ESO®
Elektronische Stromoptimierung

Produkt- und Installationsbeschreibung

Technische Dokumentation zur ESO-Anlage

Elektronische Strom- und Netzoptimierungsanlage ESO

Wegweiser

Diese Beschreibung richtet sich an 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, dazu die Abschnitte 19 und 24. Teil B brauchen Sie nicht. Arbeiten an der freigeschalteten Anlage sind der Elektrofachkraft vorbehalten.
Elektrofachkraft	aufstellen, anschließen, in Betrieb nehmen, warten, demontieren	Abschnitt 2, dann Teil B vollständig, dazu Abschnitt 14.2 und die Abschnitte 15 bis 17. Die Kennwerte stehen in Abschnitt 21.
Energiemanagement und Systemintegration	Messwerte auslesen und die Anlage einbinden	Teil D. Klemmen und Leitungsführung stehen in Abschnitt 10.
Energieauditor, Förderabwickler, Prüfer	Wirkung und Konformität beurteilen	Abschnitt 4, Teil D und Teil E.

Inhaltsverzeichnis

Wegweiser 1
Teil A - Grundlagen 4
1. Zu dieser Beschreibung 4
1.1 Qualifikation des Personals 4
1.2 Aufbau und Warnhinweise 4
2. Bestimmungsgemäße Verwendung und Einsatzgrenzen 5
2.1 Nicht bestimmungsgemäße Verwendung 5
2.2 Einsatzgrenzen 5
3. Produkt und Aufbau 6
3.1 Produktdefinition und -differenzierung 6
3.2 Funktionsumfang, Aufbau der Anlage und Einbindung 7
4. Wirkungsweise 9
4.1 Leistungsfaktor 9
4.2 Oberschwingungen 10
4.3 Schieflast 10
4.4 Dynamik 10
4.5 Aufteilung der Kompensationsleistung 11
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 Bauseits zu stellen 13
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 Reihenfolge des Anschlusses 19
8.2 Anschluss ausführen 19
9. Strommessung: Rogowski-Spulensatz und Integrator 20
9.1 Vorgehen 21
10. Steuer-, Melde- und Datenleitungen 22
11. Mehrere Einheiten 23
11.1 Getrennte Messbereiche 24
11.2 Verbund: mehrere Einheiten am selben Messpunkt 25
11.3 Verbund anschließen und einstellen 27
12. Inbetriebnahme 28
12.1 Prüfung vor dem ersten Einschalten 28
12.2 Einschalten und Sichtprüfung 29
Teil C - Betrieb 31
13. Anzeige und Betriebszustände 31
13.1 Startbildschirm und weitere Ansichten 31

13.2 Betriebs- und Störmeldung 32
14. Ein- und Ausschalten, Startarten 33
14.1 Startarten 33
14.2 Startart, Datum und Uhrzeit einstellen 34
15. Regelmäßige Kontrolle und Wartung 35
15.1 Regelmäßige Sichtkontrolle 36
15.2 Reinigung 36
15.3 Wiederkehrende Prüfung 36
16. Störungen und Notfallmaßnahmen 36
16.1 Störungen 36
16.2 Notfallmaßnahmen 38
17. Außerbetriebnahme und Entsorgung 38
Teil D - Wirkung und Daten 39
18. Wirkung im Betrieb 39
18.1 Größenordnung je Störfaktor 40
19. Wirkungsnachweis 41
20. Energiemanagement und Datenspeicher 41
20.1 Drei Wege der Einbindung 42
20.2 Datenbus und Gateway 42
20.3 Datenspeicher 44
20.4 Empfohlener Aufbau für ein Energiemanagementsystem 44
20.5 Modbus-Registerliste 44
Teil E - Kennwerte, Konformität und Gewährleistung 47
21. Technisches Datenblatt 47
21.1 Funktionen 47
21.2 Auslegungen 47
21.3 Elektrische Kennwerte 48
21.4 Kompensationswirkung 49
21.5 Mechanik und Umgebung 49
21.6 Messung, Anzeige und Schnittstellen 50
21.7 Anschluss 50
21.8 Normen und Richtlinien 50
22. EU-Konformitätserklärung 51
22.1 Hersteller 51
22.2 Erklärung 51
22.3 Angewandte Normen 52
23. Weitere Konformität 52
23.1 Für Errichtung und Betrieb maßgeblich 52
23.2 Netzanschluss 53
24. Gewährleistung und Service 53
24.1 Voraussetzungen 53
24.2 Ausschlussgründe 53
24.3 Im Servicefall bereithalten 54
24.4 Kontakt 54

Teil A - Grundlagen

1. Zu dieser Beschreibung

Diese Beschreibung gilt für die Elektronische Strom- und Netzoptimierungsanlage ESO. Sie richtet sich vor allem an den Betreiber der Anlage und an die Elektrofachkraft, die sie installiert und in Betrieb nimmt; welche Teile für wen gedacht sind, zeigt der Wegweiser. 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. Ab Werk steht sie im Tasterstart; bei der Inbetriebnahme wird der Automatikstart eingestellt (Abschnitt 14.2). Danach startet sie nach dem Zuschalten selbsttätig, erkennt die Netzverhältnisse und regelt eigenständig. Für Elektrofachkraft und Betreiber sind keine Einstellungen vorzunehmen, keine Werte vorzugeben und keine Kenntnisse über die Regelung erforderlich, ausgenommen Startart, Datum und Uhrzeit (Abschnitt 14.2) und, im Verbund, Systemmodus, Modulanzahl und Geräteadressen (Abschnitt 11.3).

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 Startart, Datum und Uhrzeit (Abschnitt 14.2) und, im Verbund, Systemmodus, Modulanzahl und Geräteadressen (Abschnitt 11.3).

1.2 Aufbau und Warnhinweise

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

Kästen ohne Signalwort sind Leitsätze: Sie fassen die Kernaussage eines Abschnitts zusammen.

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 Schieflast der Kundenanlage und verbessert damit die Qualität des betriebsinternen Netzes. Netzparallele Photovoltaik- oder Blockheizkraftwerksanlagen am Standort stehen dem Betrieb nicht entgegen.

2.1 Nicht bestimmungsgemäße Verwendung

- Betrieb an Ersatzstromaggregaten, in Inselnetzen, an nicht netzparallelen Versorgungen oder an Prüfständen; zur Lage der Zuleitung siehe Abschnitt 8.
- 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 Aufstellsituation 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 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, wenn sie 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 weder Spannungsreduziergerät noch Spannungsregler: Sie senkt die Netzspannung nicht, 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 Laststrom der Kundenanlage. 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-ANLAGE
Regelung	in festen Stufen	stufenlos
Genauigkeit	Über- oder Unterkompensation je nach Stufung	exakt auf den Sollwert geregelt
Richtung	nur kapazitiv	induktiv und kapazitiv

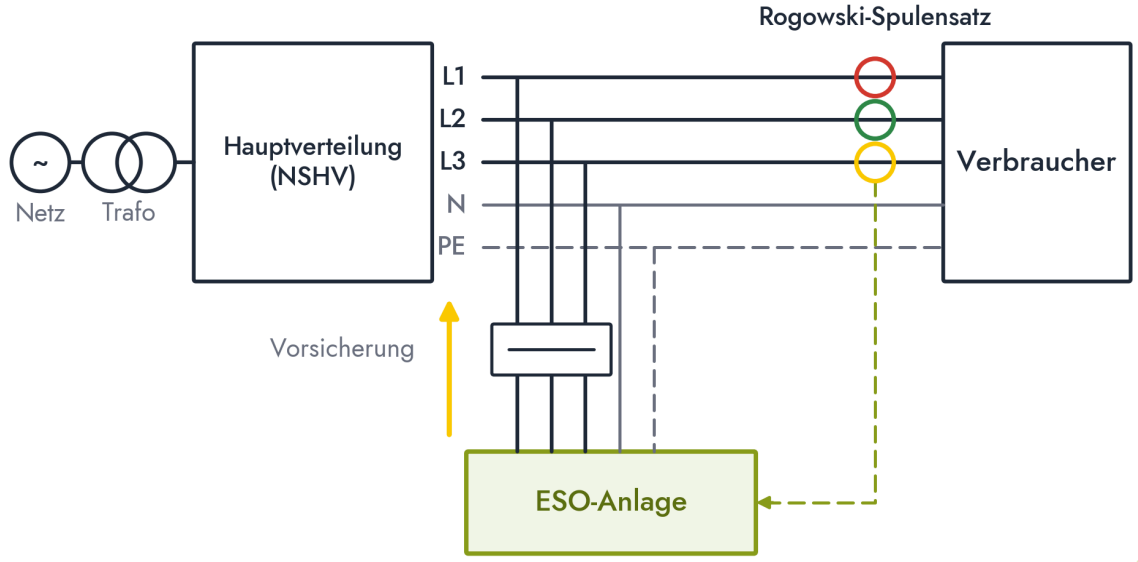
	GESCHALTETE KONDENSATORANLAGE	ESO-ANLAGE
Reaktionszeit	Sekunden, bestimmt durch Schützlaufzeit und Entladepausen	unter 5 Millisekunden
Oberschwingungen	werden nicht kompensiert; unverdrosselte Anlagen können mit der Netzinduktivität in Resonanz geraten	gezielt kompensiert
Verdrosselung	meist erforderlich und mit dem Netzbetreiber abzustimmen	entfällt
Schieflast	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)
Oberschwingungs-kompensation	Kompensation der Oberschwingungsströme der 2. bis 13. Ordnung; hierfür stehen 60 Prozent der Bemessungsleistung zur Verfügung; THDi ≤ 5 %
Schieflastkompensation	Symmetrierung der drei Außenleiter auf einen Unsymmetriegrad unter 5 %
Neutralleiterentlastung	Reduzierung des Neutralleiterstroms in Vierleiternetzen, lastabhängig nach Schieflast
Datenerfassung	Fortlaufende Messung und Anzeige von Spannungen, Strömen, Leistungsfaktoren, THD-Werten und Unsymmetriegraden, getrennt für Netz- und Lastseite, mit Spektrumanalyse und Ereignisspeicher
Schutzfunktionen	Überstrom, Überspannung, Übertemperatur, Phasenfolgefehler, Phasenausfall

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.

BAUTEIL	AUSFÜHRUNG
Gehäuse	Pulverbeschichtetes Stahlblech 2 mm in RAL 7035 Lichtgrau, für Wandmontage, mit Lüftungsöffnungen; alle Anschlüsse liegen außen; Maße nach Abschnitt 21.2
Leistungsteil	Halbleiterbrücke in Dreipunkt-Topologie mit IGBT, Gleichspannungszwischenkreis und drehzahlgeregelter Belüftung
Regelung	Signalprozessor mit FPGA; Zerlegung des Stroms über Spektralanalyse und momentane Leistungstheorie (p-q-Theorie)
Anzeigeeinheit	Touch-Display mit Anzeige der Netz- und Lastseite, des Leistungsteils und des Ereignisspeichers
Strommessung	Rogowski-Spulensatz aus drei Spulen 1000 A, Innendurchmesser 100 mm, farbcodiert für L1, L2 und L3, mit Integrator (Messumformer, Ausgang 5 A). Der Integrator wird über zwei mitgelieferte Netzteile in Reihe mit ±12 V DC versorgt; die Netzteile werden bauseits mit 230 V AC gespeist.
Meldung	Relaisausgänge für Betriebs- und Störmeldung, gespeist aus der internen 24-V-Versorgung
Schnittstelle	RS485 mit zwei Kanälen, Modbus RTU. Kanal 1 (Klemmen 485A1/485B1) für ein Energiemanagement- oder Leitsystem, Kanal 2 für die Anzeigeeinheit und die Verbindung mehrerer Einheiten; Registerliste in Abschnitt 20.5



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); oliv gestrichelt dargestellt ist das Messsignal der Spulen, das über den Integrator zur Anlage läuft.

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
Oberschwingungs-ströme	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. Bezahlt 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 Schieflastkompensation 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 der Leistungsstufe 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 die Elektrofachkraft ist dazu nichts zu veranlassen.

Teil B - Installation und Inbetriebnahme

5. Sicherheit bei Arbeiten an der Anlage

Gefahr · Vor Beginn der Arbeiten

Sämtliche Arbeiten an der Anlage sind im spannungsfreien Zustand durchzuführen. Anlage allpolig freischalten, gegen Wiedereinschalten sichern, Spannungsfreiheit feststellen, erden und kurzschließen, benachbarte unter Spannung stehende Teile abdecken. Die Rogowski-Spulen werden ohne Freischalten um die Leiter gelegt, gedreht oder umgesetzt.

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.
An den Anschlüssen darf frühestens 5 Minuten nach dem allpoligen Freischalten gearbeitet werden. Vor Arbeitsbeginn ist die Spannungsfreiheit zu messen.

- Das Abschalten über das Display (Schaltfläche „Ausschalten“ auf der Modulseite) 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.
- Beim Anschluss der Zuleitung ist der Schutzleiter zuerst anzuschließen, beim Rückbau 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.
- 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 1600 V DC am geschlossenen Gerät und Funktionskontrolle - und wird betriebsfertig eingestellt ausgeliefert.

6.1 Im Lieferumfang enthalten

- **ESO-Anlage:** betriebsfertig verdrahtet und werkseitig eingestellt, mit Typenschild und Kennzeichnung - je Einheit
- **Anzeigeeinheit:** betriebsbereit angeschlossen - je Einheit
- **Wandhalterungen:** verzinkter Stahl, mit Befestigungsmaterial und Bohrschablone - je Einheit
- **Rogowski-Spulensatz:** drei Spulen 1000 A : 5 A, Innendurchmesser 100 mm, farbcodiert, mit Integrator (Messumformer, Ausgang 5 A) - ein Satz bei einer Einheit; zwei Sätze im Verbund
- **Netzteile:** zwei Hutschienengeräte 12 V DC zur Versorgung des Integrators, in Reihe zu schalten - je Rogowski-Spulensatz
- **Produkt- und Installationsbeschreibung:** Aufstellung, Anschluss, Betrieb und Kennwerte - je Lieferung
- **Installationsblatt:** Auslegung, Vorsicherung, Querschnitte und Aufteilung der Rogowski-Spulensätze dieser Lieferung - je Lieferung
- **Installations- und Abnahmeprotokoll:** Formular mit Prüfliste, zur Abnahme auszufüllen - je Lieferung

Ergibt sich vor Ort eine andere Aufteilung der Einheiten als auf dem Installationsblatt, liefert ESO die dafür nötigen Rogowski-Spulensätze ohne weitere Kosten nach.

6.2 Bauseits zu stellen

Die Elektrofachkraft stellt das folgende Material. Welche Auslegung geliefert wird, steht auf dem Installationsblatt und auf dem Werkssiegel am Gehäuse; Vorsicherung und Zuleitung richten sich danach.

- **Vorsicherung:** Halbleiterschutzsicherung der Betriebsklasse gR oder aR mit Sicherungsunterteil oder Sicherungslasttrennschalter, Bemessungsstrom je Auslegung nach der Tabelle unten (Abschnitt 8)
- **Zuleitung:** L1, L2, L3, N und PE, der Neutralleiter eine Stufe größer als die Außenleiter, mit Zugentlastung; Querschnitte je Auslegung nach der Tabelle unten (Abschnitt 8)

- **Wandbefestigung:** Dübel und Schrauben für die Wandhalterungen, passend zur Montagewand; in Beton Schwerlastdübel ab 10 mm Durchmesser (Abschnitt 7.2)
- **5-A-Messleitung:** vom Integrator zur Anlage, je Phase ein Aderpaar, geschirmt; Querschnitt nach der einfachen Leitungslänge - bis 5 m 2,5 mm², bis 8 m 4 mm², bis 12 m 6 mm² (Abschnitt 9.1)
- **Versorgung der Netzteile:** 230 V AC über einen Leitungsschutzschalter; Leitungen zu den Netzteilen und von den Netzteilen zum Integrator (V+, COM, V–) (Abschnitt 9.1)
- **Montageplatz:** Hutschiene 35 mm mit 70 mm Platz für die beiden Netzteile und eine Montagefläche für den Integrator (rund 20 × 15 cm, verschraubt), in einem Verteiler oder Kleingehäuse nahe am Rogowski-Spulensatz (Abschnitt 9.1)
- **Aderendhülsen:** für feindrähtige Leiter (Abschnitt 8.2)

Vorsicherung und Zuleitung je Auslegung:

AUSLEGUNG	A	B	C	D	E
Bemessungsstrom je Außenleiter	44 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 mm²	25 mm²	35 mm²	50 mm²	75 mm²
Zuleitung N	25 mm²	35 mm²	50 mm²	70 mm²	95 mm²
Zuleitung PE	16 mm²	16 mm²	16 mm²	25 mm²	35 mm²

Zusätzlich, je nach Anlage:

- **Betriebs- und Störmeldung:** Meldeleitung zu YK1 oder YK2 und COM–; für eine Leitwarte ein Koppelrelais 24 V DC, weil die Ausgänge 24 V aus der internen Versorgung der Anlage führen und keine potenzialfreien Kontakte sind (Abschnitt 10)
- **Start und Stopp von außen:** Start-Taster (Schließer) und Stopp-Taster (Öffner) oder ein rastender Schalter; Steuerleitung zu DI1, DI2 und COM– (Abschnitte 10 und 14.2)
- **Mehrere Einheiten in getrennten Messbereichen:** je Einheit das Material aus der Tabelle oben; keine Busleitung (Abschnitt 11.1)
- **Verbund (bis zu vier Einheiten am selben Messpunkt):** Busleitung RS485, paarverseilt und geschirmt, als Linie von Einheit zu Einheit und zur Anzeigeeinheit; zwei Abschlusswiderstände 120 Ω, wo nach Abschnitt 10 erforderlich; für jeden weiteren Rogowski-Spulensatz 5-A-Messleitung, 230-V-Versorgung und Montageplatz wie oben;

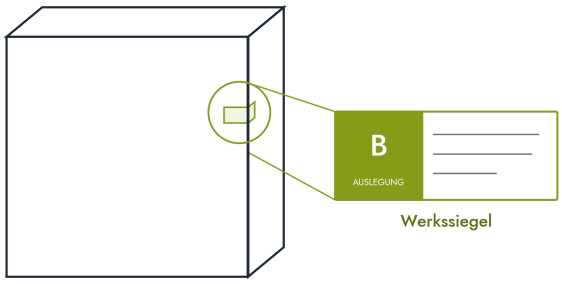
empfohlen, nicht vorgeschrieben: Prüf-/Trennklemmen an den Stromeingängen jeder Einheit (Abschnitte 11.2 und 11.3)

- **Energiemanagementsystem:** Datenleitung RS485, paarverseilt und geschirmt, auf Kanal 1 (485A1/485B1); bei größerer Entfernung oder Netzwerkanbindung ein Modbus-Gateway (Hutschienengerät mit eigener Versorgung) (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 die Anzahl 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.

6.4 Werkssiegel



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

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 in Abschnitt 21.2.

Das Siegel ist so geklebt, dass es das Öffnen des Deckels verhindert. Für Installation und Wartung muss die Anlage nicht geöffnet werden; alle Anschlüsse liegen außen. Das Öffnen der Anlage 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.

7. Standort und Montage

- **Raum:** trocken, staubarm, keine Kondensation, kein leitfähiger Staub, keine aggressive Atmosphäre
- **Umgebungstemperatur:** dauerhaft bis 30 °C für Volllastbetrieb; 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
- **Montagewand:** 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
- **Messstelle:** zugänglicher Abschnitt der Hauptzuleitung für den Rogowski-Spulensatz, lastseitig hinter dem Abgriff der Anlage

> **Achtung · 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 unkompensierte 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.

- **Luftvolumenstrom:** je Auslegung, siehe Abschnitt 21.2
- **Verlustleistung:** je Auslegung, siehe Abschnitt 21.2

- **Freiraum:** Lufteintritt mindestens 100 mm, Luftaustritt mindestens 200 mm frei
- **Luftführung:** Lufteintritt und Luftaustritt dürfen nicht kurzgeschlossen werden; der Luftaustritt muss frei abströmen können

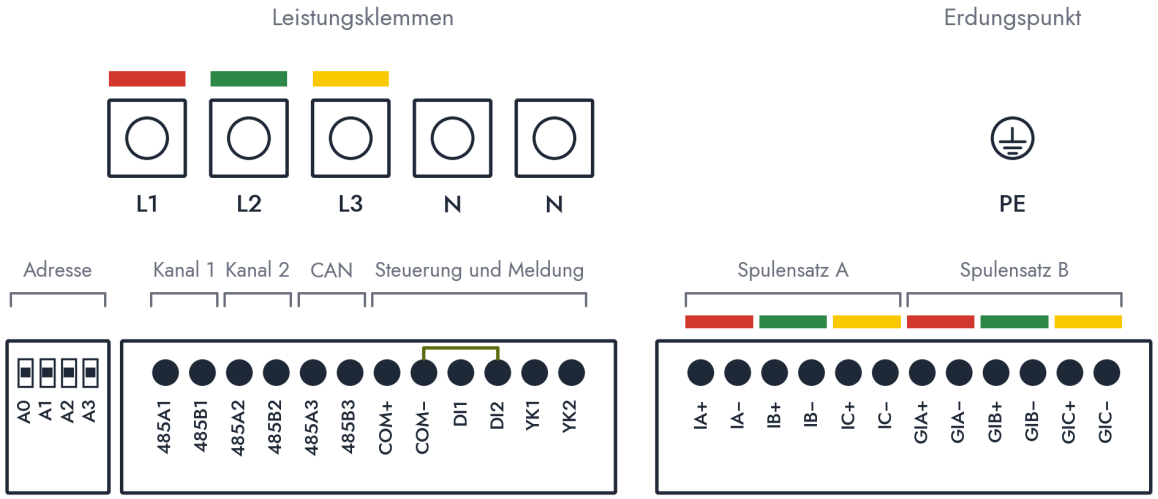
> **Achtung · Kühlluft**
>
> Die Lüftungsöffnungen dürfen nicht verdeckt und nicht mit Filtermatten versehen werden. Filtermatten setzen sich zu und führen zur Übertemperaturabschaltung. Vor dem Lufteintritt sind mindestens 100 mm, vor dem Luftaustritt mindestens 200 mm freizuhalten; ist das am Aufstellort nicht möglich, 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 die Anschlussseite 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 7.1 kontrollieren. Die Abstände sind dauerhaft freizuhalten und dem Betreiber mitzuteilen.

8. Elektrischer Anschluss

Die Anlage wird parallel zur Last an einen abgesicherten Abgang der Hauptverteilung angeschlossen. Die Leistungsklemmen sind mit L1, L2, L3 und zweimal N gekennzeichnet, der Schutzleiter kommt auf den Erdungspunkt PE. Die Zuleitung der Anlage darf nicht auf dem Teil der Kundenanlage liegen, der bei Netzausfall von einem Ersatzstromaggregat oder einer anderen Ersatzversorgung gespeist wird.



Die Anschlussseite des Leistungsteils: links die Leistungsklemmen, rechts außen der Erdungspunkt PE. Die beiden Sekundärleisten - Datenbus, Steuerung und Meldung sowie die Messkreise der Spulensätze A und B - liegen am Gerät rechts neben den Leistungsklemmen und sind hier darunter gezeichnet. Links neben 485A1 liegt der DIP-Schalter für die Geräteadresse (A0 bis A3). Bezeichnungen und Farben entsprechen den Etiketten am Gerät. Die Linie zwischen COM– und DI2 ist die werkseitige Brücke; sie entfällt, sobald an DI2 etwas angeschlossen wird. Die Klemmen 485A3 und 485B3 tragen trotz ihrer Bezeichnung keinen RS485-Kanal, sondern eine CAN-Schnittstelle, die ESO nicht belegt. COM+ (24 V DC) wird ebenfalls nicht belegt; Start, Stopp und die Meldeausgänge beziehen sich auf COM–.

Querschnitte und Vorsicherung richten sich nach der Auslegung der Anlage; die Werte stehen in Abschnitt 21.2 und auf dem Werkssiegel. Der Neutralleiter ist eine Stufe größer als die Außenleiter, weil er die kompensierten Oberschwingungsströme führt; betriebsmäßig beträgt der Neutralleiterstrom höchstens den Bemessungsstrom je Phase. Die Vorsicherung ist eine Halbleiterschutzsicherung der Betriebsklasse gR oder aR (Warnhinweis unten).

Achtung · 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 in Abschnitt 21.2; er liegt 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.

Die Anlage begrenzt ihren Strom selbsttätig auf den Bemessungsstrom; eine Zuleitung, die diesen Strom dauerhaft führt, wird von ihr nicht überlastet. Einen Schutz bei Überlast braucht die Zuleitung nach DIN VDE 0100-430, Abschnitt 433.3.1 deshalb nicht, solange sie ohne Abzweige und Steckvorrichtungen allein die Anlage speist. Zu prüfen ist, dass der gewählte Querschnitt den Bemessungsstrom der jeweiligen Auslegung (Abschnitt 21.2) unter den tatsächlichen Bedingungen dauerhaft führt - der Neutralleiter zählt dabei als belasteter Leiter -, dass die Vorsicherung die Zuleitung nach Abschnitt 434 derselben Norm gegen Kurzschluss schützt und dass die Abschaltbedingung nach DIN VDE 0100-410 erfüllt ist. Die gemeinsame Zuleitung eines Verbunds hat Abzweige und ist gegen Überlast zu schützen. In ungünstigen Verlegearten, bei Häufung mehrerer Stromkreise oder bei Umgebungstemperaturen über 30 °C kann ein größerer Querschnitt erforderlich sein.

8.1 Reihenfolge des Anschlusses

Nach der Montage (Abschnitt 7) wird in dieser Reihenfolge angeschlossen. Der Abgang zur Anlage bleibt dabei freigeschaltet, die Vorsicherung wird erst bei der Inbetriebnahme eingelegt (Abschnitt 12.2). Im Verbund gilt dieselbe Reihenfolge; was dort hinzukommt, steht Schritt für Schritt in Abschnitt 11.3.

1. Die Spulen des Rogowski-Spulensatzes lastseitig um die Außenleiter der Hauptzuleitung legen, jede Spule um genau einen Außenleiter (Abschnitt 9.1). Dafür muss nicht freigeschaltet werden.
2. Integrator und Netzteile montieren; die Spulenleitungen auf COIL1 bis COIL3 und die Netzteile auf V+, COM und V– legen (Abschnitt 9.1).
3. 5-A-Messkreis vom Integrator auf IA, IB und IC legen (Abschnitt 9.1).
4. Steuer-, Melde- und Datenleitungen auflegen, soweit vorgesehen (Abschnitt 10). Solange an DI2 nichts angeschlossen wird, bleibt die werkseitige Brücke zwischen DI2 und COM– gesetzt.
5. Zuleitung auflegen (Abschnitt 8.2). Die Isolationsmessung der Erstprüfung nach DIN VDE 0100-600 vorher an der noch nicht aufgelegten Zuleitung durchführen.
6. Die 230-V-Versorgung der Netzteile zuschalten (Abschnitt 9.1).
7. Inbetriebnahme nach Abschnitt 12: Prüfliste abarbeiten, Vorsicherung einlegen, Messwerte prüfen, Startart, Datum und Uhrzeit einstellen.

8.2 Anschluss ausführen

8. Zuleitung an die Anschlussseite führen und Zugentlastung setzen.
9. Bei feindrähtigen Leitern Aderendhülsen verwenden. Die abisolierten Enden müssen sauber und ohne ausgefranste Einzeldrähte sein.

10. Schutzleiter zuerst auf den Erdungspunkt PE legen. Beim Rückbau wird der Schutzleiter zuletzt getrennt.
11. Den Neutralleiter auf eine der beiden N-Klemmen legen und die andere über eine Brücke mit ihr verbinden - beide Klemmen sind Eingänge für den Neutralleiter. Anschließend die Außenleiter auf L1, L2 und L3. Die Phasenfolge muss dem Rechtsdrehfeld entsprechen und mit der Zuordnung der Spulen des Rogowski-Spulensatzes übereinstimmen.

Warnung · Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

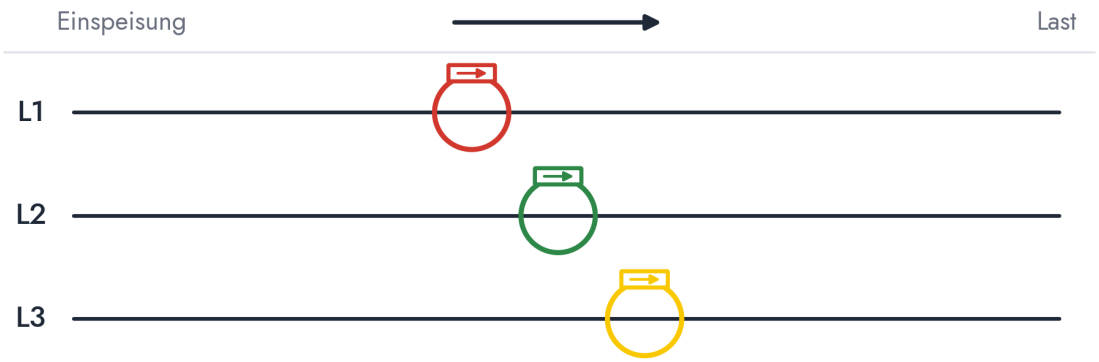
Die Anlage enthält einen Umrichter mit Gleichspannungszwischenkreis und kann im Fehlerfall glatte Gleichfehlerströme erzeugen. Ist dem Abgang eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung vorgelagert, muss diese allstromsensitiv sein - Typ B nach DIN VDE 0100-530 in Verbindung mit DIN EN 62423; ein Typ B+ (VdS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

Achtung · 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: Rogowski-Spulensatz und Integrator

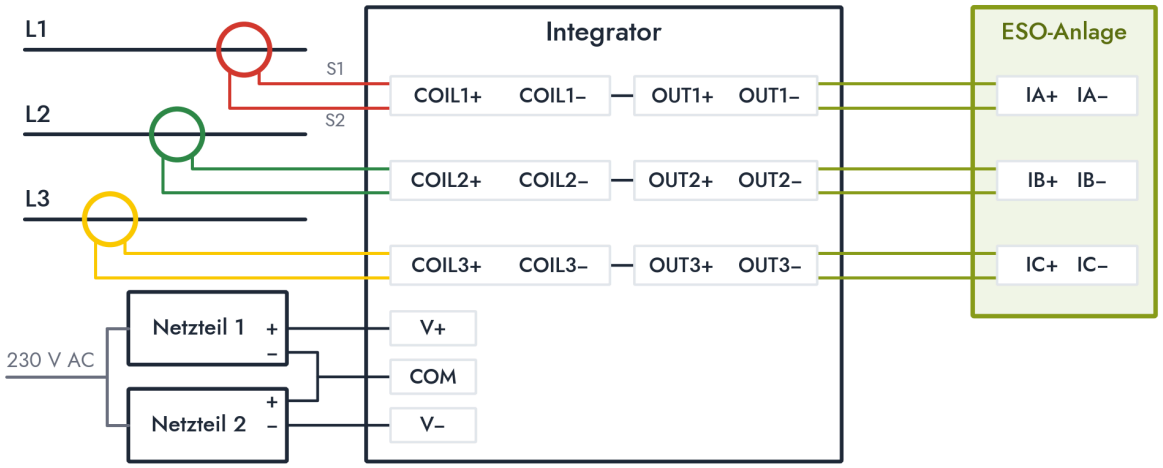
Von der Montage der Spulen hängt ab, ob die Anlage richtig regelt. Sie ist der häufigste Fehlerpunkt der gesamten Installation.



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. Eine weiterbetriebene unverdrosselte Kompensationsanlage muss im Messbereich der Spulen liegen (siehe Warnhinweis in Abschnitt 7). Der mitgelieferte Rogowski-Spulensatz ist für 1000 A ausgelegt und erfasst Ströme von 50 A bis 1200 A; liegt der Laststrom am Montageort außerhalb dieses Bereichs, ist vor der Montage der ESO-Service einzuschalten.
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. **Farbzuordnung 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 verfälscht die Messung ihrer Phase und führt zu Fehlfunktion.
5. Spulen gegen Verrutschen sichern. 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. Die beiden mitgelieferten Netzteile in Reihe versorgen den Integrator mit ±12 V DC über V+, COM und V–; sie erhalten bauseits 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.

7. Die beiden mitgelieferten Netzteile (12 V DC) auf der Hutschiene montieren und in Reihe schalten: Plus von Netzteil 1 auf V+ des Integrators, Minus von Netzteil 2 auf V–, Minus von Netzteil 1 mit Plus von Netzteil 2 verbinden und diese Brücke auf COM.
8. Beide Netzteile bauseits an 230 V AC anschließen (L und N nach ihrem Anschlussbild); zugeschaltet wird diese Versorgung erst, wenn der 5-A-Messkreis vollständig angeschlossen ist (Abschnitt 8.1). Ohne Versorgung des Integrators liefert die Strommessung kein Signal und die Anlage regelt nicht.
9. 5-A-Messleitungen zur Anlage verlegen und auflegen. Messleitungen nicht parallel zu Leistungskabeln führen. 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.

Gefahr · Strommesskreise

Die Messleitungen dürfen im Betrieb nicht getrennt werden. Vor Arbeiten am 5-A-Messkreis ist die Anlage allpolig freizuschalten. Wird statt des Rogowski-Spulensatzes ein konventioneller Stromwandler verwendet, erzeugt ein offener Wandlerkreis lebensgefährliche Spannungen und zerstört den Messkreis; an einem solchen Wandler darf kein weiteres Gerät in Reihe liegen.

Achtung · Verlängerung der 5-A-Messleitungen

Verlängerungen sind auf das Nötigste zu beschränken, da jede Verbindungsstelle eine Fehlerquelle darstellt. Es ist ausschließlich geschirmte Leitung zu verwenden. Für Querschnitt und Höchstlänge zählt die gesamte Leitung einschließlich der Verlängerung (siehe oben). 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.

10. Steuer-, Melde- und Datenleitungen

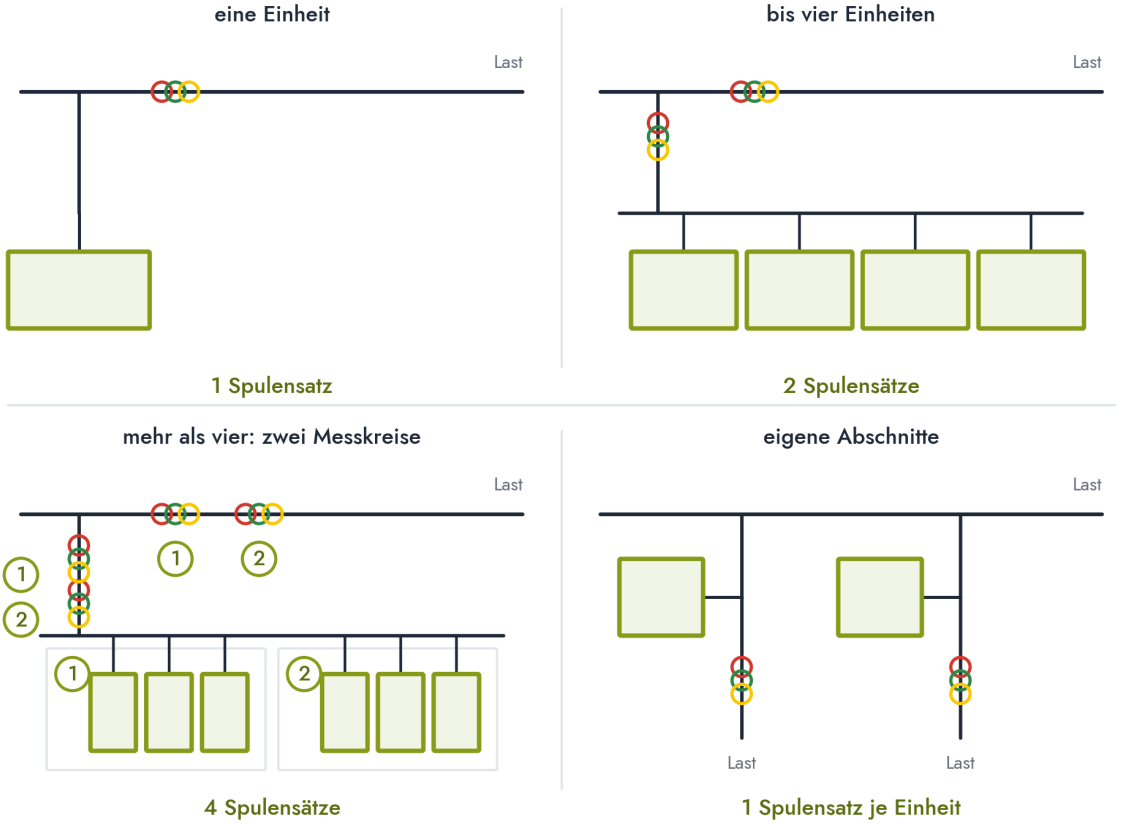
- **Betriebs- und Störmeldung:** Der Relaisausgang YK1 meldet Betrieb, YK2 eine Störung; beide können auf eine Leitwarte oder eine Meldeleuchte geführt werden. Sie geben 24 V DC gegen COM– aus der internen Versorgung der Anlage aus; diese liefert insgesamt 25 W und speist auch die Anzeigeeinheit. Für einen potenzialfreien Kontakt, etwa zur Leitwarte, ist ein Koppelrelais vorzusehen.
- **Digitaleingänge Start und Stopp:** Die Klemmen DI1 (Start) und DI2 (Stopp) werden gegen die Klemme COM– der Anlage beschaltet (nicht gegen COM des Integrators) - DI1 als

Schließer, DI2 als Öffner; alternativ ein rastender Schalter (Dauerkontakt), über dessen Schließer DI1 und DI2 gemeinsam auf COM– liegen - geschlossen bedeutet Betrieb. Ob die Anlage auf diese Kontakte reagiert, hängt von der Startart ab (Abschnitt 14.1). Ab Werk ist DI2 mit COM– gebrückt und DI1 frei; für einen Stopp-Taster, einen rastenden Schalter oder ein Energiemanagementsystem wird die Brücke entfernt.

- **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, Abschnitt 8); der Kanal nutzt dieselbe Modbus-Registerliste wie Kanal 2 (Abschnitt 20.5). Das System liest die Messwerte zyklisch über Modbus RTU mit 9600 Bd, 8 Datenbits, ohne Parität und mit 1 Stoppbit (Funktionscode 03); die Geräteadresse ist ab Werk 1, im Verbund gilt die am DIP-Schalter eingestellte (Abschnitt 20.2). Soll ein Energiemanagementsystem die Anlage über die Digitaleingänge zu- und abschalten, muss die Startart auf Tasterstart stehen (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

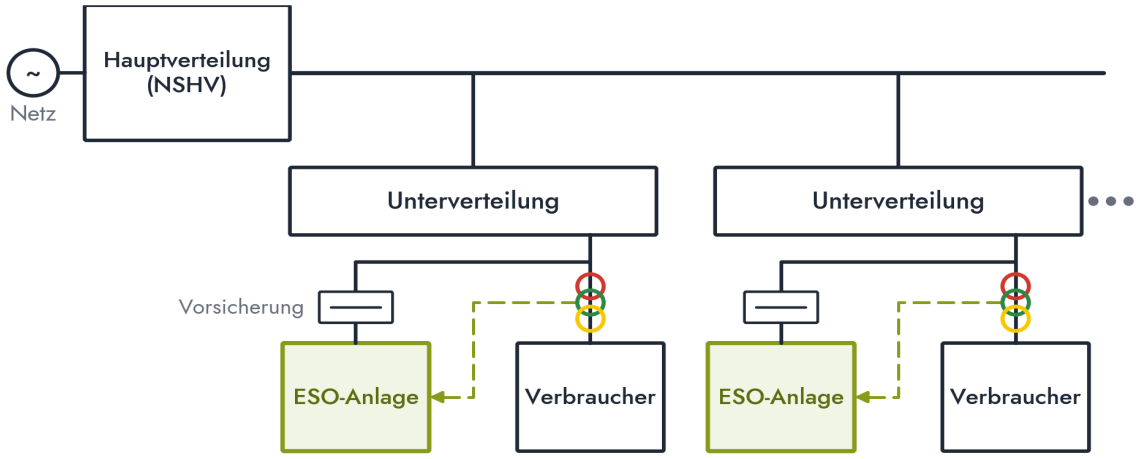
Reicht eine Einheit für den Bedarf nicht aus, werden weitere ergänzt. Stehen sie in eigenen Abschnitten mit getrennten Messbereichen, arbeitet jede für sich (Abschnitt 11.1). Teilen sich bis zu vier Einheiten einen Messpunkt, bilden sie einen Verbund mit gemeinsamer Strommessung und Datenbus; werden dort mehr Einheiten gebraucht, kommt ein zweiter Verbund am selben Messpunkt hinzu (Abschnitt 11.2).



Wie viele Rogowski-Spulensätze ein Fall braucht: Eine Einheit misst nur den Laststrom (Satz A), die GI-Klemmen bleiben frei. Ein Verbund aus bis zu vier Einheiten braucht zusätzlich den Summen-Kompensationsstrom (Satz B). Ab fünf Einheiten am selben Messpunkt kommt ein zweiter Verbund mit eigenem Satzpaar hinzu - die Einheiten bleiben am selben Anschlusspunkt, geteilt wird allein die Messung. Stehen die Einheiten in eigenen Abschnitten, misst jede für sich und braucht nur Satz A.

11.1 Getrennte Messbereiche

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. Die Obergrenze von vier Einheiten gilt allein für den Verbund am selben Messpunkt nach Abschnitt 11.2. Die Auslegung auf dem Installationsblatt ist auf den Bedarf der gesamten Abnahmestelle gerechnet; werden die Einheiten stattdessen auf eigene Abschnitte verteilt, kann dort eine andere Mischung der Baugrößen sinnvoll sein - das ist vor der Montage mit dem ESO-Service zu klären.



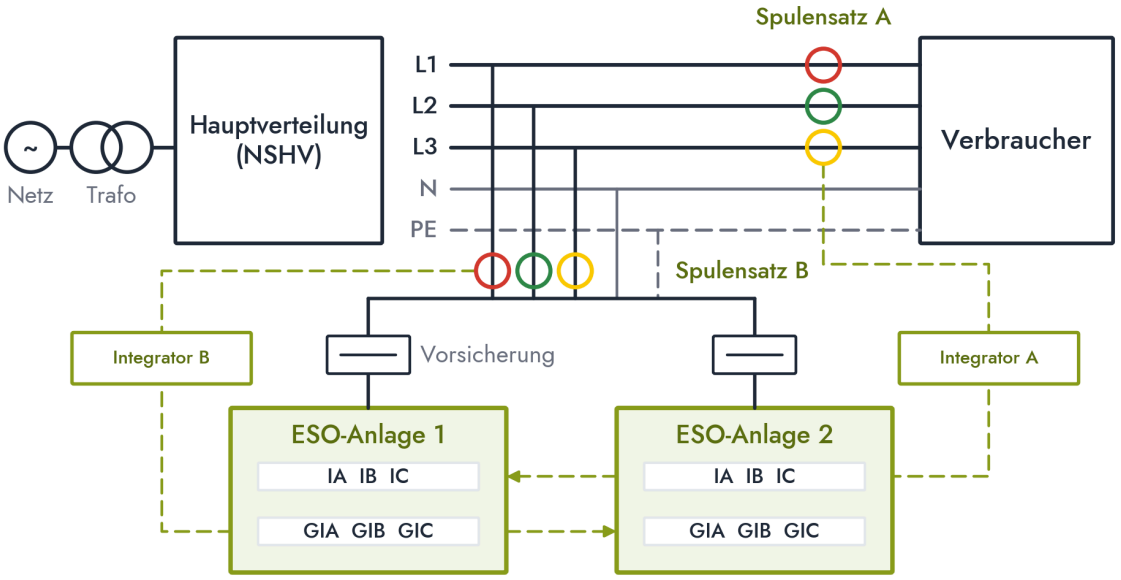
Mehrere unabhängige Einheiten - jede erfasst mit ihrem eigenen Rogowski-Spulensatz den Laststrom ihres Bereichs und kompensiert am Ort der Entstehung.

Bevorzugt werden die Einheiten dezentral nahe den großen Verbrauchern gesetzt. Für die Montage der Spulen gilt Abschnitt 9; sie sind so zu setzen, dass der Kompensationsstrom anderer Einheiten nicht miterfasst wird.

> **Achtung · Gemeinsamer Messpunkt**
>
> Zwei Einheiten dürfen ohne Verbundbetrieb nicht denselben Laststrom erfassen; jede Einheit benötigt dann 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 der Verbund nach Abschnitt 11.2 vorgesehen.

11.2 Verbund: mehrere Einheiten am selben Messpunkt

Die Einheiten eines Verbunds sind selbst unverändert; der Unterschied liegt allein in der Messverdrahtung und in der Einstellung. Geliefert wird jede Einheit im Einzelmodulbetrieb; wie sie im Verbund angeschlossen und eingestellt werden, steht Schritt für Schritt in Abschnitt 11.3. Zu jeder Einheit gehört eine Anzeigeeinheit; im Verbund genügt eine davon für alle Einheiten: Jede Einheit erhält dort eine eigene Ansicht (Modul 1, Modul 2, ...), die Auswahl erfolgt direkt am Display.

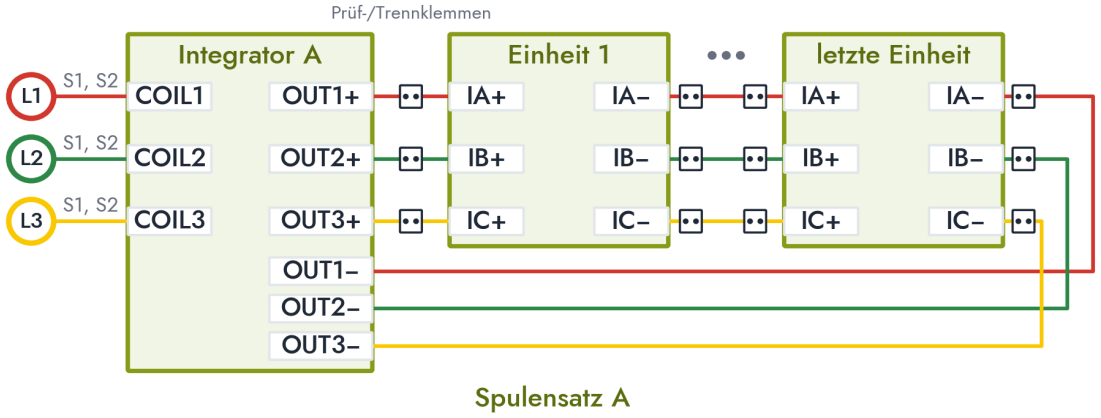


Anschluss zweier Einheiten am selben Messpunkt: Spulensatz A über Integrator A an IA, IB und IC, Spulensatz B über Integrator B an GIA, GIB und GIC, jeweils von Einheit zu Einheit. Wie die Schleife zum Integrator zurückführt, zeigt die Abbildung zum Messkreis weiter unten.

Verwendet werden zwei der mitgelieferten Rogowski-Spulensätze: Der Integrator jedes Satzes liefert ein 5-A-Signal wie ein Stromwandler.

Spulensatz A - Laststrom: sitzt wie bei einer Einzelanlage lastseitig auf der Hauptzuleitung (Abschnitt 9.1) und speist über seinen Integrator die Klemmen IA, IB und IC. Er meldet den Einheiten, wie viel Kompensation der Abschnitt benötigt.

Spulensatz B - Summen-Kompensationsstrom: umschließt die gemeinsame Zuleitung aller 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.



Der Messkreis von Spulensatz A: 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

Prüf-/Trennklemmen an den Stromeingängen jeder Einheit sind empfohlen, nicht vorgeschrieben. Spulensatz B ist ebenso verdrahtet, auf GIA, GIB und GIC. Die Schleife darf im Betrieb nicht geöffnet werden.

Ein Verbund umfasst höchstens vier Einheiten: Jede gespeiste Einheit geht in die Bürde des Integrators ein (Abschnitt 9.1). Werden an einem Messpunkt mehr als vier Einheiten benötigt, werden sie auf zwei Verbünde aufgeteilt, möglichst gleich groß - sechs Einheiten also in 3 und 3 -, und jeder Verbund erhält einen eigenen Messkreis mit eigenem Satzpaar. Welche Einheit in welchen Verbund kommt, ist frei: Für die Bürde zählt ihre Anzahl, nicht ihre Baugröße. Beide Verbünde bleiben am selben Messpunkt: Satz A jedes Verbunds liegt lastseitig auf derselben Hauptzuleitung, Satz B jedes Verbunds um dieselbe gemeinsame Zuleitung aller Einheiten. Beide messen damit denselben Laststrom und denselben Summen-Kompensationsstrom und teilen die Kompensation untereinander auf; geteilt wird allein die Messung.

Mehr als zwei Verbünde an einem Messpunkt gibt es nicht: Werden mehr als acht Einheiten benötigt, entfällt der gemeinsame Messpunkt, und die Einheiten werden auf Abschnitte mit eigenem, nicht überlappendem Messbereich verteilt (Abschnitt 11.1); jede erhält dort ihren eigenen Satz A. Satz A liegt auf der Hauptzuleitung und muss deren Laststrom erfassen; für seinen Messbereich gilt Abschnitt 9.1. Die Zahl der Rogowski-Spulensätze steht auf dem Installationsblatt.

11.3 Verbund anschließen und einstellen

Im Verbund gilt die Reihenfolge des Anschlusses nach Abschnitt 8.1, und jede Einheit wird angeschlossen wie eine Einzelanlage. Hinzu kommen diese Schritte; die Einstellungen hält die Elektrofachkraft im Installations- und Abnahmeprotokoll fest:

1. **Spulensatz B:** um die gemeinsame Zuleitung aller Einheiten legen, mit derselben Farbzuordnung wie Satz A; der Pfeil zeigt von der Verteilung zu den Einheiten. Integrator B mit eigenen Netzteilen montieren und anschließen wie Integrator A (Abschnitt 9.1).
2. **Messkreise in Reihe:** den 5-A-Ausgang jedes Integrators je Phase durch alle Einheiten und zum selben Integrator zurückführen - Satz A über IA, IB und IC, Satz B über GIA, GIB und GIC (Abbildungen in Abschnitt 11.2). Empfohlen, nicht vorgeschrieben, sind Prüf-/Trennklemmen an den Stromeingängen jeder Einheit: Mit ihnen lässt sich eine Einheit aus der Schleife nehmen, ohne die Messung der übrigen zu unterbrechen. Ihre Kurzschlussbrücken sind nach dem vollständigen Anschluss zu öffnen; sonst erhält die Einheit kein Messsignal.
3. **Geräteadressen:** vor dem Zuschalten an jeder Einheit am DIP-Schalter einstellen, fortlaufend ab 1. Der Schalter liegt an der Anschlussseite links neben der Klemme 485A1. Ab Werk steht nur Schalter 1 (A0) auf ON - das ist die Adresse 1. Einheit 1 bleibt wie geliefert. Einheit

2: Schalter 1 von ON zurückstellen, Schalter 2 (A1) auf ON. Einheit 3: Schalter 1 und 2 auf ON. Einheit 4: Schalter 1 von ON zurückstellen, Schalter 3 (A2) auf ON.

4. **Datenbus:** die RS485-Leitung (Kanal 2, Klemmen 485A2/485B2) als Linie von Einheit zu Einheit und zur Anzeigeeinheit führen, Sternverkabelung ist unzulässig. Den Busabschluss regelt Abschnitt 10.
5. **Zuleitung:** Die gemeinsame Zuleitung, um die Satz B liegt, führt den Strom aller Einheiten an diesem Messpunkt und ist für die Summe ihrer Bemessungsströme auszulegen (Abschnitt 21.2); jede Einheit erhält dahinter ihre eigene Vorsicherung.
6. **Nach dem Zuschalten:** unter „Moduleinstellung“ die Modulanzahl eintragen (Abbildung in Abschnitt 14.2); danach muss jede Einheit auf ihrer eigenen Seite erscheinen (Modul 1, Modul 2, ...) - erscheint eine nicht, diese Einheit freischalten und ihren DIP-Schalter und die Busleitung prüfen.
7. **Systemmodus:** auf der Seite jeder Einheit „Mehrmodul“ wählen, ebenso unter „Interne CT-Position“; unter „Externe CT-Position“ die Lastseite wählen. Jeweils „Parameter speichern“. Wandlerübersetzung und die Prozentwerte der Kompensationskapazität sind ab Werk eingestellt und werden nicht verändert; die Prozentwerte müssen bei allen Einheiten am Messpunkt übereinstimmen, sonst ist der ESO-Service einzuschalten.
8. **Startart, Datum und Uhrzeit:** nach Abschnitt 12.2, Schritt 5; die Startart wird auf jeder Modulseite eingestellt.

12. Inbetriebnahme

> Die Anlage ist werkseitig eingestellt; ab Werk steht sie im Tasterstart und nimmt nach dem Zuschalten den Betrieb noch nicht auf. Vor der Inbetriebnahme ruft der technische Service von ESO die Elektrofachkraft an und weist sie fernmündlich ein. Die Inbetriebnahme besteht aus der Prüfung der Installation, dem Zuschalten, einer Sichtkontrolle der Messwerte und dem Einstellen von Startart, Datum und Uhrzeit (Abschnitt 12.2). Weitere Parameter sind nicht einzugeben; nur der Verbund mehrerer Einheiten an einem Messpunkt braucht Geräteadressen, Modulanzahl und Systemmodus (Abschnitt 11.3). 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 Prüfung vor dem ersten Einschalten

Die Prüfliste steht im Installations- und Abnahmeprotokoll, das zur Abnahme auszufüllen ist. Sie ist vor dem Zuschalten Punkt für Punkt abzuarbeiten.

12.2 Einschalten und Sichtprüfung

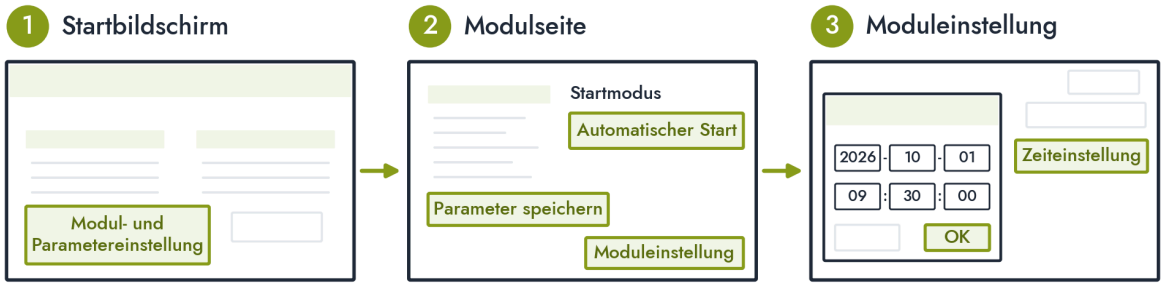
9. Vorsicherung einlegen und die Anlage zuschalten. Die Anlage durchläuft eine Initialisierung und erkennt die Netzverhältnisse; im Tasterstart nimmt sie den Betrieb noch nicht auf, solange kein Startsignal anliegt (Schalter oder Dauerkontakt offen), das Display zeigt die Messwerte aber bereits. Die Messungen der Erstprüfung unter Spannung, etwa die Schleifenimpedanz, jetzt durchführen. Im Verbund anschließend Modulanzahl und Systemmodus nach Abschnitt 11.3, Schritte 6 und 7, einstellen.

10. Messwerte auf dem Display auf Plausibilität prüfen. Spannungen der drei Phasen um 230 V gegen N, Ströme entsprechend der tatsächlichen Last, Leistungsfaktor plausibel. Werden die Ströme mit null angezeigt, fehlt die Versorgung des Integrators, die 5-A-Ausgänge sind nicht aufgelegt oder gesetzte Prüf-/Trennklemmen sind noch kurzgeschlossen: Netzteile und 5-A-Messkreis prüfen.

11. Richtung prüfen. Weicht auf der Lastseite eine Phase bei Strom oder Leistungsfaktor deutlich von den anderen ab, Pfeilrichtung und Sitz der Spule dieser Phase prüfen (Abschnitt 9.1). Zum Drehen oder Umsetzen einer Spule muss die Hauptzuleitung nicht freigeschaltet werden. Die Ursache ist zu beheben, nicht zu überdecken.

12. 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.

13. Startart, Datum und Uhrzeit einstellen und die Funktion prüfen (Abschnitt 14.2). Ist an DI1 und DI2 nichts angeschlossen, wird der Automatikstart eingestellt und die Anlage nimmt den Betrieb auf; sind Taster, ein rastender Schalter oder ein Energiemanagementsystem angeschlossen, bleibt sie im Tasterstart.



Startart, Datum und Uhrzeit am Display: Vom Startbildschirm (1) führt „Modul- und Parametereinstellung“ zur Modulseite (2) mit dem Feld „Startmodus“ und „Parameter speichern“; „Moduleinstellung“ führt weiter zur gleichnamigen Seite (3), auf der „Zeiteinstellung“ das Fenster für Datum und Uhrzeit öffnet.

14. Wirkung beobachten. Der netzseitige Strom muss gegenüber der Lastseite sinken, der netzseitige Leistungsfaktor steigen. Der Vergleich beider Seiten ist auf dem Startbildschirm unmittelbar ablesbar.

15. Nach 15 bis 30 Minuten Betrieb auf der Modulseite die IGBT-Temperaturen ablesen; eine Übertemperaturmeldung darf nicht anstehen. Den Luftaustritt auf freie Strömung prüfen.
16. Betreiber einweisen. Zu vermitteln sind: die eingestellte Startart, Bedeutung der Betriebs- und Störmeldung, Freihalten der Lüftungsöffnungen, Vorgehen bei einer Störmeldung und die Kontaktdaten des Service.
17. Übergabe abschließen: Einbaudatum und Einbaufirma auf dem Typenschild eintragen. Das ausgefüllte Installations- und Abnahmeprotokoll und das Video - Startbildschirm mit den Werten der Last- und der Netzseite, Anzeige des Ereignisspeichers, ausgefülltes Typenschild - innerhalb eines Monats nach der Inbetriebnahme an ESO senden (info@eso-anlage.de oder WhatsApp +49 155 610 234 79). Ohne fristgerechte Einreichung in Textform entfällt jeder Anspruch auf die Garantien unter Ziffer 13 der AGB.

Achtung · Keine Wirkung erkennbar

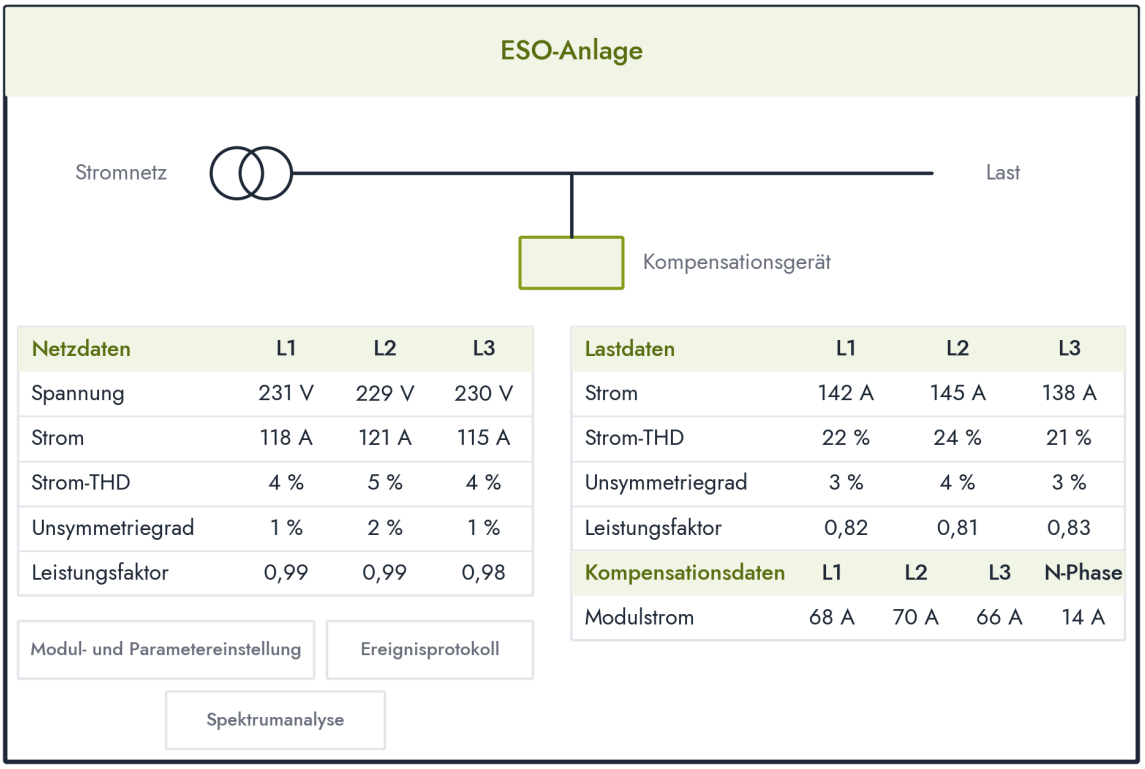
Bleibt eine Wirkung aus, ohne dass eine Störmeldung ansteht, zuerst prüfen, ob die Anlage läuft - die Statusanzeige muss „Betrieb“ zeigen, sonst die Startart nach Abschnitt 14.2 einstellen. Läuft sie, liegt die Ursache fast immer in den Messkreisen oder in der Last selbst. Zu prüfen sind Phasenzuordnung, 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 - außer der Startart 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 der Anzeigeeinheit: oben das Prinzipschema, links die Netzdaten, rechts Last- und Kompensationsdaten, unten die Schaltflächen zu den weiteren Ansichten. Die gezeigten Werte sind Beispielwerte; die Anzeige wird laufend aktualisiert.

Der Startbildschirm zeigt Netzdaten, Lastdaten und Kompensationsdaten, unten rechts Datum und Uhrzeit. 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.

BEREICH	ANGEZEIGTE WERTE
Netzdaten	Spannung, Strom, Stromverzerrungsgrad (Strom-THD), Unsymmetriegrad und Leistungsfaktor je Phase
Lastdaten	Strom, Stromverzerrungsgrad (Strom-THD), Unsymmetriegrad und Leistungsfaktor je Phase

BEREICH	ANGEZEIGTE WERTE
Kompensationsdaten	Modulstrom, also der Ausgangsstrom der Anlage, je Phase und im Neutralleiter

Weitere Ansichten: „Ereignisprotokoll“ - der Ereignisspeicher mit Zeitstempel, Fehlercode, Fehlerbezeichnung und den zugehörigen Systemparametern, filterbar nach Zeitraum. „Spektrumanalyse“ - Balken- und Kurvendarstellung von Spannung und Strom, netz- und lastseitig. „Modul- und Parametereinstellung“ - die Modulseite: Echtzeitdaten des Leistungsteils, unter anderem Zwischenkreisspannungen und IGBT-Temperaturen, die im Servicefall benötigt werden, dazu die Einstellfelder. Über „Moduleinstellung“ unten auf der Modulseite folgen die Modulanzahl und die „Zeiteinstellung“; den Ablauf zeigt Abschnitt 14.2.

Bedienung: Die weiteren Ansichten werden über die Schaltflächen auf dem Startbildschirm geöffnet und führen von dort wieder zurück. Im Ereignisspeicher lässt sich über die Pfeiltasten und den Schieberegler blättern. In der Spektrumanalyse kann zwischen Spannung und Strom sowie zwischen Netz- und Lastseite umgeschaltet werden.

> **Hinweis · Eingaben am Display**
>
> Das Display dient der Anzeige und Ablesung. Der Bereich „Modul- und Parametereinstellung“ ist dem ESO-Service vorbehalten; Elektrofachkraft und Betreiber nehmen dort keine Eingaben vor, ausgenommen Startart, Datum und Uhrzeit (Abschnitt 14.2) und, im Verbund, Modulanzahl und Systemmodus (Abschnitt 11.3).

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 durch die Elektrofachkraft prüfen lassen

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 (Schaltfläche „Ausschalten“ auf der Modulseite, im Verbund auf jeder Modulseite), anschließend allpolig freischalten. Vor Arbeiten an den Anschlüssen die Entladezeit des Zwischenkreises von mindestens 5 Minuten abwarten.
- **Wiedereinschalten:** Die Elektrofachkraft setzt die Vorsicherung ein und schaltet zu. 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; am Display heißt das Feld „Startmodus“. Ab Werk ist der Tasterstart eingestellt; bei der Inbetriebnahme stellt die Elektrofachkraft den Automatikstart ein, es sei denn, die Anlage wird über Taster, einen rastenden Schalter oder ein Energiemanagementsystem geschaltet (Abschnitt 14.2). Alle übrigen Parameter bleiben dem ESO-Service vorbehalten, ausgenommen Datum und Uhrzeit (Abschnitt 14.2) und, im Verbund, Systemmodus, Modulanzahl und Geräteadressen (Abschnitt 11.3).

Automatikstart (am Display „Automatischer Start“, bei der Inbetriebnahme einzustellen): 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. Wurde die Anlage so von Hand gestoppt, startet sie über die Schaltfläche „Parameter speichern“ auf der Modulseite wieder. Das ist der Regelfall für Betriebe ohne übergeordnete Steuerung.

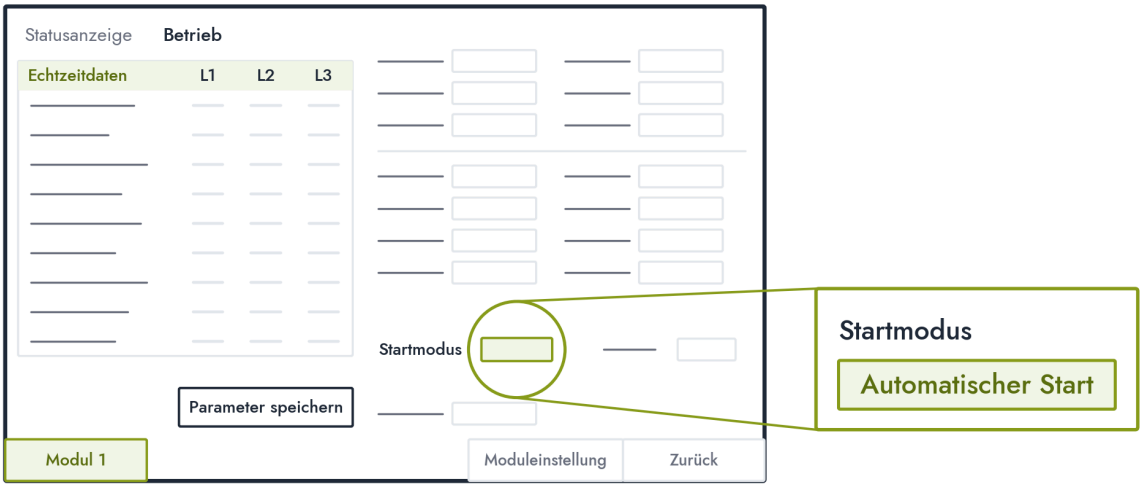
Tasterstart (am Display „Start per Taste“, Auslieferungszustand): Die Anlage startet über einen externen Schließer an DI1 und stoppt über einen Öffner an DI2 (jeweils gegen COM–); alternativ ein rastender Schalter, über dessen Schließer DI1 und DI2 gemeinsam auf COM– liegen;

geschlossen bedeutet Betrieb. So schaltet ein Energiemanagement- oder Leitsystem die Anlage zu und ab und kann ihre Wirkung gegen denselben Lastfall dokumentieren (Abschnitt 20). Nach dem Zuschalten und nach Spannungswiederkehr startet die Anlage erst mit dem nächsten Startsignal beziehungsweise bei geschlossenem Dauerkontakt.

Kommunikationsstart (am Display „Kommunikationsstart“): Start und Stopp erfolgen über die Anzeigeeinheit - für Betriebe, die die Anlage bewusst von Hand freigeben wollen.

14.2 Startart, Datum und Uhrzeit einstellen

Startart, Datum und Uhrzeit werden am Display eingestellt; für den Tasterstart verdrahtet die Elektrofachkraft vorher die Steuerleitung. Eine spätere Umstellung der Startart kann auch der Betreiber vornehmen. Der Ablauf Schritt für Schritt:



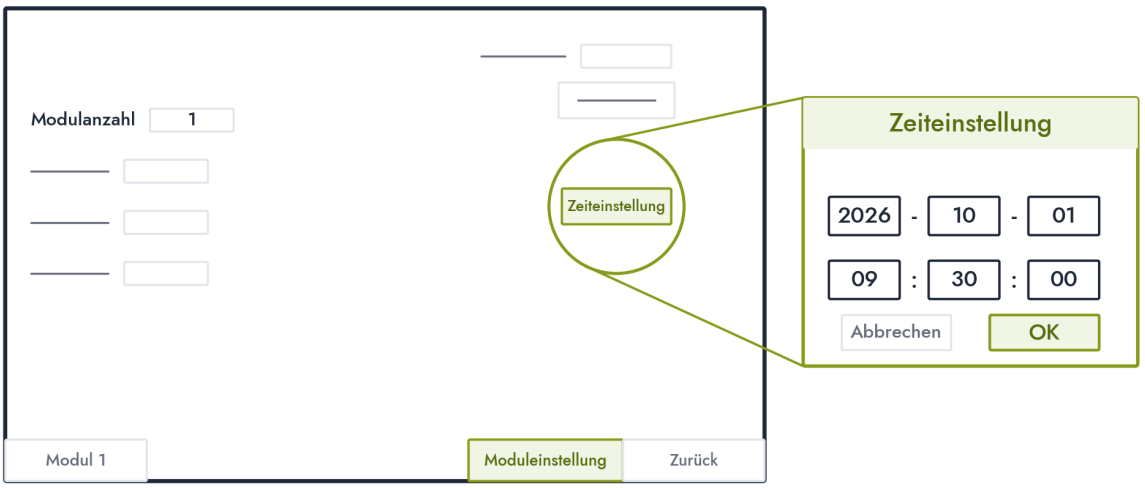
Die Modulseite der Anzeigeeinheit. Im Feld „Startmodus“ wird die Startart gewählt, „Parameter speichern“ übernimmt die Einstellung; die Statusanzeige oben links zeigt, ob die Anlage in Betrieb ist.

1. **Nur für den Tasterstart - Steuerleitung verdrahten (Elektrofachkraft, an der freigeschalteten Anlage):** die werkseitige Brücke zwischen DI2 und COM– entfernen, Start-Taster als Schließer auf DI1 und COM–, Stopp-Taster als Öffner auf DI2 und COM–; bei einem rastenden Schalter DI1 und DI2 gemeinsam über seinen Schließer auf COM– (geschlossen = Betrieb).
2. Auf dem Startbildschirm der Anzeigeeinheit die Schaltfläche „Modul- und Parametereinstellung“ antippen und die Ansicht des betreffenden Moduls wählen (Modul 1, Modul 2, ...).
3. Auf der Modulseite das Feld „Startmodus“ antippen; es öffnet sich die Auswahl der drei Startarten. Dort „Automatischer Start“ oder „Start per Taste“ wählen.

4. Die Schaltfläche „Parameter speichern“ antippen; die Einstellung gilt ab sofort und bleibt auch nach einem Netzausfall erhalten. Im Automatikstart nimmt die Anlage damit den Betrieb auf; die Statusanzeige zeigt „Betrieb“.
5. **Funktion prüfen:** Im Automatikstart ist die Betriebsmeldung aktiv und der Ausgangsstrom baut sich auf. Im Tasterstart Startsignal geben - die Betriebsmeldung wird aktiv und der Ausgangsstrom baut sich auf; Stoppsignal geben - die Anlage stoppt; danach erneut starten. Im Verbund die Einstellung für jedes Modul wiederholen.

Der Kommunikationsstart wird ebenso im Feld „Startmodus“ gesetzt.

Datum und Uhrzeit: Unten auf der Modulseite „Moduleinstellung“ antippen, dort „Zeiteinstellung“ antippen; im Fenster beide Werte eintragen und mit „OK“ bestätigen. Die übrigen Felder der Seite bleiben unverändert. Angezeigt werden Datum und Uhrzeit unten rechts auf dem Startbildschirm.



Die Seite „Moduleinstellung“. „Zeiteinstellung“ öffnet das Fenster für Datum und Uhrzeit, „OK“ übernimmt die Eingabe; im Verbund wird hier auch die Modulanzahl eingetragen (Abschnitt 11.3).

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 Abschnitt 5, insbesondere die Entladezeit des Zwischenkreises von mindestens 5 Minuten.

15.1 Regelmäßige Sichtkontrolle

PRÜFPUNKT	SOLLZUSTAND
Display	plausible Werte, keine Störmeldung
Statusleuchten	„Power“ leuchtet, „Softw“ blinkt, „Hardw“ ist aus
Lüftungsöffnungen	frei von Staub, Fremdkörpern und abgestelltem Material
Luftstrom	am Austritt spürbar, Lüfter laufen
Freiräume	Mindestabstände nach Abschnitt 7.1 eingehalten
Gehäusetemperatur	handwarm; auffällige Erwärmung deutet auf ein Problem hin
Umgebungstemperatur	im zulässigen Bereich
Befestigung und Erdung	unbeschädigt und fest
IGBT-Temperaturen (Modulseite)	keine Übertemperaturmeldung

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 und Notfallmaßnahmen

16.1 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, ausgenommen die Startart (Abschnitt 14.2).

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 Laststrom außerhalb des Messbereichs	Montageort und Messbereich prüfen (Abschnitt 9.1); anschließend Service
Ströme werden mit null angezeigt	Integrator ohne Hilfsspannung, 5-A-Ausgänge nicht aufgelegt oder gesetzte Prüf-/Trennklemmen noch kurzgeschlossen	Netzteile, Versorgung des Integrators (±12 V DC an V+, COM, V–), den 5-A-Messkreis und gegebenenfalls die Kurzschlussbrücken der Prüf-/Trennklemmen prüfen
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 Schieflastanteile an? Unter 50 Prozent Auslastung weichen die Werte von den Kennwerten in Abschnitt 21 ab
Übertemperaturmeldung	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
Anlage läuft nach dem Zuschalten nicht an, das Display zeigt Messwerte	Startart steht noch auf Tasterstart (Auslieferungszustand) oder es fehlt das Startsignal; oder die Brücke zwischen DI2 und COM– fehlt, obwohl an DI2 nichts angeschlossen ist	Ist an DI1 und DI2 nichts angeschlossen, die Startart auf Automatikstart stellen (Abschnitt 14.2), sonst Startsignal geben; eine fehlende Brücke zwischen DI2 und COM– setzt die Elektrofachkraft an der freigeschalteten Anlage (Abschnitt 10)

Achtung · Grenze der Eigenleistung

Das Öffnen der Anlage, der Tausch von Baugruppen, Änderungen an den Einstellungen - ausgenommen Startart, Datum und Uhrzeit (Abschnitt 14.2) und, im Verbund, Systemmodus, Modulanzahl und Geräteadressen (Abschnitt 11.3) - und jeder Reparaturversuch durch Elektrofachkraft oder Betreiber sind unzulässig und führen zum Verlust der Gewährleistung. Bei jeder Störmeldung ist der Service einzuschalten.

16.2 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 nur bei abgeklemmter Anlage (Abschnitt 8.2)
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.
- Schutzleiter zuletzt trennen.

Die Außerbetriebnahme führt eine Elektrofachkraft aus; es gelten die Sicherheitshinweise aus Abschnitt 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 Schieflast nicht mehr durch das eigene Netz transportiert werden - um bis zu 15 Prozent des Jahresverbrauchs. Die Angabe ist bewusst konservativ; einzelne Referenzbetriebe liegen darüber (Abschnitt 18.1). 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
Leistungsfaktoroptimierung	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 Schieflast entfallen. Drehstrommotoren arbeiten näher an ihrem Auslegungspunkt.
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 φ 0,90 cos φ 0,80 cos φ 0,70	+ 0,5 % + 1,1 % + 2,1 %	+ 1,2 % + 2,8 % + 5,2 %
Oberschwingungen	THDi 30 % THDi 50 % THDi 80 %	+ 0,2 % + 0,5 % + 1,3 %	+ 0,5 % + 1,3 % + 3,2 %
Schieflast	2,5 % Spannungs-unsymmetrie	+ 1,1 %	+ 1,1 %
Spannungslage	dauerhaft 90 % der Nennspannung	nicht angesetzt	nicht angesetzt
Störimpulse	beliebig häufig	0 %	0 %
GERECHNET	Beispiel: Verschiebungsfaktor 0,65, 40 % Verzerrung und 2,5 % Schieflast ergeben λ = 0,60 und damit den Verlustfaktor 2,75 - 8,7 % aus dem Strom plus 1,1 % aus der Schieflast, 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 Schieflast wirkt im Motor statt im Kabel und steht deshalb getrennt. Einen Pauschalwert für jeden Betrieb gibt es nicht; die Höhe ergibt sich aus den Stromdaten des Betriebs und branchenspezifischen Vergleichswerten. Die vollständige Herleitung mit allen Quellen steht im Whitepaper „Verluste im Unternehmensnetz".

19. Wirkungsnachweis

Die Wirkung der Anlage ist messbar - auf drei Wegen. Den belastbaren Nachweis liefert das Display; Rechnungs- und Lastgangvergleich sind die Maßnahmen, mit denen sich das Ergebnis über die Zeit dokumentieren lässt.

VERFAHREN	AUSSAGEKRAFT	AUFWAND
Vergleich Netz- und Lastseite am Display	Der belastbare Nachweis: Netz- und Lastseite sind im laufenden Betrieb unmittelbar vergleichbar	gering
Rechnungsvergleich vor und nach Inbetriebnahme	Dokumentiert das Ergebnis über die Zeit: zwölf Monate davor gegen zwölf Monate danach, bereinigt um Preisänderungen sowie nachweisliche Änderungen von Produktionsverhalten und Maschinenpark; Grundlage der Einsparungsgarantie nach Ziffer 13 der AGB	gering, zeitversetzt
Auswertung der Lastgangdaten (kW-Viertelstundenwerte)	Dokumentiert den Wirkarbeitsbezug über vergleichbare Zeiträume, unabhängig von Preisbestandteilen; setzt Viertelstundenwerte des Netzbetreibers oder eines Energiemanagementsystems voraus	gering, zeitversetzt

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

DIMENSION	SEITE	VERWENDUNG
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 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 muss die Startart auf Tasterstart stehen (Abschnitt 14.2)

Der dritte Weg ergänzt die Dokumentation im Energiemanagement: Kann das übergeordnete System die Anlage gezielt zu- und abschalten, lässt sich ihre Wirkung im laufenden Betrieb gegen denselben Lastfall messen und als Energiekennzahl führen.

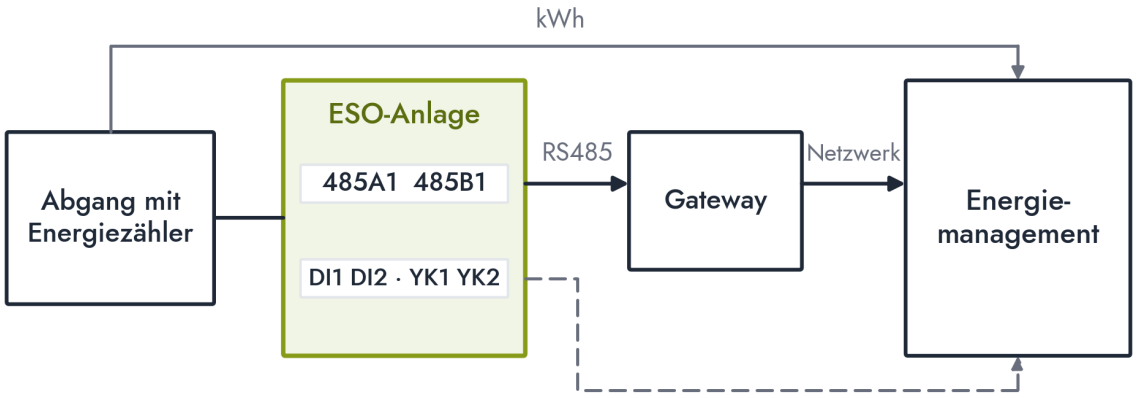
20.2 Datenbus und Gateway

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, Abschnitt 8). Der Kanal nutzt dieselbe Modbus-Registerliste wie Kanal 2; gelesen werden die Register nach Abschnitt 20.5.

In der Praxis heißt das: Die Elektrofachkraft legt eine zweiadrige, geschirmte Datenleitung vom Energiemanagementsystem zur Anschlussseite der Anlage und klemmt sie auf 485A1 und 485B1. Am Energiemanagementsystem werden die Kommunikationsparameter unten eingestellt; die Registerliste nach Abschnitt 20.5 ordnet den Messwerten die Adressen zu. Soll das System die Anlage zusätzlich ein- und ausschalten, kommen die Steuerleitungen anstelle der werkseitigen Brücke zwischen DI2 und COM– auf DI1, DI2 und COM–; die Startart muss dafür auf Tasterstart stehen (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 ab Werk 1; wird sie im Verbund am DIP-Schalter angepasst, ist der neue Wert 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 die Elektrofachkraft 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 stellt die Elektrofachkraft des Kunden bei und versorgt es; 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.

20.3 Datenspeicher

Der Zugang erfolgt über die Anzeigeeinheit; die Ansichten - Startbildschirm, Spektrumanalyse, Ereignisprotokoll und Modulseite - sind in Abschnitt 13.1 beschrieben.

Im Gerät gespeichert werden 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.

20.4 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, zur Dokumentation der Wirkung

20.5 Modbus-Registerliste

Über die RS485-Schnittstelle stellt die Anlage die folgenden Messwerte zum Auslesen bereit (Funktionscode 03, Adressen hexadezimal; Kommunikationsparameter in Abschnitt 20.2). Einstellregister sind dem ESO-Service vorbehalten.

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.

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. Grundlage sind die Unterlagen der Baugruppen, die Prüfberichte der Prüfstelle und die Werksmessung.

21.1 Funktionen

Leistungsfaktoroptimierung	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
Schieflastkompensation	Symmetrierung der drei Außenleiter
Neutralleiterentlastung	Reduzierung des Neutralleiterstroms in Vierleiternetzen
Datenerfassung	Fortlaufende Messung und Anzeige von Spannungen, Strömen, Leistungsfaktoren, THD-Werten und Unsymmetriegraden, getrennt für Netz- und Lastseite, mit Spektrumanalyse und Ereignisspeicher
Schutzfunktionen	Überstrom, Überspannung, Übertemperatur, Phasenfolgefehler, Phasenausfall

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.

AUSLEGUNG	A	B	C	D	E
Bemessungsstrom je Außenleiter	44 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 mm²	25 mm²	35 mm²	50 mm²	75 mm²
Zuleitung N	25 mm²	35 mm²	50 mm²	70 mm²	95 mm²
Zuleitung PE	16 mm²	16 mm²	16 mm²	25 mm²	35 mm²
Erforderlicher Luftvolumenstrom	200 m³/h	350 m³/h	500 m³/h	800 m³/h	800 m³/h

AUSLEGUNG	A	B	C	D	E
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. Der Bemessungsstrom ist aus der Bemessungsleistung bei 400 V gerechnet und auf ganze Ampere aufgerundet.

21.3 Elektrische Kennwerte

Bemessungsstrom	je Auslegung nach Abschnitt 21.2 - der von der Anlage eingespeiste Korrekturstrom; er begrenzt nicht den Laststrom der parallel angeschlossenen Kundenanlage, ein höherer Korrekturbedarf wird über weitere Einheiten gedeckt (Abschnitt 11)
Netzspannung	400 V ± 20 %
Netzfrequenz	50 Hz ± 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	≤ 50 µs
Ausregelung Leistungsfaktor und Schieflast	≤ 5 ms
Ausregelung Oberschwingungen	innerhalb weniger Netzperioden
Verlustleistung	0,1 kW in Bereitschaft, unter Volllast je Auslegung, siehe Abschnitt 21.2 (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	weitere Einheiten: je Verbund höchstens vier, am selben Messpunkt höchstens zwei Verbünde; in getrennten Messbereichen ohne Begrenzung (Abschnitt 11)

21.4 Kompensationswirkung

Leistungsfaktor nach Kompensation	≥ 0,99
Regelbereich Leistungsfaktor	–1 bis +1
THDi nach Kompensation	≤ 5 %
Unsymmetriegrad nach Kompensation	≤ 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 21.2
Gewicht	je Auslegung, siehe Abschnitt 21.2
Gehäuse	pulverbeschichtetes Stahlblech 2 mm, RAL 7035 Lichtgrau
Schutzart	IP30
Kühlung	Zwangsbelüftung, drehzahlgeregelte Lüfter
Umgebungstemperatur	–20 °C bis +50 °C, Dauervolllast 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 21.2

Freiraum	Lufteintritt mind. 100 mm, Luftaustritt mind. 200 mm frei
Entladezeit des Zwischenkreises	mindestens 5 Minuten vor Arbeiten an den Anschlüssen

21.6 Messung, Anzeige und Schnittstellen

Strommessung	Rogowski-Spulensatz: 3 Spulen (L1 rot, L2 grün, L3 gelb), Übersetzung 1000 A : 5 A über Integrator (Versorgung ±12 V DC über zwei mitgelieferte Netzteile in Reihe, bauseits 230 V AC), Innendurchmesser 100 mm, Messbereich 5 bis 120 %, Genauigkeit ≤ 1 %, Antwortzeit (Einschwingen des Messwerts) ≤ 20 ms; zulässige Temperatur am Montageort –25 °C bis +50 °C
Startart	Ab Werk Tasterstart; bei der Inbetriebnahme wird am Display der Automatikstart eingestellt, für externe Kontakte oder ein Energiemanagementsystem bleibt der Tasterstart (Abschnitt 14.2)
Anzeige	Touch-Display
Kommunikation	RS485, Modbus RTU, 9600 Bd, 8N1
Digitaleingänge	Start und Stopp; ab Werk DI2 mit COM– gebrückt
Relaisausgänge	Betrieb und Störung, 24 V DC
Schutzfunktionen	Überstrom, Überspannung, Übertemperatur, Phasenfolgefehler, Phasenausfall

21.7 Anschluss

LEITER	QUERSCHNITT
L1, L2, L3	siehe Abschnitt 21.2
N	siehe Abschnitt 21.2 (eine Stufe größer als die Außenleiter)
PE	siehe Abschnitt 21.2
Vorsicherung	je Auslegung, siehe Abschnitt 21.2

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 (VDE 0839-6-2):2019-11 · DIN EN IEC 61000-6-4 (VDE 0839-6-4):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

Stand der Erklärung	09.2026
Produktbezeichnung	Elektronische Strom- und Netzoptimierungsanlage ESO
Seriennummer	siehe Typenschild
Funktion	Halbleitergesteuerte, stufenlose Leistungsfaktorkorrektur sowie Kompensation von Oberschwingungen und Schieflast im Niederspannungsnetz
Bemessungsdaten	400 V, 3P + N + PE, 50 Hz; Bemessungsstrom 44 A, 73 A, 109 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 0100-430	Schutz bei Überstrom, Grundlage der Leitungsauslegung
DIN VDE 0100-530, DIN EN 62423	Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, Auswahl des allstromsensitiven Typs B
DIN VDE 0100-534, DIN EN 62305	Überspannungs- und Blitzschutz, bei Bedarf gesondert vorzusehen
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 Netzrückwirkungen 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 ist bei der Anmeldung mit dem Netzbetreiber zu klären.

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, das ausgefüllte Installations- und Abnahmeprotokoll sowie der bestimmungsgemäße Betrieb innerhalb der genannten Einsatzgrenzen.

24.2 Ausschlussgründe

- Öffnen der Anlage oder Eingriffe in die Elektronik.
- Änderungen an den werkseitigen Einstellungen durch Dritte, ausgenommen Startart, Datum und Uhrzeit (Abschnitt 14.2) und, im Verbund, Systemmodus, Modulanzahl und Geräteadressen (Abschnitt 11.3).
- Betrieb außerhalb der zulässigen Umgebungsbedingungen, insbesondere bei behinderter Kühlluft.
- Verwendung von Vorsicherungen einer anderen Betriebsklasse als gR oder aR oder mit einem Bemessungsstrom unter dem für die Auslegung angegebenen Wert (Abschnitt 21.2).
- Isolations- oder Spannungsprüfung bei angeschlossener Anlage.
- Betrieb parallel zu einer verdrosselten Kompensationsanlage im selben Netz.
- Betrieb an einem Inselnetz, an Ersatzstromaggregaten oder an Prüfständen.

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.

24.4 Kontakt

Hersteller	ESO Elektronische Stromoptimierung, Inh. 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

ESO®
Elektronische Stromoptimierung

Herausgeber

ESO Elektronische Stromoptimierung
Inhaber Michael Grün
Merianstraße 49 · 76646 Bruchsal
Telefon +49 7251 3929172
info@eso-anlage.de · eso-anlage.de

Hinweis zum Gehäuse

Die gezeigten Produktbilder sind Musterbeispiele. Maße und Aussehen der Anlage können je nach Kundenanforderung und Leistungsgröße abweichen. Bei kleineren Leistungsgrößen oder beengten Platzverhältnissen beim Endkunden kommen auch andere, größere oder kleinere Gehäuse zum Einsatz.

© 2026 ESO Elektronische Stromoptimierung
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung.
Stand 09/2026 · Technische Änderungen vorbehalten.