stufenzahl	Wandgerät

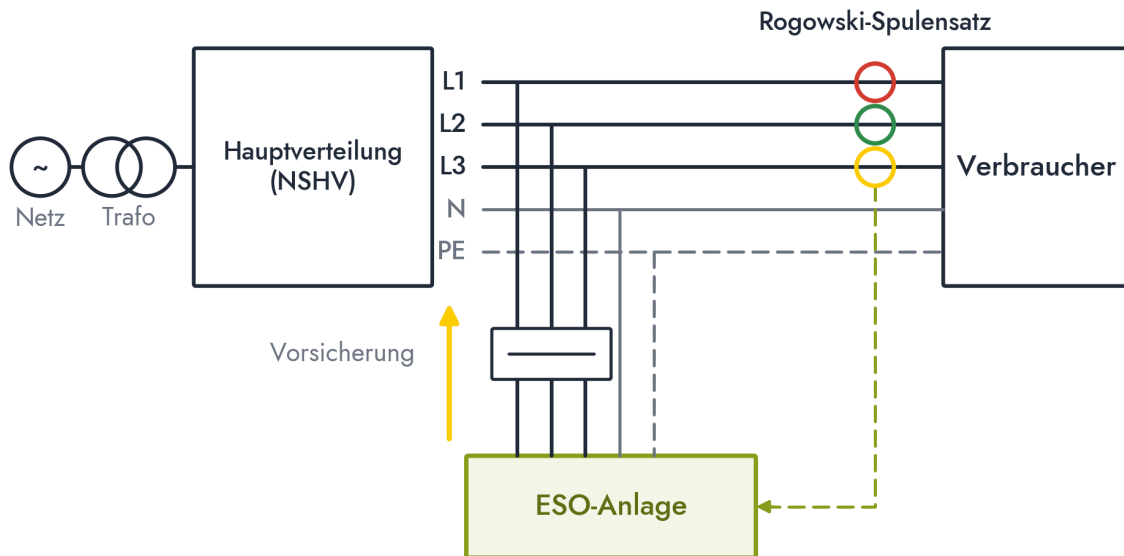
3.2 Funktionsumfang, Aufbau der Anlage und Einbindung

FUNKTION	WIRKUNG
Leistungsfaktor-optimierung	Stufenlose Regelung; erreichbar ist ein Leistungsfaktor von mindestens 0,99 (ab 50 Prozent Auslastung des Kompensationsstroms)
Oberschwingungskompensation	Kompensation der Oberschwingungsströme der 2. bis 13. Ordnung; hierfür stehen 60 Prozent der Bemessungsleistung zur Verfügung; THDi ≤ 5 %

FUNKTION	WIRKUNG
Schiefelastkompensation	Symmetrierung der drei Außenleiter auf einen Unsymmetriegrad unter 5 %
Neutralleiterentlastung	Reduzierung des Neutralleiterstroms in Vierleiternetzen durch Kompensation der durch drei teilbaren Ordnungen
Datenerfassung	Fortlaufende Messung und Anzeige von Spannungen, Strömen, Leistungsfaktoren, THD-Werten und Unsymmetriegraden auf der Netz- und der Lastseite
Schutzfunktionen	Überstrom, Überspannung, Übertemperatur, Phasenfolgefehler, Phasenausfall
Messwerterfassung	Netz- und Lastseite getrennt, mit Spektrumanalyse und Ereignisspeicher

Die Anlage besteht aus dem ESO-Gehäuse zur Wandmontage, dem darin eingebauten Leistungsteil mit Regelelektronik, der Anzeigeeinheit sowie dem Rogowski-Spulensatz mit Integrator für die Strommessung.

Aufbau: Gehäuse - pulverbeschichtetes Stahlblech 2 mm in RAL 7035 Lichtgrau, Maße nach Abschnitt „Auslegungen“, für Wandmontage, mit Lüftungsöffnungen und Klemmraum. Leistungsteil - Halbleiterbrücke in Dreipunkt-Topologie mit IGBT, Gleichspannungszwischenkreis und drehzahl geregelter Belüftung. Regelung - Signalprozessor mit FPGA; Spektralanalyse und Momentanleistungsverfahren. Anzeigeeinheit - Touch-Display mit Anzeige der Netz- und Lastseite, des Leistungsteils und des Ereignisspeichers. Strommessung - Rogowski-Spulensatz aus drei Spulen 1000 A mit Integrator (Messumformer, Ausgang 5 A), Innendurchmesser 100 mm, farbcodiert für L1, L2 und L3; der Integrator wird bauseits mit 230 V AC versorgt. Meldung - Relaisausgänge für Betriebs- und Störmeldung, gespeist aus der internen 24-V-Versorgung. Schnittstelle - RS485 mit zwei Kanälen. Die Messwerte stehen dort per Modbus RTU nach der Registerliste in Abschnitt 20.6 bereit.



Die Anlage wird parallel an die Hauptverteilung angeschlossen - fünfadrig über L1, L2, L3, N und PE, abgesichert über die Vorsicherung. Der Rogowski-Spulensatz sitzt lastseitig, sodass er den gesamten Laststrom erfasst, nicht aber den Kompensationsstrom der Anlage (Pfeil); gestrichelt dargestellt ist das Messsignal der Spulen.

4 Wirkungsweise

Der Strom, den ein Betrieb aus dem Netz zieht, lässt sich rechnerisch in vier Anteile zerlegen. Nur einer davon verrichtet Arbeit.

ANTEIL	URSACHE	WIRKUNG IM NETZ
Wirkstrom	tatsächliche Leistungsaufnahme	erwünscht, erzeugt die Nutzarbeit
nicht wirksamer Stromanteil	Magnetisierung von Motoren und Transformatoren	pendelt zwischen Netz und Verbraucher, belastet Zuleitung und Transformator
Oberschwingungsströme	nichtlineare Verbraucher wie Frequenzumrichter, Schaltnetzteile und LED-Treiber	erhöhen den Effektivstrom, erwärmen Leitungen und Wicklungen, belasten den Neutralleiter
Gegensystem	ungleiche Belastung der drei Außenleiter	Ausgleichsströme, Zusatzverluste im Motor, Neutralleiterbelastung

Die ESO-Anlage misst diese Anteile und erzeugt sie spiegelbildlich. Da sich die Ströme am Anschlusspunkt überlagern, heben sie sich weitgehend auf. Der Laststrom im Betrieb bleibt unverändert - was sich ändert, ist der Anteil, der dafür aus dem Netz bezogen werden muss.



Wirkungsweise der aktiven Kompensation (vereinfacht). Der gemessene Laststrom und der gegenphasig erzeugte Kompensationsstrom ergeben zusammen einen sinusförmigen Netzstrom.

4.1 Leistungsfaktor

Induktive Verbraucher benötigen Magnetisierungsstrom, der zwischen Netz und Verbraucher pendelt, ohne Arbeit zu verrichten. Er belastet Zuleitungen, Transformator und Schaltanlage und erzeugt dort Stromwärmeverluste. Die ESO-Anlage stellt diesen Anteil unmittelbar am Verbraucher bereit, sodass er die vorgelagerte Infrastruktur nicht mehr durchfließt. Die Regelung erfolgt kontinuierlich und in beide Richtungen; auch kapazitive Lasten werden erfasst.

Zur Einordnung: Ein Verbraucher mit einem Leistungsfaktor von 0,7 zieht für dieselbe Arbeit rund 43 Prozent mehr Strom als ein voll kompensierter. Weil die Leitungsverluste quadratisch mit dem Strom steigen, verdoppeln sie sich dabei näherungsweise. Beahlt wird beides: der zusätzliche Strom und die Verlustwärme.

4.2 Oberschwingungen

Nichtlineare Verbraucher entnehmen den Strom nicht sinusförmig. Die dabei entstehenden Stromanteile bei Vielfachen der Netzfrequenz verrichten keine Nutzarbeit, erhöhen aber den Effektivstrom und damit die Verluste in Leitungen, Transformatoren und Motorwicklungen. Besonders kritisch sind die durch drei teilbaren Ordnungen, die sich im Neutralleiter addieren statt aufzuheben.

Die Anlage analysiert das Spektrum des Laststroms und speist die Oberschwingungsströme gegenphasig ein. Behandelt werden die Ordnungen 2 bis 13. Für die Oberschwingungskompensation stehen 60 Prozent der Bemessungsleistung zur Verfügung; der verbleibende Anteil steht für die Leistungsfaktorkorrektur und die Schiefastkompensation zur Verfügung. Die Aufteilung ist werkseitig festgelegt (siehe Abschnitt 4.5). Oberschwingungen höherer Ordnung werden nicht kompensiert. Gerade Ordnungen sind im Auslieferungszustand nicht aktiviert; sie können auf Anfrage werkseitig konfiguriert werden.

Betriebe mit vielen Frequenzumrichtern sind der Hauptanwendungsfall dieser Funktion: Je höher der Umrichteranteil, desto größer ist der Anteil der Verzerrungsströme am Effektivstrom - und desto mehr davon lässt sich am Entstehungsort ausgleichen.

4.3 Schieflast

Ungleiche Belastung der drei Außenleiter erzeugt Gegen- und Nullsystemströme. Diese belasten den Neutralleiter, erwärmen den Transformator zusätzlich und führen bei Drehstrommotoren zu Ausgleichsströmen und Zusatzverlusten. Die Anlage verlagert Wirkleistung zwischen den Phasen und senkt den Unsymmetriegrad auf unter 5 Prozent.

4.4 Dynamik

Die Schalt- und Regelfrequenz der Leistungshalbleiter beträgt bis zu 25,6 kHz. Die Anfangsreaktion auf einen Lastsprung erfolgt in weniger als 50 Mikrosekunden. Die Gesamtreaktionszeit auf einen Lastsprung beträgt höchstens 5 Millisekunden, also innerhalb eines Viertels einer Netzperiode. Die Oberschwingungskompensation setzt eine Spektralanalyse über mindestens eine Grundschwingungsperiode voraus und wird innerhalb weniger Netzperioden wirksam. Damit werden auch schnell wechselnde Lasten wie Pressen, Schweißanlagen, Krananlagen oder anlaufende Motoren erfasst; schützgeschaltete Kompensationsanlagen benötigen wegen der Entladezeit der Kondensatoren zwischen zwei Schalthandlungen typisch 40 bis 60 Sekunden.

Die Regelung bildet einen geschlossenen Kreis aus vier Stufen, der ohne Unterbrechung durchlaufen wird:

Erfassung: Ein Rogowski-Spulensatz (drei Spulen) misst den Strom in den Außenleitern. Die Anlage misst zusätzlich die Netzspannung und bestimmt daraus Frequenz und Phasenlage. Zerlegung: Der Signalprozessor zerlegt den gemessenen Strom in Wirkstrom, nicht wirksamen Stromanteil, Oberschwingungsströme und Gegensystem. Dafür kommen eine Spektralanalyse und die momentane Leistungstheorie (p-q-Theorie) zum Einsatz. Sollwertbildung: Aus den unerwünschten Anteilen und der werkseitig festgelegten Kapazitätsaufteilung wird der Sollwert für den Ausgangsstrom gebildet. Erzeugung: Die Leistungshalbleiter werden mit bis zu 25,6 kHz getaktet und erzeugen den Sollstrom. Am Anschlusspunkt überlagert er sich dem Laststrom.

4.5 Aufteilung der Kompensationsleistung

Hinweis · Werkseitig festgelegt

Die drei Kompensationsfunktionen teilen sich die Leistung der Anlage. Die Aufteilung auf Leistungsfaktorkorrektur, Oberschwingungen und Schieflast wird von ESO festgelegt und werkseitig hinterlegt. Sie muss bei der Installation weder ermittelt noch eingegeben werden.

Im Verbund mehrerer Einheiten ist die Aufteilung für alle Einheiten identisch. Stellt sich im Betrieb heraus, dass die Lastzusammensetzung deutlich von der Auslegung abweicht, kann der ESO-Service die Aufteilung anpassen. Für den Errichter ist dazu nichts zu veranlassen.

Teil B - Installation und Inbetriebnahme

5 Sicherheit bei Arbeiten an der Anlage

Gefahr · vor Beginn der Arbeiten

Sämtliche Arbeiten sind im spannungsfreien Zustand durchzuführen. Anlage allpolig freischalten, gegen Wiedereinschalten sichern, Spannungsfreiheit feststellen, erden und kurzschließen, benachbarte unter Spannung stehende Teile abdecken.

Gefahr · Zwischenkreis führt nach dem Freischalten Spannung

Das Leistungsteil enthält Kondensatoren im Gleichspannungszwischenkreis. Nach dem Trennen von der Netzspannung führen diese noch mehrere Minuten lang lebensgefährliche Spannung.

Die Anlage darf frühestens 5 Minuten nach dem allpoligen Freischalten geöffnet werden. Vor Arbeitsbeginn ist die Spannungsfreiheit zu messen.

- > Das Abschalten über das Display beendet nur den Betrieb des Leistungsteils. Zwischenkreis und Hilfsversorgung bleiben unter Spannung. Für Arbeiten an der Anlage ist stets allpolig freizuschalten.
- > Das Trennen unter Last durch direktes Ausschalten ist dem Notfall vorbehalten und im Normalbetrieb unzulässig.
- > Der Schutzleiter ist zuerst anzuschließen und zuletzt zu trennen. Ohne einwandfreie Erdung darf die Anlage nicht eingeschaltet werden.
- > Spannungsführende Teile dürfen im Betrieb nicht berührt werden. Die Anlage ist im Betrieb geschlossen zu halten.
- > Vor Isolations- oder Spannungsprüfungen an der Kundenanlage ist die ESO-Anlage allpolig abzuklemmen.
- > Bei Installation und Wartung ist auf Kurzschlussgefahr durch Werkzeuge zu achten. Geeignete Schutzausrüstung ist zu tragen.

- > Die Anlage darf nicht in Umgebungen mit Flüssigkeiten, Kondensation oder explosionsfähiger Atmosphäre betrieben werden.
- > Typenschild, Warnhinweise und Kennzeichnungen müssen lesbar bleiben und dürfen nicht entfernt werden.

6 Lieferung, Transport und Material

Jede Anlage durchläuft vor der Auslieferung eine Stückprüfung nach DIN EN IEC 62477-1 - Sichtprüfung, Schutzleiterprüfung, Isolationsmessung mit 500 V DC, Spannungsfestigkeitsprüfung mit 1.600 V DC am geschlossenen Gerät und Funktionskontrolle - und wird betriebsfertig eingestellt ausgeliefert.

6.1 Im Lieferumfang enthalten:

- > ESO-Anlage, betriebsfertig verdrahtet und werkseitig eingestellt
- > Wandhalterungen aus verzinktem Stahl und Befestigungsmaterial
- > Bohrschablone für die Wandhalterungen
- > Rogowski-Spulensatz: drei Spulen 1000 A : 5 A mit 100 mm Innendurchmesser, farbcodiert, mit zugehörigem Integrator (Messumformer, Ausgang 5 A)
- > Anzeigeeinheit, betriebsbereit angeschlossen
- > Typenschild und Kennzeichnung
- > Diese Produkt- und Installationsbeschreibung

6.2 Benötigtes Material je Ausbaustufe

Was über den Lieferumfang hinaus gebraucht wird, hängt von der Ausbaustufe ab. Die Tabelle nennt das Material, das die Elektrofachkraft beistellt.

AUSBAUSTUFE	MATERIAL (BAUSEITS)	HINWEIS
Einzelanlage	Zuleitung fünfadrig nach Abschnitt 21; Vorsicherung nach Abschnitt „Auslegungen“, Betriebsklasse gR oder aR (Abschnitt 8); Befestigungsmittel passend zur Montagewand; Raumbelüftung für die abzuführende Verlustwärme; 230 V AC für den Integrator in der Nähe des Rogowski-Spulensatzes; zugänglicher Abschnitt der Hauptzuleitung als Montageplatz für die Spulen; Messleitung geschirmt und paarverseilt, falls verlängert wird; Prüf-/Trennklemmen im 5-A-Messkreis	Rogowski-Spulensatz, Integrator und Anzeigeeinheit sind im Lieferumfang

AUSBAUSTUFE	MATERIAL (BAUSEITS)	HINWEIS
Betriebs- und Störmeldung an eine Leitwarte	Meldeleitung; bei Bedarf Koppelrelais 24 V DC (Versorgung aus der Anlage, 25 W gesamt abzüglich Anzeigeeinheit)	Relaisausgänge YK1 und YK2, Abschnitt 10
Start und Stopp über externe Kontakte oder ein Energiemanagementsystem	Start-Taster (Schließer) und Stopp-Taster (Öffner) oder Wechselschalter; Steuerleitung zu DI1, DI2 und COM–	Umstellung auf Tasterstart durch den Betreiber, Abschnitt 14.2
Mehrere Einheiten in getrennten Messbereichen	je Einheit wie Einzelanlage; keine Busleitung zwischen den Einheiten	Abschnitt 11.1
Verbund mehrerer Einheiten am selben Messpunkt	Busleitung RS485, paarverseilt und geschirmt, als Linie von Einheit zu Einheit und zur Anzeigeeinheit; zwei Abschlusswiderstände 120 Ω bei über 300 m Leitungslänge oder ab acht Teilnehmern; zweiter Rogowski-Spulensatz für den Summen-Kompensationsstrom (mitgeliefert)	Abschnitte 11.2 bis 11.4
Einbindung in ein Energiemanagementsystem	Datenleitung RS485, paarverseilt und geschirmt, in den Klemmraum auf Kanal 1 (485A1/485B1); bei größerer Entfernung oder Netzwerkanbindung ein Modbus-Gateway (Hutschienengerät mit eigener Versorgung); Energiezähler mit Schnittstelle im betrachteten Abgang	Abschnitt 20

6.3 Transport, Auspacken und Lagerung:

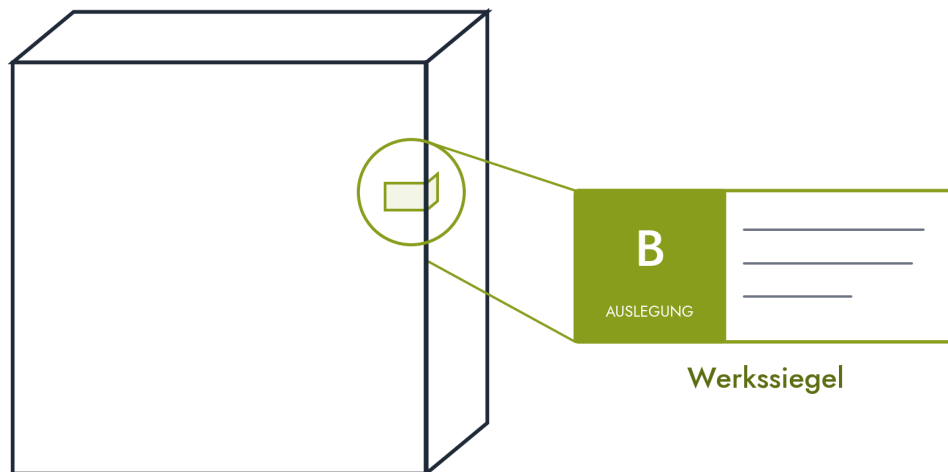
- > Anlage bis zum Aufstellort in der Transportverpackung belassen.
- > Anlage stehend transportieren und lagern, nicht kippen und nicht auf die Seite legen.
- > Verpackung und Anlage vor dem Auspacken auf Transportschäden prüfen. Schäden vor der Montage dokumentieren und melden.
- > Lieferung anhand des Lieferscheins auf Vollständigkeit prüfen, insbesondere Anzahl und Ausführung der Rogowski-Spulensätze.
- > Anlage nur an den vorgesehenen Punkten anheben und gegen Kippen sichern.
- > Bei Zwischenlagerung: trocken und staubarm, –30 °C bis +70 °C, relative Luftfeuchte maximal 95 Prozent, ohne Kondensation.

- > Die Anlage in der Transportverpackung nicht länger als 6 Monate lagern. Bei einer Lagerung über ein Jahr sind die Zwischenkreiskondensatoren vor der Inbetriebnahme durch den ESO-Service nachzuladen.

6.4 Werkssiegel

Jede Anlage trägt ab Werk ein Siegel über einer senkrechten Kante des Gehäuses. Es nennt links die Auslegung der Anlage und rechts die Vorsicherung und die Zuleitung, die bauseits vorhanden sein müssen - dieselben Werte wie im Abschnitt „Auslegungen“.

Das Siegel ist so geklebt, dass es das Öffnen verhindert. Das Öffnen des Leistungsteils und Eingriffe in die Elektronik schließen Gewährleistung und Garantie aus; das Siegel ist dafür das Beweismittel. Es darf weder entfernt noch beschädigt werden. Das Siegel ersetzt das Typenschild nicht. Typenbezeichnung und Seriennummer stehen weiterhin dort.



Das Werkssiegel klebt über einer senkrechten Kante des Gehäuses und verhindert das Öffnen des Leistungsteils. Rechts vergrößert: links die Auslegung, rechts die bauseitigen Anschlusswerte.

7 Standort und Montage

KRITERIUM	ANFORDERUNG
Raum	trocken, staubarm, keine Kondensation, kein leitfähiger Staub, keine aggressive Atmosphäre
Umgebungstemperatur	dauerhaft bis 30 °C für Vollastbetrieb; darüber mit Leistungsreduzierung. Die Obergrenze der Anlage liegt bei +50 °C und wird vom Rogowski-Spulensatz bestimmt (–25 °C bis +50 °C); das Leistungsteil allein ginge bis +60 °C
Aufstellhöhe	bis 1500 m über NN ohne Leistungsreduzierung
Lage im Netz	möglichst nahe an der Hauptverteilung oder an den dominierenden Verbrauchern

KRITERIUM	ANFORDERUNG
Montageaufwand	trägt die Last der Anlage dauerhaft und vibrationsfrei; je nach Auslegung sind das bis zu 70 kg
Zugänglichkeit	für Wartung, Kontrolle und Ablesung jederzeit frei zugänglich

Warnung · Vorhandene Kompensationsanlagen

Im selben Verteilnetz dürfen keine verdrosselten Kompensationsanlagen betrieben werden. Vorhandene Altanlagen sind vor der Inbetriebnahme zu erfassen; dabei ist festzustellen, ob die Anlage verdrosselt oder unverdrosselt ausgeführt ist. Wird eine bestehende Kompensationsanlage durch die ESO-Anlage ersetzt, ist sie vollständig außer Betrieb zu nehmen und freizuschalten.

Eine bestehende unverdrosselte Kompensationsanlage darf parallel zur ESO-Anlage weiterbetrieben werden. Voraussetzung ist, dass sie im Messbereich des Rogowski-Spulensatzes liegt, also lastseitig der Spulen angeschlossen ist. Ihr Kompensationsstrom wird dann miterfasst und die ESO-Anlage regelt nur den verbleibenden Bedarf aus. Liegt die Bestandsanlage außerhalb des Messbereichs, erfassen die Spulen die volle unkompenzierte Last - beide Anlagen würden daher gleichzeitig kompensieren und das Netz überkompensieren.

7.1 Belüftung

Die Anlage wird zwangsbelüftet. Der Aufstellraum muss den erforderlichen Luftvolumenstrom bereitstellen und die anfallende Verlustwärme abführen können.

ANFORDERUNG	WERT
Luftvolumenstrom	je Auslegung, siehe Abschnitt „Auslegungen“
Verlustleistung	je Auslegung, siehe Abschnitt „Auslegungen“
Freiraum	Luft Eintritt und Luftaustritt ausreichend frei
Abstand zu Wärmequellen	ausreichender Abstand
Luftführung	Luft Eintritt und Luftaustritt dürfen nicht kurzgeschlossen werden; der Luftaustritt muss frei abströmen können

Warnung · Kühlluft

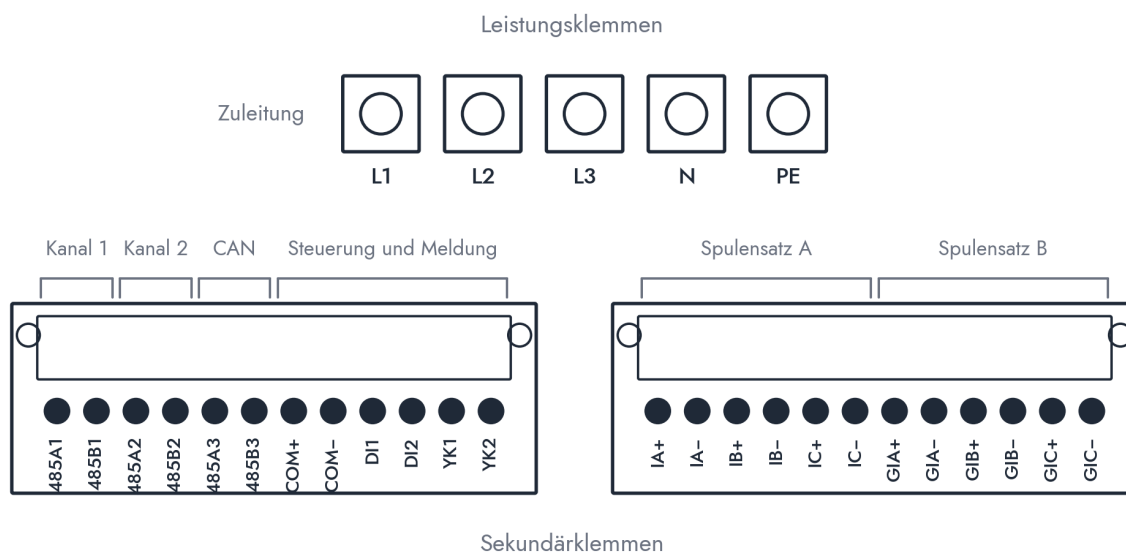
Die Lüftungsöffnungen dürfen nicht verdeckt und nicht mit Filtermatten versehen werden. Filtermatten setzen sich zu und führen zur Übertemperaturabschaltung. Steht weniger Freiraum zur Verfügung, ist für eine gleichwertige Belüftung des Aufstellraums zu sorgen. Der Betreiber ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass vor, unter und hinter der Anlage kein Material abgestellt werden darf.

7.2 Wandmontage

1. Montagehöhe so wählen, dass das Display ablesbar ist und der Klemmraum bequem erreichbar bleibt. Die Anlage soll für Ablesung und Wartung ohne Leiter zugänglich sein.
2. Bohrschablone auf die Wand übertragen und Bohrlöcher setzen. Bohrdurchmesser und Bohrtiefe richten sich nach den verwendeten Dübeln. Vor dem Bohren auf Leitungen in der Wand prüfen.
3. Dübel setzen und die Wandhalterungen fest verschrauben. Bei Betonwänden Schwerlastdübel mit mindestens 10 mm Durchmesser verwenden. Bei Hohlwänden oder Leichtbauwänden sind Hohlraumdübel erforderlich, die die Last auf eine größere Fläche verteilen; im Zweifel ist die Wand zu verstärken oder ein Standgestell vorzusehen.
4. Anlage in die Halterungen einhängen und auf sicheren Sitz prüfen. Die Anlage darf sich in den Halterungen nicht bewegen lassen.
5. Freiräume nach Abschnitt 7 kontrollieren. Die Abstände sind dauerhaft freizuhalten und dem Betreiber mitzuteilen.
6. Schutzleiter an den Potentialausgleich anschließen. Die Erdung erfolgt vor allen weiteren Anschlussarbeiten.

8 Elektrischer Anschluss

Die Anlage wird parallel zur Last an einen abgesicherten Abgang der Hauptverteilung angeschlossen. Die Anschlussklemmen sind mit L1, L2, L3, N und PE gekennzeichnet. Die Zuleitung der Anlage darf nicht auf dem Teil der Kundenanlage liegen, der bei Netzausfall von einem Ersatzstromaggregat oder einer anderen Ersatzversorgung gespeist wird. Netzparallele Photovoltaik- oder Blockheizkraftwerksanlagen am Standort stehen dem Betrieb nicht entgegen.



Die Anschlussklemmen der Anlage, wie sie im Klemmraum liegen: oben die Leistungsklemmen, darunter die beiden Messkreise, die Steuer- und Meldeklemmen und der Datenbus. Die Bezeichnungen entsprechen der Beschriftung am Gerät. Die Klemmen 485A3 und 485B3 tragen trotz ihres Namens keinen RS485-Kanal, sondern eine CAN-Schnittstelle, die ESO nicht belegt.

LEITER	QUERSCHNITT	ANMERKUNG
L1, L2, L3	siehe Abschnitt „Auslegungen“	-
N	siehe Abschnitt „Auslegungen“	eine Stufe größer als die Außenleiter, weil der Neutralleiter die kompensierten Oberschwingungsströme führt; betriebsmäßig beträgt der Neutralleiterstrom höchstens den Bemessungsstrom je Phase
PE	siehe Abschnitt „Auslegungen“	-
Vorsicherung	siehe Abschnitt „Auslegungen“	Betriebsklasse gR oder aR, siehe Warnhinweis

Warnung · Sicherungscharakteristik

Am Geräteeingang ist eine Halbleiterschutzsicherung der Betriebsklasse gR oder aR vorzusehen; eine Sicherung der Betriebsklasse gG ist nicht geeignet. Ihr Bemessungsstrom richtet sich nach der Auslegung der Anlage und steht im Technischen Datenblatt; er liegt deutlich über dem Bemessungsstrom der Anlage, weil der Einschaltstromstoß beim

Zuschalten und der Oberschwingungsanteil des Stroms eine knapp bemessene Sicherung auslösen würden. Eine kleinere Sicherung löst bei Volllast der Anlage aus.

Warnung · Leitungsauslegung im Einzelfall prüfen

Die angegebenen Querschnitte sind Mindestwerte für die Bemessungsleistung unter günstigen Verlegebedingungen. Maßgeblich für die Ausführung ist die Auslegung nach DIN VDE 0100-520 und DIN VDE 0100-430 unter den tatsächlichen Verlege-, Häufungs- und Temperaturbedingungen.

Anhand von Bemessungsstrom und Vorsicherung der jeweiligen Auslegung - beide stehen im Technischen Datenblatt - ist zu prüfen, ob der gewählte Querschnitt die Bedingungen für den Überlastschutz erfüllt. In ungünstigen Verlegearten, bei Häufung mehrerer Stromkreise oder bei Umgebungstemperaturen über 30 °C ist ein größerer Querschnitt erforderlich.

8.1 Anschluss ausführen

1. Zuleitung in den Klemmraum einführen und Zugentlastung setzen.
2. Schutzleiter zuerst auf die PE-Klemme legen. Beim Rückbau wird der Schutzleiter zuletzt getrennt.
3. Neutralleiter auf N legen, anschließend die Außenleiter auf L1, L2 und L3. Die Phasenfolge muss dem Rechtsdrehfeld entsprechen und mit der Zuordnung der Spulen des Rogowski-Spulensatzes übereinstimmen.
4. Bei feindrähtigen Leitern Aderendhülsen verwenden. Die abisolierten Enden müssen sauber und ohne ausgefrante Einzeldrähte sein.

Warnung · Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

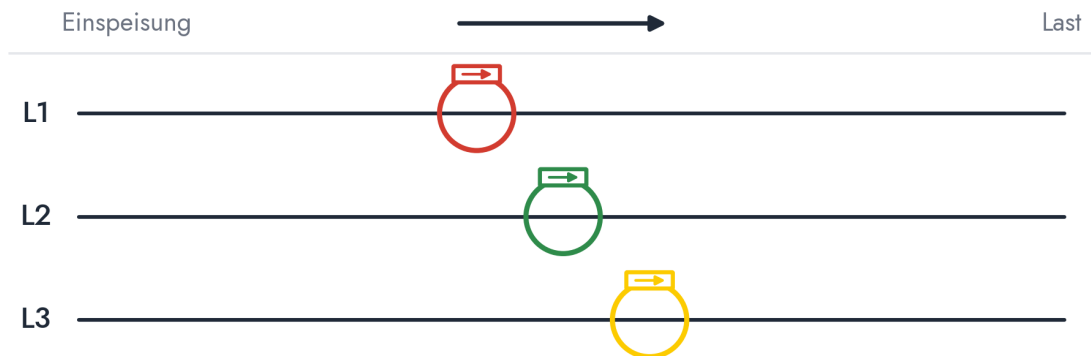
Die Anlage enthält einen Umrichter mit Gleichspannungszwischenkreis und kann im Fehlerfall glatte Gleichfehlerströme erzeugen. Ist dem Abgang eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung vorgelagert, muss diese allstromsensitiv sein - Typ B nach DIN VDE 0100-530 in Verbindung mit DIN EN 62423; ein Typ B+ (VdS 3501, erweiterter Frequenzbereich) erfüllt die Anforderung ebenfalls. Ein RCD vom Typ A oder F kann durch Gleichfehlerströme unwirksam werden.

Warnung · Isolationsmessung

Für eine Isolationsmessung oder eine Spannungsprüfung an der Kundenanlage ist die ESO-Anlage allpolig abzuklemmen; damit ist sie sicher aus dem Prüfkreis genommen.

9 Strommessung: Spulensatz und Integrator

Von der Montage der Spulen hängt ab, ob die Anlage richtig regelt. Sie ist der häufigste Fehlerpunkt der gesamten Installation.

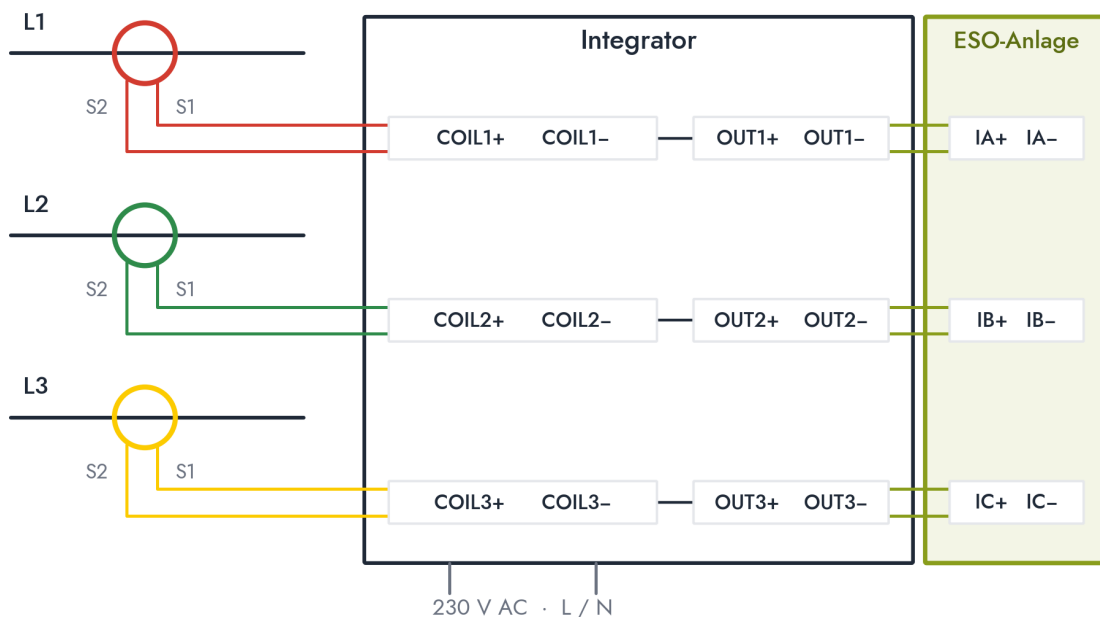


Jede Spule umschließt genau einen Außenleiter. Die Farbe bestimmt den Kanal, der Pfeil auf dem Verschluss die Richtung: er zeigt immer von der Einspeisung zur Last.

9.1 Vorgehen

1. Montageort in der Hauptzuleitung so wählen, dass der gesamte Laststrom erfasst wird. Der Kompensationsstrom der ESO-Anlage darf nicht mitgemessen werden. Die Spulen sitzen deshalb lastseitig hinter dem Abgriff der Anlage; bei mehr als vier Einheiten an einem gemeinsamen Messpunkt ist die lastseitige Lage zwingend. Eine weiterbetriebene unverdrosselte Kompensationsanlage muss im Messbereich der Spulen liegen (siehe Warnhinweis in Abschnitt 7). Der mitgelieferte Spulensatz ist für 1000 A ausgelegt und erfasst Ströme von 50 A bis 1200 A; liegt der Laststrom am Montageort außerhalb dieses Bereichs, wird der Spulensatz mit passender Übersetzung projektspezifisch ausgelegt.
2. Spule öffnen, um den Leiter legen und den Verschluss vollständig schließen. Ein unvollständig geschlossener Verschluss verfälscht die Messung erheblich. Auf hörbares Einrasten achten.
3. Farbzusordnung einhalten: rot auf L1, grün auf L2, gelb auf L3. Die Zuordnung muss mit der Phasenfolge der Anspeisung übereinstimmen.
4. Pfeilrichtung prüfen. Der Pfeil auf dem Verschluss zeigt in Richtung des Energieflusses, also von der Einspeisung zur Last. Eine verdrehte Spule führt zu einem negativen Vorzeichen der Messwerte und damit zu Fehlfunktion.

5. Spulen gegen Verrutschen sichern und einen Abstand von mindestens 100 mm zu benachbarten stromführenden Leitern einhalten. Bewegung im Betrieb erzeugt Messfehler.



Je Phase führen zwei Adern vom Rogowski-Spulensatz zum Integrator: S1 auf COIL+, S2 auf COIL-. Die 5-A-Ausgänge OUT1 bis OUT3 gehen auf die Klemmen IA, IB und IC der Anlage. Den Integrator versorgt der Errichter bauseits mit 230 V AC.

6. Integrator in der Nähe der Spulen montieren, die drei Spulenleitungen in der Farbzuordnung der Spulen auf die Eingänge COIL1 bis COIL3 auflegen und die 5-A-Ausgänge OUT1 bis OUT3 zur Anlage führen. Den Integrator bauseits mit 230 V AC versorgen (L, N und PE nach seinem Anschlussbild). Ohne Versorgung des Integrators liefert die Strommessung kein Signal und die Anlage regelt nicht.
7. Messleitungen zur Anlage verlegen und auflegen. Messleitungen nicht parallel zu Leistungskabeln führen. Bei geschirmter Leitung den Schirm einseitig auflegen. Den 5-A-Messkreis kurz halten: Der Ausgang des Integrators trägt eine Bürde von höchstens 0,1 Ω , und Leitungslänge wie Zahl der gespeisten Einheiten gehen beide in diese Bürde ein. Einfache Leitungslänge deshalb höchstens 5 m bei 2,5 mm², 8 m bei 4 mm² und 12 m bei 6 mm². Größere Entfernungen und Verbünde nach Abschnitt 11.2 legt ESO gesondert aus.

Gefahr · Strommesskreise

Die Messleitungen dürfen im Betrieb nicht getrennt werden. Vor Arbeiten am Messkreis ist die Anlage allpolig freizuschalten. Wird statt des Rogowski-Spulensatzes ein konventioneller Stromwandler verwendet, ist dessen Sekundärseite vor dem Auflegen kurzzuschließen und bis zum vollständigen Anschluss kurzgeschlossen zu halten; ein offener Wandlerkreis erzeugt lebensgefährliche Spannungen und zerstört den Messkreis. An einem solchen Wandler darf kein weiteres Gerät in Reihe liegen.

Warnung · Verlängerung der Messleitungen

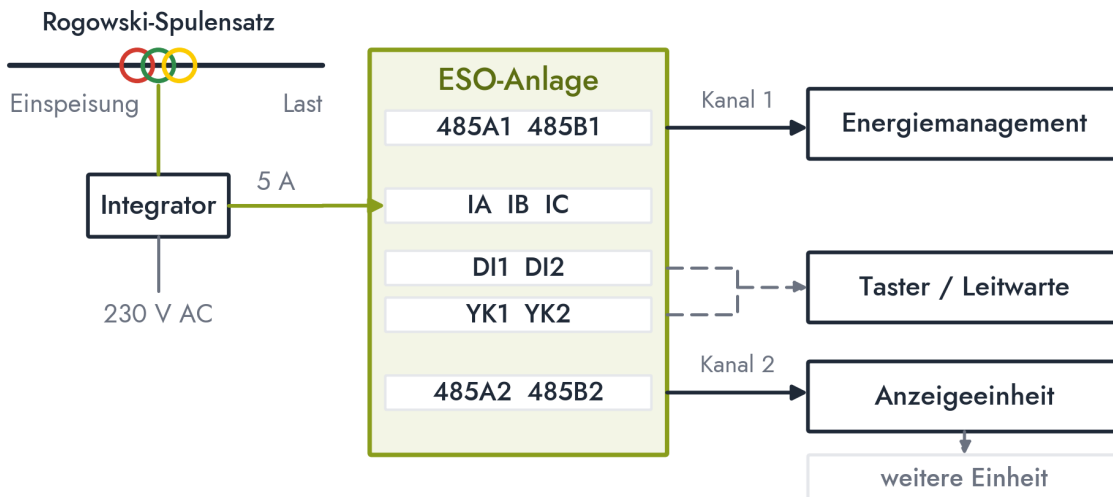
Verlängerungen sind auf das Nötigste zu beschränken, da jede Verbindungsstelle eine Fehlerquelle darstellt. Es ist ausschließlich geschirmte Leitung zu verwenden. Der Querschnitt richtet sich nach der einfachen Leitungslänge: bis 10 m mindestens 2,5 mm², von 10 bis 20 m mindestens 4,0 mm²; längere Wege legt ESO im Einzelfall aus. Verbindungen sind zu löten und mit Schrumpfschlauch zu isolieren; Klemmverbindungen lockern sich und führen zu sporadischen Fehlern. Der Schirm ist durchgehend zu verbinden und einseitig aufzulegen. Als Richtwert für Verlängerungen gilt bei einer Wandlerbürde von 5 VA ein Querschnitt von 2,5 mm² bis 10 m und 4,0 mm² bis 20 m einfacher Länge; bei 10 VA verdoppeln sich diese Längen; werkseitig konfektionierte Messleitungen möglichst nicht verändern. Für das Kurzschließen und Trennen des Messkreises empfiehlt sich der Einbau von Prüf-/Trennklemmen.

10 Steuer-, Melde- und Datenleitungen

- > **Betriebs- und Störmeldung:** Die Relaisausgänge (24 V DC aus der internen Versorgung der Anlage. Die Versorgung liefert insgesamt 25 W und speist auch die Anzeigeeinheit; die verbleibende Leistung ist für Meldeleuchten oder Koppelrelais zu verwenden.) können auf eine Leitwarte oder eine Meldeleuchte geführt werden.
- > **Digitaleingänge Start und Stopp:** Die Klemmen DI1 (Start) und DI2 (Stopp) werden gegen COM– beschaltet - DI1 als Schließer, DI2 als Öffner; alternativ ein Wechselschalter, bei dem der geschlossene Kontakt Betrieb bedeutet. Ob die Anlage auf diese Kontakte reagiert, hängt von der Startart ab (Abschnitt 14.1).
- > **Modbus-Schnittstelle:** Die Anlage verfügt über zwei RS485-Kanäle. Kanal 2 ist der Anzeigeeinheit und der Verbindung mehrerer Einheiten untereinander vorbehalten und darf nicht anderweitig belegt werden. Ein Energiemanagement- oder Leitsystem wird an Kanal 1 des Leistungsteils angeschlossen (Klemmen 485A1/485B1). Der Kanal nutzt dieselbe Modbus-Registerliste wie Kanal 2; ESO gibt die Klemmenbelegung und die Einstellungen mit der Anlagendokumentation an. Das System liest die Messwerte zyklisch (Modbus RTU, 9600 Bd, 8 Datenbits, keine Parität, 1 Stoppbit, Funktionscode 03). Bereitgestellt werden unter anderem Spannungen, Ströme, Leistungsfaktoren, THD-Werte, Unsymmetriegrade, Zwischenkreisspannungen und Halbleitertemperaturen. Die Registerliste ist in Abschnitt 20.6 aufgeführt. Soll ein Energiemanagementsystem die Anlage über die Digitaleingänge zu- und abschalten, ist am Display auf Tasterstart umzustellen (Abschnitt 14.2); im Automatikstart bleibt ein Startbefehl des Energiemanagementsystems wirkungslos.

- > **Leitungsführung:** Steuer- und Datenleitungen getrennt von Leistungskabeln verlegen. Bei Leitungslängen über 300 m oder ab acht Busteilnehmern ist der Datenbus an beiden Enden mit 120 Ω abzuschließen.

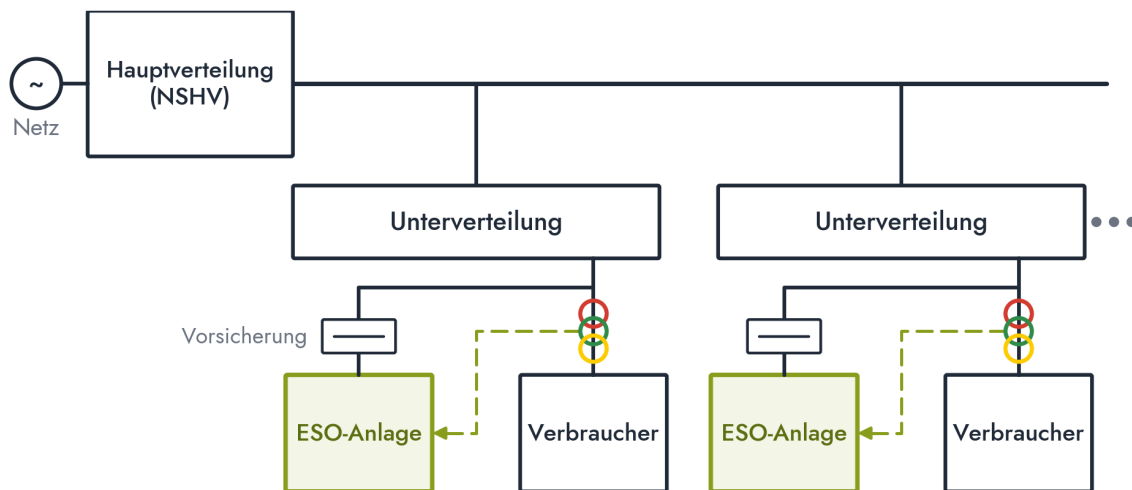
11 Mehrere Einheiten



Drei voneinander unabhängige Kreise - der Messkreis vom Rogowski-Spulensatz über den Integrator (5 A) an die Klemmen IA, IB und IC (oliv), der Datenbus Kanal 2 zur Anzeigeeinheit und zum Verbund weiterer Einheiten, sowie die Anschlüsse für Start und Stopp (DI1, DI2) und Meldungen (YK1, YK2); sowie Kanal 1 (485A1/485B1) für ein Energiemanagementsystem. Der Integrator wird bauseits mit 230 V AC versorgt.

11.1 Unterschiedliche Messbereiche/Unterverteiler

Verteilt sich der Bedarf auf mehrere Bereiche des Betriebs - etwa mehrere Unterverteilungen -, werden weitere Anlagen als unabhängige Einheiten ergänzt. Jede hat ihren eigenen Rogowski-Spulensatz lastseitig in ihrem Abschnitt, einen eigenen, nicht überlappenden Messbereich und regelt eigenständig; eine Busverbindung untereinander ist nicht erforderlich, weil nichts abzustimmen ist. Das ist keine Parallelschaltung im Sinne des Leistungsteils, und die Zahl solcher unabhängigen Anlagen ist nicht begrenzt. Als „Parallelbetrieb“ gilt allein der Verbund nach Abschnitt 11.2: mehrere Einheiten an einer Schiene mit gemeinsamem Spulensatz und Busverbindung in Reihe - nur dort gilt die Obergrenze von 8 Einheiten je Verbund. Im Verbund am selben Messpunkt nach Abschnitt 11.2 ist die Busverbindung dagegen zwingend.



Dezentraler Parallelbetrieb - jede Einheit erfasst mit ihrem eigenen Rogowski-Spulensatz (oliv) den Laststrom ihres Bereichs und kompensiert am Ort der Entstehung.

Die Einheiten hängen parallel an der Verteilung und arbeiten unabhängig voneinander. Jede Einheit erfasst mit ihrem eigenen Rogowski-Spulensatz den Laststrom ihres Bereichs und kompensiert unmittelbar dort; bevorzugt werden die Einheiten dezentral nahe den großen Verbrauchern gesetzt. Für die Montage der Spulen gilt Abschnitt 9.

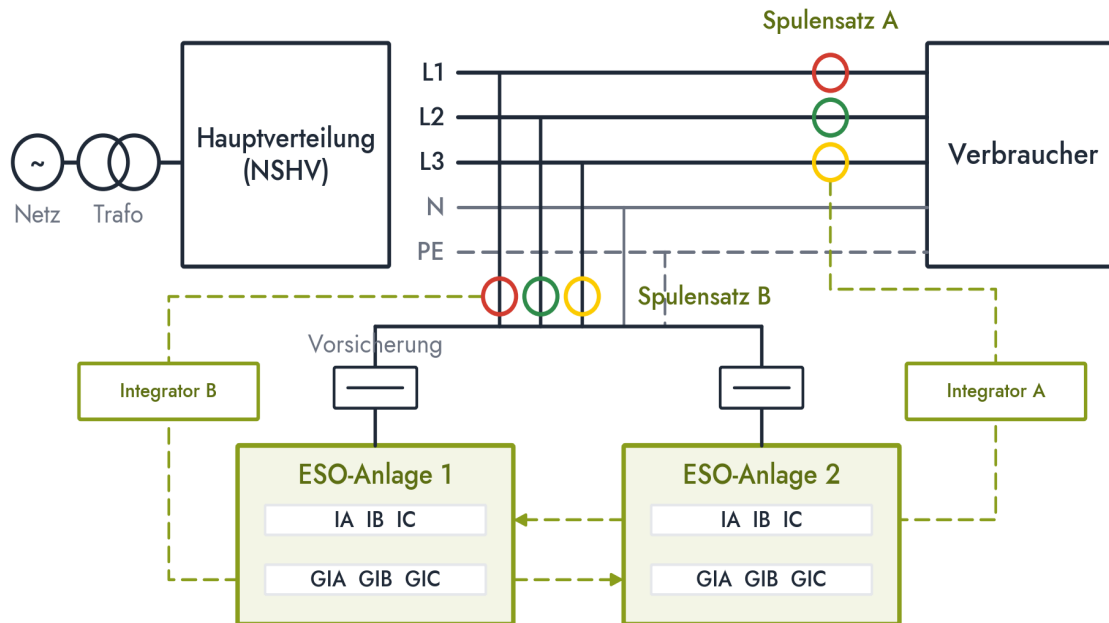
Die Spulen sind so zu setzen, dass der Kompensationsstrom anderer Einheiten nicht miterfasst wird.

Warnung · Gemeinsamer Messpunkt

Zwei Einheiten dürfen nicht denselben Laststrom erfassen; jede Einheit benötigt einen eigenen Messbereich. Die Kompensation verändert den lastseitig gemessenen Strom nicht - zwei Einheiten am selben Messpunkt würden daher beide die volle Last kompensieren und das Netz überkompensieren. Wird an einem einzelnen Anschlusspunkt mehr Leistung benötigt, als eine Einheit liefert, ist die Sonderausführung nach Abschnitt 11.2 vorgesehen.

11.2 Sonderausführung: mehrere Einheiten am selben Messpunkt

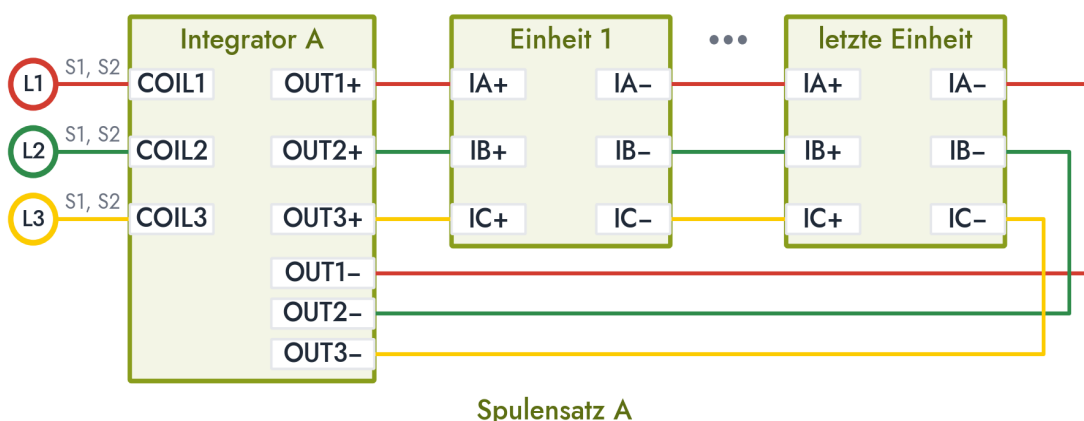
Wird an einem einzelnen Anschlusspunkt mehr Leistung benötigt, als eine Einheit liefert, arbeiten mehrere Einheiten als Verbund mit gemeinsamer Strommessung. Die Einheiten selbst sind unverändert; der Unterschied liegt allein in der Messverdrahtung und in der werkseitigen Einstellung (Mehr-Modul-Betrieb). Diese Ausführung wird von ESO projektspezifisch ausgelegt und eingerichtet; Adressen und Messverhältnisse dürfen nicht verändert werden. Je Verbund sind höchstens 8 Einheiten zulässig; eine Anzeigeeinheit stellt bis zu 6 davon dar, ein Integrator speist bis zu 5 (Abschnitte 11.3 und 11.4).



Anschluss zweier Einheiten am selben Messpunkt. Beide Messkreise sind geschlossene Schleifen: Spulensatz A über Integrator A an IA, IB und IC, Spulensatz B über Integrator B an GIA, GIB und GIC, jeweils von Einheit zu Einheit und zurück zum Integrator.

Verwendet werden zwei der mitgelieferten Rogowski-Spulensätze; weitere Sätze bleiben ungenutzt. Der Integrator jedes Satzes liefert ein 5-A-Signal wie ein Stromwandler und speist bis zu 5 Einheiten; darüber legt ESO die Messung gesondert aus. Die erforderliche Bürde richtet sich nach der Zahl der gespeisten Einheiten: mindestens 5 VA bei einer bis vier Einheiten, mindestens 10 VA bei fünf bis acht Einheiten.

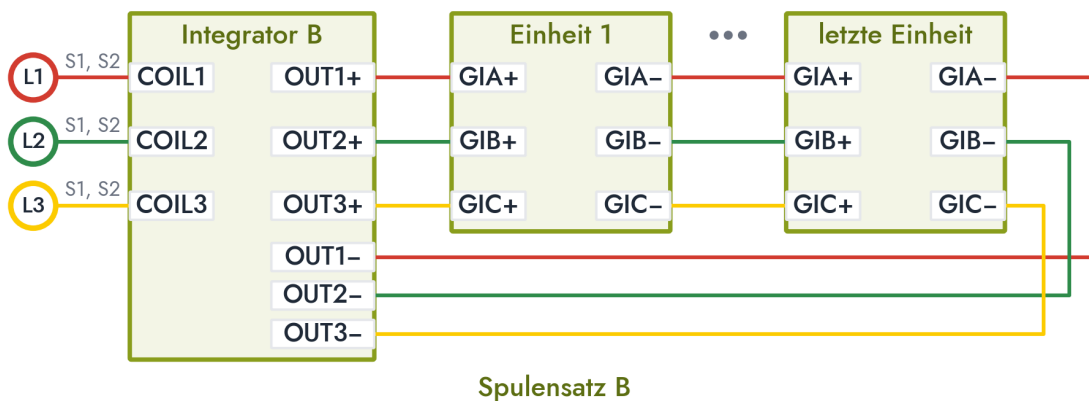
Spulensatz A - Laststrom: sitzt lastseitig auf der Hauptzuleitung (rot auf L1, grün auf L2, gelb auf L3, Pfeile zur Last) und speist über seinen Integrator die Klemmen IA, IB und IC. Er meldet den Einheiten, wie viel Kompensation der Abschnitt benötigt.



Spulensatz A

Messkreis 1 - Spulensatz A über Integrator A auf IA, IB und IC: Jede Spule gibt ihr Signal über S1 und S2 an die COIL-Klemmen des Integrators. Erst dessen 5-A-Ausgang läuft in Reihe durch die Einheiten - je Phase von OUT+ auf den Plus-Eingang der ersten Einheit, vom Minus-Ausgang auf den Plus-Eingang der nächsten und von der letzten zurück auf OUT- desselben Integrators. Die Schleife darf im Betrieb nicht geöffnet werden.

Spulensatz B - Summen-Kompensationsstrom: umschließt die gemeinsame Zuleitung aller Einheiten (gleiche Farbzuordnung, Pfeil zeigt von der Verteilung zu den Einheiten) und speist über seinen Integrator die Klemmen GIA, GIB und GIC. Dieser Messkreis meldet den Einheiten, wie viel Kompensationsstrom der Verbund insgesamt bereits liefert. Erst aus beiden Messungen können die Einheiten die verbleibende Kompensation untereinander aufteilen. Bei einer Einzelanlage bleiben die GI-Klemmen frei.



Messkreis 2 - Spulensatz B über Integrator B in gleicher Schleife auf GIA, GIB und GIC. Bei einer Einzelanlage bleiben diese Klemmen frei.

11.3 Anzeigeeinheit

Eine Anzeigeeinheit stellt bis zu 6 Einheiten dar. Jede Einheit erhält dort eine eigene Ansicht (Modul 1, Modul 2, ...), die Auswahl erfolgt direkt am Display. Werden mehr Einheiten betrieben, kommen weitere Anzeigeeinheiten zum Einsatz. Die Zuordnung wird werkseitig eingerichtet.

11.4 Datenbus

Die RS485-Leitung wird als Linie von Einheit zu Einheit geführt, Sternverkabelung ist unzulässig. Bei Leitungslängen über 300 m oder ab acht Teilnehmern ist der Bus an beiden Enden mit 120 Ω abzuschließen. Die Geräteadresse jeder Einheit wird werkseitig vergeben - über den DIP-Schalter am Gerät oder über die Anzeigeeinheit - und darf nicht verändert werden. Ab zwei Einheiten trägt jede Einheit eine eigene Adresse (siehe Abschnitt 11.2).

12 Inbetriebnahme

Die Anlage ist werkseitig eingestellt und startet nach dem Zuschalten selbsttätig. Die Inbetriebnahme besteht aus der Prüfung der Installation, dem Zuschalten und einer Sichtkontrolle der Messwerte. Es sind keine Parameter einzugeben; nur wer die Anlage über Taster oder ein Energiemanagementsystem schalten will, stellt die Startart um (Abschnitt 14.2). Einen Selbsttest mit Bemessungsstrom gibt es nicht: Die Anlage kompensiert von

Beginn an auf Grundlage des gemessenen Laststroms, die Inbetriebnahme ist deshalb auch bei geringer Last möglich.

12.1 Prüfliste vor dem ersten Einschalten

PRÜFPUNKT	KRITERIUM
Befestigung	Anlage sicher in den Halterungen, kein Spiel
Erdung	Schutzleiterverbindung hergestellt, Durchgang gemessen
Anspeisung	Spannung, Phasenfolge und Rechtsdrehfeld geprüft
Vorsicherung	nach Abschnitt „Auslegungen“, Betriebsklasse gR oder aR, eingesetzt und eindeutig beschriftet
Querschnitte	nach Abschnitt „Auslegungen“, mindestens die dort genannten Werte
Klemmstellen	alle Leiter fest, Drehmoment eingehalten
Fehlerstromschutz	Falls RCD vorgelagert: allstromsensitiv, Typ B (ein Typ B+ erfüllt die Anforderung ebenfalls). Typ A/F unzulässig
Rogowski-Spulensatz	vollständig geschlossen, rot auf L1, grün auf L2, gelb auf L3, Pfeile in Energieflussrichtung, gegen Verrutschen gesichert
Integrator	montiert, Spulen auf COIL1 bis COIL3 aufgelegt, 5-A-Ausgänge zur Anlage geführt, 230 V AC angeschlossen und eingeschaltet
Messleitungen	aufgelegt, Kanalzuordnung geprüft, Schirm einseitig aufgelegt
Steuerleitungen	Meldekontakte und Datenbus korrekt verdrahtet
Kühlluft	Lüftungsöffnungen frei, keine Filtermatten, Lufteintritt und Luftaustritt ausreichend frei
Fremdkörper	keine Werkzeuge, Abisolierreste oder Verpackungsteile in der Anlage
Isolationsmessung	falls durchgeführt, war die Anlage dabei abgeklemmt
Erstprüfung	Prüfung nach DIN VDE 0100-600 durchgeführt und protokolliert
Vorhandene Kompensation	Keine verdrosselte Kompensationsanlage im selben Verteilnetz in Betrieb; Altanlagen erfasst; eine weiterbetriebene unverdrosselte Bestandsanlage liegt im Messbereich des Rogowski-Spulensatzes
Sonderausführung nach Abschnitt 11.2	Nur bei Verbund: Messkreis-Schleife über alle Einheiten geschlossen, beide Rogowski-Spulensätze in Lage und Richtung geprüft, Geräteadressen und Wandlerverhältnisse unverändert

12.2 Einschalten und Sichtprüfung

1. Vorsicherung einlegen und die Anlage zuschalten. Die Anlage durchläuft eine Initialisierung, erkennt die Netzverhältnisse und nimmt den Betrieb selbsttätig auf.
2. Messwerte auf dem Display auf Plausibilität prüfen. Spannungen der drei Phasen um 230 V gegen N, Ströme entsprechend der tatsächlichen Last, Leistungsfaktor plausibel.
3. Vorzeichen kontrollieren. Bei bezogener Wirkleistung muss die angezeigte Wirkleistung positiv sein. Ein negatives Vorzeichen bedeutet eine verdrehte Spule. Die betroffene Spule um 180 Grad drehen. Die Ursache ist zu beheben, nicht zu überdecken.
4. Phasenzuordnung prüfen. Eine Phase gezielt belasten und kontrollieren, ob der Strom auf dem erwarteten Kanal ansteigt. Wandert der Fehler beim Tausch zweier Spulen mit, liegt er an der Spule; bleibt er auf derselben Phase, liegt er an der Verkabelung.
5. Wirkung beobachten. Der netzseitige Strom muss gegenüber der Lastseite sinken, der netzseitige Leistungsfaktor steigen. Der Vergleich beider Seiten ist auf dem Startbildschirm unmittelbar ablesbar.
6. Nach 15 bis 30 Minuten Betrieb die Temperaturanzeige kontrollieren und den Luftaustritt auf freie Strömung prüfen.
7. Betreiber einweisen. Zu vermitteln sind: Bedeutung der Betriebs- und Störmeldung, Freihalten der Lüftungsöffnungen, Vorgehen bei einer Störmeldung und die Kontaktdaten des Service.

Warnung · Keine Wirkung erkennbar

Bleibt eine Wirkung aus, ohne dass eine Störmeldung ansteht, liegt die Ursache fast immer in den Messkreisen oder in der Last selbst. Zu prüfen sind Phasenzuordnung, Pfeilrichtung und Sitz der Spulen sowie die Frage, ob die aktuelle Last überhaupt kompensierbare Anteile enthält. Bei einer Auslastung unter 50 Prozent weichen die Werte von den Kennwerten in Abschnitt 21 ab. Führt das nicht weiter, ist der Service einzuschalten - es sind keine Einstellungen vorzunehmen.

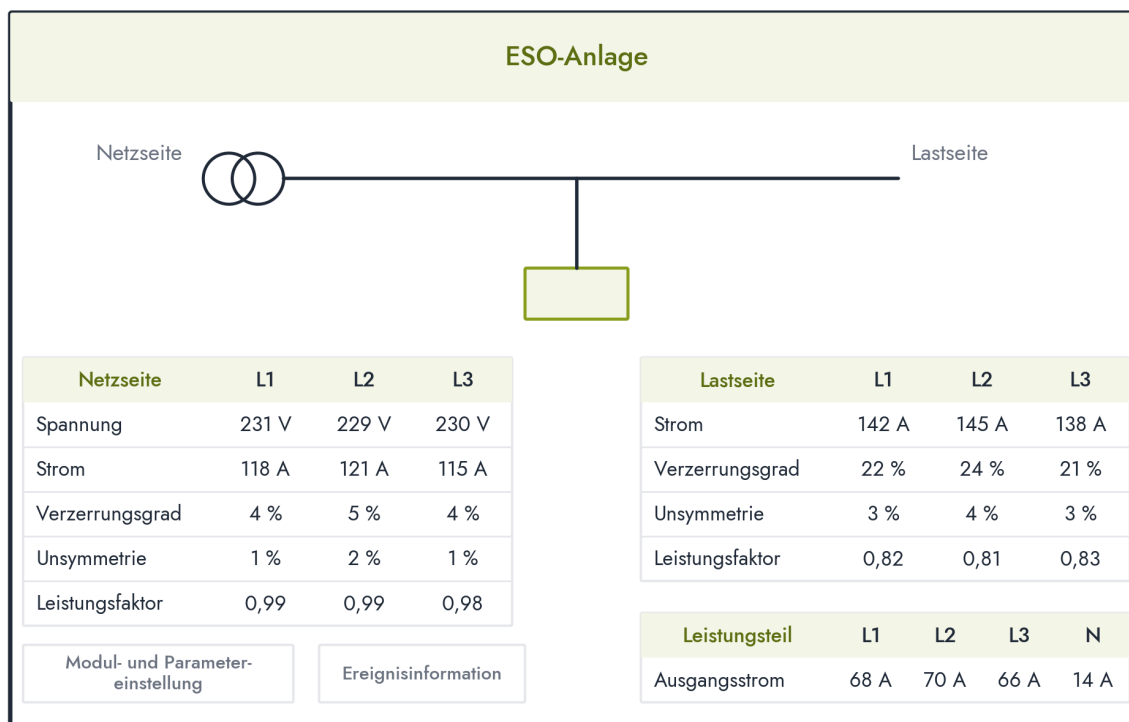
Teil C - Betrieb

13 Anzeige und Betriebszustände

Das Display zeigt Messwerte, Betriebszustände und Störungen an.

13.1 Startbildschirm und weitere Ansichten

Der Startbildschirm zeigt drei Bereiche nebeneinander. Der unmittelbare Vergleich von Netz- und Lastseite ist das wichtigste Werkzeug zur Beurteilung: die Lastseite zeigt, was der Betrieb verursacht, die Netzseite, was davon nach der Kompensation übrig bleibt.



Der Startbildschirm der Anzeigeeinheit: oben das Prinzipschema, links die Netzseite, rechts Lastseite und Leistungsteil. Die gezeigten Werte sind Beispielwerte; die Anzeige wird laufend aktualisiert.

BEREICH	ANGEZEIGTE WERTE
Netzseite	Spannung, Strom und Leistungsfaktor je Phase, Wirkleistung, Strom- und Spannungsverzerrungsgrad, Unsymmetriegrad
Lastseite	Spannung, Strom, Wirkleistung, nicht wirksamer Stromanteil, Oberschwingungsstrom, Leistungsfaktor und Verzerrungsgrad je Phase
Leistungsteil	Ausgangsstrom je Phase, Zwischenkreisspannungen, Temperatur der Leistungshalbleiter

Weitere Ansichten: Ereignisinformation - Störungsspeicher mit Zeitstempel, Fehlercode, Fehlerbezeichnung und den zugehörigen Systemparametern, filterbar nach Zeitraum. Spektrumanalyse - Balken- und Kurvendarstellung von Spannung und Strom, netz- und lastseitig. Moduldaten - Detaildaten des Leistungsteils; wird im Servicefall benötigt.

Bedienung: Die weiteren Ansichten werden über die Symbole auf dem Startbildschirm geöffnet und führen von dort wieder zurück. Im Ereignisspeicher lässt sich über die Pfeiltasten und den

Schieberegler blättern; die Einträge können nach Zeitraum gefiltert werden und enthalten Zeitstempel, Fehlercode, Fehlerbezeichnung und die zugehörigen Systemparameter. In der Spektrumanalyse kann zwischen Spannung und Strom sowie zwischen Netz- und Lastseite umgeschaltet werden; die Darstellung erfolgt wahlweise als Balken- oder Kurvenbild.

Hinweis · Eingaben am Display

Das Display dient der Anzeige und Ablesung. Der Bereich Modul- und Parametereinstellungen ist dem ESO-Service vorbehalten; Errichter und Betreiber nehmen dort keine Eingaben vor, ausgenommen die Startart nach Abschnitt 14.2.

13.2 Betriebs- und Störmeldung

ANZEIGE	BEDEUTUNG	WAS ZU TUN IST
Betriebsmeldung aktiv, keine Störung	Normalbetrieb	nichts
Störmeldung	Schutzfunktion hat angesprochen oder Gerätefehler	Fehlercode und Zeitstempel aus dem Ereignisspeicher notieren und den Service kontaktieren
Keine Anzeige	Anlage ohne Versorgung	Vorsicherung und Zuleitung prüfen

Statusleuchten am Gerät: Zusätzlich zur Anzeigeeinheit trägt das Gerät drei Statusleuchten - „Power“ (Versorgung der Steuerelektronik vorhanden), „Softw“ (blinkt im Sekundentakt bei laufender Regelung) und „Hardw“ (leuchtet dauerhaft bei einem Fehler der Leistungshalbleiter). Sie ermöglichen eine erste Diagnose vor Ort, wenn die Anzeigeeinheit dunkel bleibt.

14 Ein- und Ausschalten, Startarten

Die Anlage wird über die Vorsicherung bzw. den zugeordneten Abgang zu- und abgeschaltet und startet im Automatikstart selbsttätig. Für den Betrieb gilt:

- > Planmäßiges Stillsetzen: Betrieb am Display beenden, anschließend allpolig freischalten. Vor dem Öffnen der Anlage die Entladezeit des Zwischenkreises von mindestens 5 Minuten abwarten.
- > Wiedereinschalten: Vorsicherung einsetzen und zuschalten. Die Anlage initialisiert sich und nimmt den Betrieb im Automatikstart selbsttätig auf; Eingaben sind nicht erforderlich. Im Tasterstart startet sie erst mit dem nächsten Startsignal beziehungsweise bei geschlossenem Dauerkontakt.

- > **Netzausfall:** Bei Spannungswiederkehr läuft die Anlage im Automatikstart selbsttätig wieder an; der Betreiber muss nichts veranlassen. Im Tasterstart startet sie erst mit dem nächsten Startsignal beziehungsweise bei geschlossenem Dauerkontakt.
- > **Störungsabschaltung:** Nach Wegfall der Ursache nimmt die Anlage den Betrieb im Automatikstart selbsttätig wieder auf. Bleibt die Störmeldung bestehen, Fehlercode und Zeitstempel notieren und den Service kontaktieren (Abschnitt 16).

14.1 Startarten

Die Anlage kennt drei Startarten. Genau eine ist aktiv. Ab Werk ist der Automatikstart eingestellt; wer die Anlage über Taster oder ein Energiemanagementsystem schalten will, stellt die Startart selbst um. Der Weg dorthin steht in Abschnitt 14.2 und ist die einzige Einstellung, die der Betreiber an der Anzeigeeinheit vornimmt - alle übrigen Parameter bleiben dem ESO-Service vorbehalten.

Automatikstart (Standard, Auslieferungszustand): Die Anlage nimmt den Betrieb nach dem Zuschalten der Versorgung selbsttätig auf - auch nach einem Netzausfall und nach dem Wegfall einer Störung. Ein Startbefehl über Digitaleingang oder Anzeigeeinheit ist wirkungslos; das Stillsetzen über den Stopp-Eingang oder die Anzeigeeinheit bleibt möglich. Das ist der Regelfall für Betriebe ohne übergeordnete Steuerung.

Tasterstart: Die Anlage startet über einen externen Schließer an DI1 und stoppt über einen Öffner an DI2 (jeweils gegen COM-); alternativ ein Wechselschalter, bei dem der geschlossene Kontakt Betrieb bedeutet. So schaltet ein Energiemanagement- oder Leitsystem die Anlage zu und ab - der Weg für den Wirknachweis im Energiemanagement (Abschnitt 20). Nach Spannungswiederkehr startet die Anlage erst mit dem nächsten Startsignal beziehungsweise bei geschlossenem Dauerkontakt.

Kommunikationsstart: Start und Stopp erfolgen über die Anzeigeeinheit - für Betriebe, die die Anlage bewusst von Hand freigeben wollen.

14.2 Umstellung auf Tasterstart

Die Umstellung nimmt der Betreiber oder seine Elektrofachkraft selbst vor - sie ist ein Handgriff am Display und dauert keine zwei Minuten. ESO stellt die Anlage nicht um. Der Ablauf Schritt für Schritt:

1. Steuerleitung verdrahten: Start-Taster als Schließer auf DI1 und COM-, Stopp-Taster als Öffner auf DI2 und COM-; bei einem Wechselschalter beide Eingänge auf den Wechselkontakt (geschlossen = Betrieb).

2. Am Display der Anzeigeeinheit das Feld „Modul- und Parametereinstellung“ antippen und die Ansicht des betreffenden Moduls wählen (Modul 1, Modul 2, ...).
3. Auf der Modulseite das Feld „Startart“ antippen; es öffnet sich die Auswahl mit Kommunikationsstart, Automatikstart und Tasterstart. Dort „Tasterstart“ wählen.
4. Die Schaltfläche „Parameter speichern“ antippen; die Einstellung gilt ab sofort und bleibt auch nach einem Netzausfall erhalten.
5. Funktion prüfen: Start-Taster betätigen - die Betriebsmeldung wird aktiv und der Ausgangsstrom baut sich auf; Stopp-Taster betätigen - die Anlage setzt still. Bei einem Verbund nach Abschnitt 11.2 die Umstellung für jedes Modul wiederholen.

Zurück auf Automatikstart geht es auf demselben Weg. Der Kommunikationsstart wird ebenso im Auswahlfeld „Startart“ gesetzt.

15 Regelmäßige Kontrolle und Wartung

Die Anlage arbeitet selbsttätig und benötigt im Normalbetrieb keinen Eingriff. Die Wartung beschränkt sich im Wesentlichen darauf, die Kühlung sicherzustellen. Die Sichtkontrolle nach Abschnitt 15.1 führt der Betreiber am geschlossenen Gerät durch. Reinigung und wiederkehrende Prüfung sind Arbeiten an der freigeschalteten Anlage und bleiben nach Abschnitt 1.1 der Elektrofachkraft vorbehalten; dabei gelten die Sicherheitshinweise aus Kapitel 5, insbesondere die Entladezeit des Zwischenkreises von mindestens 5 Minuten.

15.1 Regelmäßige Sichtkontrolle

PRÜFPUNKT	SOLLZUSTAND
Display	plausible Werte, keine Störmeldung
Meldeleuchten	Betriebsmeldung aktiv, keine Störmeldung
Lüftungsöffnungen	frei von Staub, Fremdkörpern und abgestelltem Material
Luftstrom	am Austritt spürbar, Lüfter laufen
Freiräume	Mindestabstände nach Abschnitt 7 eingehalten
Gehäusetemperatur	handwarm; auffällige Erwärmung deutet auf ein Problem hin
Umgebungstemperatur	im zulässigen Bereich
Befestigung und Erdung	unbeschädigt und fest
Temperaturanzeige	im üblichen Bereich, keine auffällige Abweichung zwischen den Phasen

15.2 Reinigung

- > Lüftungsöffnungen regelmäßig entstauben. Das Intervall richtet sich nach der Staubbelastung des Aufstellorts.
- > Reinigung nur im freigeschalteten Zustand und unter Beachtung der Entladezeit des Zwischenkreises von mindestens 5 Minuten.
- > Keine Flüssigkeiten und keine Druckluft mit hohem Druck verwenden.
- > Bei starker Staubbelastung, hoher Temperatur oder hoher Luftfeuchte ist die Aufstellsituation zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

15.3 Wiederkehrende Prüfung

Die ESO-Anlage ist ein ortsfestes Betriebsmittel und Teil der elektrischen Anlage. Die wiederkehrende Prüfung erfolgt daher im Rahmen der Anlagenprüfung nach DIN VDE 0105-100 in Verbindung mit § 5 DGUV Vorschrift 3. Das Prüfintervall ergibt sich aus der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 BetrSichV und beträgt üblicherweise höchstens vier Jahre.

16 Störungen

Die meisten Auffälligkeiten bei der Erstinbetriebnahme gehen auf die Messkreise zurück: vertauschte Phasen oder verdrehte Spulen. Einstellungen an der Anlage sind zur Behebung in keinem Fall vorzunehmen.

SYMPTOM	WAHRSCHEINLICHE URSACHE	VORGEHEN
Messwerte mit falschem Vorzeichen	Spule entgegen der Energieflussrichtung montiert	Spule der betroffenen Phase um 180 Grad drehen
Werte springen oder schwanken stark	Spule nicht vollständig geschlossen, Messleitung gestört oder Schirm nicht aufgelegt	Verschluss prüfen, Leitungsführung und Schirmauflage kontrollieren, Abstand zu Leistungskabeln vergrößern
Angezeigte Ströme unplausibel	Spulen an der falschen Stelle montiert oder falsche Ausführung geliefert	Montageort und Ausführung prüfen; anschließend Service
Ströme werden mit null angezeigt	Integrator ohne Hilfsspannung oder 5-A-Ausgänge nicht aufgelegt	Versorgung des Integrators und den 5-A-Messkreis prüfen

SYMPTOM	WAHRSCHEINLICHE URSACHE	VORGEHEN
Keine erkennbare Wirkung, keine Störmeldung	Phasenzuordnung vertauscht, zu geringe Auslastung oder keine kompensierbaren Anteile in der Last	Phasenzuordnung prüfen. Lastseite am Display beurteilen: liegen überhaupt nicht wirksame Strom-, Oberschwingungs- oder Schiefelastanteile an? Unter 50 Prozent Auslastung weichen die Werte von den Kennwerten in Abschnitt 21 ab
Übertemperatur-meldung	Kühlluft behindert oder Umgebungstemperatur zu hoch	Lüftungsöffnungen, Filtermatten, Freiräume, Lüfterlauf und Raumtemperatur prüfen
Störmeldung am Display	Schutzfunktion oder Gerätefehler	Fehlercode und Zeitstempel aus dem Ereignisspeicher notieren und den Service kontaktieren
Anlage reagiert nach dem Einschalten nicht	Versorgung oder Phasenfolge	Vorsicherung, Zuleitung und Phasenfolge prüfen; anschließend Service

Warnung · Grenze der Eigenleistung

Das Öffnen des Leistungsteils, der Tausch von Baugruppen, Änderungen an den Einstellungen (ausgenommen die Startart nach Abschnitt 14.2) und jeder Reparaturversuch durch Errichter oder Betreiber sind unzulässig und führen zum Verlust der Gewährleistung. Bei jeder Störmeldung ist der Service einzuschalten.

16.1 Notfallmaßnahmen

EREIGNIS	SOFORTMASSNAHME
Rauchentwicklung oder Brandgeruch	Anlage sofort allpolig freischalten, Bereich verlassen, Verantwortlichen und Service informieren. Wiederinbetriebnahme erst nach fachlicher Prüfung
Wassereintritt	Freischalten, Entladezeit abwarten, Anlage trocknen lassen. Wiederinbetriebnahme erst nach Prüfung durch den ESO-Service; eine Isolationsprüfung darf nur bei abgeklemmter Anlage erfolgen
Mechanische Beschädigung	Außer Betrieb nehmen und prüfen lassen, auch wenn äußerlich nur geringer Schaden sichtbar ist
Ungewöhnliche Geräusche oder Vibrationen	Lüfter prüfen. Bei anhaltender Auffälligkeit freischalten und Service kontaktieren

17 Außerbetriebnahme und Entsorgung

- > Anlage allpolig freischalten und die Entladezeit des Zwischenkreises von mindestens 5 Minuten abwarten.
- > Sekundärseite der Strommesskreise vor dem Trennen kurzschließen.
- > Schutzleiter zuletzt trennen.
- > Die Außerbetriebnahme führt eine Elektrofachkraft aus; es gelten die Sicherheitshinweise aus Kapitel 5. Die Anlage enthält Elektronikbaugruppen und ist als Elektroaltgerät einer geordneten Entsorgung zuzuführen. Eine Entsorgung über den Restmüll ist unzulässig.

Teil D - Wirkung und Daten

18 Wirkung im Betrieb

Der Nutzen der Anlage folgt drei Stufen: Erstens sinkt der Strombezug, weil ungenutzte Stromanteile, Oberschwingungen und Schiefast nicht mehr durch das eigene Netz transportiert werden - in der Praxis der Referenzbetriebe um bis zu 15 Prozent des Jahresverbrauchs. Zweitens verbessert sich die Netzqualität: stabilere Spannung, entlasteter Neutralleiter, weniger Störungen. Drittens verlängert sich die Lebensdauer der Betriebsmittel, weil weniger Verlustwärme entsteht.

Der wirtschaftliche Nutzen entsteht nicht dadurch, dass Verbraucher weniger Arbeit verrichten, sondern dadurch, dass der Strom, der für diese Arbeit durch das betriebseigene Netz fließt, deutlich kleiner wird. Da die Verluste in Leitungen und Transformatoren quadratisch mit dem Strom steigen, wirkt sich jede Stromreduzierung überproportional aus.

MECHANISMUS	WIRKUNG
Leistungsfaktor-optimierung	Der Scheinstrom in Zuleitung, Transformator und Schaltanlage sinkt. Die Stromwärmeverluste fallen quadratisch mit dem Strom.
Reduzierung der Oberschwingungsströme	Der Effektivstrom sinkt zusätzlich. Wirbelstrom- und Zusatzverluste im Transformator sowie die Erwärmung von Motorwicklungen nehmen ab.
Entlastung des Neutralleiters	Die durch drei teilbaren Ordnungen addieren sich im Neutralleiter. Ihre Kompensation senkt dessen Belastung und die dort entstehenden Verluste.
Symmetrierung	Ausgleichsströme durch Schiefast entfallen. Drehstrommotoren arbeiten näher an ihrem Auslegungspunkt.

MECHANISMUS	WIRKUNG
Erfüllung der Anschlussvoraussetzung	Nach § 16 Abs. 2 NAV setzt die Anschlussnutzung in der Niederspannung einen Verschiebungsfaktor zwischen 0,9 kapazitiv und 0,9 induktiv voraus.
Freigewordene Netzkapazität	Der geringere Scheinstrom schafft Reserve in der vorhandenen Infrastruktur und kann Erweiterungen vermeiden oder verschieben.
Längere Lebensdauer	Die geringere thermische Belastung von Motoren, Transformatoren und Kabeln verlängert deren Nutzungsdauer.

18.1 Größenordnung je Störfaktor

Wie viel Prozent des Jahresverbrauchs ein Störfaktor kostet, fasst die folgende Übersicht zusammen - je Zeile für eine moderne, kurze und für eine alte, weitläufige Anlage. Die Zuschläge sind aus Studien, Normen und Messungen hergeleitet; alle Prozentangaben beziehen sich auf den Jahresverbrauch.

STÖRFAKTOR	ANNAHME	MODERNE, KURZE ANLAGE	ALTE, WEITLÄUFIGE ANLAGE
GRUNDVERLUST	sauberer Betrieb	2 %	5 %
Schwacher Verschiebungsfaktor	$\cos \varphi$ 0,90	+ 0,5 %	+ 1,2 %
	$\cos \varphi$ 0,80	+ 1,1 %	+ 2,8 %
	$\cos \varphi$ 0,70	+ 2,1 %	+ 5,2 %
Oberschwingungen	THDi 30 %	+ 0,2 %	+ 0,5 %
	THDi 50 %	+ 0,5 %	+ 1,3 %
	THDi 80 %	+ 1,3 %	+ 3,2 %
Schiefelast	2,5 % Spannungs- unsymmetrie	+ 1,1 %	+ 1,1 %
Spannungslage	dauerhaft 90 % der Nennspannung	nicht angesetzt	nicht angesetzt
Störimpulse	beliebig häufig	0 %	0 %

STÖRFAKTOR	ANNAHME	MODERNE, KURZE ANLAGE	ALTE, WEITLÄUFIGE ANLAGE
GERECHNET	Beispiel: Verschiebungsfaktor 0,65, 40 % Verzerrung und 2,5 % Schiefast ergeben $\lambda = 0,60$ und damit den Verlustfaktor 2,75 - 8,7 % aus dem Strom plus 1,1 % aus der Schiefast, zusammen rund 10 % Mehrverbrauch. Davon erreicht eine Anlage je nach Aufstellung 7 bis 9 Prozentpunkte; sie wirkt nur stromaufwärts ihrer Einbaustelle. Gemessen in unseren Referenzbetrieben: 9 bis 21 %, im Mittel 12,4 % aus zwölf Belegen. Die Messung liegt höher als die Rechnung, weil Zusatzverluste durch verzerrte Spannung, schlechte Klemmstellen, Teillastbetrieb und Transformatoren aus dem Altbestand in keiner Zeile oben stehen. Zu den Belegen: Monatsvergleiche auf Abrechnungsbasis aus dem Jahr 2016, nicht witterungsbereinigt, teils an der Vorgängerbauart erhoben und nicht von einer unabhängigen Stelle ausgewertet.		

Alle Zuschläge sind aus dem Grundverlust gerechnet und stehen wie er in Prozent des Jahresverbrauchs. Verschiebungsfaktor und Oberschwingungen wirken über denselben Effektivstrom - sie addieren sich nicht, sondern multiplizieren sich zum Gesamtleistungsfaktor λ mit dem Verlustfaktor $1/\lambda^2$. Die Schiefast wirkt im Motor statt im Kabel und steht deshalb getrennt. Einen Pauschalwert für jeden Betrieb gibt es nicht: Die Höhe kommt vor dem Angebot aus Ihren Stromdaten und branchenspezifischen Vergleichswerten. Vollständige Herleitung in der Vollfassung „Verluste im Unternehmensnetz“.

19 Wirkungsnachweis

Die Wirkung der Anlage ist messbar - auf drei Wegen, in dieser Rangfolge. Der erste Weg plausibilisiert, die beiden anderen belegen.

VERFAHREN	AUSSAGEKRAFT	AUFWAND
Vergleich Netz- und Lastseite am Display	Unmittelbar ablesbar und gut zur Beurteilung im laufenden Betrieb; eine Anzeige und keine archivierbare Abrechnungsmessung	gering
Rechnungsvergleich vor und nach Inbetriebnahme	Maßgeblich für die Einsparungsgarantie nach Ziffer 13 der AGB: zwölf Monate davor gegen zwölf Monate danach, bereinigt um Preisänderungen sowie nachweisliche Änderungen von Produktionsverhalten und Maschinenpark	gering, zeitversetzt
Auswertung der Lastgangdaten (kW-Viertelstundenwerte)	Belastbar für den Vergleich des Wirkarbeitsbezugs über vergleichbare Zeiträume und unabhängig von Preisbestandteilen; setzt Viertelstundenwerte des Netzbetreibers oder eines Energiemanagementsystems voraus	gering, zeitversetzt

Hinweis · Empfehlung für den Nachweis

Für einen belastbaren Nachweis dient der Vergleich der Stromrechnungen vor und nach Inbetriebnahme, bereinigt um Preisänderungen sowie nachweisliche Änderungen von

Produktionsverhalten und Maschinenpark; wo Viertelstundenwerte vorliegen, bestätigt der Lastgangvergleich vergleichbarer Zeiträume das Ergebnis.

20 Energiemanagement und Datenspeicher

Die Anlage misst fortlaufend auf der Netz- und auf der Lastseite und hält beide Seiten in Anzeige und Datenausgabe getrennt. Der Vergleich beider Seiten ist der eigentliche Nutzen für ein Energiemanagement: Die Lastseite zeigt, was der Betrieb verursacht, die Netzseite, was davon nach der Korrektur noch aus dem Netz bezogen wird.

DIMENSION	SEITE	VERWENDUNG
Spannung je Außenleiter	Netzseite	Spannungslage, Grundlage der Bewertung von Unter- und Überspannung
Strom je Außenleiter	Netz- und Lastseite	Belastung der Zuleitung, Nachweis der Stromreduktion
Wirkstrom, nicht wirksamer Stromanteil, Oberschwingungsstrom	Lastseite	Zerlegung der Last, Kennzahl für das Optimierungspotenzial
Ausgangsstrom der Anlage	Anlage	Auslastung der Anlage, Betriebsnachweis
Leistungsfaktor je Außenleiter	Netz- und Lastseite	Kennzahl für die Wirkung der Leistungsfaktorkorrektur
Stromverzerrungsgrad THDi	Netz- und Lastseite	Kennzahl für die Wirkung der Oberschwingungskorrektur
Spannungsverzerrungsgrad THDu	Netzseite	Netzqualität am Anschlusspunkt
Unsymmetriegrad je Außenleiter	Netz- und Lastseite	Kennzahl für die Symmetrierung
Zwischenkreisspannungen, Halbleitertemperaturen	Anlage	Zustandsüberwachung der Anlage
Betriebs- und Störmeldung	Anlage	Verfügbarkeit, Störungsmeldung an die Leitwarte

20.1 Was die Anlage nicht liefert

Die Anlage ist ein Regelgerät mit Messfunktion, kein Zähler. Für den Aufbau von Energiekennzahlen ist das der entscheidende Punkt.

- Keine Zählerstände in Kilowattstunden. Die Registerliste enthält Momentanwerte, keine Arbeitszähler.

- > Keine Abrechnungsmessung. Die Anlage ist nicht geeicht und ersetzt weder den Zähler des Netzbetreibers noch einen Unterzähler nach dem Mess- und Eichgesetz.
- > Keine Viertelstundenwerte. Ein Lastgang entsteht erst durch die zyklische Abfrage im übergeordneten System oder über einen Zähler.
- > Keine Wirkleistung in der Registerliste. Die Wirkleistung wird am Display angezeigt und im Gerät gespeichert; über die Registerliste steht sie nicht zur Verfügung.

Für ein Energiemanagementsystem gehört deshalb immer ein Energiezähler an den betrachteten Abgang. Die ESO-Messwerte liefern die Qualitätskennzahlen und den Wirknachweis, der Zähler liefert die Arbeit in Kilowattstunden.

20.2 Drei Wege der Einbindung

Die Anlage bietet drei voneinander unabhängige Schnittstellen. Sie können einzeln oder gemeinsam genutzt werden.

WEG	KLEMMEN	LEISTUNG
Messwerte über Modbus RTU	485A1, 485B1	Zyklisches Lesen aller Messwerte durch ein Energiemanagement- oder Leitsystem
Betriebs- und Störmeldung	YK1, YK2, COM-	Zwei Relaisausgänge mit 24 V DC: Betrieb und Störung; über Koppelrelais auf einen Digitaleingang des übergeordneten Systems
Ein- und Ausschalten	DI1, DI2, COM-	Start über Schließer, Stopp über Öffner; dafür stellt der Betreiber die Anlage am Display vom Automatikstart auf Tasterstart um (Abschnitt 14.2)

Der dritte Weg ist der wichtigste für den Nachweis: Nur wenn das übergeordnete System die Anlage gezielt zu- und abschalten kann, lässt sich ihre Wirkung im laufenden Betrieb gegen denselben Lastfall messen und damit als Energiekennzahl führen.

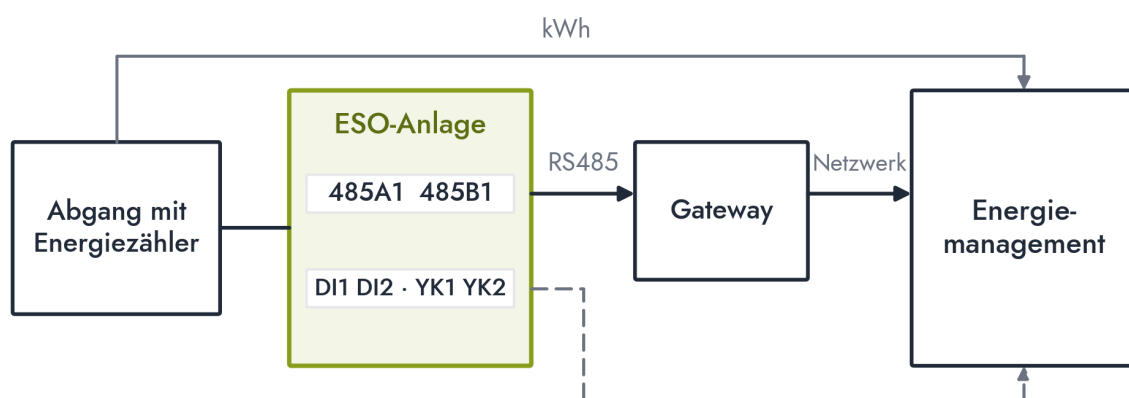
20.3 Datenbus und Gateway

Die Anlage hat zwei RS485-Kanäle. Kanal 2 (485A2/485B2) gehört der Anzeigeeinheit und dem Verbund mehrerer Einheiten und darf nicht anderweitig belegt werden - auf einem Modbus-Bus fragt genau ein Gerät ab, und auf Kanal 2 ist das die Anzeigeeinheit. Ein Energiemanagement- oder Leitsystem wird an Kanal 1 des Leistungsteils angeschlossen (Klemmen 485A1/485B1). Der Kanal nutzt dieselbe Modbus-Registerliste wie Kanal 2; ESO gibt die Klemmenbelegung und die Einstellungen mit der Anlagendokumentation an. Gelesen werden die Register nach Abschnitt 20.6.

In der Praxis heißt das: Der Elektriker legt eine zweiadrige, geschirmte Datenleitung vom Energiemanagementsystem in den Klemmraum und klemmt sie auf 485A1 und 485B1. Am Energiemanagementsystem werden Modbus RTU, 9600 Baud, 8 Datenbits ohne Parität mit 1 Stoppbit und Funktionscode 03 eingestellt; die Registerliste nach Abschnitt 20.6 ordnet den Messwerten die Adressen zu. Soll das System die Anlage zusätzlich ein- und ausschalten, kommen die Steuerleitungen auf DI1, DI2 und COM–; die Startart stellt der Betreiber dafür am Display selbst auf Tasterstart um (Abschnitt 14.2).

- > Paarverseilte, geschirmte Datenleitung verwenden und getrennt von Leistungskabeln verlegen.
- > Die Leitung wird als Linie von Teilnehmer zu Teilnehmer geführt. Sternverkabelung und Stichleitungen sind unzulässig.
- > Den Schirm einseitig auflegen.
- > Bei Leitungslängen über 300 m oder ab acht Busteilnehmern ist der Bus an beiden Enden mit 120 Ω abzuschließen.
- > Die Geräteadresse jeder Einheit ist werkseitig eingestellt und darf nicht verändert werden. Sie ist am Display abzulesen und in das übergeordnete System zu übernehmen.

RS485 ist eine Kabelverbindung mit begrenzter Reichweite. Steht das Energiemanagementsystem weiter entfernt oder arbeitet es über das Netzwerk, setzt der Elektriker des Kunden ein kleines Hutschienengerät dazwischen - ein Gateway, das die Modbus-Daten vom Kabel auf das Netzwerk übersetzt (Modbus TCP oder das Protokoll des Systems). Das Gateway besorgt und versorgt der Elektriker des Kunden; es ist dann das einzige Gerät, das auf diesem Kabel abfragt.



Einbindung in ein Energiemanagementsystem - die Anlage liefert die Qualitätskennzahlen über Kanal 1 (RS485), bei Bedarf über ein Gateway ins Netzwerk; der Energiezähler im Abgang liefert die Arbeit in Kilowattstunden; über die Digitaleingänge und Relaisausgänge schaltet und überwacht das System die Anlage.

Kommunikationsparameter: Physikalische Schnittstelle RS485, halbduplex, Zweidraht; Protokoll Modbus RTU; Übertragungsrate 9600 Bd; Rahmen 8 Datenbits, keine Parität, 1 Stoppbit;

Funktionscode 03 - Lesen der Register; Adressierung hexadezimal, ein Register je 16-Bit-Wert; Empfohlenes Abfrageintervall 1 bis 15 Sekunden je Einheit; bei mehreren Einheiten am selben Bus entsprechend gestaffelt; Schreibzugriffe dem ESO-Service vorbehalten; Einstellregister werden nicht herausgegeben.

Die Rohwerte sind mit dem Faktor der Spalte Einheit zu multiplizieren: 1 V, 1 A und 1 Grad Celsius werden unverändert übernommen, ein Leistungsfaktor wird mit 0,001 und ein Verzerrungs- oder Unsymmetriegrad mit 0,1 Prozent skaliert. Die vollständige Registerliste steht in Abschnitt 20.6.

20.4 Datenspeicher

Der Zugang erfolgt über die Anzeigeeinheit; die Ansichten - Startbildschirm, Spektrumanalyse, Ereignisinformation, Moduldaten - sind in Abschnitt 13.1 beschrieben.

Im Gerät gespeichert werden nach Werksangabe je Außenleiter Spannung, Strom, Wirkleistung, Leistungsfaktor und Stromverzerrungsgrad - getrennt für Netz- und Lastseite - sowie der Kompensationsstrom der Anlage. Die Werte lassen sich am Display ablesen oder ausgeben.

20.5 Empfohlener Aufbau für ein Energiemanagementsystem

Der folgende Aufbau deckt beides ab: die Arbeit in Kilowattstunden als Grundlage der Energiekennzahlen und die Qualitätskennzahlen als Nachweis der Wirkung.

DATENPUNKT	QUELLE	ERFASSUNG
Wirkarbeit und Wirkleistung am betrachteten Abgang	Energiezähler mit Modbus-Schnittstelle im selben Abgang	viertelstündlich
Leistungsfaktor, Verzerrungs- und Unsymmetriegrad, Netz- und Lastseite	ESO-Anlage über Modbus RTU, Klemmen 485A1 und 485B1	zyklische Abfrage durch das Energiemanagementsystem
Betriebszustand und Störung	ESO-Anlage, Relaisausgänge YK1 und YK2	ereignisbezogen
Freigabe der Anlage	Energiemanagementsystem auf DI1 und DI2 der ESO-Anlage	nach Bedarf, für den Wirknachweis

20.6 Modbus-Registerliste

Über die RS485-Schnittstelle (Modbus RTU, 9600 Bd, 8 Datenbits, keine Parität, 1 Stoppbit) stellt die Anlage die folgenden Messwerte zum Auslesen bereit (Funktionscode 03, Adressen hexadezimal). Einstellregister sind dem ESO-Service vorbehalten.

ADRESSE	EINHEIT	BEDEUTUNG
0002H	1 V	Spannung L1, Netzseite
0003H	1 V	Spannung L2, Netzseite
0004H	1 V	Spannung L3, Netzseite
0005H	1 A	Oberschwingungsstrom L1, Lastseite
0006H	1 A	Oberschwingungsstrom L2, Lastseite
0007H	1 A	Oberschwingungsstrom L3, Lastseite
0008H	1 A	Nicht wirksamer Stromanteil L1, Lastseite
0009H	1 A	Nicht wirksamer Stromanteil L2, Lastseite
000AH	1 A	Nicht wirksamer Stromanteil L3, Lastseite
000BH	1 A	Ausgangsstrom L1 der Anlage
000CH	1 A	Ausgangsstrom L2 der Anlage
000DH	1 A	Ausgangsstrom L3 der Anlage
000EH	0,001	Leistungsfaktor L1, Lastseite
000FH	0,001	Leistungsfaktor L2, Lastseite
0010H	0,001	Leistungsfaktor L3, Lastseite
0011H	0,001	Leistungsfaktor L1, Netzseite
0012H	0,001	Leistungsfaktor L2, Netzseite
0013H	0,001	Leistungsfaktor L3, Netzseite
0014H	1 °C	Temperatur Leistungshalbleiter L1
0015H	1 °C	Temperatur Leistungshalbleiter L2
0016H	1 °C	Temperatur Leistungshalbleiter L3
0017H	0,1 %	Stromverzerrungsgrad (THDi) L1, Lastseite
0018H	0,1 %	Stromverzerrungsgrad (THDi) L2, Lastseite
0019H	0,1 %	Stromverzerrungsgrad (THDi) L3, Lastseite
001AH	0,1 %	Stromverzerrungsgrad (THDi) L1, Netzseite
001BH	0,1 %	Stromverzerrungsgrad (THDi) L2, Netzseite
001CH	0,1 %	Stromverzerrungsgrad (THDi) L3, Netzseite

ADRESSE	EINHEIT	BEDEUTUNG
001DH	0,1 %	Spannungsverzerrungsgrad (THDu) L1, Netzseite
001EH	0,1 %	Spannungsverzerrungsgrad (THDu) L2, Netzseite
001FH	0,1 %	Spannungsverzerrungsgrad (THDu) L3, Netzseite
0020H	0,1 %	Unsymmetriegrad L1, Netzseite
0021H	0,1 %	Unsymmetriegrad L2, Netzseite
0022H	0,1 %	Unsymmetriegrad L3, Netzseite
0023H	1 V	Zwischenkreisspannung VBUS+
0024H	1 V	Zwischenkreisspannung VBUS-
0025H	1 A	Wirkstrom L1, Lastseite
0026H	1 A	Wirkstrom L2, Lastseite
0027H	1 A	Wirkstrom L3, Lastseite
0028H	1 A	Strom L1, Netzseite
0029H	1 A	Strom L2, Netzseite
002AH	1 A	Strom L3, Netzseite
002BH	1 A	Strom L1, Lastseite
002CH	1 A	Strom L2, Lastseite
002DH	1 A	Strom L3, Lastseite
002EH	0,1 %	Unsymmetriegrad L1, Lastseite
002FH	0,1 %	Unsymmetriegrad L2, Lastseite
0030H	0,1 %	Unsymmetriegrad L3, Lastseite

Teil E - Kennwerte, Konformität und Gewährleistung

21 Technisches Datenblatt

Dieser Abschnitt enthält die vollständigen Kennwerte der Anlage. Die Werte stammen aus den Unterlagen der Lieferanten von Leistungsteil und Spulensatz, aus den Prüfberichten der Prüfstelle und aus der Werksmessung.

21.1 Funktionen

Leistungsfakturoptimierung	stufenlos, induktiv und kapazitiv, ohne Über- oder Unterkompensation
Oberschwingungskompensation	Ordnungen 2 bis 13, selektiv nach Ordnung oder gesamt; gerade Ordnungen im Auslieferungszustand nicht aktiviert, auf Anfrage konfigurierbar; werkseitig festgelegt, hierfür 60 Prozent der Bemessungsleistung
Schiefelastkompensation	Symmetrierung der drei Außenleiter
Neutralleiterentlastung	Reduzierung des Neutralleiterstroms in Vierleiternetzen
Datenerfassung	Fortlaufende Messung und Anzeige von Spannungen, Strömen, Leistungsfaktoren, THD-Werten und Unsymmetriegraden auf der Netz- und der Lastseite
Schutzfunktionen	Überstrom, Überspannung, Übertemperatur, Phasenfolgefehler, Phasenausfall
Messwerterfassung	Netz- und Lastseite getrennt, mit Spektrumanalyse und Ereignisspeicher

21.2 Auslegungen

Die Anlage wird in mehreren Auslegungen geliefert. Welche Auslegung ein Objekt braucht, ergibt sich aus dem Bedarf; sie steht im Angebot und auf dem Werkssiegel der Anlage. Die folgenden Werte sind auslegungsabhängig, alle übrigen Kennwerte dieses Abschnitts gelten für jede Auslegung.

GRÖSSE	A	B	C	D	E
Bemessungsstrom je Außenleiter	45 A	73 A	109 A	145 A	217 A
Vorsicherung, Betriebsklasse gR oder aR	80 A	100 A	125 A	160 A	250 A
Zuleitung L1, L2, L3	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²	75 mm ²
Zuleitung N	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²	70 mm ²	95 mm ²
Zuleitung PE	16 mm ²	16 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²
Erforderlicher Luftvolumenstrom	200 m ³ /h	350 m ³ /h	500 m ³ /h	800 m ³ /h	800 m ³ /h
Abmessungen (L × B × T)	60 × 60 × 22 cm	60 × 60 × 22 cm	rund 75 × 70 × 30 cm	rund 75 × 70 × 30 cm	rund 80 × 70 × 35 cm
Gewicht	bis 38 kg	bis 38 kg	bis 55 kg	bis 60 kg	bis 70 kg
Verlustleistung	bis 0,6 kW	bis 1,0 kW	bis 1,5 kW	bis 2,0 kW	bis 3,0 kW

Der Neutralleiter ist stets eine Stufe größer als die Außenleiter, weil er die kompensierten Oberschwingungsströme führt.

21.3 Elektrische Kennwerte

Bemessungsstrom	je Auslegung nach Abschnitt „Auslegungen“ - der von der Anlage eingespeiste Korrekturstrom; er begrenzt nicht den Laststrom der parallel angeschlossenen Kundenanlage, ein höherer Korrekturbedarf wird über den Parallelbetrieb weiterer Module gedeckt
Netzspannung	400 V $\pm$ 20 %
Netzfrequenz	50 Hz $\pm$ 5 %
Netzform	dreiphasig, Vierleiter, 3P + N + PE
Topologie	Dreipunkt-Wechselrichter mit Spannungszwischenkreis, IGBT
Schalt- und Regelfrequenz	bis 25,6 kHz
Regelung	Signalprozessor mit FPGA
Anfangsreaktionszeit	$\leq$ 50 μ s
Ausregelung Leistungsfaktor und Schieflast	$\leq$ 5 ms
Ausregelung Oberschwingungen	innerhalb weniger Netzperioden
Verlustleistung	0,1 kW in Bereitschaft, unter Vollast je Auslegung, siehe Abschnitt „Auslegungen“ (Werksmessung 08/2026, Fluke 435, Auslegung B)
Strombegrenzung	automatische Begrenzung des Ausgangsstroms auf den Bemessungswert; der Bemessungsstrom der Auslegung ist dauerhaft zulässig, einschließlich Oberschwingungsanteilen
Erweiterbarkeit	Modularer, dezentraler Parallelbetrieb

21.4 Kompensationswirkung

Leistungsfaktor nach Kompensation	$\geq$ 0,99
Regelbereich Leistungsfaktor	-1 bis +1
THDi nach Kompensation	$\leq$ 5 %
Unsymmetriegrad nach Kompensation	$\leq$ 5 %

Neutralleiterentlastung	Reduzierung des Neutralleiterstroms lastabhängig nach Schieflast; der Neutralleiterstrom der Anlage beträgt betriebsmäßig höchstens den Bemessungsstrom der Auslegung
Gültigkeitsbedingung	ab 50 % Auslastung des Kompensationsstroms

21.5 Mechanik und Umgebung

Bauform	Wandgerät
Abmessungen	je Auslegung, siehe Abschnitt „Auslegungen“
Gewicht	je Auslegung, siehe Abschnitt „Auslegungen“
Gehäuse	pulverbeschichtetes Stahlblech 2 mm, RAL 7035 Lichtgrau
Schutzart	IP30
Kühlung	Zwangsbelüftung, drehzahlregelte Lüfter
Umgebungstemperatur	–20 °C bis +50 °C, Dauervollast bis +30 °C; die Obergrenze wird vom Rogowski-Spulensatz bestimmt (–25 °C bis +50 °C), das Leistungsteil allein ginge bis +60 °C
Lagertemperatur	–30 °C bis +70 °C
Relative Luftfeuchte	max. 95 %, nicht kondensierend
Aufstellhöhe	bis 1500 m über NN ohne Leistungsreduzierung
Geräuschentwicklung	< 60 dB, bei reduzierter Lüfterdrehzahl < 45 dB
Auslegungslebensdauer	15 Jahre
Erforderlicher Luftvolumenstrom	je Auslegung, siehe Abschnitt „Auslegungen“
Freiraum	Luft Eintritt und Luftaustritt ausreichend frei
Abstand zu Wärmequellen	ausreichender Abstand
Entladezeit des Zwischenkreises	mindestens 5 Minuten vor dem Öffnen

21.6 Messung, Anzeige und Schnittstellen

Strommessung	Rogowski-Spulensatz je Abnahmestelle: 3 Spulen (L1 rot, L2 grün, L3 gelb), Übersetzung 1000 A : 5 A über Integrator (bauseits mit 230 V AC versorgt), Innendurchmesser 100 mm, Messbereich 5 bis 120 %, Genauigkeit $\leq 1 \%$, Antwortzeit ≤ 20 ms; zulässige Temperatur am Montageort –25 °C bis +50 °C
---------------------	--

Betriebsart	Automatikstart (Standard, Auslieferungszustand); auf Tasterstart für externe Kontakte oder ein Energiemanagementsystem stellt der Betreiber selbst um - am Display, in wenigen Schritten
Anzeige	Touch-Display
Kommunikation	RS485, Modbus RTU, 9600 Bd, 8N1
Digitaleingänge	Start und Stopp
Relaisausgänge	Betrieb und Störung, 24 V DC
Schutzfunktionen	Überstrom, Überspannung, Übertemperatur, Phasenfolgefehler, Phasenausfall

21.7 Anschluss

LEITER	QUERSCHNITT
L1, L2, L3	siehe Abschnitt „Auslegungen“
N	siehe Abschnitt „Auslegungen“ (eine Stufe größer als die Außenleiter)
PE	siehe Abschnitt „Auslegungen“
Vorsicherung	je Auslegung, siehe Abschnitt „Auslegungen“

21.8 Normen und Richtlinien

Richtlinien	2014/35/EU (Niederspannung); 2014/30/EU (EMV); 2011/65/EU mit (EU) 2015/863 (RoHS)
Sicherheit	DIN EN IEC 62477-1 (VDE 0558-477-1):2024-09
EMV	DIN EN IEC 61000-6-2:2019-11 · DIN EN IEC 61000-6-4:2020-09
Stoffbeschränkung	DIN EN IEC 63000 (VDE 0042-12):2019-05
Netzanschluss	VDE-AR-N 4100:2026-04
Betrieb	DIN VDE 0105-100:2015-10 in Verbindung mit DGUV Vorschrift 3 (wiederkehrende Prüfung als Teil der elektrischen Anlage)

22 EU-Konformitätserklärung

Nummer der Erklärung	ESO-KFE-2026-001, Stand 09.2026
Produktbezeichnung	Elektronische Strom- und Netzoptimierungsanlage ESO
Seriennummer	siehe Typenschild

Funktion	Halbleitergesteuerte, stufenlose Leistungsfaktorkorrektur sowie Kompensation von Oberschwingungen und Schiefast im Niederspannungsnetz
Bemessungsdaten	400 V, 3P + N + PE, 50 Hz; Bemessungsstrom 45 A, 72,2 A, 108,3 A, 145 A oder 217 A je Außenleiter je nach Auslegung

22.1 Hersteller

Name	ESO Elektronische Stromoptimierung, Inh. Michael Grün
Anschrift	Merianstraße 49, 76646 Bruchsal, Deutschland

22.2 Erklärung

Der Hersteller erklärt in alleiniger Verantwortung, dass der oben bezeichnete Gegenstand den einschlägigen Harmonisierungsrechtsvorschriften der Union entspricht:

RICHTLINIE	BEZEICHNUNG
2014/35/EU	Niederspannungsrichtlinie; Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen
2014/30/EU	EMV-Richtlinie; Elektromagnetische Verträglichkeit
2011/65/EU	RoHS-Richtlinie; Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe, geändert durch Delegierte Richtlinie (EU) 2015/863

22.3 Angewandte Normen

Angewandte Normen und technische Spezifikationen:

22.3.1 Sicherheit (Niederspannungsrichtlinie)

DIN EN IEC 62477-1 (VDE 0558-477-1):2024-09	Sicherheitsanforderungen an Leistungselektronik-Umrichtersysteme und -betriebsmittel, Teil 1: Allgemeines
---	---

22.3.2 Elektromagnetische Verträglichkeit

DIN EN IEC 61000-6-2 (VDE 0839-6-2):2019-11	Störfestigkeit für Industriebereiche
DIN EN IEC 61000-6-4 (VDE 0839-6-4):2020-09	Störaussendung für Industriebereiche

22.3.3 Stoffbeschränkung

DIN EN IEC 63000 (VDE 0042-12):2019-05	Technische Dokumentation zur Beurteilung von Elektro- und Elektronikgeräten hinsichtlich der Beschränkung gefährlicher Stoffe
--	---

23 Weitere Konformität

23.1 Für Errichtung und Betrieb maßgeblich

DIN VDE 0100-520	Auswahl und Errichtung von Kabeln und Leitungen
DIN VDE 0100-520 Beiblatt 3	Strombelastbarkeit bei Oberschwingungsbehafteten Lastströmen, Grundlage der Neutralleiterauslegung
DIN VDE 0100-600	Erstprüfung vor Inbetriebnahme
DIN VDE 0105-100:2015-10	Betrieb von elektrischen Anlagen, wiederkehrende Prüfung
DGUV Vorschrift 3, BetrSichV	Prüfpflichten und Gefährdungsbeurteilung des Betreibers
VDE-AR-N 4100:2026-04	Technische Anschlussregeln Niederspannung; maßgeblich Abschnitt 4.1 Anmeldung, 5.4 Netzurückwirkungen und 10.3 Kompensationseinrichtungen
§ 16 Abs. 2 NAV	Verschiebungsfaktor zwischen 0,9 kapazitiv und 0,9 induktiv als Anschlussvoraussetzung
EN 50160	Merkmale der Spannung in öffentlichen Verteilnetzen

23.2 Netzanschluss

Die Kundenanlage ist beim zuständigen Netzbetreiber anzumelden; die Kompensationseinrichtung ist dabei anzugeben. Nach VDE-AR-N 4100 Abschnitt 10.3 ist eine lastunabhängige Festkompensation unzulässig - die geregelte ESO-Anlage erfüllt diese Anforderung bauartbedingt. Eine Verdrosselung entfällt bei dieser Bauart. Die Verträglichkeit mit Tonfrequenz-Rundsteueranlagen des Netzbetreibers ist im Einzelfall zu prüfen.

24 Gewährleistung und Service

24.1 Voraussetzungen

Voraussetzung für Gewährleistungs- und Garantieansprüche sind die fachgerechte Installation nach dieser Beschreibung, der Nachweis der Erstprüfung nach DIN VDE 0100-600 sowie der bestimmungsgemäße Betrieb innerhalb der genannten Einsatzgrenzen.

24.2 Ausschlussgründe

- > Öffnen des Leistungsteils oder Eingriffe in die Elektronik
- > Änderungen an den werkseitigen Einstellungen durch Dritte, ausgenommen die Startart nach Abschnitt 14.2

- > Betrieb außerhalb der zulässigen Umgebungsbedingungen, insbesondere bei behinderter Kühlluft
- > Verwendung von Versicherungen einer anderen Betriebsklasse als gR oder aR oder mit einem Bemessungsstrom unter dem für die Auslegung angegebenen Wert (Abschnitt „Auslegungen“)
- > Isolations- oder Spannungsprüfung bei angeschlossener Anlage
- > Betrieb parallel zu einer verdrosselten Kompensationsanlage im selben Netz
- > Betrieb an einem Inselnetz, an Dieselgeneratoren oder an Prüfständen ohne vorherige Abstimmung mit ESO

24.3 Im Servicefall bereithalten

- > Typenbezeichnung und Seriennummer - Typenschild an der Anlage
- > Fehlercode und Zeitstempel - Ereignisspeicher auf dem Display
- > Messwerte von Netz- und Lastseite - Startbildschirm, möglichst als Foto
- > Aufstellort und Installationsdatum - Anlagenunterlagen
- > Beschreibung des Betriebszustands - Was lief zum Zeitpunkt der Störung?

24.4 Kontakt

Hersteller ESO Elektronische Stromoptimierung, Inhaber Michael Grün, Merianstraße 49, 76646 Bruchsal

Telefon +49 7251 3929172

E-Mail info@eso-anlage.de

Internet www.eso-anlage.de

Technischer Service Groß Elektrotechnik GmbH & Co. KG, Mergelgrube 7, 76646 Bruchsal, info@elektrogross.com

Herausgeber:

ESO Elektronische Stromoptimierung

Inhaber: Michael Grün

Merianstraße 49, D-76646 Bruchsal

Tel.: +49 (0) 72513929172

www.eso-anlage.de

info@eso-anlage.de

Zusatzhinweise zum ESO-Gehäuse:

Die gezeigten Produktbilder sind Musterbeispiele. Die Maße und Aussehen der Anlage können je nach Kundenansprüchen und Leistungsgröße variieren. Bei kleineren Leistungsgrößen oder Platzverhältnissen beim Endkunden können auch andere Gehäuse Anwendung finden. Diese können größer oder kleiner sein.

© 2026 ESO Elektronische Stromoptimierung

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung.

Stand: 09/2026

Technische Änderungen vorbehalten.