



Programmieranleitung

ModBus & SCPI

Für USB, GPIB, Ethernet
und AnyBus-Module

Elektro-Automatik



**Achtung! Dieses Dokument gilt
nur für die in Abschnitt 1.1.2
aufgelisteten Geräteserien und
nur ab der dort aufgeführten
Firmwareversion!**

Doc ID: PGMBDE
Revision: 18
Stand: 29.07.2019

INHALT

1. ALLGEMEINES	5
1.1 Zu diesem Dokument	5
1.1.1 Urheberrecht (Copyright)	5
1.1.2 Geltungsbereich	5
1.2 Symbolerläuterungen	5
1.3 Gewährleistung und Garantie	5
1.4 Haftungsbeschränkungen	6
2. ANYBUS-MODULE	7
2.1 Übersicht	7
2.2 Anybus-Unterstützung	8
2.3 Bevor Sie beginnen	8
2.4 Installation eines Anybus-Moduls	8
2.5 Netzwerk in Linientopologie	9
2.6 Netzwerkzugriff über HTTP	9
2.7 Netzwerkzugriff über TCP	9
3. EINFÜHRUNG	10
3.1 Kommunikation allgemein	10
3.2 Bedienorte	10
3.3 Timing und Befehlsausführungszeit	10
3.3.1 Ausführungszeiten beim Schreiben	10
3.3.2 Antwortzeit beim Lesen	11
3.3.3 Befehlsintervall	12
3.4 Übersicht der Kommunikationsprotokolle	13
3.5 Besonderheiten der Fernsteuerung	14
3.6 Fragmentierte Nachrichten bei serieller Übertragung	14
3.7 Verbindungs-Timeout	14
3.8 Effektive Auflösung beim Programmieren	14
3.9 Minimale Steigung (Funktionsgenerator)	15
4. DAS MODBUS-PROTOKOLL	16
4.1 Allgemeines zum ModBus RTU-Protokoll	16
4.2 Allgemeines zum ModBus TCP-Protokoll	16
4.3 Format der Sollwerte und Auflösung	16
4.4 Umrechnung der Soll- und Istwerte	16
4.5 Kommunikation mit dem Gerät über ein AnyBus-Modul	17
4.5.1 Ethernet	17
4.5.2 Profinet / Profibus	17
4.5.3 CANopen	17
4.5.4 CAN	17
4.5.5 ModBus TCP	17
4.5.6 EtherCAT	17
4.6 Kommunikation mit dem Gerät über den USB-Port	17
4.6.1 USB-Treiberinstallation	17
4.6.2 Erste Schritte	17
4.7 Über die Register-Listen	18
4.7.1 Spalten "Funktion"	18
4.7.2 Spalte „Datentyp“	18
4.7.3 Spalte „Zugriff“	18
4.7.4 Spalte „Anzahl Register“	18
4.7.5 Spalte „Daten“	18
4.7.6 Spalten „Profibus/Profinet Slot & Index“	18
4.7.7 Spalte „EtherCAT PDO/SDO?“	18

4.8	ModBus RTU im Detail	19
4.8.1	Telegrammtypen	19
4.8.2	Generelles	19
4.8.3	Funktionen	19
4.8.4	Sendetelegramm (Schreiben)	20
4.8.5	Anfragetelegramm	20
4.8.6	Antworttelegramm (Lesen)	21
4.8.7	Die ModBus-Checksumme	21
4.8.8	Kommunikationsfehler	22
4.8.9	Beispiele für ModBus RTU-Telegramme	23
4.9	ModBus TCP im Detail	25
4.9.1	Beispiel für ein ModBus TCP-Telegramm	25
4.10	Erläuterungen zu bestimmten Registern	26
4.10.1	Register 171	26
4.10.2	Register 411	26
4.10.3	Register 500-503 (Sollwerte)	26
4.10.4	Register 505 (Zustand)	26
4.10.5	Register 650 - 662 (Konfiguration Master-Slave-Betrieb)	27
4.10.6	Register 850 - 6695 (Funktionsgenerator)	27
4.10.7	Register 850 - 1692 (Sequenzgenerator)	30
4.10.8	Register 850 - 854 und 900 - 908 (Funktionsgenerator EL 3000 B)	30
4.10.9	Register 9000 - 9009 (Einstellgrenzen)	31
4.10.10	Register 10007 - 10900	31
4.10.11	Register ab 11000 (MPP-Tracking)	31
4.10.12	Register ab 11500 (Batterietest)	32
4.10.13	Register ab 12000 (PV-Simulation nach DIN EN 50530)	33

5. SCPI-PROTOKOLL 35

5.1	Format der Soll- und Istwerte	35
5.2	Syntax	35
5.2.1	Befehlsverkettung	35
5.2.2	Groß-/Kleinschreibung	36
5.2.3	Langform und Kurzform	36
5.2.4	Abschlußzeichen	36
5.2.5	Fehlermeldungen	36
5.3	Beispiele zum Einstieg	37
5.3.1	Ping	37
5.3.2	Fernsteuerung aktivieren oder beenden	37
5.4	Befehlsgruppen	38
5.4.1	Standard-IEEE-Befehle	38
5.4.2	Statusregister	39
5.4.3	Sollwertbefehle	42
5.4.4	Meßbefehle	45
5.4.5	Zustandsbefehle	46
5.4.6	Befehle für Schutzfunktionen	48
5.4.7	Befehle für Überwachungsfunktionen	50
5.4.8	Befehle für Einstellgrenzen	51
5.4.9	Befehle für den Master-Slave-Modus	52
5.4.10	Allgemeine Abfragebefehle	53
5.4.11	Befehle zur Konfiguration des Gerätes	54
5.4.12	Befehle zur Fernbedienung des Funktionsgenerators	61
5.4.13	Befehle zur Fernbedienung des Sequenzgenerators	67
5.4.14	Befehle zur Fernbedienung des MPP-Tracking	69
5.4.15	Befehle für das Alarmmanagement	71
5.4.16	Befehle für Sollwert-Sätze (Recall)	72
5.4.17	Befehle für die erweiterte PV-Simulation	74
5.4.18	Befehle für die Batterietest-Funktion	80

5.5	Beispielanwendungen	83
5.5.1	Master-Slave über SCPI konfigurieren und steuern.....	83
5.5.2	Programmier-Beispiele zum Funktionsgenerator.....	84
5.5.3	Programmier-Beispiele zur PV-Simulation (DIN EN 50530)	89
5.5.4	Programmier-Beispiele für MPP-Tracking.....	93
6.	PROFIBUS & PROFINET	96
6.1	Allgemeines.....	96
6.2	Vorbereitung	96
6.3	Slot-Konfiguration für Profibus	96
6.4	Slot-Konfiguration für Profinet	97
6.5	Zyklische Kommunikation über Profibus/Profinet.....	97
6.6	Azyklische Kommunikation über Profibus/Profinet.....	98
6.7	Beispiele für azyklische Kommunikation	99
6.7.1	Fernsteuerung aktivieren/deaktivieren	99
6.7.2	Einen Sollwert setzen.....	99
6.7.3	Etwas auslesen	100
6.8	Interpretation von Eingangsdaten	100
7.	CANOPEN	101
7.1	Vorbereitung	101
7.2	Anwendung der Benutzerobjekte (Indexe).....	101
7.2.1	Umrechnung Index -> Register	101
7.3	Konkrete Beispiele	101
7.4	Besonderheiten	102
7.4.1	Bei Verwendung des Arbiträrgenerators	102
7.5	Fehlercodes.....	102
8.	CAN	103
8.1	Vorbereitung	103
8.2	Einführung.....	103
8.3	Telegrammaufbau.....	103
8.3.1	Normales Schreiben.....	103
8.3.2	Zyklisches Schreiben	104
8.3.3	Abfragen.....	105
8.3.4	Normales Lesen	105
8.3.5	Zyklisches Lesen.....	106
8.3.6	Beispiele.....	108
9.	ETHERCAT	109
9.1	Einleitung.....	109
9.2	Einbindung des Gerätes in TwinCAT.....	109
9.3	Datenobjekte	109
9.3.1	PDO objects	110
9.3.2	SDOs.....	110
9.4	Verwendung der Datenobjekte	110
A.	ANHANG	111
A1.	Geräteklassen	111

1. Allgemeines

1.1 Zu diesem Dokument

1.1.1 Urheberrecht (Copyright)

Nachdruck, Vervielfältigung oder auszugsweise, zweckentfremdete Verwendung dieser Bedienungsanleitung sind nicht gestattet und können bei Nichtbeachtung rechtliche Schritte nach sich ziehen.

1.1.2 Geltungsbereich

Diese Programmieranleitung gilt für Geräte der nachfolgend aufgelisteten Serien, inklusive deren Abvarianten. Die Zugehörigkeit wird in erster Linie von der Firmwareversion der Kommunikationseinheit (KE) bestimmt. Ältere KE-Firmware sind daher eventuell nur zum Teil mit dieser Anleitung kompatibel. **Es wird empfohlen, sich das Serienkürzel aus der Tabelle zu merken, weil es in dieser Anleitung weiter hinten als Referenz dient.**

Serie	Firmware ab	Kürzel
EL 3000 B	KE: 2.02	EL3
EL 9000 B 3U - 24U / HP / 2Q	KE: 2.27 (Standard) bzw. KE: 2.10 (GPIB)	ELR9
EL 9000 B Slave	KE: 2.27	ELR9
EL 9000 DT / EL 9000 T	KE: 3.06	DT
ELR/ELM 5000	HMI: 2.03	ELR5
ELR 9000 / ELR 9000 HP	KE: 2.25 (Standard) bzw. KE: 2.10 (GPIB)	ELR9
ELR 10000	KE: 2.01	ELR9
PS 5000	KE: 2.02	PS5
PSI 5000	KE: 3.06	PSI5
PS 9000 1U/2U/3U (Serien ab 2014)	KE: 3.06	PS9
PS 9000 T	KE: 3.06	PST
PSB 9000	KE: 2.27	PSB
PSB 10000	KE: 2.01	PSB
PSBE 9000	KE: 2.27	PSBE
PSE 9000	KE: 2.27	PSE
PSI 9000 2U / 3U / WR / SLAVE (Serien ab 2014)	KE: 2.27 (Standard) bzw. KE: 2.10 (GPIB)	PSI9
PSI 9000 15U / 24U	KE: 2.27	PSI9
PSI 9000 DT	KE: 3.06	DT
PSI 9000 T	KE: 3.06	PSIT
PSI 10000	KE: 2.01	PSI9
PS 3000 C	KE: 2.02	PS3

1.2 Symbolerläuterungen

Warn- und Sicherheitshinweise, sowie allgemeine Hinweise in diesem Dokument sind stets in einer umrandeten Box und mit einem Symbol versehen:



Hinweissymbol für Hinweise, die auf wichtige bzw. unerlässliche Gegebenheiten aufmerksam machen.



Allgemeiner Hinweis

1.3 Gewährleistung und Garantie

Der Hersteller garantiert die Funktionsfähigkeit der angewandten Verfahrenstechnik und die ausgewiesenen Leistungsparameter. Die Gewährleistungszeit beginnt mit der mangelfreien Übergabe.

Die Garantiebestimmungen sind den allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB) des Herstellers zu entnehmen.

1.4 Haftungsbeschränkungen

Alle Angaben und Hinweise in dieser Anleitung wurden unter Berücksichtigung geltender Normen und Vorschriften, des Stands der Technik sowie unserer langjährigen Erkenntnisse und Erfahrungen zusammengestellt. Der Hersteller übernimmt keine Haftung für Schäden aufgrund:




- Nicht bestimmungsgemäßer Verwendung
- Einsatz von nicht ausgebildetem und nicht unterwiesenem Personal
- Eigenmächtiger Umbauten von Geräten
- Technischer Veränderungen von Geräten
- Verwendung nicht zugelassener Ersatzteile

2. Anybus-Module

2.1 Übersicht

Modul	Funktion / Anschlüsse	LED-Anzeigen		Abbildung
IF-AB-CAN	CAN 2.0B, 1x Sub-D 9polig männlich	RUN	Zeigt Datenverkehr an (grün, Flackern)	
		ERR	Leuchtet (grün), solange ein Fehler anliegt.	
IF-AB-CANO	CANopen, 1x Sub-D 9polig männlich	RUN	Zeigt den Status mit nach DR303-3 (CiA) definierten Blinksequenzen an	
		ERR	Zeigt den Status mit nach DR303-3 (CiA) definierten Blinksequenzen an	
IF-AB-RS232	RS 232, 1x Sub-D 9polig, männlich, für Nullmodemkabel	PWR	Modul ist spannungsversorgt	
IF-AB-PBUS	Profibus DP-V1 Slave, 1x Sub-D 9polig, weiblich	OP	Betriebszustand: an (grün) = Datenverkehr blinkend (grün) = Klar blinkend (rot, 1mal) = Parameterfehler blinkend (rot, 2mal) = Profibusfehler	
		ST	Status aus = nicht initialisiert an (grün) = initialisiert blinkend (grün) = Erweiterte Diagnose an (rot) = Ausnahmefehler	
IF-AB-ETH1P	Ethernet, 1x RJ45	NS	Netzwerkstatus: blinkend (grün) = Standard, kann ignoriert werden an (rot) = Doppelte IP, fataler Fehler	
IF-AB-ETH2P	Ethernet, 2x RJ45	MS	Modulstatus: blinkend (grün) = Standard, kann ignoriert werden an (rot) = Ausnahmefehler blinkend (rot) = Behebbarer Fehler	
		LINK	Verbindungsstatus: an (grün) = Verbindung hergestellt blinkend (grün) = Datenverkehr	
IF-AB-PNET1P	ProfiNET IO, 1x RJ45	NS	Netzwerkstatus: an (grün) = online mit Controller in RUN blinkend (grün) = Controller in STOP	
		MS	Modulstatus: an (grün) = alles OK an (rot) = Ausnahmefehler blinkend (rot, 1mal) = Konfigurationsfehler blinkend (rot, 2mal) = IP-Adresse nicht gesetzt blinkend (rot, 3mal) = Stationsname nicht gesetzt blinkend (rot, 4mal) = Interner Fehler	
IF-AB-PNET2P	ProfiNET IO, 2x RJ45	LINK	Verbindungsstatus: an (grün) = Verbindung hergestellt blinkend (grün) = Datenverkehr	

ModBus & SCPI

Modul	Funktion / Anschlüsse	LED-Anzeigen		Abbildung
IF-AB-ECT	EtherCAT Slave, 2x RJ45	RUN	Zeigt den Status mit nach DR303-3 (CiA) definierten Blinksequenzen an	
		ERR	Zeigt den Status mit nach DR303-3 (CiA) definierten Blinksequenzen an	
IF-AB-MBUS1P	ModBus TCP, 1x RJ45	NS	Netzwerkstatus: an (grün) = Modul aktiv blinkend (grün) = Modul wartet auf Verbindung an (rot) = Doppelte IP oder fataler Fehler blinkend (rot) = Prozess-Timeout	
IF-AB-MBUS2P	ModBus TCP, 2x RJ45	MS	Modulstatus: an (grün) = alles OK an (rot) = Primärer Fehler blinkend (rot) = Sekundärer Fehler	
		LINK	Verbindungsstatus: an (grün) = Verbindung hergestellt blinkend (grün) = Datenverkehr	

2.2 Anybus-Unterstützung

Folgende Geräteserien unterstützen die in 2.1 genannten Anybus-Module (Stand: 29.07.2019):

- ELR 9000 / ELR 9000 HP / ELR 10000
- EL 9000 B / EL 9000 B HP / EL 9000 B 2Q
- PSE 9000
- PSI 9000 2U - 24U
- PSI 10000
- PSB 9000 / PSBE 9000
- PSB 10000



Falls die Unterstützung eines bestimmten Moduls nach der Installation zunächst nicht gegeben ist, kann es erforderlich sein, die Firmware „KE“ des Gerätes zu aktualisieren.

2.3 Bevor Sie beginnen

Bevor Sie das erste Mal ein Gerät über eins dieser Schnittstellenmodule in ein bereits bestehendes System einbinden oder planen, ein neues aufzubauen, nehmen Sie Folgendes zur Kenntnis:

- Alle Module, jedoch besonders die Ethernetvarianten, die eine Webseite bereitstellen, haben eine gewisse Hochlaufzeit nach dem Einschalten des Gerätes und bevor Sie bereit sind, kontaktiert zu werden. Üblicherweise ist das Modul bereit, wenn das Gerät fertig gestartet ist
- Die Betriebsbereitschaft wird von den Modulen möglicherweise durch die an den Modulen befindlichen LEDs schon vorher angezeigt, aber wenn man versuchen würde, die Webseite über die IP-Adresse aufzurufen, bevor das Modul tatsächlich bereit ist, kann ein Timeout auftreten oder die Webseite wird unvollständig geladen

2.4 Installation eines Anybus-Moduls

Die Installation ist im Handbuch des Gerätes beschrieben, in dem das Modul installiert werden soll, ebenso das eventuell nötige Setup. Für die weitere Installation und Verbindung mit Feldbussen und Netzwerken lesen Sie bitte in der einschlägigen Dokumentation zu diesen nach.



Das CANopen-Modul IF-AB-CANO bietet keinen Busabschlußwiderstand. Daher muß die Bustriminierung hier am Kabel und durch den Anwender erfolgen.

2.5 Netzwerk in Linientopologie

Die Ethernet-basierten Module für Standard-LAN, ModBus TCP und Profinet/IO gibt es auch als Ausführung mit zwei Ports. Diese ermöglichen eine linienförmige Vernetzung mehrerer Geräte untereinander und sogar den Aufbau eines Rings (DLR, device level ring) für erweiterten Schutz gegen Leitungsunterbrechungen. Externe Switches können entfallen und die sonst erforderlichen, vielen langen Netzwerkleitungen bei sternförmiger Topologie werden auf ein Minimum reduziert.

Das EtherCAT-Modul dagegen hat standardmäßig zwei Ports, weil das EtherCAT-System ein ringförmiges Netzwerk erfordert. Auch wenn das Modul Ethernet-basiert arbeitet, kann es nicht als LAN-Port betrachtet und wie eins der normalen Ethernetmodule verwendet werden.

2.6 Netzwerkzugriff über HTTP

Die Ethernet-basierten Module, wie für Standard-LAN, ModBus TCP oder Profinet, sowie Geräte mit eingebautem LAN-Port bieten eine über einen Browser zugängliche **Webseite**. Um diese aufzurufen, muß im Browser (Firefox, Chrome, Safari) lediglich die IP-Adresse des Gerätes oder dessen Hostname eingegeben werden. Ein Aufruf über den Hostnamen (Standardname: Client) ist nur möglich, wenn sich im Netzwerk ein DNS befindet bzw. auf dem PC einer läuft und Domäne/Hostname bereits registriert sind.

Die Standard-IP bei Auslieferung ist **198.168.0.2**. Die Netzwerkparameter können Sie jederzeit im Einstellmenü (wo vorhanden) des Gerätes verändern oder auch auf Standard-Werte zurücksetzen.

Die aktuelle IP-Adresse ist bei Geräten, die ein Einstellmenü haben, meist auch in einer Übersicht zusammen mit anderen netzwerkrelevanten Informationen wie Gateway, DNS, Subnetzmaske oder MAC-Adresse zu finden.

Nach Eingabe der IP-Adresse oder des Hostnamen öffnet sich eine Webseite, über die das Gerät komplett fernsteuerbar ist, jedoch nur mit SCPI-Befehlen die per Hand eingetippt werden müssen. Daher eignet sich die Webseite in erster Linie zu einfachen Testzwecken. Falls Sie hiermit das Gerät fernsteuern oder zumindest überwachen wollen, lesen Sie bitte im Abschnitt „5. SCPI-Protokoll“ auf Seite 35 weiter.

Über die Webseite, genauer über die Unterseite CONFIGURATION, können auch netzwerkspezifische Parameter konfiguriert und an das Gerät übergeben werden, sofern es vorher mit SYST:LOCK ON in Fernsteuerung versetzt wurde.

2.7 Netzwerkzugriff über TCP

Alle Anybus-Netzwerkmodule und auch der bei einigen Gerätenserien (PSI 5000, PS 9000 ab 2014) fest eingebaute Ethernet/LAN-Anschluß können über den Standardport **5025** oder einen anderen (einstellbar, siehe Gerätemenü) mittels **ModBus RTU** oder **SCPI** angesprochen werden. Für ModBus TCP (wo unterstützt) ist der Port **502** reserviert.

Der Port und die anderen Netzwerkparameter sind teils im Menü am Gerät einstellbar (sofern Menü vorhanden, siehe jeweiliges Handbuch) bzw. können von außen über USB- oder Netzwerkzugriff, z. B. über die Webseite des Gerätes (siehe 2.6), konfiguriert werden.

Für den normalen Fernsteuerungsbetrieb des Gerätes über eine Ethernetschnittstelle ist TCP/IP-Zugriff als Sock-
ketverbindung (IP:Port) vorgesehen.



Die TCP-Verbindung kann durch ein Timeout vom Gerät automatisch getrennt werden, wenn eine bestimmte Zeitlang kein Datenverkehr stattfindet. Die Dauer des Timeouts ist einstellbar (Standard = 5 s). Durch eine zusätzlich aktivierbare Option namens „TCP keep-alive“ wird die gleichnamige TCP-Funktionalität aktiviert, die das Timeout unwirksam macht, sofern „TCP keep-alive“ im Netzwerk aktiv ist.

3. Einführung

3.1 Kommunikation allgemein

Nach der Anbindung des Gerätes über eine digitale Schnittstelle kann auf das Gerät zugegriffen werden. Dies kann auf verschiedene Art und Weise geschehen:

- Über eine vom Hersteller des Gerätes bereitgestellte Steuerungssoftware
- Über vom Hersteller angebotene LabView-VIs
- Über eine vom Anwender selbst erstellte Steuerungsapplikation
- Über andere Software, wie z. B. ein Terminalprogramm zum Versenden von Textnachrichten (SCPI)
- Über international standardisierte Software wie für CAN, CANopen, Profibus oder EtherCAT usw.

3.2 Bedienorte

Bedienorte sind die Positionen, von wo aus ein Gerät bedient wird. Grundsätzlich gibt es da zwei: am Gerät (manuelle Bedienung) und außerhalb (Fernsteuerung). Der Anwender kann beliebig zwischen den Bedienorten wechseln.

Folgende Bedienorte sind definiert:

Bedienort laut Anzeige	Erläuterung
-	Wird kein Bedienort im Statusfeld angezeigt, ist manuelle Bedienung aktiv und der Zugriff von der analogen bzw. digitalen Schnittstelle ist freigegeben.
Fern Analog, Fern USB	Fernsteuerung ist aktiv
Remote	Fernsteuerung ist aktiv (alle Schnittstellen, nur PS 5000 / PSI 5000)
Lokal / Local	Fernsteuerung ist gesperrt, Gerät kann nur manuell bedient werden

Bestimmte Geräteserien, jedoch nicht alle, bieten eine Möglichkeit, die Fernsteuerung über die Einstellung „**Fernsteuerung erlauben**“ (oder ähnlich, siehe Handbuch des Gerätes) komplett zu sperren. Im gesperrten Zustand ist meist in der Anzeige der Status „**Lokal**“ zu lesen. Die Aktivierung der Sperre kann dienlich sein, wenn normalerweise eine Software das Gerät ständig fernsteuert, man aber zwecks Einstellung oder auch im Notfall am Gerät hantieren muß, was bei Fernsteuerung sonst nicht möglich wäre.

Die Aktivierung des Zustandes „**Lokal**“ bewirkt folgendes:

- Falls Fernsteuerung über digitale Schnittstelle aktiv ist („**Fern Ethernet**“ usw.), wird die Fernsteuerung sofort beendet und kann später vom Anwender bzw. einer Software, sofern „**Lokal**“ nicht mehr aktiv ist, erneut übernommen werden.
- Falls Fernsteuerung über analoge Schnittstelle aktiv ist („**Fern Analog**“), wird die Fernsteuerung nur solange unterbrochen bis „**Lokal**“ wieder beendet, sprich die Fernsteuerung wieder erlaubt wird, denn der Pin „Remote“ an der Analogschnittstelle gibt weiterhin das Signal „Fernsteuerung = ein“ vor. Ausnahme: der Pegel von „Remote“ wird während der Phase „**Lokal**“ auf HIGH geändert oder der Stecker von der Analogschnittstelle entfernt.

3.3 Timing und Befehlsausführungszeit

Timing, also die Steuerung des zeitlichen Ablaufs zwischen zwei aufeinanderfolgenden, vom Anwender initiierten Telegrammen, wird nicht vom Gerät übernommen und obliegt daher dem Anwender.

Es gilt generell: das Gerät kann eintreffende Telegramme nicht so schnell verarbeiten, wie die Hardwareschnittstelle sie theoretisch übertragen könnte. Daher ist wichtig, zwischen zwei Telegrammen eine Mindestzeit zu warten, in der keine Kommunikation stattfindet. Dabei ist egal, welche Schnittstelle verwendet wird. Protokollatenverkehr, wie er zum Beispiel zwischen einem Profibus-Master und einem Profibus-Slave stattfindet, ist davon nicht betroffen, weil dieser vom Schnittstellenmodul selbst und nicht vom Gerät abgehandelt wird.

Es gilt außerdem:

- Anfragen an das Gerät, also Lesebefehle, sind schneller ausführbar und dürfen daher schneller aufeinanderfolgend an das Gerät gesendet werden
- Setzbefehle werden nicht direkt nach dem Empfang ausgeführt, sondern eine variierende Zeit später

3.3.1 Ausführungszeiten beim Schreiben

Aufgrund von unterschiedlichem Aufbau der Serien, unterschiedlichen Firmwares und auch unterschiedlich langen Durchlaufzeiten von Mikrocontrollern, welche die Geräte steuern und nebenbei die Kommunikation mit dem PC abarbeiten, können keinen definitiven Ausführungszeiten genannt werden. Das bedeutet auch, daß die Zeit, bis ein Sollwert, den Sie setzen möchten, am DC-Ausgang/Eingang anliegt, variabel ist. Ein durchschnittlicher Wert für die gegebene Situation, in der das Gerät eingesetzt wird, kann jedoch vom Anwender durch Messung selbst bestimmt werden.

3.3.2 Antwortenzeit beim Lesen

Beim Lesen, das heißt Abfragen von Informationen vom Gerät, antwortet das Gerät in der Regel sofort. Es gibt zwei Methoden der Kommunikation mit dem Gerät über einen Port:

1) Port öffnen -> Anfrage über den Port senden -> Antwort lesen -> Port schließen

2) Port öffnen -> Anfrage über den Port senden -> Antwort lesen -> Schreiben/Lesen x-mal wiederholen -> Port schließen

Nach dem Schreiben von ModBus-Nachrichten sollte immer auch die Antwort vom Port gelesen werden, denn es könnte statt eines "OK" auch eine Fehlermeldung zurückkommen. Bei SCPI antwortet das Gerät nur auf Anfragebefehle, jene die mit einem Fragezeichen („?“) enden.

Beide Methoden haben Vor- und Nachteile. Der Hauptvorteil von Methode 2 gegenüber Methode 1 ist, daß das Wegfallen des ständigen Öffnens und Schließens des Ports insgesamt die Antwortzeit verringern kann, jedoch nicht zwangsweise muß. Der Hauptvorteil von Methode 1 gegenüber Methode 2 ist, daß eine Kommunikation stabiler wird, wenn man den Port schließt. Besonders dann, wenn zwischen zwei Schreib-/Lesezyklen viel Zeit vergeht.

Die Werte in der Tabelle unten wurden mit Methode 1 ermittelt.



Die Antwortzeiten von beiden Ports, USB und Ethernet, sind von der auf Ihrem Gerät installierten KE-Firmwareversion abhängig und können kürzer oder länger sein als unten gelistet.

		Typische Antwortzeiten		
Geräteserie	Protokoll	USB	Ethernet	CAN/CANopen
ELR 9000 / EL 9000 B PSI 9000 (alle Serien ab 2014) PSB 9000 / PSBE 9000 PSE 9000	SCPI	<15 ms	<10 ms	-
	ModBus	<10 ms	<10 ms	≈2 ms
PS 5000	ModBus	~1 ms	-	-
PSI 5000 / PSI 9000 DT / PSI 9000 T / PS 9000 T / EL 9000 T EL 9000 DT / EL 3000 B / PS 3000 C	SCPI	1~3 ms	5~8 ms	-
	ModBus	~1 ms	~5 ms	-
PS 9000 (alle Serien ab 2014)	SCPI	1~3 ms	5~8 ms	-
	ModBus	~1 ms	~5 ms	-
ELR 5000	SCPI	-	1~3 ms	-
	ModBus	-	1~3 ms	-
ELR 10000 PSB 10000 PSI 10000	SCPI	tbd	tbd	tbd
	ModBus	tbd	tbd	tbd

3.3.3 Befehlsintervall

Die unten gelisteten zeitlichen Minimalabstände zwischen zwei Telegrammen orientieren sich nach der in 3.3.1 aufgeführten Antwortzeit, weil eine Anfrage an das Gerät die meiste Zeit verbraucht.

Geräteserien	Minimalabstand zwischen zwei Telegrammen	Empfohlene Zeit zwischen zwei Telegrammen
ELR 9000 / ELR 9000 HP PSI 9000 (alle ab 2014) PSB 9000 PSE 9000 PSBE 9000	USB / CAN / CANopen: 10 ms Ethernet: 15 ms	USB / CAN / CANopen: 15-20 ms, je nach Protokoll Ethernet: 20 ms
PS 5000	2 ms	5 ms
PSI 5000 PSI 9000 DT EL 9000 DT EL 9000 T PS 9000 T PSI 9000 T EL 3000 B	USB: 2 ms Ethernet: 8 ms	USB: 5 ms Ethernet: 15 ms
PS 9000 (alle ab 2014)	USB: 2 ms Ethernet: 8 ms	USB: 5 ms Ethernet: 15 ms
ELR 5000	5 ms	10 ms
ELR 10000 PSB 10000 PSI 10000	tbd	tbd

3.4 Übersicht der Kommunikationsprotokolle

Die in der Tabelle unten aufgeführten Serien, außer PS 5000, unterstützen zwei Kommunikationsprotokolle: **ModBus** und **SCPI**. Grundsätzlich können beide Protokolle über RS232, USB und den meisten Ethernet-basierten Schnittstellen übertragen werden. Ausnahmen sind dedizierte Standards wie CAN, CANopen, Profinet, Profibus oder EtherCAT.

Bei Verwendung eines **Ethernetports** wird noch zwischen ModBus RTU und ModBus TCP unterschieden. Bei Serien mit einem fest installierten Ethernetport ist das Nachrichtenformat **ModBus TCP** erst ab einer bestimmten Firmware (siehe „1.1.2. Geltungsbereich“) verfügbar, kann also nachträglich installiert werden. Die Übertragung von Befehlen über Ethernet in den Formaten "ModBus RTU over Ethernet" oder SCPI ist über alle freien Ports außer 502 zulässig, während Befehle im Format "ModBus TCP" nur über den zugewiesenen Port 502 akzeptiert werden.



Bei installierter **Option 3W (GPIB zusammen mit USB und Analog)**, wie ab Q3/2014 optional für bestimmte Serien erhältlich, ist über den GPIB-Port nur SCPI als Kommunikationsprotokoll unterstützt, über USB hingegen auch ModBus RTU.

Welche Geräteserie unterstützt welche Kommunikationsprotokolle?

Geräteserie	ModBus		SCPI
	RTU	TCP	
EL 3000 B / PS 3000 C	✓	nicht unterstützt	✓
EL 9000 B / DT / T / B HP / B 2Q	✓	✓	✓
ELR 9000 / ELR 9000 HP / ELR 10000	✓	✓	✓
ELR 5000	✓	nicht unterstützt	✓
PS 5000	✓	nicht unterstützt	nicht unterstützt
PS 9000 (alle Sub-Serien ab 2014)	✓	✓	✓
PSB 9000 / PSBE 9000 / PSB 10000	✓	✓	✓
PSE 9000	✓	✓	✓
PSI 5000	✓	✓	✓
PSI 9000 (alle Sub-Serien ab 2014)	✓	✓	✓
PSI 10000	✓	✓	✓

Besonderheit: über USB oder Ethernet mit Standardport können die Protokolle **SCPI** und **ModBus RTU** abwechselnd verwendet werden. Das Gerät erkennt das Protokoll automatisch am **ersten gesendeten Byte**, welches bei ModBus RTU **immer 0x00** sein muß.

Jenachdem welche Schnittstelle und welches Protokoll Sie benutzen möchten, ergibt sich ein anderer Teil dieser Anleitung, der für Sie relevant ist.

Anwender mit einem Gerät, das die optionalen Schnittstellenmodule (siehe Abschnitt 2.2) unterstützt, haben eine größere Auswahl. Die Tabelle unten listet auf, welches Modul welche Protokolle unterstützt:

Modultyp	ModBus?	SCPI?	Anderes Protokoll
CAN	nein	nein	yes (siehe „8. CAN“)
CANopen	nein	nein	CANopen (siehe „7. CANopen“)
RS232	ja (siehe „4. Das ModBus-Protokoll“)	ja (siehe „5. SCPI-Protokoll“)	nein
Profibus	nein	nein	Profibus (siehe „6. Profibus & Profinet“)
Ethernet	ja (siehe „4. Das ModBus-Protokoll“)	ja (siehe „5. SCPI-Protokoll“)	ModBus TCP (siehe „4.5.5. ModBus TCP“)
ProfiNet	nein	nein	Profinet (siehe „6. Profibus & Profinet“)
ModBus TCP	ja (siehe „4. Das ModBus-Protokoll“)	ja (siehe „5. SCPI-Protokoll“)	ModBus TCP (siehe „4.5.5. ModBus TCP“)
EtherCAT	nein	nein	EtherCAT (siehe „9. EtherCAT“)

3.5 Besonderheiten der Fernsteuerung

Bei Gebrauch der Fernsteuerung gibt es einige Besonderheiten zu beachten:

- Konfiguration oder Steuerung des Funktionsgenerators (wo verfügbar) erfordern eine gewisse Reihenfolge des Vorgehens. Diese wird für ModBus in 4.10.6 und für SCPI in 5.4.12 näher erläutert. Die für ModBus erläuterte Methode gilt grundsätzlich auch für alle weiteren Protokolle, wie bei CAN, CANopen, EtherCAT usw. benutzt.
- Einige Register bzw. SCPI-Befehle dienen zur Konfiguration des Gerätes, so wie man sie manuell im Gerätemenü (wo vorhanden) vornehmen kann, z. B. um zu bestimmen, wie sich das Gerät in Bezug auf den DC-Eingang/Ausgang verhalten soll. Diese Register/Befehle sind weder extra gruppiert, noch farblich markiert und sollten nur benutzt werden, wenn man verschiedene Konfigurationen für ein Gerät laden können möchte.
- Die am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenzen („Limits“, wo vorhanden, siehe Gerätehandbuch) begrenzen alle darauf bezogenen Sollwerte und können zu Fehlermeldungen von seiten des Gerätes führen, die zunächst nicht erwartet werden. Bei Verwendung von SCPI werden zudem die Fehler üblicherweise nicht direkt zurückgegeben, sondern nur auf Anfrage. Somit kann es sein, daß ein Sollwert nicht angenommen wird, weil zu groß oder zu klein. Die Akzeptanz eines Sollwertes seitens des Gerätes kann dann nur überprüft werden, indem er zurückgelesen wird.

3.6 Fragmentierte Nachrichten bei serieller Übertragung

Bei RS232, Ethernet und auch USB möglich: fragmentierte Nachrichten. Das betrifft in erster Linie SCPI-Befehle, die aus Text bestehen und besonders bei seriellen Schnittstellen auch zeichenweise übertragen werden könnten, je nachdem wie das ausführende System auf der Steuerungsseite (PC) es verarbeitet. Das führt, weil kein Endezeichen (engl. termination character) erwartet wird, zu Kommunikationsfehlern.

Das Gerät interpretiert eine Nachricht als „vollständig erhalten“, wenn nach einem übertragenen Byte eine gewisse Zeitlang kein weiteres Byte mehr gesendet wurde (Timeout). Besteht eine Nachricht aus mehr als einem Fragment, könnte das Gerät die einzelnen Fragmente als mehrere einzelne, aber dann fehlerhafte Befehle interpretieren.

Ab einem bestimmten Firmwarestand ist ein variables Timeout für USB eingeführt worden, das man manuell am Gerät (außer bei PS/PSI 5000) oder per Fernsteuerung konfigurieren kann, z. B. über SCPI (siehe 5.4.11). Kommunikationsfehler durch fragmentierte Nachrichten können weitestgehend eliminiert werden, indem der Timeout-Wert schrittweise erhöht wird. Es gilt dabei jedoch zu bedenken, daß am Ende jeder Nachricht, bevor das Gerät den Befehl umsetzt bzw. auf eine Anfrage antwortet, das vom Anwender gewählte Timeout ablaufen muß. Daher wird empfohlen, den Timeout-Wert stets so niedrig wie möglich zu belassen.

Bei Verwendung von SCPI hilft das Senden eines zusätzlichen, aber nicht erforderlichen Endezeichens (engl. termination character, z. B. die typischen Werte LF, CR oder CRLF) das Timeout sofort abzubrechen und die Nachricht vom Gerät als vollständig erhalten zu betrachten, woraufhin sie verarbeitet wird.

3.7 Verbindungs-Timeout

Ethernet-Verbindungen zu Geräten, die einen Ethernetport unterstützen, haben ein sog. „socket timeout“. Das ist eine variable, vom Anwender einstellbare Zeit (siehe Handbuch des Gerätes) nach der sich die Socket-Verbindung seitens des Gerätes automatisch trennt, wenn für die eingestellte Zeit keinerlei Kommunikation zwischen Gerät und steuernder Einheit (PC, SPS usw.) stattgefunden hat. Nach der Trennung kann die Verbindung jederzeit wiederhergestellt werden. Dieses Timeout wird unwirksam, wenn die ab einer bestimmten Firmwareversion unterstützte Einstellung „TCP keep-alive“ am Gerät aktiviert und „keep-alive“ vom vorhandenen Netzwerk generell unterstützt wird.

3.8 Effektive Auflösung beim Programmieren

Alle Soll- und Istwerte von Spannung, Strom, Leistung und Widerstand eines Gerätes, die transferiert werden können und letztendlich von den Leistungsstufen am DC-Eingang/-Ausgang umgesetzt bzw. dort erfaßt werden, haben eine programmierbare Auflösung für 0-100% und eine effektive Auflösung. Während die **programmierbare Auflösung** bei allen Serien gleich ist (0-100% = 0-0xCCCC = **0-52428**), selbst bei Verwendung von SCPI, wird die effektive Auflösung durch die im Gerät verwendeten Wandler (ADC/DAC) bestimmt und ist nicht überall gleich. Siehe die Tabelle unten.

Die effektive Auflösung bestimmt die am DC-Eingang/-Ausgang erreichbare Schrittweite. Diese errechnet sich für alle Werte als **Schrittweite = Nennwert ÷ Auflösung**. So hat beispielsweise ein PSI 9080-510 3U eine erreichbare Schrittweite bei der Spannung von $80 \text{ V} / 26214 = \text{ca. } 3 \text{ mV}$. Beim Strom wären es dann $510 \text{ A} / 26214 = \text{ca. } 19 \text{ mA}$.

Zu dieser theoretisch erreichbaren Schrittweite kommen aber noch Gerätetoleranzen hinzu, die sich aus den Angaben in den technischen Daten des Gerätes errechnen lassen. Das PSI 9080-510 3U aus dem Beispiel hat bei der Spannung laut Handbuch eine Toleranz von max. 0,1% Nennwert. Das sind rechnerisch bis zu 80 mV. Wenn man also einen Sollwert von 24 V setzt, dürfte dieser durch die zulässige Toleranz zwischen 23,92 V und 24,08 V betragen und man könnte ihn, sofern extern nachgemessen und nicht genau genug, in etwa 3 mV-Schritten nachkorrigieren.

Der vom Gerät auslesbare Istwert enthält die Toleranz (oder Fehler) bereits. Angenommen, man würde mit einem Multimeter nachmessen und die Spannung ist aktuell 24,03 V und man will näher an den Zielwert 24 V heran, könnte man per Software und durch die Schrittweite von etwa 3 mV bei diesem Gerät nachkorrigieren und den Istwert weitem an den Sollwert annähern.

Serie	ADC/DAC	Effektive Auflösung
EL 3000 B	12 Bit	4096
EL 9000 B 3U-24U / EL 9000 B HP / EL 9000 B 2Q	16 Bit	26214
EL 9000 DT	16 Bit	26214
EL 9000 T	14 Bit	16384
ELR 5000	16 Bit	26214
ELR 9000 / ELR 9000 HP	16 Bit	26214
PS 5000 / PSI 5000	16 Bit	26214
PSB 9000 / PSBE 9000 / PSE 9000 / PSI 9000 2U - 24U / PSI 9000 DT	16 Bit	26214
PS 9000 T / PSI 9000 T	14 Bit	16384
PS 3000 C	PWM	26214

3.9 Minimale Steigung (Funktionsgenerator)

Dieser Abschnitt betrifft nur folgende Serien mit Funktionsgenerator:

- EL 9000 B / EL 9000 B HP / EL 9000 B 2Q / EL 9000 DT / EL 9000 T
- ELR 9000 / ELR 9000 HP / ELR 10000
- PSI 9000 2U - 24U / PSI 10000
- PSI 9000 DT / PSI 9000 T
- PSB 9000 / PSB 10000

Bei der Programmierung des sog. Arbiträrgenerators (siehe auch Handbuch des Gerätes), egal über welche digitale Schnittstelle, kann das Gerät Fehler zurückgeben, die sich auf falsche Wertevorgaben für die sog. Sequenzpunkte beziehen. Neben Werten die einfach nur außerhalb des zulässigen Wertebereichs liegen gibt es auch eine **minimale Steigung** bei Sequenzpunkten mit veränderlichem DC-Anteil. Die Steigung könnte unterschritten sein.

Gemäß der Beschreibung des Arbiträrgenerators im Handbuch des Gerätes haben alle Sequenzpunkte veränderliche Werte für einen AC-Anteil, der nur zur Erzeugung einer Sinusfunktion dient, und einen DC-Anteil für Rampen, Dreiecke, Rechtecke und Trapeze. „Veränderlich“ bedeutet hierbei, daß der Endwert anders ist als der Startwert. Das ist z. B. bei einer Rampe so und auch bei einem Dreieck oder der steigenden/anfallenden Flanke eines Trapezes.

Ist dieser Unterschied ungleich 0 entsteht eine Steigung nach $\Delta U/t$ oder $\Delta I/t$. **Diese Steigung darf nicht beliebig sein.** Um zu prüfen, ob eine gewisse Steigung machbar ist, sollte die minimale Steigung des zu programmierenden Gerätes berechnet werden. Formel: **min. Steigung = $0,000725 \cdot \text{Nennwert von U oder I} / s$**

In Bezug auf die Parameter eines Sequenzpunktes berechnet das Gerät die gesetzte Steigung aus „Startwert DC-Anteil“, „Endwert DC-Anteil“ und „Sequenzzeit“ und vergleicht mit der min. Steigung.

Beispiel: das Zielgerät ist eine el. Last mit 500 V Nennspannung und 30 A Nennstrom. Es soll eine Rampe auf den Strom erzeugt werden. Die min. Steigung errechnet sich als: $\Delta I/t = 0,000725 \cdot 30 \text{ A} / s = 21,75 \text{ mA/s}$. Wollte man nun die Rampe programmieren mit einer ansteigenden Flanke von 0 - 20 A über 5 s, dann ergeben sich 4 A/s Steigung und das ist somit machbar. Ein Anstieg von 0-20 A über 20 Minuten hingegen würde die minimale Steigung nicht erfüllen und vom Gerät angelehnt werden.

Die machbare Zeit für ein bestimmtes ΔU oder ΔI ist auch errechenbar: **$t_{\text{Max}} = \Delta U \text{ oder } \Delta I / \text{min. Steigung}$.**

Für das Beispiel mit 0-20 A erhalten wir demnach eine $t_{\text{Max}} = 20 \text{ A} / 0,02175 \text{ A/s} = \sim 919 \text{ Sekunden}$.

Fazit: sehr lange Rampen über viele Minuten oder gar Stunden sind mit dem Arbiträrgenerator nicht machbar. Abhilfe schafft eine schrittweise, vom PC per Software gesteuerte Werteänderung über die Zeit.

Dabei kommt die effektive Auflösung (siehe 3.8) ins Spiel. Die el. Last aus dem Beispiel oben könnte eine ELR 9500-30 sein, mit einer setzbaren Auflösung von 52428 Schritten für 0-100% und einer effektiven von 26214. Um es sinnvoll zu halten würde die effektive betrachtet. 26214 Schritte für 0-100% = 0-30 A ergeben bei 0-20 A also 17476 Schritte. Wollte man eine Rampe über 10 h fahren wollen, könnte man z. B. $10 \text{ h} / 17476 = \text{ca. } 2 \text{ Sekunden}$ einen Wert setzen, der jeweils um $20 \text{ A} / 17476 = \text{ca. } 1,15 \text{ mA}$ erhöht wird. Das ist eine recht feine Auflösung, die durch unvermeidbare Toleranzen stark beeinflusst würde. Daher empfiehlt es sich, das Raster zu vergrößern, also z. B. alle 20 s einen Schritt von 11,5 mA oder einmal pro Minute einen von 34 mA. Durch das gleichmäßige Setzraster ergibt sich eine Rampe mit Stufen die gleich breit sind und mit einer Höhe von 1,15 mA oder 34 mA oder anders, ganz wie gewünscht.

4. Das ModBus-Protokoll



Bevor Sie weiterlesen, prüfen Sie bitte, ob Ihr Gerät ModBus generell unterstützt und auch ob über die Schnittstelle, die Sie verwenden möchten. Siehe Abschnitt 3.4.



Unsere Geräte sind immer ModBus-Slaves mit der Adresse 0. Diese Adresse ist nicht veränderlich.

4.1 Allgemeines zum ModBus RTU-Protokoll

Eine Nachricht oder Telegramm nach ModBus RTU-Protokoll besteht aus hexadezimalen Bytes, wovon das erste Byte (die Geräteadresse) hier **immer 0** sein muß. Das erste Byte des Telegramms wird auch zur Erkennung benutzt, ob das Telegramm einen ModBus-Befehl oder einen Textbefehl in SCPI-Befehlssprache enthält. Ein Wert zwischen 1 und 41 im ersten Byte führt zu einer ModBus-Fehlermeldung, ab 42 (ASCII-Zeichen: *) wird das Telegramm als SCPI-Befehl in Textform interpretiert.

Das Format und die Länge eines Telegramms sind vorgegeben. Das Telegramm wird nach den Spezifikationen der jeweils verwendeten Schnittstelle übertragen. Der Anwender muß hierbei meist nur Sorge für den richtigen Inhalt des Telegramms tragen, bei manchen Schnittstellen auch für dessen korrekte Übertragung, weil diese keine Kommunikationssicherheit bieten, wie z. B. RS232. Einige Schnittstellen unterstützen den Anwender dabei durch eigene Checksummen bzw. Software-Handshaking.

4.2 Allgemeines zum ModBus TCP-Protokoll

Das Übertragungsprotokoll nach ModBus TCP-Standard wird von den Anybus-Schnittstellenmodulen **ModBus TCP 1-Port** und **2-Port** (siehe Abschnitt 2.2), sowie ab einer bestimmten Firmwareversion auch bei Geräten mit fest installierten Ethernetport unterstützt, in beiden Fällen nur über den ModBus TCP-Standard-Port **502**. Per Definition erfordert das Telegramm hier einen zusätzlichen Header, welcher die Verwendung von SCPI-Befehlen über diesen Port unmöglich macht. Ansonsten ist der Aufbau eines ModBus TCP-Telegramms nahezu identisch mit ModBus RTU, bis auf den bereits erwähnten Header und die nicht benötigte Checksumme. Informationen zum Aufbau des Headers sind weiter unten zu finden. Die folgenden Abschnitte gelten, was den Kern eines ModBus-Telegrammes betrifft, gleichermaßen für ModBus RTU und ModBus TCP. Für letzteres siehe auch „4.9. ModBus TCP im Detail“.

4.3 Format der Sollwerte und Auflösung

Sollwerte, die über die digitalen Schnittstellen für das Gerät vorgegeben werden können, sind immer Prozentwerte und entsprechen bei 100% (als Hexwert: 0xCCCC, als Dezimalwert: 52428) den Nennwerten des Gerätes.

Man kann einen Sollwert generell zwischen 0% und 102% mit den Werten 0x0000-0xD0E5 setzen bzw. Überwachungsgrenzen für Gerätealarme mit 0x0000-0xE147 für 0% bis 110% oder mit 0x0000-0xD2F1...103%.

Es ergeben sich für 0-100% 52429 mögliche Werte, die intern halbiert werden (das 16. Bit ist als Vorzeichen reserviert). **Die effektive Stellauflösung bei 0-100 % ist demnach 26214 Schritte.**

4.4 Umrechnung der Soll- und Istwerte

Reale Werte müssen vor der Übertragung in Prozentwerte umgerechnet und gelesene Werte können nach dem Empfang in reale Werte umgerechnet werden. Dabei gilt stets: 100% = 0xCCCC (hexadezimal) = 52428 (dezimal)

Die Umrechnung erfolgt mit der Umsetzung dieser Formeln in der eigenen Software:

Prozentwert zu Realwert	Realwert zu Prozentwert
$\text{Realer Wert} = \frac{\text{Nennwert} * \text{Prozentwert}}{52428}$ <p>Beispiel: Nennspannung des Gerätes ist 80 V, der prozentuale Spannungswert kam als 0x2454 = 9300. Nach der Formel ergibt sich ein realer Istwert von $(80 * 9300) / 52428 = 14,19$ V.</p>	$\text{Prozentwert} = \frac{52428 * \text{Realer Wert}}{\text{Nennwert Gerät}}$ <p>Beispiel: die Leistung soll auf 3150 W gesetzt werden, der Nennwert des Gerätes ist 3500 W. Nach der Formel ergibt sich: Prozentsollwert = $(52428 * 3150) / 3500 = 47185 = 0xB851$.</p>



Alle Sollwerte, die über die Fernsteuerung an das Gerät gesendet werden, sind nicht nur durch die Nennwerte des Gerätes begrenzt, sondern können zusätzlich durch die justierbaren Einstellgrenzen („Limits“, wo verfügbar) begrenzt sein! Werte, die diese Einstellgrenzen überschreiten würden, werden vom Gerät nicht akzeptiert.



Bei der Umrechnung in die ganzzahligen Prozentwerte (dezimal oder hexadezimal) ist es oft erforderlich, natürlich zu runden. Achtung! Am oberen Ende des Einstellbereiches können Rundungsfehler zu einem um 1 zu hohen Umrechnungswert führen.

4.5 Kommunikation mit dem Gerät über ein AnyBus-Modul

4.5.1 Ethernet

Bitte weiterlesen in Abschnitt 4.7.

4.5.2 Profinet / Profibus

Mit entsprechender Software für SPS-Systeme und ähnliches kann das Gerät über das Profinet/IO-Modul (1-Port oder 2-Port) oder Profibus-Modul ferngesteuert und überwacht werden. Bei Profinet/IO wählt die Software den passenden TCP-Port aus, dieser kann am Gerät für das Modul nicht eingestellt werden. Über diesen wird das Feldbusprotokoll mit entsprechender Software genutzt. Die grundlegende Einbindung des Gerätes in das Profinet bzw. in den Profibus wird in „6. Profibus & Profinet“ erläutert. Bitte weiterlesen in Abschnitt 4.7.

4.5.3 CANopen

Bitte weiterlesen in Abschnitt 4.7. Siehe auch Abschnitt „7. CANopen“.

4.5.4 CAN

Bitte weiterlesen in Abschnitt 4.7. Siehe auch *Abschnitt „8. CAN“*.

4.5.5 ModBus TCP

Als Protokoll greift hier ModBus TCP, ein erweitertes TCP/IP-Frame-Format. Die Übertragung per TCP/IP wird hier nicht erläutert. Bitte weiterlesen in Abschnitt 4.7.

4.5.6 EtherCAT

Für EtherCAT wird im Allgemeinen fertige Software zur Verfügung gestellt und genutzt, die das Protokoll CANopen over Ethernet (CoE) verwendet. Lesen Sie dazu auch in „7. CANopen“ und „9. EtherCAT“. Bitte weiterlesen in Abschnitt 4.7.

4.6 Kommunikation mit dem Gerät über den USB-Port

Nach der Anbindung des Gerätes über den USB-Port und erfolgreicher Treiberinstallation kann per virtuellem COM-Port (VCOM) auf das Gerät zugegriffen werden. Der dem Gerät zugeordnete COM-Port (siehe Windows Gerätemanager oder andere) muß nicht konfiguriert werden, da dieser Port von einem sogenannten CDC-Treiber (Communication Device Class, verfügbar für Windows XP, Windows 7 (auch Embedded) und ggf. weitere Betriebssysteme) generiert wird und der Einfachheit halber einen COM-Port simuliert, die Datenübertragung aber so schnell abwickelt, wie es USB 2.0 zuläßt. Dabei werden die typischen seriellen Einstellungen ignoriert.

4.6.1 USB-Treiberinstallation

Der für den front- bzw. rückseitigen USB-B-Port benötigte Treiber wird mit dem Gerät auf USB-Stick mitgeliefert und installiert einen signierten Treiber für virtuelle COM-Ports auf 32 bit und 64 bit Windows Betriebssystemen ab Windows 7. Er ist alternativ als Download auf der Webseite des Geräteherstellers erhältlich.

4.6.2 Erste Schritte

Um mit dem Gerät zu kommunizieren, wird auf der PC-Seite lediglich eine einfache Software benötigt, die in der Lage ist, einen COM-Port zu öffnen und darüber byteweise, d. h. seriell, Nachrichten im binären ModBus RTU-Protokollformat oder als ASCII-Strings (hier: SCPI) zu verschicken. Für letzteres eignen sich Terminalprogramme, wie z. B. das in Windows XP noch vorhandene HyperTerminal. Für binäre Telegramme im Hexadezimalformat, wie bei ModBus RTU, sind andere Terminalprogramme wie Docklight (www.docklight.de) erforderlich. Für Docklight sind bei uns auf Anfrage fertige Docklight-Projekte für unterschiedliche Geräteserien erhältlich, welche die grundlegendsten Telegramme bereits als per Mausklick an das Gerät schickbare Sequenzen enthalten und als Einstiegshilfe dienen sollen.

Um das Gerät nun über den USB-Port anzusprechen, muß man lediglich...

1. das Gerät per USB verbinden (ggf. auch mittels AnyBus-Modul über eine andere Schnittstelle).
2. den USB-Treiber installieren (siehe 4.6.1).
3. ein Terminalprogramm starten.



- Um ein Gerät steuern zu können, also Werte zu ändern oder den Eingang/Ausgang ein- oder auszuschalten, ist es grundsätzlich erforderlich, die Fernsteuerung **über einen Befehl** zu aktivieren. Dies geschieht nicht automatisch beim Senden irgendeines ersten Befehls!
- Das Umschalten auf Fernsteuerung kann blockiert sein. Bei Verwendung der SCPI-Sprache geben Geräte jedoch nicht automatisch eine Fehlermeldung zurück.

4.7 Über die Register-Listen

Zusammen mit dieser Programmieranleitung werden sogenannte Register-Listen als PDFs mitgeliefert, die eine Übersicht über die von Ihrem Gerät unterstützten Funktionen bei Fernsteuerung über binäre Protokolle wie ModBus bieten.

Es gibt meist eine Liste pro Geräteserie, manchmal umfaßt eine List auch mehrere Serien. Diese Listen unterscheiden sich hauptsächlich in der Anzahl der Funktionen und sind in erster Linie für die Verwendung mit dem ModBus-Protokoll gedacht, dienen jedoch als Referenz bei der Fernsteuerung eines Gerätes über **Feldbusse** (CAN, CANopen, Profibus, Profinet, EtherCAT) oder bei der Verwendung von Programmierumgebungen wie **LabView** oder MatLab, z. B. wenn es um die Interpretation von Werten geht oder das Verständnis der Funktion eines Befehls.

Die Listen erläutern in Kurzform, wie die Daten aufgebaut sind, die für die jeweilige Funktion an ein bestimmtes Register (bei CANopen bzw. EtherCAT „Index“ genannt) geschickt werden müssen. Das hilft dem Programmierer bei der Implementation der Geräte-Kommunikation in eigene Applikationen. Anwender, die mit SCPI arbeiten, benötigen diese Listen im Allgemeinen nicht. Weiter hinten in diesem Dokument werden die Befehle der textbasierten SCPI-Sprache gesondert behandelt.

4.7.1 Spalten "Funktion"

Die Köpfe der 5 Spalten rechts von der ModBus-Adreßspalte enthalten die Namen und Codes der ModBus-Funktionen, die unterstützt werden. Ein "x" kennzeichnet für ein Register die zugehörige Funktion. Z. B. ist ein sog. Coil-Register meist schreib- und lesbar und daher mit "Read Coils (0x01)" und "Write Single Coil (0x05)" verknüpft.

4.7.2 Spalte „Datentyp“

Datentyp	Länge	
char	1 Byte	Einzelnes Byte, wird für Strings benutzt
uint(8)	1 Byte	Einzelnes Byte
uint(16)	2 Bytes	Doppelbyte, auch genannt Wort oder 16-Bit-Integer
uint(32)	4 Bytes	Doppelwort, auch genannt Long oder 32-Bit-Integer
float	4 Bytes	Fließkommawert nach IEEE745 Standard

4.7.3 Spalte „Zugriff“

Definiert für jedes Register, ob man auf das Register nur lesend, nur schreibend oder schreibend/lesend zugreifen kann.

R = Register kann nur gelesen werden

W = Register kann nur geschrieben werden bzw. würde beim Lesen keinen sinnvollen Wert zurückgeben

RW = Register kann geschrieben oder gelesen werden



Generell gilt: Schreiben auf ein Register, auf das geschrieben werden kann (Zugriff: W, RW), ist nur bei aktivierter Fernsteuerung möglich!

4.7.4 Spalte „Anzahl Register“

Bei ModBus ist ein Register immer zwei Bytes oder ein Vielfaches von zwei Bytes groß. Diese Spalte gibt an, wieviele Zwei-Byte-Werte die Register belegen. Der Wert ist jeweils die Hälfte des Wertes in der Spalte „Datenlänge in Bytes“.

4.7.5 Spalte „Daten“

Gibt zusätzliche Information zum Format der Daten, die in ein Register zu schreiben sind bzw. daraus gelesen werden können. Zwei, vier oder mehr Bytes können unterschiedlich interpretiert werden, je nach Datentyp und Inhalt.

4.7.6 Spalten „Profibus/Profinet Slot & Index“

Diese Spalten (wo vorhanden) dienen zur Querverbindung der ModBus-Register zu den bei Profibus bzw. Profinet verwendeten SFBs (Datenbausteine) und deren Eingangs-Parametern „ID“ und „Index“. Der Parameter „ID“ ist über die Slotkonfiguration verknüpft, mit dem Wert aus Spalte „Profibus/Profinet Slot“. Mehr siehe „6. Profibus & Profinet“.

4.7.7 Spalte „EtherCAT PDO/SDO?“

Diese Spalte ist nur enthalten in Registerlisten für Serien, welche die optionalen Anybus-Schnittstellenmodule, hier speziell EtherCAT, unterstützen. Sie markiert, welche der für das Gerät über andere Schnittstellen verfügbaren ModBus-Register für das CANopen over Ethernet (CoE) bei EtherCAT als Indexe genutzt werden können. Einige der Register werden als PDOs verwendet, die restlichen als SDOs. Geräte, die das EtherCAT-Modul unterstützen, enthalten eine herunterladbare Datenobjektliste. Die PDOs sind im Abschnitt „9. EtherCAT“ beschrieben.

4.8 ModBus RTU im Detail

Wie in Absatz „3.4. Übersicht der Kommunikationsprotokolle“ beschrieben, kann ModBus RTU über die eingebaute USB-Schnittstelle (wo vorhanden), einen Ethernetanschluß, sowie einige der optionalen AnyBus-Module kommuniziert werden. Beim ModBus-Protokoll nennt man adressierte Objekten "Register". Dieses Dokument verwendet dazu die Begriffe **Adresse**, **Register** oder **Registeradresse**.



Wenn ModBus RTU über Ethernet übertragen wird, dann nennt man es „ModBus RTU über Ethernet“, aber nicht „ModBus TCP“. Das ModBus TCP Frame-Format wird bei "normalen" Ethernetports auch unterstützt, aber erst ab einer gewissen Firmwareversion. Siehe 3.4.

4.8.1 Telegrammtypen

Grundsätzlich wird zwischen **Anfrage-Telegrammen**, **Sende-Telegrammen** und **Antwort-Telegrammen** unterschieden. Ein Anfrage-Telegramm veranlaßt das Gerät ein Antwort-Telegramm zu schicken, während Sende-Telegramme nur ein 1:1 Echo verursachen, als Bestätigung des Empfangs auf der Gegenseite.

4.8.2 Generelles

Da die Geräte eine automatische Erkennung haben, ob über SCPI oder ModBus-Protokoll kommuniziert wird, muß bei einem ModBus RTU-Telegramm das erste Byte (Kopf) immer 0 sein.

4.8.3 Funktionen

Das zweite Byte einer ModBus-Nachricht ist die sogenannte **Funktion (FN)**, blau markiert in den Aufbaudarstellungen unten). Die Funktion bestimmt, ob etwas geschrieben (WRITE) oder gelesen (READ) werden soll. Weiterhin wird beim Schreiben und Lesen unterschieden, ob man ein bzw. mehrere ganze Register schreiben/lesen will.

Das hier beschriebene Protokoll unterstützt folgende Funktionen aus der ModBus-Spezifikation (Stand: 29.07.2019):

Funktion		Funktionsname		Beschreibung	Verwendungsbeispiel
Hex	Dez	Lang	Kurz		
0x01	1	READ Coils	RSC, RC	Liest immer 1 Bit, das aber als 16-Bit-Wert zurückgegeben wird. Z. B. bedeutet 0xFF00 logisch 1 oder TRUE. <u>Das ist hier abweichend vom ModBus-Standard und könnte bei fertiger ModBus-Software Probleme ergeben.</u>	Zustand des Eingangs / Ausgangs abfragen
0x03	3	READ Holding Registers	RHR	Lesen von n aufeinanderfolgenden Registern. Ergibt n*2 Bytes.	Gerätebezeichnung auslesen (1-40 Bytes)
0x05	5	WRITE Single Coil	WSC	Schreiben von 16 aufeinanderfolgenden Bits, die aber alle als 1 Bit (TRUE oder FALSE) interpretiert werden. <u>Das ist hier abweichend vom ModBus-Standard und könnte bei fertiger ModBus-Software Probleme ergeben.</u>	Gerät in Fernsteuerung umschalten
0x06	6	WRITE Single Register	WSR	Schreiben eines Registers.	Sollwert (U, I, P usw.)
0x10	16	WRITE Multiple Registers	WMR	Schreiben mehrerer aufeinanderfolgender Register. Kann jedoch nicht verwendet werden, um die Grenze eines Registerblocks hinweg zuschreiben, also wenn man z. B. mehrere Sollwerte wie z. B U, I und P auf einmal zu schreiben.	Mehrere Werte innerhalb eines Registerblocks oder den sog. Benutzertext schreiben



In der Registerliste ist für jedes Register angegeben, welche der Funktionen auf das Register anwendbar sind.



Die Daten in einer ModBus-Nachricht sind, mit Ausnahme der Checksumme, von links nach rechts zu lesen (big endian). Bei der 16 Bit-ModBus RTU-Checksumme werden Highbyte und Lowbyte jedoch vertauscht.

4.8.4 Sendetelegramm (Schreiben)

Beim **Senden** eines Status oder eines oder mehrerer Werte bzw. eines Textes sind im Datenbereich des Telegramms mindestens die Zieladresse und ein zu schreibender Wert anzugeben.

Das Protokoll überprüft die plausible Länge des Telegramms beim Schreiben nur dahingehend, daß die maximale Länge des Registers nicht überschritten wird. Nach den Daten im Telegramm wird die Checksumme erwartet. Wenn z. B. die Daten nur die mindestens benötigten 2 Bytes lang sind und damit die Vorgaben für die gewählte Registeradresse erfüllen, würde die Checksumme ab dem 7. Byte erwartet. Stünde dort ein anderer Wert oder 0 und die Checksumme ist erst weiter hinten im Telegramm, würde das Gerät einen Fehler zurückgeben.

Somit wird, egal ob das Telegramm zu kurz oder zu lang ist, ein Fehler zurückgegeben, weil die Checksumme nicht stimmt. Für einige Beispiele siehe „4.8.9. Beispiele für ModBus RTU-Telegramme“.

WRITE Single Register

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Startreg.	Datenwort	CRC
0x00	0x06	0...65535	Zu schreibender Wert	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾

WRITE Multiple Registers

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Byte 6	Bytes 7-253	Letzte 2 Bytes
Kopf	FN	Startreg.	Anzahl	Zähler	Datenbytes	CRC
0x00	0x10	0...65535	0...123	Anzahl*2	n zu schreibende Werte	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾

WRITE Single Coil

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Register	Datenwort	CRC
0x00	0x05	0...65535	0x0000 oder 0xFF00	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾



Achtung! Mit dem gesamten 16 Bit Wert wird nur 1 Coil gesetzt oder gelesen.

4.8.5 Anfragetelegramm

Bei einer **Anfrage** an das Gerät wird eine möglichst unverzügliche Antwort erwartet, die - je nach Inhalt - von unterschiedlicher Länge, aber stets vom gleichen Aufbau ist. Es muß das Startregister angegeben werden, ab dem man die gewünschten Informationen lesen will, sowie die zu leende Anzahl von Registern. Die Basis des ModBus-Datenformats ist ein 16-Bit-Wert, also eine Gruppe von 2 Bytes. Somit werden bei Anzahl = 1 genau zwei Bytes oder ein 16-Bit-Wert angefragt und bei Anzahl = 2 dann vier Bytes bzw. zwei 16-Bit-Werte usw. Bei READ Coils sind werden immer 2 Bytes (= 16 Coils) zurückgegeben. Für einige Beispiele siehe „4.8.9. Beispiele für ModBus RTU-Telegramme“.

READ Holding Registers

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Startreg.	Anzahl	CRC
0x00	0x03	0...65535	Anzahl zu lesender Register (1...125)	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾

READ Coils

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Startreg.	Anzahl	CRC
0x00	0x01	0...65535	Muß immer 1 sein	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾



Achtung! Hier findet eine Abweichung vom Standard statt: Auch wenn 1 Coil angefragt wird, kommen als Antwort 16 Coils, aber alle zusammen repräsentieren ein Bit mit TRUE (0xFF00) oder FALSE (0x0000).

⁽¹⁾ Siehe „4.8.7. Die ModBus-Checksumme“

ModBus & SCPI

4.8.6 Antworttelegramm (Lesen)

Eine Antwort vom Gerät kommt entweder nach einer Anfrage oder bei einem Kommunikationsfehler oder beim Setzen eines Wertes, Zustand o. ä., wenn das Setzen angenommen wurde.

Erwartete Antwort bei WRITE Single Register:

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Startreg.	Daten	CRC
0x00	0x06	0...65535	Geschriebener Wert	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾

Erwartete Antwort bei WRITE Single Coil:

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Startreg.	Daten	CRC
0x00	0x05	0...65535	Geschriebener Wert	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾

Erwartete Antwort bei WRITE Multiple Registers:

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Startreg.	Daten	CRC
0x00	0x10	0...65535	Anzahl geschriebene Register	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾

Erwartete Antwort bei READ Holding Registers:

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Bytes 3-253	Letzte 2 Bytes
Kopf	FN	Datenlänge in Bytes	Daten	CRC
0x00	0x03	2...250	Angefragte Register	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾

Erwartete Antwort bei READ Coils:

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Bytes 3+4	Bytes 5+6
Kopf	FN	Datenlänge in Bytes	Daten	CRC
0x00	0x01	2	Angefragtes Bit als 1 Register (immer 16 Coils)	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾

Unerwartete Antwort (Kommunikationsfehler):

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Letzte 2 Bytes
Kopf	FN		CRC
0x00	Funktionscode + 0x80	Fehlercode	Checksumme ModBus-CRC16 ⁽¹⁾



Ein Kommunikationsfehler kann verschiedene Ursachen haben, wie z. B. eine falsche Checksumme im Telegramm oder wenn man versucht, auf Fernsteuerung umzuschalten, während Fernsteuerung gegenwärtig nicht erlaubt ist bzw. das Gerät bereits über eine andere Schnittstelle ferngesteuert wird. Siehe auch Fehlercodes in „4.8.8. Kommunikationsfehler“.

4.8.7 Die ModBus-Checksumme

Die Checksumme am Ende eines ModBus RTU-Telegramms ist eine 16bit-Checksumme, aber laut Vorgabe des ModBus-Standards anders berechnet als sonstige CRC16 und wird zudem noch **mit dem Low-Byte zuerst** angegeben. Informationen und Sourcecode zur Berechnung der Checksumme sind im Internet zugänglich, unter Anderem hier: http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf, Abschnitt 2.5.1.2

4.8.8 Kommunikationsfehler

Kommunikationsfehler beziehen sich lediglich auf die digitale Kommunikation mit dem Gerät und sind nicht zu verwechseln mit Alarmen und sonstigen Ereignissen, die das Gerät melden kann. Sie werden sofort vom Gerät zurückgegeben, wenn z. B. versucht wird schreibend auf das Gerät zuzugreifen während es nicht in Fernsteuerung ist oder auch, wenn z. B. über die Funktion READ HOLDING REGISTER versucht wird, ein Zustands-Bit auszulesen, das laut Zugriffstyp mit READ COILS gelesen werden mußte.

Bei einem Fehler sendet das Gerät die zuvor verwendete Funktionsnummer, jedoch um den Wert 0x80 erhöht, sowie einen Fehlercode zurück.

Übersicht der Funktionswerte in den Kommunikationsfehlertelegammen:

FN-Fehler	Gehört zu
0x81	READ COILS
0x83	READ HOLDING REGISTERS
0x85	WRITE SINGLE COIL
0x86	WRITE SINGLE REGISTER
0x90	WRITE MULTIPLE REGISTERS

Übersicht der Kommunikationsfehlercodes, die ein Gerät melden kann:

Code	Fehlerbezeichnung	Erläuterung
0x01	1 Falsche Funktionsnummer	Es wurde eine ModBus-Funktion in Byte 1 der Nachricht verwendet, die vom Gerät nicht unterstützt wird. Siehe „4.8.3. Funktionen“, welche unterstützt werden. Der Fehler tritt außerdem auf, wenn für den Zugriff auf eine Adresse die falsche Funktion verwendet wurde, z. B. READ Holding Registers beim Schreiben eines Bits, für das WRITE Single Coil richtig gewesen wäre.
0x02	2 Adresse nicht definiert	Es wurde versucht, schreibend oder lesend auf eine Adresse zuzugreifen, die für das Gerät nicht definiert wurde. Siehe separate ModBus-Register-Liste, welche Register/Adressen für die jeweilige Serie verfügbar sind, zu der Ihr Gerät gehört.
0x03	3 Fehlerhafte Daten oder Datenlänge falsch	Es wurden Daten mit falscher Länge oder falsche Daten gesendet. Zum Beispiel erfordert ein Sollwert immer 2 Bytes. Wenn stattdessen nur 1 Byte gesendet würde, wäre die Nachricht zu kurz und wenn 3 Bytes (vor der Checksumme) gesendet würden, wäre die Nachricht zu lang. „Fehlerhafte Daten“ könnte z. B. ein zu hoher Sollwert sein, also wenn ein Sollwert als max. 0xC000 definiert ist und man würde 0xE000 schicken.
0x04	4 Execution	Befehl nicht ausführbar, situationsabhängig
0x05	5 CRC	CRC16-Checksumme am Ende der (ModBus RTU-)Nachricht ist falsch. Das kann durch eine falsche Bytereihenfolge (High-Byte zuerst statt Low-Byte zuerst) oder durch falsche Berechnung entstehen.
0x07	7 Zugriff verweigert	Zugriff auf eine Adresse generell nicht erlaubt oder Zugriff nur lesend und nicht schreibend erlaubt oder Zugriff zwar schreibend erlaubt, Gerät aber nicht in Fernsteuerung bzw. in Fernsteuerung durch eine andere Schnittstelle
0x17	23 Gerät in Lokal-Modus	Dieser Fehler kommt, wenn irgendeine Nachricht gesendet wird, die steuernd auf das Gerät zugreifen will, während die Fernsteuerung gesperrt ist (lokal).

Beispiel: Sie versuchen, das Gerät in Fernsteuerung zu versetzen und bekommen statt des erwarteten Echos Ihres Befehls eine Antwort wie diese: 0x0085 0x0752 0x92. Das ist eine Fehlermeldung. An der Position der Funktion steht der Wert 0x85, laut Tabelle oben ist das ein Fehler bei WRITE SINGLE COIL. Der Fehlercode ist 0x7, laut der zweiten Tabelle oben bedeutet dieser, daß der Zugriff auf das Gerät mit dem zuletzt gesendeten Befehl verweigert wurde. Das kann u. A. bedeuten, daß es bereits über eine andere Schnittstelle, z. B. eine analoge, ferngesteuert wird.

4.8.9 Beispiele für ModBus RTU-Telegramme



Die Beispiele unten sind auch für ModBus TCP anwendbar. Hier fehlt lediglich der typische ModBus TCP-Header, dafür entfällt bei ModBus TCP die Checksumme.

4.8.9.1 Einen Sollwert setzen



Sollwerte sind setzbare Obergrenzen für die physikalischen Größen Strom, Spannung, Leistung oder Widerstand (wo vorhanden). Sollwerte können nur an das Gerät geschickt werden, wenn es vorher über eine digitale Schnittstelle in Fernsteuerungsbetrieb versetzt wurde.

Beispiel: Den Strom-Sollwert auf 50% setzen. Laut Registerliste ist der „Sollwert Strom“ auf Registeradresse 501 (0x1F5) festgelegt und die zu verwendende ist Funktion „WRITE Single Register“. Vorausgesetzt das Gerät ist bereits in Fernsteuerung, müßte das Telegramm muß dann so aussehen:

Sende-telegramm:	<table><tr><th>Kopf</th><th>FN</th><th>Start</th><th>Daten</th><th>CRC</th></tr><tr><td>0x00</td><td>0x06</td><td>0x01F5</td><td>0x6666</td><td>0x325F</td></tr></table>	Kopf	FN	Start	Daten	CRC	0x00	0x06	0x01F5	0x6666	0x325F	►	Erwartete Antwort:	<table><tr><th>Kopf</th><th>FN</th><th>Start</th><th>Daten</th><th>CRC</th></tr><tr><td>0x00</td><td>0x06</td><td>0x01F5</td><td>0x6666</td><td>0x325F</td></tr></table>	Kopf	FN	Start	Daten	CRC	0x00	0x06	0x01F5	0x6666	0x325F
Kopf	FN	Start	Daten	CRC																				
0x00	0x06	0x01F5	0x6666	0x325F																				
Kopf	FN	Start	Daten	CRC																				
0x00	0x06	0x01F5	0x6666	0x325F																				

Durch ein Echo des Telegramms meldet das Gerät, daß der Befehl akzeptiert wurde. Am Display könnte man nun den Stromsollwert überprüfen, bei einer Last bzw. Netzgerät mit 510 A Nennstrom müßte dieser dann als 255.0 A auf der Frontanzeige abzulesen sein bzw. bei einem Modell mit 170 A Nennstrom dann 85 A.

4.8.9.2 Alle Istwerte auf einmal anfragen

Das Gerät bietet drei auslesbare Istwerte für Spannung, Strom und Leistung. Bei elektronischen Lasten ist in der Anzeige noch ein Widerstandsistwert ablesbar. Dieser ist aus Iststrom und Istspannung berechnet und wird daher nicht extra übertragen. Der Anwender kann ihn ebenso aus den gelesenen Werten berechnen.

Die Istwerte können einzeln oder zusammen angefragt werden. Der Vorteil bei der gleichzeitigen Anfrage aller Istwerte ist, daß man damit den Gesamtzustand der Eingangs-/Ausgangswerte zu einem bestimmten Zeitpunkt erhält. Bei Einzelabfrage könnten sich die Werte zwischen zwei Anfragen bereits geändert haben.

Laut Registerliste sind die Istwerte ab Register 507 zu finden, es sollen drei Register gelesen werden:

Anfrage-telegramm:	<table><tr><th>Kopf</th><th>FN</th><th>Start</th><th>Daten</th><th>CRC</th></tr><tr><td>0x00</td><td>0x03</td><td>0x01FB</td><td>0x0003</td><td>0x7417</td></tr></table>	Kopf	FN	Start	Daten	CRC	0x00	0x03	0x01FB	0x0003	0x7417	►	Mögliche Antwort:	<table><tr><th>Kopf</th><th>FN</th><th>Länge</th><th>Daten</th><th>CRC</th></tr><tr><td>0x00</td><td>0x03</td><td>0x06</td><td>0x2620 0x0C9B 0x091B</td><td>0x9EC0</td></tr></table>	Kopf	FN	Länge	Daten	CRC	0x00	0x03	0x06	0x2620 0x0C9B 0x091B	0x9EC0
Kopf	FN	Start	Daten	CRC																				
0x00	0x03	0x01FB	0x0003	0x7417																				
Kopf	FN	Länge	Daten	CRC																				
0x00	0x03	0x06	0x2620 0x0C9B 0x091B	0x9EC0																				

4.8.9.3 Nennspannung auslesen

Die Gerätenennspannung, sowie auch die Nennwerte für Strom, Leistung und Widerstand sind wichtige Referenzwerte für die Umrechnung der Soll- und Istwerte und sollten nach dem Öffnen der Kommunikationsverbindung zu einem Gerät mit als Erstes ausgelesen werden. Die Nennspannung ist laut Registerliste ein Floatwert mit 4 Bytes Länge ab Adresse 121.

Anfrage-telegramm:	<table><tr><th>Kopf</th><th>FN</th><th>Start</th><th>Anzahl</th><th>CRC</th></tr><tr><td>0x00</td><td>0x03</td><td>0x0079</td><td>0x0002</td><td>0x1403</td></tr></table>	Kopf	FN	Start	Anzahl	CRC	0x00	0x03	0x0079	0x0002	0x1403	►	Mögliche Antwort:	<table><tr><th>Kopf</th><th>FN</th><th>Länge</th><th>Daten</th><th>CRC</th></tr><tr><td>0x00</td><td>0x03</td><td>0x04</td><td>0x42A00000</td><td>0xFE9A</td></tr></table>	Kopf	FN	Länge	Daten	CRC	0x00	0x03	0x04	0x42A00000	0xFE9A
Kopf	FN	Start	Anzahl	CRC																				
0x00	0x03	0x0079	0x0002	0x1403																				
Kopf	FN	Länge	Daten	CRC																				
0x00	0x03	0x04	0x42A00000	0xFE9A																				

Siehe auch 4.8.6. Die Beispielantwort enthält einen Floatwert im IEEE754-Format, der sich zu 80.0 umrechnet.

4.8.9.4 Gerätestatus auslesen

Laut Registerliste liefert eine elektronische Last ELR 9000 oder ein Netzgerät PSI 9000 ab Adresse 505 mit Länge 4 Bytes einen 32 Bit-Wert mit mehreren Statusbits. Adressen anderer Geräteserien können abweichen.

Anfrage-telegramm:	<table><tr><th>Kopf</th><th>FN</th><th>Start</th><th>Anzahl</th><th>CRC</th></tr><tr><td>0x00</td><td>0x03</td><td>0x1F9</td><td>0x0002</td><td>0x1417</td></tr></table>	Kopf	FN	Start	Anzahl	CRC	0x00	0x03	0x1F9	0x0002	0x1417	►	Mögliche Antwort:	<table><tr><th>Kopf</th><th>FN</th><th>Länge</th><th>Daten</th><th>CRC</th></tr><tr><td>0x00</td><td>0x03</td><td>0x04</td><td>0x00000483</td><td>0xA992</td></tr></table>	Kopf	FN	Länge	Daten	CRC	0x00	0x03	0x04	0x00000483	0xA992
Kopf	FN	Start	Anzahl	CRC																				
0x00	0x03	0x1F9	0x0002	0x1417																				
Kopf	FN	Länge	Daten	CRC																				
0x00	0x03	0x04	0x00000483	0xA992																				

Siehe auch 4.8.6. Die Antwort enthält sagt, nach Aufschlüsselung per Registerliste (Adresse 505) aus, daß das Gerät in Fernsteuerung über den USB-Port ist, der Eingang/Ausgang eingeschaltet und die Regelungsart CC ist.

4.8.9.5 Fernsteuerung aktivieren oder beenden

Bevor Sie das Gerät fernsteuern können, ist Umschalten auf digitalen Fernsteuerbetrieb mittels eines entsprechenden Befehls erforderlich.



Das Gerät schaltet sich niemals automatisch in den Fernsteuerbetrieb und kann ohne diesen nicht ferngesteuert werden. Auslesen von allen lesbaren Registern ist jedoch auch ohne aktiven Fernsteuerbetrieb möglich.



Das Gerät verläßt die Fernsteuerung niemals automatisch, außer es wird während des Fernsteuerbetriebs ausgeschaltet oder es tritt ein Netzausfall auf. Die Fernsteuerung kann per Befehl beendet bzw. manuell am Gerät abgebrochen werden.

Das Umschalten auf Fernsteuerung kann durch folgende bestimmte Umstände blockiert sein und wird durch die Rückgabe eines Fehlertelegramms gekennzeichnet:

- Es ist Zustand „**Lokal**“ aktiv (siehe Anzeige auf der Front oder auslesbaren Gerätestatus), der jegliche Fernsteuerung verhindert
- Es ist bereits Fernsteuerung über eine andere Schnittstelle aktiv
- Das Gerät befindet sich im Setup-Modus (Einstellmenü aktiv)

► So schalten Sie das Gerät in die Fernsteuerung:

1. Wenn Sie das ModBus RTU-Protokoll verwenden, ist ein Telegramm nach dem oben beschriebenen Aufbau (angelehnt an den Standard „ModBus Application Protocol“) zu erstellen und zu senden, z.B. 00 05 01 92 FF 00 2D FA
2. Bei erfolgreicher Umschaltung des Gerätes in Fernsteuerung, also wenn das Gerät den Befehl akzeptiert hat, wird der Zustand im Allgemeinen in der Anzeige des Gerätes angezeigt, sowie der Befehl 1:1 als Bestätigung zurückgegeben (Echo).

Falls Fernsteuerung beim Gerät aktuell nicht möglich wäre, weil die Option „Fernsteuerung erlauben = Nein“ (Beispiel von ELR 9000, andere Geräteserien können abweichen) gesetzt wurde, würde das Gerät mit einem Fehler antworten, z. B. 00 85 17 53 5E (laut ModBus-Spezifikation ist das Fehler 0x85 mit Fehlercode 0x17).

Fernsteuerung kann auf zwei Arten beendet werden: per Befehl oder durch Sperrung derselbigen am Bedienfeld des Gerätes. Da es hier um Programmierung geht, wird die erstgenannte Möglichkeit betrachtet.

► So beenden Sie die Fernsteuerung:

1. Wenn Sie das ModBus RTU-Protokoll verwenden, ist ein Telegramm nach dem oben beschriebenen Aufbau (angelehnt an den Standard „ModBus Application Protocol“) zu erstellen und zu senden, z.B. 00 05 01 92 00 00 6C 0A.

4.9 ModBus TCP im Detail

ModBus TCP baut auf ModBus RTU auf, daher werden hier nur die Unterschiede erläutert. Für den Kern einer ModBus TCP-Nachricht lesen Sie bitte in „4.8. ModBus RTU im Detail“ nach. Unterschiede bei ModBus TCP im Vergleich zu ModBus RTU:

- Die Nachricht erfordert einen zusätzlichen, 6 Byte langen MBAP-Header
- Die Checksumme entfällt (2 Bytes)
- Verwendung nur über den reservierten TCP-Port 502; jeder andere Port funktioniert nicht für ModBus TCP

Per Definition ist ein ModBus-TCP-Telegramm immer 4 Bytes länger als das zugrundeliegende **ModBus RTU**-Telegramm. Der MBAP-Header ist wie folgt aufgebaut:

Bytes	Bedeutung	Erläuterung
0 + 1	Transaktionskennung	Kennzeichnet das Telegramm. Die Kennung wird bei einer Antwort durch das antwortende Gerät in das Antworttelegramm kopiert und dient zum Zuordnen der Antwort zu einer Anfrage, falls mehrere Geräte im Netzwerk angesprochen werden und die erwartete Antwort nicht immer sofort auf die Anfrage folgt. Die Kennung ist beliebig. Wertebereich 0...65535
2 + 3	Protokollkennung	0 = ModBus-Protokoll (hier daher immer 0)
4 + 5	Länge	Anzahl der nachfolgenden Bytes, also Länge des ModBus RTU-Telegramms minus 2.

4.9.1 Beispiel für ein ModBus TCP-Telegramm

Das Beispiel für READ Holding Registers aus „4.8.9.3. Nennspannung auslesen“, erweitert um den MBAP-Header (beliebige Transaktionskennung 0x4711 benutzt). Die :

Anfragetelegramm:

MBAP-Header	Kopf	FN	Start	Daten
0x4711 0x0000 0x0006	0x00	0x03	0x0079	0x0002

Mögliche Antwort:

MBAP-Header	Kopf	FN	Länge	Daten
0x4711 0x0000 0x0007	0x00	0x03	0x04	0x42A00000

Das Beispiel schickt eine Anfrage zum Auslesen der Gerätenennspannung. Die Antwort (in „Daten“) enthält einen Floatwert der umgerechnet 80 ergibt, also Nennspannung 80 V.

4.10 Erläuterungen zu bestimmten Registern

Für die Kürzel der Geräteserien siehe „1.1.2. Geltungsbereich“.

Nicht alle Funktionen aller ModBus-Register bzw. der zugehörigen SCPI-Befehle sind selbsterklärend. Daher werden hier zusätzliche Hinweise und Beispiele gegeben.

4.10.1 Register 171

Dieses Register kann der Anwender mit einem bis zu 40 Zeichen langen, beliebigen Text beschreiben, der z. B. zur besonderen Identifikation des Gerätes unter mehreren gleichartigen dienen kann. Der Text wird automatisch und dauerhaft gespeichert.

4.10.2 Register 411

Für SCPI beschrieben in „5.4.15 Befehle für das Alarmmanagement“ auf Seite 71.

Bei ModBus setzt dieses Bitregister die Gerätealarme zurück, die im Gerätestatus (Register 505, siehe unten) auslesbar sind. Das heißt, solange man einen oder mehrere Gerätealarme nicht per Fernsteuerung bzw. manuell am Gerät zurücksetzt, bleiben sie im Gerätestatus als aktiv enthalten, auch wenn sie nicht mehr anliegen. Alarme, die noch anliegen, werden im Gerätestatus nicht zurückgesetzt. Ausnahme hierbei ist der Gerätealarm OT (Bit 19, Übertemperatur), verschwindet nach Abkühlung automatisch aus dem Register. Nach dem Löschen der Alarmbit kann später nur noch ein allgemeiner Alarmzähler (Register 520 - 524) ausgelesen werden.

4.10.3 Register 500-503 (Sollwerte)

Das sind mit die wichtigsten Register für die vier Sollwerte für Strom, Spannung, Leistung und Widerstand (wo vorhanden). Bei ModBus werden die Sollwerte als prozentualer Anteil (0...100%) des jeweiligen Nennwertes angegeben, bei SCPI als realer Wert.

Um den Widerstandsmodus (engl.: R mode) - wo unterstützt - nutzen zu können, muß er zuvor aktiviert werden (Register 409), ansonsten wird der Sollwert ignoriert und hat keinen Effekt.

Bei Netzgeräten der Serie PSI 9000 (ab 2014) und der nur dort verfügbaren PV-Funktion wird der Stromsollwert (Register 501) im PV-Betrieb anders interpretiert und bestimmt dann nicht die maximale Stromgrenze, sondern einen zur Simulation von Solarpaneelen gebräuchlichen Parameter: die Beschattung. Diese ist bei manueller Bedienung in 1%-Schritten zwischen 0 und 100% einstellbar. Mit Register 501 wird die Beschattung ebenso zwischen 0 und 100% gesetzt, gemäß der Definition des Registers, bietet hier aber eine deutlich feinere Auflösung.

4.10.3.1 Zusätzliche Register 498, 499 und 504

Mit Stand 04/2019 haben die Serien PSB 9000 und PSBE 9000 drei weitere Sollwertregister für den sog. Senke-Betrieb. Da sind 498 (Leistung), 499 (Strom) und 504 (Widerstand).

4.10.4 Register 505 (Zustand)

Ein weiteres wichtiges Register. Bei ModBus spiegelt es den Zustand des Gerätes in einem 32 Bit-Wert dar. Einige Bits können zu Gruppen zusammengefaßt sein und müssen auch so interpretiert werden. Zum Beispiel stellen laut Registerliste die Bits 0-4 des Registers 505 den Bedienort dar (siehe auch „3.2. Bedienorte“). Durch das Auslesen des Registers kann man so feststellen, ob sich das Gerät bereits in Fernsteuerung befindet und wenn ja, über welche Schnittstelle. Das hilft auch dabei festzustellen, ob das Senden des Befehls „Fernsteuerung = ein“ erfolgreich war.

Bei SCPI ist ein Teil der Statusbits aus Register 505 in den Statusregistern „Questionable“ und „Operation“ erfaßt. Siehe „5.4.2. Statusregister“.

4.10.4.1 Bei Master-Slave-Betrieb

Für Master-Slave (MS, wo vorhanden) gibt das Register zusätzlich ein Bit (29, „MSS“) heraus, das den sog. Master-Slave-Sicherheitsmodus anzeigt. Dieser wird immer bei einer Störung aktiv, also wenn z.B. der Master einen Slave nicht mehr kontaktieren kann, weil ausgefallen o. ä. Der Master wird daraufhin sich und die noch erreichbaren Slaves DC-seitig ausschalten. Die getrennten Slaves versetzen sich selbst in einen ähnlichen Zustand und schalten ab. Nach Beseitigung der Problemursache muß das MS-System neu initialisiert werden, was u. A. auch das Bit löscht.

4.10.5 Register 650 - 662 (Konfiguration Master-Slave-Betrieb)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	—	—	✓	—	✓	—

Diese Registergruppe dient zur Konfiguration des Master-Slave-Betriebs, kurz: MS. Wenn der MS konfiguriert und initialisiert wurde, verhält sich das MS-System wie ein Einzelgerät. Sprich, die sonst verwendeten Register zum Sollwertesetzen, Gerätezustand lesen und setzen usw. sind dann auch zu benutzen. Für die hardwaremäßige Konfiguration, manuelle Bedienung und Betrieb des MS lesen Sie bitte im Gerätehandbuch nach.

Die ferngesteuerte softwaremäßige Konfiguration des MS setzt voraus, daß die Geräte hardwareseitig (DC, MS-Bus) bereits verbunden wurden. Vor dem MS-Betrieb können auch Slave-Geräte ferngesteuert konfiguriert werden, sind jedoch nach der Initialisierung des MS-System nur noch lesend ansprechbar. Man kann alternativ die komplette Konfiguration des MS-System manuell vornehmen und später, nachdem der Master das System fertig initialisiert hat, die Fernsteuerung übernehmen.

Sofern die Konfiguration noch nicht manuell erledigt wird, muß sie mittels der Register in einer bestimmten Reihenfolge bei jedem Gerät konfiguriert werden:

1. Fernsteuerung aktivieren mit Register 402.
2. Aktivierung des MS mit Register 653.
3. Festlegung, ob die Einheit Master oder Slave sein soll, mit Register 650.

Weitere Schritte nur am Master-Gerät:

4. MS-System initialisieren mit Register 654.
5. (nur bei elektronischen Lasten und wenn Zwei-Quadranten-Betrieb gefahren werden soll)
Gerät als Share-Bus-Slave definieren (weil sonst Master) mit Register 652.
6. (wahlweise) MS-Initialisierung mit Register 655 überprüfen, ob erfolgreich.
7. (wahlweise) Anzahl der tatsächlich durch den Master initialisierten Slaves abfragen mit Register 662 --> sollte die ausgelesene Anzahl nicht mit der geplanten übereinstimmen, so ist die Konfiguration hardwareseitig zu überprüfen und softwaremäßig zu wiederholen.
8. (wahlweise) Nennwerte (Register 656-660) des zuvor initialisierten MS-Systems auslesen, um diese als Referenz für die Umrechnung der Soll-/Istwerte zu verwenden solange MS in Benutzung ist.



Ab Firmware KE 2.13 sind die Register 656, 658 und 660 nicht mehr nötig. Die Nennwerte für Spannung, Strom, Leistung und Widerstand (min, max) sollten daher auch im MS-Modus über die Register 121 - 129 ausgelesen werden. Alternativ kann es trotzdem über die „alten“ Register erfolgen, jedoch ohne den min/max. Gesamtwiderstand des Systems. Das kann umgangen werden, indem die Widerstandswerte vom Master ausgelesen und durch die Anzahl initialisierter Einheiten geteilt werden.

9. (wahlweise) Weitere Werte wie Alarmschwellen, Event-Schwellen oder Einstellungsgrenzen konfigurieren.

Während des MS-Betriebes kann der ferngesteuerte Master wie ein Einzelgerät angesprochen werden, mit ein paar Einschränkungen (siehe Gerätehandbuch). Soll- und Istwerte sind bei ModBus immer Prozentwerte, bezogen auf die aktuell gültigen Nennwerte. Zugriff auf diese Werte über die diversen Register ist in den anderen Abschnitten erläutert.

4.10.6 Register 850 - 6695 (Funktionsgenerator)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	—	—	✓	—	✓	✓	—	—	—

Der interne Funktionsgenerator ist eine sehr komplexe Funktionalität. Er wird über mehrere Register konfiguriert und geladen. Es ist vor der eigentlichen Anwendung einer Funktion auf einen DC-Ausgangs- bzw. DC-Eingangswert eine Konfiguration in einer bestimmten Reihenfolge vorzunehmen.

Zu allererst müssen Sie bestimmen, welcher Funktionsgenerator genau verwendet werden soll: **Arbiträr** oder **XY**. Weitere Funktionen wie z. B. Batteriest oder MPP-Tracking gehören zwar zum Funktionsgenerator, sind aber rein softwaremäßig gelöst. Von dieser Auswahl hängen weitere Schritte ab.



Alle über Fernsteuerung getroffenen Einstellungen bezüglich des Funktionsgenerators, sowie alle in das Gerät geladenen Sequenzen oder XY-Tabellendaten werden nicht im Gerät gespeichert und sind somit nur temporär. Sie müssen vor dem Start einer Funktion immer komplett neu in das Gerät geladen werden. Alle diese Werte und Einstellungen sind andere als die an der Bedieneinheit einstellbaren.

4.10.6.1 Vorgehensweise Arbiträrgenerator

Schritt 1:

Auswahl, ob die Funktion auf die Spannung U (Register 851) oder den Strom I (Register 852) angewendet werden soll. Bevor das nicht erfolgt ist, kann das Gerät keine Sequenzpunktdateien annehmen, weil diese auf Plausibilität überprüft werden, was mittels Gegenprüfung der Sequenzpunktwerte mit den Einstellungsgrenzen des Gerätes geschieht.

Schritt 2:

Startsequenzpunkt (Register 859), Endsequenzpunkt (Register 860), sowie Durchläufe (Register 861) festlegen.

Schritt 3:

Sequenzpunktdateien laden (Register 900 - 2468, pro Sequenzpunkt 8 Werte), beliebige Anzahl, wie benötigt.

Schritt 4:

Obergrenze für den Strom (Register 501, plus 499 für die PSB 9000 Serie) setzen, falls Funktion auf die Spannung angewendet. Ansonsten Obergrenze für die Spannung (Register 500) setzen, falls Funktion auf den Strom angewendet wird. Obergrenze für die Leistung (Register 502, plus 498 für die PSB 9000 Serie) für beide Modi setzen.

Schritt 5:

Funktionsgenerator starten bzw. stoppen (Register 850) bzw. falls nötig noch den DC-Eingang/Ausgang einschalten (Register 405).

Schritt 6:

Zum Verlassen des Funktionsgenerators die Auswahl U (Register 851) bzw. I (Register 582) von Schritt 1 wieder rückgängig machen.

4.10.6.2 Programmierbeispiel Arbiträrgenerator

Bevor Sie den Arbiträrgenerator mit Daten füttern können, sollte überlegt werden, wie man eine Rampe oder Rechteck oder Trapez usw. mit dem Arbiträrgenerator realisieren kann. Wichtig dabei ist, daß der Arbiträrgenerator am Ende des Ablaufs automatisch stoppt. Dabei bleibt der DC-Eingang/Ausgang des Gerätes jedoch an und das Gerät geht wieder in den statischen Modus und setzt die Sollwerte, die global für den Betrieb festgelegt wurden. Die statischen Werte gelten aber auch für den Zeitraum vor dem Start der Funktion, zumindest falls der DC-Eingang/Ausgang vorher schon eingeschaltet ist.

Das mit dem Stopp am Ende und Setzen des statischen Wertes ist für eine Rampe oft nicht gewollt, weil ihr Endwert für eine Zeit x konstant bleiben soll. Der statische Wert wäre auch konstant, soll hier aber u. U. gar nicht wirken. Warum? Angenommen, bei einem Netzgerät soll die Rampe bei 0 V starten. Dann würde man den statischen Wert der Spannung auf 0 V einstellen, den DC-Ausgang einschalten und danach die Funktion ablaufen lassen. Am Ende der Funktion würde das Gerät aber wieder statisch 0 V setzen. Also muß die konstante Spannung am Ende der Rampe zum Teil der Funktion werden. Es ergibt sich daraus, daß die Rampe aus zwei Abschnitten besteht: der ansteigenden bzw. abfallenden Flanke und dem konstanten Wert am Ende. Mittels des Arbiträrgenerators setzt man das mit zwei Sequenzen um.

Annahme: die Rampe soll bei einem Netzgerät einen Spannungsanstieg von 0 V auf 50 V in einer Zeit von 6 s darstellen. Die Endspannung von 50 V soll für 3 Minuten konstant bleiben (die Zeit hier ist beliebig variabel). Die zwei Sequenzen, die wir dazu verwenden, sind Sequenz 1 und 2. Fernsteuerung ist bereits aktiv, es wird zunächst konfiguriert. Da eine Rampe die Spannung linear ansteigen läßt, also nur den DC-Anteil einer Sequenz nutzt, sollten die Parameter die zum hier nicht genutztem AC-Anteil gehören zur Sicherheit alle auf 0 gesetzt werden, damit nicht irgendwelche Restparameter den späteren Ablauf stören können.

Als erstes muß der **Funktionsgenerator-Modus aktiviert** werden (Register 851, Modus U, WSC):

Kopf	FN	Start	Daten	CRC
0x00	0x05	0x0353	0xFF00	0x7DBE

Nun zur Erstellung der **ModBus-Nachricht für die Konfiguration von Sequenz 1, die ansteigende Flanke**. Laut Registerliste ist das Startregister 900 für Sequenz 1 ein WMR-Register (Funktionsnummer 0x10). Da der Datenteil hier im Dokument in der gesamten Breite nicht hereinpaßt, werden die 8 Float-Werte untereinander aufgeführt:

ModBus & SCPI

Kopf	FN	Start	Regs	Bytes	Daten	CRC	Beschreibung
0x00	0x10	0x0384	0x0010	0x20	0x00000000		Startwert AC-Anteil: 0 V
					0x00000000		Endwert AC-Anteil: 0 V
					0x00000000		Startfrequenz AC-Anteil: 0 Hz
					0x00000000		Endfrequenz AC-Anteil: 0 Hz
					0x00000000		Winkel AC-Anteil: 0°
					0x00000000		Startwert DC-Anteil: 0V
					0x42480000		Endwert DC-Anteil: 50V
					0x4AB71B00	0x5A14	Anstiegszeit in µs: 6.000.000 (6 Sekunden)

Jetzt die **ModBus-Nachricht für die Konfiguration von Sequenz 2, die statische Spannung**. Startregister ist hier dann 916:

Kopf	FN	Start	Regs	Bytes	Daten	CRC	Beschreibung
0x00	0x10	0x0394	0x0010	0x20	0x00000000		Startwert AC-Anteil: 0 V
					0x00000000		Endwert AC-Anteil: 0 V
					0x00000000		Startfrequenz AC-Anteil: 0 Hz
					0x00000000		Endfrequenz AC-Anteil: 0 Hz
					0x00000000		Winkel AC-Anteil: 0°
					0x42480000		Startwert DC-Anteil: 50V
					0x42480000		Endwert DC-Anteil: 50V
					0x4D2BA950	0x6AD7	Sequenzzeit in µs: 180.000.000 (180 Sekunden = 3 Minuten)

Dann noch den Arbiträrgenerator konfigurieren:

Kopf	FN	Start	Daten	CRC	Beschreibung
0x00	0x06	0x035B	0x0001	0x384C	Register 859, WSR, Startsequenz: 1
0x00	0x06	0x035C	0x0002	0xC98C	Register 860, WSR, Endsequenz: 2
0x00	0x06	0x035D	0x0001	0xD84D	Register 861, WSR, Sequenzzyklen: 1
0x00	0x06	0x01F5	0xCCCC	0xCC80	Register 501, WSR, globaler Stromsollwert: 100%
0x00	0x06	0x01F6	0xCCCC	0x3C80	Register 502, WSR, globaler Leistungssollwert: 100%



Das Setzen der globalen Sollwerte (Strom, Leistung) auf ihr Maximum oder einen anderen sinnvollen Wert, der die Rampenerzeugung nicht stört, ist immer erforderlich. Das gilt besonders, wenn mehrere Geräte im Master-Slave arbeiten. Dort begrenzen diese Sollwerte auch die Slaves.

Danach ist die Rampenfunktion fertig konfiguriert und kann gestartet werden. Ist der DC-Ausgang noch aus, wird er durch den Start des Funktionsgenerators automatisch eingeschaltet. Alternativ kann das auch vorher mit dem entsprechenden Befehl geschehen, was hier aber nicht nötig ist, weil bei 0 V gestartet wird. Soll eine Funktion bei einem Wert ungleich 0 starten, muß der DC-/Ausgang vorher schon eingeschaltet sein.

Bei der Anzahl der Durchläufe reicht 1x. Das kann aber nach Belieben geändert werden. Dann würde die Funktion nach 3 m 6 s mindestens einmal erneut ablaufen. Die Spannung würde jedoch nicht schlagartig von 50 V auf 0 V absinken können, so wie für die steigende Flanke gefordert. Die zweite und weitere Rampen sähen dann etwas unförmiger aus. Um das zu verhindern, könnte eine dritte Sequenz programmiert werden, die der Spannung einfach eine gewisse Zeit gibt, um wieder auf 0 zu sinken. Wie schnell die Spannung sinkt hängt in erster Linie von der Belastung am DC-Ausgang ab.

Kopf	FN	Start	Daten	CRC	Erläuterung
0x00	0x05	0x0352	0xFF00	0x2C7E	Register 850, WSC, Funktionsablauf starten

4.10.6.3 Vorgehensweise XY-Generator

Schritt 1:

Auswahl des Modus' des XY-Generators über folgende Register:

Modus	Serie PSB 9000	Alle anderen Serien mit XY-Generator
UI	nicht verfügbar	854
IU	856	855
Einfache PV (nur Netzgeräte)	856	426
FC (nur Netzgeräte)	856	854 (als UI-Modus)

Schritt 2:

Tabellendaten in 256 Blöcken mit 16 Werten (Register 2600 - 6695) laden. Das entspricht 4096 Werten und einem Meßbereich von 0-125% U_{Nenn} oder I_{Nenn} . Es können auch weniger Werte geladen werden, z. B. von 0-100% dann 3277 Werte. Alle nicht gesetzten Tabellenwerte entsprechen 0 V oder 0 A.

Schritt 3:

Dieser Schritt war nur in älteren Firmwareständen erforderlich. Es gilt: wenn in der dem älteren Stand entsprechenden Registerliste das Register 858 noch aufgeführt ist, muß es verwendet werden

Tabellendaten übernehmen (Register 858).

Schritt 4:

Die statischen Sollwerte setzen, die nicht durch die Tabelle selbst bestimmt werden.

UI-Tabelle: Strom (Register 501 bzw. CURR-Befehl) und Leistung (Register 502 bzw. POW-Befehl).

IU-Tabelle: Spannung (Register 500 bzw. VOLT-Befehl) und Leistung (Register 502 bzw. POW-Befehl).

Schritt 5:

Funktionsgenerator starten indem der DC-Eingang/Ausgang eingeschaltet (Register 405). Bei einer PV-Funktion zusätzlich während des Funktionsablaufs über den Stromsollwert (Register 501) die Beschattung variieren, falls benötigt. Dabei entsprechen 100% Stromsollwert einen Faktor von 1 und 0% einem Faktor von 0. Dieser Faktor wird mit dem Stromwert I_{MPP} des MPP des simulierten Solarpaneels multipliziert, der irgendwo auf der PV-Kurve sitzt, die in Schritt 2 geladen wurde.

Schritt 6:

Zum Verlassen des Funktionsgenerator die in Schritt 1 getroffene Moduswahl mit denselben Registern rückgängig machen.

4.10.7 Register 850 - 1692 (Sequenzgenerator)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3
—	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Der sogenannte Sequenzgenerator der ELR/ELM 5000 Series ist eine vereinfachte Version des Arbiträrgenerators anderer Serien und belegt daher zum Teil dieselben Register. Gemäß der Registerliste für Serie ELR 5000 werden über den Registerbereich 850 bis 1692 die 100 Sequenzpunkte der „Sequenz“ konfiguriert, sowie der Sequenz-generator selbst konfiguriert und gesteuert.

4.10.8 Register 850 - 854 und 900 - 908 (Funktionsgenerator EL 3000 B)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	—	—

Der Funktionsgenerator der in 2017 neu veröffentlichten Serien EL 3000 B basiert auf einem Rampengenerator und bietet daher die Funktionen Rampe, Dreieck, Rechteck und Trapez. Es werden hier teils dieselben Register wie bei anderen Serien verwendet, aber mit unterschiedlicher Verwendung.

4.10.8.1 Programmierbeispiel

Angenommen, Sie möchten bei einer EL 3080-60 B ein Rechteck mit 50 Hz auf den Strom anwenden, bei einer Amplitude von 8 A und einem Offset von 1 A. Das Rechteck soll ein Tastverhältnis von 9:1 haben. Es wäre zur Konfiguration laut Registerliste folgende Register in der Reihenfolge von oben nach unten zu laden:

Register	Name	Verwendung
852	Wähle I	Funktionsgenerator auf den Strom anwenden. Muß als erstes gesetzt werden, damit das Gerät die nachfolgenden Parameter gegenprüfen kann.
900	Statischer Pegel 1	Offset, soll auf 1 A gesetzt werden. Das wäre als hexadezimaler Prozentwert 0x369
901	Statischer Pegel 2	Amplitude + Offset, soll auf 9 A gesetzt werden, also 0x1EB1
902 / 906	Anstiegszeit / Abfallzeit	Da es ein Rechteck werden soll, wäre die Zeit eigentlich auf 0 zu setzen, aber 3 µs sind das Minimum. Also eine 3 als Fließkommazahl setzen.
904	Haltezeit Pegel 2	Entspricht den 90% Pulsdauer. Bei 50 Hz ist die Periode 20 ms, also sind 90% dann 18 ms bzw. 18000 µs. Das Register wird mit einer Fließkommazahl von 18000 beschrieben.
908	Haltezeit Pegel 1	Entspricht den 10% Pulsdauer. Bei 50 Hz ist die Periode 20 ms, also sind 10% dann 2 ms bzw. 2000 µs. Das Register wird mit einer Fließkommazahl von 2000 beschrieben.

Nach dem Setup kann bereits gestartet werden.

Register	Name	Verwendung
850	Start / Stop	Funktionsgenerator starten mit 0xFF00. Er läuft mit den eingestellten Parametern solange bis durch Senden von 0x0000 oder einen Gerätealarm gestoppt.

Dieser FG ist eine Ausnahme, denn er kann neue Werte übernehmen während er läuft. Diese können über Register 900 - 908 umdefiniert werden und erst beim Schreiben auf Register 854 werden sie aktiv bzw. erst nach Ablauf der gegenwärtigen Periode, die durch die vorher gültigen Zeitwerte festgelegt wurde. Man kann eine Periode so nicht mittendrin stoppen, um eine andere zu fahren. Das geht nur über Stopp des FG.

Register	Name	Verwendung
854	Übernahme neue Werte zur Laufzeit	Die zuvor geschriebenen Daten mit 0xFF00 übernehmen. Sollten noch keine neuen geschrieben worden sein, bleiben die alten gültig.

4.10.9 Register 9000 - 9009 (Einstellgrenzen)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3
✓	✓	✓	✓	—	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Für SCPI sind die Einstellgrenzen in „5.4.8. Befehle für Einstellgrenzen“ erläutert. ModBus-Anwender sollten den Abschnitt jedoch auch lesen, weil die generelle Handhabung der Einstellgrenzen erläutert wird. Ansonsten ist das Setzen dieser Parameter wie bei den Sollwerten U, I, P und R.

4.10.10 Register 10007 - 10900

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3
✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Diese Register dienen der ferngesteuerten Konfiguration der verschiedenen digitalen Schnittstellen, die teils serienmäßig eingebaut, teils optional für die genannten Serien erhältlich sind. Diese Register sind verknüpft mit den über die Bedieneinheit einstellbaren Parametern.

Im Gegensatz zur manuellen Bedienung kann bei den steck- und nachrüstbaren Schnittstellenmodulen der IF-AB-Serie (für Serie PSI 9000 3U usw.) die ferngesteuerte Konfiguration bereits stattfinden, wenn das Modul noch nicht installiert ist.

4.10.11 Register ab 11000 (MPP-Tracking)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3
✓	✓	—	—	—	—	—	✓	—	—	✓	✓	—	—

Das Feature MPP-Tracking wird nur von bestimmten Serien elektronischer Lasten bzw. auch vom bidirektionalen Netzgerät PSB 9000 unterstützt. Mit dieser Funktion simuliert das Gerät als Senke das Verhalten eines Solarwechselrichters, wenn er das typische Suchen nach dem MPP (maximum power point) an einem Solarpaneel ausführt.

Einzelheiten über dieses Features und dessen Modi sind in den Handbüchern der Geräteserien zu finden, die MPP-Tracking unterstützen.

Register 11000 - 11016 sind verknüpft mit den Konfigurations-Parametern wie man sie auch in der Anzeige des Gerätes einstellen könnte. Register 11100 - 11199 entsprechen der Funktion „Spannungswerte von USB-Stick“ laden, wie man es bei manueller Bedienung für Modus MPP4 tun könnte, während die Register 11200 - 11499 der Funktion „Resultatdaten auf USB-Stick speichern“ entsprechen, wie sie verfügbar werden, wenn Modus MPP4 fertig ist mit seinem Durchlauf.

4.10.11.1 Programmierbeispiel für Modus MPP4

Modus MPP4 ist in allen der o. g. Serien per Fernsteuerung verfügbar, jedoch nicht bei allen auch am HMI und deshalb nicht im Handbuch beschrieben. Wenn weitere Informationen zu diesem Modus benötigt werden, z. B. in das Handbuch der Serie EL 9000 B 3U schauen. Die Tabelle unten zeigt die Reihenfolge der zu schreibenden Register auf. Es werden hier 75 Punkte auf der benutzerdefinierbaren Kurve geladen.

Register	Name	Verwendung
11000	Wähle MPP4	Funktionsgenerator auf Modus MPP4 setzen.
11000 - 11174	Kurvendaten laden	75 Spannungswerte auf einer benutzerdefinierbaren (PV) Kurve laden. Die nächsten beiden Schritte definieren zudem den Bereich an Punkten für den späteren Durchlauf. Sollte ein Punkt angefahren werden, der nicht vom Anwender geladen wurde, wird für diesen 0 V gesetzt.
11015	Endpunkt setzen	Definiert den letzten Punkt für den Durchlauf. Beliebiger Wert zwischen 1 und 100. Da der Startpunkt nicht größer sein kann als der Endpunkt, wird der Endpunkt zuerst gesetzt.
11014	Startpunkt setzen	Definiert den ersten Punkt für den Durchlauf. Beliebiger Wert zwischen 1 und dem Endpunkt. Kann nicht größer sein als der Endpunkt.
11013	Trackingintervall	Definiert die Zeit (in Millisekunden) zwischen zwei Punkten der Kurve.
11016	Wiederholungen	Definiert die Anzahl der zusätzlichen Durchläufe. Die später auslesbaren Ergebnissen enthalten immer nur die Meßwerte des letzten Durchlaufs. Wenn die Kurve nur einmal durchlaufen werden soll, wäre hier 0 zu setzen.
11010	Tracking starten	Nach dem Start beginnt das Gerät mit dem ersten Punkt aus dem gesetzten Bereich, läuft alle Punkte und Wiederholungen durch und stoppt dann. Die Gesamtzeit ergibt aus dem Trackingintervall, dem Punktebereich und den Durchläufen. Der Test kann jederzeit über dieses Register wieder gestoppt werden. Die bis dato ermittelten Daten werden dann verfügbar.
11011	Status auslesen	optional: Dient während des Tests zur Ermittlung, wann er beendet ist.
11012	Fehler auslesen	optional: Dient während oder nach dem Test zur Ermittlung, ob der Test an sich erfolgreich beendet wurde.

4.10.12 Register ab 11500 (Batterietest)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3
✓	—	—	—	—	—	—	✓	—	—	✓	✓	—	—

Geräteserien, deren Modelle als elektronischen Last arbeiten können, wie z. B. EL 9000 B oder PSB 9000, haben eine am Gerät bedienbare Batterietestfunktion, die durch ein Firmware-Update auch auf Geräte mit älteren Firmwareständen gebracht werden kann. Mit Stand 04.2019 bieten die oben gelisteten Serien diese Batterietestfunktion. Diese Funktion ist per Fernsteuerung konfigurier- und steuerbar.

Wie auch bei der manuellen Bedienung am HMI gibt es in der Fernsteuerung zwei Modi, statisch und dynamisch. Die benötigten Parameter für beide Modi werden getrennt vorgegeben, Steuerung sowie Auswertung nach Testende ist für beide gleich. Die Register sind auch hier verknüpft mit den sonst am HMI einstellbaren Werten. Daher wird empfohlen, zunächst den Abschnitt zum Batterietest im Handbuch des Gerätes zu lesen. Hier nur eine kurze Übersicht:

Register	Verwendung
11535	Aktivierung des Batterietest-Modus' und wählt statischen oder dynamischen Strom(modus)
11500 - 11513	Konfiguration des statischen Batterietest-Modus'.
11514 - 11531	Konfiguration des dynamischen Batterietest-Modus'.
11532 - 11534	Steuerung des Testablaufs
11536 - 11540	Auswertung (Zeit, Ah, Wh)

4.10.13 Register ab 12000 (PV-Simulation nach DIN EN 50530)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3
—	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	✓	—	—	—

PV-Simulation wird generell nur von Netzgeräte-Serien unterstützt und dabei nur jenen, die einen sog. XY-Generator haben. Das sind mit Stand 04/2019):

- PSI 9000 2U
- PSI 9000 3U
- PSI 9000 WR 3U
- PSB 9000 / PSB 10000


Die Variante nach DIN EN 50530 ist eine erweiterte Version der bisherigen PV-Simulation und wird von den Geräten ab Firmware KE 2.19/HMI 2.11 (PSI) bzw. KE 2.25/HMI 2.04 (PSB) unterstützt. Alle über die Register einstellbaren Parameter sowie die auslesbaren Daten sind in der Norm definiert, werden dort beschrieben und daher ist die Norm für den Anwender die Referenz zum Gebrauch der Funktion.

Die Vorgehensweise bei der Programmierung über die kompatiblen Schnittstellen ist bei Verwendung des ModBus-Protokolls nicht anders als bei manueller Bedienung (siehe Geräte-Handbücher) oder bei Verwendung des SCPI-Protocols (siehe Beispiele im Abschnitt „5.5.3. Programmier-Beispiele zur PV-Simulation (DIN EN 50530)“). Die dortigen Beispiele enthalten je eine Spalte mit der zugehörigen ModBus-Registernummer. Von diesen Beispielen das Beispiel 2 als Umsetzung für ModBus RTU (prozentuale Sollwerte umgerechnet für ein PSI 9080-170):

Konfiguration (vor dem Start)

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	00 05 01 92 FF 00 2D FA	Fernsteuerung aktivieren
2	00 06 2E E1 00 03 91 04	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus DAYET
3	00 06 2E F0 00 00 81 00	Technologie wählen: Manuell (alle erforderlichen Technologie-Parameter müssen angegeben werden)
4	00 10 2F 02 00 02 04 3F 4C CC CD F7 ED	Füllfaktor Spannung (FF_U): 0,8
5	00 10 2F 04 00 02 04 3F 47 AE 14 EE FF	Füllfaktor Strom (FF_I): 0,78
6	00 10 2F 06 00 02 04 39 9D 49 52 84 57	Temperaturkoeffizient α zu I_{SC} : 0,0003 /°C
7	00 10 2F 08 00 02 04 BB 44 9B A6 A1 7F	Temperaturkoeffizient β zu U_{OC} : -0,003 /°C
8	00 10 2F 0A 00 02 04 3D 94 7A E1 00 75	Korrekturfaktor C_U zu U_{OC} : 0,0725
9	00 10 2F 0C 00 02 04 39 66 AF CD 7F D1	Korrekturfaktor C_R zu U_{OC} : 0,00022 m²/W
10	00 10 2F 0E 00 02 04 3B 4E 70 3B A7 CE	Korrekturfaktor C_G zu U_{OC} : 0,00315 W/m²
11	00 05 2E F1 FF 00 D5 30	Eingabemodus wählen: ULIK
12	00 06 2F 10 61 47 E8 A8	Leerlaufspannung setzen: 38 V (=0x6147)
13	00 06 2F 11 08 6F 97 26	Kurzschlußstrom setzen: 7 A (=0x086F)
14	00 05 2E F2 FF 00 25 30	Datenaufzeichnung aktivieren
15	00 05 2E E5 00 00 D4 C4	Interpolation der Tagesdaten deaktivieren
16	00 06 01 F4 61 47 A1 B7	Globalen Spannungssollwert setzen: $\geq U_{OC}$ (=0x6147)
17	00 06 01 F6 CC CC 3C 80	Globalen Leistungssollwert setzen: 100% (= 0xCCCC)

Tagesdaten laden (vor dem Start)

Nr.	Befehl	Beschreibung
18	00 05 2E E6 FF 00 65 34	Zugriffsmodus Schreiben wählen
19	00 05 2E E7 FF 00 34 F4	Alte Daten löschen (sollte immer vor dem Laden neuer Daten ausgeführt werden)
20	00 10 2E EA 00 06 0C 00 00 00 01 44 44 66 66 00 00 03 E8 88 8A	Ersten Tages-Datensatz schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 500 W/m² (=0x4444) Temperatur: 20°C (=0x6666) Verweildauer: 1000 ms (=0x000003E8)
		 Die Verweildauer ist zwar auf minimal 500 ms definiert, der Wert für den ersten Tagesdatensatz muß 1000 ms oder höher betragen, sonst könnte der Ablauf fehlschlagen.

ModBus & SCPI

Nr.	Befehl	Beschreibung
21	00 10 2E EA 00 06 0C 00 00 00 02 6D 3A 74 0D 00 00 05 DC E4 C3	Zweiten Tages-Datensatz schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 800 W/m ² (=0x6D3A) Temperatur: 28°C (=0x740D) Verweildauer: 1500 ms (=0x000005DC)
...		Weitere Tages-Datensätze schreiben, insgesamt 500
519	00 10 2E EA 00 06 0C 00 00 01 F4 A3 D6 7F FF 00 00 4E 20 34 AF	500. Tagesdaten-Satz schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 1200 W/m ² (=0xA3D6) Temperatur: 35°C (=0x7FFF) Verweildauer: 20000 ms (=0x000034AF)

Steuerung, auch während der Simulation

Nr.	Befehl	Beschreibung
520	00 05 2E E6 FF 00 65 34	Simulation starten -> die Simulation läuft ab und stoppt automatisch nach der Gesamtzeit, die sich aus den Verweildauern aller geladenen Tages-Datensätze ergibt



Während die Simulation läuft, wird der Indexzähler in Register 12010 mit jedem angefahrenen Tagesdatenpunkt aktualisiert, so daß man ihn auslesen und die Simulation ggf. an einem bestimmten Index abbrechen kann oder nach einem unerwarteten Stopp durch z. B. einen Gerätealarm ermitteln, an welchem Punkt die Kurve gestoppt wurde.

Auswertung nach dem Ende der Simulation

Nr.	Befehl	Beschreibung
521	00 03 2E F4 00 02 8D 00	Anzahl (n) der aufgezeichneten Datensätze ermitteln. Die Anzahl ist nicht gleichbedeutend mit der Anzahl der Tages-Datensätze, weil die Aufzeichnung kontinuierlich alle 100 ms aufzeichnet. Je nach Gesamtdauer der Simulation könnte der Aufzeichnungsspeicher vollgelaufen (max. 16 h Aufzeichnungsdauer) und Daten überschrieben worden sein. Es kann daher notwendig werden, vor dem Start die Gesamtdauer aus den Tages-Datensätzen zu ermitteln und die aufgezeichneten Daten bereits während der Simulation auszulesen, den Speicher zu löschen und später den Rest auszulesen.
522	00 10 2E F6 00 02 04 00 00 00 01 6C 5C	Index 1 anwählen zum Auslesen
523	00 03 2E F8 00 08 CD 04	Daten von Index 1 auslesen
...		Weitere n-1 Datensätze auslesen:

5. SCPI-Protokoll

SCPI ist ein internationaler Standard für eine klartextbasierte Befehlssprache. Näheres zum Standard selbst finden Sie im Internet.

5.1 Format der Soll- und Istwerte

Bei SCPI werden alle Werte immer als **reale Werte** dargestellt, mit oder ohne Einheit. Wenn Sie z. B. den Eingangsstrom auf 177,5 A festlegen möchten, dann könnte das mit dem Befehl **CURR 177.5** oder mit **CURR 177.5A** geschehen. Eine genauere Erläuterung der Syntax finden Sie unten.

5.2 Syntax

Spezifikation nach „1999 SCPI Command reference“.

Folgende Formate für Werte und Parameter können in Befehlen bzw. Antworten auftreten:

<value>	Der Zahlenwert entspricht dem Zahlenformat im Display des Gerätes und ist abhängig von den Nennwerten des Gerätes. Es gilt: - Der Wert wird vom voranstehenden Befehl immer mit einem Leerzeichen getrennt eingeben - Anstatt eines Zahlenwertes können alternativ eingegeben werden:
MIN	Entspricht dem Minimalwert des Parameters
MAX	Entspricht dem Maximalwert des Parameters
<NR1>	Zahlenformat ohne Dezimalpunkt
<NR2>	Zahlenformat mit Dezimalpunkt (Fließkomma)
<NR3>	Wie <NR2>, aber plus Größenordnung (Kilo, Milli etc)
<NRf>	<NR1> oder <NR2> oder <NR3>, negatives Vorzeichen möglich
Unit	V (Volt), A (Ampere), W (Watt), OHM, s (Sekunden)
<CHAR>	0..255: Dezimalzahl
<+INT>	0..32768: positive Integerzahl (Ausgabe)
<B0>	1 oder ON: Funktion wird eingeschaltet 0 oder OFF: Funktion wird ausgeschaltet
<B1>	NONE: lokaler Betrieb, eine Umschaltung auf Fernbedienung ist möglich LOCAL: nur lokaler Betrieb möglich, Auslesen von Daten ist zulässig REMOTE: Fernbedienung des Gerätes ist aktiviert
<ERR>	Fehlernummer (-800 bis 399) und Fehlerbeschreibung
<SRD>	Stringdaten, verschiedene Formate: - eine IP-Adresse als Zahlenstring mit Punkten als Trennzeichen, z. B. „192.168.0.2“ - Schlüsselwörter, wie z. B. AUTO oder OFF
<Time>	[s][s].[s][s][s][s][s][s] / Standardformat ist Sekunden
;	Das Semikolon wird verwendet, um innerhalb einer Message mehrere Befehle zu senden.
:	Der Doppelpunkt trennt höherwertige Schlüsselwörter von niederwertigeren Schlüsselwörtern
[]	Kleinbuchstaben und der Inhalt in rechteckigen Klammern sind optional.
?	Das Fragezeichen kennzeichnet eine Abfrage. Die Abfrage kann gleichzeitig mit einer Datensendung verknüpft werden. Hierbei ist darauf zu achten, daß, bevor eine neue Datensendung erfolgt, die Antwort des Systems abgewartet werden muß.
->	Antwort vom Gerät

5.2.1 Befehlsverkettung

Es ist möglich, bis zu fünf (5) Befehle auf einmal an das Gerät zu schicken. Zur Erkennung ist ein Trennzeichen, das Semikolon (;) zu verwenden. Beispiel:

VOLT 80;CURR 20;POW 3kW

Befehle werden in der gesendeten Reihenfolge verarbeitet und, sofern der Ausgang/Eingang des Gerätes eingeschaltet ist, auch sofort aktiv. Die Reihenfolge der Sollwerte kann daher von Bedeutung sein bzw. ob sie bei Eingang/Ausgang = aus oder = ein gesendet werden. Wenn mehrere Werte oder Parameter auf einmal angefragt werden, kommen diese auch zusammen in einer Antwort, in der angefragten Reihenfolge und auch dann durch Semikolons getrennt zurück.

5.2.2 Groß-/Kleinschreibung

Bei SCPI ist Großschreibung üblich. Die Geräte akzeptieren jedoch auch Kleinschreibung.

5.2.3 Langform und Kurzform

SCPI-Befehle haben immer eine Lang- und eine Kurzform. Die Kurzform (z. B. SOUR) oder die Langform (z. B. SOURCE) sind beliebig verwendbar. Um die beiden Formen zu unterscheiden sind nachfolgend die Befehle teils mit Großbuchstaben (markiert die Kurzform) und Kleinbuchstaben geschrieben (markiert den zusätzlichen Teil der Langform).

5.2.4 Abschlußzeichen

Manche Schnittstellen erfordern zwingend ein Abschlußzeichen, andere (z. B. USB) nicht. Bei diesen kann es optional gesendet werden, damit Steuerungssoftwares über verschiedene Schnittstellen hinweg kompatibel bleiben. Bei Geräten mit der optionalen GPIB-Schnittstelle (3W) muß immer ein Abschlußzeichen gesendet werden, ansonsten für das zu einem Kommunikations-Timeout auf der PC-Seite.

Unterstützt wird: **0xA** (LF, line feed)

Bei Verwendung von SCPI über Ethernet ist es ab einer bestimmten KE-Firmwareversion erforderlich, das o.g. Abschlußzeichen anzuhängen.



Serie	Firmwareversion
ELR 9000 / ELR 9000 HP	KE 2.22
PSI 9000 2U - 24U	KE 2.22
PSB 9000 / PSB 9000 Slave	KE 2.22
PSBE 9000	KE 2.22
PSE 9000	KE 2.22

Das kann bedeuten, daß bei einem Update von einer Version kleiner als die genannte auf die genannte oder höher eine selbst erstellte Software zunächst nicht mehr funktionieren könnte.

5.2.5 Fehlermeldungen

Fehlermeldungen im Sinne von SCPI sind nur Kommunikationsfehler. Gemäß IEEE-Standard melden Geräte bei Kommunikation über SCPI Fehler nicht automatisch zurück. Der oder die möglicherweise aufgetretenen Fehler müssen per Befehl abgefragt werden. Das kann direkt über Abfragebefehle (siehe 5.4.5.4) oder indirekt (Signal „err“ im Register STB, siehe „5.4.2. Statusregister“) geschehen.

Das Antwortformat ist im Standard vorgegeben und besteht immer aus einer Zahl (Fehlercode) und einem kurzen, erläuternden Text. Folgende SCPI-Fehler können generiert werden:

Fehlercode / Fehlertext	Beschreibung
0, "No error"	Kein Fehler
-100, "Command error"	Befehl unbekannt
-102, "Syntax error"	Befehl nicht richtig geschrieben
-108, "Parameter not allowed"	Der Befehl wurde mit einem Parameter gesendet, obwohl dieser Befehl keine verwendet
-200, "Execution error"	Befehl konnte nicht ausgeführt werden
-201, "Invalid while in local"	Ein Steuerungsbefehl konnte nicht ausgeführt werden, weil sich das Gerät im LOCAL-Modus befindet
-220, "Parameter error"	Falscher Parameter wurde verwendet
-221, "Settings conflict"	Befehl konnte wegen des gegenwärtigen Zustandes des Gerätes nicht ausgeführt werden (Gerät ist im MENU o. ä.)
-222, "Data out of range"	Parameter konnte nicht gesetzt werden, weil er eine Grenze überschritt
-223, "Too much data"	Zu viele Parameter pro Befehl oder zu viele Befehle auf einmal
-224, "Illegal parameter value"	Es wurde ein Parameter vorgegeben, der für den Befehl nicht definiert ist
-999, "Safety OVP"	Der Alarm Safety OVP wurde ausgelöst (nur bestimmte Modelle), siehe Handbuch der Geräte. Erfordert, die Geräte auszuschalten und neu zu starten.

5.3 Beispiele zum Einstieg

5.3.1 Ping

Um zu testen, ob das anzusprechende Gerät überhaupt reagiert, könnte man immer als erstes die Geräteerkennung abfragen:

Protokoll	Befehl
SCPI	*IDN?

Als Antwort sollte das Gerät sofort senden (Beispiel):

Protokoll	Beispielantwort
SCPI	EA Elektro-Automatik GmbH&Co.KG, EL 9080-340, 1240210002, V2.14 14.05.2018 V2.24 04.06.2018 V1.6.5

5.3.2 Fernsteuerung aktivieren oder beenden

Bevor Sie das Gerät fernsteuern können, ist Umschalten auf digitalen Fernsteuerbetrieb mittels eines entsprechenden Befehls erforderlich. Siehe Dokumentation der einzelnen SCPI-Befehle unten.



Das Gerät schaltet sich niemals automatisch in den Fernsteuerbetrieb und kann ohne diesen nicht ferngesteuert werden. Auslesen von Istwerten und Status ist jedoch immer möglich.



Das Gerät verläßt die Fernsteuerung niemals automatisch, außer es wird während des Fernsteuerbetriebs ausgeschaltet oder es tritt ein Netzausfall auf. Die Fernsteuerung kann per Befehl beendet bzw. manuell am Gerät abgebrochen werden.

Das Umschalten auf Fernsteuerung kann durch folgende bestimmte Umstände blockiert sein und wird durch Ablegen eines abfragbaren Fehlerstrings quittiert, jedoch zunächst ohne den Anwender zu benachrichtigen:

- Es ist Zustand „**Lokal**“ aktiv (siehe Anzeige auf der Front), der jegliche Fernsteuerung verhindert
- Es ist bereits Fernsteuerung über eine andere Schnittstelle aktiv
- Das Gerät befindet sich im Setup-Modus (Einstellmenü aktiv)

► So schalten Sie das Gerät in die Fernsteuerung:

1. Wenn Sie die SCPI-Befehlssprache verwenden, schicken Sie den Textbefehl:
SYST:LOCK_1 oder SYST:LOCK_ON

Fernsteuerung kann auf zwei Arten beendet werden: per Befehl oder durch Sperrung derselbigen am Bedienfeld des Gerätes. Da es hier um Programmierung geht, wird die erstgenannte Möglichkeit betrachtet.

► So beenden Sie die Fernsteuerung:

1. Wenn Sie die SCPI-Befehlssprache verwenden, schicken Sie den Textbefehl:
SYST:LOCK_0 oder SYST:LOCK_OFF

5.4 Befehlsgruppen

Befehlsgruppen sind der Zuordnung zu Gerätefunktionen nach sortiert. Nicht alle Geräteserien haben die gleiche Anzahl von Befehlen zur Verfügung, was in der erster Linie von der Ausstattung abhängig ist. Unten wird bei den einzelnen Befehlen jeweils angezeigt, in welcher Geräteserie Sie verfügbar sind. Beispiel:

ELR9	PS9	PSI9	PSI5
✓	—	✓	—

Für die Kürzel siehe „1.1.2. Geltungsbereich“. Wobei

- ☒ bedeutet, der Befehl oder eine Befehlsgruppe wird ganz oder teilweise von der Geräteserie unterstützt.
- ☐ bedeutet, der Befehl oder eine ganze Befehlsgruppe wird von der Geräteserie nicht unterstützt.

5.4.1 Standard-IEEE-Befehle

In Anlehnung an GPIB und den Standard IEEE 488 wurden einige Standardbefehle implementiert, die in allen unseren Geräten verfügbar sind, die SCPI unterstützen.

5.4.1.1 *CLS

Löscht die Fehler-Queue und das Statusbyte (STB).

5.4.1.2 *IDN?

Returniert den Beschreibungsstring des Gerätes, der kommagetrennt folgendes enthält:

1. Hersteller
2. Gerätebezeichnung
3. Seriennummer
4. Firmwareversion(en) des Gerätes (falls mehrere, dann mit Leerzeichen getrennt)
5. Benutzertext (wie per SCPI-Befehl `sys:config:user:text` definierbar)

5.4.1.3 *RST

Setzt das Gerät auf folgenden definierten Zustand, falls Fernsteuerung nicht durch das Gerät blockiert ist:

1. Fernsteuerung einschalten (identisch zu `SYST:LOCK 1`)
2. DC-Eingang/Ausgang = aus
3. Alarmspeicher leeren
4. Zustandsregister löschen (QUEStionable Event, OPERation Event, STB)

5.4.1.4 *STB?

Der Befehl liest das SStatus Byte Register aus. Der Signallauf für die diversen Gerätezustände und Ereignisse ist im Registerdiagramm unten dargestellt. Die Bits des STB im Einzelnen:

Bit 0: nicht verwendet

Bit 1: nicht verwendet

Bit 2: *err*, Error Queue --> es sind ein oder mehrere Fehler im Fehlerspeicher. Durch Auslesen des Fehlerspeichers oder Befehl *CLS wird dieser gelöscht und das Bit *err* zurückgesetzt

Bit 3: *ques*, Questionable Status Register ist aktiv (ein oder mehrere Ereignisse stehen an)

Bit 4: nicht verwendet

Bit 5: nicht verwendet

Bit 6: nicht verwendet

Bit 7: *oper*, Operation Status Register ist aktiv (ein oder mehrere Ereignisse stehen an)

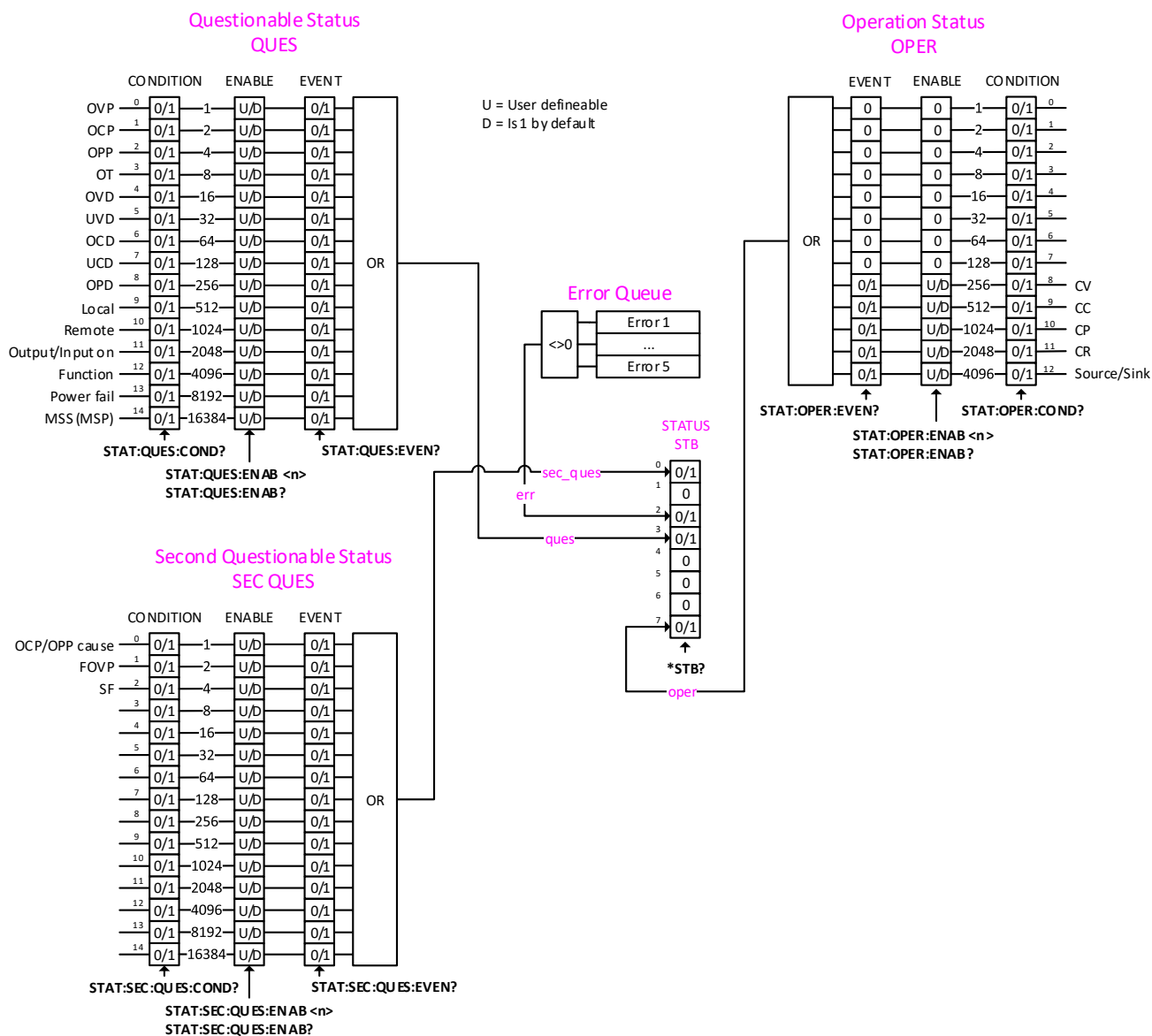
5.4.2 Statusregister

Es gibt nicht für alle erfaßbaren Gerätezustände einzelne SCPI-Befehle, daher werden einige Zustände in den Bits von abrufbaren Statusregistern gesammelt. Dazu könnte man z. B. regelmäßig das Statusbyte (STB) abfragen (Polling), um festzustellen, ob Ereignisse in den anderen, abfragbaren Registern erfaßt wurden.

Alternativ könnte man die diversen Statusregister direkt regelmäßig abfragen und auswerten. Der Unterschied hierbei wäre dann aber, daß man selbst herausfinden müßte, ob sich in den Registern ein oder mehrere Bits geändert haben. Das erledigen die Ereignisbits im STB aber bereits. Bleiben sie 0, hat sich nichts ereignet.

Nachdem ein Bit im STB signalisiert, daß sich im QUES oder OPER ein Zustand geändert hat, sollte man bei den Registern OPER und QUES das zugehörige Event-Register auslesen, um zu wissen, welches Bit bzw. welche Bits des Condition-Registers sich verändert haben.

Statusregistermodell:



Ereignisse (Events) in den Event-Registern STAT:QUES:EVENT und STAT:OPER:EVENT zeichnen nur PTRs (positive Transition) auf, d. h. den Wechsel von 0 nach 1



Nicht alle Geräte melden die gleiche Anzahl Status in die Register. Faustregel: Bietet ein Gerät das Event „UCD“ (Unterstromerfassung) nicht zum Einstellen und zur Signalisierung in der Anzeige des Gerätes oder anderswo, dann ist das entsprechende Bit im Register immer 0. Welche Features Ihr Gerät genau hat, entnehmen Sie bitte dem Handbuch des Gerätes.



Gerätealarme wie OVP werden über die Subregister **CONDITION** und **EVENT** erfaßt, müssen nach dem Auslesen von **CONDITION** aber separat bestätigt werden. Das geschieht durch Abfrage von Fehlern mit **SYST:ERR?** oder **SYST:ERR:ALL?**, was als Bestätigung der Kenntnisnahme des Alarms gilt und das jeweilige Bit in **CONDITION** löscht. Bestätigte Alarme können später nur als Alarmzähler vom Gerät abgefragt werden (wo unterstützt, erfordert ggf. ein Firmwareupdate). Daher sollte die Erfassung von Alarmen regelmäßig erfolgen und **STAT:QUES?** stets vor einem **SYST:ERR?** abgefragt werden.



Nur 60 V-Modelle (aktuell Serien **PSB 9000**, **PSBE 9000** und **PSI 9000 WR**): der bei diesen Modellen zusätzlich vorhandene Alarm "Safety OVP" (**SOVP**) wird nicht als separates Bit in das Statusregister gegeben, sondern er wird bei Auftreten als gleichzeitige Signalisierung von Alarm **PF** (**STAT:QUES** Bit 13) und Alarm **OVP** (**STAT:QUES** Bit 0) abgebildet. Zusätzlich wird der nicht löschbare Fehler -999 in die Error Queue gelegt. Ein **SOVP**-Alarm kann nur durch Aus- und Wiedereinschalten des Gerätes gelöscht werden.

5.4.2.1 STATus:QUEStionable?

Liest das Questionable Status **EVENT** oder **CONDITION** Register aus. Zurückgegeben wird ein dezimaler 16 bit-Wert, dessen einzelne Bits Gerätezustände gemäß des Registermodells in 5.4.2 melden.

Abfrageform 1: STATus:QUEStionable:CONDition?

Abfrageform 2: STATus:QUEStionable:EVENT?

Abfrageform 3: STATus:QUEStionable?

Beispiele:

STAT:QUES? --> 3072 Liest das Event-Register. Der Wert gibt an, daß Bits 10 und 11 gesetzt sind und gemäß Registermodell sagt das aus, daß Fernsteuerung aktiv ist, sowie der Ausgang/Eingang eingeschaltet ist.

STAT:QUES:COND? Liest das Condition-Register des Questionable Status Registers aus. Der Wert enthält den aktuellen Zustand diverser Status-Bits

5.4.2.2 STATus:QUEStionable:ENABLE_<NR1>

Setzt oder liest das Enable-Register des Questionable Status Registers. Das Enable-Register ist ein Filter, eine Freigabe für einzelne Bits, ob ein Ereignis im Questionable im Statusbyte **STB** gemeldet wird. Standardmäßig sind alle Bits des Filters auf 1 gesetzt. Möchten Sie ein oder mehrere Bits herausfiltern, brauchen Sie nur die Wertigkeit der übrigen Bits addieren (siehe Registermodell) und an das Enable-Register schicken.

Abfrageform: STATus:QUEStionable:ENABLE?

Wertebereich: 0...32767 (Standardwert: 0)

Beispiel:

STAT:QUES:ENAB_3072 Setzt das Enable-Register des Questionable Status Registers auf 3072 und gibt die Bits „OVP“, „OT“, „Remote“ und „Input/Output on“ frei zur Meldung an das **STB**.

5.4.2.3 STATus:OPERation?

Liest das Operation Status **EVENT** oder **CONDITION** Register aus. Zurückgegeben wird ein dezimaler 16 bit-Wert, dessen einzelne Bits Gerätezustände gemäß des Registermodells in 5.4.2 angeben.

Abfrageform 1: STATus:OPERation[:CONDition?

Abfrageform 2: STATus:OPERation:EVENT?

Abfrageform 3: STATus:OPERation?

Beispiele:

STAT:OPER? --> 256 Fragt das Operation Register ab (identisch mit :EVENT?). Eine mögliche Antwort wäre 256, welche angibt, daß Bit 8 gesetzt ist, welches nach dem Registermodell mit dem Zustand „CV“ meldet, daß Konstantspannungsregelung aktiv ist.

STAT:OPER:COND? Liest das Condition-Register des Operation Status Registers aus.

5.4.2.4 STATus:OPERation:ENABle_<NR1>

Setzt oder liest das Enable-Register des Questionable Status Registers. Das Enable-Register ist ein Filter, eine Freigabe für einzelne Bits, ob ein Ereignis im Operation Status Register im Statusbyte STB gemeldet wird. Standardmäßig sind alle Bits des Filters auf 1 gesetzt. Möchten Sie ein oder mehrere Bits herausfiltern, brauchen Sie nur die Wertigkeit der übrigbleibenden Bits addieren (siehe Registermodell) und an das Enable-Register schicken.

Abfrageform: STATus:OPERation:ENABle?

Wertebereich: 0, 256...3840

Beispiel:

STAT:OPER:ENAB_1792 Setzt das Enable-Register des Operation Registers auf 1792 und gibt die Bits „CV“, „CC“ und „CP“ frei zur Meldung an das STB.

5.4.2.5 Weitere Statusregister

Die in 2019 veröffentlichten Serien PSB 10000, ELR 10000 und PSI 10000 erfordern zusätzliche Alarmbits, die in einem zweiten "questionable" Statusregister verbunden sind. Siehe Registermodell oben. Zu diesem Register gibt es separate Befehle, die in ihrer Funktion den in 5.4.2.1 bis 5.4.2.4 beschriebenen entsprechen. Daher dort bitte für Einzelheiten nachlesen. Das bedeutet auch, daß diese Befehle zunächst auch nur von diesen drei Serien unterstützt werden:

STATus:SECond:QUESTionable?

STATus:SECond:QUESTionable:ENABle?

STATus:SECond:QUESTionable:ENABle_<NR1>

STATus:SECond:QUESTionable:CONDition?

STATus:SECond:QUESTionable:EVENT?

5.4.3 Sollwertbefehle



Alle Sollwerte (U, I, P, R), die per individuellem Befehl setzbar sind und während Fernsteuerung an das Gerät gesendet werden, sind nicht nur durch die Nennwerte des Gerätes begrenzt, sondern noch zusätzlich durch die an der Bedieneinheit oder per digitaler Fernsteuerung justierbaren Einstellungsgrenzen (wo vorhanden)!

5.4.3.1 [SOURce:]VOLTage_<NRf>[Unit]

Setzt die Eingangs- bzw. Ausgangsspannungsgrenze des Gerätes zwischen einem minimalen und einem max. Einstellwert bzw. fragt den Wert ab. Bei Geräten mit variablen Einstellungsgrenzen („Limits“) bestimmen diese den Einstellbereich, der ansonsten als 0...102% Nennwert definiert ist. Das gilt ebenso für die alternativ benutzbaren Parameter MIN oder MAX, die direkt auf den MINimalen oder MAXimalen Einstellwert setzen.

Abfrageform: [SOURce:]VOLTage?

Wertebereich: <NRf> = 0...1,02 * Nennspannung laut techn. Daten

Beispiele:

VOLT_12 Absolute Kurzform. Setzt 12 V.

SOUR:VOLTAGE_24.5V Gemischte Form kurz/lang, mit Einheit. Setzt 24,5 V, sofern nicht durch eine Einstellungsgrenze („Limits“), wo vorhanden, anderweitig begrenzt.

SOURCE:VOLTAGE_MIN Setzt die Spannung auf das definierte Minimum, normalerweise 0 V.

5.4.3.2 [SOURce:]CURRent_<NRf>[Unit]

Setzt die Eingangs- bzw. Ausgangsstromgrenze des Gerätes zwischen einem minimalen und einem max. Einstellwert bzw. fragt den Wert ab. Bei Geräten mit variablen Einstellungsgrenzen („Limits“) bestimmen diese den Einstellbereich, der ansonsten als 0...102% Nennwert definiert ist. Das gilt ebenso für die alternativ benutzbaren Parameter MIN oder MAX, die direkt auf den MINimalen oder MAXimalen Einstellwert setzen.

Abfrageform: [SOURce:]CURRent?

Wertebereich: <NRf> = 0...1,02 * Nennstrom laut techn. Daten

Beispiele:

CURR_170 Absolute Kurzform. Setzt 170 A.

SOUR:CURRENT_45.3A Gemischte Form kurz/lang, mit Einheit. Setzt 45,3 A, sofern nicht durch eine Einstellungsgrenze („Limits“), wo vorhanden, anderweitig begrenzt.

SOURCE:CURRENT_MAX Setzt den Strom auf das definierte Maximum, also auf 102% vom Stromnennwert des Gerätes oder auf den Wert der zugehörige Einstellungsgrenze „I-max“, sofern diese für das Gerät existiert (siehe 5.4.8).

5.4.3.3 [SOURce:]POWer_<NRf>[Unit]

Setzt die Eingangs- bzw. Ausgangsleistungs-Grenze des Gerätes zwischen einem minimalen und einem max. Einstellwert bzw. fragt den Wert ab. Bei Geräten mit variablen Einstellungsgrenzen („Limits“) bestimmen diese den Einstellbereich, der ansonsten als 0...102% Nennwert definiert ist. Das gilt ebenso für die alternativ benutzbaren Parameter MIN oder MAX, die direkt auf den MINimalen oder MAXimalen Einstellwert setzen.

Abfrageform: [SOURce:]POWer?

Wertebereich: <NRf> = 0...1,02 * Nennleistung laut techn. Daten

Beispiele:

POW_3000 Absolute Kurzform. Setzt 3000 W.

SOUR:POWER_3.5kW Gemischte Form kurz/lang, mit Einheit und Größenordnung Kilo. Setzt 3,5 kW, sofern nicht durch eine Einstellungsgrenze („Limits“), wo vorhanden, anderweitig begrenzt.

SOURCE:POWER_MIN Setzt die Leistung auf das definierte Minimum, hier 0 W.

5.4.3.4 [SOURCE:]RESistance_<NRf>[Unit]

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—

Setzt bei elektronischen Lasten den Eingangswiderstand in Ohm zwischen dem für das jeweilige Modell definiertem Minimum- und Maximalwert, wobei der Maximalwert zusätzlich eingrenzbar ist durch eine Einstellgrenze („Limits“). Bei den Netzgeräten wird, bei aktiviertem „R-Modus“, ein fiktiver interner Widerstand simuliert, indem die Ausgangsspannung um den Betrag von der eingestellten abweicht, der sich rechnerisch aus dem gemessenen Ausgangsstrom und dem gewünschten Widerstand ergibt, sofern das in der jeweiligen Situation rechnerisch möglich ist. Das Setzen des Widerstandswertes an sich ist bei beiden Geräten jedoch identisch. Alternativ können auch hier die Parameter MIN und MAX verwendet werden, um den Widerstandswert schnell auf das einstellbare MINimum oder MAXimum zu setzen.

Abfrageform: [SOURCE:]RESistance?

Wertebereich: <NRf> = Min. Widerstand...max. Widerstand, laut technischen Daten

Beispiele:

RES? Absolute Kurzform. Fragt den momentan gesetzten Widerstandswert ab.

SOUR:RESISTANCE_10 Gemischte Form kurz/lang. Setzt 10 Ω, sofern nicht durch eine Einstellgrenze („Limits“), wo vorhanden, anderweitig begrenzt.

SOURCE:RES_MIN Setzt den Widerstand auf den für das Gerät definierten Minimalwert.

5.4.3.5 SINK:CURRent_<NRf>[Unit]

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Geräten der Serie PSB 9000 unterstützt und setzt den Stromsollwert für den Senke-Betrieb, der getrennt vom Stromsollwert des Quelle-Betriebs (siehe 5.4.3.2) einstellbar ist.

Gegenüber dem „normalen“ CURRent-Befehl ist hier das Hauptsystem SINK nicht optional, sonst könnte das Gerät nicht unterscheiden. Es gelten aber auch hier genauso Einstellgrenzen. Ebenso wie es einen separaten Stromsollwert für den Senke-Betrieb gibt, gibt es auch die separaten Einstellgrenzen „Senke: I-max“ und „Senke: I-min“, wie am Bedienteil einstellbar, sowie die dazu gehörigen SCPI-Befehle (siehe 5.4.8). Alternativ können auch hier die Parameter MIN und MAX verwendet werden, um den Strom schnell auf das einstellbare MINimum oder MAXimum zu setzen.

Abfrageform: SINK:CURRent?

Wertebereich: <NRf> = I-min...I-max

Beispiele:

SINK:CURR_120 Setzt den Stromsollwert (oder auch Stromobergrenze) für den Senke-Betrieb des PSB 9000 auf 120 A, sofern die Einstellgrenzen dies zulassen. Der Sollwert kann erst wirksam werden, wenn das Gerät tatsächlich in den Senke-Betrieb geht.

5.4.3.6 SINK:POWEr_<NRf>[Unit]

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Geräten der Serie PSB 9000 unterstützt und setzt den Leistungswert für den Senke-Betrieb, der getrennt vom Leistungssollwert des Quelle-Betriebs (siehe 5.4.3.3) einstellbar ist.

Gegenüber dem „normalen“ POWEr-Befehl ist hier das Hauptsystem SINK nicht optional, sonst könnte das Gerät nicht unterscheiden. Es gelten aber auch hier genauso Einstellgrenzen. Ebenso wie es einen separaten Leistungssollwert für den Senke-Betrieb gibt, gibt es auch die separate Einstellgrenze „Senke: P-max“, wie am Bedienteil einstellbar, sowie den dazugehörigen SCPI-Befehl (siehe 5.4.8). Alternativ können auch hier die Parameter MIN und MAX verwendet werden, um die Leistung schnell auf das einstellbare MINimum oder MAXimum zu setzen.

Abfrageform: SINK:POWEr?

Wertebereich: <NRf> = 0...P-max

Beispiele:

SINK:POW_4500 Setzt den Leistungssollwert (oder auch Leistungsobergrenze) für den Senke-Betrieb des PSB 9000 auf 4500 W, sofern die Einstellgrenze P-max dies zulässt. Der Sollwert kann erst wirksam werden, wenn das Gerät tatsächlich in den Senke-Betrieb geht.

SINK:POWER_MIN Setzt die Leistung auf 0 W.

5.4.3.7 SINK:RESistance_<NRf>[Unit]

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	—	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Geräten der Serie PSB 9000 unterstützt und setzt den Widerstandssollwert für den Senke-Betrieb, der getrennt vom Widerstandssollwert des Quelle-Betriebs (siehe 5.4.3.4) einstellbar ist.

Gegenüber dem „normalen“ RESistance-Befehl ist hier das Hauptsystem SINK nicht optional, sonst könnte das Gerät nicht unterscheiden. Es gelten aber auch hier genauso Einstellgrenzen. Ebenso wie es einen separaten Widerstandssollwert für den Senke-Betrieb gibt, gibt es auch die separate Einstellgrenze „Senke: R-max“, wie am Bedienteil einstellbar, sowie den dazugehörigen SCPI-Befehl (siehe 5.4.8). Alternativ können auch hier die Parameter MIN und MAX verwendet werden, um den Widerstand schnell auf das einstellbare MINimum oder MAXimum zu setzen.

Abfrageform:

SINK:RESistance?

Wertebereich:

<NRf> = min. einstellbarer Widerstand (siehe techn. Daten)...R-max

Beispiele:

SINK:RESISTANCE_MIN

Setzt den Widerstandssollwert für den Senke-Betrieb des PSB 9000 auf das durch die technischen Daten des jeweiligen Gerätemodells definierte Minimum. Die Nennwerte des Gerätes sind mit weiteren Befehlen abfragbar.

5.4.4 Meßbefehle

Istwerte sind die gemessenen (U, I) bzw. berechneten (P, R), tatsächlichen Werte am DC-Ausgang bzw. DC-Eingang des Gerätes. Sie müssen nicht zwangsweise mit den gewünschten (Soll)Werten identisch sein und geben zu jedem Abfragezeitpunkt den Zustand am DC-Anschluß des Gerätes wieder. Die Meßwerte werden ständig erfaßt und nicht nur auf Anfrage.

5.4.4.1 MEASure:[SCALar:]VOLTage[:DC]?

Fragt beim Gerät an, den zuletzt erfaßten Meßwert der DC-Eingangs- bzw. DC-Ausgangsspannung des Gerätes in Volt wiederzugeben.

Beispiel:

MEAS:VOLT?

Absolute Kurzform. Die Istspannung wird abgefragt. Als Antwort, die sofort vom Gerät kommen sollte, wird ein Wert zwischen 0% und max. 125% Spannungsnennwert des Gerätes zurückgegeben, z. B. „43.50 V“. Die Anzahl der Nachkommastellen ist identisch mit denen in der Anzeige des Gerätes und variiert zwischen Gerätemodellen.

5.4.4.2 MEASure:[SCALar:]CURRent[:DC]?

Gibt den zuletzt erfaßten Meßwert des DC-Eingangs- bzw. DC-Ausgangsstroms des Gerätes in Ampere wieder.



Bei den Geräten der Serien PSB 9000 und PSBE 9000 kann der zurückgegebene Istwert zum Quelle- oder Senkebetrieb gehören. Hat dieser ein negatives Vorzeichen, gehört der Istwert aktuell zum Senke-Betrieb.

Beispiel:

MEASURE:CURRENT?

Der Iststrom wird abgefragt. Als Antwort, die sofort vom Gerät kommen sollte, wird ein Wert zwischen 0% und max. 125% Strom-Nennwert des Gerätes zurückgegeben, z. B. „100.1 A“. Die Anzahl der Nachkommastellen ist identisch mit denen in der Anzeige des Gerätes und variiert zwischen Gerätemodellen.

5.4.4.3 MEASure:[SCALar:]POWer[:DC]?

Gibt den zuletzt aus Istspannung und Iststrom berechneten Istwert der DC-Eingangs- bzw. DC-Ausgangsleistung des Gerätes in Watt wieder.



Bei den Geräten der Serien PSB 9000 und PSBE 9000 kann der zurückgegebene Istwert zum Quelle- oder Senkebetrieb gehören. Hat dieser ein negatives Vorzeichen, gehört der Istwert aktuell zum Senke-Betrieb.

Beispiel:

MEAS:POW?

Absolute Kurzform. Die Istleistung, also die aufgenommene (E-Last) bzw. abgegebene (Netzgerät), Leistung wird abgefragt. Als Antwort, die sofort vom Gerät kommen sollte, wird ein Wert zwischen 0% und max. 125% Leistungsnennwert des Gerätes zurückgegeben, z. B. „2534 W“. Unabhängig von der Darstellung in der Anzeige des Gerätes kommt dieser Wert immer in Watt.

5.4.4.4 MEASure:[SCALar:]ARRay?

Gibt alle drei zuletzt erfaßten bzw. berechneten Istwerte in der Reihenfolge Spannung, Strom, Leistung wieder, mit Kommas getrennt und mit Einheit und eventuell Größenordnung. Dieser Befehl vereint die drei einzelnen Meßbefehle.



Bei den Geräten der Serien PSB 9000 und PSBE 9000 können die zurückgegebenen Istwerte zum Quelle- oder Senkebetrieb gehören. Hat ein Wert ein negatives Vorzeichen, gehört er aktuell zum Senke-Betrieb. Da nur einer der beiden Betriebsarten aktiv sein kann, werden der Strom- und der Leistungswert immer gleichzeitig positiv oder negativ sein.

Beispiel:

MEAS:ARR?

Absolute Kurzform. Als Antwort, die sofort vom Gerät kommen sollte, werden drei Werte zwischen 0 und 125% Nennwert des Gerätes zurückgegeben, z. B. „12.5 V, 33.3 A, 420 W“

5.4.5 Zustandsbefehle

Zustandsbefehle verändern den Zustand des Gerätes im Sinne von Fernsteuerung ein/aus oder DC-Ausgang/DC-Eingang ein oder aus bzw. fragen den Zustand ab.

5.4.5.1 SYSTem:LOCK_<B0>

Mit dem Befehl wird die Fernsteuerung des Gerätes über die momentan verwendete digitale Schnittstelle übernommen, sofern die Übernahme zu dem Zeitpunkt zulässig ist. Fernsteuerung des Gerätes muß generell immer dann zuerst aktiviert werden, bevor man etwas setzen will (Sollwerte, Zustand). Dabei kann immer nur die Schnittstelle steuernd auf das Gerät zugreifen, über welche die Fernsteuerung aktiviert wurde.

Die Aktivierung der Fernsteuerung kann durch das Gerät blockiert werden. Dies wird durch einen Fehler mitgeteilt, der im SCPI-Fehlerpuffer hinterlegt wird, welcher mit dem Fehlerabfragebefehl (siehe „5.4.5.4. SYSTem:ERRor?“) auslesbar ist.

Abfrageform: SYSTem:LOCK:OWNer?

Wertebereich für Setzen: ON, OFF

Wertebereich für Abfrage: {REMOTE, NONE, LOCAL}

Beispiele:

SYST:LOCK_ON Absolute Kurzform. Der Befehl schaltet das Gerät auf Fernsteuerung um. Das Gerät sollte dies anzeigen, in Form eines Statustextes in der Anzeige oder mit einer LED.

SYSTEM:LOCK:OWNER? Abfrage des Zugriffbesitzers. Kann verwendet werden, um festzustellen, ob Fernsteuerung überhaupt übernommen werden kann bzw. nach dem Senden des Befehls, ob sich der Zustand entsprechend geändert hat. Die Anfrage kann drei verschiedene Zustände zurückgeben:

REMOTE = Gerät ist in Fernsteuerung durch irgendeine Schnittstelle

NONE = Das Gerät ist für die Übernahme der Fernsteuerung verfügbar

LOCAL = Fernsteuerung ist gesperrt, üblicherweise am Gerät selbst

5.4.5.2 INPut_<B0>

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	✓	—	—	—	—	✓	—	—	✓	—	—	—

Schaltet bei Geräten mit einem DC-Eingang, hier: elektronische Lasten, den Eingang ein oder aus bzw. kann der Zustand dessen abgefragt werden. Das für eine Senke nicht passende Hauptschlüsselwort SOURCE wurde aus dem SCPI-Standard übernommen.

Abfrageform: INPut?

Wertebereich: ON, OFF

Beispiele:

INP_1 Absolute Kurzform. Schaltet den DC-Eingang ein, sofern Fernsteuerung aktiv

INPUT? Abfrage des Zustandes des DC-Eingangs, zurückgegeben mit ON oder OFF. Der Eingang kann, entgegen der Erwartung, ausgeschaltet sein, z. B. durch einen Gerätealarm.

5.4.5.3 OUTPut_<B0>

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓

Schaltet bei Geräten mit einem DC-Ausgang (hier: Netzgeräte) und anderen Spannungs-/Stromquellen den Ausgang ein oder aus bzw. kann dessen Zustand abgefragt werden. Der Zustand wird bei Abfrage immer als ON oder OFF zurückgegeben.

Abfrageform: OUTPut?

Wertebereich: ON, OFF

Beispiele:

OUTP_1 Absolute Kurzform. Schaltet den DC-Ausgang ein, sofern Fernsteuerung aktiv

OUTPUT? Abfrage des Zustandes des DC-Ausgangs, zurückgegeben mit ON oder OFF. Der Ausgang kann, entgegen der Erwartung, ausgeschaltet sein, z. B. durch einen Gerätealarm.

5.4.5.4 SYSTem:ERRor?

Der Befehl dient zum Auslesen einzelner oder aller Fehler, die sich im SCPI-Fehlerpuffer des Gerätes befinden können. Dieser Befehl kann nur Fehler im Zusammenhang mit der Syntax der SCPI-Befehle bzw. Zugriffsfehler enthalten, jedoch keine Gerätealarme. Gerätealarme können über Bits in den Statusregistern (OPER, QUES, siehe „5.4.2. Statusregister“) abgefragt werden. Wieviele Fehler aktuell im SCPI-Fehlerpuffer vorhanden sind, kann nicht ausgelesen werden. Um sicherzugehen könnte man daher immer alle Fehler abfragen. Nach der Abfrage eines Fehlers wird dieser aus dem Fehlerpuffer gelöscht, bei Abfrage aller Fehler geschieht dies ebenso für alle.

Der Fehlerpuffer ist vom Typ FIFO (first in, first out), das bedeutet, der zuerst aufgetretene Fehler wird bei Abfrage auch zuerst ausgegeben.

<u>Abfrageform 1:</u>	SYSTem:ERRor?	Fragt den zuletzt aufgetretenen Fehler ab
<u>Abfrageform 2:</u>	SYSTem:ERRor:NEXT?	Fragt den zuletzt aufgetretenen Fehler ab
<u>Abfrageform 3:</u>	SYSTem:ERRor:ALL?	Fragt alle im Fehlerspeicher vorhandenen Fehler ab (bis zu 5)

Beispiel:

SYST:ERR:NEXT? Absolute Kurzform. Auf diese Abfrage antwortet das Gerät mit einem String, der als erstes einen Fehlercode laut Fehlercodeliste und als zweites eine Fehlerbeschreibung enthält, z. B.: 0, "No error". Diese Antwort kommt immer dann, wenn kein Fehler (mehr) vorliegt.

SYSTEM:ERROR:ALL? Auf diese Abfrage antwortet das Gerät mit bis zu 5 verketteten Fehlerstrings, voneinander mit Komma+Leerzeichen getrennt.



Die Abfrage von Fehlern über SYST:ERR? löscht auch Gerätealarme aus dem QUEStionable Statusregister (siehe „5.4.2. Statusregister“), sofern ein durch das Register angezeigter Alarm nicht mehr vorhanden ist. Das wird als Bestätigung der Kenntnisnahme des Alarms gewertet. So bestätigte Alarme können über das Register nachträglich nicht mehr erfaßt werden.

5.4.6 Befehle für Schutzfunktionen

Das Gerät bietet eine Reihe von Gerätealarmen, die teils zum Selbstschutz, teils zum Schutz des angeschlossenen Verbrauchers bzw. der angeschlossenen Quelle dienen. Weiterhin gibt es einige Überwachungsfunktionen, die Eingangs- bzw. Ausgangswerte wie Spannung, Strom oder Leistung auf einstellbare Grenzen hin überwachen und dann vom Anwender konfigurierbare Aktionen auslösen können, wie ein akustisches Alarmsignal oder Abschalten des DC-Eingangs bzw. DC-Ausgangs. Die entsprechenden Funktionen können natürlich auch am Gerät im Benutzerprofil konfiguriert werden.

5.4.6.1 [SOURce:]VOLTage:PROTection[:LEVel]_<NRf>[Unit]

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Dieser Befehl gehört zum am Gerät einstellbaren Wert „OVP“ (Überspannungsschutz). Einstellbar zwischen 0 und 110% der Maximalspannung des Gerätes, bei allen EL 9000-Serien jedoch nur 0...103% (ggf. die technischen Daten im Gerätehandbuch einsehen). Der Wert definiert eine Schwelle, an der das Gerät den DC-Eingang bzw. DC-Ausgang ausschaltet. Bei Quellen, also Netzgeräten, dient dies in erster Linie zum Schutz der Anwendung vor zu hoher Spannung, die durch ungewolltes Verstellen bzw. einen Defekt der Spannungsquelle auftreten kann.

Abfrageformat: [SOURce:]VOLTage:PROTection[:LEVel]?

Wertebereich: 0...1,1 * oder 1,03 * Nennspannung des Gerätes

Beispiele:

VOLT:PROT_88 Absolute Kurzform. Setzt die „OVP-Schwelle“ auf 88 V. Bei einem 80 V-Modell (nicht EL 9000 Serien) sind das 110% der Maximalspannung, also der maximale OVP-Wert.

5.4.6.2 [SOURce:]CURRent:PROTection[:LEVel]_<NRf>[Unit]

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Dieser Befehl gehört zum am Gerät einstellbaren Wert „OCP“ (Überstromschutz). Einstellbar zwischen 0 und 110% des Maximizeingangsstromes bzw. -ausgangsstromes des Gerätes. Der Wert definiert eine Schwelle, an der das Gerät den DC-Eingang bzw. DC-Ausgang ausschaltet. Bei Senken, wie z. B. elektronischen Lasten, dient dies in erster Linie zum Schutz der Anwendung vor zu hoher Stromentnahme, die die Quelle eventuell durch Überbelastung beschädigen könnte. Wird die Schwelle erreicht, schaltet das Gerät den DC-Eingang bzw. DC-Ausgang aus. Sollte der Maximalstrom (Isoll) geringer eingestellt sein und den Strom des Gerätes begrenzen, ist die Schutzfunktion unwirksam. Bei gleichen Einstellwerten hat die Schwelle Priorität. D.h., die OCP-Schutzfunktion schaltet dann ab, anstatt daß der Strom nur begrenzt wird.

Abfrageformat: [SOURce:]CURRent:PROTection[:LEVel]?

Wertebereich: 0...1,1*Nennstrom des Gerätes

Beispiele:

CURR:PROT_100 Absolute Kurzform. Setzt die „OCP-Schwelle“ auf 100 A.

5.4.6.3 [SOURce:]POWEr:PROTection[:LEVel]_<NRf>[Unit]

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Dieser Befehl gehört zum am Gerät einstellbaren Wert „OPP“ (Überleistungsschutz). Einstellbar zwischen 0 und 110% der Maximizeingangsleistung bzw. -ausgangsleistung des Gerätes. Der Wert definiert eine Schwelle, an der das Gerät den DC-Eingang bzw. DC-Ausgang ausschaltet. Diese Funktion soll helfen, eine Quelle oder einen Verbraucher nicht über eine gewisse Leistung hin zu belasten. Wird die Schwelle erreicht, schaltet das Gerät den DC-Eingang bzw. DC-Ausgang aus. Sollte die Maximalleistung (Psoll) geringer eingestellt sein und die Leistung des Gerätes begrenzen, ist die Schutzfunktion unwirksam. Bei gleichen Einstellwerten hat die Schwelle Priorität. D.h., die OPP-Schutzfunktion schaltet dann ab, anstatt daß die Leistung nur begrenzt wird.

Abfrageformat: [SOURce:]POWEr:PROTection[:LEVel]?

Wertebereich: 0...1,1*Nennleistung des Gerätes

Beispiele:

POW:PROT_1.5kW Absolute Kurzform. Setzt die „OPP-Schwelle“ auf 1,5 kW.

5.4.6.4 SINK:CURRent:PROTection[:LEVel]_<NRf>[Unit]

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Geräten der Serien PSB 9000 und PSBE 9000 unterstützt und setzt die sog. OCP-Schwelle für den Senke-Betrieb, die getrennt von der OCP-Schwelle des Quelle-Betriebs (siehe 5.4.6.2) einstellbar ist.

Gegenüber dem Befehl für den Quelle-Betrieb ist hier das Hauptsystem SINK nicht optional, sonst könnte das Gerät nicht unterscheiden. Es gelten hier keine Einstellgrenzen. Alternativ zu Werten können auch hier die Parameter MIN und MAX verwendet werden, um die Schwelle direkt auf das einstellbare MINimum oder MAXimum zu setzen.

Abfrageform: SINK:CURRent:PROTection[:LEVel]?

Wertebereich: <NRf> = 0...1,1 * Stromnennwert des Gerätes

Beispiele:

SINK:CURR_PROT_MAX Absolute Kurzform. Setzt die OCP-Schwelle auf 110% Nennstrom.

5.4.6.5 SINK:POWEr:PROTection[:LEVel]_<NRf>[Unit]

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Geräten der Serien PSB 9000 und PSBE 9000 unterstützt und setzt die sog. OPP-Schwelle für den Senke-Betrieb, die getrennt von der OPP-Schwelle des Quelle-Betriebs (siehe 5.4.6.3) einstellbar ist.

Gegenüber dem Befehl für den Quelle-Betrieb ist hier das Hauptsystem SINK nicht optional, sonst könnte das Gerät nicht unterscheiden. Es gelten hier keine Einstellgrenzen. Alternativ zu Werten können auch hier die Parameter MIN und MAX verwendet werden, um die Schwelle direkt auf das einstellbare MINimum oder MAXimum zu setzen.

Abfrageform: SINK:POWEr:PROTection[:LEVel]?

Wertebereich: <NRf> = 0...1,1 * Leistungsnennwert des Gerätes

Beispiele:

SINK:POWER:PROT_3000 Setzt die OPP-Schwelle 3000 W, sofern das Gerät mindestens 3000 W Nennleistung hat.

5.4.7 Befehle für Überwachungsfunktionen

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—	✓	—	—

Diese Befehle ermöglichen die ferngesteuerte Konfiguration der Überwachungsfunktionen (Events) des Gerätes bezüglich der Spannung, des Stromes oder der Leistung am DC-Eingang bzw. DC-Ausgang.



Bei den Serien PSB 9000 und PSBE 9000 dienen die Befehle nur zur Überwachung des sog. Quelle-Betriebs. Für die Überwachung des Senke-Betriebs siehe unten bei 5.4.7.1.

Befehl	Beschreibung
SYSTEM:CONFIg:UVD[?]<NRf>[Unit] SYSTEM:CONFIg:UVD:ACTioN[?]<NRf>{NONE SIGNAL WARNING ALARM}	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event UVD
SYSTEM:CONFIg:UCD[?]<NRf>[Unit] SYSTEM:CONFIg:UCD:ACTioN[?]<NRf>{NONE SIGNAL WARNING ALARM}	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event UCD
SYSTEM:CONFIg:OVD[?]<NRf>[Unit] SYSTEM:CONFIg:OVD:ACTioN[?]<NRf>{NONE SIGNAL WARNING ALARM}	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event OVD
SYSTEM:CONFIg:OCD[?]<NRf>[Unit] SYSTEM:CONFIg:OCD:ACTioN[?]<NRf>{NONE SIGNAL WARNING ALARM}	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event OCD
SYSTEM:CONFIg:OPD[?]<NRf>[Unit] SYSTEM:CONFIg:OPD:ACTioN[?]<NRf>{NONE SIGNAL WARNING ALARM}	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event OPD

Für den **:ACTioN**-Befehl können angegeben werden (siehe auch Gerätehandbuch):

NONE = Event inaktiv, es erfolgt keine Überwachung

SIGNAL = Beim Auftreten des Events wird eine Statusmeldung im Statusfeld der Anzeige des Gerätes ausgegeben bzw. ein Bit im auslesbaren Questionable Register (STAT:QUES?) gesetzt (siehe „5.4.2. Statusregister“). Das Bit zeigt an, daß ein bestimmtes Events aufgetreten ist. So kann das Ereignis auch per Fernabfrage erfaßt werden.

WARNING = Beim Auftreten des Events wird eine Warnmeldung in der Anzeige des Gerätes ausgegeben bzw. ein Bit im auslesbaren Questionable Register (STAT:QUES?) gesetzt (siehe „5.4.2. Statusregister“). Das Bit zeigt an, daß ein bestimmtes Events aufgetreten ist. So kann das Ereignis auch per Fernabfrage erfaßt werden.

ALARM = Beim Auftreten des Events wird eine Warnmeldung in der Anzeige des Gerätes, sowie ein akustisches Signal ausgegeben (sofern die Einstellung „Alarmton = ein“ gesetzt wurde im Geräte-Setup) bzw. ein Bit im auslesbaren Questionable Register (STAT:QUES?) gesetzt (siehe „5.4.2. Statusregister“). Das Bit zeigt an, daß ein bestimmtes Events aufgetreten ist. So kann das Ereignis auch per Fernabfrage erfaßt werden. Zusätzlich schaltet das Gerät den DC-Eingang bzw. DC-Ausgang aus.



Die Aktion ALARM ist mit den Gerätealarmen wie OVP usw. vergleichbar. Gerätealarme haben jedoch Vorrang. Das heißt, falls z. B. OVP und OVD auf den gleichen Wert eingestellt würden und die Eingangs- bzw. Ausgangsspannung erreicht diesen Wert, dann wird ein OV-Alarm ausgelöst statt eines OVD-Events.

5.4.7.1 Weitere Befehle

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	—	—

Diese Befehle sind nur für die Überwachung (Events) des sog. Quelle-Betriebs der Serie PSB 9000 und nutzen das zusätzliche Subsystem **:SINK** zur Unterscheidung.

Befehl	Beschreibung
SYSTEM:SINK:CONFIg:UCD[?]<NRf>[Unit] SYSTEM:SINK:CONFIg:UCD:ACTioN[?]<NRf>{NONE SIGNAL WARNING ALARM}	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event „Senke: UCD“
SYSTEM:SINK:CONFIg:OCD[?]<NRf>[Unit] SYSTEM:SINK:CONFIg:OCD:ACTioN[?]<NRf>{NONE SIGNAL WARNING ALARM}	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event „Senke: OCD“
SYSTEM:SINK:CONFIg:OPD[?]<NRf>[Unit] SYSTEM:SINK:CONFIg:OPD:ACTioN[?]<NRf>{NONE SIGNAL WARNING ALARM}	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event „Senke: OPD“

5.4.8 Befehle für Einstellungsgrenzen

Einstellungsgrenzen sind zusätzliche, global wirkende, einstellbare Grenzen, die verhindern sollen, daß ein bestimmter Sollwert aus Versehen zu hoch oder zu tiefeingestellt werden kann. Zum Schutz gegen z. B. Überspannung am Verbraucher gibt es noch den Überspannungsschutz (OVP), aber generell ist es besser, einen falschen Sollwert gar nicht erst zuzulassen.

Wird ein Sollwert an das Gerät gesendet, der höher als eine obere bzw. kleiner als eine untere Einstellungsgrenze ist, wird der Sollwert ignoriert und ein Fehler in die Fehlerqueue geschrieben. Die untere Grenze kann dabei nicht höher gesetzt werden als der zugehörige Sollwert aktuell eingestellt ist und umgekehrt genauso gilt das für die obere Grenze.

Die Befehle sind verknüpft mit den Einstellungsgrenzen („Limits“) wie sie im Einstellmenü des Gerätes gesetzt werden können (wo vorhanden), siehe dazu die Gerätehandbücher.

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
[SOURce:]VOLTage:LIMit:LOW[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze U-min	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[SOURce:]VOLTage:LIMit:HIGh[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze U-max	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[SOURce:]CURRent:LIMit:LOW[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze I-min	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[SOURce:]CURRent:LIMit:HIGh[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze I-max	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[SOURce:]POWer:LIMit:HIGh[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze P-max	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[SOURce:]RESistance:LIMit:HIGh[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze R-max	✓	✓	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—
SINK:CURRent:LIMit:LOW[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze „Quelle: I-min“	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—
SINK:CURRent:LIMit:HIGh[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze „Quelle: I-max“	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—
SINK:POWer:LIMit:HIGh[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze „Quelle: P-max“	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—
SINK:RESistance:LIMit:HIGh[?]<NRf>[Unit] Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze „Quelle: R-max“	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—

5.4.9 Befehle für den Master-Slave-Modus

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—

Die nachfolgenden Befehle dienen sowohl zur ferngesteuerten Konfiguration, als auch zur Bedienung des Master-Slave-Modus (kurz: MS). Die Befehle sind, wie bei anderen Funktionen auch, mit den am Gerät vorhandenen Einstellmöglichkeiten verknüpft. Einzelheiten zum Master-Slave-Betrieb finden Sie im Gerätehandbuch.



Da hier mehrere Befehle zusammenwirken, ist eine bestimmte Reihenfolge erforderlich. Generell gilt:

- Die Konfiguration des MS sollte immer zuerst erfolgen, kann jedoch statt per Fernsteuerung alternativ am Gerät erfolgen, so daß nach Wechsel auf Fernsteuerung das MS-System sofort gesteuert werden kann

Die Befehle werden daher in der Reihenfolge aufgelistet, in der sie benutzt werden sollten.

5.4.9.1 Konfigurationsbefehle

Die Befehle können beim Start der Fernsteuerung übersprungen werden, falls die Konfiguration bereits am Gerät oder per Fernsteuerung vorgenommen wurde und sich nichts geändert hat.

Befehl	Beschreibung
SYSTem:MS:ENABLE_{ON OFF}	Aktiviert (ON) oder deaktiviert (OFF) den MS-Modus
SYSTem:MS:ENABLE?	Abfrage, ob der MS-Modus aktiviert ist
SYSTem:MS:LINK_{MASTER SLAVE} SYSTem:MS:LINK?	Legt die Rolle des Gerätes im MS-System fest oder fragt die momentane ab: MASTER = Gerät ist Master SLAVE = Gerät ist Slave
SYSTem:MS:INITialisation	Startet die Initialisierung (Init) des Master-Slave-Verbunds, siehe dazu auch das Gerätehandbuch. Nach erfolgreicher Initialisierung können weitere, auf MS bezogene Befehle gesendet werden. Ob die Init erfolgreich war, kann mit dem nächsten Befehl abgefragt werden
SYSTem:MS:CONDition?	Frägt den Zustand der zuvor erfolgten Initialisierung ab. Zurückgegeben werden kann: INIT = Init war erfolgreich NO INIT = Init war nicht erfolgreich Um festzustellen, ob und wieviele Geräte vom Master in das MS-System aufgenommen wurden, müßte nach der Initialisierung noch die Anzahl mit SYST:MS:UNITs? abgefragt werden (siehe unten). Bei Rückgabewert 0 ist das MS-System nicht richtig initialisiert worden.
SYSTem:MS:UNITs?	Abfrage der Anzahl der Geräte, die initialisiert wurden. Die Anzahl kann von der erwarteten abweichen, wenn der Master einen oder mehrere Slaves nicht initialisiert hat. Falls nur der Master initialisiert wurde, liefert der Befehl eine 1 zurück. <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <i>Abhängig von der auf Ihrem Gerät installierten KE-Firmwareversion kann es sein, daß der Befehl den Master als initialisiertes Gerät mitzählt.</i></div>
SYSTem:SHARe:LINK_{SLAVE} SYSTem:SHARe:LINK?	Dieser Befehl ist nur für elektronische Lasten gedacht, die in einem Zwei-Quadranten-Betrieb (2QB) am Share-Bus als Slave arbeiten müssen, selbst wenn eine Last ein Master eine Master-Slave-Systems aus Lasten ist. Der Befehl funktioniert nur, wenn <ul style="list-style-type: none"> das Gerät als MASTER für Master-Slave definiert und Master-Slave aktiviert wurde und das Gerät eine elektronische Last ist, ansonsten wird Fehler „Settings conflict“ zurückgegeben. <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <i>Dieser Befehl ist nicht gültig für Geräte der Serien PSB 9000 und PSBE 9000, denn die Geräte an sich sind bereits ein 2Q-System und werden am Share-Bus nicht zu anderen Serien wie PSI oder ELR verbunden.</i></div>
SYSTem:MS:TERMination_{ON OFF} SYSTem:MS:TERMination?	Nur Serien PSB 10000, ELR 10000 und PSI 10000. Dient zur digital geschalteten Aktivierung/Deaktivierung des Buabschlußwiderstandes am Master-Slave-Bus.

Befehl	Beschreibung
SYSTem:MS:BIAS_{ON OFF} SYSTem:MS:BIAS?	Nur Serien PSB 10000, ELR 10000 und PSI 10000. Dient zur digital geschalteten Aktivierung/Deaktivierung der zusätzlichen Bias-Widerstände am Master-Slave-Bus.

5.4.9.2 Andere MS-Befehle

Ab KE-Firmware 2.20, das betrifft alle 9000er Serien mit Master-Slave, werden die Nennwerte des MS-System, inklusive des Gesamtwiderstandes, durch die regulären Abfragebefehle für Gerätenennwerte (siehe 5.4.10) ausgelesen. Die unten gelisteten Befehle werden daher u. U. nicht mehr von dem Gerät unterstützt.

Befehl	Beschreibung
SYSTem:MS:NOMinal:VOLTage?	Abfrage der Gesamtspannung des aktuellen, initialisierten MS-System. Die Spannung erhöht sich gegenüber dem Einzelgerät nur bei Reihenschaltung, welche nur bei Netzgeräten zulässig ist.
SYSTem:MS:NOMinal:CURREnt?	Abfrage des Gesamtstroms des aktuellen, initialisierten MS-System. Der Strom erhöht sich gegenüber dem Einzelgerät nur bei Parallelschaltung.
SYSTem:MS:NOMinal:POWer?	Abfrage der Gesamtleistung des aktuellen, initialisierten MS-System. Die Leistung erhöht sich gegenüber dem Einzelgerät immer.

5.4.10 Allgemeine Abfragebefehle

Hier werden weitere Befehle zum Abfragen von Informationen vom Gerät gelistet. Diese werden eher selten benötigt und sind daher nicht ausführlich erläutert.

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PS19	PS15	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
SYSTem:NOMinal:VOLTage? Abfrage des Spannungsnennwertes eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:NOMinal:CURREnt? Abfrage des Stromnennwertes eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:NOMinal:POWer? Abfrage des Leistungsnennwertes eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:NOMinal:RESistance:MINimum? Abfrage des minimalen Widerstands eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems. Dieser ist bei elektronischen Lasten normalerweise ungleich Null.	✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—
SYSTem:NOMinal:RESistance:MAXimum? Abfrage des maximalen (Innen-)Widerstandswertes eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems	✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—
SYSTem:DEvice:CLass? Abfrage der Geräteklasse. Zurückgegeben wird ein Wert, der kennzeichnet, zu welcher Serie das Gerät gehört. Man kann hiermit u. A. eindeutig und mit geringem Aufwand bestimmen, ob das Gerät eine elektronische Last oder ein Netzgerät ist. Eine Liste der Geräteklassen ist in „A1. Geräteklassen“ zu finden.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

5.4.11 Befehle zur Konfiguration des Gerätes

Hier werden Befehle zum Setzen von Geräteeinstellungen aufgelistet. Die mit den Befehlen veränderbaren Einstellungen können Teil des aktuellen Benutzerprofils sein (siehe auch Gerätehandbuch). Das Verändern der Einstellungen setzt aktivierte Fernsteuerung voraus. Die Einstellungen werden automatisch gespeichert.

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PS19	PS15	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
POWER:STAGe:AFter:REMOte_{ AUTO OFF } POWER:STAGe:AFter:REMOte? Legt fest, wie sich der DC-Eingang bzw. DC-Ausgang des Gerätes nach dem Verlassen der Fernsteuerung verhalten soll. AUTO = Zustand bleibt erhalten OFF = DC-Eingang / DC-Ausgang wird ausgeschaltet (Standardeinstellung)	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[SOURce:]VOLTage:CONTRol:SPEed_{FAST SLOW} [SOURce:]VOLTage:CONTRol:SPEed? Umschaltung der Regelungsgeschwindigkeit des Spannungsreglers auf der Leistungsstufe von elektronischen Lasten bzw. Geräten mit Last-Funktion zwischen schnell (FAST) und langsam (SLOW, Standard).	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	—	—	—
SYSTem:CONFig:INPut:REStore[?]{_}{AUTO OFF} SYSTem:CONFig:OUTPut:REStore[?]{_}{AUTO OFF} Legt fest, wie sich der DC-Eingang (bei el. Lasten) bzw. DC-Ausgang (bei Netzgeräten) nach dem Einschalten des Gerätes verhalten soll. Diese Befehle sind verknüpft mit den Einstellungen „Eingang nach Power On“ bzw. „Ausgang nach Power On“ im Geräte-Setup. AUTO = DC-Eingang/Ausgang auf den letzten Zustand wiederherstellen OFF = DC-Eingang/Ausgang nach dem Einschalten immer aus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:CONFig:USER:TEXT_{SRD} SYSTem:CONFig:USER:TEXT? Schreibt einen bis zu 40 Zeichen langen Benutzertext in das Gerät, der abfragbar ist und benutzerdefiniert eine beliebige Kennung darstellen kann, um ein bestimmtes Gerät unter x gleichen Modellen zu identifizieren.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:CONFig:ANALog:MONitor_{DEFault EL PS ELPS PSEL COMBination} SYSTem:CONFig:ANALog:MONitor? Konfiguriert die Pins 9 (VMON) und 10 (CMON) der analogen Schnittstelle. DEFault = Standardverhalten (VMON zeigt Spannungswert, CMON zeigt Stromwert von Quelle- oder Senke-Betrieb) EL = Pin 10 zeigt nur den Stromwert vom Senke-Betrieb PS = Pin 10 zeigt nur den Stromwert vom Quelle-Betrieb ELPS = Pin 9 zeigt Stromwert vom Senke-Betrieb, Pin 10 den vom Quelle-Betrieb PSEL = Umkehrung von ELPS COMBination = Pin 10 zeigt den Strom vom Quelle- und Senke-Betrieb in jeweils dem halben Signalbereich als -100%...0...100%. Mehr siehe Gerätehandbuch.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—
SYSTem:CONFig:ANALog:PIN6_{OT PF ALL} SYSTem:CONFig:ANALog:PIN6? Legt fest, welche Alarme Pin 6 signalisieren soll. OT = Pin 6 signalisiert nur Übertemperatur PF = Pin 6 signalisiert nur Power Fail All = Pin 6 signalisiert beide (Standard)	✓	—	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PS19	PS15	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN14_{OVP OCP OPP OVP/OCP OVP/OPP OCP/OPP ALL} SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN14? Legt fest, welche Alarme Pin 14 signalisieren soll. Möglich ist es, die drei Alarme OVP , OCP und OPP einzeln oder in Kombination von zweien oder alle auszugeben (logisch ODER).	✓	—	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—
SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN15_{CONT POW} SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN15? Legt fest, welchen Status Pin 15 signalisieren soll. CONT = Regelungsart CV (Standard) POW = DC-Anschluß ein/aus	✓	—	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—
SYSTem:CONFIg:ANALog:REfERENCE_{5 10} SYSTem:CONFIg:ANALog:REfERENCE? Wählt den Spannungsbereich für die Analogschnittstelle. Dies ist eine Einstellung, die auf die Fernsteuerung über digitale Schnittstelle keine Auswirkung hat. 5 = 0...5 V-Bereich 10 = 0...10 V-Bereich (Werkseinstellung)	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:CONFIg:ANALog:REMSB:LEVel_{NORMAL INVERTED} SYSTem:CONFIg:ANALog:REMSB:LEVel? Legt fest, wie der Pegel des Eingangs-Pins REM-SB der analogen Schnittstelle (siehe Handbuch des Gerätes) vom Gerät interpretiert werden soll: NORMAL = Pegel und Zustände wie im Handbuch beschrieben (Werkseinstellung) INVERTED = Pegel und Zustände werden invertiert verarbeitet	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:CONFIg:ANALog:REMSB:ACTioN_{OFF AUTO} SYSTem:CONFIg:ANALog:REMSB:ACTioN? Legt fest, wie sich der Eingangs-Pin REM-SB der analogen Schnittstelle in Bezug auf den DC-Eingang/Ausgang des Gerätes auswirken soll: OFF = der Pin kann den DC-Eingang/Ausgang nur ausschalten AUTO = der Pin kann aus- und wiedereinschalten, wenn der DC-Eingang/Ausgang vorher mindestens einmal per Taste am Bedienfeld oder digitalem Befehl eingeschaltet wurde	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:CONFIg:MODE_{UIP UIR} SYSTem:CONFIg:MODE? Wählt die Betriebsart zwischen U/I/P und U/I/R. Bei Wahl von U/I/R wird die Widerstandseinstellung über Befehl [SOURCE]:RESistance bzw. SINK:RESistance freigegeben. Erkennbar ist der aktivierte U/I/R-Modus am Gerät im Display lediglich am dann angezeigten Widerstandssollwert.	✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—
SYSTem:COMMunicate:PROTOcol:MODBus_{ENABLE DISABLE} SYSTem:COMMunicate:PROTOcol:MODBus? Aktivieren (enable) oder deaktivieren (disable) des ModBus-Protokolls. Diese Einstellung wird gespeichert. Nach dem Befehl zur Deaktivierung ist bis auf Weiteres keine Kommunikation mit ModBus-Protokoll mehr möglich, es ist nur noch SCPI verfügbar. Es kann jeweils nur eins der beiden Protokolle deaktiviert werden, standardmäßig sind jedoch beide aktiviert.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PS19	PS15	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
SYSTem:COMMunicate:TIMEout_{5...65535} SYSTem:COMMunicate:TIMEout? Definiert ein Timeout in Millisekunden (Werkseinstellung: 5 ms), eine max. Zeit, die bei der Übertragung einer Nachricht (ModBus oder SCPI) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bytes vergehen darf, bevor die Nachricht als „vollständig erhalten“ vom Gerät interpretiert und dann verarbeitet wird. Für mehr siehe Abschnitt 3.6. <i>Hinweis: Gilt nur für serielle Schnittstellen (USB, RS232)</i>	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:ALARm:ACTion:PFail_{ AUTO OFF } SYSTem:ALARm:ACTion:PFail? Legt fest, wie sich der DC-Eingang bzw. DC-Ausgang des Gerätes nach einem Power Fail (PF) Alarm verhalten soll. PF bedeutet z. B. kurzzeitiger Netzausfall; das Gerät könnte demnach nach Netzwiederkehr automatisch weiterarbeiten. AUTO = Zustand wie vor PF wird wiederhergestellt OFF = DC-Eingang / DC-Ausgang wird ausgeschaltet (Standardeinstellung)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SYSTem:ALARm:ACTion:OTEMperature_{ AUTO OFF } SYSTem:ALARm:ACTion:OTEMperature? Legt fest, wie sich der DC-Eingang bzw. DC-Ausgang des Gerätes nach erfolgter Abkühlung nach einem Übertemperaturalarm (OT) verhalten soll. AUTO = Zustand wie vor OT wird wiederhergestellt (Standardeinstellung) OFF = DC-Eingang / DC-Ausgang wird ausgeschaltet	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	—

5.4.11.1 Befehle für Einstellungen zu Anybus-Modulen

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—

Die meisten Anybus-Module können für Befehle im SCPI-Format verwendet und somit über die Schnittstelle selbst oder die eingebaute USB-Schnittstelle des Gerätes auch „fernkonfiguriert“ werden. Diese Einstellungen werden automatisch gespeichert, sobald sie verändert wurden.

Befehl	Beschreibung																																												
SYSTem:COMMunicate:INTerface:CODE?	Diese Abfrage gibt einen Zahlenwert zurück, der das im Gerät befindliche Anybus-Schnittstellenmodul bestimmt: <div><div>5 = Profibus 9 = RS232 16 = CANopen 18 = ModBus TCP 1P 19 = Profinet/IO 1P 20 = Ethernet 1P</div><div>21 = Ethernet 2P 22 = ModBus TCP 2P 23 = Profinet/IO 2P 25 = CAN 26 = EtherCAT</div></div>																																												
SYSTem:COMMunicate:INTerface:TYPE?	Gibt die Bezeichnung des Anybus-Schnittstellenmoduls als String zurück, z. B. „Profibus“																																												
SYSTem:COMMunicate:INTerface:SERial?	Gibt die Sereinnummer des Anybus-Schnittstellenmoduls als String zurück																																												
SYSTem:COMMunicate:INTerface:ADDRess_<NR1> SYSTem:COMMunicate:INTerface:ADDRess?	Legt die Profibusadresse für das Profibusmodul IF-AB-PBUS fest oder fragt diese ab. Zulässiger Adressbereich: 0...125																																												
SYSTem:COMMunicate:PROFibus:ID?	Frägt die Profibus-ID des Herstellers ab.																																												
SYSTem:COMMunicate:PROFibus:FTAG_<SRD> SYSTem:COMMunicate:PROFibus:FTAG?	Setzt bzw. fragt den Profibus-/Profinet-spezifischen „Function Tag“ (Funktionskennung) ab, ein String von bis zu 32 Zeichen																																												
SYSTem:COMMunicate:PROFibus:LTAG_<SRD> SYSTem:COMMunicate:PROFibus:LTAG?	Setzt bzw. fragt den Profibus-/Profinet-spezifischen „Location Tag“ (Ortskennung) ab, ein String von bis zu 22 Zeichen																																												
SYSTem:COMMunicate:PROFibus:DATE_<SRD> SYSTem:COMMunicate:PROFibus:DATE?	Setzt bzw. fragt das Profibus-/Profinet-spezifische „Installation Date“ (Installationsdatum) ab, ein Datums-/Zeitstring von bis zu 40 Zeichen																																												
SYSTem:COMMunicate:PROFibus:DESCription_<SRD> SYSTem:COMMunicate:PROFibus:DESCription?	Setzt bzw. fragt eine Profibus-/Profinet-spezifischen „Description“ (Beschreibung) ab, ein String von bis zu 54 Zeichen																																												
SYSTem:COMMunicate:PROFibus:NAME_<SRD> SYSTem:COMMunicate:PROFibus:NAME?	Setzt bzw. fragt den Profinet-spezifischen „Station name“ (Beschreibung) ab, ein String von bis zu 200 Zeichen																																												
SYSTem:COMMunicate:INTerface:BAUD_<NR1> SYSTem:COMMunicate:INTerface:BAUD?	Dient zur Festlegung der Übertragungsgeschwindigkeit des Busses für das CANopen-, CAN oder RS232-Modul. Gespeichert wird nur der Wert 0-9. Das heißt, bei Wert 3 gespeichert, würde ein CANopen mit 100 kbps laufen und ein RS232 mit 19200 Baud. <table><tr><th>Wert</th><th>CANopen</th><th>CAN</th><th>RS232</th></tr><tr><td>0</td><td>10 kbps</td><td>10 kbps</td><td>2400 Bd</td></tr><tr><td>1</td><td>20 kbps</td><td>20 kbps</td><td>4800 Bd</td></tr><tr><td>2</td><td>50 kbps</td><td>50 kbps</td><td>9600 Bd</td></tr><tr><td>3</td><td>100 kbps</td><td>100 kbps</td><td>19200 Bd</td></tr><tr><td>4</td><td>125 kbps</td><td>125 kbps</td><td>38400 Bd</td></tr><tr><td>5</td><td>250 kbps</td><td>250 kbps</td><td>57600 Bd</td></tr><tr><td>6</td><td>500 kbps</td><td>500 kbps</td><td>115200 Bd</td></tr><tr><td>7</td><td>800 kbps</td><td>1 Mbps</td><td>-</td></tr><tr><td>8</td><td>1 Mbps</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>9</td><td>Auto</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>	Wert	CANopen	CAN	RS232	0	10 kbps	10 kbps	2400 Bd	1	20 kbps	20 kbps	4800 Bd	2	50 kbps	50 kbps	9600 Bd	3	100 kbps	100 kbps	19200 Bd	4	125 kbps	125 kbps	38400 Bd	5	250 kbps	250 kbps	57600 Bd	6	500 kbps	500 kbps	115200 Bd	7	800 kbps	1 Mbps	-	8	1 Mbps	-	-	9	Auto	-	-
Wert	CANopen	CAN	RS232																																										
0	10 kbps	10 kbps	2400 Bd																																										
1	20 kbps	20 kbps	4800 Bd																																										
2	50 kbps	50 kbps	9600 Bd																																										
3	100 kbps	100 kbps	19200 Bd																																										
4	125 kbps	125 kbps	38400 Bd																																										
5	250 kbps	250 kbps	57600 Bd																																										
6	500 kbps	500 kbps	115200 Bd																																										
7	800 kbps	1 Mbps	-																																										
8	1 Mbps	-	-																																										
9	Auto	-	-																																										

Befehl	Beschreibung
SYSTem:COMMunicate:CAN:BROadcast_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:BROadcast?	Legt die Broadcast-ID für normale CAN-Kommunikation fest. Zulässiger Bereich: 0...2047 (11 Bit) bzw. 0...536870911 (29 Bit)
SYSTem:COMMunicate:CAN:DLC_{AUTO FILL} SYSTem:COMMunicate:CAN:DLC?	Datenlänge der CAN-Nachricht einer Antwort vom Gerät. AUTO = die Anzahl der Datenbytes variiert je nach Befehl/Register (Standard) FILL = die Anzahl der Datenbytes ist immer 8, ggf. mit Nullen aufgefüllt
SYSTem:COMMunicate:CAN:FORMat_{BASE EXT} SYSTem:COMMunicate:CAN:FORMat?	Wählt das CAN-Adress-Format. BASE = 11 Bit (CAN 2.0A) (Standard) EXT = 29 Bit (CAN 2.0B)
SYSTem:COMMunicate:CAN:NODE_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:NODE?	Legt die Basis-ID für die normale CAN-Kommunikation fest. Zulässiger Bereich: 0...2047 (11 Bit) bzw. 0... 536870911 (29 Bit)
SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:NODE_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:NODE?	Legt die Base-ID für das zyklische Lesen fest. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: 0...2047 (11 Bit) bzw. 0... 536870911 (29 Bit)
SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:ACTual_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:ACTual?	Definiert das Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Istwerte (U, I, P) des Gerätes über CAN-Schnittstelle IF-AB-CAN. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: 20...5000
SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:ALIMits_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:ALIMits?	Definiert das Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Einstellgrenzen (Limits) von U und I (bei PSB/PSBE 9000: Strom für den Quelle-Betrieb) des Gerätes über CAN-Schnittstelle IF-AB-CAN. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: 0 oder 20...5000 (0 = zyklisches Lesen für dieses Objekt ist deaktiviert)
SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:BLIMits_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:BLIMits?	Definiert das Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Einstellgrenzen (Limits) von P und R (bei PSB/PSBE 9000: Leistung und Widerstand für den Quelle-Betrieb) des Gerätes über CAN-Schnittstelle IF-AB-CAN. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: 0 oder 20...5000 (0 = zyklisches Lesen für dieses Objekt ist deaktiviert)
SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:CLIMits_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:CLIMits?	Nur für Serien PSB 9000 und PSBE 9000: Definiert das Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Einstellgrenzen (Limits) von I, P und R (Senke-Betrieb) über CAN-Schnittstelle IF-AB-CAN. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: 0 oder 20...5000 (0 = zyklisches Lesen für dieses Objekt ist deaktiviert)
SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:SETs_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:SETs?	Definiert das Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Sollwerte (U, I, P, R) des Gerätes. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: 0 oder 20...5000 (0 = zyklisches Lesen für dieses Objekt ist deaktiviert)
SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:BSETs_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:BSETs?	Nur für Serien PSB 9000 und PSBE 9000: Definiert das Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Sollwerte I, P, R (Senke-Betrieb) des Gerätes. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: 0 oder 20...5000 (0 = zyklisches Lesen für dieses Objekt ist deaktiviert)

Befehl	Beschreibung
SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:STAT_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:STAT?	Definiert das Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen des Status des Gerätes. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: 0 oder 20...5000 (0 = zyklisches Lesen für dieses Objekt ist deaktiviert)
SYSTem:COMMunicate:CAN:SEND:NODE_<NR1> SYSTem:COMMunicate:CAN:SEND:NODE?	Legt die Base-ID für das zyklische Schreiben fest. Siehe auch Abschnitt 8.3.2. Zulässiger Bereich: 0...2047 (11 Bit) bzw. 0... 536870911 (29 Bit)
SYSTem:COMMunicate:CAN:TERMination_{ON OFF} SYSTem:COMMunicate:CAN:TERMination?	Schaltet den CAN-Bus-Abschlußwiderstand im Schnittstellenmodul ein (ON) oder aus (OFF)

5.4.11.2 Befehle für Einstellungen zu Ethernetschnittstellen

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Diese Befehle gelten für alle Geräte, die eine Ethernetschnittstelle unterstützen, egal ob eingebaut oder steckbar. Einige werden jedoch nur unterstützt, wenn ein steckbares Anybus-Schnittstellenmodul vorhanden ist.

Die in 2019 erschienenen Serien PSB 10000, ELR 10000 und PSI 10000 unterstützen zwei Ethernetschnittstellen pro Gerät. Dabei wird der eingebaute Ethernetport als der sekundäre betrachtet. Der Zugriff auf dessen Einstellungen muß daher immer umgeschaltet werden. Übersicht:

	ELR 5000, EL 3000 B, PS 3000 C PS 9000, PS 9000 T, PSI 9000 T, PSI 5000, PSI 9000 DT	ELR 9000, PSI 9000, PSB 9000, PSE 9000, PSBE 9000	PSB 10000, PSI 10000, ELR 10000
Primäre Ethernet	eingebaut	Anybus (optional)	Anybus (optional)
Sekundäre Ethernet	-	-	eingebaut

Befehl	Beschreibung
SYSTem:COMMunicate:LAN:1SPEed[?]<SRD> 10HALF 10FULL 100HALF 100FULL SYSTem:COMMunicate:LAN:2SPEed[?]<SRD> 10HALF 10FULL 100HALF 100FULL	Nur für IF-AB-Module mit Ethernetport (ETH, MBUS) Legt die Übertragungsgeschwindigkeit von Anybus Ethernetmodulen mit ein (P1) oder zwei (P1, P2) fest: AUTO = Auto-Aushandlung 10HALF = 10MBit, Halbduplex 10FULL = 10MBit, Vollduplex 100HALF = 100MBit, Halbduplex 100FULL = 100MBit, Vollduplex
SYSTem:COMMunicate:LAN:ADDRess[?]<SRD>	Legt die IP-Adresse der gewählten Ethernetschnittstelle fest bzw. fragt diese ab. Der String muß die IP-Adresse im typischen Format enthalten, wie 192.168.0.2.
SYSTem:COMMunicate:LAN:CONTRol[?]<SRD> 0...65535	Legt den TCP-Port für die gewählte Ethernetschnittstelle fest bzw. fragt diesen ab. Dieser Port ist standardmäßig 5025 und dient zur ModBus RTU- bzw. SCPI-Kommunikation. Er darf nicht auf 502 gesetzt werden, auch wenn das Gerät ModBus TCP unterstützt. Port 502 ist standardmäßig aktiv und reserviert.
SYSTem:COMMunicate:LAN:DHCP[?]<SRD> ON OFF	Aktiviert mit ON bzw. deaktiviert mit OFF die DHCP-Funktionalität der gewählten Ethernetschnittstelle. Standardeinstellung ist OFF. Bei OFF wird die mit Befehl :ADDR (siehe oben) gesetzte IP benutzt.
SYSTem:COMMunicate:LAN:DNS1[?]<SRD> SYSTem:COMMunicate:LAN:DNS2[?]<SRD>	Legt die DNS-Adresse für den ersten DNS1 der gewählten Ethernetschnittstelle fest, sowie auch für den zweiten DNS2 (nur Anybus-Module) bzw. fragen die Adressen ab.

ModBus & SCPI

Befehl	Beschreibung
SYSTem:COMMunicate:LAN:DOMain[?]<SRD>	Legt die Domäne fest (siehe Netzwerkterminologie) fest bzw. fragt diesen ab. Parameter für die Festlegung ist ein String mit bis zu 54 Zeichen Länge. Die Domäne kann benutzt werden, um ein bestimmtes Gerät im Netzwerk zu identifizieren oder dessen Webseite aufzurufen, ohne dessen IP-Adresse zu kennen.
SYSTem:COMMunicate:LAN:GATeway[?] <SRD>	Legt die Gateway-Adresse der gewählten Ethernetschnittstelle fest bzw. fragt diese ab. Format wie bei der IP-Adresse. Wird nicht unbedingt benötigt, kann daher auf der Standardadresse gelassen werden.
SYSTem:COMMunicate:LAN:HOSTname[?]<SRD>	Legt den Hostnamen (siehe Netzwerkterminologie) fest bzw. fragt diesen ab. Parameter für die Festlegung ist ein String mit bis zu 54 Zeichen Länge
SYSTem:COMMunicate:LAN:KEEPAlive[?]{ON OFF}	Aktiviert bzw. deaktiviert das sog. „TCP keep-alive“ für die gewählte Ethernetschnittstelle. Siehe auch „3.7. Verbindungs-Timeout“. Standardeinstellung: OFF (aus)
SYSTem:COMMunicate:LAN:MAC?	Frägt die MAC-Adresse der gewählten Ethernetschnittstelle ab, sofern physikalisch vorhanden.
SYSTem:COMMunicate:LAN:SMASk[?]<SRD>	Legt die Subnetzmaske des der gewählten Ethernetschnittstelle fest bzw. fragt diese ab. Format wie bei der IP-Adresse.
SYSTem:COMMunicate:LAN:TIMEout[?]{0 5...65535}	Legt für gewählte Ethernetschnittstelle ein Verbindungs-Timeout in Sekunden fest. Mit Wert 0 wird der Timeout deaktiviert. Siehe auch „3.7. Verbindungs-Timeout“. Standardeinstellung: 5 Sekunden

Für die 2019 erschienenen Serien PSB 10000, ELR 10000 und PSI 10000 gibt es einen weiteren Befehl. Dieser dient zur Umschaltung des Zugriffs auf die Parameter zwischen der eingebauten, sekundären Ethernetschnittstelle (RJ45) und der zusätzlich möglichen, primären Ethernetschnittstelle (Slot, Anybus-Modul). Dabei ist primäre Schnittstelle nach dem Hochfahren standardmäßig ausgewählt (INDEX = 1), auch wenn kein Modul gesteckt ist.

Befehl	Beschreibung
SYSTem:COMMunicate:LAN:INDEX_{1 2} SYSTem:COMMunicate:LAN:INDEX?	Temporäre Umschaltung zwischen interner (2) und zusätzlicher Ethernetschnittstelle (1, Standard nach Hochfahren).

5.4.12 Befehle zur Fernbedienung des Funktionsgenerators

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—	✓	—	—



Die mittels dieser Befehle ladbaren Sequenzen und Tabellen werden **nicht** im Gerät gespeichert!

Der Funktionsgenerator ist ein komplexer Teil der Bedienmöglichkeiten des Gerätes. Er ist über eine Reihe von SCPI-Befehlen konfigurier- und steuerbar. Die Bedienung des Funktionsgenerators am Gerät erzwingt eine gewisse Abfolge von Auswahl und Einstellungen, bis hin zum eigentlichen Startpunkt. Die einzelnen Befehle können diese Abfolge nicht erzwingen, daher ist der Anwender gefordert, die richtige Reihenfolge anzuwenden:

1) Art des Funktionsgenerators wählen

Der Funktionsgenerator muß nach dem Hochfahren des Gerätes mindestens einmal konfiguriert werden. Dazu wird als erstes die Art des Funktionsgenerators gewählt, wovon die weiteren Schritte abhängen. Zur Verfügung stehen zwei unterschiedliche Generatoren: **XY** und **Arbiträr**. Der XY-Funktionsgenerator ist nichts weiter als ein Speicher für eine Tabelle aus bis zu 4096 Werten, die 0-125% Nennwert Spannung oder Strom des Gerätes entsprechen. Der Arbiträrgenerator hingegen ist für Funktionen wie Sinus, Rechteck, Dreieck usw.

2) Funktionsgenerator konfigurieren (Teil 1)

Wenn der Arbiträrgenerator genutzt werden soll, ist der nächste Schritt die Auswahl, ob die Funktion auf die Spannung (U) oder den Strom (I) angewendet wird. Anwendung auf die Leistung (P) wird nicht unterstützt. Als dritter Teil der Konfiguration sollte noch die Anzahl der zu verwendenden Sequenzen festgelegt werden. Das geschieht nicht automatisch.

Wenn der XY-Generator genutzt werden soll, ist der nächste Schritt die Auswahl, was für eine XY-Kurve später geladen und gestartet werden soll. In Abhängigkeit davon werden die zu schreibenden Tabellenwerte interpretiert und auf Plausibilität geprüft.

3) Funktionsgenerator konfigurieren (Teil 2)

Der letzte Schritt ist, Daten in den Funktionsgenerator zu laden. Beim Arbiträrgenerator werden dazu bis zu 99 Sequenzen mit jeweils mehreren Parametern befüllt. Die Anzahl der effektiv verwendeten Sequenzen ist beliebig, jedoch mindestens eins.

Beim XY-Generator dagegen werden 1-4096 Werte geschrieben.



XY-Kurvendaten und Sequenzdaten müssen mittels eines "Übernehmen"-Befehls bestätigt werden. Das erfordert eine gewisse Wartezeit vor dem nächsten Befehl. Es wird nach Abschicken des Extranbefehls bzw. vor Start des Generators eine Wartezeit von mindestens 2 Sekunden empfohlen.

4) Funktionsgenerator benutzen

Der Funktionsgenerator ist dann fertig konfiguriert und kann nun gestartet werden.



Ein Wechsel des Funktionsgeneratormodus' erfordert immer, den Funktionsgenerator quasi zu verlassen, indem [SOURce:]FUNCTION:GENerator:SElect OFF gesendet wird. Erst danach kann ein anderer Modus gewählt werden. Zuvor geladene Tabellen- oder Sequenzpunktdaten gehen hierdurch verloren.

5.4.12.1 Funktionsübersicht

Der Funktionsgenerator bietet nicht bei allen Serien denselben Umfang an Funktionen. Hier eine Übersicht, welche Serien welchen Funktionen bieten:

	ELR9	PSI9	DT	PSIT	PSB
Arbiträrgenerator	✓	✓	✓	✓	✓
XY-Generator	✓	✓	—	—	✓

5.4.12.2 XY-Generator: Moduswahl (außer Serien PSB 9000 und PSB 10000)

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCTION:GENErator:SELEct_{UI IU PV NONE} [SOURce:]FUNCTION:GENErator:SELEct?	Wählt den XY-Funktionsgeneratormodus aus: UI = UI-Kurve oder FC-Kurve IU = IU-Kurve PV = Einfache PV-Kurve (für die erweiterte PV-Kurve nach EN 50530 siehe Abschnitt 5.4.17) NONE = Funktionsgenerator verlassen

5.4.12.3 XY-Generator: Moduswahl (nur Serien PSB 9000 und PSB 10000)

Die Konfiguration des XY-Generators bei der Serie PSB 9000 ist etwas anders gestaltet, da man hier zum Einen nur eine **IU**-Kurve verwenden kann und zum Anderen gewählt werden muß, in welchem Quadranten die Kurve laufen soll, also ob im Quelle-Betrieb (PS) oder im Senke-Betrieb (EL). Im Gegensatz zu anderen Geräteserien mit XY-Generator muß bei einem PSB 9000 die **FC**-Funktion (fuel cel, Brennstoffzelle) explizit gewählt werden, denn sie läuft nur im Quelle-Betrieb.

Ein PSB hat zudem Speicher für zwei **einfache PV**-Kurven, hier als **PVA** und **PVB** benannt.

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCTION:GENErator:SELEct_{FC IUPS IUEL IU PVA PVB NONE} [SOURce:]FUNCTION:GENErator:SELEct?	Wählt den XY-Funktionsgeneratormodus aus: FC = FC-Kurve im Quelle-Betrieb IUPS = IU-Kurve im Quelle-Betrieb IUEL = IU-Kurve im Senke-Betrieb IU = IU-Kurve im kombinierten Quelle-Senke-Betrieb (der Stromsollwert aus der Kurve wird, je nach Verhältnis von Spannungssollwert zu Spannungswert am DC-Anschluß, entweder für den Quelle- oder Senke-Betrieb gesetzt) PVA = Einfache PV-Kurve A PVB = Einfache PV-Kurve B (für die erweiterte PV-Kurve nach EN 50530 siehe Abschnitt 5.4.17) NONE = Funktionsgenerator verlassen

5.4.12.4 XY-Generator: Tabellendaten laden

Der XY-Generator benötigt eine Tabelle aus bis zu 4096 Sollwerten. Siehe auch die Beschreibung des XY-Generators im Gerätehandbuch.

Bevor es möglich ist, Tabellendaten in das Gerät zu übertragen, muß der Tabellentyp gewählt werden, damit das Gerät „weiß“, wie es die Werte zu interpretieren hat, also als Spannung oder Strom. Beim Empfang werden diese dann auf Plausibilität geprüft und erzeugen ggf. einen Parameterfehler.

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCTION:GENErator:XY:LEVEl_{0...4095}	1. Wählt einen Tabelleneintrag aus 4096 zum Schreiben aus bzw. liest den aktuell gewählten Tabelleneintrag aus.
[SOURce:]FUNCTION:GENErator:XY:DATA_{<Nr> [SOURce:]FUNCTION:GENErator:XY:DATA?	2. Schreibt einen Wert mit :DATA, z. B. eine Spannung, in den zuvor gewählten Tabelleneintrag. Dient auch zur Abfrage des aktuellen Wertes.
[SOURce:]FUNCTION:GENErator:XY:SUBmit	3. Bis dato geschriebene Tabellendaten übernehmen. Das kann ein beliebiger Teil der max. 4096 Werte sein, der Rest wäre dann 0. Danach kann die Funktion gestartet werden
[SOURce:]FUNCTION:GENErator:XY:SECond:LEVEl_{0...4095}	Nur PSB 9000 und PSB 10000 Serien. Dito, aber für die zweite XY-Tabelle
[SOURce:]FUNCTION:GENErator:XY:SECond:DATA_{<Nr> [SOURce:]FUNCTION:GENErator:XY:SECond:DATA?	
[SOURce:]FUNCTION:GENErator:XY:SECond:SUBmit	

5.4.12.5 Arbiträrgenerator: Moduswahl und Konfiguration

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:SElect_{VOLTAGE CURRENT} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:SElect?	Wählt den Arbiträrgenerator aus. VOLTage = Arbiträr für U CURRent = Arbiträr für I NONE = Funktionsgenerator verlassen
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:StArt_{1..99} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:StArt?	Legt die erste abzuarbeitende Sequenz (1...99) fest bzw. fragt deren Nummer ab. Wird nur eine Sequenz benutzt, muß :StArt = :END gesetzt werden. Auch sollten nur Sequenzen verwendet werden, die vorher mit sinnvollen Daten beschrieben worden.
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:ENd_{1..99} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:ENd?	Legt die letzte abzuarbeitende Sequenz (1...99) fest bzw. fragt deren Nummer ab. Wird nur eine Sequenz benutzt, muß :StArt = :END gesetzt werden.
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:NUMber_{0..999} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:NUMber?	Legt fest, wie oft der Block aus Sequenzen, wie mit :StArt und :END festgelegt, durchlaufen werden soll bzw. fragt die eingestellte Anzahl ab. 0 = unendlich oft 1...999 = Anzahl Durchläufe

5.4.12.6 Arbiträrgenerator: Sequenzdaten laden

Sequenzdaten sollten erst an das Gerät geschickt werden, wenn vorher in den Funktionsgenerator-Modus umgeschaltet und die Zuordnung des Arbiträrgenerator zu U oder I festgelegt wurde.

Eine Funktion kann aus einer oder mehreren Sequenzen bestehen, die dann einen Teil oder eine ganze Funktion bilden. Mehrere Sequenzen, sofern so festgelegt, werden immer hintereinander ausgeführt und können teils auch komplexe Funktionen abbilden. Sequenzdaten werden mit drei Befehlen geladen, die daher auch eine gewissen Reihenfolge der Übermittlung an das Gerät erfordern:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:LEVel_{1..99} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:LEVel?	1. Wählt eine Sequenz, ähnlich wie im Bedienfeld (HMI) des Gerätes, zum Schreiben aus bzw. liest die aktuelle Sequenznummer
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:INdEx_{0...7} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:INdEx?	2. Für jede Sequenz sind eine Reihe Parameter zu setzen. Der Wert INdEx wählt aus, welcher Parameter mit dem nächsten Befehl (:DATA) geschrieben werden soll. Die Indexe sind unten erläutert. Dient auch zur Abfrage des aktuellen Index'.
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:DATA_{<NRf> [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:DATA?	3. Schreibt einen Wert DATA , z. B. eine Frequenz, in den zuvor gewählten Parameter, als Teil einer Sequenz. Auswahl des Wertes über :INdEx . Dient auch zur Abfrage des letzten Wertes.
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:SUBmit	4. Übernehmen aller Daten. Ohne diesen Befehl kann der FG zwar gestartet werden, aber alle Werte sind noch auf 0.



Zwischen den DC- und AC-Werten besteht eine gewisse Abhängigkeit. Es gilt: soll der AC-Anteil der Funktion genutzt werden, müssen die DC-Werte zuerst gesetzt werden, ansonsten würden die AC-Werte nicht akzeptiert und ein Fehler in den SCPI-Fehlerpuffer ausgegeben. Weiterhin dürfen die DC-Werte (Start, End) nicht kleiner sein als die zugehörigen AC-Werte (Start, End). Es kann nützlich sein, einen soeben geschriebenen Wert zurückzulesen, um zu prüfen, ob er angenommen wurde. Alternativ könnte man den Fehlerpuffer auslesen.

Wenn man den Arbiträrgenerator am Bedienfeld des Gerätes konfiguriert, werde bestimmte Parameter gegeneinander abgegrenzt, damit das resultierende Signal so aussieht, wie man es erwartet. In der Fernsteuerung ist diese Art von Plausibilität nicht vorhanden und daher muß der Anwender dafür sorgen, korrekte Werte an den Funktionsgenerator zu senden. Zum Beispiel ist Index 0 an Index 5 geknüpft und Index 1 an Index 6, weil die Mittellinie einer Sinuskurve, hier der AC-Anteil, einen Offset zu 0 darstellt und somit der DC-Anteil (Index 5 oder 6) vom Wert her immer mindestens so groß sein muß wie der AC-Anteil (Index 0 oder 1, der höhere von beiden), ansonsten würde die Sinuskurve gekappt werden. Siehe Abbildungen unten.

ModBus & SCPI

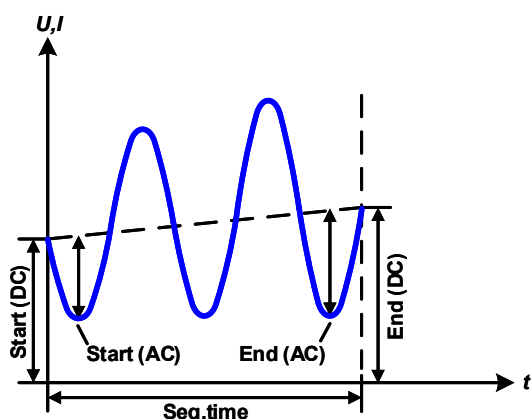
In Anlehnung an die Einstellmöglichkeiten am Gerät, wenn der Arbiträr-Generator gewählt wurde, sind folgende Indexe mit **:INDEX** auswählbar und mit **:DATA** schreibbar:

Index	Parameter	Datentyp	Einheit	Wertebereich	Hinweis
0	Startwert (Amplitude)	Fließkomma	A, V	0...Nennwert von U oder I	Für AC-Anteil
1	Endwert (Amplitude)	Fließkomma	A, V	0...Nennwert von U oder I	Für AC-Anteil
2	Startfrequenz in Hz	Ganzzahl	Hz	0...10000	Für AC-Anteil
3	Endfrequenz in Hz	Ganzzahl	Hz	0...10000	Für AC-Anteil
4	Startwinkel in °	Ganzzahl	-	0...359	Für AC-Anteil
5	Startwert (Offset)	Fließkomma	A, V	0...Nennwert von U oder I Nur PSB 9000: -Nennwert U oder I...+ Nennwert U oder I	Für DC- und AC-Anteil
6	Endwert (Offset)	Fließkomma	A, V	0...Nennwert von U oder I Nur PSB 9000: -Nennwert U oder I...+ Nennwert U oder I	Für DC- und AC-Anteil
7	Sequenzdauer	Fließkomma	s	0,0001...36000	

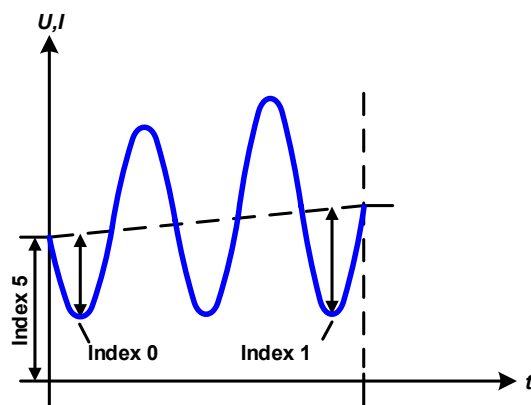


Falls Startwert ungleich Endwert (Index 0+1, sowie 5+6), dann erwartet das Gerät eine gewisse Mindeststeigung von $\pm 0,058\%/s$ über die Sequenzdauer, sowie Startfrequenz und Endfrequenz (Index 2+3) von $\pm 9,3\text{ Hz/s}$, ansonsten werden die Werte nicht angenommen. Dies wird nicht in Form eines SCPI-Fehlers mitgeteilt. Es ist somit z. B. nicht möglich, den Eingangsstrom einer elektronischen Last um 1 A über 1 h verteilt ansteigen zu lassen (Rampe), weil das die interne Sollwertauflösung bei Weitem übersteigt. Anderes Beispiel: bei Sequenzdauer = 2 s würden Startfrequenz = 1 Hz und Endfrequenz = 10 Hz nicht akzeptiert, jedoch Startfrequenz = 30 Hz und Endfrequenz = 5 Hz schon.

Zuordnung der Parameter anhand einer Beispielkurve



bzw.



5.4.12.7 XY-Generator: Steuerung

Nach der Konfiguration des XY-Generators und Laden von Tabellendaten ist es ausreichend, nur den DC-Eingang bzw. DC-Ausgang des Gerätes einzuschalten. Die Kurve ist sofort aktiv. Es findet kein Ablauf oder automatischer Stopp statt, es sei denn, es tritt ein abstellender Gerätealarm auf.

5.4.12.8 Arbiträrgenerator: Steuerung

Im Gegensatz zum XY-Generator, dessen Kurve sofort aktiv ist sobald man den DC-Eingang/-Ausgang einschaltet, wird der Arbiträrgenerator gezielt gesteuert. Eine Pausierung ist dabei nicht möglich. Stoppt der Ablauf, egal ob durch Erreichen der erwarteten Ablaufzeit oder durch einen Gerätealarm, beginnt der nächste Start den gesamten Ablauf von vorn.

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:STATE_{RUN STOP}	Startet bzw. stoppt den arbiträren Funktionsgenerator oder fragt den Zustand ab
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:STATE?	

5.4.12.9 Sonderfunktion "Einfache PV" (Photovoltaik)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	✓	—	—



Für die erweiterte PV-Funktion nach EN 50530 siehe Abschnitt „5.4.17. Befehle für die erweiterte PV-Simulation“.

Die einfache PV-Funktion, wie verfügbar bei Netzgeräten bestimmter Serien, basiert auf dem XY-Generator und simuliert ein Solarmodul. Die dazu benötigte PV-Kurve wird als komplette, vorberechnete IU-Tabelle mit 4096 Werten in das Gerät geladen, im Gegensatz zur Bedienung am HMI, wo das Gerät die Kurve aus vier zu definierenden Parametern selbst berechnet. Diese Möglichkeit kann man jedoch auch in der Fernsteuerung nutzen, auch wenn das etwas umständlich erscheint. Die Tabelle kann man auf zwei Wegen erhalten:

1. Berechnung mit externen Mitteln und Abspeicherung als z. B. CSV-Datei, was erlaubt, die Tabelle auch vom USB-Stick zu laden, oder direkt in einer Steuerungssoftware berechnen und transferieren.
2. Man läßt das Gerät die Tabelle über das HMI berechnen und in den FG laden, danach wieder zurückgehen. An dieser Stelle kann man die Tabelle für spätere Verwendung direkt am HMI auf USB-Stick speichern.

Während des Funktionsablaufs kann die Beschattung zwischen 0 und 100% eingestellt werden, um verschiedene Lichtverhältnisse zu simulieren. Sie wirkt als ein Faktor auf den Strom I_{sc} .

Befehl	Beschreibung
[SOURCE:]IRRadiation_<NR1> [SOURCE:]IRRadiation?	Stellt den Beschattungswert (engl. irradiation) während der Solar-Panel-Simulation ein oder fragt ihn ab als Prozent im Bereich {0...100}. Der Wert wirkt auf den DC-Ausgangsstrom und verschiebt den MPP auf der Y-Achse

Davon ausgehend, das Gerät ist bereits in Fernsteuerung und die PV-Tabelle liegt berechnet vor, ist folgender Ablauf zur Konfiguration des XY-Generators vorgesehen:

► So konfigurieren Sie das Gerät für die einfache PV-Funktion

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	FUNC:GEN:SEL_PV	Nicht für PSB 9000 und PSB 10000 Modelle: Wähle XY-Generator mit PV-Funktion. Ab hier befindet sich das Gerät im Funktionsgenerator-Modus
	FUNC:GEN:SEL_PVA oder FUNC:GEN:SEL_PVB	Für PSB 9000 und PSB 10000 Modelle: Die Serien haben Speicher für zwei PV-Tabellen. Man kann beide wahlweise verwenden und mit diesem Befehl auch zwischen den beiden umschalten, nach oder vor dem Laden von Tabellendaten, aber stets nur bei ausgeschaltetem DC-Anschluß.
2	FUNC:GEN:XY:LEVEL_0	Schreibe alle Tabellenwerte der PV-Funktion nacheinander in das Gerät
3	FUNC:GEN:XY:DATA_150	
...		
8192	FUNC:GEN:XY:LEVEL_4095	
8193	FUNC:GEN:XY:DATA_0	
8194	FUNC:GEN:XY:SUB	Die geschriebenen Werte übernehmen

Nach der Übernahme der Werte und einer Wartezeit (empfohlen: >1 s) kann die Funktion gestartet werden. Optional, falls noch nicht geschehen, könnten noch globale Grenzwerte für Spannung und Leistung so gesetzt werden, daß sie den Ablauf der PV-Funktion nicht stören. Dabei ist es ratsam, die Ausgangsspannung auf den die Leerlaufspannung (U_{oc}) des simulierten Solarmoduls zu setzen, alternativ auf das Maximum:

Nr.	Befehl	Beschreibung
8195	VOLT_MAX	Spannung auf Maximum setzen, unabhängig vom Modell
8196	POW_MAX	Leistungssollwert auf Maximum setzen, unabhängig vom Modell

Nachdem alles eingerichtet und geladen ist, kann die Simulation gestartet und die Beschattung variiert werden. Diese wirkt wie ein Faktor auf den Strom, so daß sich die PV-Kurve auf der Y-Achse verschiebt, wenn der Wert verändert wird. Für eine Darstellung und mehr Informationen siehe Handbuch des PSI 9000 Gerätes.

► So steuern Sie das Gerät während Photovoltaik-PV-Funktion läuft

Nr.	Befehl	Beschreibung
8197	OUTP_ON	Einschalten des DC-Ausgangs
8198	IRR_85	Beschattung setzen (Beispiel: 85%)
8199	OUTP_OFF	Ausschalten des DC-Ausgangs, um die Funktion zu stoppen
8200	FUNC:GEN:SEL_NONE	Mit NONE wird kein Funktionsgeneratortyp gewählt und der Modus damit wieder verlassen.

5.4.12.10 Sonderfunktion: FC (fuel cell)

ELR9	EL9	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	✓	—	—

Die Brennstoffzellensimulation (fuel cell, FC) läuft als eine Funktion auf dem XY-Generator, wie er bei Netzgeräten bestimmter Serien verfügbar ist. Die dazu benötigte FC-Kurve wird als komplette, vorberechnete Tabelle aus 4096 Werten in das Gerät geladen. Die FC-Kurve ist grundsätzlich eine UI-Kurve, also würde für ein PSI 9000 der UI-Modus aktiviert. Bei den Serien PSB 9000 und PSB 10000 gibt es keinen UI-Modus, daher muß der Anwender hier etwas setzen, was die Tabelle aufzeigt. Beim Laden der Tabellenwerte gibt es keine Unterschiede.

	PSI 9000 / PSI 10000	PSB 9000 / PSB 10000
XY-Generatormodus	UI	FC
Kurventyp	UI	IU
Tabelle enthält	Spannungswerte	Stromwerte

Das Laden der Kurve steht im Gegensatz zur Bedienung am HMI, wo das Gerät die Kurve aus vier zu definierenden Stützpunkten selbst berechnet. Diese Möglichkeit kann man jedoch auch in der Fernsteuerung nutzen, auch wenn etwas umständlich erscheint. Die Tabelle kann man auf zwei Wegen erhalten:

1. Berechnung mit externen Mitteln, z. B. in MS Excel.
2. Man läßt das Gerät die Tabelle über das HMI berechnen und in den FG laden lassen, sowie dann das Funktionsgenerator-Menü verlassen. An dieser Stelle könnte man die Tabelle für spätere Verwendung direkt am HMI auf USB-Stick speichern bzw. aus dem Gerät auslesen.



Die zweite Methode empfiehlt sich zur Verwendung mit PSB 9000 / PSB 10000 Geräten, weil es keine offizielle Formel zur Berechnung von Stromwerten aus einer UI-FC-Kurve gibt.

5.4.13 Befehle zur Fernbedienung des Sequenzgenerators

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



Die mittels dieser Befehle ladbaren Sequenzpunktdatei und anderen Einstellungen werden im Gerät gespeichert und auch mit den an der Bedieneinheit einstellbaren Werten synchronisiert.

Der Sequenzgenerator der Serie ELR/ELM 5000 ist eine vereinfachte Variante des Arbiträrgenerators anderer Geräteserien und ist daher recht ähnlich zu konfigurieren und zu bedienen.

Die Bedienung des Funktionsgenerators am Gerät erzwingt eine gewisse Abfolge von Auswahl und Einstellungen, bis hin zum eigentlichen Startpunkt. Die einzelnen Befehle können diese Abfolge nicht erzwingen, daher ist der Anwender gefordert, die richtige Reihenfolge anzuwenden:

1) Als erstes muß der Sequenzgenerator konfiguriert werden. Dazu gehört zum Einen das Laden der Sequenzpunktdatei, sofern andere als die zuletzt gespeicherten verwendet werden sollen. Zum Anderen sollten jedesmal die weiteren Einstellungen festgelegt werden, wie Start-Sequenzpunkt, End-Sequenzpunkt usw. Welche von den beiden Aufgaben zuerst erledigt wird, ist nicht relevant.

2) Den Sequenzgenerator starten und ggf. stoppen.

5.4.13.1 Konfiguration des Sequenzgenerators

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:START_{1..100} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:START?	Legt den erste abzuarbeitenden Sequenzpunkt (1...100) fest bzw. fragt dessen Nummer ab. Wird nur ein Sequenzpunkt benutzt, muß :START = :END gesetzt werden. Es sollten nur Punkte verwendet werden, die vorher mit sinnvollen Daten beschrieben worden.
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:END_{1..100} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:END?	Legt den letzten abzuarbeitenden Sequenzpunkt (1...100) fest bzw. fragt dessen Nummer ab. Wird nur ein Sequenzpunkt benutzt, muß :START = :END gesetzt werden.
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:NUMBER_{0..999} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:NUMBER?	Legt fest, wie oft der Block aus Sequenzpunkten, wie mit :START und :END festgelegt, durchlaufen werden soll bzw. fragt die eingestellte Anzahl ab. 0 = unendlich oft 1...999 = Anzahl Durchläufe

5.4.13.2 Steuerung des Sequenzgenerators

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:STATE_{RUN STOP} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:STATE?	Startet bzw. stoppt den Sequenzgenerator oder fragt den Zustand ab. Das Gerät wechselt beim Start des Generators über Fernsteuerung automatisch die Anzeige.

5.4.13.3 Sequenzdaten laden (Arbiträr)

Sequenzdaten können jederzeit an das Gerät geschickt, wenn der DC-Eingang ausgeschaltet ist. Ein bestimmter Modus muß dafür nicht aktiviert werden. Es ist lediglich erforderlich, daß die Daten jedes geschriebenen Sequenzpunktes für das Gerät gültig sein müssen. Da bei SCPI mit realen Werten gearbeitet wird, ist es besonders wichtig darauf zu achten, welche Sequenzdaten für welches Gerätemodell geladen werden.

Welche der 100 Sequenzpunkte mit Daten beschrieben werden sollen bestimmt der Anwender genauso wie den Start- und End-Sequenzpunkt und die Anzahl der Durchläufe der Sequenz. Es sind beliebig große Blöcke machbar. Ein nicht mit Daten beschriebener Sequenzpunkt würde, wenn beim Durchlauf verarbeitet, Spannung und Strom auf 0 setzen und die minimale Sequenzpunktzeit von 300 ms ausführen, demnach eine kurze Unterbrechung darstellen.

Befehle zum Laden von Daten für Sequenzpunkte:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:LEVEL_{1...100} [SOURce:]FUNCTION:GENerator:WAVE:LEVEL?	Wählt einen Sequenzpunkt, ähnlich wie im Bedienfeld (HMI) des Gerätes, zum Schreiben aus bzw. liest die Nummer des aktuell gewählten

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:INDEX_{0...3} [SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:INDEX?	Für jeden Sequenzpunkt sind 4 Parameter zu setzen. Der Wert INDEX wählt aus, welcher Parameter mit dem nächsten Befehl (:DATA) geschrieben werden soll. Die Indexe sind unten erläutert. Dient auch zur Abfrage des aktuellen Index'.
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:DATA_{<NRf> [SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:DATA?	Schreibt einen Wert in den zuvor gewählten Parameter, als Teil der Definition eines Sequenzpunktes. Auswahl des Parameters erfolgt über :INDEX. Dient auch zur Abfrage des letzten Wertes.
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:SUBmit	Übernehmen aller Daten. Ohne diesen Befehl würden die vorherigen Werte verwendet werden.

Das Ganze wird für jeden zu schreibenden Sequenzpunkt wiederholt. Im Fall, daß alle 99 Sequenzpunkte geladen werden sollen, sind demnach 900 Befehle nötig (siehe Schritte 1-9 im Beispiel unten).

In Anlehnung an die Einstellmöglichkeiten am Gerät, wenn ein Sequenzpunkt zur Einstellung gewählt wurde, sind folgende Parameter mit :INDEX auswählbar und mit :DATA schreibbar:

Index	Parameter	Wertebereich
0	Spannung für den Sequenzpunkt in Volt	0...Nennwert von U
1	Strom für den Sequenzpunkt in Ampere	0...Nennwert von I
2	Leistung für den Sequenzpunkt in Watt	0...Nennwert von P
3	Dauer des Sequenzpunktes in Sekunden	0,300...36000,000 (300 ms ... 10 h), Schrittweite 1 ms



Wird einer der drei Sollwerte nicht gesetzt, behält er den zuletzt gespeicherten Wert bei. Daher wird empfohlen, immer alle drei Werte vorzugeben, um das gewünschte Resultat zu erzielen.



Die am HMI setzbaren Einstellungsgrenzen („Limits“) gelten nicht für Sequenzpunktdateien.

5.4.13.4 Programmierbeispiel zum Sequenzgenerator

Annahme: die Quelle soll mit 20 A für 60 Sekunden belastet werden. Da ein ELM 5000 Lastmodule max. 320 W Leistung aufnehmen kann, darf die Eingangsspannung 16 V nicht erreichen, sonst greift die Leistungsbegrenzung und der Strom sinkt. Der Leistungssollwert wird auf das Maximum gesetzt.

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	FUNC:GEN:WAVE:LEV_12	Wählt den 12. Sequenzpunkt zum Schreiben aus, beispielsweise wird nur dieser eine beschrieben und für die Sequenz verwendet
2	FUNC:GEN:WAVE:IND_0	Index 0 wählen: Spannungssollwert
3	FUNC:GEN:WAVE:DATA_0	Setzt den Spannungssollwert für Sequenzpunkt 12 auf 0 V. Möglich wäre 0...80 bei einem 80 V-Modell. Bei elektronischen Lasten ist die Spannung zweitranging und wird, wenn Betrieb der Last in CC-Modus geplant ist, auf 0 gesetzt.
4	FUNC:GEN:WAVE:IND_1	Index 1 wählen: Stromsollwert
5	FUNC:GEN:WAVE:DATA_20	Setzt den Stromsollwert für Sequenzpunkt 12 auf 20 A. Möglich wäre 0...25 bei einem 80 V-Modell
6	FUNC:GEN:WAVE:IND_2	Index 2 wählen: Leistungssollwert
7	FUNC:GEN:WAVE:DATA_320	Setzt die Leistung für Sequenzpunkt 12 auf 320 W. Möglich wäre 0...320. Soll die Leistung nicht unter Nennwert begrenzt werden, sollten alle verwendeten Sequenzpunkte auf den Maximalwert gesetzt werden. Es gibt keinen globalen Leistungssollwert.
8	FUNC:GEN:WAVE:IND_3	Index 3 wählen: Zeit
9	FUNC:GEN:WAVE:DATA_60	Setzt die Zeit, die mit den durch Sequenzpunkt 12 gesetzten Sollwerten vergehen soll, auf 60 s oder 1 Minute.
10	FUNC:GEN:WAVE:SUBMIT	Sequenzdaten übernehmen

Nr.	Befehl	Beschreibung
11	FUNC:GEN:WAVE:START_12	Setzt den ersten Sequenzpunkt der Sequenz auf 12
12	FUNC:GEN:WAVE:END_12	Setzt den letzten Sequenzpunkt der Sequenz auch auf 12
13	FUNC:GEN:WAVE:NUM_1	Setzt 1 Durchlauf, d. h. es findet keine Wiederholung der Sequenz statt

Das Ergebnis: mit dem Start des Sequenzgenerators, egal ob der DC-Eingang dabei schon eingeschaltet ist oder nicht, werden die Sollwerte des einen Sequenzpunktes (0 V, 20 A, 320 W) gesetzt und ggf. der DC-Eingang eingeschaltet. Die elektronische Last nimmt dann für 60 Sekunden lang max. 20 A Strom bei max. 320 W auf. Nach Ablauf der 60 Sekunden stoppt der Sequenzgenerator automatisch nach 1 Durchlauf. Der DC-Eingang bleibt eingeschaltet und die Last macht weiter mit dem gesetzten Strom.

Wollte man aber, daß die Last nach den 60 Sekunden keinen Strom mehr zieht, wäre eine weitere Sequenz nötig, die dann 0 A setzt. Da Sequenzen immer nacheinander ablaufen, böte sich an auch Sequenz 13 zu programmieren, oder eine nachfolgende. Die Befehlsfolge oben ergänzt sich nach Schritt 9 wie folgt:

Nr.	Befehl	Beschreibung
10	FUNC:GEN:WAVE:LEV_13	Wählt den 13. Sequenzpunkt zum Schreiben aus
11	FUNC:GEN:WAVE:IND_1	Index 1 wählen: Stromsollwert
12	FUNC:GEN:WAVE:DATA_0	Setzt den Stromsollwert für Sequenzpunkt 13 auf 0 A
13	FUNC:GEN:WAVE:SUBMIT	Sequenzdaten übernehmen
14	FUNC:GEN:WAVE:START_12	Setzt den ersten Sequenzpunkt der Sequenz auf 12
15	FUNC:GEN:WAVE:END_13	Setzt den letzten Sequenzpunkt der Sequenz auf nun 13
16	FUNC:GEN:WAVE:NUM_1	Setzt 1 Durchlauf, d. h. es findet keine Wiederholung der Sequenz statt

Die Spannung und die Zeit für diesen Sequenzpunkt sind irrelevant. Der Sequenzgenerator stoppt nach Sequenz 13 mit 0 A Strom, auch wenn der DC-Eingang an bleibt. Es fließt kein Strom mehr in die Last, das ist vergleichbar mit „Eingang aus“.

5.4.14 Befehle zur Fernbedienung des MPP-Tracking

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	✓	—	—	—	—	✓(1)	—	—	✓	✓	—	—

(1 Nicht PSI 9000 DT)

Das sogenannte „Maximum Power Point Tracking“ (MPPT) ist ein Vorgang, den z. B. Solarwechselrichter benutzen, um den MPP, den maximalen Leistungspunkt, eines Solarpaneels zu finden. Die elektronische Last bildet das Tracking nach. Die Erläuterung dieser Funktion und ihrer 4 Modi ist im Handbuch des Gerätes zu finden. Hier werden nur die Befehle aufgelistet, mit denen die Funktion fernbedienbar wird.

5.4.14.1 Konfiguration des MPP-Tracking

Die Konfiguration vor dem Start des Tracking-Vorgangs wird mittels 14 Indexen und entsprechenden :DATA-Befehlen erledigt:

Befehl	Beschreibung
[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_0 [SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]<NRf> {NONE MPP1 MPP2 MPP3 MPP4}	Index 0: Wahl des MPP-Tracking-Modus' MPP1: MPP-Tracking-Modus 1 (MPP finden) MPP2: MPP-Tracking-Modus 2 (Folgen) MPP3: MPP-Tracking-Modus 3 (Direkt) MPP4: MPP-Tracking-Modus 4 (Benutzerkurve) NONE: MPPT deaktivieren
[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_1 [SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]<NRf>	Index 1: Setzen der sog. Open circuit voltage (Uoc) Uoc (0-Unom)
[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_2 [SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]<NRf>	Index 2: Setzen des sog. Short-circuit current (Isc) Isc (0-Inom)
[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_3 [SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]<NRf>	Index 3: Setzen der Spannungsgrenze für den Direkt-Modus 3 (Umpp). Empfehlung: immer auf 0 setzen Umpp (0-Unom)

Befehl	Beschreibung
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_5 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]<Nrf>	Index 5: Setzen des MPP im Modus 3 (Pmpp, führende Regelgröße) Pmpp (0-Pnom)
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_6 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]<Nrf>	Index 6: Setzt ΔP (in Watt), eine Differenzgröße zum MPP, oberhalb der das Gerät wieder anfängt, den MPP zu suchen (nur Modus 2 und Modus 3) Der stellbare Bereich ist bei manchen Serien auf 0-50 W begrenzt, bei anderen auf 0-Pnom
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_7 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA?	Index 7: ermittelter MPP Liest drei Werte aus (Uist, list, Pist), die den gefundenen MPP definieren (Modi 1, 2 und 4)
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_8 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:LEVEL[?]{1-100} [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]<Nrf>	Index 8: Spannungswerte für Modus 4 setzen 1-100: Spannungswert zum Setzen anwählen Spannungswert setzen (0-Unom)
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_9 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:LEVEL[?]{1-100} [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA?	Index 9: Meßergebnisse von Modus 4 Meßwert anwählen Meßwert auslesen (drei Werte: Uist, list, Pist)
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_10 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]{5-60000}	Index 10: Regelintervall festlegen, für das Abfahren der Spannungswert im Modus 4 bzw. zeitliches Raster beim MPP-Finden (dieser Parameter ist nur in Fernsteuerung verfügbar und bei manueller Bedienung auf das Minimum gesetzt) Intervall in Millisekunden
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_11 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]{1-100}	Index 11: Festlegen der Startnummer der 100 Spannungswerte (Index 8) für Modus 4 Startnummer
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_12 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]{1-100}	Index 12: Festlegen der Endnummer der 100 Spannungswerte (Index 8) für Modus 4 Endnummer
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_13 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]{0-65535}	Index 13: Festlegen der Wiederholungen der Durchläufe im Modus 4 Anzahl Wiederholungen

5.4.14.2 Steuerung des MPP-Tracking

Das MPP-Tracking wird per separatem Befehl gestartet bzw. gestoppt. Dabei ist es unerheblich, ob der DC-Eingang noch ausgeschaltet ist. Er würde beim Start automatisch mit eingeschaltet.

Befehl	Beschreibung
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:STATe[?]{RUN STOP}	RUN = Startet den Vorgang des MPP-Tracking im zuvor gewählten Modus STOP = Stoppt MPP-Tracking jederzeit, egal ob es schon zu einem Ergebnis geführt hat oder nicht ? = Status des Tracking auslesen

Der mit FUNC:GEN:MPP:STAT? auslesbare Status des Tracking-Vorgangs gibt an, ob er noch läuft oder schon beendet ist. Dabei unterscheidet sich der Status STOP bei den vier Modi etwas:

Modus 1: STOP heißt, der MPP wurde gefunden und das Tracking wurde beendet.

Modi 2 und 3: Diese Modi stoppen nicht automatisch, daher meldet STOP nur den per Befehl gesetzten Zustand.

Modus 4: STOP heißt, die gesetzte Anzahl Durchläufe der Benutzerkurve (Spannungswerte) wurde erreicht.

5.4.15 Befehle für das Alarmmanagement

Auch bei Fernsteuerung ist ein Alarmmanagement für Gerätealarme wie Überspannung (OV), Übertemperatur (OT) usw. möglich. Diese Alarme werden bei Nutzung der SCPI-Befehlssprache vom Gerät in Statusregistern angezeigt, die zwecks Aufzeichnung von Alarmen regelmäßig gelesen werden sollten (engl. *polling*). Weiterhin müssen Gerätealarme zwecks Kenntnisnahme bestätigt werden.

5.4.15.1 Auslesen von Gerätealarmen

Das Auslesen erfolgt mit dem Questionable Statusregister, entweder über das Teilregister CONDITION oder EVENT. STAT:QUES:COND? oder STAT:QUES? bzw. STAT:QUES:EVEN? geben eine Zahl zurück, die die Bits im Register repräsentieren (siehe Registermodell in „5.4.2 Statusregister“ auf Seite 39). Ein gesetztes Bit bedeutet, ein bestimmter Alarm liegt momentan an. Für die Definition der Gerätealarme siehe das Handbuch des Gerätes.

5.4.15.2 Bestätigen bzw. Löschen von Gerätealarmen

Das Löschen ein oder mehrerer Gerätealarme im CONDITION-Register sollte üblicherweise erst nach dem Auslesen erfolgen, weil bereits nicht mehr vorhandene Alarme sonst nicht mehr erfaßt werden können. Zum Löschen wird der auch zur Abfrage von anderen Fehlern benutzte Befehl SYST:ERR? bzw. SYST:ERR:ALL? genommen.

Sollten ein oder mehrere Alarme weiterhin anliegen, können sie nicht gelöscht werden.

Eine Ausnahme bildet der Übertemperaturalarm (OT), der nicht bestätigt werden muß und somit nach Abkühlung automatisch „verschwindet“.

5.4.15.3 Alarmzähler

Ab einer gewissen Version der KE-Firmware (siehe 1.1.2) haben die Geräte einen internen Zähler für alle Gerätealarme, der jederzeit auslesbar ist und der die Anzahl der aufgetretenen Gerätealarme seit dem letzten Einschalten des Gerätes zählt. Das Auslesen löscht die Zähler nicht und sie werden beim Ausschalten nicht gespeichert.

Befehl	Beschreibung
SYSTem:ALARm:COUNT:OVOLtage?	Zählt Überspannungsalarme (OVP, einstellbare Schwelle)
SYSTem:ALARm:COUNT:OTEMperature?	Zählt Übertemperaturalarme (OT, nicht einstellbar)
SYSTem:ALARm:COUNT:OPOWer?	Zählt Überleistungsalarme (OPP, einstellbare Schwelle)
SYSTem:ALARm:COUNT:OCURrent?	Zählt Überstromalarme (OCP, einstellbare Schwelle)
SYSTem:ALARm:COUNT:PFAil?	Zählt Power fail Alarme (PF, nicht einstellbar)
SYSTem:ALARm:COUNT:SHARebusfail?	Nur Serien PSB 10000, PSI 10000 und ELR 10000. Zählt Share-Bus-Fail Alarme (SF, nicht einstellbar)
SYSTem:ALARm:COUNT:FLOatovp?	Nur Serien PSB 10000, PSI 10000 und ELR 10000. Zählt Floating OVP Alarme (FOVP, nicht einstellbar)

5.4.15.4 Beispiel

Sie steuern das Gerät fern und lesen intervallartig STAT:QUES:COND? und erhalten z. B. stets den Wert 3072 zurück. Gemäß dem Registermodell für das Questionable Statusregister ist das die Summe der Wertigkeiten von Bit 10 (Remote) und Bit 11 (Output/Input on). Es ist also Fernsteuerung aktiv und der DC-Ausgang/Eingang ist eingeschaltet. Nun tritt eine Alarmsituation ein, zum Beispiel Übertemperatur (OT). Das Gerät müßte nun den Gerätealarm OT über Bit 3 melden. Zusätzlich kann es sein, daß der DC-Ausgang/Eingang von seinem Status here abgeschaltet wird, nicht nur die Leistungsstufe(n). Das ist nicht bei jeder Geräteserie gleich, somit kann bei einem OT-Alarm also entweder der Wert 1032 oder 3080 zurückgegeben werden. Beide enthalten die Wertigkeit 8 von Bit 3.

5.4.16 Befehle für Sollwert-Sätze (Recall)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	—	—

Die bei der Serie PSI 5000 A vorhandene Recall-Funktion für Sollwertsätze kann auch ferngesteuert konfiguriert werden. Dabei werden SCPI-Befehle aus dem Standard verwendet, so daß die Abfolge bei Verwendung von SCPI hier anders ist als vergleichsweise bei ModBus. Übersicht der allein für Recall zugeordneten Befehle:

Befehl	Beschreibung
*RCL_{1...9}	Lädt einen von neun Sollwertsätzen, bestehend aus vier Werten (U-Sollwert, I-Sollwert, OVP-Wert, OCP-Wert) aus dem internen Speicher und überschreibt die aktuell für den DC-Ausgang gesetzten Wert. Kann nur bei Zustand „DC-Ausgang = aus“ ausgeführt werden.
*SAV_{1...9}	Speichert die vier aktuell für den DC-Ausgang eingestellten Werte (U-Sollwert, I-Sollwert, OVP-Wert, OCP-Wert) in einen von Sollwertsätzen ab, damit dieser später wieder mit *RCL {1...9} wieder abgerufen werden kann. Kann nur bei Zustand „DC-Ausgang = aus“ ausgeführt werden.
MEMory:STATe:DELeTe_{1...9}	Löscht den gewählten Sollwertsatz, indem alle vier Werte darin auf Null gesetzt werden. Der Sollwertsatz kann später jederzeit neu überschrieben werden.
MEMory:STATe:VALid?_{1...9}	Löst eine Überprüfung der gespeicherten Werte im Sollwertsatz aus und gibt eine 1 zurück, wenn die Werte gültig bzw. in Ordnung sind, und eine 0, wenn nicht.

Ähnlich der Bedienung der Recall-Funktion am Bedienfeld des Gerätes werden die Befehle nur akzeptiert, wenn der DC-Ausgang des Gerätes ausgeschaltet ist.

Für das Setzen der eigentlichen vier Werte, die in den neun Sollwertsätzen mit den o.g. Befehlen gespeichert werden können, werden Standardbefehle wie [SOURce:]VOLTage verwendet. Siehe Beispiele unten.

5.4.16.1 Beispielabfolge zum Speichern eines Sollwertsatzes

Sie haben beispielsweise ein Netzgerät PSI 5040-20 A mit 40 V Nennspannung und 20 A Nennstrom. Sie wollen Sollwertsatz 5 mit den Werten U = 10 V, I = 5 A und Überspannungsschutz (OVP) = 12 V beschreiben. Letzteres, damit die Ausgangsspannung bei einem Überspringen nicht wesentlich höher als 12 V geht und sicherheitshalber den Ausgang abschaltet, um die angeschlossene Last zu schützen. Der Überspringer ist Resultat eines typischen Regelverhaltens, wie es auftreten kann, wenn der Strom auf 0 gesetzt wurde, während die Spannung noch 10 V ist und das Gerät dann keinen Strom und keine Spannung abgibt, und man den Strom schlagartig wieder freigibt.

Die Überstromabschaltung ist Ihnen für die Anwendung unwichtig, daher wäre es sinnvoll, diese auf den Maximalwert zu setzen (hier: 22 A), damit der OCP nicht unerwartet auslöst. Wird der Wert nicht extra gesetzt, wird der letzte irgendwann mal eingestellte Wert übernommen, der dann zunächst unbekannt ist. Somit wäre über SCPI folgende Abfolge an das Gerät zu senden:

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	OUTP_OFF	DC-Ausgang ausschalten (egal, ob bereits aus), damit der Sollwertsatz geschrieben werden kann
2	VOLT_10	Setze 10 V für den Ausgang (normaler Sollwert)
3	CURR_5	Setze 5 A für den Ausgang (normaler Sollwert)
4	VOLT:PROT_12	Setze OVP-Schwelle auf 12 V
5	CURR:PROT_22	Setze OCP-Schwelle auf 22 A
6	*SAV_5	Speichere Sollwertsatz 5
7	MEM:STAT:VAL?_5	(optional) Fragt ab, ob Sollwertsatz 5 ordentlich gespeichert wurde und gültig ist

5.4.16.2 Beispielabfolge zum Abrufen ein Sollwertsatzes

In der Fernsteuerung sind die vier Werte, die man durch das Abrufen eines Sollwertsatzes schnell ändern könnte, auch durch Einzelbefehle schnell geändert. Daher wird das Abrufen über Fernsteuerung selten genutzt werden. Ein wichtiger Unterschied ist auch, daß der Sollwertsatz nur bei Ausgang = aus geschrieben und abgerufen werden kann, während die Sollwerte jederzeit gesetzt werden können.

ModBus & SCPI

Möchten Sie trotzdem z. B. den vormals gespeicherten Sollwertsatz 3 abrufen, gehen Sie folgendermaßen vor:

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	OUTP_OFF	DC-Ausgang ausschalten (optional, wenn schon aus), damit der Sollwertsatz abgerufen werden kann
2	*RCL 3	Lädt die vier im Sollwertsatz 3 gespeicherte Werte für den DC-Ausgang und übernimmt sie gleichzeitig
3	OUTP ON	(optional) Gegebenenfalls noch den DC-Ausgang einschalten

Um sozusagen auszulesen, was nun eigentlich für Werte im Sollwertsatz 3 gespeichert sind, könnte man diese abfragen. Das geht nur indirekt, nach dem vorherigen Laden eines Sollwertsatzes, wie oben geschehen:

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	VOLT?	Abfrage des Spannungswertes, wie im zuvor geladenen Sollwertsatz enthalten
2	CURR?	Abfrage des Stromwertes, wie im zuvor geladenen Sollwertsatz enthalten
3	VOLT:PROT?	Abfrage des OVP-Wertes, wie im zuvor geladenen Sollwertsatz enthalten
4	CURR:PROT?	Abfrage des OCP-Wertes, wie im zuvor geladenen Sollwertsatz enthalten

5.4.17 Befehle für die erweiterte PV-Simulation

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	—	✓	—	—

PV-Simulation wird generell nur von Netzgeräte-Serien unterstützt und dabei nur jenen, die einen sog. XY-Generator haben. Das sind aktuell (Stand 04/2019):

- PSI 9000 2U - 24U
- PSI 9000 WR 3U
- PSB 9000 / PSB 10000

Die Variante nach **DIN EN 50530** ist eine zusätzliche, erweiterte Version der bei einigen Serien vorhandenen einfachen PV-Simulation und wird von den Geräten ab Firmware KE 2.19/HMI 2.11 (PSI) bzw. KE 2.25/HMI 2.04 (PSB 9000) unterstützt. Das bedeutet, daß die Funktion durch ein Firmwareupdate nachträglich installiert werden kann.

Alle über die unten gelisteten Befehle einstellbaren Parameter sowie die auslesbaren Daten sind in der Norm definiert, werden dort beschrieben und daher dient die Norm dem Anwender als zusätzliche Referenz.

5.4.17.1 Allgemeine Konfiguration

Befehl	Beschreibung
FUNCTION:PHOTOvoltaics:MODE_{OFF ET UI DAYET DAYUI} FUNCTION:PHOTOvoltaics:MODE?	Moduswahl für die PV-Simulation OFF = Simulation ausgeschaltet (Standardeinstellung) ET = Kontinuierlicher Modus, während der Simulation können Temperatur und Einstrahlungsstärke variiert werden UI = Kontinuierlicher Modus, während der Simulation können Spannung und Strom im MPP variiert werden DAYET = Simuliert einen voreingestellten Tagesverlauf, während der Simulation können keine Werte verändert werden. Die Datensätze (Index) bestehen aus einer Indexnummer, einem Temperaturwert, einer Einstrahlungsstärke und einer Verweildauer DAYUI = Simuliert einen voreingestellten Tagesverlauf, während der Simulation können keine Werte verändert werden. Die Datensätze (Indexe) bestehen aus einer Indexnummer, Spannungs- und Stromwerten im MPP und einer Verweildauer
FUNCTION:PHOTOvoltaics:IMODE_{MPP ULIK} FUNCTION:PHOTOvoltaics:IMODE?	Eingabemodus (gilt für alle mit :MODE wählbaren Modi, siehe Matrix und Beispiele in 5.5.3) MPP = Die Grundwerte zur Berechnung der PV-Kurve werden als Umpp und Impp eingegeben. Diese Werte sind dann im Simulations-Modus UI veränderlich (Standardeinstellung) ULIK = Die Grundwerte zur Berechnung der PV-Kurve werden als U _{oc} (Leerlaufspannung) und I _{sc} (Kurzschlußstrom) eingegeben. Diese Werte sind dann im Simulations-Modus ET veränderlich.

5.4.17.2 Konfiguration für Tagesdaten-Modus

Die nachfolgend gelisteten Befehle können nur bei gewähltem Tagesdaten-Modus (**DAYET** oder **DAYUI**, siehe oben) benutzt werden und erzeugen ansonsten Fehler.



*Es empfiehlt sich, vor dem Schreiben neuer Daten den alten Datensatz mit **:DAY CLEAR** zu löschen, besonders wenn der nächste kürzer ist als der vorherige.*

Befehl	Beschreibung
FUNCTION:PHOTOvoltaics:DAY:INTERpolate_{ON OFF} FUNCTION:PHOTOvoltaics:DAY:INTERpolate?	Nur für Simulations-Modi DAYET und DAYUI : ON = Interpolation ein OFF = Interpolation aus (Standardeinstellung)

Befehl	Beschreibung
FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:MODE_{READ WRITE} FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:MODE?	Nur für Simulations-Modi DAYET und DAYUI : Zugriffsmodus auf die Tagesdaten READ = Daten nur lesbar (Standardeinstellung) WRITE = Daten nur schreibbar
FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY_{CLEAr}	Nur für Simulationsmodi DAYET und DAYUI : Alle Daten löschen
FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:INDEX_{1-100000} FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:INDEX?	Nur für Simulationsmodi DAYET und DAYUI : Festlegen des Index' eines Datensatzes zwecks Rücklesen der Tagesdaten. Beim Schreiben von Tagesdaten wird dieser Index ignoriert. Dafür muß der Indexwert in FUNC:PHOT:DAY:DATA verwendet werden.
FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:DATA_{<NR1>, <NRf>, <NRf>, <NR1>} FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:DATA?	Nur für Simulationsmodi DAYET und DAYUI : Tagesdaten (4 Werte) schreiben oder aus dem vorher zu wählenden Index lesen. Je nachdem, ob Simulationsmodus DAYET oder DAYUI gewählt wurde, werden die Daten anders interpretiert:
	Modus DAYET:
	1. Wert = Index, Einstellbereich: 1- 100000
	2. Wert = Einstrahlstärke in W/m², Einstellbereich: 0-1500
	3. Wert = Temperatur in °C, Einstellbereich: -40...+80
	4. Wert = Verweilzeit des Indexes in ms, Einstellbereich: 500...1800000 (^=0,5s...0,5h)
	Modus DAYUI:
	1. Wert = Index, Einstellbereich: 1- 100000
	2. Wert = Umpp in V, Einstellbereich: 0-Nennspg.
	3. Wert = Imp in A, Einstellbereich: 0-Nennstrom
	4. Wert = Verweilzeit des Indexes in ms, Einstellbereich 500...1800000 (^=0,5s...0,5h)
FUNCTION:PHOTovoltaics:TECHnology_{MAN CSI THIN} FUNCTION:PHOTovoltaics:TECHnology?	Vorwahl der zu simulierenden Paneel-Technologie, wodurch bestimmte Parameter auf feste Werte gesetzt werden, bzw. Wahl des manuellen Modus MAN = Manueller Modus CSI = Paneel mit cSi-Technologie (Standardeinst.) THIN = Paneel mit Dünnschicht-Technologie

5.4.17.3 Datenaufzeichnung

Das Gerät kann während der Laufzeit der PV-Simulation, egal welcher Modus, 576000 Datensätze mit jeweils 6 Werten (Istwerte U, I, P und U, I, P im MPP) aufzeichnen. Die Datenaufzeichnung kann vor dem Start der Simulation oder während des Ablaufs aktiviert werden. Ist der Speicher voll, wird er wieder überschrieben, ohne ihn vorher zu löschen und die Anzahl der aufgezeichneten Datensätze (:REC:NUM?) auf 0 gesetzt. Es wird alle 100 ms ein Datensatz aufgezeichnet, das ergibt also max. 16 Stunden.

Die Aufzeichnung stoppt entweder beim Ende der Simulation oder Deaktivierung der Aufzeichnung. Danach können die aufgezeichneten Daten schrittweise ausgelesen werden. Sofern sie benötigt werden, sollte das geschehen, bevor das Gerät ausgeschaltet, denn die Daten werden nicht dauerhaft gespeichert.

Befehl	Beschreibung
FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:ACTIVE_{ENABLE DISABLE} FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:ACTIVE?	Datenaufzeichnung ENABLE = eingeschaltet DISABLE = ausgeschaltet (Standardeinstellung)
FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD_{CLEAR}	Aufgezeichnete Daten löschen
FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:NUMBER?	Anzahl der bisher aufgezeichneten Datensätze (1-576000)
FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:INDEX_{1-576000} FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:INDEX?	Festlegen oder Auslesen der Indexnummer des gewählten Datensatzes. Muß vor dem Auslesen der Datensätze mit :DATA? stets neu gesetzt werden.
FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:DATA?	Datensatz X am zuvor gesetzten Index auslesen. Das Gerät gibt dann folgende Werte kommasetrennt zurück: 1. Wert = Indexnummer 2. Wert = Istwert Spannung 3. Wert = Istwert Strom 4. Wert = Istwert Leistung 5. Wert = Umpp (Spannung im MPP) 6. Wert = Impp (Strom im MPP) 7. Wert = Pmpp (Leistung im MPP)



*Nachdem der gewählte Index mit **FUNC:PHOT:REC:IND** gesetzt wurde, um den Datensatz zu lesen, dauert es eine gewisse Zeit, bis die passenden Daten zu dem Index mit **FUNC:PHOT:REC:DATA?** zurückgegeben werden. Anderenfalls schreibt das Gerät einen Fehler in die Fehler-Queue. Ob die richtigen Daten gelesen wurden, kann durch Vergleich der gesetzten mit der zurückgegebenen Indexnummer überprüft werden.*



Nach dem Start der Simulation berechnet das Gerät die erste PV-Kurve. Das dauert ca. 500 ms. Bereits 100 ms nach Start wird der erste Datensatz der Aufzeichnung erfaßt. Somit sind die ersten 3-4 Datensätze fehlerhaft. Das ist nicht so, wenn die Aufzeichnung mind. 500 ms nach dem Start der Simulation gestartet wird.

5.4.17.4 Statusbefehle

Statusbefehle und solche, die Ergebniswerte von der Simulation auslesen, können zwar jederzeit benutzt werden, aber die richtige Reihenfolge und Wahl des richtigen Zeitpunkts ist vorteilhafter.

Befehl	Beschreibung
FUNCTION:PHOTOvoltaics:MPP:VOLTage?	Spannung im MPP, in V. Der MPP ergibt sich aus der PV-Simulationskurve, die sich wiederum aus den eingegebenen Simulationsdaten ergibt. Die Spannung kann zwischen 0 und Nennspannung liegen.
FUNCTION:PHOTOvoltaics:MPP:CURREnt?	Strom im MPP, in A. Kann zwischen 0 und Nennstrom liegen.
FUNCTION:PHOTOvoltaics:MPP:POWEr?	Leistung im MPP, in W. Kann zwischen 0 und Nennleistung liegen.
FUNCTION:PHOTOvoltaics:STATe?	Status der PV-Simulation STOP = Simulation normal gestoppt (manuell oder Ablauf am Ende) RUN = Simulation läuft noch ERROR MODE = Simulation nicht gestartet wegen Kurvenberechnungs-Fehler im Simulation-Modus ET oder UI ERROR DAY = Simulation nicht gestartet wegen Fehler beim Start im Simulation-Modus DAYET oder DAYUI ERROR ALARM = Simulation gestoppt durch einen Gerätealarm ERROR INTERPOLATION = Simulation nicht gestartet wegen Fehler bei der Verweilzeit im Index 1
FUNCTION:PHOTOvoltaics:DAY:NUMBer?	Anzahl der gültigen Tagesverlauf-Indexe. Kann bei Übertragung der Tagesdaten an das Gerät zur Überprüfung genutzt werden, ob die Indexe in derselben Anzahl angenommen wurden wie gesendet.
FUNCTION:PHOTOvoltaics:OCVoltage?	Durch Formel (siehe Norm) berechnete Leerlaufspannung U_{oc} (open circuit voltage) des unbelasteten Solar-Paneels. Der berechnete Wert ist abhängig vom Simulations-Modus, den Standard-Paneel-Werten (siehe unten) und den Faktoren
FUNCTION:PHOTOvoltaics:SCCurrent?	Durch Formel (siehe Norm) berechneter Kurzschlußstrom I_{sc} (short-circuit current) des Solar-Paneels. Der berechnete Wert ist abhängig vom Simulations-Modus, den Standard-Paneel-Werten (siehe unten) und den Faktoren

5.4.17.5 Parameterbefehle

Die hier aufgelisteten Befehle dienen zum Setzen oder Auslesen von zur PV-Simulation und Berechnung der PV-Kurve benötigten Parametern. Dabei ist es wichtig zu beachten, welcher Simulations-Modus (ET, UI, DAYET, DAYUI), welche Technologie und welcher Eingabemodus (MPP, ULIK) gewählt wurde. Davon ist abhängig, ob bestimmte Parameter überhaupt setzbar sind bzw. ob sie gesperrt sind und dann mit Werten laut Norm gefüttert werden. Die Tabelle gibt daher in einer Matrix an, welcher Parameter in welchem Simulation-Modus schreibbar ist. Lesbar dagegen sind alle Parameter zu jeder Zeit, haben dann aber u. U. nicht plausible bzw. veraltete Daten.

Befehl	Schreibbar in Modi:				
	MPP	ULIK	MAN	CSI	THIN
FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:FFU_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:FFU? Füllfaktor Spannung (FF_U). Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:FFI_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:FFI? Füllfaktor Strom (FF_I). Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:ALPHA_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:ALPHA? Temperaturkoeffizient α (in $1/^\circ\text{C}$) für den Kurzschlußstrom. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:BETA_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:BETA? Temperaturkoeffizient β (in $1/^\circ\text{C}$) für die Leerlaufspannung. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: -1...<0	✓	✓	✓	—	—
FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CU_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CU? Korrekturfaktor C_U für die Leerlaufspannung. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CR_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CR? Korrekturfaktor C_R in m^2/W für die Leerlaufspannung. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CG_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CG? Korrekturfaktor C_G in W/m^2 für die Leerlaufspannung. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:OCVoltage_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:OCVoltage? Leerlaufspannung U_{OC} (open circuit voltage) des zu simulierenden Paneels, in V. Einstellbereich: 0-Nennspannung	—	✓	✓	✓	✓
FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:SCCurrent_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:SCCurrent? Kurzschlußstrom I_{SC} (short-circuit current) des zu simulierenden Paneels, in A. Einstellbereich: 0-Nennstrom	—	✓	✓	✓	✓
FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:MPP:VOLTage_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:MPP:VOLTage? Spannung im MPP des zu simulierenden Paneels, in V. Einstellbereich: 0-Nennspannung	✓	—	✓	✓	✓
FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:MPP:CURREnt_<NRf> FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:MPP:CURREnt? Strom im MPP des zu simulierenden Paneels in A. Einstellbereich: 0-Nennstrom	✓	—	✓	✓	✓

5.4.17.6 Steuerungsbefehle

Diese Befehle dienen zur Steuerung der PV-Simulation, üblicherweise nach erfolgter Konfiguration. In bestimmten Modi sind während der Simulation ein oder mehrere Parameter einstellbar, die nach jeder Änderung eine Neuberechnung der PV-Kurve erfordern, wodurch die vorherige überschrieben wird. Jenachdem ob die Parameteränderung den Punkt auf der Kurve betrifft, an dem sich die Simulation befindet, verschiebt er sich nach einer gewissen Berechnungs- und Reaktionszeit.

Befehl	Beschreibung
FUNCTION:PHOTOvoltaics:STATE_{RUN STOP} FUNCTION:PHOTOvoltaics:STATE?	Simulation starten oder stoppen RUN = PV-Kurve wird berechnet und Simulation wird gestartet, sofern kein Fehler entsteht. Sofern Datenaufzeichnung aktiviert wurde, startet diese auch. STOP = Simulation und eventuelle Datenaufzeichnung werden gestoppt
FUNCTION:PHOTOvoltaics:TEMPerature_{<NR1>} FUNCTION:PHOTOvoltaics:TEMPerature?	Nur im Modus ET verfügbar: Solarmodultemperatur in °C. Einstellbereich: -40...+80
FUNCTION:PHOTOvoltaics:IRRaditation_{<NR1>} FUNCTION:PHOTOvoltaics:IRRaditation?	Nur im Modus ET verfügbar: Einstrahlungsstärke in W/m². Einstellbereich: 0-1500

5.4.17.7 Fehlersituationen

Eine Fehlersituation entsteht, wenn die konfigurierte Simulation nicht gestartet werden kann oder wenn sie bereits gestartet wurde, eine Zeitlang lief und dann unerwartet stoppt. In beiden Fällen kann der Befehl **FUNCTION:PHOTOvoltaics:STATE?** (siehe Abschnitt 5.4.17.4) helfen, die Ursache zu ermitteln.

Folgendes gilt generell:

- Die Simulation kann nach einem unerwarteten Stop nicht fortgeführt werden
- Daten der Datenaufzeichnung können während der Simulation oder nach einem unerwarteten Stop ausgelesen werden, außer es tritt ein Stromausfall auf
- Sämtliche Konfigurations-Parameter werden nicht gespeichert und sind nach dem Einschalten des Gerätes auf Standardwerte zurückgesetzt

5.4.18 Befehle für die Batterietest-Funktion

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PS5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	—	—	—	—	—	—	✓(1)	—	—	✓	✓	—	—

(1 Außer Serie PSI 9000 DT)

Mit Stand 04.2019 ist die in diversen elektronischen Lasten sowie bidirektionalen Netzgeräten, die auch einen Lastbetrieb bieten, durch Firmware-Update installierbare Batterietest-Funktion bei bestimmten Serien auch fernsteuerbar. Es sind dabei nahezu dieselben Möglichkeiten wie bei manueller Bedienung am Gerät vorhanden. Zusätzlich zu den einzelnen Batterietestmodi für Laden und Entladen bieten Geräte der Serie PSB 9000 einen kombinierten Modus, genannt "Dynamischer Test", wenn man die Geräte am HMI bedient. Dieser Modus hat für die Fernsteuerung keine zusätzlichen Befehle, da er durch die Nutzung der vorhandenen Befehle plus entsprechendes Timing gebildet wird. Für die PC-Seite bedeutet das für den Anwender, daß er den dynamischen Test nachbilden kann.

5.4.18.1 Konfigurationsbefehle

Die Konfiguration kann in der Reihenfolge geschehen, wie mit den nachfolgenden Tabellen von oben nach unten gezeigt. Als erstes muß stets der Testmodus zwischen „statisch“ und „dynamisch“ gewählt werden. Einzelheiten zu den Batterietest-Modi sind im Handbuch des Gerätes zu finden.

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:MODE_{IDLE STATic DYNamic} [SOURce:]BATTery:MODE?	Testmodus wählen IDLE = kein Modus gewählt, Funktion inaktiv (sollte nach Beendigung gesendet werden) STATic = Modus „Statisch“ wählen DYNamic = Modus „Dynamisch“ wählen

Die nachfolgenden Befehle funktionieren zum Setzen oder Lesen von Werten, nachdem der Modus (**DYN** oder **STAT**) gewählt wurde:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:CURRent_<NRf>[Unit] [SOURce:]BATTery:CURRent?	Nur für den statischen Modus: Statischen Entladestrom (in A) setzen. Befehl funktioniert nicht bei Wahl von Modus DYN . Bereich: 0...I-max
[SOURce:]BATTery:POWer_<NRf>[Unit] [SOURce:]BATTery:POWer?	Für statischen und dynamischen Modus: Maximale Leistung (in W) setzen. Leistungsbegrenzung hat Vorrang vor dem Strom, also kann dieser Werte nach $I = P/U$ den Ladestrom auch unter dessen eingestellten Wert (BATT:CURR) begrenzen. Bereich: 0...P-max
[SOURce:]BATTery:RESistance_<NRf>[Unit] [SOURce:]BATTery:RESistance?	Für statischen und dynamischen Modus: Schaltet den Widerstandsmodus für den Test ein oder aus bzw. setzt einen Widerstandswert (in Ω). Die Widerstandsregelung kann, um den gesetzten Wert zu erreichen, nach $I = U/R$ auf den gesetzten Stromsollwert einwirken und den Ladestrom auch unter dessen eingestellten Wert begrenzen. NRf = 0 = Widerstandsmodus aus NRf = min. R ... max. R = Widerstand setzen

Die nachfolgenden Befehle sind für beiden Testmodi und definieren ein oder mehrere Stopp-Bedingungen, die den Batterietest automatisch bei Erreichen der Bedingung stoppen können, welche auch immer als erste zutrifft:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:DISCharge:VOLTage_<NRf>[Unit] [SOURce:]BATTery:DISCharge:VOLTage?	Entladeschlußspannung (U_{DV} , in V) setzen. Erreicht die Batteriespannung diese Schwelle stoppt der Batterietest. Bereich: 0...U-max
[SOURce:]BATTery:DISCharge:CAPacity_<NRf>[Unit] [SOURce:]BATTery:DISCharge:CAPacity?	Max. zu entnehmende Kapazität (in Ah) vorgeben, bei Erreichen derer der Test stoppen kann bzw. das Gerät veranlaßt, eine Meldung auf seiner Anzeige auszugeben. Bereich: 0...99999.99 Ah

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:ACTion:CAPacity_{ NONE SIGNAL END} [SOURce:]BATTery:ACTion:CAPacity?	Legt fest, was bei Erreichen des Limit, wie mit BATT:DIS:CAP festgelegt, geschehen soll. NONE = nichts (Limit wird ignoriert) SIGNAL = der Test wird fortgeführt, aber das Gerät meldet das Erreichen des Limits auf seiner Anzeige END = der Test wird gestoppt
[SOURce:]BATTery:DIScharge:TIME_{NR1}>[Unit] [SOURce:]BATTery:DIScharge:TIME?	Max. Testzeit in Sekunden vorgeben, bei Erreichen derer der Test stoppen kann bzw. das Gerät veranlaßt, eine Meldung auf seiner Anzeige auszugeben. Bereich: 0...36000 s
[SOURce:]BATTery:ACTion:TIME_{ NONE SIGNAL END} [SOURce:]BATTery:ACTion:TIME?	Wie BATT:ACT:CAP , hier aber für die max. Testzeit, wie sie mit BATT:DIS:TIM vorgegeben werden kann

Beim dynamischen Testmodus wird ein gepulster Strom erzeugt, der einem Rechteck mit einstellbarer Amplitude und Tastverhältnis entspricht. Daher wird der Entladestrom für diesen Modus durch mehrere Befehle definiert.

Folgende Befehle funktionieren nur im Modus **DYN**:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:INDex_{0...3} [SOURce:]BATTery:INDex?	Wählt einen von 4 Parameter, aus denen sich das Rechteck für den gepulsten Strom zusammensetzt: 0 = Pegel 1 der Amplitude Bereich: 0...I-max (Einstellgrenze) 1 = Pegel 2 der Amplitude Bereich: 0...I-max (Einstellgrenze) 2 = Zeit von Pegel 1 Bereich: 0...6000 s 3 = Zeit von Pegel 2 Bereich: 0...6000 s
[SOURce:]BATTery:PULSe_{NRf / NR1}> [SOURce:]BATTery:PULSe?	Setzt oder liest den gesetzten Wert des zuvor mit BATT:IND gewählten Indexes. Ströme können im Format NRf vorgeben werden, Zeiten nur im Format NR1.

5.4.18.2 Steuerungs- und Zustandsbefehle

Nach der Moduswahl und Konfiguration der erforderlichen Parameter kann der Test gestartet werden. Solange kein unerwartetes Ereignis wie z. B. ein Gerätealarm auftritt, wird der Test durchlaufen bis eine der definierten Stopp-Bedingungen erreicht wurde.

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:STATe_{ RUN STOP } [SOURce:]BATTery:STATe?	Startet den Test bzw. stoppt ihn jederzeit vor Erreichen einer Stopp-Bedingung. RUN = Test starten STOP = Test sofort stoppen
[SOURce:]BATTery:CONDition?	Abfrage des Testzustandes. Dies ist jederzeit möglich, also vor, während und nach dem Test. Mögliche Rückgaben: IDLE = Test ist noch nicht gestartet bzw. wurde gestoppt (manuell oder durch Alarm) RUN = Test läuft momentan Weitere Zustände (nicht verfügbar für EL 3000 B): FINISHED = Test beendet ERROR = Test beendet durch Gerätealarm SIGNAL AH = Eingestellte, max. zu entnehmende Anzahl Ah erreicht, Test läuft weiter SIGNAL TIME Eingestellte, max. Testzeit erreicht, Test läuft weiter END AH = Eingestellte, max. zu entnehmende Anzahl Ah erreicht, Test beendet END TIME = Eingestellte, max. Testzeit erreicht, Test beendet

5.4.18.3 Auswertungsbefehle

Nach dem Testende können noch ein paar Werte ausgelesen werden, die das Testergebnis repräsentieren.

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:TEST?	Fragt das Testergebnis ab. Das Gerät sollte einen String mit drei Werten zurückliefern. Die Abfrage kann auch während des Tests erfolgen: 1. Entnommene Batteriekapazität in Ah 2. Entnommene Energie in Wh 3. Tatsächliche Batterietest-Zeit

5.5 Beispielanwendungen

5.5.1 Master-Slave über SCPI konfigurieren und steuern

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—

Die Geräte, die echtes Master-Slave (kurz: MS) mit Summenbildung über einen dedizierten Master-Slave-Bus bieten, unterstützen auch die komplette, ferngesteuerte Konfiguration und Bedienung. Bei einem MS-System steuert man üblicherweise nur den Master fern, die Slaves sind normalerweise nicht mit dem PC verbunden, außer vielleicht bei der Konfiguration als Slaves an sich. Daher wird empfohlen, die komplette Konfiguration am Bedienfeld der Geräte zu erledigen und nur die spätere Bedienung in die Fernsteuerungs-Software auszulagern. Wenn man es am Gerät durchführt, können später trotzdem der Status der Initialisierung oder die Anzahl der Geräte im MS-Verbund von der Software ausgelesen und überprüft werden. Die Initialisierung, die vom Master nach dem Einschalten der Geräte automatisch mindestens einmal ausgeführt wird, läßt sich auch per Software starten bzw. beliebig wiederholen.

Annahme: es sind fünf Netzgeräte **PSI 9080-510 3U** (80 V, 510 A, 15 kW) im MS parallelzuschalten. Der Master muß sich nach Konfiguration und erfolgreicher Initialisierung als ein Gerät mit den Nennwerten 80 V, 2550 A und 75 kW, sowie 1 Ω darstellen. Diese Werte sind gleichzeitig auch die neuen, temporären Nennwerte des MS-Systems. Wie bei manueller Bedienung sind dann Sollwerte und Limit-Werte im Bereich 0...102%, sowie Schutzwerte im Bereich 0...110% bzw. 0...103% zulässig.

Die beispielhafte Schritt-für-Schritt-Anleitung unten besteht aus mehreren Teilen, weil manche davon optional sind.

Teil 1a: Den Master konfigurieren

1. Fernsteuerung aktivieren: **SYST:LOCK_ON**
2. MS aktivieren: **SYST:MS:ENABLE_ON**
3. Gerät als Master definieren: **SYST:MS:LINK_MASTER**
4. (Falls Zwei-Quadranten-Betrieb gefahren wird und der Master eine elektronische Last ist)
Das Gerät als Share-Bus-Slave definieren: **SYST:SHAR:LINK_SLAVE**

Teil 1b: Den Slave bzw. die Slaves konfigurieren, falls mit Steuereinheit (PC, SPS usw.) verbunden

5. Fernsteuerung aktivieren: **SYST:LOCK_ON**
6. MS aktivieren: **SYST:MS:ENABLE_ON**
7. Gerät als Slave definieren: **SYST:MS:LINK_SLAVE**

Schritte 5-7 für weitere Slaves mit anderen eigenen Slave-Adressen wiederholen.

Teil 2: Das MS-System initialisieren

8. Fernsteuerung aktivieren, falls Schritte 1-7 nicht nötig waren, weil bereits konfiguriert: **SYST:LOCK_ON**
9. Initialisierung starten, danach einige Sekunden warten: **SYST:MS:INIT**

Teil 3: Weitere, optionale Schritte

10. Den Status der Initialisierung abfragen, um ihn ggf. auszuwerten: **SYST:MS:COND?**
11. Die Anzahl der initialisierten Geräte abfragen (sollte in dem Beispiel 5 sein): **SYST:MS:UNIT?**
12. Nennwert Strom des MS-Systems abfragen: **SYST:NOM:CURR?**
13. Nennwert Leistung des MS-Systems abfragen: **SYST:NOM:POW?**
14. Maximalen Widerstand des MS-System anfragen: **SYST:NOM:RES:MAX?**
15. Minimalen Widerstand des MS-System anfragen: **SYST:NOM:RES:MIN?**
16. Schutzwerte konfigurieren, hier beispielsweise OVP: **VOLT:PROT_70**
17. Events konfigurieren
 - z. B. OCD auf 2100 A setzen: **SYST:CONF:OCD_2100**
 - Alarmtyp für OCD festlegen (Typ Warnung): **SYST:CONF:OCD:ACT_WARNING**

Die Einstellgrenzen (Limits) sind nach der Initialisierung auf Maximum, einige Sollwerte wie der Strom aber auch. Man muß hier also bedenken, den zugehörigen Sollwert erst runterzusetzen, sonst kann man den zugehörigen Limit-Wert nicht verändern.

18. Einstellgrenzen verkleinern, z. B. für den Ausgangsstrom die obere Grenze auf 2200 A
 - Stromsollwert auf 0 bzw. auf die untere Grenze setzen: **CURR_MIN**
 - Obere Grenze auf 2200 A setzen: **CURR:LIM:HIGH_2200**

Hier ist der Strom nun zunächst auf 0 gesetzt, bis 2200 A einstellbar, wird aber durch OCD auf 2100 A überwacht. Sprich, würde man den Strom per Befehl auf über 2100 A setzen und die Last entnimmt diesen dann irgendwann, würde OCD ausgelöst. In dem Fall erfolgt keine Abschaltung des Ausgangs, weil der Aktionstyp „Warnung“ gesetzt wurde.

19. DC-Ausgang einschalten, um mit dem Gerät zu arbeiten: **OUTP_ON**

Ein so konfiguriertes System bleibt über das Ausschalten des Gerätes hinweg konfiguriert. Der Master muß nach dem Einschalten aller Slaves das MS-System nur mindestens einmal neu konfigurieren. Der Status der automatischen Initialisierung nach dem Einschalten kann per Software ausgelesen und dementsprechend gehandelt werden, indem die obigen Schritte ab zumindest 8, vielleicht auch ab 1 ausgeführt werden.

5.5.2 Programmier-Beispiele zum Funktionsgenerator

5.5.2.1 Allgemeine Befehlsabfolge für den Arbiträrgenerator

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—	✓	—	—

Angenommen, man möchte eine Sinuskurve mit Amplitude 30 A und Frequenz 10 Hz für 60 Sekunden auf den Eingangsstrom einer elektronischen Last anwenden. Dazu reicht es, nur eine von den 99 Sequenzpunkten zu beschreiben, beispielsweise Nummer 12. Da es hier um DC-Strom geht, benötigt die Amplitude auch einen Offset. Allgemein ist bei einer Sinuskurve die Amplitude der Abstand zur Mittellinie, welche hier durch Start(DC) und End(DC) definiert wird. Demzufolge muß der Offset auch mindestens 30 A betragen. Für das Beispiel nehmen wir 50 A. Es ergibt sich später also ein sinusförmiger, zwischen 20 A und 80 A wechselnder DC-Eingangsstrom.

Mit der Sinuskurve wird AC-Verhalten des DC-Eingangsstroms nachgebildet, daher wären nach obiger Tabelle mindestens die Indexe 0, 1, 2, 3, 5, 6 und 7 zu beschreiben. Sofern kein bestimmter Startwinkel benötigt wird, kann Index 4 weggelassen werden, da standardmäßig auf 0 ° gesetzt.



Das Setzen der globalen Sollwerte auf ihr Maximum oder einen anderen sinnvollen Wert ist auch bei Verwendung des Funktionsgenerators immer erforderlich. Das gilt besonders, wenn mehrere Geräte im Master-Slave arbeiten. Dort begrenzen diese Sollwerte auch die Slaves.

Befehlsabfolge (Annahme: Gerät ist bereits in Fernsteuerung):

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	FUNC:GEN:SEL CURRENT	Wählt Arbiträrgenerator für Strom. Ab hier befindet sich das Gerät im Funktionsgenerator-Modus
2	FUNC:GEN:WAVE:LEVEL_12	Wählt die 12. Sequenz zum Schreiben aus
3	FUNC:GEN:WAVE:IND_5	Index 5 wählen: Startwert DC-Anteil bzw. Offset AC-Anteil
4	FUNC:GEN:WAVE:DATA_50	Offset auf 50 A setzen
5	FUNC:GEN:WAVE:IND_6	Index 6 wählen: Endwert DC-Anteil bzw. Offset AC-Anteil
6	FUNC:GEN:WAVE:DATA_50	Offset auf 50 A setzen. Wenn sich der Offset über den Zeitraum des Ablaufs nicht ändern soll, so muß Endwert = Startwert gesetzt werden.
7	FUNC:GEN:WAVE:IND_2	Index 2 wählen: Startfrequenz
8	FUNC:GEN:WAVE:DATA_10	Startfrequenz auf 10 Hz setzen
9	FUNC:GEN:WAVE:IND_3	Index 3 wählen: Endfrequenz
10	FUNC:GEN:WAVE:DATA_10	Endfrequenz auf 10 Hz setzen. Wenn sich die Frequenz über den Zeitraum des Ablaufs nicht ändern soll, so muß Endwert = Startwert gesetzt werden.
11	FUNC:GEN:WAVE:IND_0	Index 0 wählen: Startwert AC-Anteil (Amplitude)
12	FUNC:GEN:WAVE:DATA_30	Amplitude auf 30 A setzen
13	FUNC:GEN:WAVE:IND_1	Index 1 wählen: Endwert AC-Anteil (Amplitude)
14	FUNC:GEN:WAVE:DATA_30	Amplitude auf 30 A setzen. Wenn sich die Amplitude über den Zeitraum des Ablaufs nicht ändern soll, so muß Endwert = Startwert gesetzt werden.
15	FUNC:GEN:WAVE:IND_7	Index 7 wählen: Dauer der Sequenz
16	FUNC:GEN:WAVE:DATA_60	Ablaufdauer auf 60 s festlegen
17	FUNC:GEN:WAVE:END_12	Endsequenzpunkt auf 12 festlegen
18	FUNC:GEN:WAVE:START_12	Startsequenzpunkt auf 12 festlegen

Nr.	Befehl	Beschreibung
19	FUNC:GEN:WAVE:NUM_1	Anzahl der Durchläufe auf 1 setzen, weil der eine Sequenzpunkt allein schon 60 s läuft. Alternativ könnte man auch die Dauer auf 1 s festlegen und 60 Durchläufe wählen.
20	FUNC:GEN:WAVE:SUBMIT	Lade die zuvor gesetzten Werte in den Funktionsgenerator

Nun müssen noch die drei globalen Sollwerte gesetzt werden, bei manueller Bedienung „U/I/P Limits“ genannt, da das Gerät für den Funktionsgeneratormodus die manuell oder per Fernsteuerung irgendwann mal gesetzten Sollwerte aus dem „Normalbetrieb“ nicht übernimmt. Für dieses Beispiel mit einer Stromsenke (el. Last) empfiehlt es sich, die Spannung auf 0 V, die Leistung auf Maximum und den Strom auf mindestens 105% des Spitzenwertes der Sinuskurve zu setzen:

Nr.	Befehl	Beschreibung
21	VOLT_0	Spannung auf 0 V setzen, damit die auf den Strom angewendete Sinuskurve sauber im Stromregelmodus zwischen Minimum und Maximum pendeln kann
22	CURR_88	Die Spitze des Beispiels ergab sich rechnerisch als 80 A, wir setzen hier mal 110% Spitze, also 88 A
23	POW_MAX	Leistungssollwert auf Maximum, unabhängig vom Modell

Der Funktionsgenerator ist nun konfiguriert und Sequenz 12 geladen. Jetzt kann er gestartet und ferngesteuert bedient werden:

Nr.	Befehl	Beschreibung
24	INP_ON OUTP_ON	Einschalten des DC-Eingangs bzw. des DC-Ausgangs, je nach Gerätetyp
25	FUNC:GEN:WAVE:STAT_RUN	Starten des Funktionsablaufs (RUN). Dieser stoppt nach 60 s
26	FUNC:GEN:WAVE:STAT_STOP	Funktion ggf. abbrechen. Der DC-Eingang/-Ausgang bleibt dabei zunächst eingeschaltet und kann mit dem entsprechenden Befehl ausgeschaltet werden, sofern nötig
27	FUNC:GEN:SEL_NONE	Mit NONE wird kein Funktionsgeneratortyp gewählt und der Modus damit wieder verlassen.

5.5.2.2 Befehlsabfolge für den XY-Generator

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	–	–	✓	–	–	–	–	✓	–	✓	–	–

Die Konfiguration und das Laden von Tabellenwerten für den XY-Generator gestaltet sich ähnlich wie beim Arbiträrgenerator. Angenommen, Sie möchten den Eingangsstrom einer elektronischen Last in Abhängigkeit von der DC-Eingangsspannung bestimmen. Dafür eignet sich der XY-Generator mit der IU-Funktion sehr gut.

Über die zu ladende IU-Tabelle bestimmen Sie das Verhalten des Eingangsstromes über den gesamten Eingangsspannungsbereich (0...125%) hinweg und könnten somit festlegen, daß z. B. unter ein gewissen Spannung gar kein Strom fließt (Tabellenwerte mit 0 A) oder daß der Strom ab einer gewissen Spannung linear und daher proportional zur Eingangsspannung ansteigt. Die Stromkurve, die diesem Verhalten entspricht, kann man z. B. in Excel oder ähnlich erstellen, grafisch darstellen lassen und als CSV-Datei speichern, für die Verwendung am Gerät.

Der Meßbereich für die Führungsgröße ist auf 0...125% festgelegt. Die abhängige Größe kann aber nur zwischen 0...100% gesetzt werden, somit ist bei Tabelleneintrag 3276 (4096/1,25) bereits 100% für die abhängige Größe erreicht.

Weiterhin gilt zu beachten, daß das Gerät aufgrund der globalen, einstellbaren Leistungsbegrenzung nicht 100% Strom bei 100% Spannung machen kann. Wenn also Tabellen erzeugt werden, wäre es vielleicht sinnvoll, zwei zusätzliche Spalten anzulegen, die später nicht in das CSV exportiert werden. Eine, in welcher der Meßbereich 0...125% der Führungsgröße mit Werten befüllt auf die 4096 Werte verteilt wird, und eine andere, wo für jeden Tabelleneintrag die Leistung nach $P = U \cdot I$ berechnet und mit dem Nennwert des jeweiligen Modells verglichen wird, um so Einträge zu erkennen, die nicht von dem Gerät nicht umsetzbar wären.



Es ist Vorsicht geboten bei großen Wertänderungen zwischen zwei oder mehreren aufeinanderfolgenden Tabelleneinträgen! Es empfiehlt sich, diese Einträge „sanft“ ansteigenden oder abfallenden Werten zu versehen.

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	FUNC:GEN:SEL_IU Alternativ für Serien PSB 9000 und PSB 10000: FUNC:GEN:SEL_IUPS FUNC:GEN:SEL_IUEL	Wähle XY-Generator als IU-Funktion, also $I = f(U)$. Ab hier befindet sich das Gerät im Funktionsgenerator-Modus. IU-Tabelle im Quelle-Betrieb IU-Tabelle im Senke-Betrieb
2	FUNC:GEN:XY:LEVEL_0	Wählt Tabelleneintrag 0 zum Schreiben aus
3	FUNC:GEN:XY:DATA_0	Stromwert für Tabelleneintrag 0 schreiben, hier: 0 A (Beispielwert)
...		
8192	FUNC:GEN:XY:LEVEL_4095	Wählt Tabelleneintrag 4095 zum Schreiben aus
8193	FUNC:GEN:XY:DATA_120	Stromwert für Tabelleneintrag 4095 schreiben, hier: 120 A (Beispielwert)
8194	FUNC:GEN:XY:SUBMIT	Alles übernehmen

Nun sollten noch die Sollwerte gesetzt werden, die durch die Tabelle nicht beeinflusst werden, weil die Funktion ansonsten wirkungslos ablaufen würde. Sprich, wenn eine UI-Tabelle geladen ist, wird die Spannung durch die Tabelle beeinflusst, aber Strom und Leistung sind jedoch statisch und werden nicht von der manuellen Bedienung im Normalbetrieb übernommen.

Bei einer IU-Tabelle sind dann Spannung und Leistung statisch. Die Sollwerte, die man hier setzen kann, sind beliebig, sollten aber die Funktion nicht stören, daher empfiehlt es sich, sie auf ihr Maximum zu setzen:

Nr.	Befehl	Beschreibung
8195	VOLT_MAX bzw. CURR_MAX	Spannung bzw. Strom auf Maximum setzen. Man kann hier auch beliebig andere Werte setzen, die aber empfehlenerweise mindestens so hoch sein sollte wie der größte Wert aus der XY-Tabelle.
8196	POW_MAX	Leistungssollwert auf Maximum setzen, unabhängig vom Modell
	Zusätzlich für Serie PSB 9000 und PSB 10000: SINK:CURR_MAX SINK:POW_MAX	Nur nötig in den Modi IU und IUEL , wo das Gerät im entweder ausschließlich im Senke-Betrieb arbeitet oder in diesen wechseln kann

Der Funktionsgenerator ist nun konfiguriert und die IU-Tabelle geladen. Jetzt kann die Funktion gestartet und ferngesteuert bedient werden:

Nr.	Befehl	Beschreibung
8197	INP_ON OUTP_ON	Einschalten des DC-Eingangs bzw. des DC-Ausgangs, je nach Gerätetyp
8198	INP_OFF OUTP_OFF	Ausschalten des DC-Eingangs bzw. des DC-Ausgangs, je nach Gerätetyp, um die Funktion zu stoppen
8199	FUNC:GEN:SEL_NONE	Mit NONE wird kein Funktionsgeneratortyp gewählt und der Modus damit wieder verlassen.

5.5.2.3 Befehlsfolge zur Realisierung einer ansteigenden Rampe (Arbiträrgenerator)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—	✓	—	—

Bevor Sie den Arbiträrgenerator mit Daten füttern können, sollte überlegt werden, wie man eine Rampe oder Rechteck oder Trapez usw. mit dem Arbiträrgenerator realisieren kann. Wichtig zu wissen ist, daß der Arbiträrgenerator am Ende des Ablaufs automatisch stoppt. Dabei bleibt der DC-Eingang/Ausgang des Gerätes jedoch an. Das Gerät geht dann wieder in den statischen Modus und setzt die Sollwerte, die global für den Betrieb festgelegt wurden. Die statischen Werte gelten aber auch für den Zeitraum vor dem Start, zumindest falls der DC-Eingang/Ausgang vorher schon eingeschaltet ist.

Das mit dem Stopp und Setzen des statischen Wertes ist für eine Rampe problematisch, weil ihr Endwert für eine Zeit x konstant bleiben soll. Ein statischer Wert wäre auch konstant, soll hier aber u. U. gar nicht wirken. Warum? Angenommen, bei einem Netzgerät soll die Rampe bei 0 V starten. Dann würde man den statischen Wert der Spannung auf 0 V einstellen, den DC-Ausgang einschalten und danach die Funktion ablaufen lassen. Am Ende der Funktion würde das Gerät aber wieder statisch 0 V setzen. Also muß die konstante Spannung am Ende der Rampe zum Teil der Funktion werden.

ModBus & SCPI

Es ergibt sich daraus, daß die Rampe aus zwei Abschnitten besteht: der ansteigenden bzw. abfallenden Flanke und dem konstanten Wert am Ende. Mittels des Arbiträrgenerators setzt man das mit zwei Sequenzpunkten um.

Annahme: die Rampe soll einen Spannungsanstieg von 0 V auf 50 V in einer Zeit von 6 s darstellen. Die Endspannung von 50 V soll für 3 Minuten konstant bleiben (die Zeit hier ist beliebig variabel). Die zwei Sequenzpunkte, die wir dazu verwenden, sind Punkt 1 und 2. Fernsteuerung ist bereits aktiv, es wird zunächst konfiguriert.

Da eine Rampe die Spannung linear ansteigen läßt, also nur den DC-Anteile des Sequenzpunktes nutzt, sollten die Parameter (Indexe 0, 1, 2, 3, 4), die zum hier nicht genutztem AC-Anteil gehören zur Sicherheit alle auf 0 gesetzt werden, damit nicht irgendwelche Restparameter den späteren Ablauf stören können. Das Setzen dieser Indexe wird nicht extra beschrieben.

Sequenzpunkt 1, die ansteigende Flanke

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	FUNC:GEN:SEL_VOLTAGE	Wählt Arbiträrgenerator für Spannung. Ab hier befindet sich das Gerät im Funktionsgenerator-Modus
2	FUNC:GEN:WAVE:LEVEL_1	Wählt die 1. Sequenz zum Schreiben aus
3	FUNC:GEN:WAVE:IND_5	Index 5 wählen: Startspannung der Rampe
4	FUNC:GEN:WAVE:DATA_0	Auf 0 V setzen
5	FUNC:GEN:WAVE:IND_6	Index 6 wählen: Endspannung der Rampe
6	FUNC:GEN:WAVE:DATA_50	Auf 50 V setzen
7	FUNC:GEN:WAVE:IND_7	Index 2 wählen: Dauer der Flanke
8	FUNC:GEN:WAVE:DATA_6	Auf 6 Sekunden setzen

Sequenz 2, die konstante Spannung am Ende der Rampe

Nr.	Befehl	Beschreibung
9	FUNC:GEN:WAVE:LEVEL_2	Wählt die 2. Sequenz zum Schreiben aus
10	FUNC:GEN:WAVE:IND_5	Index 5 wählen: Startwert statische Spannung (Rampe ohne Steigung)
11	FUNC:GEN:WAVE:DATA_50	Auf 50 V setzen
12	FUNC:GEN:WAVE:IND_6	Index 6 wählen: Endwert statische Spannung (Rampe ohne Steigung)
13	FUNC:GEN:WAVE:DATA_50	Auf 50 V setzen
14	FUNC:GEN:WAVE:IND_7	Index 2 wählen: Dauer
15	FUNC:GEN:WAVE:DATA_180	Auf 3 Minuten setzen

Arbiträrgenerator konfigurieren

Nr.	Befehl	Beschreibung
16	FUNC:GEN:WAVE:END_2	Legt den 2. Sequenzpunkt als Endpunkt fest
17	FUNC:GEN:WAVE:START_1	Legt den 1. Sequenzpunkt als Startpunkt fest
18	FUNC:GEN:WAVE:NUM_1	Anzahl der Durchläufe
19	FUNC:GEN:WAVE:SUBMIT	Alle Daten übernehmen

Danach ist die Rampenfunktion fertig konfiguriert und kann gestartet werden. Ist der DC-Eingang/Ausgang noch aus, wird er durch den Start des Funktionsgenerators automatisch eingeschaltet. Alternativ kann das auch vorher mit dem entsprechenden Befehl geschehen, was hier aber nicht nötig ist, weil bei 0 V gestartet wird. Soll eine Funktion bei einem Wert ungleich 0 starten, muß der DC-Eingang/Ausgang vorher schon eingeschaltet sein.

Bei der Anzahl der Durchläufe reicht 1x. Das kann aber nach Belieben geändert werden. Dann würde die Funktion nach 3 m 6 s mindestens einmal erneut ablaufen. Die Spannung würde jedoch nicht schlagartig von 50 V auf 0 V absinken können, so wie für die steigende Flanke gefordert. Die zweite und weitere Rampen sähen dann etwas unförmiger aus. Um das zu verhindern, könnte ein dritter Sequenzpunkt programmiert werden, welcher der Spannung einfach eine gewisse Zeit gibt, um wieder auf 0 zu sinken. Wie schnell die Spannung sinkt hängt in erster Linie von der Belastung am DC-Ausgang ab.

Nr.	Befehl	Beschreibung
20	FUNC:GEN:WAVE:STAT_RUN	Starten des Funktionsablaufs (RUN)

Ohne Wiederholung stoppt die Funktion bei 1-maligem Durchlauf und 2 genutzten Sequenzpunkten nach der in Sequenzpunkt 2 gesetzten Zeit, die Spannung würde dann auf 0 sinken. Sollte die Zeit am Ende der ersten Rampe so lang wie möglich sein, müßte man eventuell die restlichen 97 Sequenzen bemühen. Pro Sequenzpunkt sind max. 10 h machbar, insgesamt also $99 \times 10 \text{ h} = 990 \text{ h}$.



Wollte man eine Rampe erzeugen deren Startwert nicht bei 0 liegt, ist es wichtig zu entscheiden, auf was der zugehörige Strom- oder Spannungssollwert, den das Gerät vor dem Start der Rampe setzt, gesetzt wird. Man könnte ihn an den Startwert der Rampe anpassen, damit keine Unterbrechungen im Verlauf entstehen, oder z. B. auch auf 0 setzen.

5.5.3 Programmier-Beispiele zur PV-Simulation (DIN EN 50530)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
—	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	✓	—	—

Näheres zu dieser erweiterten PV-Simulation finden Sie in den Handbüchern der Geräte, sowie in der Normschrift selbst. Die Gerätehandbücher erläutern auch den Zusammenhang zwischen Simulationsmodus, Eingabemodus und Panel-Technologie.



Wichtig: nach dem Start der Simulation wird zunächst die erste PV-Kurve berechnet. Dafür benötigt das Gerät ca. 500 ms. Das bedeutet, die eigentliche Simulation beginnt ca. 500 ms nach dem Start.

Übersicht (ein "x" markiert eine mögliche Kombination):

Optionen	Eingabemodus ULIK	Eingabemodus MPP
Simulations-Modus		
ET	x	x (Beispiel 1)
UI		x (Beispiel 3)
DAY ET	x (Beispiel 2)	x
DAY UI		x (Beispiel 4)

5.5.3.1 Beispiel 1

- Technologie: cSi
- Eingabemodus: MPP-Werte
- Simulations-Modus: Kontinuierlich, mit einstellbarer Temperatur und Einstrahlungsstärke
- Datenaufzeichnung: aktiviert

Konfiguration

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	SYST:LOCK_ON	Fernsteuerung aktivieren	402
2	FUNC:PHOT:MODE_ET	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus ET	12001
3	FUNC:PHOT:TECH_CSI	Technologie wählen: cSi	12016
4	FUNC:PHOT:IMOD_MPP	Eingabemodus wählen: MPP	12017
5	FUNC:PHOT:STAN:MPP:VOLT_20	MPP-Spannung setzen: 20 V	12050
6	FUNC:PHOT:STAN:MPP:CURRE_5	MPP-Strom setzen: 5 A	12051
7	FUNC:PHOT:REC:ACT_ENABLE	Datenaufzeichnung: aktivieren	12018
8	POW_MAX	Globale Leistung auf das Maximum setzen	502
9	VOLT 30	Globale Spannungsgrenze setzen (sollte >Uoc sein)	500



- Die STC-Werte (standard test condition), wie in Schritt 5 und 6 gesetzt, dienen nur zur Berechnung der ersten Kurve. Die Werte für den MPP (:STAN:MPP) sind dabei über die Faktoren FF_i und FF_u mit den Grenzwerten U_{oc} (:STAN:OCV) und I_{sc} (:STAN:SCC) verknüpft, so daß sie sich gegenseitig überschreiben. Bedeutet, das Setzen von :STAN:MPP:VOLT überschreibt den Wert in :STAN:OCV und umgekehrt. Beim Strom genauso.
- Die erste Kurve nach dem Start der Funktion wird mit den Standardwerten $T = 25^\circ\text{C}$ und $E = 1000 \text{ W/m}^2$ berechnet

Steuerung (auch während der Simulation)

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
10	FUNC:PHOT:STAT_RUN	Simulation starten	12000
11	FUNC:PHOT:TEMP_40	Temperaturwert verändern auf 40 °C	12052
12	FUNC:PHOT:IRR_800	Einstrahlungsstärke verändern: 800 W/m ²	12053
13	FUNC:PHOT:STAT_STOP	Nach beliebiger Zeit Simulation stoppen	12000

Auswertung nach dem Ende der Simulation

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
14	FUNC:PHOT:REC:NUMB?	Anzahl (n) der aufgezeichneten Datensätze ermitteln	12020
15	FUNC:PHOT:REC:IND_1	Index 1 anwählen zum Auslesen	12022
16	FUNC:PHOT:REC:DATA?	Daten von Index 1 auslesen	12024
...	...	Weitere n-1 Datensätze auslesen:	...
x	FUNC:PHOT:REC:IND_n	Index n anwählen zum Auslesen	12022
y	FUNC:PHOT:REC:DATA?	Daten von Index n auslesen	12024

5.5.3.2 Beispiel 2

- Technologie: Manuell
- Eingabemodus: Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom
- Simulations-Modus: Tagestrend mit einstellbarer Temperatur und Einstrahlungsstärke
- Interpolation: deaktiviert
- Datenaufzeichnung: aktiviert

Konfiguration

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	SYST:LOCK_ON	Fernsteuerung aktivieren	402
2	FUNC:PHOT:MODE_DAYET	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus DAYET	12001
3	FUNC:PHOT:TECH_MAN	Technologie wählen: Manuell (alle erforderlichen Parameter müssen angegeben werden, hier Befehle 4-10)	12016
4	FUNC:PHOT:FACT:FFU_0.8	Füllfaktor Spannung (FF_U): 0,8	12034
5	FUNC:PHOT:FACT:FFI_0.78	Füllfaktor Strom (FF_I): 0,78	12036
6	FUNC:PHOT:FACT:ALPH_0.0003	Temperaturkoeffizient α zu I_{SC} : 0,0003 /°C	12038
7	FUNC:PHOT:FACT:BETA_-0.003	Temperaturkoeffizient β zu U_{OC} : -0,003 /°C	12040
8	FUNC:PHOT:FACT:CU_0.0725	Korrekturfaktor C_U zu U_{OC} : 0,0725	12042
9	FUNC:PHOT:FACT:CR_0.00022	Korrekturfaktor C_R zu U_{OC} : 0,00022 m²/W	12044
10	FUNC:PHOT:FACT:CG_0.00315	Korrekturfaktor C_G zu U_{OC} : 0,00315 W/m²	12046
11	FUNC:PHOT:IMOD_ULIK	Eingabemodus wählen: ULIK	12017
12	FUNC:PHOT:STAN:OCV_38	Leerlaufspannung setzen: 38 V	12048
13	FUNC:PHOT:STAN:SCC_7	Kurzschlußstrom setzen: 7 A	12049
14	FUNC:PHOT:REC:ACT_ENABLE	Datenaufzeichnung aktivieren	12018
15	FUNC:PHOT:DAY:INT_OFF	Interpolation der Tagesdaten deaktivieren	12005
16	POW_MAX	Globale Leistung auf das Maximum setzen	502
17	VOLT 38	Globale Spannungsgrenze setzen (sollte $\geq U_{OC}$ sein)	500




- Die STC-Werte (standard test condition), wie mit den beiden Befehlen in Schritt 12 und 13 gesetzt, dienen nur zur Berechnung der ersten Kurve. Sobald ein Parameter verändert wird, der zur Verschiebung des MPP führt, wird die Kurve neu berechnet.
- Spannung und Strom im MPP sind über die Faktoren FF_I und FF_U mit der Leerlaufspannung U_{OC} bzw. dem Kurzschlußstrom I_{SC} verknüpft, die in diesem Beispiel beide vorgegeben werden, alternativ zu Beispiel 1. Diese Faktoren sind, je nach Technologie, veränderlich oder unveränderlich.

Tagesdaten laden (nur möglich vor dem Start der Funktion)

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
18	FUNC:PHOT:DAY:MODE_WRITE	Zugriffsmodus Schreiben wählen	12006
19	FUNC:PHOT:DAY_CLEAR	Alte Daten löschen (sollte immer vor dem Laden neuer Daten ausgeführt werden)	12007

ModBus & SCPI

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
20	FUNC:PHOT:DAY:DATA_1,500,20,1500	Ersten Tages-Datensatz schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 500 W/m ² Temperatur: 20°C Verweildauer: 1500 ms	12010
	 <i>Die Verweildauer ist zwar generell auf minimal 500 ms definiert, der Wert für den ersten Tagesdatensatz sollte aber auf 1000 ms oder höher gesetzt werden, sonst könnte der Ablauf der Funktion fehlschlagen.</i>		
21	FUNC:PHOT:DAY:DATA_2,800,28,1500	Zweiten Tages-Datensatz schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 800 W/m ² Temperatur: 28°C Verweildauer: 1500 ms	12010
...	...	Weitere Tages-Datensätze schreiben, insgesamt 500	...
519	FUNC:PHOT:DAY:DATA_500,1200,35,20000	500. Tagesdaten-Satz schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 1200 W/m ² Temperatur: 35°C Verweildauer: 20000 ms	12010

Steuerung

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
520	FUNC:PHOT:STAT_RUN	Simulation starten -> die Simulation läuft ab und stoppt automatisch nach der Gesamtzeit, die sich aus den Verweildauern aller geladenen Tages-Datensätze ergibt	12000

Auswertung (nach dem Ende der Simulation)

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
521	FUNC:PHOT:REC:NUMB?	Anzahl (n) der aufgezeichneten Datensätze ermitteln. Die Anzahl ist nicht gleichbedeutend mit der Anzahl der Tages-Datensätze, weil die Aufzeichnung kontinuierlich alle 100 ms aufzeichnet. Je nach Gesamtdauer der Simulation könnte der Aufzeichnungsspeicher vollgelaufen (max. 16 h Aufzeichnungsdauer) und Daten überschrieben worden sein. Es kann daher notwendig werden, vor dem Start die Gesamtdauer aus den Tages-Datensätzen zu ermitteln und die aufgezeichneten Daten bereits während der Simulation auszulesen, den Speicher zu löschen und später den Rest auszulesen.	12020
522	FUNC:PHOT:REC:IND_1	Index 1 anwählen zum Auslesen	12022
523	FUNC:PHOT:REC:DATA?	Daten von Index 1 auslesen	12024
...	...	Weitere n-1 Datensätze auslesen:	...
x	FUNC:PHOT:REC:IND_n	Index n anwählen zum Auslesen	12022
y	FUNC:PHOT:REC:DATA?	Daten von Index n auslesen	12024

5.5.3.3 Beispiel 3

- Technologie: Dünnschicht
- Eingabemodus: MPP
- Simulationsmodus: UI
- Datenaufzeichnung: deaktiviert

Konfiguration

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	SYST:LOCK_ON	Fernsteuerung aktivieren	402
2	FUNC:PHOT:MODE_UI	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus UI	12001
3	FUNC:PHOT:TECH_THIN	Technologie wählen: Dünnschicht	12016

ModBus & SCPI

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
4	FUNC:PHOT:IMOD_MPP	Eingabemodus wählen: MPP	12017
5	FUNC:PHOT:STAN:MPP:VOLT_45	MPP-Spannung setzen: 45 V	12050
6	FUNC:PHOT:STAN:MPP:CURRE_10	MPP-Strom setzen: 10 A	12051
7	FUNC:PHOT:REC:ACT_DISABLE	Datenaufzeichnung deaktivieren	12018
8	POW_MAX	Globale Leistung auf das Maximum setzen	502
9	VOLT 57	Globale Spannungsgrenze setzen (sollte $\geq U_{oc}$ sein)	500

Steuerung (auch während der Simulation)

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
10	FUNC:PHOT:STAT_RUN	Simulation starten	12000
11	FUNC:PHOT:STAN:MPP:VOLT_40	MPP verschieben: 40 V	12050
12	FUNC:PHOT:STAN:MPP:CURRE_9	MPP verschieben: 9 A	12051
13	FUNC:PHOT:STAT_STOP	Nach beliebiger Zeit Simulation stoppen	12000

5.5.3.4 Beispiel 4

- Technologie: cSi
- Eingabemodus: MPP-Werte
- Simulations-Modus: Tagestrend mit verschiebbarem MPP (Spannung und Strom)
- Interpolation: aktiviert (bei aktivierter Interpolation wird die Zeit des ersten Tages-Datensatzes für alle übernommen, muß aber trotzdem in einem sinnvollen Bereich angegeben werden)
- Datenaufzeichnung: deaktiviert

Konfiguration

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	SYST:LOCK_ON	Fernsteuerung aktivieren	402
2	FUNC:PHOT:MODE_DAYUI	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus DAYUI	12001
3	FUNC:PHOT:TECH_CSI	Technologie wählen: cSi	12016
4	FUNC:PHOT:IMOD_MPP	Eingabemodus wählen: MPP	12017
5	FUNC:PHOT:STAN:MPP:VOLT_36	Leerlaufspannung setzen: 36 V	12050
6	FUNC:PHOT:STAN:MPP:CURRE_12	Kurzschlußstrom setzen: 12 A	12051
7	FUNC:PHOT:REC:ACT_DISABLE	Datenaufzeichnung deaktivieren	12018
8	FUNC:PHOT:DAY:INT_ON	Interpolation der Tagesdaten aktivieren	12005
9	POW_MAX	Globale Leistung auf das Maximum setzen	502
10	VOLT 57	Globale Spannungsgrenze setzen (sollte $\geq U_{oc}$ sein)	500

Tagesdaten laden (nur möglich vor dem Start der Funktion)

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
11	FUNC:PHOT:DAY:MODE_WRITE	Zugriffsmodus Schreiben wählen	12006
12	FUNC:PHOT:DAY_CLEAR	Alte Daten löschen (sollte immer vor dem Laden neuer Daten ausgeführt werden)	12007
13	FUNC:PHOT:DAY:DATA_1,1,1,300000	Ersten Tages-Datensatz schreiben mit: MPP-Spannung: 1 V MPP-Strom: 1 A Verweildauer: 300 Sekunden => 5 Minuten	12010
14	FUNC:PHOT:DAY:DATA_2,2,2,500	Zweiten Tages-Datensatz schreiben mit: MPP-Spannung: 2 V MPP-Strom: 2 A	12010
...	...	Weitere Tages-Datensätze schreiben, insgesamt 1000	...
1012	FUNC:PHOT:DAY:DATA_1000,9,30,500	1000. Tagesdaten-Satz schreiben mit: MPP-Spannung: 30 V MPP-Strom: 9 A	12010

ModBus & SCPI

Durch die Vorgabe von 5 Minuten Verweildauer im ersten Tages-Datensatz und aktivierter Interpolation nutzen alle 1000 Datensätze dieselbe Verweildauer. Es ergibt sich eine Gesamt-Simulationsdauer von 5000 Minuten.

Steuerung

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1013	FUNC:PHOT:STAT_RUN	Simulation starten -> die Simulation läuft ab und stoppt automatisch nach der Gesamtzeit, die sich aus den Verweildauern aller geladenen Tages-Datensätze ergibt	12000

5.5.4 Programmier-Beispiele für MPP-Tracking

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3
✓	✓	—	—	—	—	✓	—	—	✓	✓	—	—

5.5.4.1 MPP2

Siehe zu diesem Thema auch das Handbuch ihres Gerätes, welches einige Grundlagen und Begriffe erläutert. Für die Modi MPP1 bis MPP3 müssen keine Daten geladen werden.

Die in der Konfiguration gesetzten Parameter sind zur Laufzeit unveränderlich.

Konfiguration

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	SYST:LOCK_ON	Fernsteuerung aktivieren	402
2	FUNC:GEN:MPP:IND_0	Index 0 dient zur generellen Moduswahl	11000
3	FUNC:GEN:MPP:DATA_MPP2	Modus MPP2 ("MPP verfolgen") wählen. Dieser Modus stoppt nicht automatisch.	11000
4	FUNC:GEN:MPP:IND_1	Leerlaufspannung U_{OC} des Solarpaneels setzen, an dem die elektronische Last das Tracking ausführt. Dieser Wert ist gleichzeitig die Spannungsgrenze des Gerätes.	11001
5	FUNC:GEN:MPP:DATA_50	U_{OC} auf 50 V setzen	11001
6	FUNC:GEN:MPP:IND_2	Kurzschlußstrom I_{SC} des Solarpaneels setzen, an dem die elektronische Last das Tracking ausführt. Dieser Wert ist gleichzeitig die Stromgrenze des Gerätes.	11002
7	FUNC:GEN:MPP:DATA_100	I_{SC} auf 100 A setzen	11002
8	FUNC:GEN:MPP:IND_10	Tracking-Intervall Δt in Millisekunden, der zeitliche Abstand zum nächsten Trackingversuch	11013
9	FUNC:GEN:MPP:DATA_3000	Zeit = 3 s	11013
10	FUNC:GEN:MPP:IND_6	ΔP , ein Differenzwert zu P_{MPP} ab dessen Überschreitung das Gerät überhaupt erst wieder einen nächsten Trackingversuch startet	11006
11	FUNC:GEN:MPP:DATA_30	$\Delta P = 30$ W (bei Serien mit geringer Nennleistung ist der einstellbare Bereich 0-50 W [siehe Handbuch], bei anderen Serien ist er $0-P_{Nenn}$)	11006

Steuerung

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
12	FUNC:GEN:MPP:STAT_RUN	Tracking starten -> das Gerät versucht, den MPP zu finden, um ihn dann zu verfolgen (<i>engl.: to track</i>). Dieser Modus stoppt nicht automatisch. Der zeitliche Abstand zwischen zwei Trackingversuchen wurde über Index 10 definiert, die zulässige Abweichung der Istleistung zum MPP mit Index 6. Der zuletzt ermittelte MPP wird als U_{MPP} , I_{MPP} und P_{MPP} gespeichert und ist entweder zur Laufzeit des Tests oder hinterher auslesbar.	11010
13	FUNC:GEN:MPP:STAT_STOP	Tracking nach beliebiger Zeit stoppen	11010

Auswertung

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
14	FUNC:GEN:MPP:IND_7	Index 7 dient zur Anwahl vor dem Auslesen der MPP-Werte	11007
15	FUNC:GEN:MPP:DATA?	Auslesen der drei Werte im MPP als U_{MPP} , I_{MPP} und P_{MPP}	11008 11009

5.5.4.2 MPP4

Dieser Modus ist bei allen Serien über die Fernsteuerung verfügbar, aber nicht bei allen auch am Bedienteil (HMI). Wenn Informationen über diesen Modus benötigt werden, dann siehe z. B. das Handbuch der Serie EL 9000 B 3U.

In diesem Modus, der auch "Benutzerkurve" genannt wird, ermittelt das Gerät anhand von Benutzerdaten (1-100 Spannungswerte) auf einer möglichen PV-Kurve ein Solarmodul den sog. MPP anhand eines Spannungswertes. Die ermittelten Werte (U, I, P im MPP) werden für alle angefahrenen Punkte gespeichert und sind später auslesbar. Der eigentliche MPP, also der Punkt mit der höchsten Leistung, wird vom Gerät aus den Meßwerten ermittelt und separat auslesbar abgelegt.

Das Beispiel zeigt Modus MPP4 Konfiguration und Ablauf mit 75 Benutzerpunkten.

Konfiguration

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	SYST:LOCK_ON	Fernsteuerung aktivieren	402
2	FUNC:GEN:MPP:IND_0	Index 0 dient zur generellen Moduswahl	11000
3	FUNC:GEN:MPP:DATA_MPP4	Modus MPP4 ("Benutzerkurve") wählen. Dieser Modus stoppt nach Abarbeitung aller Punkte automatisch.	11000
4	FUNC:GEN:MPP:IND_8	Index 8 = Modus zur Benutzerdateneingabe	11100 - 11174
5	FUNC:GEN:MPP:LEV_1	Level 1 entspricht dem 1. Punkt der Benutzerkurve.	
6	FUNC:GEN:MPP:DATA_100	1. Punkt der Benutzerkurve auf 100 V setzen	
...		Möglichst durchgängig weitere Punkt laden	
153	FUNC:GEN:MPP:LEV_75	Level 75 entspricht dem 75. Punkt der Benutzerkurve.	
154	FUNC:GEN:MPP:DATA_80	75. Punkt der Benutzerkurve auf 80 V setzen	11015
155	FUNC:GEN:MPP:IND_12	Endpunkt auf der Kurve wählen. Er muß nicht zwangsweise mit dem letzten der zuvor geladenen Punkte übereinstimmen. Da der Startpunkt nicht größer sein kann als der Endpunkt, wird der Endpunkt zuerst gesetzt.	
156	FUNC:GEN:MPP:DATA_75	Endpunkt = 75	11015
157	FUNC:GEN:MPP:IND_11	Startpunkt auf der Kurve wählen. Er muß nicht zwangsweise mit dem ersten der zuvor geladenen Punkte übereinstimmen. Der Wert darf nicht größer sein als der des Endpunkts.	11014
158	FUNC:GEN:MPP:DATA_1	Startpunkt = 1	11014
159	FUNC:GEN:MPP:IND_10	Tracking-Intervall Δt in Millisekunden, der zeitliche Abstand zum nächsten Trackingversuch	11013
160	FUNC:GEN:MPP:DATA_500	Zeit = 0,5 s	11013
161	FUNC:GEN:MPP:IND_13	Anzahl der Wiederholungen (0-65535) des Durchlaufs. Es können hinterher nur die ermittelten Daten des letzten Durchlaufs ausgelesen werden	11016
162	FUNC:GEN:MPP:DATA_0	Wiederholungen = 0, d. h. nur ein Durchlauf	11016



Wenn ein Punkt angefahren wird, der vorher nicht explizit mit einem Wert beschrieben wurde, setzt das Gerät 0 V für diesen.

Steuerung

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
163	FUNC:GEN:MPP:STAT_RUN	Tracking starten -> das Gerät nimmt den ersten Spannungswert aus der Kurve, der als Startpunkt definiert wurde und ermittelt dazu Strom und Leistung. Dann den nächsten usw. Der zeitliche Abstand zwischen zwei Punkten wurde über Index 10 definiert. Die Gesamtzeit des Tests ergibt sich aus $\Delta t \cdot (\text{Ende} - \text{Start} + 1)$. Es gibt keinen auslesbaren Status, wann der Durchlauf zu Ende ist.	11010

Auswertung

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
164	FUNC:GEN:MPP:IND_9	Index 9 = Modus zum Auslesen der MPP4-Meßwerte	11200 - 11274
165	FUNC:GEN:MPP:LEV_1	1. Punkt der Ergebnisliste zum Lesen anwählen	
166	FUNC:GEN:MPP:DATA?	Meßwerte des 1. Punktes als U_{MPP} , I_{MPP} und P_{MPP} auslesen	
...		Kontinuierlich weiter auslesen	
313	FUNC:GEN:MPP:LEV_75	75. Punkt der Ergebnisliste zum Lesen anwählen	11007 11008 11009
314	FUNC:GEN:MPP:DATA?	Meßwerte des 75. Punktes als U_{MPP} , I_{MPP} und P_{MPP} auslesen	
315	FUNC:GEN:MPP:IND_7	Index 7 dient zur Anwahl vor dem Auslesen der MPP-Werte	
316	FUNC:GEN:MPP:DATA?	Auslesen der drei Werte des MPP als U_{MPP} , I_{MPP} und P_{MPP}	

6. Profibus & Profinet

6.1 Allgemeines

Die Anbindung an die Feldbusse Profibus oder Profinet ist nur über die Schnittstellenmodule **IF-AB-PBUS** (Profibus) oder **IF-AB-PNET** (Profinet, 1 oder 2 Ports) möglich und wird somit nur von bestimmten Serien unterstützt:

- EL 9000 B (HP, 2Q)
- ELR 9000 / ELR 9000 HP / ELR 10000
- PSI 9000 2U - 24U / PSI 10000
- PSE 9000
- PSB 9000 / PSB 10000

Auf der Geräteseite wird die Konfiguration so weit wie möglich vereinfacht. Bei Profibus ist es nur erforderlich, die Slave-Adresse (0...125) festzulegen, während die Netzwerkparameter bei Profinet üblicherweise von außen und am besten mit dem Siemes Primary Setup Tool (PST) konfiguriert werden. Andere, optionale Parameter wie die benutzerdefinierbaren „Tags“ können am Gerät eingegeben oder per Befehl in Fernsteuerung definiert werden.

Dieser Abschnitt soll aufzeigen, wie die sogenannte ModBus-Register-Liste (PDF) als Referenz dient, das Gerät über Profibus oder Profinet zu steuern, über azyklischen Zugriff. Die Schnittstellen-Module repräsentieren das Gerät dabei gegenüber dem Netzwerk als **DP-V1-Slave** mit zyklischem und azyklischem Datenverkehr.

6.2 Vorbereitung

Für die Einbindung in ein Netzwerk und der Anmeldung am Master (SPS o. ä.) wird ein bereits fertig konfiguriertes und verkabeltes Gerät vorausgesetzt. Als nächstes wird eine Geräte-Stamm-Datei (GSD/GSDML) benötigt, die entweder auf einem dem Gerät beiliegenden USB-Stick enthalten ist bzw. auf Anfrage beim Hersteller des Gerätes und für alle oben gelisteten Geräte bzw. Geräteserien gilt, welche die Anybus-Schnittstellenmodule für Profibus und Profinet unterstützen. Die GSD/GSDML wird in der Automatisierungssoftware eingebunden und ermöglicht eine bestimmte Slot-Konfiguration für die zyklischen Prozessdaten und den azyklischen Verkehr. Mehr dazu unten.

6.3 Slot-Konfiguration für Profibus

Die Slotkonfiguration für Nutzer des Schnittstellenmoduls **IF-AB-PBUS** erfolgt über das Laden der GSD im Konfigurationsdialog (bei Siemens STEP7: HWKONFIG) und Anordnung in einer vorgegebenen Reihenfolge:

Slot	Slot-Name	Beschreibung
1	Device status & acyclic slot 1	Zyklisch: Gerätezustand Azyklisch: alle zu Slot 1 zugeordneten Register (Indexe)
2	Act. voltage & acyclic slot 2	Zyklisch: Istwert Spannung Azyklisch: alle zu Slot 2 zugeordneten Register (Indexe)
3	Act. current & acyclic slot 3	Zyklisch: Istwert Strom Azyklisch: alle zu Slot 3 zugeordneten Register (Indexe)
4	Act. power & acyclic slot 4	Zyklisch: Istwert Leistung Azyklisch: alle zu Slot 4 zugeordneten Register (Indexe)
5	Acyclic slot 5	Azyklisch: alle zu Slot 5 zugeordneten Register (Indexe)
...
12	Acyclic slot 12	Azyklisch: alle zu Slot 12 zugeordneten Register (Indexe)

Beispiel einer Slotkonfiguration in HW KONFIG von Siemens Simatic, mit 8 Slots:

(6) IF-AB DPV1 (FW 1.x)				
Steckplatz	DP-Kennung	Bestellnummer / Bezeichnung	E-Adresse	A-Adresse
1	209	Status and acyclic slot 1	256...259	
2	208	Act. voltage & acyclic slot 2	260...261	
3	208	Act. current & acyclic slot 3	262...263	
4	208	Act. power & acyclic slot 4	264...265	
5	208	Acyclic slot 5	266...267	
6	208	Acyclic slot 6	268...269	
7	208	Acyclic slot 7	270...271	
8	208	Acyclic slot 8	272...273	

ModBus & SCPI

Die Adressbereiche können natürlich auch anders verteilt sein. Für azyklischen Verkehr ist keine Ausgangsadresse erforderlich, hier reserviert die Eingangsadresse nur einen Speicherbereich für beide Richtungen.

6.4 Slot-Konfiguration für Profinet

Die auf USB-Stick mitgelieferte GSDML bietet keine automatische Konfiguration der Slots. Diese muß vom Anwender selbst erledigt werden. Beim Laden muß die richtige GSDML für das Profinet-Modul, 1-Port oder 2-Port, gewählt werden. Die Plazierung der Slots sollte dann wie folgt umgesetzt werden:

Slot	Slot-Name	Beschreibung
1	Input 2 words	Zyklisch: Gerätezustand (Register 505, siehe Registerliste) Azyklisch: alle zu Slot 1 zugeordneten Register (Indexe)
2	Input 1 word	Zyklisch: Istwert Spannung (Register 507, siehe Registerliste) Azyklisch: alle zu Slot 2 zugeordneten Register (Indexe)
3	Input 1 word	Zyklisch: Istwert Strom (Register 508, siehe Registerliste) Azyklisch: alle zu Slot 3 zugeordneten Register (Indexe)
4	Input 1 word	Zyklisch: Istwert Leistung (Register 509, siehe Registerliste) Azyklisch: alle zu Slot 4 zugeordneten Register (Indexe)
5	Input 1 word	Azyklisch: alle zu Slot 5 zugeordneten Register (Indexe)
...
12	Input 1 word	Azyklisch: alle zu Slot 12 zugeordneten Register (Indexe)

Beispiel einer Slotkonfiguration in HW KONFIG von Siemens Simatic, mit 8 Slots:

[1] Default					
Steckplatz	Baugruppe	Bestellnummer	E-Adresse	A-Adresse	Diagnoseadresse
0	Default	ABCC-FRT (2-Port)			2043"
1	Input 2 word		256...259		
2	Input 1 word		260...261		
3	Input 1 word		262...263		
4	Input 1 word		268...269		
5	Input 1 word		270...271		
6	Input 1 word		272...273		
7	Input 1 word		274...275		
8	Input 1 word		264...265		
9					

Die Adressbereiche können natürlich auch anders verteilt sein. Für azyklischen Verkehr ist keine Ausgangsadresse erforderlich, hier reserviert die Eingangsadresse nur einen Speicherbereich für beide Richtungen.

6.5 Zyklische Kommunikation über Profibus/Profinet

Der Profibus/Profinet-Slave sendet zyklische Daten (Istwerte & Status) auf bestimmte Eingangsadressen (Slots 1-4), so wie durch den Anwender für Profibus (siehe „6.3. Slot-Konfiguration für Profibus“) oder Profinet (siehe „6.4. Slot-Konfiguration für Profinet“) definiert. Diese Daten sind gemäß „4.4. Umrechnung der Soll- und Istwerte“, sofern es sich um Istwerte handelt, bzw. den dieser Anleitung zugehörigen sogenannten Registerlisten zu interpretieren. Als Hilfe sind die Slots in der GSD teils so benannt wie die zugehörigen Register in der Registerliste (in Anlehnung an das intern verwendete ModBus-Protokoll). Zum Beispiel ist der Istwert Strom in der Profibus-GSD mit „Actual current“ einem der Slots zugeordnet, wiederzufinden in z. B. der Registerliste für alle Serien an Position 508 und an dieser Stelle auch für den Gebrauch mit Profibus/Profinet freigegeben, d. h. die Liste hat für das Register einen Slot/Index angegeben. Ähnliches gilt für die anderen Slots.

Gemäß Abschnitte 6.3 bzw. 6.4 gibt es bis zu 12 Slots für azyklischen Datenverkehr, denen eine variable Anzahl von Indexen (siehe Registerliste) zugeordnet ist. Über entsprechende Bausteine (SFB52, SFB53) kann azyklisch lesend und schreibend auf die sich ergebenden IDs zugegriffen werden. Die Module für den azyklischen werden nur wegen der Reservierung der Slotadressen und eines Speicherbereiches platziert, über die der azyklischen Datenverkehr abgewickelt wird. Dabei ist irrelevant, daß sie nur Eingänge darstellen.



Sollwerte, setzbarer Status und die meisten anderen Register werden aus verschiedenen Gründen nicht zyklisch übertragen. Einer der Gründe ist die hohe Anzahl an Registern, die nicht über die verfügbaren 16 Slots und deren max. Datenbreite abgedeckt werden können.

6.6 Azyklische Kommunikation über Profibus/Profinet

Azyklische Kommunikation mit dem Gerät erfolgt über die **Slots 1-12**, genauer gesagt über deren resultierende ID, und den sog. **Indexen**, die man mittels der Systembausteine anwählt und dann liest bzw. schreibt. Üblicherweise werden hier SFB52 und SFB53 verwendet, sofern man mit Siemens-Software arbeitet. Andere SPS-Steuerungssoftwares bieten ähnliche Möglichkeiten.

Diese SFBs benötigen eine „ID“, einen „Index“ und den Parameter selbst. Die Parameter sind gemäß „4.4. Umrechnung der Soll- und Istwerte“ oder den Registerlisten anzugeben.

Für Profibus-Einsteiger gibt es je ein Beispielprojekt für Profibus und Profinet zur Verwendung mit Siemens STEP7 (auf beiliegendem USB-Stick oder Webseite bzw. auf Anfrage). Es dient zur grundlegenden, beispielhaften Darstellung des Zugriffs auf das Gerät mittels vorkonfigurierter Datenbausteine.

In der Registerliste sind zwei Spalten nur für Profinet/Profibus vorgesehen, die für einen bestimmten Befehl (hier: Register, aus der ModBus-Terminologie) den Slot und den Index definieren. Dabei gilt:

- **Register, für die kein Slot/Index eingetragen sind, werden über Profibus bzw. Profinet nicht unterstützt**

Die generelle Vorgehensweise für die Fernsteuerung eines Gerätes ist:

1. **Fernsteuerung per Befehl aktivieren** (falls von Seiten des Gerätes nicht blockiert, siehe auch „3.2. Bedienorte“)
2. Gerät fernsteuern bzw. überwachen, über zyklischen (DP-V0) und/oder azyklischen (DP-V1) Zugriff
3. Fernsteuerung beenden

Will man nur Daten vom Gerät lesen (Aufzeichnung, Logging) ist keine Fernsteuerung und auch keine Aktivierung selbiger erforderlich. Man kann dann jederzeit Befehle an das Gerät zur Anfrage von Daten schicken und das Gerät sollte, sofern die Situation des Gerätes es zuläßt, umgehend antworten.

Der Feldbus stellt sicher, daß der Befehl beim Gerät ankommt, anderenfalls wird ein Fehler generiert. Er kann jedoch nicht feststellen, daß es den Befehl auch akzeptiert bzw. bereits umgesetzt hat. Die erfolgreiche Übernahme eines Wertes oder Status‘ kann nur durch späteres Rücklesen überprüft werden. Ob ein Gerät einen Wert auch tatsächlich am DC-Ausgang/DC-Eingang gesetzt hat, kann nicht eindeutig durch Rücklesen festgestellt werden.

Für das Senden eines Befehls gilt folgende generelle Vorgehensweise:

1. Auswahl des Befehls aus der Registerliste und Ablesen der zugehörigen Slot- und Indexnummern.
2. Die dem Slot in HWKONFIG zugeordnete E/A-Adresse ermitteln. Daraus wird die ID abgeleitet, wie in den nachfolgenden Beispielen demonstriert. Die Verwendung von ID, Index, Slot und Subslot sind nicht nur zwischen Profibus und Profinet unterschiedlich, sondern auch bei den verschiedenen SPS-Systemen und -Softwares.
3. Eingabe des Parameters, z. B. des Leistungssollwertes, in dezimaler oder hexadezimaler Form in den SFB/SFC, zusammen mit der ermittelten ID und dem abgelesenen Index
4. Verarbeitung der vom Gerät bei einer Anfrage zurückgegebenen Daten

Bei Anfragen an das Gerät gibt der verwendete Baustein die vom Gerät gesendeten Daten an einem Ausgang bzw. als Zeiger auf einen Puffer heraus. Die Daten können dann weiterverarbeitet werden. Gegebenenfalls kann sich an dem oben erwähnten Beispielprojekt orientiert werden.

6.7 Beispiele für azyklische Kommunikation

6.7.1 Fernsteuerung aktivieren/deaktivieren

Fernsteuerung ist nicht der Standardzustand des Gerätes und muß daher explizit angefragt werden. Je nach Einstellung und aktuellem Zustand des Gerätes kann es den Wechsel auch verweigern.

► So aktivieren bzw. deaktivieren Sie die Fernsteuerung des Gerätes über Profibus

1. Finden Sie in der Registerliste den passenden Befehl, hier: Register 402 - Fernsteuerungsmodus.
2. Ermitteln Sie den Slot und den Index in der entsprechenden Spalte der Registerliste, hier Slot 2 und Index 1.
3. Lesen Sie aus der Slot-Konfiguration die E/A-Adresse für Slot 2 ab, um den Parameter „ID“ zu erhalten, z. B. 260 (aus den Beispielen in 6.3 und 6.4) bzw. DW#16#104.
4. Der aus der Registerliste entnommene Wert „Index“ geht in den Parameter INDEX über:
Profibus: INDEX = Index = 1
Profinet: INDEX = Slotnummer * 255 + 1 + Index = 510 + 1 + 1 = 512
5. Nehmen Sie einen geeigneten Baustein in Ihrer Automatisierungssoftware, zum Beispiel SFB53.
6. Lesen Sie aus den Spalten „Daten“ und „Beispiel“ den für diesen Befehl zu verwendenden Steuerwert aus:
0xFF00 = Fernsteuerung aktivieren
0x0000 = Fernsteuerung deaktivieren
7. Geben Sie den Steuerwert entsprechend der gewünschten Funktion am Baustein ein, zusammen mit ID und INDEX und führen Sie den Baustein aus. Das Gerät sollte nun in die Fernsteuerung wechseln bzw. diese verlassen.

6.7.2 Einen Sollwert setzen

Setzbefehle, also jene Befehle, die etwas am Gerät einstellen oder dessen Zustand verändern, setzen bereits aktivierte Fernsteuerung voraus. Siehe dazu „6.7.1. Fernsteuerung aktivieren/deaktivieren“ und „3.2. Bedienorte“.

Bevor Sie einen Sollwert schicken, müssen Sie zunächst auswählen, welchen Sie setzen wollen und müssen diesen ggf. vorher noch umrechnen, da Sollwerte als Prozentwert vom Nennwert übertragen werden. Siehe dazu auch „4.3. Format der Sollwerte und Auflösung“ und „4.4. Umrechnung der Soll- und Istwerte“.

► So setzen Sie einen Stromsollwert

1. Finden Sie in der Registerliste den passenden Befehl, hier: Register 501 - Sollwert Strom.
2. Ermitteln Sie den Slot und den Index in der entsprechenden Spalte der Registerliste, hier Slot 2 und Index 24.
3. Lesen Sie aus der Slot-Konfiguration die E/A-Adresse für Slot 2 ab, um den Parameter „ID“ zu erhalten, z. B. 260 (aus den Beispielen in 6.3 und 6.4) bzw. DW#16#104.
4. Der aus der Registerliste entnommene Wert „Index“ geht in den Parameter INDEX über:
Profibus: INDEX = Index = 24
Profinet: INDEX = Slotnummer * 255 + 1 + Index = 510 + 1 + 24 = 535
5. Nehmen Sie einen geeigneten Baustein in Ihrer Automatisierungssoftware, zum Beispiel SFB53.
6. Lesen Sie aus den Spalten „Daten“ und „Beispiel“ die für diesen Befehl zu verwendenden Wertebereich aus:
0x0000...0xCCCC (dez. 52428) = Strom 0...100%. Errechnen Sie nun den Sollwert. Für ein Modell mit beispielsweise 170 A Nennwert und gewünschten 10 A wäre das $52428 \div 17 = 3084 \rightarrow 0x0C0C$.
7. Geben Sie den Steuerwert entsprechend der gewünschten Funktion am Baustein ein, zusammen mit ID und INDEX und führen Sie den Baustein aus. Das Gerät sollte nun 10 A Strom setzen. Dies kann unter Anderem in der Anzeige des Gerätes nachgeschaut werden, wo der Stromsollwert angezeigt wird.

6.7.3 Etwas auslesen

Lesend kann jederzeit auf das Gerät zugegriffen werden, also auch ohne Fernsteuerung. Außer den zyklisch übertragenen Werten könne alle lesbaren Informationen azyklisch, also wenn gebraucht, abgefragt werden.

► So lesen Sie die Istwerte von Spannung und Strom aus

- Finden Sie in der Registerliste das passende Register, hier von Istwert Spannung. Das Register vom Istwert Strom liegt direkt dahinter, daher wird gewählt: Register 507 - Istwert Spannung.
- Ermitteln Sie den Slot und den Index in der entsprechenden Spalte der Registerliste, hier Slot 2 und Index 28.
- Lesen Sie aus der Slot-Konfiguration die E/A-Adresse für Slot 2 ab, um den Parameter „ID“ zu erhalten, z. B. 260 (aus den Beispielen in 6.3 und 6.4) bzw. DW#16#104.
- Der aus der Registerliste entnommene Wert „Index“ geht in den Parameter INDEX über:
Profibus: INDEX = Index = 28
Profinet: INDEX = Slotnummer * 255 + 1 + Index = 510 + 1 + 28 = 539
- Lesen Sie aus der Spalte „Datenlänge in Bytes“ wieviele Datenbytes zu dem Register/Befehl gehören, um diese Anzahl auszulesen. In diesem Beispiel werden zwei Register à 2 Bytes gelesen, also insgesamt 4 Bytes.
- Nehmen Sie einen geeigneten Baustein in Ihrer Automatisierungssoftware, zum Beispiel SFB52.
- Geben Sie ID, Index und Länge der zu lesenden Daten (4 Bytes oder 2 Words, abhängig davon, wie die Software den Eingang definiert) in dem Baustein an.
- Führen Sie den Baustein aus. Im Datenpuffer des Bausteins sollten 4 Bytes erscheinen.

Die ausgelesenen 4 Bytes enthalten dann in den ersten 2 Bytes den Spannungswert als Prozentwert (Umrechnung siehe „4.4. Umrechnung der Soll- und Istwerte“) und in den letzten 2 Bytes den Stromwert. Die Register können durch Variieren der Datenlänge auf 6 auch den Leistungswert mit enthalten oder wahlweise einzeln ausgelesen werden. Dann müßte der Parameter INDEX angepaßt werden und die Datenlänge wäre immer 2.

6.8 Interpretation von Eingangsdaten

Die vom Gerät auf Anfrage oder ohne Anfrage zurückgegebenen Daten, allen voran die zyklischen, müssen für die Weiterverwendung interpretiert werden. Hier wird das anhand eines Profibus Master-Simulator-Fensters beispielhaft erläutert. Siehe auch „4.4. Umrechnung der Soll- und Istwerte“.

Eingangsdaten				
76543210				
1:	00	00000000	.	0
2:	00	00000000	.	0
3:	04	00000100	.	4
4:	C0	11000000	.	192
5:	26	00100110	.	38
6:	3A	00111010	:	58
7:	0C	00001100	.	12
8:	9B	10011011	.	155
9:	09	00001001	.	9
10:	25	00100101	%	37
11:	00	00000000	.	0
12:	00	00000000	.	0
13:	00	00000000	.	0
14:	00	00000000	.	0
15:	00	00000000	.	0
16:	00	00000000	.	0
17:	00	00000000	.	0
18:	00	00000000	.	0

Das Beispiel links zeigt die Daten von einer Konfiguration mit 8 Slots. Da für zyklischen Transfer (DP-V0) nur die Slots 1-4 benutzt werden, bleibt der Rest leer.

Slot 1: „Device status“, gehört zu Register 505. Der Wert 0x000004C0 gibt an, daß Bits 6, 7 und 10 gesetzt sind. Das bedeutet, das Gerät ist als Master konfiguriert (für Master-Slave), der DC-Eingang/Ausgang ist an und Regelung ist CC.

Slot 2: „Actual voltage“ (Spannungswert), gehört zu Register 507. Bei z. B. einem 250 V-Modell berechnet sich der Wert 0x263A zu $250 \text{ V} * 0x263A / 52428 = 46,7 \text{ V}$.

Slot 3: „Actual current“ (Stromwert), gehört zu Register 508. Bei z. B. einem 510 A-Modell, berechnet sich der Wert 0x0C9B zu $510 \text{ A} * 0x0C9B / 52428 = 31,4 \text{ A}$.

Slot 4: „Actual power“ (Leistungswert), gehört zu Register 509. Bei z. B. einem 5 kW-Modell berechnet sich der Wert 0x0925 zu $5000 \text{ W} * 0x0925 / 52428 = 223 \text{ W}$

Slot 5: nicht genutzt für zyklische Daten

Slot 6: nicht genutzt für zyklische Daten

Slot 7: nicht genutzt für zyklische Daten

Slot 8: nicht genutzt für zyklische Daten



Für Anwender eines PSB 9000 oder PSB 10000 Gerätes: die Istwerte von Strom und Leistung werden im Senke-Betrieb auf der Anzeige des Gerätes negativ dargestellt. Das gibt die Registerdefinition der Istwerte bei Erfassung über analoge und digitale Schnittstellen nicht her. Die Betriebsart, also Quelle- oder Senkebetrieb, wird über Bit 12 im "Device status"-Register 505 signalisiert. Mit Hilfe des Bits können Istwerte nach dem Auslesen und für spätere Weiterverarbeitung negiert werden.

7. CANopen

Die verfügbaren Kommunikationsobjekte (ADIs) sind in einer EDS/XDD-Datei (Electronic Data Sheet) definiert, die für Ihr Gerät mitgeliefert wird bzw. online von der Webseite des Herstellers Ihres Gerätes abgerufen werden kann. Dieses EDS kann in entsprechender Software eingebunden werden. Die EDS-Indexe werden nicht gesondert beschrieben, weil ihre Funktion identisch ist zu den ModBus-Registern in den externen Registerlisten (siehe „4.7. Über die Register-Listen“). Beispiele aus der ModBus-Protokollbeschreibung (siehe „4.8.9. Beispiele für ModBus RTU-Telegramme“) können für CANopen übernommen werden, jedoch reduziert auf den eigentlichen Dateninhalt, weil der Anwender bei CANopen mit Checksummen und Funktionsnummern nicht konfrontiert wird.



Das CANopen-Modul IF-AB-CANO bietet keinen Busabschlußwiderstand. Daher muß die Buserminierung hier am Kabel und durch den Anwender erfolgen.

7.1 Vorbereitung

Was wird für die Kommunikation mit einem Gerät über CANopen-Modul **IF-AB-CANO** benötigt?

1. CAN-Kabel mit gewünschter Länge und fest installiertem bzw. am Kabel schaltbarem Abschlußwiderstand, der eingeschaltet werden muß, wenn sich das Gerät am Ende der CAN-Leitung befindet, wie es z. B. bei einer Direktverbindung zwischen PC und einer elektronischen Last ELR 9000 o. ä. wäre.
2. EDS- oder XDD-Datei (wird mit dem Gerät auf USB-Stick geliefert).
3. CANopen-Software für den PC (nicht mitgeliefert, jede entsprechende sollte nutzbar sein)
4. Anleitung für die Verwendung der CANopen-Indexe. Siehe Abschnitte 1. - 4., 7.2 und 9., sowie die externen Registerlisten-PDFs.

7.2 Anwendung der Benutzerobjekte (Indexe)

Das über CANopen verwendete Datenformat ist an ModBus angelehnt. Ein bestimmter Index ist dabei mit einem bestimmtem ModBus-Register verbunden. Beim CANopen-Modul IF-AB-CANO gibt der Standard vor, Benutzerobjekte ab Index 2001 anzusiedeln. Bei ModBus wird ab Adresse 0 gezählt. Somit sind alle ModBus-Register bei CANopen um den Wert 0x2001 verschoben und daher entspricht Index 2001 der Registeradresse 0 und z. B. Index 21F5 der Registeradresse 500 usw. Die mit dieser Anleitung mitgelieferten Registerlisten (je eine pro Geräteserie) dienen auch bei CANopen als Ausgangsbasis. Dort ist Register 500 bei einem ELR 9000-Gerät dann als „Sollwert Spannung“ definiert und gibt auch das Datenformat und den Wertebereich vor.

Das EDS/XDD enthält weniger Indexe als das Gerät ModBus-Register unterstützt, um eine gewisse Übersicht beizubehalten. Die wichtigsten Funktionen des Gerätes sind jedoch abgedeckt. Der Anwender kann jedoch Indexe einfach hinzufügen.

Die an den Index zu sendenden Daten sind in der Registerliste definiert und in den vorangehenden Abschnitten, die das ModBus-Protokoll erläutern, teils mit Beispielen veranschaulicht, die auch für CANopen nutzbar sind. Weitere Beispiele finden Sie unten.

7.2.1 Umrechnung Index -> Register

Die Umrechnung des Index zu einer Registeradresse ist denkbar einfach durch den festen Offset 0x2001. In dem EDS finden Sie z. B. Index „207A Nominal voltage“. Das berechnet sich zu Register 121:

Indexnummer - Offset = Register --> 207A - 2001 = 79 (hex) = 121 (dez). Laut Registerliste ist das der Spannungsnennwert des Gerätes als Floatwert (4 Bytes). Bei CANopen gibt es den Datentyp FLOAT nicht, daher ist der Index hier als REAL32 definiert. Der Anwender muß dann lediglich nach IEEE 754 umrechnen

7.3 Konkrete Beispiele

7.3.1.1 Fernsteuerung übernehmen

Wie in „4.8.9.5. Fernsteuerung aktivieren oder beenden“ beschrieben, muß nach dem Einschalten des Gerätes und bevor man es fernsteuern kann, zuerst die Fernsteuerung übernommen werden. Dazu muß man zunächst das passende Register in der Registerliste oder den passenden Index im EDS finden. In dem Fall ist es Register 402 bzw. Index 2193. Der zu sendende Datenwert ist in der Registerliste definiert. Laut dieser ist der Wert 0xFF00 zu senden, um die Fernsteuerung zu übernehmen, und 0x0000, um sie wieder zu beenden.

7.3.1.2 Einen Sollwert setzen

Nachdem die Fernsteuerung übernommen wurde, können Sie Sollwerte an das Gerät schicken. Diese repräsentieren einen Prozentwert. Laut Definition der Sollwertregister ist 100% = 0xCCCC und 0% = 0x0000. Es sind also 52429 Werte zwischen 0 und 100% verfügbar. An diesem Punkt sei darauf hingewiesen, daß das nicht der tatsächlichen Auflösung des Gerätes entspricht, die ein Wert am DC-Eingang / DC-Ausgang hat. Die tatsächliche Auflösung liegt bei der Hälfte, also 26214 Werten. Ein Berechnungsbeispiel für Sollwerte finden Sie in „4.8.9.1. Einen Sollwert setzen“.

7.4 Besonderheiten

7.4.1 Bei Verwendung des Arbiträrgenerators

Weil CANopen in einer Nachricht max. 4 Nutzdatenbytes übertragen kann, werden die 8 Parameter eines Sequenzpunktes des Arbiträrgenerators nicht alle auf einmal, sondern getrennt übertragen. Das Gerät prüft zwar jeden einzelnen Wert bei Empfang auf Plausibilität, aber nachdem alle Sequenzdaten ohne Fehler empfangen wurden, müssen sie mit einem **zusätzlichen Befehl (Index 235F) übernommen werden**.

Erst dieser Befehl lädt den Funktionsgenerator und gibt den Start frei. Wird der Befehl nicht gesendet, verwendet der Funktionsgenerator entweder nur Nullwerte oder alte Werte.

Die Schritte zur Konfiguration und zum Laden der Funktionsdaten, wie in Abschnitt 4.10.6.1 beschrieben, sind über CANopen identisch, außer daß ein Schritt 3.1 hinzukommt:

Schritt 1:

Auswahl, ob die Funktion auf die Spannung U (Index 2354) oder den Strom I (Index 2355) angewendet werden soll. Bevor das nicht erfolgt ist, kann das Gerät keine Sequenzpunktdaten annehmen, weil diese in einer Gegenprüfung der Sequenzpunktwerte mit den Nennwerten auf Plausibilität überprüft werden.

Schritt 2:

Startsequenzpunkt (Index 235C), Endsequenzpunkt (Index 235D), sowie Sequenzpunktzyklen (Index 235E) festlegen.

Schritt 3:

Sequenzpunktdaten laden für alle benötigten Sequenzpunkte (Indexe 2385 - 29A5, pro Sequenzpunkt 8 Werte in Subindexen).

Schritt 3.1:

Sequenzdaten übernehmen durch Schreiben von 0xFF00 auf Index 235F (Register 862, für ModBus nicht dokumentiert, weil dort nicht erforderlich).

Schritt 4:

Obergrenze für den Strom (Index 21F6) setzen, falls Funktion auf die Spannung angewendet. Ansonsten Obergrenze für die Spannung (Index 21F5) setzen, falls Funktion auf den Strom angewendet wird. Obergrenze für die Leistung (Index 21F7) für beide Modi setzen.

Schritt 5:

Funktionsgenerator starten bzw. stoppen (Index 2353) bzw. falls nötig noch den DC-Eingang/Ausgang einschalten (Index 2196).

Schritt 6:

Zum Verlassen des Funktionsgenerators die Auswahl U (Index 2354) bzw. I (Index 2355) von Schritt 1 wieder rückgängig machen, durch Schreiben von 0x0000.

7.5 Fehlercodes

Das CANopen-Schnittstellenmodul unterstützt vom CANopen Standard übernommene bzw. an diesen angelehnte Fehlercodes:

Codenummer	Beschreibung
0x06020000	Objekt im Objektverzeichnis (ModBus-Registerliste) nicht vorhanden
0x06040043	Nicht unterstützter Befehl
0x06099911	Sub-Index existiert nicht
0x06010002	Es wurde versucht, ein „nur lesen“ Objekt zu schreiben
0x06010002	Es wurde versucht, ein „nur schreiben“ Objekt zu lesen
0x06070012	Falsche Datenlänge (zu viele Daten)
0x06070013	Falsche Datenlänge (zuwenig Daten)
0x06090030	Wert außerhalb des zulässigen Bereiches
0x08000022	Daten/Status konnte aufgrund des momentanen Zustandes des Gerätes nicht übertragen oder gesetzt werden
0x05040005	Speicherfehler (kein Speicher mehr frei)
0x08000000	Allgemeiner Fehler

8. CAN

Dieser Abschnitt bezieht sich ausschließlich auf die CAN-Kommunikation über die CAN-Schnittstelle IF-AB-CAN. Einstellungen zu dieser Schnittstelle werden am Gerät im Setup-Menü erledigt, sind aber über Fernsteuerung (z. B. USB) konfigurierbar. Siehe dazu auch das Gerätehandbuch.

8.1 Vorbereitung

Was wird für die Kommunikation mit einem Gerät über CAN-Modul **IF-AB-CAN** benötigt?

1. Ein CAN-Kabel mit gewünschter Länge. Ein mechanisch schaltbarer Abschlußwiderstand am Kabel ist nicht erforderlich, da das Schnittstellenmodul einen elektronisch geschalteten hat. Sollte das Kabel jedoch einen haben, muß sichergestellt werden, daß nicht beide Abschlußwiderstände eingeschaltet sind, weil sonst Busfehler auftreten könnten.
2. Bei Verwendung von Vector™- oder anderer Software, die mit sog. DBC-Dateien arbeiten: eine möglichst zum Gerät passende Datenbasis (DBC). Diese wird üblicherweise vom Hersteller des Gerätes angeboten, kann vom Anwender aber auch komplett selbst erstellt werden, z. B. durch Modifikation einer ähnlichen.
3. CAN-Software für den PC (nicht mitgeliefert, jede entsprechende sollte nutzbar sein).
4. Anleitung für die Verwendung der CAN-Objekte. Siehe unten und auch Abschnitte 1. - 4., sowie die mitgelieferten Registerliste(n).

8.2 Einführung

Das verwendete Datenformat ist an das weiter vorn in diesem Dokument beschriebene ModBus RTU angelehnt. Bezogen auf eine Datenbasis (DBC) stellt ein **Mux-Wert** ein bestimmtes **ModBus-Register** oder **Objekt** dar. Befehle werden in der Datenbasis also über den Mux-Wert ausgewählt. Bei direkter Programmierung einer CAN-Nachricht im Buffer (CAPL o. ä.) definieren die ersten beiden Daten-Bytes das Register (Objekt, Befehl), auf das zugegriffen werden soll. Durch die Wahl der CAN-ID wird zwischen Lesen und Schreiben selektiert.

Das Gerät bietet aus diesem Grund immer drei CAN-IDs zur Verwendung, die mit der sog. Basis-ID am Gerät definiert werden. Die Basis-ID (engl. base ID) wird zum Schreiben (Botschaft **Send_Object**) benutzt, die Basis-ID + 1 zum Lesen (Botschaft **Query_Object**), d. h. zur Abfragen von Objekten, und Basis-ID + 2 wird vom Gerät verwendet, Antworten (Botschaft **Read_Object**) zu senden. Antworten kommen auf Anfragen, aber auch ungefragt bei Kommunikations- oder Zugriffsfehlern. Mit Einstellung der Basis-ID verschieben sich die anderen beiden automatisch mit.

Es gibt weiterhin eine pro Gerät separat einstellbare Broadcast-ID die, wenn bei mehreren Geräten auf denselben Wert gestellt, dazu dienen kann, auf diese Geräte gleichzeitig etwas zu schreiben (Send-Object). Anfragen an mehrere Geräte gleichzeitig über einen (Broadcast-)Befehl sind nicht möglich.

Außer der Basis-ID und der Broadcast-ID für azyklischen Zugriff können bei einigen Serien weitere IDs für zyklische Statusdaten eingestellt werden. Das Gerät sendet auf diesen IDs permanent Daten, sofern aktiviert und sobald die CAN-Verbindung hergestellt wird. Für die Konfiguration der zyklischen Daten siehe Handbuch des Gerätes, der Abschnitt zu den Kommunikations-Einstellungen im Setup-Menü, sowie auch weiter unten.

8.3 Telegrammaufbau



Nachfolgend bezieht sich der Telegrammaufbau neben der Auswahl zwischen Schreiben, Abfragen und Lesen auch auf die in den Registerlisten angegebene ModBus-Funktion (siehe Spalten 2-6 der Registerlisten).

8.3.1 Normales Schreiben

Schreiben erfolgt immer auf die Basis-ID oder die Broadcast-ID und erfordert in der CAN-Nachricht die Angabe des Objektes (=Startregister), auf das geschrieben werden soll, die Anzahl der zu schreibenden Register und eine bestimmte Anzahl von nachfolgenden Parameter-Bytes, die verschiedene Datentypen repräsentieren können.

Zugriff: Basis-ID, Broadcast-ID

Zugehörige ModBus-Funktionen: Write Single Coil (WSC), Write Single Register (WSR)

Bytes 0+1	Byte 2	Bytes 3+4
Register	Anzahl Register	Datenwort (16 Bit)
0...65534	Immer 1	Zu schreibender Wert

ModBus & SCPI

Zugriff: Basis-ID, Broadcast-ID

Zugehörige ModBus-Funktion: Write Multiple Registers (WMR)

Bytes 0+1	Byte 2	Byte 3	Bytes 4-7
Startreg.	Anzahl Register	Kennung	Datenbytes
0...65534	2...123	0xFF, 0xFE...	Vier Bytes oder zwei 16-Bit-Werte oder ein 32-Bit-Wert

Startregister: immer das in der Registerliste angegebene, auch bei WMR.

Anzahl Register: siehe Registerliste. Wenn ein Objekt auf 40 Bytes Länge definiert ist, dann sind das 20 Register, also würde hier eine 20 eingetragen sein.

Kennung: dient zur Erkennung der Reihenfolge mehrerer zusammenhängender Nachrichten. Ein String wie z. B. der Benutzertext, der bis zu 40 Zeichen lang sein kann, muß zur Übertragung aufgeteilt werden. Jede Nachricht kann bis zu 4 Zeichen eines Strings transportieren. Die Kennung ist absteigend zu zählen. Also erste Nachricht 0xFF, zweite Nachricht 0xFE usw. Nach diesem Schema wird der String im Gerät zusammengesetzt und gespeichert. Die Kennung ist erforderlich, da bei CAN nicht sichergestellt ist, daß Nachrichten in der Reihenfolge am Zielgerät ankommen, wie sie abgeschickt werden.

Datenbytes: Die Anzahl der Datenbytes in einer Nachricht ist immer 4, egal ob alle Bytes Nutzdaten enthalten oder nicht. Beispiel: ein **Benutzertext** von 15 Zeichen Länge benötigt mindestens 4 Nachrichten zur Übertragung. Das Objekt für den Benutzertext definiert 20 Register, also 10 Nachrichten. Da man bei 15 Zeichen weniger Register beschreiben würden, muß man nur den Wert **Anzahl Register** entsprechend anpassen. Es ist nur wichtig, daß die Anzahl der gesendeten Nachrichten zu **Anzahl Register** paßt. In dem Beispiel müßte man also **Anzahl Register** mit 8 festlegen, so daß sich 4 Nachrichten ergeben mit 16 Bytes ergeben (15 Zeichen String + Abschlußzeichen).

8.3.2 Zyklisches Schreiben

Das zyklische Schreiben dient zur zeiteffektiven Übertragung eines **Blocks** von häufig gebrauchten Sollwerten und Status. Dieser Block wird, je nach Serie, an 2 oder 3 CAN IDs gesendet und nur komplett an das Gerät übergeben. Dazu sind separate CAN IDs nötig. Das Intervall, in dem Sollwerte über die normale Basis-ID oder die für's zyklische Senden gesendet werden, definiert der Anwender mit seiner CAN-Software selbst, jedoch gelten auch hier die Timing-Empfehlungen im Abschnitt 3.3.3.



Der Block "Steuerung" (siehe unten) sollte nach den anderen Blocks gesendet werden, besonders wenn noch keine Fernsteuerung aktiviert wurde. Also z. B. zuerst auf "Basis ID Senden +1" die die Sollwerte schreiben, dann weitere auf "Basis ID Senden +2" (nur bei Serien PSB 9000 und PSB 10000 vorhanden) und den dann Status auf "Basis ID Senden". Das übergibt die Daten intern, würde "Fernsteuerung = ein" setzen und somit die Sollwerte ohne Fehler akzeptieren.

Um das zyklische Senden zu nutzen, muß der Anwender lediglich die zugehörige „Basis-ID Senden“ einstellen und kann zwei bzw. drei unterschiedliche Nachrichten im folgenden Format senden:

Zugriff: Basis-ID Zyklisches Senden ("Steuerung")

Bytes 0-1
Steuerwort

Aufteilung des Steuerwortes:

Bit	Name	Zugehöriges Register	Bedeutung
0	Fernsteuerung	402	Aktiviert mit 1 bzw. deaktiviert mit 0 die Fernsteuerung des Gerätes
1	Eingang/Ausgang	405	Schaltet den DC-Eingang/-Ausgang des Gerätes mit 1 ein bzw. mit 0 aus
2	UIP / UIR	409	Schaltet mit 1 Widerstandsregelung (UIR-Modus, wo vorhanden) frei, bei 0 ist dann UIP aktiv
3	Spannungsregler	422	Nur verfügbar bei el. Lasten: Schaltet mit 1 den Spannungsregler auf „schnell“ bzw. mit 0 auf „langsam/normal“
4	Alarme	411	Quittiert mit 1 alle löschbaren Alarme



Dieses Steuerwort ist mit Vorsicht zu behandeln, weil alle 5 Bits gleichzeitig Aktionen auslösen können, die gegeneinander keine Prioritätsregelung haben. Das heißt, würde man versuchen, gleichzeitig die Fernsteuerung zu aktivieren und den DC-Eingang/-Ausgang einzuschalten (Bit 0 und 1 beide logisch 1), kann es passieren, daß man einen Zugriffsfehler zurückgemeldet bekommt, weil das Gerät zufällig Bit 1 vor Bit 0 verarbeitet hat.

ModBus & SCPI

Zugriff: Basis-ID Zyklisches Senden + 1 ("Sollwerte 1")

Bytes 0-1	Bytes 2-3	Bytes 4-5	Bytes 6-7
Register 500	Register 501	Register 502	Register 503
Sollwert Spannung	Sollwert Strom	Sollwert Leistung	Sollwert Widerstand



Bei den Serien PSB 9000 und PSB 10000 gehören diese 4 Sollwerte zum Quelle-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Senden" angezeigt als "Sollwerte [PS]".

Zugriff: Basis-ID Zyklisches Senden + 2 ("Sollwerte 2") (nur Serie PSB 9000)

Bytes 0-1	Bytes 2-3	Bytes 4-5
Register 499	Register 498	Register 504
Sollwert Strom (EL)	Sollwert Leistung (EL)	Sollwert Widerstand (EL)



Bei den Serien PSB 9000 und PSB 10000 gehören diese 3 Sollwerte zum Senke-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Senden" angezeigt als "Sollwerte [EL]".

8.3.3 Abfragen

Das Abfragen eines Objekts ist der erste Teil eines Lese-Vorgangs. Er findet immer über Basis-ID + 1 statt. Das Gerät antwortet dann erwartungsgemäß auf der Basis-ID + 2, auf Read_Object. Damit ist der Lesevorgang abgeschlossen. Zur Abfrage eines Objekts über die Abfrage-ID (Basis-ID + 1) reicht es aus, nur die Startregister-Nummer anzugeben. Das Gerät sollte dann die zum angefragten Register gehörige Anzahl Bytes zurückliefern, allerdings in unterschiedlichen Antwortformaten. Siehe 8.3.4.

Zugriff: Basis ID + 1

Zugehörige ModBus-Funktionen: Read Coils (RC), Read Holding Registers (RHR)

Bytes 0+1
Startreg.
0...65534

8.3.4 Normales Lesen

Die vom Gerät nach einer Anfrage oder in einer Fehlernachricht gesendeten Daten, die sich üblicherweise in einem Puffer befinden bzw. bei Vector durch die Datenbasis automatisch in Signale verteilt werden, bilden eine Antwort. Geteilte Nachrichten müssen nach dem Erhalt noch programmiertechnisch und anhand der Kennung in der richtigen Reihenfolge zusammengesetzt werden. Es ist aber nur in wenigen Fällen erforderlich, weil längere Objekte wie z. B. der Benutzertext nicht ständig geschrieben werden.

Zugriff: Basis ID + 2

Antwort mit einer Nachricht (Anzahl angefragter Register 1-3):

Bytes 0+1	Bytes 2-7
Register	Daten
0...65534	1-3 Register

Antwort mit mehreren Nachrichten (Anzahl angefragter Register >3):

Bytes 0+1	Byte 2	Bytes 3-7
Register	Kennung	Daten
0...65534	0xFF, 0xFE...	5 Bytes

Antwort als Fehlernachricht:

Bytes 0+1	Byte 2
65535	Fehlercode

Die Fehlercodes sind hier identisch mit denen von ModBus. Siehe „4.8.8. Kommunikationsfehler“.

8.3.5 Zyklisches Lesen

Das zyklische Lesen ist eine erweiterte Funktion des Gerätes, durch die es automatisch bestimmte Objekte an bestimmte IDs und in einem bestimmten Intervall senden kann. Das Nachrichtenformat ist hier abweichend vom normalen Lesen.

Um zyklisches Lesen zu aktivieren und zu nutzen, muß der Anwender:

1. die extra Basis-ID Zyklisches Lesen am Gerät einstellen (HMI, CAN-Einstellungen).
2. von den 5 für zyklisches Lesen festgelegten Objekten auswählen, welche er zyklisch empfangen will und diese aktivieren, indem die Zykluszeit ungleich 0 gesetzt wird.
3. die hierüber empfangenen Daten gesondert verarbeiten, da das Format etwas anders ist (siehe unten)

Die Zykluszeiten der einzelnen Objekte sind dabei separat und beliebig einstellbar. Sollten sie sich decken, sendet das Gerät die Nachrichten der einzelnen Objekte direkt aufeinander folgend.



Die kleinste einstellbare Intervallzeit ist 20 ms. Bei geringen CAN-Busgeschwindigkeiten wie z. B. 10-50 kpbs können bei dieser Intervallzeit Busfehler wegen Überbelastung auftreten.

Ist zyklisches Lesen für mindestens eins der zyklischen Objekte aktiviert, sendet das Gerät sofort ab Herstellen einer CAN-Verbindung automatisch und dauerhaft Nachrichten auf die entsprechenden IDs. Das zyklische Senden kann jederzeit am Bedienfeld des Gerätes oder per azyklischem Befehl aus- bzw. eingeschaltet werden.

Dem zyklischen Lesen sind bis zu 6 CAN-IDs zu reservieren. Ab der einstellbaren „Basis-ID Lesen“ (siehe HMI des Gerätes) sind die gesendeten Daten wie folgt definiert:

Zugriff: Basis-ID Lesen ("Status")

Bytes 0-3

Geräte-Status (32 Bit)

Aufteilung des Geräte-Statuswertes:

Bit	Name	Bedeutung	Bit	Name	Bedeutung
31	Fernsteuerung	1 = ein	15	-	
30	Eingang/Ausgang	1 = ein (Soll, Register 405)	14	Alarm OVD	1 = Alarm aktiv
29	Geschw. Spgs.reg	1 = schnell (Register 422)	13	Alarm OVP	1 = Alarm aktiv
28	Betriebsart	0 = UIP, 1 = UIR	12	Alarm PF	1 = Alarm aktiv
27	Alarmer	1 = mind. ein Alarm aktiv	11		
26	Alarm MSS	1 = Alarm aktiv	10		
25	Alarm OCD	1 = Alarm aktiv	9	REM-SB	1 = ein (Register 505, Bit 30)
24	Alarm OCP	1 = Alarm aktiv	8	Alarm UCD	1 = Alarm aktiv
23	Schnittstelle im Eingriff	Register 505, Bits 4-0	7	Alarm UVD	1 = Alarm aktiv
22			6	Fernführung	1 = extern, 0 = intern
21			5	Funktionsgen.	1 = FG aktiv
20			4	MS-Typ	1 = Master, 0 = Slave
19			3	Eingang/Ausgang	1 = ein (Register 505, Bit 7)
18	Alarm OPD	1 = Alarm aktiv	2	Reglerzustand	Register 505, Bits 10-9
17	Alarm OPP	1 = Alarm aktiv	1		
16	Alarm OT	1 = Alarm aktiv	0	PSB-Modus	0 = Quelle, 1 = Senke

Zugriff: Basis-ID Lesen + 1 ("Istwerte")

Bytes 0-1	Bytes 2-3	Bytes 4-5
Register 507	Register 508	Register 509
Istwert Spannung	Istwert Strom	Istwert Leistung



Nur PSB 9000 / PSB 10000: die hiermit gelesenen Istwerte enthalten kein Vorzeichen. Zwecks Interpretation eines neg. Vorzeichens für Senke-Betrieb sollte das Bit 0 aus Block "Status" ausgewertet werden.

ModBus & SCPI

Zugriff: Basis-ID Lesen + 2 ("Sollwerte 1")

Bytes 0-1	Bytes 2-3	Bytes 4-5	Bytes 6-7
Register 500	Register 501	Register 502	Register 503
Sollwert Spannung	Sollwert Strom	Sollwert Leistung	Sollwert Widerstand



Bei den Serien PSB 9000 und PSB 10000 gehören diese 4 Sollwerte zum Quelle-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Lesen" aufgelistet als "Sollwerte [PS]".

Zugriff: Basis-ID Lesen + 3 ("Limits 1" bzw. "Limits 1 [PS]")

Bytes 0-1	Bytes 2-3	Bytes 4-5	Bytes 6-7
Register 9002	Register 9003	Register 9000	Register 9001
I-max	I-min	U-max	U-min



Bei den Serien PSB 9000 und PSB 10000 gehören diese Einstellgrenzen nur zum Quelle-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Lesen" aufgelistet als "Limits 1 [PS]".

Zugriff: Basis-ID Lesen + 4 ("Limits 2" bzw. "Limits 2 [PS]")

Bytes 0-1	Bytes 2-3
Register 9004	Register 9006
P-max	R-max

Zugriff: Basis-ID Lesen + 5 ("Sollwerte [EL]") (nur Serien PSB 9000 und PSB 10000)

Bytes 0-1	Bytes 2-3	Bytes 4-5
Register 499	Register 498	Register 504
Sollwert Strom (EL)	Sollwert Leistung (EL)	Sollwert Widerstand (EL)

Zugriff: Basis-ID Lesen + 6 ("Limits [EL]") (nur Serien PSB 9000 und PSB 10000)

Bytes 0-1	Bytes 2-3	Bytes 4-5	Bytes 6-7
Register 9008	Register 9009	Register 9005	Register 9007
I-max	I-min	P-max	R-max



Bei den Serien PSB 9000 und PSB 10000 gehören diese Einstellgrenzen nur zum Senke-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Lesen" aufgelistet als "Limits [EL]".

8.3.6 Beispiele

8.3.6.1 Fernsteuerung übernehmen

Wie in „4.8.9.5. Fernsteuerung aktivieren oder beenden“ beschrieben, muß nach dem Einschalten des Gerätes und bevor man es fernsteuern kann, zuerst die Fernsteuerung übernommen werden. Dazu muß man zunächst das passende Register in der Registerliste finden. In dem Fall ist es Register 402 (hex: 0x192). Der zu sendende Datenwert ist in der Registerliste definiert. Laut Register 402 ist der Wert 0xFF00 zu senden, um die Fernsteuerung zu übernehmen und 0x0000, um sie wieder zu beenden. Angenommen, das Gerät wäre auf Basis-ID 0x20 eingestellt, würde man nach der Beschreibung in 8.3.1 die Daten

0x01	0x92	0x01	0xFF	0x00
Anz.		Anz.		
Register /		Reg.	Bit (Coil)	
Objekt			für TRUE	

an die ID 0x20 schicken müssen. Das Gerät sollte daraufhin, sofern nicht irgendwie verhindert, in Fernsteuerung umschalten. Dieser Status ist auf der Anzeige des Gerätes zusehen oder auch per Objekt auslesbar.

8.3.6.2 Einen Sollwert setzen und gegenlesen

Nachdem die Fernsteuerung übernommen wurde, können Sie Sollwerte an das Gerät schicken. Diese repräsentieren einen Prozentwert. Laut Definition der Register ist 0xCCCC = 100% und 0x0000 = 0%. Es sind als 52429 Werte zwischen 0 und 100% verfügbar. An diesem Punkt sei darauf hingewiesen, daß das nicht der tatsächlichen Auflösung des Gerätes entspricht, die ein Wert am DC-Eingang / DC-Ausgang hat. Die tatsächliche Auflösung liegt bei etwa 26214 Werten. Ein Berechnungsbeispiel für Sollwerte finden Sie in „4.8.9.1. Einen Sollwert setzen“.

Ein Netzgerät PSI 9080-170 3U hat 170 A Nennstrom. Wollte man diesen auf 35 A setzen, ergäbe sich laut der Berechnungsformel in 4.4 ein Prozent-Sollwert von $35 \text{ A} * 52428 / 170 \text{ A} = 10794 = 0x2A2A$. Der Strom wird mit Register/Objekt 501 gesetzt. Angenommen, das Gerät wäre auf **Basis-ID 0x88** eingestellt, würde man nach der Beschreibung in 8.3.1 die Daten

0x01	0xF5	0x01	0x2A	0x2A
Anz.		Anz.		
Register /		Reg.	Sollwert	
Objekt			Strom	

an die ID 0x88 schicken müssen. Sofern das Gerät den Sollwert annimmt, setzt es diesen und man könnte ihn von der Anzeige ablesen bzw. über dasselbe Objekt zurücklesen. Bei derselben Basis-ID des Gerätes würde man demnach die Anfrage

0x01	0xF5
Register /	
Objekt	

an die **ID 0x89** schicken und das Gerät sollte kurze Zeit später auf der **ID 0x8A** mit folgenden Daten antworten:

0x01	0xF5	0x2A	0x2A
Register /		Sollwert	
Objekt		Strom	

Sollte der Wert nicht akzeptiert werden, weil z. B. am Gerät eine obere Einstellgrenze für den Strom (I-max) von 30 A gesetzt wurde, würde das Gerät mit einem Fehler wie in 8.3.4 beschrieben statt der erwarteten Antwort kommen:

0xFF	0xFF	0x03
Fehler-		
code		

Der ModBus Fehlercode 0x3 sagt aus „fehlerhafte Daten“. Heißt, der Wert war falsch, weil höher als die Einstellgrenze.

9. EtherCAT

9.1 Einleitung

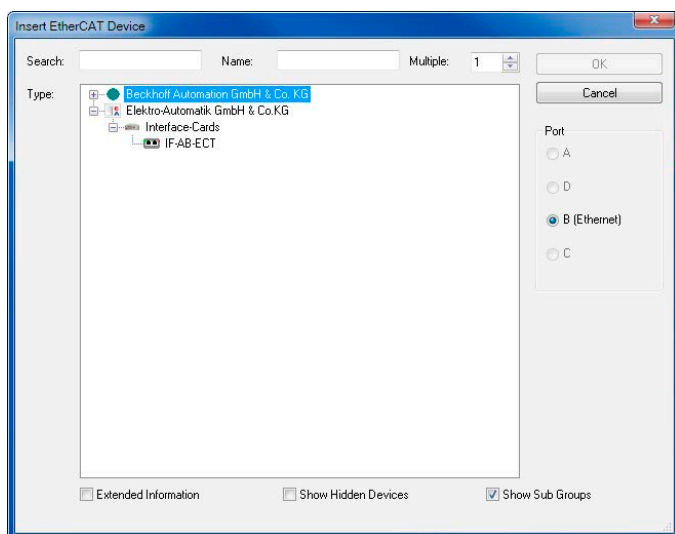
Bestimmte Geräteserien (siehe „2.2. Anybus-Unterstützung“) unterstützen die Anybus-Schnittstellenmodule und ab August 2016 per Firmware-Update auch das EtherCAT-Modul IF-AB-ECT. EtherCAT-Kommunikation basiert hier per Definition auf CANopen, daher „CANopen over Ethernet“ (CoE) genannt. Alle zu EtherCAT und CANopen benötigte Dokumentation und Software wird vom Hersteller Fa. Beckhoff bzw. der CiA-Organisation zur Verfügung gestellt. Nachfolgend wird sich in Hinsicht auf Software auf TwinCAT bezogen.

9.2 Einbindung des Gerätes in TwinCAT

Mit dem Gerät wird auf USB-Stick eine ESI-Datei, eine EtherCAT Gerätebeschreibung (nur auf Englisch verfügbar) im XML-Format mitgeliefert. Alternativ ist diese auf Anfrage erhältlich. Diese Datei wird lediglich im Installationspfad von TwinCAT abgelegt. Der Standard-Pfad ist folgender:

c:\TwinCAT\<twincat_version>\Config\Io\EtherCAT\

Nach der Ablage der Datei und einem Neustart der TwinCAT-Umgebung können unsere EtherCAT-Slaves über den Dialog „**Insert EtherCAT Device**“ durch Auswahl der Gerätebeschreibung "IF-AB-ECT (for standard)" oder "IF-AB-ECT (for bidirectional)" eingebunden werden, falls da Gerät ein bidirektionales aus den Serien PSB 9000 oder PSB 10000 ist.



Nach dem Hinzufügen eines Gerätes können weitere über dieselbe Methode eingebunden werden.

9.3 Datenobjekte

Das im Gerät intern verwendete ModBus-Protokoll wird für die EtherCAT-Datenübertragung in beide Richtungen in CANopen-Nachrichten umgesetzt. Als Referenz für alle zyklischen (PDO) und azyklischen (SDOs) Datenobjekte dienen ModBus-Registerlisten, die auch auf dem mitgelieferten USB-Stick zu finden sind und zusammen mit dieser Anleitung die Programmierdokumentation darstellen. Die azyklischen Datenobjekte werden von TwinCAT automatisch aus dem Gerät geladen (Objektnamen nur auf Englisch verfügbar), sobald es online ist bzw. sobald der Tab „CoE“ in TwinCAT ausgewählt wird. Offline-Objekte in Form eines EDS sind nicht verfügbar.

Danach können die Indexe verwendet werden, um direkt oder programmatisch das Gerät zu steuern.

Es besteht eine direkte Verbindung zwischen den Nummern der ModBus-Register und den bei CANopen verwendeten Indexen. Daher können Indexe in ModBus-Register bzw. umgekehrt umgerechnet werden, um die Referenz zu finden.

- **Umrechnung ModBus-Register ► CANopen-Index**

ModBus-Registernummer in dezimal + 8193 ► Umwandeln in Hexadezimal = Index

Beispiel: Sie möchten das Gerät in Fernsteuerungsmodus versetzen und suchen den Index dazu. Laut Registerliste läßt sich dazu Register 402 verwenden. Berechnung: $402 + 8193 = 8595$ --> in Hex dann 0x2193, also Index 2193.

- **Umrechnung CANopen-Index ► ModBus-Register**

CANopen-Index in hexadezimal - 0x2001 ► Umwandeln in Dezimal = Register

Beispiel: Sie benötigen die Bitaufteilung des PDOs „Status“. Suchen Sie dazu den Index aus der Objektliste heraus, hier 21FA. Berechnung des ModBus-Registers: $0x21FA - 0x2001 = 0x1F9$ --> in Dezimal dann 505. In der Registerliste bei Register 505 finden Sie die Aufteilung dieses 32-Bit-Wertes.

9.3.1 PDO objects

Die Gerätebeschreibung definiert für alle unsere EtherCAT-Slaves die gleichen PDO-Objekte:

Name	EtherCAT-Datentyp	Länge in Bytes	ModBus-Register	Kurzbeschreibung
Status	UDINT	4	505	Gerätestatus
Voltage Monitor	UINT	2	507	Istwert Spannung (Prozentwert)
Current Monitor	UINT	2	508	Istwert Strom (Prozentwert)
Voltage select	UINT	2	500	Sollwert Spannung (Prozentwert)
Current select	UINT	2	501	Sollwert Strom (Prozentwert)
Power select	UINT	2	502	Sollwert Leistung (Prozentwert)
Resistance select	UINT	2	503	Sollwert Widerstand (Prozentwert)

Bidirektionale Geräte aus den Serien PSB 9000 und PSB 10000 haben mehr Sollwerte, daher ist das PDO dort erweitert durch:

Name	EtherCAT-Datentyp	Länge in Bytes	ModBus-Register	Kurzbeschreibung
Current select EL	UINT	2	499	Sollwert Strom (Prozentwert) für Senke-Betrieb
Power select EL	UINT	2	498	Sollwert Leistung (Prozentwert) für Senke-Betrieb
Resistance select EL	UINT	2	504	Sollwert Widerstand (Prozentwert) für Senke-Betrieb

9.3.2 SDOs

Die über EtherCAT unterstützten azyklischen Datenobjekte sind als Indexliste im Gerät gespeichert und können daraus heruntergeladen werden. Dazu muß das Gerät online sein. Es gibt keine separate Dokumentation für diese Objekte. Wie bei CANopen (siehe „7. CANopen“) sind die diversen Registerlisten für die einzelnen Geräteserien die Referenz für Erläuterung der Funktion und des Inhalt eines Datenobjekts, sowie die auf ModBus und zugehörige Beispiele bezogene Abschnitte in diesem Dokument.

9.4 Verwendung der Datenobjekte

Siehe „7.2. Anwendung der Benutzerobjekte (Indexe)“.

A. Anhang

A1. Geräteklassen

Zwecks Unterscheidung von Serien untereinander und auch Varianten innerhalb einer Serie gibt es die Geräteklasse als Nummer. Sie kann aus dem Gerät ausgelesen werden (Register 0 oder SYSTEM:DEVICE:CLASS?) und u. A. zur Erkennung von bestimmten Geräten unter mehreren dienen, die z. B. bei einer Netzwerksuche auffindbar wären.

Klasse	Zugehörige Serie(n)
20	ELR 9000
21	PSI 9000 2U/3U (Modelle ab 2014)
23	PS 5000
24	PS 2000 B Triple
28	PS 9000 2U/3U (Modelle ab 2014)
29	PSI 5000
30	PS 9000 1U
32	ELR 9000 TFT 3W
33	PSI 9000 2U/3U TFT
34	ELR 9000 TFT 3W
35	PSI 9000 2U/3U TFT 3W
38	PS 9000 2U/3U 3W
39	EL 9000 B
41	ELR 5000
42	PSI 9000 DT
43	PSE 9000 3U
44	EL 9000 DT
45	PSI 9000 Slave
46	EL 9000 B Slave
47 / 50	PSI 9000 T
48 / 51	EL 9000 T
49 / 56	PS 9000 T
52	PSI 9000 3U / EL 9000 B 2Q (nur Front-USB)
53	EL 9000 B 2Q
54	EL 9000 B 3W
55	EL 3000 B
58	PS 9000
59	ELR 9000 HP
60	ELR 9000 HP 3W
61	PSB 9000 Slave
62	PSB 9000 Slave (nur Front-USB)
63	PSB 9000 3U 3W
64	PSBE 9000
65	ELR 9000 HP Slave
66	PSB 10000

Erläuterungen:

TFT = Modell/Serie mit TFT-Touchpanel (ältere Serien hatten LCD-Touchpanel)

3W = Modell/Serie mit Option 3W installiert

1U / 2U / 3U = Bauform ist 19" und 1HE bzw. 2HE bzw. 3HE

T = Bauform: Tower

DT = Bauform: Desktop

R = Bauform: Wandgehäuse

2Q = Slave-Einheit für Zwei-Quadranten-Betrieb



Elektro-Automatik

EA Elektro-Automatik GmbH & Co. KG

Entwicklung - Produktion - Vertrieb

Helmholtzstraße 31-37

41747 Viersen

Telefon: 02162 / 37 85-0

Telefax: 02162 / 16 230

E-Mail: ea1974@elektroautomatik.de

Internet: www.elektroautomatik.de