



## Programmieranleitung

# ModBus & SCPI

Für USB, GPIB, Ethernet  
und AnyBus-Module

**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: 24  
Stand: 16.03.2023

## INHALT

<b>1. ALLGEMEINES</b>	<b>5</b>
1.1 Zu diesem Dokument .....	5
1.1.1 Urheberrecht (Copyright) .....	5
1.1.2 Geltungsbereich .....	5
1.2 Symbolerläuterungen .....	6
1.3 Gewährleistung und Garantie .....	6
1.4 Haftungsbeschränkungen .....	6
<b>2. ANYBUS-MODULE</b>	<b>7</b>
2.1 Übersicht .....	7
2.2 Anybus-Unterstützung .....	8
2.3 Bevor Sie beginnen .....	8
2.4 Installation eines Anybus-Moduls .....	9
2.5 Netzwerk in Linientopologie .....	9
2.6 Netzwerkzugriff über HTTP .....	9
2.7 Netzwerkzugriff über TCP .....	9
<b>3. EINFÜHRUNG</b>	<b>10</b>
3.1 Zugriff auf das Gerät .....	10
3.2 Bedienorte .....	10
3.3 Timing und Befehlsausführungszeit .....	10
3.3.1 Ausführungszeiten beim Schreiben .....	11
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
3.10 Besondere Situationen .....	16
3.10.1 Alarm "Power fail" .....	16
<b>4. DAS MODBUS-PROTOKOLL</b>	<b>17</b>
4.1 Allgemeines zu ModBus RTU .....	17
4.2 Allgemeines zu ModBus TCP .....	17
4.3 Format der Sollwerte und Auflösung .....	17
4.4 Umrechnung der Soll- und Istwerte .....	18
4.5 Kommunikation mit dem Gerät über ein AnyBus-Modul .....	18
4.5.1 Ethernet .....	18
4.5.2 Profinet / Profibus .....	18
4.5.3 CANopen .....	18
4.5.4 CAN .....	18
4.5.5 ModBus TCP .....	18
4.5.6 EtherCAT .....	18
4.5.7 RS232 .....	18
4.6 Kommunikation über einen USB-Port (COM) .....	19
4.6.1 USB-Treiberinstallation .....	19
4.6.2 Erste Schritte .....	19
4.7 Über die Register-Listen .....	19
4.7.1 Spalten "ModBus-Adresse" .....	19
4.7.2 Spalten "Funktion" .....	19
4.7.3 Spalte „Datentyp“ .....	20
4.7.4 Spalte „Zugriff“ .....	20
4.7.5 Spalte „Anzahl Register“ .....	20
4.7.6 Spalte „Daten“ .....	20

4.7.7	Spalten „Profibus slot/Profinet subslot“ und "Profinet index"	20
4.7.8	Spalte „EtherCAT PDO/SDO?“	20
4.8	ModBus RTU im Detail	21
4.8.1	Telegrammtypen	21
4.8.2	Funktionen	21
4.8.3	Sendetelegramm (Schreiben)	22
4.8.4	Anfragetelegramm	22
4.8.5	Antworttelegramm (Lesen)	23
4.8.6	Die ModBus-Checksumme	23
4.8.7	Beispiele für ModBus RTU-Telegramme	24
4.9	ModBus TCP im Detail	26
4.9.1	Beispiel für ein ModBus TCP-Telegramm	26
4.10	ModBus-Kommunikationsfehler	27
4.11	Erläuterungen zu bestimmten Registern	28
4.11.1	Register 171	28
4.11.2	Register 411	28
4.11.3	Register 500-503 (Sollwerte)	28
4.11.4	Register 498, 499 und 504 (weitere Sollwerte)	28
4.11.5	Register 505 (1. Zustandsregister)	28
4.11.6	Register 511 (2. Zustandregister)	29
4.11.7	Register 650 - 662 (Konfiguration Master-Slave-Betrieb)	29
4.11.8	Register 850 - 6695 (Funktionsgenerator)	29
4.11.9	Register 850 - 1692 (Sequenzgenerator in ELR 5000)	32
4.11.10	Register 850 - 854 und 900 - 908 (Funktionsgenerator in EL 3000 B)	32
4.11.11	Register 9000 - 9009 (Einstellgrenzen)	33
4.11.12	Register 10007 - 10900	33
4.11.13	Register ab 11000 (MPP-Tracking)	34
4.11.14	Register ab 11500 (Batterietest)	34
4.11.15	Register ab 12000 (PV-Simulation nach DIN EN 50530)	35

## 5. SCPI-PROTOKOLL

37

5.1	Format der Soll- und Istwerte	37
5.2	Syntax	37
5.2.1	Groß-/Kleinschreibung	37
5.2.2	Langform und Kurzform	37
5.2.3	Befehlsverkettung	38
5.2.4	Abschlußzeichen	38
5.2.5	Kommunikationsfehler	38
5.3	Beispiele zum Einstieg	39
5.3.1	Ping bzw. Geräteinformationen abfragen	39
5.3.2	Fernsteuerung aktivieren oder beenden	39
5.4	Befehlsgruppen	40
5.4.1	Standard-IEEE-Befehle	40
5.4.2	Statusregister	41
5.4.3	Sollwertbefehle	45
5.4.4	Meßbefehle	48
5.4.5	Zustandsbefehle	49
5.4.6	Befehle für Schutzfunktionen	51
5.4.7	Befehle für Überwachungsfunktionen	53
5.4.8	Befehle für Einstellgrenzen	54
5.4.9	Befehle für den Master-Slave-Modus	55
5.4.10	Allgemeine Abfragebefehle	56
5.4.11	Befehle zur Konfiguration des Gerätes	58
5.4.12	Befehle zur Fernbedienung des Funktionsgenerators	65
5.4.13	Befehle zur Fernbedienung des Sequenzgenerators (nur ELR 5000)	72
5.4.14	Befehle zur Fernbedienung des MPP-Tracking	74
5.4.15	Befehle für das Alarmmanagement	76
5.4.16	Befehle für Sollwert-Sätze (Recall, nur PSI 5000)	77

5.4.17	Befehle für die erweiterte PV-Simulation.....	79
5.4.18	Befehle für die Batterietest-Funktion.....	85
5.4.19	Spezifische Befehle und Syntax bei Serie PS 2000 B TFT.....	90
5.4.20	Spezifische Befehle bei Serie EL 3000 B.....	92
5.5	Beispielanwendungen.....	94
5.5.1	Master-Slave über SCPI konfigurieren und steuern.....	94
5.5.2	Programmier-Beispiele zum Funktionsgenerator.....	95
5.5.3	Programmier-Beispiele zur PV-Simulation (DIN EN 50530).....	99
5.5.4	Programmier-Beispiele für MPP-Tracking.....	104
5.5.5	Programmierbeispiele zum Rampengenerator der Serie EL 3000 B.....	107
<b>6.</b>	<b>PROFIBUS &amp; PROFINET</b>	<b>108</b>
6.1	Allgemeines.....	108
6.2	Vorbereitung.....	108
6.3	Slot-Konfiguration für Profibus.....	108
6.4	Slot-Konfiguration für Profinet.....	109
6.5	Zyklische Kommunikation über Profibus/Profinet.....	109
6.6	Azyklische Kommunikation über Profibus/Profinet.....	110
6.7	Beispiele für azyklische Kommunikation.....	111
6.7.1	Fernsteuerung aktivieren/deaktivieren.....	111
6.7.2	Einen Sollwert setzen.....	111
6.7.3	Etwas auslesen.....	112
6.8	Interpretation von Eingangsdaten.....	112
<b>7.</b>	<b>CANOPEN</b>	<b>114</b>
7.1	Einschränkungen.....	114
7.2	Vorbereitung (nicht EtherCAT).....	114
7.3	Anwendung der Benutzerobjekte (Indexe).....	114
7.3.1	Umrechnung Index -> Register.....	114
7.4	Konkrete Beispiele.....	115
7.5	Besonderheiten gegenüber ModBus.....	115
7.5.1	Bei Verwendung des Arbiträrgenerators.....	115
7.6	CANopen-spezifische Fehlercodes.....	116
<b>8.</b>	<b>CAN</b>	<b>117</b>
8.1	Vorbereitung.....	117
8.2	Einführung.....	117
8.3	Telegrammtypen.....	117
8.3.1	Normales Schreiben.....	117
8.3.2	Zyklisches Schreiben.....	118
8.3.3	Abfragen.....	119
8.3.4	Normales Lesen.....	119
8.3.5	Zyklisches Lesen.....	120
8.3.6	Kommunikationsfehlercodes.....	122
8.3.7	Beispiele.....	123
<b>9.</b>	<b>ETHERCAT</b>	<b>124</b>
9.1	Einleitung.....	124
9.2	Einschränkungen.....	124
9.3	Einbindung des Gerätes in TwinCAT.....	124
9.4	Datenobjekte.....	124
9.4.1	Unterobjekte im RxPDO.....	125
9.4.2	Unterobjekte im TxPDO.....	125
9.4.3	SDOs.....	126
9.5	Steuerung.....	126
9.5.1	Verwendung der CANopen-Datenobjekte.....	126

<b>A.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>127</b>
-----------	---------------	------------

## 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-Firmwares 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.





*Wenn in der Tabelle unten für Ihr Gerät eine Firmware gelistet wird, die noch nicht freigegeben ist, dann bedeutet das, daß die Ausgabeversion dieses Dokuments nur bedingt gilt und daß die angezeigt Firmware noch in Arbeit ist. Sie können dann auf die vorherige Ausgabe dieser Anleitung zurückgreifen.*

Serie	Firmware ab	Kürzel
EL 3000 B	KE: 2.04	<b>EL3</b>
EL 9000 B 3U - 24U / HP / 2Q	KE: 2.31 (Standard) bzw. KE: 2.12 (GPIB)	<b>ELR9</b>
EL 9000 B Slave	KE: 2.31	<b>ELR9</b>
EL 9000 DT / EL 9000 T	KE: 3.08	<b>DT</b>
ELR/ELM 5000	HMI: 2.03	<b>ELR5</b>
ELR 9000 / ELR 9000 HP	KE: 2.29 (Standard) bzw. KE: 2.14 (GPIB)	<b>ELR9</b>
ELR 10000	KE: 2.06	<b>ELR1</b>
PS 2000 B TFT (nur Modell mit farbiger Anzeige)	HMI: 2.02	<b>PS2</b>
PS 5000	KE: 2.05	<b>PS5</b>
PSI 5000	KE: 3.08	<b>PSI5</b>
PS 9000 1U/2U/3U (Serien ab 2014)	KE: 3.08	<b>PS9</b>
PS 9000 T	KE: 3.08	<b>PST</b>
PS 10000	KE: 3.01	<b>PS1</b>
PSB 9000	KE: 2.31	<b>PSB</b>
PSB 10000 / PSB 10000 Slave	KE: 2.06	<b>PSB1</b>
PSBE 9000	KE: 2.31	<b>PSBE</b>
PSBE 10000	KE: 2.06	<b>PSBE1</b>
PSE 9000	KE: 2.31	<b>PSE</b>
PSI 9000 2U / 3U / WR / SLAVE (Serien ab 2014)	KE: 2.31 (Standard) bzw. KE: 2.14 (GPIB)	<b>PSI9</b>
PSI 9000 15U / 24U	KE: 2.29	<b>PSI9</b>
PSI 9000 DT	KE: 3.08	<b>DT</b>
PSI 9000 T	KE: 3.08	<b>PSIT</b>
PSI 10000	KE: 2.06	<b>PSI1</b>
PS 3000 C	KE: 2.04	<b>PS3</b>
Alle 10000er Serien (PSB, PSBE, PSI, PS, ELR)	KE: 3.02	<b>10K</b>

## 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.
	<i>Allgemeiner Hinweis</i>

## 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






Neben einer oder mehreren eingebauten Schnittstellen wie z. B. USB oder analog können manche Serien um eine zusätzliche, digitale Schnittstelle erweitern. Diese kommt in Modulform, ist nachkauf- und nachrüstbar und wird vom Gerät automatisch erkannt, außer das Gerät und dessen Firmware sind älter als das Modul. Dann kann es zwecks Erkennung und Verwendung der Schnittstelle nötig sein, ein Firmwareupdate auf dem Gerät und/oder dem Anybus-Modul zu installieren.

### 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 spannungsvorsorgt	
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	



# ModBus & SCPI

Modul	Funktion / Anschlüsse	LED-Anzeigen		Abbildung
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	
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	
		MS	Modulstatus: an (grün) = alles OK an (rot) = Primärer Fehler blinkend (rot) = Sekundärer Fehler	
IF-AB-MBUS2P	ModBus TCP, 2x RJ45	LINK	Verbindungsstatus: an (grün) = Verbindung hergestellt blinkend (grün) = Datenverkehr	

## 2.2 Anybus-Unterstützung

Folgende Geräteserien unterstützen die in 2.1 genannten Anybus-Module (Stand: 16.03.2023):

- 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
- alle 10000er Serien



*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 Buserminierung hier am Kabel oder anderweitig erfolgen, z. B. mit einem IXXAT 120Ω D-Sub Stecker.*

## 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 dieses 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“ 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 Geräteserien (z. B. 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 Standardport 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 Sockerverbindung (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 solange „TCP keep-alive“ im Netzwerk aktiv ist. Ab bestimmten Firmwareversionen (siehe Firmwarehistorie des Gerätes) wird auch unterstützt, das Timeout dauerhaft zu deaktivieren.*

## 3. Einführung

### 3.1 Zugriff auf das Gerät

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) oder auch hexadezimalen Bytes (ModBus)
- 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
Nichts oder <b>Fern: Keine</b>	Wird kein Bedienort im Statusfeld angezeigt, ist manuelle Bedienung aktiv und der Zugriff von der analogen bzw. digitalen Schnittstelle ist freigegeben.
<b>Fern: Analog, Fern: USB</b> usw.	Fernsteuerung ist aktiv
<b>Remote</b>	Fernsteuerung ist aktiv (alle Schnittstellen, nur PS 5000 / PSI 5000)
<b>Lokal / Local</b>	Fernsteuerung ist gesperrt, Gerät kann nur manuell bedient werden



*Digitale Fernsteuerung muß grundsätzlich immer mittels eines bestimmten, an das Gerät zu sendenden Befehls aktiviert werden. Sie kann am Gerät nicht aktiviert, sondern nur freigegeben oder gesperrt werden und aktiviert sich auch nicht automatisch bei irgendeinem ersten Befehl.*

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 nur typische Ausführungszeiten genannt werden. Das bedeutet auch, daß die Zeit, bis ein Sollwert, den Sie setzen möchten, am DC-Ausgang/Eingang anliegt, variabel ist.

## 3.3.2 Antwortzeit 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, also 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 sein kann, wenn man den Port immer schließt. Das gilt insbesondere dann, wenn zwischen zwei Schreib-/Lesezyklen viel Zeit vergeht. Bei Ethernet ist die Methode jedoch nachteilig, da zu viele lokale Ports gleichzeitig belegt würden.

Die Werte in der Tabelle unten wurden mit Methode 2 ermittelt.



*Die Antwortzeiten über die diversen Schnittstellen sind von der auf dem Gerät installierten KE-Firmwareversion abhängig und können auch länger sein als unten aufgeführt. Die unten genannten Zeiten gelten für die bzw. ab den in Abschnitt 1.1.2 gelisteten Firmwareversionen.*



*Die unten aufgeführten Antwortzeiten beinhalten die Übertragungszeiten zwischen Gerät und der Steuerungseinheit. Bei Schnittstellen mit variablen Baudraten (CAN, CANopen) gelten die Werte nur für die jeweils höchste Baudrate.*

Geräteserie	Protokoll	Typische Antwortzeiten (außer RS232)		
		USB	Ethernet-basiert	CAN/CANopen Profibus
PS 2000 B TFT	SCPI	<5 ms	-	-
	ModBus	<5 ms	-	-
EL 3000 B EL 9000 B HP & 2Q EL 9000 DT ELR 5000 ELR 9000 ELR 10000 PS 3000 C PS 5000 PS 9000 (alle Serien ab 2014) PSB 9000 / PSBE 9000 PSB 10000 / PSBE 10000 PSE 9000 PSI 5000 PSI 9000 (alle Serien ab 2014) PS 10000 / PSI 10000	SCPI	<5 ms	<5 ms	-
	ModBus <sup>(1)</sup>	<5 ms	<5 ms	<3 ms

(1) Inkludiert davon abgewandelte Formate bei CAN, CANopen, Profinet usw.

## 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. Bei Feldbussen wie EtherCAT oder Profinet ist die Kommunikation zwar getaktet, auch mit geringeren Zeiten als unten angegeben, ist aber unabhängig davon. Es bedeutet somit, daß z. B. bei 1 ms Taktung frühestens alle 5 Takte ein neuer Sollwert oder Anfrage geschickt werden darf.

Geräteserien	Minimalabstand zwischen zwei Telegrammen	Empfohlene Zeit zwischen zwei Telegrammen
PS 2000 B TFT	USB: 5 ms	USB: 10-15 ms
EL 3000 B	USB / CAN / CANopen: 5 ms	USB / CAN / CANopen: 10-15 ms
EL 9000 B HP & 2Q	Ethernet: 5 ms	Ethernet: 10 ms
EL 9000 DT	EtherCAT: 5 ms	EtherCAT: 10 ms
ELR 5000	Profibus / Profinet: 5 ms	Profibus / Profinet: 10 ms
ELR 9000		
ELR 10000		
PS 3000 C		
PS 5000		
PS 9000 (alle Serien ab 2014)		
PSB 9000 / PSBE 9000		
PSB 10000 / PSBE 10000		
PSE 9000		
PSI 5000		
PSI 9000 (alle Serien ab 2014)		
PS 10000 / PSI 10000		

## 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 manchen Serien mit fest installiertem Ethernetport ist das Nachrichtenformat **ModBus TCP** erst ab einer bestimmten Firmwareversion verfügbar. Die Unterstützung 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 grundsätzlich?

Geräteserie	ModBus		SCPI
	RTU	TCP	
EL 3000 B / PS 3000 C	✓	ab Firmware KE 2.04	✓
EL 9000 B / HP / 2Q	✓	✓	✓
EL 9000 DT / T	✓	nicht unterstützt	✓
ELR 5000	✓	nicht unterstützt	✓
ELR 9000 / ELR 9000 HP	✓	✓	✓
PS 2000 B TFT (nur Farbanzeige)	✓	nicht unterstützt	✓
PS 5000	✓	nicht unterstützt	nicht unterstützt
PS 9000 1U	✓	nicht unterstützt	✓
PS 9000 2U / 3U	✓	✓	✓
PSB 9000 / PSBE 9000	✓	✓	✓
PSE 9000	✓	✓	✓
PSI 5000	✓	✓	✓
PSI 9000 2U - 24U	✓	✓	✓
PSI 9000 DT / T	✓	ab Firmware KE 3.05	✓
Alle 10000er Serien	✓	✓	✓

Besonderheit: über USB oder Ethernet die Protokolle **SCPI** und **ModBus** abwechselnd verwendet werden. Das Gerät erkennt das Protokoll automatisch am **ersten gesendeten Byte**, welches bei einer ModBus RTU-Nachricht daher **immer 0x00** oder **0x01** sein muß.

Je nach dem welche Schnittstelle und welches Protokoll man benutzen möchte, ergibt sich ein anderer Teil dieser Anleitung, der 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 Anybus-Modul welche Protokolle unterstützt:

Modultyp	ModBus?	SCPI?	Anderes Protokoll
CAN	nein	nein	ja (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, ModBus RTU (siehe „4. Das ModBus-Protokoll“)	ja (siehe „5. SCPI-Protokoll“)	nein
ProfiNet	nein	nein	Profinet (siehe „6. Profibus & Profinet“)
ModBus TCP	ja, ModBus TCP (siehe „4.5.5. ModBus TCP“)	ja (siehe „5. SCPI-Protokoll“)	ModBus RTU (siehe „4. Das ModBus-Protokoll“)
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 4.11.8 und für SCPI in 5.4.12 näher erläutert. Die für ModBus erläuterte Methode gilt grundsätzlich auch für andere Schnittstellen wie CAN, CANopen, EtherCAT usw.
- Einige Register bzw. SCPI-Befehle dienen zur Konfiguration des Gerätes, wie man sie auch manuell im Gerätemenü (wo vorhanden) vornehmen kann, z. B. um zu festzulegen, 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. 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 setzen.

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

## 3.7 Verbindungs-Timeout

Ethernet-Verbindungen zu Geräten, die einen Ethernetport installiert haben können, 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. Ab einer bestimmten Firmwareversion (siehe Firmwarehistorie) kann das Timeout auch ganz deaktiviert werden.

## 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  $\text{Schrittweite} = \text{Nennwert} \div \text{Auflösung}$ . 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 weiter 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 2000 B TFT	12/32 Bit	4096/26214
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	12 Bit	4096
Alle 10000er Serien	16 Bit	26214

## 3.9 Minimale Steigung bei Rampen (Arbiträrgenerator)

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



*Anwender von Geräten der 10000er Serien bitte lesen:*

*Mit der Freigabe der Firmwares KE 3.02 und DR 1.0.20 für alle 10000er Serien wurde die Erfordernis einer minimalen Steigung für Rampen, wie generiert durch den internen arbiträren Funktionsgenerator, komplett entfernt. Gleichzeitig hebt das auch die bisher max. Zeit von 1379 Sekunden für eine Rampe auf. Das bedeutet, dieser Abschnitt gilt dann nicht mehr für ein Gerät mit mindestens diesen installierten Firmwares.*

*Sollten Sie diese Änderung nutzen wollen, können Sie diese Firmware entweder einfach als Update installieren, sofern das jeweilige Gerät dafür qualifiziert ist (die Update-App in unserer Software regelt das), oder kontaktieren Sie unseren Support für Einzelheiten, wie die Firmwares installiert werden können*

Bei der Programmierung des sog. "arbiträren Funktionsgenerators", 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**.

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, bzw. auch für einen DC-Anteil, aus dem Rampen generiert werden, wodurch auch Dreiecke, Rechtecke oder Trapeze entstehen. „Veränderlich“ bedeutet hierbei, daß der Endwert anders ist als der Startwert.

Ist dieser Unterschied ungleich 0 entsteht eine Steigung nach  $\Delta U/t$  oder  $\Delta I/t$ . **Diese Steigung kann nicht beliebig klein 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 \* Nennwert von U oder I) pro Sekunde.** In Bezug auf die Parameter eines Sequenzpunktes berechnet das Gerät die gesetzte Steigung aus dem Startwert vom DC-Anteil, dem Endwert vom DC-Anteil und der Sequenzzeit und vergleicht dann 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 minimale Steigung errechnet sich als:  $\Delta I/t = 0,000725 * 30 \text{ A} / \text{s} = 21,75 \text{ mA/s}$ . 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 gültig. 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  $\Delta U$  oder  $\Delta I$  ist auch erchenbar:  **$t_{\text{Max}} = \Delta U \text{ oder } \Delta I / \text{min. Steigung}$ .** Für das Beispiel mit 0-20 A erhalten wir demnach eine  $t_{\text{Max}} = 20 \text{ A} / 0,02175 \text{ A/s} = \text{ca. } 919 \text{ Sekunden}$ .



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 elektronische 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.  $10 \text{ h} / 17476 = \text{ca. } 1,15 \text{ s}$  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.

### 3.9.1 Minimale Steigung bei Frequenzen (Arbiträrgenerator)

Beim Funktionsgenerator der 9000er und 10000er Serien, der auch DC-Sinuskurven generieren kann, gibt es noch eine Einschränkung, sollte eine Frequenzänderung zwischen Anfang bis Ende einer generierten Welle stattfinden. Dann muß auch eine minimale Frequenzänderung pro Sekunde ( $\Delta f/s$ ) von 9,3 eingehalten werden, wie auch in den Handbüchern der Serien im Abschnitt zum Arbiträrgenerator vermerkt. Somit kann, nach dem Schreiben bzw. Übernehmen von Arbiträrgenerator-Konfigurationsdaten ein Fehler zurückgegeben werden, was bei ModBus direkt erfolgt, bei SCPI jedoch nur auf Anfrage. Bei SCPI wäre das ein -222.

Wenn man beispielsweise eine Startfrequenz von 1 Hz und eine Endfrequenz von 10 Hz erzielen möchte, ist die Frage: Wieviel Zeit benötigt der Generator bis die Sinuskurve bei 10 Hz ankommt? Diese Zeit wird von der Steuerungssoftware gesondert berechnet. Das Ende der in dieser Zeit generierten Wave muß dabei vom Winkel her nicht zwangsweise dort enden wo sie anfang. Zeitberechnung:

ModBus:  $t (\mu\text{s}) = |\text{Endfrequenz} - \text{Startfrequenz}| / 9,3 \cdot 1000000 \rightarrow \text{weil Zeitwert in } \mu\text{s}$

SCPI:  $t (\text{s}) = |\text{Endfrequenz} - \text{Startfrequenz}| / 9,3 \rightarrow \text{weil Zeitwert in s}$

Für eine Welle von 1 bis 10 Hz ergeben sich also 967741  $\mu\text{s}$  oder 0.9677 s. Stellt man diese Zeit ein und bildet die ganze Well auf einem Oszilloskop ab, dann hat die letzte Sinuswelle eine Periodendauer, die 10 Hz entspricht.

### 3.10 Besondere Situationen

Besondere Situationen in der Fernsteuerung eines oder mehrerer Geräte sind im Allgemeinen Ausnahmesituationen, egal ob unerwartet oder erwartet. Sie erfordern manchmal eine besondere Handhabung.

#### 3.10.1 Alarm "Power fail"

Der Power Fail Alarm (siehe Gerätehandbuch für mehr Einzelheiten) ist einer von mehreren Gerätealarmen, der z. B. durch einen kurzen Spannungseinbruch der AC-Versorgung entstehen kann und welcher den DC-Ausgang/Eingang ausschaltet, zumindest zeitweise. Nach seinem Auftreten muß die steuernde Einheit extra warten, bis sie den DC-Ausgang/Eingang wieder einschalten kann, sofern das Gerät das nicht automatisch selbst machen soll. Leider ist zum Einen die Wartezeit nicht bei jeder Serie gleich und zum Anderen gibt es keine Signalisierung eines Zustandes "nun kann es weitergehen". Diese Wartezeit fängt zudem erst an, wenn der PF-Alarm wieder weg ist, was wiederum periodisch abgefragt werden kann.

Die meisten Serien, wie die 9000er und 10000er, haben eine Einstellung "DC-Ausgang nach PF Alarm" oder ähnlich formuliert. Stell man diese auf "Auto", schaltet sich der DC-Ausgang/Eingang irgendwann nach Weggehen von PF automatisch wieder ein, worauf die Steuerung warten könnte, indem der DC-Status gepollt wird. Sollte das automatische Einschalten aus bestimmten Gründen nicht aktiviert sein, muß die Steuerung das selbst managen. Es erfordert a) den PF-Alarm zu löschen, wenn möglich, und danach b) mindestens zwei weitere Sekunden zu warten, bevor der DC-Ausgang/Eingang wieder eingeschaltet werden kann.

Bei allen 10000er Serien ist mit Stand 05/2022 diese Wartezeit nach PF und vorm Löschen des PF ca. 12 Sekunden lang.

## 4. Das ModBus-Protokoll

**Wichtig, unbedingt lesen! Auch Anwender, die bereits mit unseren Geräten vertraut sind:**



Mit der Freigabe bestimmter Firmwareversionen in 2020 wurde eine wichtige Anpassung eingeführt, die es ermöglicht, daß unsere Geräte die ModBus-Spezifikation dort einhalten wo es bisher nicht geschah. Um kompatibel zu auf der Benutzeroberfläche (PC, SPS) bestehenden Softwares und Steuerungen zu bleiben, kann diese Einhaltung über Register 10013 zwischen Modus "Voll" und "Limitiert" (Standard) umgeschaltet werden. "Limitiert" ist hierbei der Zustand wie in den früheren Firmwares, so daß nach einem Update zunächst keine Probleme auftreten sollten. Unterschiede:

- "Voll" unterstützt die Slave-Adressen 0 und 1 und Antworten auf die Funktion READ COILS haben das korrekte Format
- "Limitiert" unterstützt nur Adresse 0, wie bisher, demnach muß man die Aktivierung von "Voll" an Adresse 0 senden

Allgemeines über Modus "Voll":

- Nach der Umschaltung auf "Voll" werden Schreib-/Lese-Befehle immer mit der Adresse beantwortet mit der sie gesendet wurden, also 0 oder 1
- Der Zustand wird im Gerät als Einstellung gespeichert
- READ COILS wird dann nur noch im korrekten Format beantwortet
- Schreib-/Lese-Befehle an die Adresse 0 werden beantwortet, auch wenn das bei ModBus nicht erwartet wird. Die ModBus-Spezifikation gibt das nur für Kommunikationsstränge mit "Serial line"-Topologie vor, die von unseren Geräten jedoch nicht verwendet wird.

### 4.1 Allgemeines zu ModBus RTU

Eine Nachricht oder Telegramm nach ModBus RTU-Protokoll besteht aus hexadezimalen Bytes, wovon das erste Byte hier **nur 0 oder 1** sein darf, weil unsere Geräte keine einstellbare Adresse unterstützen, weil nicht nötig. Im Modus "Voll" (siehe Hinweis in 4. oben) kann die steuernde Einheit die Adressen 0 oder 1 verwenden. Ist dieser nicht aktiviert, wird nur Adresse 0 zwecks Abwärtskompatibilität zu älteren Firmwares unterstützt, und muß daher bei "Limitiert" benutzt werden. 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 2 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 zu ModBus TCP

Das Übertragungsprotokoll nach ModBus TCP-Spezifikation wird von den Anybus-Schnittstellenmodulen **ModBus TCP 1-Port** und **2-Port** (siehe Abschnitt 2.2), sowie ab einer bestimmten Firmwareversion auch bei den einigen Serien mit fest installierten Ethernetport unterstützt, in beiden Fällen über den dedizierten ModBus TCP-Port **502**.



Der Port 502 ist für ModBus TCP reserviert und daher für "normale" Ethernetmodule gesperrt. Die separaten ModBus-TCP-Module bzw. der eingebaute LAN-Port bestimmter Serien haben dann quasi zwei Sockets, den reservierten 502 und den anderen einstellbaren, dessen Standardwert 5025 ist. Somit ist Port 502 automatisch vorhanden und muß nicht eingestellt werden

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. Die folgenden Abschnitte gelten, was den Kern eines ModBus-Telegramms betrifft, gleichermaßen für ModBus RTU und ModBus TCP. Für weitere Information zu ModBus TCP siehe dann „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 höchste Bit ist als Vorzeichen reserviert). **Die effektive Stellschrittweite bei 0-100 % ist demnach 26214 Schritte** oder geringer. Zu dem Thema siehe auch „3.8. Effektive Auflösung beim Programmieren“.

## 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 <math>(80 * 9300) / 52428 = 14,19</math> 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 = <math>(52428 * 3150) / 3500 = 47185 = 0xB851</math>.</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 ab Abschnitt 4.7.

### 4.5.2 Profinet / Profibus

Mit entsprechender Software für SPS-Systeme und ähnlichen Tools 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 daher 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. Ansonsten bitte weiterlesen ab Abschnitt 4.7.

### 4.5.3 CANopen

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

### 4.5.4 CAN

Bitte weiterlesen ab 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 in diesem Dokument nicht erläutert. Bitte weiterlesen ab Abschnitt 4.7. bzw. auch „4.5.5. ModBus TCP“.

### 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“. Ansonsten bitte weiterlesen ab Abschnitt 4.7.

### 4.5.7 RS232

Das RS232-Modul arbeitet mit variabler Baudrate, aber die restlichen seriellen Einstellungen sind fix:

Datenbits: 8

Stopbits: 1

Parität: keine

Bitte weiterlesen ab Abschnitt 4.7.

## 4.6 Kommunikation über einen USB-Port (COM)

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 Geräte manager oder andere) muß nicht konfiguriert werden, da er von einem sogenannten CDC-Treiber (Communication Device Class). Dieser ist verfügbar für Windows 7 (auch Embedded), 10 und 11, sowie ggf. weitere Betriebssysteme und simuliert der Einfachheit halber einen COM-Port im System, wickelt die Datenübertragung aber so schnell ab, wie es USB 2.0 Port am Gerät es zuläßt. Dabei werden die typischen seriellen Einstellungen ignoriert, was auch bedeutet, daß sie nicht konkret gesetzt werden müssen.

### 4.6.1 USB-Treiberinstallation

Der für den rückseitigen, teils auch frontseitig vorhandenen 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. Für Embedded OS Versionen von Windows sind auf dem USB-Stick INF-Dateien vorhanden.

### 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](http://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 nur...

1. das Gerät per USB verbinden.
2. den USB-Treiber installieren (siehe 4.6.1).
3. ein Terminalprogramm oder ähnliches starten.

## 4.7 Über die Register-Listen

Zusammen mit dieser Programmieranleitung werden sogenannte Register-Listen als PDFs mitgeliefert, die eine Übersicht über die vom Gerät unterstützten Funktionen bei Fernsteuerung über das binäre ModBus-Protokoll bieten. Es gibt meist eine Liste pro Geräteserie, manchmal umfaßt eine Liste 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 auch 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, welche 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 "ModBus-Adresse"

Die hier aufgeführte Zahl ist als Adresse eines ModBus-Registers zu verstehen. Die Adresse wird in ModBus-Nachrichten 1:1 und hexadezimal verwendet.

### 4.7.2 Spalten "Funktion"

Die Köpfe der 5 Spalten 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 den Funktionen "Read Coils (0x01)" und "Write Single Coil (0x05)" verknüpft.

## 4.7.3 Spalte „Datentyp“

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

## 4.7.4 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!*

## 4.7.5 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“.

## 4.7.6 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.

## 4.7.7 Spalten „Profibus slot/Profinet subslot" und "Profinet index“

Diese Spalten sind nur enthalten in Registerlisten für Serien, welche die optionalen Anybus-Schnittstellenmodule unterstützen, hier speziell für Profibus oder Profinet. Sie dienen zur Querverbindung der ModBus-Register zu den bei Profibus bzw. Profinet verwendeten SFBs (Datenbausteine) und deren Eingangs-Parametern „ID“ und „Index“. Bei neueren Softwares wie TIA Portal sollten diese Werte auch Verwendung finden. Mehr dazu in „6. Profibus & Profinet“.

## 4.7.8 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 in dieser Spalte markierten Register werden auch im PDO verwendet, während alle markierte Register grundsätzlich als SDOs adressierbar sind. Geräte, die das EtherCAT-Modul unterstützen, enthalten eine herunterladbare Datenobjektliste. Das PDO sind ist 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 Objekte "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 manchen Serien mit eingebautem Ethernetport zusätzlich unterstützt, aber erst ab einer gewissen Firmwareversion. Mehr dazu im Abschnitt 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 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 mit Stand 16.03.2023 folgende Funktionen aus der ModBus-Spezifikation:

Funktion		Funktionsname		Beschreibung	Verwendungsbeispiel
Hex	Dez	Lang	Kurz		
0x01	1	READ Coils	RC	Läßt nur das Lesen von 1 Coil zu, weil bei unseren Serien die Coils nicht auf fortlaufenden Adressen liegen. Bei älteren Firmwares wurden hier immer 16 Bits, also eigentlich mehrere Coils zurückgegeben, die als 0xFF00 oder 0x0000 jedoch nur ein boolsches TRUE oder FALSE repräsentierten. Siehe dazu auch den Hinweis im Abschnitt 4.	Zustand des Eingangs / Ausgangs abfragen
0x03	3	READ Holding Registers	RHR	Lesen von n aufeinanderfolgenden Registern. Ergibt n*2 Bytes. Das Lesen über die Registergruppe hinweg ist nur möglich, wenn die nächste Gruppe das gleiche Datenformat hat	Gerätebezeichnung auslesen (1-40 Bytes)
0x05	5	WRITE Single Coil	WSC	Schreiben einer Coil (TRUE/FALSE) eines boolschen Registers.	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 U, I und P auf einmal schreiben wollte.	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.*

## 4.8.3 Sendetelegramm (Schreiben)

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 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 „4.8.7. 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
0x01	0x06	0...65535	Zu schreibender Wert	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>

### 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
0x01	0x10	0...65535	0...123	Anzahl*2	Daten	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>

### WRITE Single Coil

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Register	Datenwort	CRC
0x01	0x05	0...65535	0x0000 oder 0xFF00	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>

## 4.8.4 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 lesende 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 werden entweder 1 Byte (= 1 Coil) oder 2 Byte (=16 Coils, falsche Antwortform in früheren Firmwares) zurückgegeben. Für einige Beispiele siehe „4.8.7. 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
0x01	0x03	0...65535	Anzahl zu lesender Register (1...125)	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>

### READ Coils

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

<sup>(1)</sup> Siehe „4.8.6. Die ModBus-Checksumme“



## 4.8.5 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
0x01	0x06	0...65535	Geschriebener Wert	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>

**Erwartete Antwort bei WRITE Single Coil:**

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Startreg.	Daten	CRC
0x01	0x05	0...65535	Geschriebener Wert	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>

**Erwartete Antwort bei WRITE Multiple Registers:**

Byte 0	Byte 1	Bytes 2+3	Bytes 4+5	Bytes 6+7
Kopf	FN	Startreg.	Daten	CRC
0x01	0x10	0...65535	Anzahl geschriebene Register	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>

**Erwartete Antwort bei READ Holding Registers:**

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Bytes 3-252	Letzte 2 Bytes
Kopf	FN	Datenlänge in Bytes	Daten	CRC
0x01	0x03	2...250	Angefragte Register	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>



*Achtung! Beachten Sie die Hinweise im Abschnitt „4. Das ModBus-Protokoll“.*

**Erwartete Antwort bei READ Coils (früheres Format, Einstellung "Limitiert", Standard):**

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Bytes 3+4	Bytes 5+6
Kopf	FN	Datenlänge in Bytes	Daten	CRC
0x01	0x01	2	0xFF00 oder 0x0000	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>

**Erwartete Antwort bei READ Coils (neues Format, Einstellung "Voll"):**

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Bytes 4+5
Kopf	FN	Datenlänge in Bytes	Daten	CRC
0x01	0x01	1	0x00 oder 0x01	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>

**Unerwartete Antwort (Kommunikationsfehler):**

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Letzte 2 Bytes
Kopf	FN		CRC
0x01	0x80 + Funktionscode	Fehlercode	Checksumme ModBus-CRC16 <sup>(1)</sup>



*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. Für die Fehlercodes siehe „4.10. ModBus-Kommunikationsfehler“.*

## 4.8.6 Die ModBus-Checksumme

Die Checksumme am Ende eines ModBus RTU-Telegramms ist eine 16 Bit-Checksumme, aber laut Vorgabe der ModBus-Spezifikation 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](http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf), Abschnitt 2.5.1.2

<sup>(1)</sup> Siehe „4.8.6. Die ModBus-Checksumme“

## 4.8.7 Beispiele für ModBus RTU-Telegramme



Diese Nutzdaten dieser Beispiele sind auch für ModBus TCP verwendbar.

### 4.8.7.1 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:	Kopf	FN	Start	Daten	CRC	► Erwartete Antwort:	Kopf	FN	Start	Daten	CRC
	0x01	0x06	0x01F5	0x6666	0x338E		0x01	0x06	0x01F5	0x6666	0x338E

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 85.00 A.

### 4.8.7.2 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:	Kopf	FN	Start	Daten	CRC	►	Kopf	FN	Länge	Daten	CRC
	0x01	0x03	0x01FB	0x0003	0x75C6		0x01	0x03	0x06	0x2620 0x0C9B 0x091B	0x9350

### 4.8.7.3 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:	Kopf	FN	Start	Anzahl	CRC	► Mögliche Antwort:	Kopf	FN	Länge	Daten	CRC
	0x01	0x03	0x0079	0x0002	0x15D2		0x01	0x03	0x04	0x42A00000	0xEE69

Siehe auch 4.8.5. Die Beispielantwort enthält einen Floatwert im IEEE754-Format, der sich zu 80.0 umrechnet.

### 4.8.7.4 Gerätestatus auslesen

Laut Registerliste liefert ein Gerät ab Adresse 505 einen 32 Bit-Wert mit mehreren Statusbits.

Anfrage- telegramm:	Kopf	FN	Start	Anzahl	CRC	► Mögliche Antwort:	Kopf	FN	Länge	Daten	CRC
	0x01	0x03	0x01F9	0x0002	0x15C6		0x01	0x03	0x04	0x00000483	0xB952

Siehe auch 4.8.5. Die Antwort 0x00000483 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.

## 4.8.7.5 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 des Gerätes bzw. den 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 zu erstellen und zu senden, z. B. 01 05 01 92 FF 00 2C 2B.
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 Einstellung **Fernsteuerung erlauben = Nein** im HMI des Gerätes gesetzt wurde, würde das Gerät mit einem Fehler antworten, z. B. 01 85 17 02 9E (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 zu erstellen und zu senden, z. B. 01 05 01 92 00 00 6D DB.

## 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 bzw. 7 Byte langen MBAP-Header
- Die Checksumme entfällt
- Verwendung nur über den reservierten TCP-Port 502; jeder andere Port funktioniert nicht für ModBus TCP
- Wir nur über TCP übertragen, im Gegensatz zu ModBus RTU, das über diverse Übertragungswege geht

Per Definition ist ein Modus-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.
6	Identifikator (UID)	Wird vom ModBus TCP Slave immer auf 0 gesetzt. Das Gerät über einen Gateway auf diese Art zu adressieren, z. B. Ethernet auf USB, ist nicht möglich.

### 4.9.1 Beispiel für ein ModBus TCP-Telegramm

Das Beispiel für READ Holding Registers aus „4.8.7.3. Nennspannung auslesen“, erweitert um den MBAP-Header mit beliebiger Transaktionskennung 0x4711:

Anfragetelegramm:

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

Mögliche Antwort:

MBAP-Header	UID	FN	Länge	Daten
0x4711 0x0000 0x0007	0x00	0x03	0x04	0x43FA0000

Vergleichend mit ModBus RTU wird die typische Checksumme am Ende weggelassen, dafür hat es am Anfang einen 6 Byte langen Kopf. Die Steuereinheit schickt damit eine Anfrage zum Auslesen der Gerätenennspannung. Die Antwort (im Nachrichtenteil „Daten“) enthält einen Floatwert der umgerechnet 500 ergibt, also Nennspannung 500 V.

## 4.10 ModBus-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 Funktionsnummern in den Kommunikationsfehlertelegrammen:

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 ein ModBus-Funktionscode in 2. Byte der Nachricht verwendet, der vom Gerät nicht unterstützt wird. Siehe „4.8.2. 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	Mehrere Ursachen: <ul style="list-style-type: none"><li>• Es wurde versucht, schreibend oder lesend auf eine Adresse zuzugreifen, die für das Gerät nicht definiert wurde. Siehe die separaten ModBus-Register-Listen, welche Register/Adressen für die jeweilige Serie verfügbar sind, zu der das zu steuernde Gerät gehört.</li><li>• Es wurde bei ModBus RTU Slaveadresse 0x01 benutzt, obwohl das Gerät aufgrund älterer Firmware nur 0x00 unterstützt oder der Schalter "Einhaltung der ModBus-Spezifikation" stand auf "Limitiert".</li></ul>
0x03	3 Fehlerhafte Daten oder Datentlänge 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. 0xCCCC 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 oder fehlt. Das kann durch eine falsche Byteihenfolge (High-Byte zuerst statt Low-Byte zuerst) oder durch falsche Berechnung oder durch am Ende fehlende Bytes entstehen, z. B. bei geteilten TCP-Paketen.
0x07	7 Zugriff verweigert	Zugriff auf eine Adresse generell nicht erlaubt, oder nur lesend oder nur schreibend 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, wann welcher Fehlercode zurückkommen kann:** Sie versuchen, das Gerät in Fernsteuerung zu versetzen und bekommen statt des erwarteten Echos eine Antwort wie diese: 01 85 07 03 52. 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.

## 4.11 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. Außerdem haben nicht alle Geräteserien dieselbe Anzahl von Befehlen zur Verfügung, was in der ersten Linie von der Ausstattung abhängig ist. Unten wird bei den einzelnen Beispielen jeweils in Form einer kleinen Tabelle angezeigt, in welcher Geräteserie Sie verfügbar sind:

ELR9	PS9	PSI9	PSI5
✓	—	✓	—

Für die Kürzel in der Kopfzeile 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.

### 4.11.1 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.

### 4.11.2 Register 411

Für SCPI beschrieben in „5.4.15 Befehle für das Alarmmanagement“ auf Seite 76.

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. Nach dem Löschen der Alarmbits kann später nur noch ein allgemeiner Alarmzähler (Register 520 - 524) ausgelesen werden.

### 4.11.3 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 Serien PSI 9000 (ab 2014) und PSI 10000 und der nur dort verfügbaren einfachen PV-Funktion wird der Stromsollwert (Register 501) im PV-Betrieb anders interpretiert und bestimmt dann nicht die maximale Stromgrenze, sondern die bei der Simulation von Solarpaneelen gebräuchlichen Beschattung als einen Stromfaktor. Die Beschattung ist bei manueller Bedienung nur in 1%-Schritten zwischen 0 und 100% einstellbar, in Fernsteuerung ist eine deutlich feinere Auflösung machbar.

### 4.11.4 Register 498, 499 und 504 (weitere Sollwerte)

Mit Stand 03/2020 haben die Serien PSB 9000, PSBE 9000 und PSB 10000 drei weitere Sollwertregister für den sog. Senke-Betrieb. Da sind 498 (Leistung), 499 (Strom) und 504 (Widerstand).

### 4.11.5 Register 505 (1. Zustandsregister)

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“.

#### 4.11.5.1 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.



## 4.11.5.2 Bit 31

Nur vorhanden bei PSB-Geräten signalisiert dieses Bit die aktuelle Betriebsart hinsichtlich Quelle und Senke.

## 4.11.6 Register 511 (2. Zustandregister)

Die Serien PSB 10000, ELR 10000 und PSI 10000 haben ein zweites Statusregister, hauptsächlich weil sie zusätzlich Gerätealarme anzeigen müssen.

## 4.11.7 Register 650 - 662 (Konfiguration Master-Slave-Betrieb)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	✓	—	—	—	✓	—	✓	—	—	✓	✓	✓	✓	✓

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. Mit Register 650 festlegen, ob die Einheit Master oder Slave sein soll.

Weitere Schritte nur am Master-Gerät:

4. MS-System initialisieren mit Register 654.
5. Nur wenn Zwei-Quadranten-Betrieb gefahren werden soll und mehrere el. Lasten ein MS-System bilden:  
Master-Last mit Register 652 als Share-Bus-Slave definieren, ansonsten funktioniert die Quadrantenumschaltung über den Share-Bus nicht.
6. (optional) MS-Initialisierung mit Register 655 überprüfen, ob erfolgreich.
7. (optional) 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. (optional) 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 (9000er Geräte ohne GPIB) bzw. KE 2.04 (9000er Geräte mit GPIB) ist Schritt 8 nicht mehr nötig. Die Nennwerte für Spannung, Strom, Leistung und Widerstand (min, max) des initialisierten MS-Systems können auch im MS-Modus über die Register 121 - 129 ausgelesen werden.*

9. (optional) 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.

## 4.11.8 Register 850 - 6695 (Funktionsgenerator)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	—	—	—	—	—	✓	✓	—	✓

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. Die am HMI direkt verfügbaren Standardfunktionen wie Rechteck, Sinus usw. sind in Fernsteuerung nur indirekt verfügbar, über den arbiträren Funktionsgenerator.

Zu allererst müssen Sie bestimmen, welcher Generator genau verwendet werden soll, **Arbiträr** oder **XY**. Von dieser Auswahl hängen weitere Schritte ab. Andere Funktionen, wie z. B. Batterietest oder MPP-Tracking, sind am HMI zwar zum Funktionsgenerator zugehörig, werden aber rein softwaremäßig umgesetzt.





*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 getrennt von denen an der Bedieneinheit einstellbaren.*

## 4.11.8.1 Vorgehensweise beim 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 Sequenzpunktdaten annehmen, weil diese auf Plausibilität überprüft werden, was mittels Prüfung der Sequenzpunktwerte gegen die Einstellungsgrenzen des Gerätes geschieht.

### Schritt 2:

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

### Schritt 3:

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

### Schritt 3.1:

Nicht immer erforderlich: Submit-Befehl (Register 862) senden. Der Befehl ist bei manchen Schnittstellen, welche die Daten in Stücken senden, immer erforderlich. Z. B. bei CANopen. Dort wird er nur nicht als ModBus-Nachricht geschickt. Bei ModBus ist er nicht erforderlich, wenn die Register 859, 860 sowie 861 vor dem Laden der Sequenzdaten schon festgelegt wurden. Werden diese jedoch danach beschrieben oder, was viel wichtiger ist, irgendwann später neu gesetzt, dann muß 862 beschrieben werden, um die Änderungen zu übernehmen oder man müßte sonst die Daten der benutzten Sequenzpunkte neu schreiben.

### Schritt 4:

Obergrenze für den Strom (Register 501, plus 499 für die PSB-Serien) 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-Serien) für beide Modi setzen.

### Schritt 5:

Funktionsgenerator starten bzw. stoppen (Register 850). Dabei wird der DC-Eingang/Ausgang automatisch mit eingeschaltet, sofern noch aus. Alternativ und falls man die statischen Sollwerte vor dem Start der Funktion anliegen haben wollte, könnte man den DC-Eingang/Ausgang vor dem Start der Funktion einschalten (Register 405). Nach einem Stopp kann der FG auch umkonfiguriert werden, indem z. B. der Start- und/oder Endsequenzpunkt verschoben wird. In diesem Fall muß der Submit-Befehl geschickt werden, siehe Schritt 3.1.

### Schritt 6:

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

## 4.11.8.2 Programmierbeispiel für den 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 zwar 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, den Spannungssollwert 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.

# ModBus & SCPI

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):

Adr.	FN	Start	Daten	CRC
0x01	0x05	0x0353	0xFF00	0x7C6F

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:

Adr.	FN	Start	Regs	Bytes	Daten	CRC	Beschreibung
0x01	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	0x52B8	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:

Adr.	FN	Start	Regs	Bytes	Daten	CRC	Beschreibung
0x01	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	0x627B	Sequenzzeit in µs: 180.000.000 (180 Sekunden = 3 Minuten)

Dann noch den Arbiträrgenerator konfigurieren:

Adr.	FN	Start	Daten	CRC	Beschreibung
0x01	0x06	0x035B	0x0001	0x399D	Register 859, WSR, Startsequenz: 1
0x01	0x06	0x035C	0x0002	0xC85D	Register 860, WSR, Endsequenz: 2
0x01	0x06	0x035D	0x0001	0xD99C	Register 861, WSR, Sequenzzyklen: 1
0x01	0x05	0x035E	0xFF00	0xEDAC	Register 862, WSC, Einstellungen für den FG jetzt übernehmen
0x01	0x06	0x01F5	0xCCCC	0xCD51	Register 501, WSR, globaler Stromsollwert: 100%
0x01	0x06	0x01F6	0xCCCC	0x3D51	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.

# ModBus & SCPI

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.

Adr.	FN	Start	Daten	CRC	Erläuterung
0x01	0x05	0x0352	0xFF00	0x2DAF	Register 850, WSC, Funktionsablauf starten

## 4.11.8.3 Vorgehensweise beim XY-Generator

### Schritt 1:

Moduswahl des XY-Generators über folgende Register:

Modus	Serien PSB 9000 / PSB 10000 / ELR 10000 / PSI 10000	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 wird (Register 405). Bei einer PV-Funktion zusätzlich während des Funktionsablaufs über den Stromsollwert (Register 501) die Beschattung variieren, falls benötigt. Dabei entsprechen 100% Stromsollwert einem Faktor von 1 und 0% einem Faktor von 0. Dieser Faktor wird mit dem Stromwert  $I_{MPP}$  des MPP des simulierten Solarmoduls 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.

## 4.11.9 Register 850 - 1692 (Sequenzgenerator in ELR 5000)

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 Sequenzgenerator selbst konfiguriert und gesteuert.

## 4.11.10 Register 850 - 854 und 900 - 908 (Funktionsgenerator in EL 3000 B)

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.

### 4.11.10.1 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, einem Offset von 1 A und einem Tastverhältnis von 9:1. Es wären zur Konfiguration laut Registerliste folgende Register in der Reihenfolge von oben nach unten zu laden:

# ModBus & SCPI

Register	Name	Verwendung
852	Wähle Modus "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% Puls. 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% Pause. 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	Übernehme neue Werte zur Laufzeit	Die zuvor geschriebenen Daten mit 0xFF00 übernehmen. Sollten noch keine neuen geschrieben worden sein, bleiben die alten gültig.

## 4.11.11 Register 9000 - 9009 (Einstellgrenzen)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

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.

## 4.11.12 Register 10007 - 10900

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓

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.

## 4.11.13 Register ab 11000 (MPP-Tracking)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	✓	—	—	—	—	✓	—	—	✓	✓	—	—	—	—	—	✓	—	✓

Das Feature MPP-Tracking wird nur von bestimmten Serien elektronischer Lasten und auch von den bidirektionalen Netzgeräten der PSB-Serien unterstützt. Mit dieser Funktion simuliert das Gerät als Senke das Verhalten eines Solarwechselrichters, wenn er das typische Suchen (*engl.: tracking*) 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.

### 4.11.13.1 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 Ergebnisdaten 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.

## 4.11.14 Register ab 11500 (Batterietest)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	—	—	—	✓	—	—	✓	✓	—	—	—	—	—	✓	—	✓

Geräteserien, deren Modelle als elektronischen Last arbeiten können wie z. B. EL, ELR oder PSB, und einen eingebauten Funktionsgenerator, bieten eine am Gerät bedienbare Batterietestfunktion. Diese Funktion ist auch per Fernsteuerung konfigurierbar und steuerbar und entweder bereits auf dem Gerät installiert oder kann durch ein Firmware-Update nachgerüstet werden.

Wie auch bei der manuellen Bedienung am HMI gibt es in der Fernsteuerung mehrere Modi und nicht alle Serien bieten dieselben Features, was sich bereits aus der Art des Gerätes ergibt. Parameter werden teils getrennt, teils allgemein vorgegeben, jedoch sind Steuerung sowie Auswertung nach Testende für alle Modi gleich. Die Register sind direkt verknüpft mit den entsprechenden, am HMI einstellbaren Werten. Daher wird empfohlen, zunächst den Abschnitt zum Batterietest im Handbuch des Gerätes zu lesen und dann am Gerät mit den Einstellungen und Abläufen zu "spielen", um diesen Test kennenzulernen.



# ModBus & SCPI

Hier eine Übersicht der involvierten Register:

Register	Verwendung	EL(R)?	PSB?
11535	Aktivierung und Wahl des Batterietest-Modus'	x	x
11500 - 11513	Konfiguration des Batterietest-Modus' "Entladung" mit statischem Strom	x	x
11514 - 11531	Konfiguration des Batterietest-Modus' "Entladung" mit gepulstem Strom	x	x
11545 - 11558	Konfiguration des Batterietest-Modus' "Ladung" mit statischem Strom	-	x
11559 - 11584	Konfiguration des dynamischen Batterietest-Modus' "Ladung/Entladung"	-	x
11532	Steuerung des Testablaufs	x	x
11536 - 11544	Auswertung (Zeit, Ah, Wh)	x	x

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

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	PSB	EL3	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
-	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-

PV-Simulation wird generell nur von Netzgeräte-Serien unterstützt und dabei nur von jenen, die einen sog. XY-Generator haben. Das sind mit Stand 03/2020):

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

Die Variante nach DIN EN 50530 ist eine erweiterte Version der einfachen PV-Simulation und wird von den Geräten ab Firmware KE 2.19/HMI 2.11 (9000er Serien ohne GPIB) bzw. KE 2.05/HMI 2.11 (9000er Serien mit GPIB) und KE 2.25/HMI 2.04 (PSB 9000) 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. Davon Beispiel 2 als Umsetzung für ModBus RTU (prozentuale Sollwerte umgerechnet für ein PSI 9080-170):

### Konfiguration (vor dem Start)

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	01 05 01 92 FF 00 2C 2B	Fernsteuerung aktivieren
2	01 06 2E E1 00 03 90 D5	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus <b>DAYET</b>
3	01 06 2E F0 00 00 80 D1	Technologie wählen: Manuell (alle erforderlichen Technologie-Parameter müssen angegeben werden)
4	01 10 2F 02 00 02 04 3F 4C CC CD F3 11	Füllfaktor Spannung ( $FF_U$ ): 0,8
5	01 10 2F 04 00 02 04 3F 47 AE 14 EA 03	Füllfaktor Strom ( $FF_I$ ): 0,78
6	01 10 2F 06 00 02 04 39 9D 49 52 80 AB	Temperaturkoeffizient $\alpha$ zu $I_{SC}$ : 0,0003 /°C
7	01 10 2F 08 00 02 04 BB 44 9B A6 A5 83	Temperaturkoeffizient $\beta$ zu $U_{OC}$ : -0,003 /°C
8	01 10 2F 0A 00 02 04 3D 94 7A E1 04 89	Korrekturfaktor $C_U$ zu $U_{OC}$ : 0,0725
9	01 10 2F 0C 00 02 04 39 66 AF CD 7B 2D	Korrekturfaktor $C_R$ zu $U_{OC}$ : 0,00022 m²/W
10	01 10 2F 0E 00 02 04 3B 4E 70 3B A3 32	Korrekturfaktor $C_G$ zu $U_{OC}$ : 0,00315 W/m²
11	01 05 2E F1 FF 00 D4 E1	Eingabemodus wählen: <b>ULIK</b>
12	01 06 2F 10 61 47 E9 79	Leerlaufspannung setzen: 38 V (=0x6147)
13	01 06 2F 11 08 6F 96 F7	Kurzschlußstrom setzen: 7 A (=0x086F)
14	01 05 2E F2 FF 00 24 E1	Datenaufzeichnung aktivieren
15	01 05 2E E5 00 00 D5 15	Interpolation der Tagesdaten deaktivieren
16	01 06 01 F4 61 47 A0 66	Globalen Spannungssollwert setzen: $\geq U_{OC}$ (=0x6147)
17	01 06 01 F6 CC CC 3D 51	Globalen Leistungssollwert setzen: 100% (=0xCCCC)

# ModBus & SCPI

## Tagesdaten laden (vor dem Start)

Nr.	Befehl	Beschreibung
18	01 05 2E E6 FF 00 64 E5	Zugriffsmodus Schreiben wählen
19	01 05 2E E7 FF 00 35 25	Alte Daten löschen (sollte vor dem Laden neuer Daten immer ausgeführt werden)
20	01 10 2E EA 00 06 0C 00 00 00 01 44 44 66 66 00 00 03 E8 B5 76	Ersten Tages-Datensatz in Index 1 schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 500 W/m <sup>2</sup> (=0x4444) Temperatur: 20°C (=0x6666) Verweildauer: 1000 ms (=0x000003E8)
	 Die Verweildauer ist zwar auf minimal 500 ms definiert, der Wert für den <u>ersten</u> Tagesdatensatz muß 1000 ms oder höher betragen, sonst könnte der Ablauf fehlschlagen.	
21	01 10 2E EA 00 06 0C 00 00 00 02 6D 3A 74 0D 00 00 05 DC D9 3F	Zweiten Tages-Datensatz in Index 2 schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 800 W/m <sup>2</sup> (=0x6D3A) Temperatur: 28°C (=0x740D) Verweildauer: 1500 ms (=0x000005DC)
...		Weitere Tages-Datensätze schreiben, insgesamt 500
519	01 10 2E EA 00 06 0C 00 00 01 F4 A3 D6 7F FF 00 00 4E 20 09 53	500. Tagesdaten-Satz in Index 500 schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 1200 W/m <sup>2</sup> (=0xA3D6) Temperatur: 35°C (=0x7FFF) Verweildauer: 20000 ms (=0x000034AF)

## Steuerung

Nr.	Befehl	Beschreibung
520	01 05 2E E0 FF 00 84 E4	Simulation starten (Register 12000) -> 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	01 03 2E F4 00 02 8C D1	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	01 10 2E F6 00 02 04 00 00 00 01 68 A0	Index 1 anwählen zum Auslesen
523	01 03 2E F8 00 08 CC D5	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 und ohne phys. Einheit
<NR2>	Zahlenformat mit Dezimalpunkt (Fließkomma), inkludiert NR1, mit oder ohne phys. Einheit
<NR3>	Wie <NR2>, aber plus Größenordnung (unterstützt werden: k/K für Kilo)
<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 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
<Time1>	<NR2>s (Fließkomma-Zeitformat in Sekunden)
<Time2>	<SRD> als HH:MM:SS oder HH:MM:SS.MS (Stunden/Minuten/Sekunden/Millisekunden)
<Time3>	<NR1>s oder <NR1>ms (ganzzahliges Zeitformat in Sekunden oder Millisekunden)
;	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 Groß-/Kleinschreibung

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

#### 5.2.2 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).

## 5.2.3 Befehlsverkettung

Es ist möglich, bis zu fünf (5) Befehle auf einmal an das Gerät zu schicken. Zur Trennung ist 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 durch Semikolons getrennt zurück.



*Der SCPI-Zeichenpuffer im Gerät ist 256 Bytes groß. Sollte der verkettete Antwortstring einer verketteten Anfrage mehr als 256 Zeichen ergeben, so wird keine Antwort gesendet, sondern stattdessen Fehler -225 generiert.*

## 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) sowie bei einer socketbasierten Verbindung über **Ethernet** muß immer ein Abschlußzeichen gesendet werden, ansonsten führt das zu einem Kommunikations-Timeout auf der PC-Seite.

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



*Die Erfordernis eines Abschlußzeichens wurde nachträglich ab einer bestimmten Firmwareversion eingefügt. Es kann also vorkommen, daß wenn ein Gerät mit einem alten Stand aktualisiert wird, eine bereits bestehende Steuerungssoftware zunächst nicht mehr funktioniert, wenn diese das nach dem Update nun erforderliche Abschlußzeichen nicht sendet.*

## 5.2.5 Kommunikationsfehler

Fehlermeldungen im Sinne von SCPI sind normalerweise nur Kommunikationsfehler, können jedoch durch gerätespezifische ergänzt sein. 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 Setup-Menü oder noch nicht im Fernsteuerungsmodus)
-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
-225,"Out of memory"	Es wurde eine verkettete Anfrage gestellt, deren ebenso verkettete Antwort eine Länge von 256 Zeichen (SCPI-Puffer) überschreiten würde, wie z. B. 5x *IDN?
-999,"Safety OVP"	Ausnahmefall (Gerätealarm), da kein Kommunikationsfehler: Safety OVP wurde ausgelöst (nur vorhanden bei den 60 V-Modellen bestimmter Serien), siehe Handbuch der Geräte. Erfordert, die Geräte auszuschalten und neu zu starten.

## 5.3 Beispiele zum Einstieg

### 5.3.1 Ping bzw. Geräteinformationen abfragen

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 dann trotzdem möglich.*



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

Befehle sind der Zuordnung zu Gerätefunktionen nach in Gruppen sortiert. Nicht alle Geräteserien haben die gleiche Anzahl von Befehlen zur Verfügung, was in der ersten 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 in der Kopfzeile 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, Statusbyte (STB) und alle Bits im Event Status Register (ESR), außer Bit 0.

#### 5.4.1.2 \*IDN?

Fragt den Beschreibungsstring des Gerätes ab, 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: `sec_ques`, das zweite Questionable Status Register ist aktiv (ein oder mehrere Ereignisse stehen an)

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: `esr`, Event Status Register ist aktiv (ein oder mehrere Ereignisse stehen an)

Bit 6: Master Summary Status, Sammelmeldung aus dem Service Request Enable Register

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

#### 5.4.1.5 \*ESR?

Liest das Event Status Register. Dieses Register enthält Signale, welche auf die Übertragung und Ausführung von SCPI-Befehle bezogen sind.

#### 5.4.1.6 \*ESE\_<NR1>

Liest mit \*ESE? oder setzt das Event Status Enable Register, das einen Signalfilter für das ESR darstellt. Der maximal setzbaren Wert ergibt sich aus den unterstützten Bits (siehe Registermodell weiter unten).

#### 5.4.1.7 \*SRE\_<NR1>

Liest mit \*SRE? oder setzt das Service Request Enable Register.

## 5.4.2 Statusregister

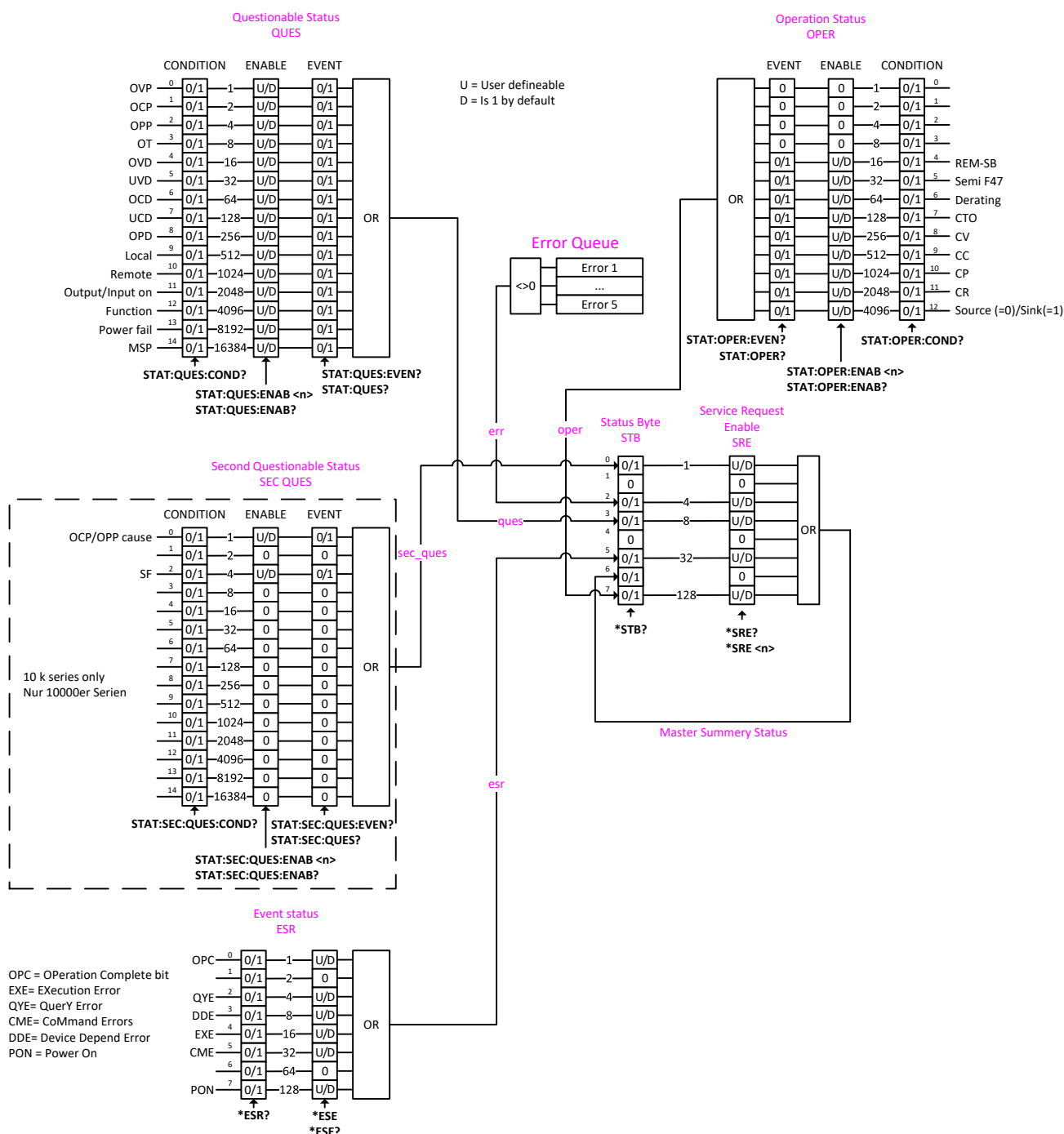
Es gibt nur für bestimmte Gerätezustände einzelne SCPI-Befehle, daher werden die meisten anderen Zustände in den Bits von abrufbaren Statusregistern gesammelt. Diese kann man nach Belieben abfragen, entweder direkt oder indirekt. Indirekt wäre regelmäßig das Statusbyte (STB) zu lesen (Polling), um festzustellen, ob Ereignisse in den verknüpften Registern (siehe Modell unten) erfasst wurden. Der Unterschied beim direkten Auslesen wäre dann der, daß man selbst herausfinden müßte, ob und in welchen Registern sich etwas geändert hat. Dafür genau ist das Statusbyte da.

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-oder Condition-Register auslesen, um zu wissen, welche Bits sich verändert haben. Nachteil beim Lesen des Event-Registers: der Wert ändert sich nur bei positiven Änderungen (0->1). Das bedeutet, daß z. B. das Bit OVP im Condition-Register, nachdem es 1 war, schon wieder auf 0 sein könnte (OVP gelöscht), während das zugehörige Bit im Event-Register noch 1 ist und sich erst ändert, wenn man es erneut liest. Vorteil ist hierbei wiederum, daß man nachträglich noch erkennen kann, daß ein OVP-Alarm aufgetreten war.

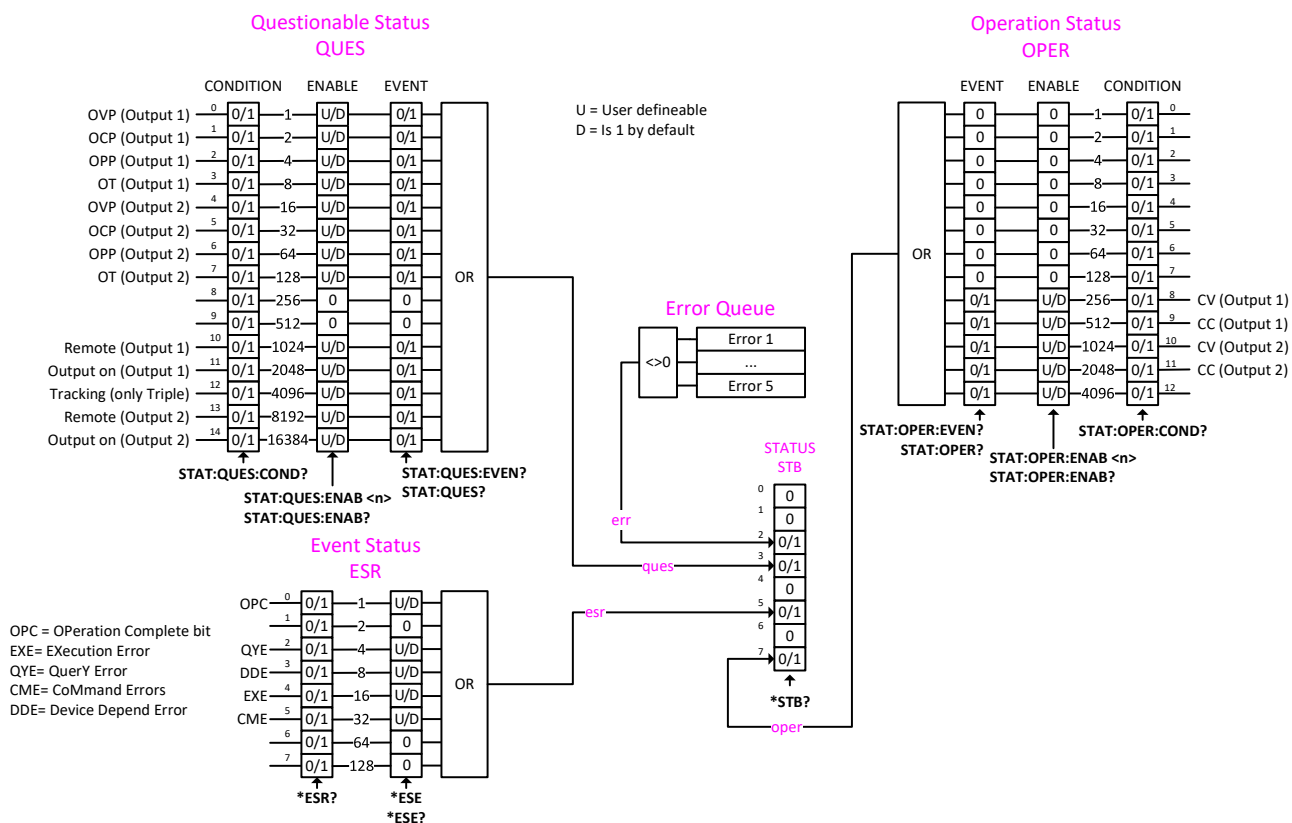


Nach dem Start eines Gerätes sind alle :ENable-Register auf 0 gesetzt

Statusregistermodell (außer Serie PS 2000 B TFT):



Statusregistermodell (nur für Serie PS 2000 B TFT):



Die im CONDition-Register von OPERATION und QUEStionable signalisierten Bits sind mit den Statusbits in den ModBus-Registern 505 bzw. 511 verknüpft. Da die obere der beiden Übersichten für viele Serien gilt und nicht alle jedes Bit unterstützen, gilt die Regel: wenn irgendein Statusbit im Registermodell nicht auch in der jeweils zum Gerät gehörenden ModBus-Registerliste aufgeführt ist, wird es vom Gerät nicht unterstützt.



Gerätealarme wie OVP werden über die Subregister :CONDition und :EVENT erfaßt und müssen nach dem Auslesen von :CONDition noch separat gelöscht werden. Das geschieht durch Abfrage mit SYST:ERR? oder SYST:ERR:ALL?, was als Bestätigung der Kenntnisnahme des Alarms gilt und das jeweilige Bit in :CONDition löscht, sofern der Status nicht immer noch anliegt. 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 (intervallartiges Polling) und STAT:QUES? stets vor einem SYST:ERR? abgefragt werden.



Nur für 60 V-Modelle (in bestimmten Serien verfügbar): 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 (Questionable Status, Bit 13) und Alarm OVP (Questionable Status, 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 abbilden.

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 übrigbleibenden 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 STAT:OPER:EVENT und das STB.

## 5.4.2.5 Weitere Statusregister

Die 10000 Serien 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 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 Werte, 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 Einstellgrenzen!*

### 5.4.3.1 [SOURce:]VOLTage\_<NR2>

Setzt die Eingangs- bzw. Ausgangsspannungsgrenze des Gerätes innerhalb eines minimalen und eines maximalen Einstellwertes bzw. fragt den Wert ab. Hat ein Gerät variable Einstellgrenzen („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 Einstellgrenze („Limits“), wo vorhanden, anderweitig begrenzt.

SOURCE:VOLTAGE\_MIN Setzt die Spannung auf das definierte Minimum, normalerweise 0 V.

### 5.4.3.2 [SOURce:]CURRent\_<NR2>

Setzt die Eingangs- bzw. Ausgangsstromgrenze des Gerätes innerhalb eines minimalen und eines maximalen Einstellwertes bzw. fragt den Wert ab. Bei bidirektionalen Netzgeräten ist der Befehl dem Quelle-Betrieb zugeordnet.

Hat ein Gerät variable Einstellgrenzen („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 Einstellgrenze („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 Einstellgrenze „I-max“, sofern diese für das Gerät existiert (siehe 5.4.8).

### 5.4.3.3 [SOURce:]POWER\_<NR3>



*Nicht verfügbar für Serie PSB 2000 B TFT. Diese hat eine indirekte Leistungsbegrenzung.*

Setzt die Eingangs- bzw. Ausgangsleistungs-Grenze des Gerätes innerhalb eines minimalen und eines maximalen Einstellwertes bzw. fragt den Wert ab. Bei bidirektionalen Netzgeräten ist der Befehl dem Quelle-Betrieb zugeordnet.

Hat ein Gerät variable Einstellgrenzen („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 Einstellgrenze („Limits“), wo vorhanden, anderweitig begrenzt.

SOURCE:POWER\_MIN Setzt die Leistung auf das definierte Minimum, hier 0 W.

## 5.4.3.4 [SOURCE:]RESistance\_<NR2>

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	✓

Setzt bei elektronischen Lasten den Eingangswiderstand in Ohm innerhalb des definierten Minimalwertes des Modells und einem einstellbaren Maximalwert, genannt „Limit“. Bei normalen Netzgeräten bzw. bidirektionalen Netzgeräten im Quelle-Betrieb wird bei aktiviertem „R-Modus“ ein 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 allen 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. Bei bidirektionalen Netzgeräten ist der Befehl dem Quelle-Betrieb zugeordnet.

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\_<NR2>

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Geräten der PSB-Serien 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 eines PSB 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\_<NR3>

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Netzgeräten unterstützt und setzt den Leistungswert für den Senke-Betrieb, der getrennt vom Leistungswert 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 Leistungswert 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 Leistungswert (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\_<NR2>

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Netzgeräten 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 auf das durch die technischen Daten des jeweiligen Gerätemodells definierte Minimum. Die Nennwerte des Gerätes sind mit weiteren Befehlen abfragbar.

## 5.4.4 Meßbefehle

Meßbefehle geben die vom Gerät ermittelten (U, I) bzw. berechneten (P, R) Istwerte zurück, also die tatsächlichen Werte am DC-Ausgang bzw. DC-Eingang des Gerätes. Die Werte werden asynchron ermittelt. Das heißt, die Abfrage löst keinen Meßvorgang aus. Istwerte müssen nicht zwangsweise mit den gewünschten (Soll)Werten identisch sein und geben zu jedem Abfragezeitpunkt den zuletzt ermittelten Zustand am DC-Anschluß des Gerätes wieder. Die Meßwerte werden periodisch erfaßt.

### 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. „43.50V“. 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 und PSBE 9000 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. „100.1A“. 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 und PSBE 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. „2534W“. 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 und PSBE können die zurückgegebenen Istwerte zum Quelle- oder Senkebetrieb gehören. Hat ein Wert ein negatives Vorzeichen, gehört er aktuell zum Senke-Betrieb.*

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. „12.5V, 33.3A, 420W“



## 5.4.5 Zustandsbefehle

Zustandsbefehle verändern den Zustand des Gerätes im Sinne von Fernsteuerung ein/aus oder DC-Ausgang/DC-Eingang ein/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	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	✓	—	—	—	—	✓ <sup>(1)</sup>	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	✓

Schaltet bei Geräten mit einem DC-Eingang, hier: elektronische Lasten, den Eingang ein oder aus bzw. kann der Zustand dessen abgefragt werden.

Abfrageform: INPut?

Wertebereich: ON, OFF

Beispiele:

INP\_ON Absolute Kurzform. Schaltet den DC-Eingang ein, sofern Fernsteuerung aktiv

INPUT? Abfrage des Zustandes des DC-Eingangs, zurückgegeben mit ON oder OFF.

### 5.4.5.3 OUTPut\_<B0>

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	—	✓	✓	✓	✓	✓ <sup>(2)</sup>	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	—

Schaltet bei Geräten mit einem DC-Ausgang (hier: Netzgeräte) und bidirektionalen Geräte, welche auch als Netzgeräte betrachtet werden, den Ausgang ein oder aus bzw. kann dessen Zustand abgefragt werden.

Abfrageform: OUTPut?

Wertebereich: ON, OFF

Beispiele:

OUTP\_ON Absolute Kurzform. Schaltet den DC-Ausgang ein, sofern Fernsteuerung aktiv

OUTPUT? Abfrage des Zustandes des DC-Ausgangs, zurückgegeben mit ON oder OFF.

1) Gilt nur für EL 9000 DT

2) Gilt nur für PSI 9000 DT

## 5.4.5.4 SYSTem:ERRor?

Der Befehl dient zum Auslesen einzelner oder aller Fehler, die sich im SCPI-Fehlerpuffer des Gerätes befinden können. Er kann nur Fehler im Zusammenhang mit der Syntax der SCPI-Befehle bzw. Zugriffsfehler enthalten, jedoch keine Gerätealarme mit Ausnahme des SOVP (siehe auch „5.2.5. Kommunikationsfehler“). Gerätealarme können über Bits in den Statusregistern (OPER, QUES, siehe „5.4.2. Statusregister“) abgefragt werden.

Die Anzahl der Fehler im SCPI-Fehlerpuffer 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]\_<NR2>

Dieser Befehl gehört zum am Gerät einstellbaren Wert „OVP“ (Überspannungsschutz). Er ist einstellbar zwischen 0 und 110% der Maximalspannung des Gerätes, sowie bei allen EL 9000-Serien zwischen 0 und 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 (außer EL 9000 Serien) sind das 110% der Maximalspannung, also der maximale OVP-Wert.

### 5.4.6.2 [SOURce:]CURRent:PROTection[:LEVel]\_<NR2>

Dieser Befehl gehört zum am Gerät einstellbaren Wert „OCP“ (Überstromschutz). Einstellbar zwischen 0 und 110% des Maximalstromes 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, welche 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 identischen Einstellwerten von Sollwert und OCP 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]\_<NR3>

Dieser Befehl gehört zum am Gerät einstellbaren Wert „OPP“ (Überleistungsschutz). Einstellbar zwischen 0 und 110% der Maximalleistung 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 identischen Einstellwerten von Sollwert und OPP 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]\_<NR2>

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Netzgeräten 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 Einstellungsgrenzen. 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]\_<NR3>

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	—

Dieser Befehl wird nur von den bidirektionalen Netzgeräten 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 Einstellungsgrenzen. 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 auf 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	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	✓

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



Bei den Serien PSB und PSBE 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
<b>SYSTem:CONFIg:UVD[?]&lt;NR2&gt;</b> <b>SYSTem:CONFIg:UVD:ACTIon[?]&lt;{NONE   SIGNAl   WARNIng   ALARm}&gt;</b>	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event UVD
<b>SYSTem:CONFIg:UCD[?]&lt;NR2&gt;</b> <b>SYSTem:CONFIg:UCD:ACTIon[?]&lt;{NONE   SIGNAl   WARNIng   ALARm}&gt;</b>	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event UCD
<b>SYSTem:CONFIg:OVD[?]&lt;NR2&gt;</b> <b>SYSTem:CONFIg:OVD:ACTIon[?]&lt;{NONE   SIGNAl   WARNIng   ALARm}&gt;</b>	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event OVD
<b>SYSTem:CONFIg:OCD[?]&lt;NR2&gt;</b> <b>SYSTem:CONFIg:OCD:ACTIon[?]&lt;{NONE   SIGNAl   WARNIng   ALARm}&gt;</b>	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event OCD
<b>SYSTem:CONFIg:OPD[?]&lt;NR3&gt;</b> <b>SYSTem:CONFIg:OPD:ACTIon[?]&lt;{NONE   SIGNAl   WARNIng   ALARm}&gt;</b>	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	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	—	✓	—	—

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

Befehl	Beschreibung
<b>SYSTem:SINK:CONFIg:UCD[?]&lt;NR2&gt;</b> <b>SYSTem:SINK:CONFIg:UCD:ACTIon[?]&lt;{NONE   SIGNAl   WARNIng   ALARm}&gt;</b>	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event „Senke: UCD“
<b>SYSTem:SINK:CONFIg:OCD[?]&lt;NR2&gt;</b> <b>SYSTem:SINK:CONFIg:OCD:ACTIon[?]&lt;{NONE   SIGNAl   WARNIng   ALARm}&gt;</b>	Identisch mit dem am Gerät einstellbaren Event „Senke: OCD“
<b>SYSTem:SINK:CONFIg:OPD[?]&lt;NR3&gt;</b> <b>SYSTem:SINK:CONFIg:OPD:ACTIon[?]&lt;{NONE   SIGNAl   WARNIng   ALARm}&gt;</b>	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 tief eingestellt 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 jeweilige Sollwert aktuell eingestellt ist und umgekehrt genauso gilt das für die obere Grenze.

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

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
<b>[SOURce:]VOLTage:LIMit:LOW[?]&lt;NR2&gt;</b> Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze U-min	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>[SOURce:]VOLTage:LIMit:HIGh[?]&lt;NR2&gt;</b> Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze U-max	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>[SOURce:]CURRent:LIMit:LOW[?]&lt;NRf&gt;[Unit]</b> Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze I-min	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>[SOURce:]CURRent:LIMit:HIGh[?]&lt;NR2&gt;</b> Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze I-max	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>[SOURce:]POWER:LIMit:HIGh[?]&lt;NR3&gt;</b> Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze P-max	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓
<b>[SOURce:]RESistance:LIMit:HIGh[?]&lt;NR2&gt;</b> Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze R-max	✓	✓	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓
<b>SINK:CURRent:LIMit:LOW[?]&lt;NR2&gt;</b> Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze „Quelle: I-min“	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	—
<b>SINK:CURRent:LIMit:HIGh[?]&lt;NR2&gt;</b> Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze „Quelle: I-max“	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	—
<b>SINK:POWER:LIMit:HIGh[?]&lt;NR3&gt;</b> Identisch mit der am Gerät einstellbaren Einstellungsgrenze „Quelle: P-max“	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	—
<b>SINK:RESistance:LIMit:HIGh[?]&lt;NR2&gt;</b> 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	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	–	–	✓	–	✓	–	–	–	–	✓	✓	–	–	✓	✓	✓	✓	✓

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, wie unten aufgelistet. Alternativ kann MS auch komplett am HMI der Geräte konfiguriert werden.

### 5.4.9.1 Konfigurationsbefehle

Befehl	Beschreibung
<b>SYSTem:MS:ENABLe_{ON   OFF}</b>	Aktiviert ( <b>ON</b> ) oder deaktiviert ( <b>OFF</b> ) den MS-Modus
<b>SYSTem:MS:ENABle?</b>	Abfrage, ob der MS-Modus aktiviert ist
<b>SYSTem:MS:LINK_{MASTER   SLAVE}</b> <b>SYSTem:MS:LINK?</b>	Legt die Rolle des Gerätes im MS-System fest oder fragt die momentane ab: <b>MASTER</b> = Gerät ist Master <b>SLAVE</b> = Gerät ist Slave (wird auch zurückgegeben, wenn MS deaktiviert ist)
<b>SYSTem:MS:INITialisation</b>	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
<b>SYSTem:MS:CONDition?</b>	Frägt den Zustand der zuvor erfolgten Initialisierung ab. Zurückgegeben werden kann: <b>INIT</b> = Init war erfolgreich <b>NO INIT</b> = 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 <b>SYST:MS:UNITs?</b> abgefragt werden (siehe unten). Bei Rückgabewert 0 ist das MS-System nicht richtig initialisiert worden.
<b>SYSTem:MS:UNITs?</b>	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> <i>Abhängig von der auf Ihrem Gerät installierten KE-Firmwareversion kann es sein, daß der Befehl den Master als initialisiertes Gerät mitzählt.</i></div>
<b>SYSTem:SHARe:LINK_{SLAVe}</b> <b>SYSTem:SHARe:LINK?</b>	<div> <i>Dieser Befehl ist nur gültig für Geräte der Serien EL 9000 und ELR 9000, die einen Share-Bus haben.</i></div> <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• das Gerät als MASTER für Master-Slave definiert und</li><li>• Master-Slave aktiviert wurde und</li><li>• das Gerät eine elektronische Last ist,</li></ul> <p>ansonsten wird Fehler „Settings conflict“ zurückgegeben.</p>
<b>SYSTem:MS:TERMination_{ON   OFF}</b> <b>SYSTem:MS:TERMination?</b>	Ausnahme: Nur bei den 10000er Serien verfügbar. Dient zur digital geschalteten Aktivierung/Deaktivierung des Busabschlußwiderstandes am Master-Slave-Bus.
<b>SYSTem:MS:BIAS_{ON   OFF}</b> <b>SYSTem:MS:BIAS?</b>	Ausnahme: Nur bei den 10000er Serien verfügbar. Dient zur digital geschalteten Aktivierung/Deaktivierung der zusätzlichen Bias-Widerstände am Master-Slave-Bus. Hinweis: dieser Schalter wird automatisch auf ON gesetzt, wenn das Gerät ein MS-Master ist.

## 5.4.9.2 Andere MS-Befehle

Ab KE-Firmware 2.20 (9000er Serien) werden die Nennwerte eines initialisierten MS-System, inklusive des Gesamtwiderstandes, vom Master über die regulären Abfragebefehle für Gerätenennwerte (siehe 5.4.10) ausgelesen. Die unten gelisteten Befehle werden daher u. U. nicht mehr von Ihrem Gerät unterstützt.

Befehl	Beschreibung
<b>SYSTem:MS:NOMinal:VOLTage?</b>	Abfrage der Gesamtspannung des aktuellen, initialisierten MS-System. Der Wert ist immer gleich der Nennspannung des Einzelgerätes.
<b>SYSTem:MS:NOMinal:CURREnt?</b>	Abfrage des Gesamtstroms des aktuellen, initialisierten MS-System. Der Strom erhöht sich gegenüber dem Einzelgerät nur bei Parallelschaltung.
<b>SYSTem:MS:NOMinal:POWer?</b>	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.

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PS9	PS6	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
<b>SYSTem:NOMinal:VOLTage?</b> Abfrage des Spannungsnennwertes eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>SYSTem:NOMinal:CURREnt?</b> Abfrage des Stromnennwertes eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>SYSTem:NOMinal:POWer?</b> Abfrage des Leistungsnennwertes eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>SYSTem:NOMinal:RESistance:MINimum?</b> Abfrage des minimalen Widerstands eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems. Dieser ist bei elektronischen Lasten normalerweise ungleich Null.	✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓
<b>SYSTem:NOMinal:RESistance:MAXimum?</b> Abfrage des maximalen (Innen-)Widerstandswertes eines einzelnen Gerätes bzw. eines initialisierten Master-Slave-Systems	✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓
<b>SYSTem:DEvice:CLASs?</b> 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.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>DIAGnostic:INformation:DEvice:OTIME?</b> Betriebsstundenzähler. Abfrage der "operation time", der Betriebsdauer des Gerätes. Die Rückgabe erfolgt in Stunden.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓	✓
<b>DIAGnostic:INformation:DEvice:ONTime?</b> Betriebsstundenzähler. Abfrage der globalen "on time", also der Zeit, die der DC-Ausgang/Eingang des Gerätes eingeschaltet war. Die Rückgabe erfolgt in Stunden.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓	✓

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PS19	PS15	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PS11	PSB1	PSBE1	ELR1
<b>DIAGnostic:INFormation:DEvice:OFFTime?</b> Betriebsstundenzähler. Abfrage der globalen "off time", also der Zeit, die der DC-Ausgang/Eingang des Gerätes ausgeschaltet war. Die Rückgabe erfolgt in Stunden.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓	✓
<b>FETCh:AHOur?</b> Betriebsstundenzähler. Abfrage der Amperestunden, die das Gerät während der "on time" abgegeben oder aufgenommen hat, je nach Gerätetyp. Bei bidirektionalen Netzgeräten bezieht sich dieser Wert nur auf die Abgabe von Strom im Quelle-Betrieb. Die Rückgabe erfolgt in Ah.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓	✓
<b>FETCh:WHOur?</b> Betriebsstundenzähler. Abfrage der Wattstunden, die das Gerät während der "on time" abgegeben oder aufgenommen hat, je nach Gerätetyp. Die Rückgabe erfolgt in kWh.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓	✓
<b>FETCh:SINK:AHOur?</b> Betriebsstundenzähler. Nur verfügbar bei bidirektionalen Netzgeräten. Abfrage der Amperestunden, die das Gerät während der "on time" aufgenommen hat. Die Rückgabe erfolgt in Ah.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—
<b>FETCh:SINK:WHOur?</b> Betriebsstundenzähler. Nur verfügbar bei bidirektionalen Netzgeräten. Abfrage der Wattstunden, die das Gerät während der "on time" aufgenommen hat. Die Rückgabe erfolgt in kWh.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—

## 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	PS2	10K
<b>POWER:STAGe:AFter:REMOte_{ AUTO   OFF }</b> <b>POWER:STAGe:AFter:REMOte?</b> Legt fest, wie sich der DC-Eingang bzw. DC-Ausgang des Gerätes nach dem Verlassen der Fernsteuerung verhalten soll. <b>AUTO</b> = Zustand bleibt erhalten <b>OFF</b> = DC-Eingang / DC-Ausgang wird ausgeschaltet (Standard)	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>[SOURce:]VOLTage:CONTRol:SPEed_{FAST   SLOW}</b> <b>[SOURce:]VOLTage:CONTRol:SPEed?</b> Umschaltung der Regelungsgeschwindigkeit des Spannungsreglers auf der Leistungsstufe von elektronischen Lasten bzw. Geräten mit Last-Funktion zwischen schnell (FAST) und langsam (SLOW, Standard).	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	—
<b>SYSTem:CONFIg:CONTRoller:SPEed_{FAST   SLOW   NORMAl}</b> <b>SYSTem:CONFIg:CONTRoller:SPEed?</b> Erweiterung für 10000er Serien: drei Geschwindigkeiten. NORMAL entspricht dem, was die Geräte früher als Standardwert hatten.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓
<b>SYSTem:CONFIg:INPUt:REStore[?]{_}{AUTO   OFF}</b> <b>SYSTem:CONFIg:OUTPUt:REStore[?]{_}{AUTO   OFF}</b> 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. <b>AUTO</b> = DC-Eingang/Ausgang wiederherstellen <b>OFF</b> = DC-Eingang/Ausgang nach dem Einschalten immer aus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTem:CONFIg:USER:TEXT_{SRD}</b> <b>SYSTem:CONFIg:USER:TEXT?</b> Schreibt einen bis zu 40 Zeichen langen Benutzertext in das Gerät, der abfragbar ist und eine benutzerdefinierte, aus ASCII-Zeichen gebildete Kennung darstellen kann, um ein bestimmtes Gerät unter x gleichen Modellen zu identifizieren.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>SYSTem:CONFIg:ANALog:MONitor_{DEFault   EL   PS   ELPS   PSEL   COMBination}</b> <b>SYSTem:CONFIg:ANALog:MONitor?</b> Konfiguriert die Pins 9 (VMON) und 10 (CMON) der analogen Schnittstelle bidirektionaler Geräte. <b>DEFault</b> = Standardverhalten (VMON zeigt Spannungswert, CMON zeigt Stromwert von Quelle- oder Senke-Betrieb) <b>EL</b> = Pin 10 zeigt nur den Stromwert vom Senke-Betrieb <b>PS</b> = Pin 10 zeigt nur den Stromwert vom Quelle-Betrieb <b>ELPS</b> = Pin 9 zeigt Stromwert vom Senke-Betrieb, Pin 10 den vom Quelle-Betrieb <b>PSEL</b> = Umkehrung von ELPS <b>COMBination</b> = Pin 10 zeigt den Strom vom Quelle- und Senke-Betrieb in jeweils dem halben Signalbereich als -100%...0...100%. Mehr siehe Gerätehandbuch.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	✓	—	—	✓ (1)

1) Ausnahme: Befehl nur von den bidirektionalen Serien PSB und PSBE unterstützt

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PS19	PS15	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	10K
<b>SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN6_{OT   PF   ALL}</b> <b>SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN6?</b> Legt fest, welche Alarmer Pin 6 signalisieren soll. <b>OT</b> = Pin 6 signalisiert nur Übertemperatur <b>PF</b> = Pin 6 signalisiert nur Power Fail <b>All</b> = Pin 6 signalisiert beide (Standard)	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN14_{OVP   OCP   OPP   OVP/OCPP   OVP/OPP   OCP/OPP   ALL}</b> <b>SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN14?</b> Legt fest, welche Alarmer Pin 14 signalisieren soll. Möglich ist es, die drei Alarmer <b>OVP</b> , <b>OCP</b> und <b>OPP</b> einzeln oder in Kombination von zweien oder alle auszugeben (logisch ODER).	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN15_{CONT   POW}</b> <b>SYSTem:CONFIg:ANALog:PIN15?</b> Legt fest, welchen Status Pin 15 signalisieren soll. <b>CONT</b> = Regelungsart CV (Standardeinstellung) <b>POW</b> = DC-Anschluß ein/aus	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTem:CONFIg:ANALog:REFeRence_{5   10}</b> <b>SYSTem:CONFIg:ANALog:REFeRence?</b> Wählt den Spannungsbereich für die Analogschnittstelle. Dies ist eine Einstellung, die auf die Fernsteuerung über digitale Schnittstelle keine Auswirkung hat. <b>5</b> = 0...5 V-Bereich <b>10</b> = 0...10 V-Bereich (Standardeinstellung)	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTem:CONFIg:ANALog:REMSB:LEVeL_{NORMal   INVeRted}</b> <b>SYSTem:CONFIg:ANALog:REMSB:LEVeL?</b> Legt fest, wie der Pegel des Eingangs-Pins REM-SB der analogen Schnittstelle (siehe Handbuch des Gerätes) vom Gerät interpretiert werden soll: <b>NORMAL</b> = Pegel und Zustände wie im Handbuch beschrieben (Standard) <b>INVERTED</b> = Pegel und Zustände werden invertiert verarbeitet	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTem:CONFIg:ANALog:REMSB:ACTioN_{OFF   AUTO}</b> <b>SYSTem:CONFIg:ANALog:REMSB:ACTioN?</b> Legt fest, wie sich der Eingangs-Pin REM-SB der analogen Schnittstelle in Bezug auf den DC-Eingang/Ausgang des Gerätes auswirken soll: <b>OFF</b> = der Pin kann den DC-Eingang/Ausgang nur ausschalten <b>AUTO</b> = der Pin kann aus- und wiedereinschalten, wenn der DC-Eingang/Ausgang vorher mindestens einmal per Taste am Bedienfeld oder digitalem Befehl eingeschaltet wurde	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTem:CONFIg:MODE_{UIP   UIR}</b> <b>SYSTem:CONFIg:MODE?</b> Wählt die Betriebsart zwischen U/I/P und U/I/R. Bei Wahl von U/I/R wird die Widerstandseinstellung über Befehl <b>[SOURCE]:RESistance</b> bzw. <b>SINK:RESistance</b> freigegeben. Erkennbar ist der aktivierte U/I/R-Modus am Gerät im Display lediglich am dann angezeigten Widerstandssollwert.	✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	✓	✓	—	—	—	✓ (1)
<b>SYSTem:CONFIg:SEMif47_{DISable   ENable}</b> <b>SYSTem:CONFIg:SEMif47?</b> Aktiviert bzw. deaktiviert eine Funktionalität namens SEMIF47. Dieses ist in Geräten verfügbar, die ab ca. 04/2022 produziert wurden. Für Einzelheiten siehe das aktuelle Gerätehandbuch ab ca. 04/2022.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓

1) Ausnahme: Befehl wird nicht von Serie PS 10000 unterstützt

Befehl	ELR9	ELR5	PS9	PS19	PS15	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	10K
<b>SYSTEM:COMMunicate:PROTOCOL:MODBus_{ENABLE   DISable}</b> <b>SYSTEM:COMMunicate:PROTOCOL:MODBus?</b> 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.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTEM:COMMunicate:TIMEout_{NR1}</b> <b>SYSTEM:COMMunicate:TIMEout?</b> Definiert ein Timeout in Millisekunden (Bereich: 5...65535, Werkseinstellung: 5) das bei der Übertragung einer Nachricht zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bytes einer seriell gesendeten Nachricht (USB, RS232) vergehen darf, bevor die Nachricht als „unvollständig erhalten“ vom Gerät verworfen wird. Für mehr siehe Abschnitt 3.6.	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTEM:COMMunicate:MONitoring:TIMEout_{NR1}</b> <b>SYSTEM:COMMunicate:MONitoring:TIMEout?</b> Definiert ein Timeout in Sekunden (Bereich: 1...36000, Werkseinstellung: 5) für die sogenannte "Schnittstellenüberwachung", auch genannt "connection timeout" (kurz: CTO). Details über diese Funktionalität sind im Handbuch des Gerätes zu finden, zumindest in der neuesten Ausgabe. Sollte in dem Handbuch für Ihr Gerät noch nichts zu finden sein, bitte das einer anderen Serie nehmen.	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTEM:COMMunicate:MONitoring:ACTION_{ON   OFF}</b> <b>SYSTEM:COMMunicate:MONitoring:ACTION?</b> Schaltet die Schnittstellenüberwachung (CTO), an sich ein oder aus. Die Einstellung wird automatisch und dauerhaft gespeichert. Die eigentliche Überwachung und das zugehörige Timeout startet mit dem Herstellen einer Verbindung zum Gerät über eine der digitalen Schnittstellen. Sollte das Timeout ablaufen, wird die beschriebene Reaktion ausgelöst und im Statusregister STAT:OPER das CTO-Bit gesetzt. <b>ON</b> = Aktiviert die CTO <b>OFF</b> = Deaktiviert die CTO (Standardwert nach Rücksetzen)	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTEM:ALARM:ACTION:PFAil_{AUTO   OFF}</b> <b>SYSTEM:ALARM:ACTION:PFAil?</b> 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. <b>AUTO</b> = Zustand wie vor PF wird wiederhergestellt <b>OFF</b> = DC-Eingang / DC-Ausgang bleibt (Standardeinstellung)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
<b>SYSTEM:ALARM:ACTION:OTEMperature_{AUTO   OFF}</b> <b>SYSTEM:ALARM:ACTION:OTEMperature?</b> Legt fest, wie sich der DC-Eingang bzw. DC-Ausgang des Gerätes nach erfolgter Abkühlung nach einem Übertemperaturalarm (OT) verhalten soll. <b>AUTO</b> = Zustand wie vor OT wird wiederhergestellt (Standardeinstellung) <b>OFF</b> = DC-Eingang / DC-Ausgang bleibt ausgeschaltet	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓



## 5.4.11.1 Befehle für Einstellungen zu Anybus-Modulen

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	—	✓	✓	✓	✓	✓

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																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:INTerface:CODe?</b>	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 255 = kein Modul</div></div>																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:INTerface:TYPE?</b>	Gibt die Bezeichnung des Anybus-Schnittstellenmoduls als String zurück, z. B. „Profibus“																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:INTerface:SERial?</b>	Gibt die Sereinnummer des Anybus-Schnittstellenmoduls als String zurück																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:INTerface:ADDRess_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:INTerface:ADDRess?</b>	Legt die Adresse des Gerätes für das Profibusmodul IF-AB-PBUS oder CANopen-Modul IF-AB-CANO fest bzw. fragt diese ab. Zulässiger Adressbereich Profibus: 1...125 Zulässiger Adressbereich CANopen: 1...127																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:ID?</b>	Frägt die Profibus-ID des Herstellers ab.																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:FTAG_&lt;SRD&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:FTAG?</b>	Setzt bzw. fragt den Profibus-/Profinet-spezifischen „Function Tag“ (Funktionskennung) ab, ein String von bis zu 32 Zeichen																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:LTAG_&lt;SRD&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:LTAG?</b>	Setzt bzw. fragt den Profibus-/Profinet-spezifischen „Location Tag“ (Ortskennung) ab, ein String von bis zu 22 Zeichen																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:DATE_&lt;SRD&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:DATE?</b>	Setzt bzw. fragt das Profibus-/Profinet-spezifische „Installation Date“ (Installationsdatum) ab, ein Datums-/Zeitstring von bis zu 40 Zeichen																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:DESCRiption_&lt;SRD&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:DESCRiption?</b>	Setzt bzw. fragt eine Profibus-/Profinet-spezifischen „Description“ (Beschreibung) ab, ein String von bis zu 54 Zeichen																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:NAME_&lt;SRD&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:PROFibus:NAME?</b>	Setzt bzw. fragt den „Station name“ (Beschreibung) ab, ein String von bis zu 200 Zeichen																																												
<b>SYSTem:COMMunicate:INTerface:BAUD_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:INTerface:BAUD?</b>	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
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:BROadcast_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:BROadcast?</b>	Legt die Broadcast-ID für normale CAN-Kommunikation fest. Zulässiger Bereich: <b>0...2047</b> (11 Bit) bzw. <b>0...536870911</b> (29 Bit)
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:DLC_{AUTO   FILL}</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:DLC?</b>	Datenlänge der CAN-Nachricht einer Antwort vom Gerät. <b>AUTO</b> = die Anzahl der Datenbytes variiert je nach Befehl/Register (Standard) <b>FILL</b> = die Anzahl der Datenbytes ist immer 8, ggf. mit Nullen aufgefüllt
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:FORMat_{BASE   EXTended}</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:FORMat?</b>	Wählt das CAN-Adress-Format. <b>BASE</b> = 11 Bit (CAN 2.0A) (Standard nach Zurücksetzen) <b>EXTended</b> = 29 Bit (CAN 2.0B)
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:NODE_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:NODE?</b>	Legt die Basis-ID für die normale CAN-Kommunikation fest. Zulässiger Bereich: <b>0...2047</b> (11 Bit) bzw. <b>0... 536870911</b> (29 Bit)
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:NODE_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:NODE?</b>	Legt die Base-ID für das zyklische Lesen fest. Siehe Abschnitt 8.3.5 für Information darüber, was zyklisches Lesen ist. Zulässiger Bereich: <b>0...2047</b> (11 Bit) bzw. <b>0... 536870911</b> (29 Bit)
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:ACTual_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:ACTual?</b>	Definiert ein Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Istwerte (U, I, P) des Gerätes über eine CAN-Schnittstelle. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: <b>0</b> oder <b>20...5000</b> (0 = zyklisches Lesen deaktiviert)
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:ALIMits_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:ALIMits?</b>	Definiert ein Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Einstellgrenzen (Limits) von U und I (bei Serien PSB/PSBE: Strom für den Quelle-Betrieb) des Gerätes über eine CAN-Schnittstelle. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: <b>0</b> oder <b>20...5000</b> (0 = zyklisches Lesen deaktiviert)
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:BLIMits_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:BLIMits?</b>	Definiert ein Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Einstellgrenzen (Limits) von Leistung (P) und Widerstand (R) (bei Serien PSB/PSBE: P und R für den Quelle-Betrieb) des Gerätes über eine CAN-Schnittstelle. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: <b>0</b> oder <b>20...5000</b> (0 = zyklisches Lesen deaktiviert)
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:CLIMits_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:CLIMits?</b>	<b>Nur für die Serien PSB und PSBE:</b> Definiert das Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Einstellgrenzen (Limits) von I, P und R (Senke-Betrieb) über eine CAN-Schnittstelle. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: <b>0</b> oder <b>20...5000</b> (0 = zyklisches Lesen deaktiviert)
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:SETs_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:SETs?</b>	Definiert das Intervall (in Millisekunden) für zyklisches Lesen der Sollwerte (U, I, P, R) des Gerätes. Siehe auch Abschnitt 8.3.5. Zulässiger Bereich: <b>0</b> oder <b>20...5000</b> (0 = zyklisches Lesen deaktiviert)
<b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:BSETs_&lt;NR1&gt;</b> <b>SYSTem:COMMunicate:CAN:READ:BSETs?</b>	<b>Nur für die Serien PSB und PSBE:</b> 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: <b>0</b> oder <b>20...5000</b> (0 = zyklisches Lesen deaktiviert)

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

## 5.4.11.2 Befehle für Einstellungen zu Ethernetschnittstellen

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 sog. 10000er Serien unterstützen sogar zwei Ethernetschnittstellen pro Gerät. Dabei wird der eingebaute Ethernetport als der sekundäre Port betrachtet, egal ob ein Anybus-Ethernetmodul gesteckt ist oder nicht. Der Zugriff auf die Einstellungen des sekundären Ports muß daher immer umgeschaltet werden. Siehe den Extrabefehl weiter unten. 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	alle 10000er Serien
Primär	fest eingebauter Port	Anybus (optional)	Anybus (optional)
Sekundär	-	-	fest eingebauter Port

Befehl	Beschreibung
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:1SPEed[?]{AUTO   10HALF   10FULL   100HALF   100FULL}</b>  <b>SYSTem:COMMunicate:LAN:2SPEed[?]{AUTO   10HALF   10FULL   100HALF   100FULL}</b>	Nur für Standard Ethernet-Anybusmodule und ModBus TCP: Legt die Übertragungsgeschwindigkeit der Ports P1 (gehörig zu <b>:1SPEED</b> ) bzw. P2 (gehörig zu <b>:2SPEED</b> ) fest, wo vorhanden: <b>AUTO</b> = Auto-Aushandlung <b>10HALF</b> = 10MBit, Halbduplex <b>10FULL</b> = 10MBit, Vollduplex <b>100HALF</b> = 100MBit, Halbduplex <b>100FULL</b> = 100MBit, Vollduplex
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:ADDRess[?]{&lt;SRD&gt;}</b>	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.
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:CONTRol[?]{&lt;NR1&gt;}</b>	Legt den TCP-Port (0...65535) für die gewählte Ethernetschnittstelle fest bzw. fragt diesen ab. Dieser Port ist standardmäßig auf <b>5025</b> gesetzt 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 parallel aktiv und reserviert.
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:DHCP[?]{ON   OFF}</b>	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.
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:DNS1[?]{&lt;SRD&gt;}</b> <b>SYSTem:COMMunicate:LAN:DNS2[?]{&lt;SRD&gt;}</b>	Legt die DNS-Adresse für den ersten (DNS1) oder zweiten (DNS2) Domänenserver bzw. fragt die Adressen ab.

# ModBus & SCPI

Befehl	Beschreibung
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:DOMain[?]&lt;SRD&gt;</b>	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.
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:GATeway[?] &lt;SRD&gt;</b>	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.
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:HOSTname[?]&lt;SRD&gt;</b>	Legt den Hostnamen (siehe Netzwerkterminologie) fest bzw. fragt diesen ab. Parameter für die Festlegung ist ein String mit bis zu 54 Zeichen Länge
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:KEEPAlive[?]{ON   OFF}</b>	Aktiviert bzw. deaktiviert das sog. „TCP keep-alive“ für die gewählte Ethernetschnittstelle. Siehe auch „3.7. Verbindungs-Timeout“. Standardeinstellung: OFF (aus)
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:MAC?</b>	Frägt die MAC-Adresse der gewählten Ethernetschnittstelle ab, sofern physikalisch vorhanden.
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:SMASk[?]&lt;SRD&gt;</b>	Legt die Subnetzmaske des der gewählten Ethernetschnittstelle fest bzw. fragt diese ab. Format wie bei der IP-Adresse.
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:TIMEout[?]&lt;NR1&gt;</b>	Legt für gewählte Ethernetschnittstelle ein Verbindungs-Timeout in Sekunden fest. Mit Wert 0 wird der Timeout deaktiviert. Siehe auch „3.7. Verbindungs-Timeout“. Einstellbereich: B oder 5...65535. Standardeinstellung: 5

Für die 10000er Serien 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
<b>SYSTem:COMMunicate:LAN:INDEX_{1   2}</b> <b>SYSTem:COMMunicate:LAN:INDEX?</b>	Temporäre Umschaltung zwischen sekundärer (=2) und primärer (=1, Standard nach Hochfahren) Ethernetschnittstelle.

## 5.4.12 Befehle zur Fernbedienung des Funktionsgenerators

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	✓



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 auf 0-125% Istwert von Spannung oder Strom des Gerätes verteilt sind. Bidirektionale Geräte aus den PSB-Serien haben zwei Tabellen, eine für Quelle-Betrieb (Generatormodus; **IUPS**) und eine für den Senke-Betrieb (Generatormodus: **IUEL**). Der Modus **IU** kombiniert diese beiden Modi, so daß bei PSB-Geräten während der Funktionsgenerator aktiv ist, zwischen den beiden Quadranten gewechselt werden, deren IU-Tabellen daher unterschiedlich sein können. Der Wechsel geschieht wie in den anderen Betriebsarten auch durch das Verhältnis von Spannungssollwert zu Spannungswert. Senke-Betrieb funktioniert nur, wenn die anliegende Spannung höher ist als der gesetzte Spannungswert.

Der **Arbiträr**generator hingegen ist für Funktionen wie Sinus, Rechteck, Dreieck, Trapez und Rampe.

### 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 Stützpunkte (hier: Sequenzpunkte) festgelegt werden. Das geschieht nicht automatisch durch Laden einer bestimmten Anzahl Sequenzpunkte in das Gerät.

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 Sequenzpunkte mit jeweils 8 Parametern befüllt. Die Anzahl der effektiv verwendeten Punkte ist beliebig, jedoch mindestens eins. Beim XY-Generator werden 1-4096 Werte pro Tabelle 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 Extrabefehls 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\_NONE gesendet wird. Erst danach kann ein anderer Modus gewählt werden. Zuvor geladene Tabellen- oder Sequenzpunktdaten gehen hierdurch verloren.

#### 5.4.12.1 Funktionsübersicht

Nicht allen Serien mit einem Funktionsgenerator - nicht zu verwechseln mit dem Sequenzgenerator bei ELR 5000 oder dem Rampengenerator beiden 3000er Serie - haben den gleichen Umfang an Funktionen. Hier eine Übersicht, welche Serien welchen Funktionen bieten:

	ELR9	PSI9	DT	PSIT	PSB	PSI1	PSB1	ELR1
Arbiträrgenerator	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
XY-Generator	✓	✓	—	—	✓	✓	✓	✓



## 5.4.12.2 XY-Generator: Moduswahl und Konfiguration (9000er Serien, außer PSB 90000)

Dieser Abschnitt gilt nur für 9000er Serien der ersten Generation mit einer XY-Tabelle. Der erste Schritt ist immer den XY-Generator zu aktivieren und gleichzeitig dessen Modus zu wählen:

Befehl	Beschreibung
[SOURCE:]FUNCTION:GENERator:SElect_{UI   IU   PV   NONE} [SOURCE:]FUNCTION:GENERator:SElect?	Wählt den XY-Funktionsgeneratormodus aus: <b>UI</b> = UI-Kurve, wird auch für die <b>FC</b> -Funktion verwendet <b>IU</b> = IU-Kurve <b>PV</b> = Einfach <b>PV</b> -Kurve bzw. -Funktion (siehe auch 5.4.12.8) Für die <b>erweiterte PV-Kurve nach EN 50530</b> siehe Abschnitt 5.4.17. <b>NONE</b> = Funktionsgenerator verlassen, wird auch verwendet, bevor man den Modus wechseln kann

Nach der Moduswahl können bzw. sollten Tabellendaten geladen werden. Siehe dazu 5.4.12 bzw. auch die Beschreibung des XY-Generators und wie dieser funktioniert im Gerätehandbuch.

Befehl	Beschreibung
[SOURCE:]FUNCTION:GENERator:XY:LEVel_<NR1>	1. Wählt einen Tabelleneintrag (Bereich: 0...4095) zum Schreiben aus bzw. liest dessen Nummer.
[SOURCE:]FUNCTION:GENERator:XY:DATA_<NRf> [SOURCE:]FUNCTION:GENERator:XY:DATA?	2. Schreibt einen Wert ohne Einheit in den zuvor mit :LEVel gewählten Tabelleneintrag. Dient auch zur Abfrage des aktuellen Wertes.
[SOURCE:]FUNCTION:GENERator:XY:SUBMit	3. Bis dato geschriebene Tabellendaten übernehmen. Danach kann die Funktion gestartet werden.

## 5.4.12.3 XY-Generator: Moduswahl und Konfiguration (10000er Serie und PSB 9000)

Die Konfiguration des **XY**-Generators bei den PSB-Serien ist etwas komplizierter, da diese Geräte aufgrund der Bidirektionalität und ihren Quelle- und Senke-Modi zwei Tabellen haben, die es zu unterscheiden gilt. **Tabelle 1** ist dabei dem **Quelle-Betrieb** zugeordnet, **Tabelle 2** dem **Senke-Betrieb**. Je nach gewähltem Modus wird die eine, die andere oder beide Tabellen genutzt. Übersicht und Vergleich der Modi:

XY-Modus	Beschreibung	PSB-Betrieb	Nutzt Tabelle	Nutzbar für nicht-PSB	Anmerkungen
<b>IU</b>	IU-Kurve	Quelle o. Senke	1 und 2	nein	Der aktive Quadrant kann zur Laufzeit durch Setzen des Spannungssollwertes umgeschaltet werden
<b>IUEL</b>	IU-Kurve für elektronische Last	Senke	2	ELR	ELR arbeiten immer im Senke-Betrieb
<b>IUPS</b>	IU-Kurve für Netzgerät	Quelle	1	PSI	PSI arbeiten immer im Quelle-Betrieb
<b>PV</b>	Einfache PV-Funktion, wird zu PVA umgeleitet	Quelle	1	PSI, PSB	
<b>PVA</b>	PV-Kurve A	Quelle	1	PSI	PVA ist die Standardkurve, die auch für den einfachen PV-Modus und den erweiterten PV-Modus genutzt wird. PVB ist ein zweite nutzbare.
<b>PVB</b>	PV-Kurve B	Quelle	2	PSI	
<b>FC</b>	F-Kurve	Quelle	1	PSI	Eine FC-Kurve ist eine UI-Kurve die hier für einen IU-Generator geladen wird. Die Daten müssen daher vorher entweder transponiert oder direkt als Stromwerte berechnet werden.

Befehl	Beschreibung
[SOURCE:]FUNCTION:GENERator:SElect_{FC   IUPS   IUEL   IU   PV   PVA   PVB   NONE} [SOURCE:]FUNCTION:GENERator:SElect?	Wählt den XY-Funktionsgeneratormodus gemäß der Tabelle oben. Für die <b>erweiterte PV-Kurve nach EN 50530</b> siehe Abschnitt 5.4.17. <b>NONE</b> = Funktionsgenerator verlassen, wird auch verwendet, bevor man den Modus wechseln kann





Alle 10000er Serien unterstützen alle 6 Modi des XY-Generators, egal ob ELR, PSB oder PSI. Die Modi, welche vom jeweiligen Gerätetyp physikalisch-logisch nicht umgesetzt werden können, würden nach Konfiguration und Start einfach nicht funktionieren.

Nach der Moduswahl können bzw. sollten Tabellendaten geladen werden. Siehe dazu 5.4.12 bzw. auch die Beschreibung des XY-Generators und wie dieser funktioniert im Gerätehandbuch. Gemäß der Unterscheidung der Modi in Hinsicht auf die jeweils genutzte XY-Tabelle müssen unterschiedliche Befehle zum Laden dieser verwendet werden:

Befehle für XY-Tabelle 1	Beschreibung
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:LEVel_<NR1> [SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:LEVel?	1. Wählt einen Tabelleneintrag (Bereich: 0...4095) zum Schreiben aus bzw. liest dessen Nummer.
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:DATA_<NRf> [SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:DATA?	2. Schreibt einen Wert ohne Einheit in den zuvor mit :LEVel gewählten Tabelleneintrag. Dient auch zur Abfrage des aktuellen Wertes.
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:SUBMit_FIRST	3. Bis dato geschriebene Tabellendaten übernehmen. Danach kann die Funktion gestartet werden.

Befehle für XY-Tabelle 2	Beschreibung
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:SECond:LEVel_<NR1> [SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:SECond:LEVel?	1. Wählt einen Tabelleneintrag (Bereich: 0...4095) zum Schreiben aus bzw. liest dessen Nummer.
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:SECond:DATA_<NR2> [SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:SECond:DATA?	2. Schreibt einen Wert ohne Einheit in den zuvor mit :LEVel gewählten Tabelleneintrag. Dient auch zur Abfrage des aktuellen Wertes.
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:XY:SUBMit_SECond	3. Bis dato geschriebene Tabellendaten übernehmen. Danach kann die Funktion gestartet werden.

## 5.4.12.4 Arbiträrgenerator: Moduswahl und Konfiguration

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:SElect_{VOLTage   CURRent   NONE} [SOURce:]FUNctioN:GENerator:SElect?	Wählt den Arbiträrgenerator aus. <b>VOLTage</b> = Arbiträr für U <b>CURRent</b> = Arbiträr für I <b>NONE</b> = Funktionsgenerator verlassen
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVE:STARt_<NR1> [SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVE:STARt?	Legt den ersten abzuarbeitenden Sequenzpunkt (1...99) fest bzw. fragt dessen Nummer ab. Wird nur ein Sequenzpunkt genutzt, muß :STARt = :END gesetzt werden.
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVE:END_<NR1> [SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVE:END?	Legt den letzten abzuarbeitenden Sequenzpunkt (1...99) fest bzw. fragt deren Nummer ab. Wird nur ein Sequenzpunkt genutzt, muß :STARt = :END gesetzt werden.
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVE:NUMBer_<NR1> [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. Bereich: <b>0</b> (unendlich oft) oder <b>1...999</b>

## 5.4.12.5 Arbiträrgenerator: Sequenzpunktdaten laden

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

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVe:LEVel_<NR1> [SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVe:LEVel?	1. Wählt einen Sequenzpunkt von 99, ähnlich wie im Bedienfeld (HMI) des Gerätes, zum Schreiben aus bzw. liest die aktuelle Sequenzpunktnummer
[SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVe:INDeX_<NR1> [SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVe:INDeX?	2. Für jeden Sequenzpunkt (0...7) sind eine Reihe Parameter zu setzen. <b>INDeX</b> 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_<NR2> [SOURce:]FUNctioN:GENerator:WAVe:DATA?	3. Schreibt einen Wert, 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.

Wenn man den Arbiträrgenerator am Bedienfeld des Gerätes konfiguriert, werden bestimmte Parameter gegeneinander abgegrenzt, damit das resultierende Signal am DC Eingang/Ausgang später so aussieht, wie man es erwartet. In der Fernsteuerung ist diese Art von Plausibilität auch vorhanden, die Prüfung kann aber nicht direkt beim Setzen der Werte erfolgen, sondern erst nachdem die Daten per :SUBMit-Befehl übernommen wurden.

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.

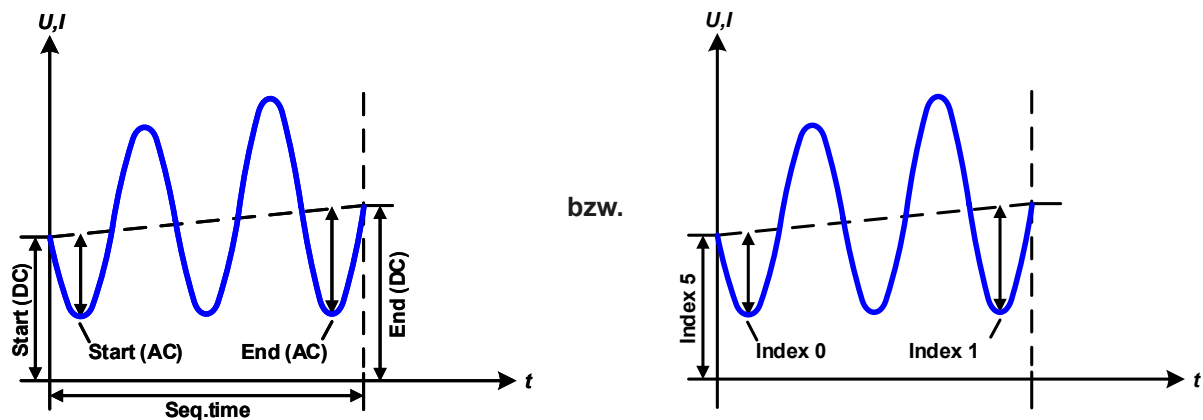
In Anlehnung an die Einstellmöglichkeiten am Gerät, wenn der Arbiträr-Generator gewählt wurde, sind folgende Indexe mit :INDeX auswählbar und mit :DATA schreibbar:

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-Geräte, beim Strom: -Nennwert I...+ Nennwert I	Für DC- und AC-Anteil
6	Endwert (Offset)	Fließkomma	A, V	0...Nennwert von U oder I Nur PSB-Geräte, beim Strom: -Nennwert I...+ Nennwert I	Für DC- und AC-Anteil
7	Sequenzdauer	Fließkomma	s	0,0001...36000	



Falls Startwert ungleich Endwert (Indexe 0+1, sowie 5+6), dann erwartet das Gerät eine gewisse Mindeststeigung von  $\pm 0,058\%/s$  über die Sequenzpunktdauer, sowie eine Frequenzänderung von  $\pm 9,3 \text{ Hz/s}$  (Indexe 2+3), 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). Weiteres Beispiel: bei einer Sequenzpunktdauer = 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



## 5.4.12.6 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, außer es tritt ein abstellender Gerätealarm auf.

## 5.4.12.7 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?	

## 5.4.12.8 Sonderfunktion "Einfache PV" (Photovoltaik)

ELR9	PSI9	DT	PST	PSIT	PSB	PSBE	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	✓	—	—	—	✓	—	✓	✓	—	—



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 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, in den FG laden und geht danach wieder zurück. 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
<b>[SOURCE:]IRRadiation_&lt;NR1&gt;</b> <b>[SOURCE:]IRRadiation?</b>	Stellt den Beschattungswert (engl. irradiation) während der Solar-Panel-Simulation ein oder fragt ihn als Prozentwert ab (Bereich 0...100). Der Wert wirkt auf den DC-Ausgangsstrom und verschiebt den MPP auf der X-Achse

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

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

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	<b>FUNC:GEN:SEL_PV</b>	Wählt XY-Generator mit PV-Funktion. Ab hier befindet sich das Gerät im Funktionsgenerator-Modus. Ein PSB-Gerät leitet auf Modus PVA um, siehe dazu 5.4.12.3.
2	<b>FUNC:GEN:XY:LEV_0</b>	Schreibt alle Tabellenwerte der PV-Funktion nacheinander in das Gerät
3	<b>FUNC:GEN:XY:DAT_&lt;NR2&gt;</b>	
...		
8193	<b>FUNC:GEN:XY:LEV_4095</b>	
8194	<b>FUNC:GEN:XY:DAT_&lt;NR2&gt;</b>	Die geschriebenen Werte übernehmen
8195	<b>FUNC:GEN:XY:SUBM</b>	

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 die Leerlaufspannung ( $U_{oc}$ ) des simulierten Solarmoduls zu setzen, alternativ auf das Maximum:

Nr.	Befehl	Beschreibung
8196	<b>VOLT_MAX</b>	Spannung auf Maximum setzen, das wäre unabhängig vom Modell. Alternativ kann man die Spannung auch auf mindesten $U_{oc}$ setzen für unbelasteten Zustand
8197	<b>POW_MAX</b>	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 Ihres Gerätes.

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

Nr.	Befehl	Beschreibung
8198	OUTP_ON	Einschalten des DC-Ausgangs und Starten der Funktion
8199	IRR_85	Beschattung setzen, beispielsweise 85%
8200	OUTP_OFF	Ausschalten des DC-Ausgangs, um die Funktion zu stoppen
8201	FUNC:GEN:SEL_NONE	Mit <b>NONE</b> wird kein Funktionsgeneratortyp gewählt und der Modus damit wieder verlassen.

### 5.4.12.9 Sonderfunktion: FC (fuel cell)

ELR9	PSI9	DT	PST	PSIT	PSB	PSBE	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	✓	—	—	—	✓	—	✓	✓	—	—

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, PSI 10000 und PSB 10000 gibt es keinen UI-Modus, dafür aber einen direkten FC-Modus. Bei den Tabellenwerten an sich gibt es auch einen Unterschied. Übersicht zur Moduswahl:

	PSI 9000	PSB 9000 / PSB 10000 / PSI 10000
XY-Generatormodus	<b>UI</b>	<b>FC</b>
Geladene Kurvendaten enthalten	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 den Geräten, wo transponiert werden muß, weil es keine offizielle Formel zur Berechnung von Stromwerten aus einer UI-FC-Kurve gibt.*

## 5.4.13 Befehle zur Fernbedienung des Sequenzgenerators (nur ELR 5000)



Die mittels dieser Befehle ladbaren Sequenzpunktdaten 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 Sequenzpunktdaten, sofern andere als die zuletzt gespeicherten verwendet werden sollen. Zum Anderen sollten jedesmal die weiteren Einstellungen festgelegt werden, wie Startsequenzpunkt, Endsequenzpunkt 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_<NR1> [SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:START?	Legt den ersten abzuarbeitenden Sequenzpunkt (1...100) fest bzw. fragt dessen Nummer ab. Wird nur ein Sequenzpunkt benutzt, muß :END = :START gesetzt werden.
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:END_<NR1> [SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:END?	Legt den letzten abzuarbeitenden Sequenzpunkt (1...100) fest bzw. fragt dessen Nummer ab.
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:NUMBer_<NR1> [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. Bereich: 0 (unendlich oft) oder 1...999

### 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

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 nutzbar. Ein nicht mit Daten beschriebener Sequenzpunkt würde, wenn beim Durchlauf verarbeitet, Spannung und Strom auf 0 setzen, die minimale Sequenzpunktzeit von 300 ms ausführen und demnach eine kurze Unterbrechung darstellen.

Befehle zum Laden von Daten für Sequenzpunkte:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:LEVel_<NR1> [SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:LEVel?	Wählt einen Sequenzpunkt (1...100) zum Schreiben aus bzw. liest die Nummer des aktuell gewählten
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:INDeX_<NR1> [SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:INDeX?	Für jeden Sequenzpunkt sind 4 Parameter zu setzen. Der Wert INDeX wählt mit 0 - 3 aus, welcher Parameter mit dem nächsten Befehl (:DATA) geschrieben werden soll. Die Indexe sind unten erläutert. Dient auch zur Abfrage des aktuellen Index'.



Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCtion:GENerator:WAVE:DATA_<NR2> [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 100 Sequenzpunkte geladen werden sollen, sind demnach 901 Befehle nötig (siehe Schritte 1-10 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 Millisekunden	1...36.000.000, 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 Sequenzpunktdaten.*

## 5.4.13.4 Programmierbeispiel zum Sequenzgenerator

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

Nr.	Befehl	Beschreibung
1	FUNC:GEN:WAVE:LEV_12	Wählt den 12. Sequenzpunkt zum Schreiben aus, in diesem Beispiel wird nur einer beschrieben und verwendet
2	FUNC:GEN:WAVE:IND_0	Index 0 wählen: Spannungssollwert
3	FUNC:GEN:WAVE:DAT_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 zweitrangig 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:DAT_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:DAT_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:DAT_60000	Setzt die Zeit, die mit den durch Sequenzpunkt 12 gesetzten Sollwerten vergehen soll, auf 60 s.
10	FUNC:GEN:WAVE:SUBM	Sequenzdaten übernehmen
11	FUNC:GEN:WAVE:STAR_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:NUMB_1	Setzt 1 Durchlauf, d. h. es findet keine Wiederholung der Sequenz statt

# ModBus & SCPI

Das Ergebnis: mit dem Start des Sequenzgenerators 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 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 der Sequenz keinen Strom mehr zieht, wäre ein weiterer Sequenzpunkt nötig, der 0 A setzt. Da Sequenzpunkte immer nacheinander ablaufen, böte sich an, auch Sequenzpunkt 13 zu programmieren. Die Befehlsfolge oben würde sich dann nach Schritt 9 wie folgt ändern:

Nr.	Befehl	Beschreibung
10	<b>FUNC:GEN:WAVE:LEV_13</b>	Wählt den 13. Sequenzpunkt zum Schreiben aus
11	<b>FUNC:GEN:WAVE:IND_1</b>	Index 1 wählen: Stromsollwert
12	<b>FUNC:GEN:WAVE:DAT_0</b>	Setzt den Stromsollwert für Sequenzpunkt 13 auf 0 A
13	<b>FUNC:GEN:WAVE:SUBM</b>	Sequenzpunktdatei übernehmen
14	<b>FUNC:GEN:WAVE:STAR_12</b>	Setzt den ersten Sequenzpunkt der Sequenz auf 12
15	<b>FUNC:GEN:WAVE:END_13</b>	Setzt den letzten Sequenzpunkt der Sequenz auf nun 13
16	<b>FUNC:GEN:WAVE:NUMB_1</b>	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. Da kein Strom mehr in die Last fließt, kann man das als "DC-Eingang = aus" betrachten.

## 5.4.14 Befehle zur Fernbedienung des MPP-Tracking

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	✓	—	—	—	—	— <sup>(1)</sup>	—	—	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	✓

(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
<b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_0</b> <b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]&lt;NR2&gt;{NONE   MPP1   MPP2   MPP3   MPP4}</b>	Index 0: Wahl des MPP-Tracking-Modus' <b>MPP1:</b> MPP-Tracking-Modus 1 (MPP finden) <b>MPP2:</b> MPP-Tracking-Modus 2 (Folgen) <b>MPP3:</b> MPP-Tracking-Modus 3 (Direkt) <b>MPP4:</b> MPP-Tracking-Modus 4 (Benutzerkurve) <b>NONE:</b> MPPT deaktivieren
<b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_1</b> <b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]&lt;NR2&gt;</b>	Index 1: Setzen der sog. Open circuit voltage (Uoc) Uoc (0-Unom)
<b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_2</b> <b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]&lt;NR2&gt;</b>	Index 2: Setzen des sog. Short-circuit current (Isc) Isc (0-Inom)
<b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_3</b> <b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]&lt;NR2&gt;</b>	Index 3: Setzen der Spannungsgrenze für den Direkt-Modus 3 (Umpp). Empfehlung: immer auf 0 setzen Umpp (0-Unom)
<b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_5</b> <b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]&lt;NR2&gt;</b>	Index 5: Setzen des MPP im Modus 3 (Pmpp, führende Regelgröße) Pmpp (0-Pnom)
<b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:INDEX_6</b> <b>[SOURCE:]FUNCTION:GENERATOR:MPP:DATA[?]&lt;NR2&gt;</b>	Index 6: Setzt $\Delta P$ (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

Befehl	Beschreibung
[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[?]<NR1> [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]<NR2>	Index 8: Spannungswerte für Modus 4 setzen Spannungswert zum Setzen anwählen (1...100) Spannungswert setzen (0-Unom)
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_9 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:LEVEL[?]<NR1> [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA?	Index 9: Meßergebnisse von Modus 4 Meßwert anwählen (1...100) Meßwert auslesen (drei Werte: Uist, list, Pist)
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_10  [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]<NR1>	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 (5...60000)
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_12 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]<NR1>	Index 12: Festlegen der Endnummer der 100 Spannungswerte (Index 8) für Modus 4 Endnummer (1...100)
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_11 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]<NR1>	Index 11: Festlegen der Startnummer der 100 Spannungswerte (Index 8) für Modus 4 Startnummer (1...100)
[SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:INDEX_13 [SOURCE:]FUNCTION:GENerator:MPP:DATA[?]<NR1>	Index 13: Festlegen der Wiederholungen der Durchläufe im Modus 4 Anzahl Wiederholungen (0...65535)

## 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}>	<b>RUN</b> = Startet den Vorgang des MPP-Tracking im zuvor gewählten Modus <b>STOP</b> = Stoppt MPP-Tracking jederzeit, egal ob es schon zu einem Ergebnis geführt hat oder nicht <b>?</b> = 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

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓

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*).

### 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, welche die Bits im Register repräsentiert (siehe Registermodell in „5.4.2. Statusregister“). 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.

### 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
<b>SYSTem:ALARM:COUNT:OVOLtage?</b>	Zählt Überspannungsalarme (OVP, einstellbare Schwelle)
<b>SYSTem:ALARM:COUNT:OTEMperature?</b>	Zählt Übertemperaturalarme (OT, nicht einstellbar)
<b>SYSTem:ALARM:COUNT:OPOWer?</b>	Zählt Überleistungsalarme (OPP, einstellbare Schwelle)
<b>SYSTem:ALARM:COUNT:OCURrent?</b>	Zählt Überstromalarme (OCP, einstellbare Schwelle)
<b>SYSTem:ALARM:COUNT:PFail?</b>	Zählt Power fail Alarme (PF, nicht einstellbar)

Zusätzlich und nur bei den 10000er Serien implementiert:

Befehl	Beschreibung
<b>SYSTem:ALARM:COUNT:SHARebusfail?</b>	Zählt Share-Bus-Fail Alarme (SF, 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, nur PSI 5000)

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
<b>*RCL_{1...9}</b>	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 Werte. Kann nur bei Zustand „DC-Ausgang = aus“ ausgeführt werden.
<b>*SAV_{1...9}</b>	Speichert die vier aktuell für den DC-Ausgang eingestellten Werte (U-Sollwert, I-Sollwert, OVP-Wert, OCP-Wert) in den gewählten Sollwertsatz ab, damit dieser später mit <b>*RCL {1...9}</b> wieder abgerufen werden kann. Kann nur bei Zustand „DC-Ausgang = aus“ ausgeführt werden.
<b>MEMory:STATe:DELeTe_{1...9}</b>	Löscht den gewählten Sollwertsatz, indem alle vier Werte darin auf Null gesetzt werden. Der Sollwertsatz kann später jederzeit neu überschrieben werden.

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	<b>OUTP_OFF</b>	DC-Ausgang ausschalten (egal, ob bereits aus), damit der Sollwertsatz geschrieben werden kann
2	<b>VOLT_10</b>	Setze 10 V für den Ausgang (normaler Sollwert)
3	<b>CURR_5</b>	Setze 5 A für den Ausgang (normaler Sollwert)
4	<b>VOLT:PROT_12</b>	Setze OVP-Schwelle auf 12 V
5	<b>CURR:PROT_22</b>	Setze OCP-Schwelle auf 22 A
6	<b>*SAV_5</b>	Speichere Sollwertsatz 5

### 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.

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

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

# ModBus & SCPI

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	<b>VOLT?</b>	Abfrage des Spannungswertes, wie im zuvor geladenen Sollwertsatz enthalten
2	<b>CURR?</b>	Abfrage des Stromwertes, wie im zuvor geladenen Sollwertsatz enthalten
3	<b>VOLT:PROT?</b>	Abfrage des OVP-Wertes, wie im zuvor geladenen Sollwertsatz enthalten
4	<b>CURR:PROT?</b>	Abfrage des OCP-Wertes, wie im zuvor geladenen Sollwertsatz enthalten



## 5.4.17 Befehle für die erweiterte PV-Simulation

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	—

PV-Simulation wird generell nur von Netzgeräte-Serien unterstützt, solchen mit XY-Generator. Das sind aktuell (Stand 05/2022):

- PSI 9000 2U - 24U
- PSI 10000
- 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 o. g. Geräten ab Firmware KE 2.19/HMI 2.11 (PSI 9000), KE 2.25/HMI 2.04 (PSB 9000) sowie KE/HMI 2.01 (PSB/PSI 10000) unterstützt. Das bedeutet, daß die Funktion für ältere Geräte durch ein Firmwareupdate nachträglich installiert werden könnte.

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
<b>FUNCTION:PHOTovoltaics:MODE_{OFF   ET   UI   DAYET   DAYUI}</b> <b>FUNCTION:PHOTovoltaics:MODE?</b>	Moduswahl für die PV-Simulation <b>OFF</b> = Simulation ausgeschaltet (Standardeinstellung) <b>ET</b> = Kontinuierlicher Modus, während der Simulation können Temperatur und Einstrahlungsstärke variiert werden <b>UI</b> = Kontinuierlicher Modus, während der Simulation können Spannung und Strom im MPP variiert werden <b>DAYET</b> = 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 <b>DAYUI</b> = 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
<b>FUNCTION:PHOTovoltaics:IMODE_{MPP   ULIK}</b> <b>FUNCTION:PHOTovoltaics:IMODE?</b>	Eingabemodus (gilt für alle mit <b>:MODE</b> wählbaren Modi, siehe Matrix und Beispiele in 5.5.3) <b>MPP</b> = Die Grundwerte zur Berechnung der PV-Kurve werden als Umpp und Impp eingegeben. Diese Werte sind dann im Simulations-Modus <b>UI</b> veränderlich (Standardeinstellung) <b>ULIK</b> = Die Grundwerte zur Berechnung der PV-Kurve werden als U <sub>oc</sub> (Leerlaufspannung) und I <sub>sc</sub> (Kurzschlußstrom) eingegeben. Diese Werte sind dann im Simulations-Modus <b>ET</b> 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
<b>FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:INTERpolate_{ON   OFF}</b> <b>FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:INTERpolate?</b>	Nur für Simulations-Modi <b>DAYET</b> und <b>DAYUI</b> : <b>ON</b> = Interpolation ein <b>OFF</b> = Interpolation aus (Standardeinstellung)

# ModBus & SCPI

Befehl	Beschreibung
<b>FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:MODE_{READ   WRITE}</b> <b>FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:MODE?</b>	Nur für Simulations-Modi <b>DAYET</b> und <b>DAYUI</b> : Zugriffmodus auf die Tagesdaten <b>READ</b> = Daten nur lesbar (Standardeinstellung) <b>WRITE</b> = Daten nur schreibbar
<b>FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY_CLEAr</b>	Nur für Simulationsmodi <b>DAYET</b> und <b>DAYUI</b> : Alle Daten löschen
<b>FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:INDEX_{&lt;NR1&gt;}</b> <b>FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:INDEX?</b>	Nur für Simulationsmodi <b>DAYET</b> und <b>DAYUI</b> : Festlegen des Index' (1...100000) eines Datensatzes zwecks Rücklesen der Tagesdaten. Beim Schreiben von Tagesdaten wird dieser Index ignoriert. Dafür muß der Indexwert in FUNC:PHOT:DAY:DAT verwendet werden.
<b>FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:DATa_{&lt;NR1&gt;, &lt;NR2&gt;, &lt;NRf&gt;, &lt;NR1&gt;}</b> <b>FUNCTION:PHOTovoltaics:DAY:DATa?</b>	Nur für Simulationsmodi <b>DAYET</b> und <b>DAYUI</b> : Tagesdaten (4 Werte) schreiben oder aus dem vorher zu wählenden Index lesen. Je nachdem, ob Simulationsmodus <b>DAYET</b> oder <b>DAYUI</b> gewählt wurde, werden die Daten anders interpretiert:
	<b>Modus DAYET:</b>
	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)
	<b>Modus DAYUI:</b>
	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)
<b>FUNCTION:PHOTovoltaics:TECHnology_{MAN   CSI   THIN}</b> <b>FUNCTION:PHOTovoltaics:TECHnology?</b>	Vorwahl der zu simulierenden Paneel-Technologie, wodurch bestimmte Parameter auf feste Werte gesetzt werden, bzw. Wahl des manuellen Modus <b>MAN</b> = Manueller Modus <b>CSI</b> = Paneel mit cSi-Technologie (Standardeinst.) <b>THIN</b> = Paneel mit Dünnschicht-Technologie

## 5.4.17.3 Datenaufzeichnung

Das Gerät kann während der Laufzeit der PV-Simulation, egal welcher Modus, 576.000 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
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:ACTIVE_{ENABLE   DISABLE}</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:ACTIVE?</b>	Datenaufzeichnung <b>ENABLE</b> = eingeschaltet <b>DISABLE</b> = ausgeschaltet (Standardeinstellung)
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:CLEAR</b>	Aufgezeichnete Daten löschen
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:NUMBER?</b>	Anzahl der bisher aufgezeichneten Datensätze (1...576.000)
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:INDEX_{NR1}</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:INDEX?</b>	Festlegen oder Auslesen der Indexnummer (1...576.000) des gewählten Datensatzes. Muß vor dem Auslesen der Datensätze mit <b>:DATA?</b> stets neu gesetzt werden.
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:RECORD:DATA?</b>	Datensatz X am zuvor gesetzten Index auslesen. Das Gerät gibt dann folgende Werte kommagetrennt 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
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:MPP:VOLTage?</b>	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.
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:MPP:CURREnt?</b>	Strom im MPP, in A. Kann zwischen 0 und Nennstrom liegen.
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:MPP:POWer?</b>	Leistung im MPP, in W. Kann zwischen 0 und Nennleistung liegen.
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STATe?</b>	Status der PV-Simulation <b>STOP</b> = Simulation normal gestoppt (manuell oder Ablauf am Ende) <b>RUN</b> = Simulation läuft noch <b>ERROR MODE</b> = Simulation nicht gestartet wegen Kurvenberechnungs-Fehler im Simulation-Modus <b>ET</b> oder <b>UI</b> <b>ERROR DAY</b> = Simulation nicht gestartet wegen Fehler beim Start im Simulation-Modus <b>DAYET</b> oder <b>DAYUI</b> <b>ERROR ALARM</b> = Simulation gestoppt durch einen Gerätealarm <b>ERROR INTERPOLATION</b> = Simulation nicht gestartet wegen Fehler bei der Verweilzeit im Index 1
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:DAY:NUMBer?</b>	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.
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:OCVoltage?</b>	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
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:SCCurrent?</b>	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 vom Gerät automatisch 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 Modus:				
	MPP	ULIK	MAN	CSI	THIN
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:FFU_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:FFU?</b> Füllfaktor Spannung (FF <sub>U</sub> ). Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:FFI_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:FFI?</b> Füllfaktor Strom (FF <sub>I</sub> ). Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:ALPHA_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:ALPHA?</b> Temperaturkoeffizient $\alpha$ (in 1/°C) für den Kurzschlußstrom. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:BETA_&lt;NRf&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:BETA?</b> Temperaturkoeffizient $\beta$ (in 1/°C) für die Leerlaufspannung. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: -1...<0	✓	✓	✓	—	—
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CU_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CU?</b> Korrekturfaktor C <sub>U</sub> für die Leerlaufspannung. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CR_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CR?</b> Korrekturfaktor C <sub>R</sub> in m²/W für die Leerlaufspannung. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CG_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:FACTor:CG?</b> Korrekturfaktor C <sub>G</sub> in W/m² für die Leerlaufspannung. Nur im Technologie-Modus MAN veränderbar. Beeinflusst die Berechnung der PV-Kurve nach Formel gemäß Norm. Einstellbereich: >0...1	✓	✓	✓	—	—
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:OCVoltage_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:OCVoltage?</b> Leerlaufspannung U <sub>OC</sub> (open circuit voltage) des zu simulierenden Paneels, in V. Einstellbereich: 0-Nennspannung	—	✓	✓	✓	✓
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:SCCurrent_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:SCCurrent?</b> Kurzschlußstrom I <sub>SC</sub> (short-circuit current) des zu simulierenden Paneels, in A. Einstellbereich: 0-Nennstrom	—	✓	✓	✓	✓
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:MPP:VOLTage_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:MPP:VOLTage?</b> Spannung im MPP des zu simulierenden Paneels, in V. Einstellbereich: 0-Nennspannung	✓	—	✓	✓	✓
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:MPP:CURREnt_&lt;NR2&gt;</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STANDARD:MPP:CURREnt?</b> 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 veränderlich, 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
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STATE_{RUN   STOP}</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:STATE?</b>	Simulation starten oder stoppen <b>RUN</b> = PV-Kurve wird berechnet und Simulation wird gestartet, sofern kein Fehler entsteht. Sofern Datenaufzeichnung aktiviert wurde, startet diese auch. <b>STOP</b> = Simulation und eventuelle Datenaufzeichnung werden gestoppt
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:TEMPerature_{&lt;Nr&gt;}</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:TEMPerature?</b>	Nur im Modus <b>ET</b> verfügbar: Solarmodultemperatur in °C. Einstellbereich: -40...+80
<b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:IRRadiation_{&lt;Nr1&gt;}</b> <b>FUNCTION:PHOTOvoltaics:IRRadiation?</b>	Nur im Modus <b>ET</b> 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 Stopp nicht fortgeführt werden
- Daten der Datenaufzeichnung können während der Simulation oder nach einem unerwarteten Stopp 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	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	—	—	—	✓ <sup>(1)</sup>	—	—	✓	✓	—	—	—	—	—	✓	—	✓

(1 Außer Serie PSI 9000 DT)

Mit Stand 04/2019 ist die in diversen elektronischen Lasten sowie bidirektionalen Netzgeräten durch ein Firmware-Update installierbare Batterietest-Funktion bei den meisten 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 PSB-Serien einen kombinierten Modus, genannt "Dynamischer Test". Dieser ist seit 03/2020 für ältere Geräte über eine Firmware-Aktualisierung verfügbar.

### 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 gewählt werden. Einzelheiten zu den Batterietest-Modi sind im Handbuch des Gerätes zu finden.

Befehl	Beschreibung
<b>[SOURce:]BATTery:MODE_{IDLE   STATic   CHARge   DYNamic   COMBined}</b> <b>[SOURce:]BATTery:MODE?</b>	Testmodus wählen bzw. den zuletzt gewählten abfragen: <b>IDLE</b> = kein Modus gewählt, dient auch zum Verlassen des Batterietestmodus' <b>STATic</b> = Modus „Statisches Entladen“ wählen <b>DYNamic</b> = Modus „Dynamisches Entladen“ wählen  Weitere Modi, nur bei PSB-Serien verfügbar: <b>CHARge</b> = Modus "Statisches Laden" wählen <b>COMBined</b> = Dynamischer Test, kombiniert statisches Entladen und statisches Laden

Die nachfolgenden Befehle funktionieren zum Setzen oder Lesen von Werten, nachdem einer der Entlade-Modi (**DYNAMIC** oder **STATIC**) gewählt wurde:

Befehl	Beschreibung
<b>[SOURce:]BATTery:CURREnt_{&lt;NR2&gt;}</b> <b>[SOURce:]BATTery:CURREnt?</b>	Nur für den <u>statischen</u> Entlade-Modus: Statischen Entladestrom (in A) setzen. Befehl funktioniert nicht bei Wahl von Modus <b>DYN</b> . Bereich: 0...I-max
<b>[SOURce:]BATTery:POWer_{&lt;NR3&gt;}</b> <b>[SOURce:]BATTery:POWer?</b>	Für <u>statischen</u> und <u>dynamischen</u> Entlade-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 ( <b>BATT:CURREnt</b> ) begrenzen. Bereich: 0...P-max
<b>[SOURce:]BATTery:RESistance_{&lt;NR2&gt;}</b> <b>[SOURce:]BATTery:RESistance?</b>	Für <u>statischen</u> und <u>dynamischen</u> Entlade-Modus: Schaltet den Widerstandsmodus für den Test ein oder aus bzw. setzt einen Widerstandswert (in $\Omega$ ). 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. NR2 = 0 = Widerstandsmodus aus NR2 = min. R ... max. R = Widerstand setzen

Die nachfolgenden Befehle sind für beide Entlade-Modi und definieren ein oder mehrere Stopp-Bedingungen, die den Batterietest automatisch bei Erreichen der Bedingung stoppen können, wenn mindestens eine zutrifft:

Befehl	Beschreibung
<b>[SOURce:]BATTery:DISCharge:VOLTage_{&lt;NR2&gt;}</b> <b>[SOURce:]BATTery:DISCharge:VOLTage?</b>	Entladeschlußspannung ( $U_{DV}$ , in V) setzen. Erreicht die Batteriespannung diese Schwelle stoppt der Batterietest. Bereich: 0...U-max

# ModBus & SCPI

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:DISCharge:CAPacity_<NR2> [SOURce:]BATTery:DISCharge:CAPacity?	Max. zu entnehmende Kapazität (in Ah) vorgeben, bei Erreichen derer der Test stoppen kann bzw. das Gerät veranlaßt wird, eine Meldung auszugeben. Bereich: 0...99999.99 Ah
[SOURce:]BATTery:ACTion:CAPacity_{ NONE   SIGNAL   END} [SOURce:]BATTery:ACTion:CAPacity?	Legt fest, was bei Erreichen des Limit, wie mit <b>BATT:DIS:CAP</b> festgelegt, geschehen soll. <b>NONE</b> = nichts (Limit wird ignoriert) <b>SIGNAL</b> = der Test wird fortgeführt, aber das Gerät meldet das Erreichen des Limits auf seiner Anzeige <b>END</b> = der Test wird gestoppt
[SOURce:]BATTery:DISCharge:TIME_<Time2> [SOURce:]BATTery:DISCharge:TIME?	Max. Testzeit vorgeben, bei deren Erreichen der Test stoppen kann bzw. das Gerät veranlaßt wird, eine Meldung auszugeben. Bereich: 00:00:01 ... 10:00:00
[SOURce:]BATTery:ACTion:TIME_{ NONE   SIGNAL   END} [SOURce:]BATTery:ACTion:TIME?	Wie <b>BATT:ACT:CAP</b> , hier aber für die max. Testzeit, wie sie mit <b>BATT:DIS:TIME</b> vorgegeben werden kann

Beim dynamischen Entlade-Modus 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 **DYNAMIC**:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:INDex_<NR1> [SOURce:]BATTery:INDex?	Wählt einen von 4 Parametern (Bereich: 0...3), aus denen sich das Rechteck für den gepulsten Strom zusammensetzt: <b>0</b> = Pegel 1 der Amplitude Bereich: 0...I-max (Einstellgrenze) <b>1</b> = Pegel 2 der Amplitude Bereich: 0...I-max (Einstellgrenze) <b>2</b> = Zeit von Pegel 1 Bereich: 0...36000 s <b>3</b> = Zeit von Pegel 2 Bereich: 0...36000 s
[SOURce:]BATTery:PULSe_<NR2> [SOURce:]BATTery:PULSe_<Time3> [SOURce:]BATTery:PULSe?	Setzt oder liest den gesetzten Wert des zuvor mit <b>BATTery:INDex</b> gewählten Indexes. Ströme können im Format <NR2> vorgegeben werden, Zeiten für Index 2 und 3 erfordern Format <Time3>

Bei den **PSB-Serien**, die im Quelle-Betrieb eine Batterie auch laden können, gibt es einen weiteren Testmodus, den statischen Lade-Modus (**CHARGE**). Dieser funktioniert wie der statische Entlade-Modus, nur in umgekehrter Richtung.

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:CHARge:VOLTAge_<NR2> [SOURce:]BATTery:CHARge:VOLTAge?	Ladespannung (in V) setzen. Der Wert hängt davon ab, ob eine Vorladung, Starkladung oder Erhaltungsladung ausgeführt werden soll. Bereich: 0...U-max
[SOURce:]BATTery:CHARge:CURREnt_<NR2> [SOURce:]BATTery:CHARge:CURREnt?	Statischen Ladestrom (in A) setzen. Der Ladestrom ist anfangs auf diesen Wert begrenzt, wird ihn später aber unterschreiten. Bereich: 0...I-max
[SOURce:]BATTery:CHARge:STOP:CURREnt_<NR2> [SOURce:]BATTery:CHARge:CURREnt?	Ladeschlußstrom (in A) setzen. Erreicht der Ladestrom diese Grenze, wird der Test beendet. Bereich: 0...I-max
[SOURce:]BATTery:CHARge:STOP:CAPacity_<NR2> [SOURce:]BATTery:CHARge:STOP:CAPacity?	Max. zu ladende Kapazität (in Ah) vorgeben, bei Erreichen derer der Test stoppen kann bzw. das Gerät veranlaßt wird, eine Meldung auszugeben. Bereich: 0...99999.99 Ah

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:CHARge:STOP:TIME_<Time2> [SOURce:]BATTery:CHARge:STOP:TIME?	Max. Testzeit vorgeben, bei deren Erreichen der Test stoppen kann bzw. das Gerät veranlaßt wird, eine Meldung auszugeben. Bereich: 00:00:01 ... 10:00:00
[SOURce:]BATTery:ACTion:CAPacity_{ NONE   SIGNAL   END} [SOURce:]BATTery:ACTion:CAPacity?	Legt fest, was bei Erreichen des Limit, wie mit <b>BATT:CHAR:STOP:CAP</b> festgelegt, geschehen soll. <b>NONE</b> = nichts (Limit wird ignoriert) <b>SIGNAL</b> = der Test wird fortgeführt, aber das Gerät meldet das Erreichen des Limits auf seiner Anzeige bzw. im Batterieteststatus <b>END</b> = der Test wird gestoppt
[SOURce:]BATTery:ACTion:TIME_{ NONE   SIGNAL   END} [SOURce:]BATTery:ACTion:TIME?	Wie <b>BATT:ACT:CAP</b> , hier aber für die max. Testzeit, wie sie mit <b>BATT:CHAR:STOP:TIME</b> vorgegeben werden kann

Der sogenannte **Dynamische Test (COMBINED)**, welcher das Laden und Entladen einer mit Batterie kombiniert, ist nur bei den PSB-Serien verfügbar, da diese Geräte zwischen Quelle- und Senke-Betrieb wechseln können. Details zum dynamischen Test sind in den Handbüchern der PSB-Serien zu finden.

Da der Test die oben genannten Lade- und Entlade-Modi kombiniert, werden auch deren Befehle genutzt, um die einzelnen Testabschnitte oder -phasen zu konfigurieren. Damit hier eine Übersicht entsteht, welche Parameter für den dynamischen Test gesetzt werden müssen, werden in den folgenden Tabellen Befehle von oben teils wiederholt.

Befehle für die Konfiguration der Ladephase, davon ausgehend, es wurde **BATTery:MODE\_COMBined** gesetzt:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:CHARge:VOLTage_<NR2> [SOURce:]BATTery:CHARge:VOLTage?	Ladespannung (in V) setzen. Der Wert hängt davon ab, ob eine Vorladung, Starkladung oder Erhaltungsladung ausgeführt werden soll. Bereich: 0...U-max
[SOURce:]BATTery:CHARge:CURREnt_<NR2> [SOURce:]BATTery:CHARge:CURREnt?	Statischen Ladestrom (in A) setzen. Der Ladestrom ist anfangs auf diesen Wert begrenzt, wird ihn später aber unterschreiten. Bereich: 0...I-max
[SOURce:]BATTery:CHARge:STOP:CURREnt_<NR2> [SOURce:]BATTery:CHARge:CURREnt?	Ladeschlußstrom (in A) setzen. Erreicht der Ladestrom diese Grenze, wird der Test beendet. Bereich: 0...I-max
[SOURce:]BATTery:CHARge:TIME<Time2> [SOURce:]BATTery:CHARge:TIME?	Dauer der Ladephase in Sekunden. Nach Erreichen der max. Dauer von 10 h wird die Phase beendet. Bereich: 00:00:01...10:00:00

Befehle für die Konfiguration der Entladephase, davon ausgehend, es wurde **BATTery:MODE\_COMBined** gesetzt:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:COMBined:CURREnt_<NR2> [SOURce:]BATTery:COMBined:CURREnt?	Statischen Entladestrom (in A) setzen. Bereich: 0...I-max
[SOURce:]BATTery:DISCharge:VOLTage_<NR2> [SOURce:]BATTery:DISCharge:VOLTage?	Entladeschlußspannung ( $U_{DV}$ , in V) setzen. Erreicht die Batteriespannung diese Schwelle wird die Phase beendet. Bereich: 0...U-max
[SOURce:]BATTery:DISCharge:TIME<Time2> [SOURce:]BATTery:DISCharge:TIME?	Dauer der Entladephase in Sekunden. Nach Erreichen der gesetzten Dauer (max. 10 h) wird die Phase beendet. Alternativ beendet der Ladeschlußstrom die Phase. Bereich: 00:00:01...10:00:00

# ModBus & SCPI

Befehle für die restliche Konfiguration, davon ausgehend, es wurde **BATTery:MODE\_COMBined** gesetzt:

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]BATTery:COMBined:STOP:CAPacity_<NR2> [SOURce:]BATTery:COMBined:STOP:CAPacity?	Max. zu ladende und entladende Kapazität (in Ah) vorgeben, bei Erreichen derer der Test stoppen kann bzw. das Gerät veranlaßt wird, eine Meldung auszugeben. Der Wert ist global für beide Phasen. Bereich: 0...99999.99 Ah
[SOURce:]BATTery:COMBined:STOP:TIME_<Time2> [SOURce:]BATTery:COMBined:STOP:TIME?	Max. Testzeit vorgeben, bei deren Erreichen der Test stoppen kann bzw. das Gerät veranlaßt wird, eine Meldung auszugeben. Der Wert ist global für beide Phasen. Bereich: 00:00:01 ... 10:00:00
[SOURce:]BATTery:ACTion:CAPacity_{ NONE   SIGNAL   END} [SOURce:]BATTery:ACTion:CAPacity?	Legt fest, was bei Erreichen des Limits, wie mit <b>BATT:COMB:STOP:CAP</b> festgelegt, geschehen soll. <b>NONE</b> = nichts (Limit wird ignoriert) <b>SIGNAL</b> = der Test wird fortgeführt, aber das Gerät meldet das Erreichen des Limits auf seiner Anzeige bzw. im Batterieteststatus <b>END</b> = der Test wird gestoppt
[SOURce:]BATTery:ACTion:TIME_{ NONE   SIGNAL   END} [SOURce:]BATTery:ACTion:TIME?	Wie <b>BATT:ACT:CAP</b> , hier aber für die max. Testzeit, wie sie mit <b>BATT:COMB:STOP:TIME</b> vorgegeben werden kann
[SOURce:]BATTery:COMBined:TIME_<Time3> [SOURce:]BATTery:COMBined:TIME?	Pausezeit zwischen den Phasen, in Sekunden. Bereich: 1...36000
[SOURce:]BATTery:COMBined:START_{CHARGE   DISCharge} [SOURce:]BATTery:COMBined:START?	Legt fest, mit welcher der beiden Phasen, Laden ( <b>CHARGE</b> ) oder Entladen ( <b>DISCharge</b> ), der Test begonnen wird. Nach Beendigung einer Phase wird in die jeweils andere gewechselt. Somit werden beiden Phasen immer mind. 1x durchlaufen.
[SOURce:]BATTery:COMBined:CYCLes_<NR1> [SOURce:]BATTery:COMBined:CYCLes?	Legt fest, wie oft der Dynamische Test beide Phasen durchläuft. Der Test an sich stoppt nur bei Erreichen der definierten Anzahl von Durchläufen oder Erreichen eines der beiden anderen Stoppkriterien. Bereich: 0 (unendlich) oder 1...999

## 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. <b>RUN</b> = Test starten <b>STOP</b> = Test sofort stoppen
[SOURce:]BATTery:CONDition?	Abfrage des Testzustandes. Dies ist jederzeit möglich, also vor, während und nach dem Test. Mögliche Rückgaben: <b>IDLE</b> = Test ist noch nicht gestartet bzw. wurde gestoppt (manuell oder durch Alarm) <b>RUN</b> = Test läuft momentan <b>FINISHED</b> = Test normal beendet <b>ERROR</b> = Test beendet durch Gerätealarm  Weitere Zustände: <b>SIGNAL AH</b> = Eingestellte, max. zu entnehmende Anzahl Ah erreicht, Test läuft weiter <b>SIGNAL TIME</b> = Eingestellte, max. Testzeit erreicht, Test läuft weiter <b>END AH</b> = Eingestellte, max. Anzahl Ah erreicht, Test beendet <b>END TIME</b> = Eingestellte, max. Testzeit erreicht, Test beendet

Befehl	Beschreibung
	Weitere Zustände (nur verfügbar bei bidirektionalen Geräten): <b>RUN, CHARGING</b> = Test läuft momentan in der Ladephase <b>RUN, DISCHARGING</b> = Test läuft momentan in der Entladephase <b>RUN, RESTING</b> = Test pausiert momentan zwischen den Ladephasen

## 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. Gesamte entladene und/oder geladene Batteriekapazität in Ah 2. Gesamte entnommene und/oder zugeführte Energie in Wh 3. Tatsächliche Batterietest-Zeit im Format <Time2>
[SOURce:]BATTery:TEST {RESet   RESETAH   RESETWH   RESETTIME}	Zurücksetzen aller oder einzelner Ergebniswerte. Kann genutzt werden, um zwischen mehreren Testläufen die Werte zu nullen. Verlassen und Wiedereintritt in den Batterietestmodus hat denselben Effekt. <b>RESet</b> = setzt alles auf Null zurück <b>RESETAH</b> = setzt nur den Ah-Wert auf Null <b>RESETWH</b> = setzt nur den Wh-Wert auf Null <b>RESETTIME</b> = setzt nur den Zeitzähler auf Null

## 5.4.18.4 Tipps und Hinweise

- Entladene Batteriekapazität wird nicht von der geladenen abgezogen, ebenso bei der Energie.
- Um während eines langen Dynamischen Tests den Zwischenstand von Ah und Wh einer Phase oder eines Durchlaufs zu ermitteln, könnten sie z. B. während der Ruhepause vor und nach einem Testabschnitt ausgelesen und die Differenz berechnet werden.
- Wenn die 10 h maximale Dauer einer Phase beim Dynamischen Test nicht ausreichen, kann der Dynamische Test auch anders umgesetzt werden. Man müsste die Ablaufsteuerung dann in die eigene Software auslagern und am Gerät nur "Statisches Laden" und "Statisches Entladen" separat konfigurieren und mit Wartezeiten kombinieren. Die einzelnen Tests können theoretisch endlos lang laufen.
- Der sogenannte "dynamische Test", wie nur verfügbar bei bidirektionalen Geräten, kombiniert eine oder mehrere Lade- und Entladephasen in einem Ablauf. Die dabei gezählten Ah- und Wh-Werte werden in beiden Phasen hochgezählt. Es ist daher nicht möglich am Ende die tatsächlich an die Batterie abgegebene Kapazität bzw. Energie zu erhalten.



## 5.4.19 Spezifische Befehle und Syntax bei Serie PS 2000 B TFT

### 5.4.19.1 Sonderbefehle

Befehl	Beschreibung
<b>SYSTEM:CONFIg:TRACking_{ ON   OFF }</b> <b>SYSTEM:CONFIg:TRACking?</b>	Aktiviert bzw. deaktiviert den sog. Tracking-Modus der Triple-Modelle (siehe Gerätehandbuch PS 2000 B TFT Triple). Es gelten dieselben Gegebenheiten wie bei der manuellen Bedienung des Tracking-Modus, d. h. bei aktiviertem Modus kann man den zweiten Ausgang nicht separat steuern, sondern nur auf ihn bezogene Werte auslesen.

### 5.4.19.2 Erweitertes Befehlsformat

Die Serie PS 2000 B TFT bietet Modelle mit zwei separaten Leistungsausgängen (Triple-Modelle), die man getrennt ansteuern kann. Während das bei ModBus einfach durch die Verwendung unterschiedlicher Slave-Adressen erfolgt, muß man bei SCPI andere Wege gehen. Der SCPI-Standard läßt die Verwendung eines Selektors zu, der für bestimmte Befehle auswählt, für welchen Ausgang der Befehl gilt. Dieser Selektor ermöglicht es sogar, nicht nur den einen oder anderen Ausgang anzusteuern, sondern auch beide gleichzeitig.

Dabei gilt:

- Wird kein Selektor verwendet, geht ein Befehl immer an Ausgang 1 (linke Anzeige)
- PS 2000 B TFT Single-Modelle benötigen keinen Selektor, unterstützen aber der Logik wegen Selektor (**@1**), reagieren auf Befehle mit Selektor (**@2**) jedoch nicht bzw. mit einem Fehler

Übersicht der Selektoren und Kombinationen:

Selektor	Beschreibung
<b>(@1)</b>	Befehl geht nur an Ausgang 1 (gleichbedeutend mit einem Befehl ohne Selektor)
<b>(@2)</b>	Befehl geht nur an Ausgang 2
<b>(@1,2)</b> oder <b>(@1:2)</b>	Befehl geht an Ausgang 1 und 2 gleichzeitig

Befehle, die Selektion des Ausgangs bei Triple-Modellen erfordern:

Schreiben	Abfragen
	<b>MEASURE[:SCALAR]:CURRENT[:DC]?</b>
	<b>MEASURE[:SCALAR]:POWER[:DC]?</b>
	<b>MEASURE[:SCALAR]:VOLTAGE[:DC]?</b>
<b>OUTPUT[:STATE]</b>	<b>OUTPUT[:STATE]?</b>
<b>[SOURCE:]CURRENT</b>	<b>[SOURCE:]CURRENT?</b>
<b>[SOURCE:]CURRENT:PROTECTION[:LEVEL]</b>	<b>[SOURCE:]CURRENT:PROTECTION[:LEVEL]?</b>
<b>[SOURCE:]CURRENT:LIMIT:HIGH</b>	<b>[SOURCE:]CURRENT:LIMIT:HIGH?</b>
<b>[SOURCE:]VOLTAGE</b>	<b>[SOURCE:]VOLTAGE?</b>
<b>[SOURCE:]VOLTAGE:PROTECTION[:LEVEL]</b>	<b>[SOURCE:]VOLTAGE:PROTECTION[:LEVEL]?</b>
<b>[SOURCE:]VOLTAGE:LIMIT:HIGH</b>	<b>[SOURCE:]VOLTAGE:LIMIT:HIGH?</b>
<b>SYSTEM:LOCK</b>	<b>SYSTEM:LOCK:OWN?</b>

Der Selektor wird immer am Ende eines Befehls angehängt, wobei man unterscheidet zwischen Schreibbefehlen und Anfragebefehlen. Schreibbefehle erfordern eine Trennung mit Komma.

Beispiele zur Syntax für die Selektion des Ausgangs:

Befehl	Aktion
<b>VOLT 29,(@1)</b>	Setzt 29 V für Ausgang 1, hat denselben Effekt wie <b>VOLT 29</b>
<b>CURR?,(@2)</b>	Fragt den Stromsollwert von Ausgang 2 ab -> Achtung, das Leerzeichen muß verwendet werden, ansonsten kommt ein Syntaxfehler!
<b>SYST:LOCK ON,(@1:2)</b>	Schaltet Ausgang 1 und 2 gleichzeitig auf Fernsteuerung um -> sollte dieser Befehl bei einem Single-Modell angewendet werden, hat der Fehler, der dadurch erzeugt wird, Vorrang und es würde nicht in Fernsteuerung wechseln



## 5.4.19.3 Ausgangsbezogene Rückgaben

Ebenso wie es erforderlich ist bei den Triple-Modellen bestimmte Befehle einem der beiden Ausgänge zuzuordnen, muß man bei Rückgaben wie z. B. einer Fehlermeldung unterscheiden können, von welchem Ausgang sie kommen. Das betrifft jedoch nur Kommunikationsfehler, wie man sie mit **SYST:ERR:ALL?** abfragt. Diese sind daher zwecks Verarbeitung gekennzeichnet. Beispiel: **-221,"Settings conflict;@2"** kam vom Gerät. Selektor **@2** kennzeichnet den Fehler als dem Ausgang 2 zugehörig.

Bei anderen Rückgaben wird kein Selektor verwendet, es gilt aber eine gewisse Logik:

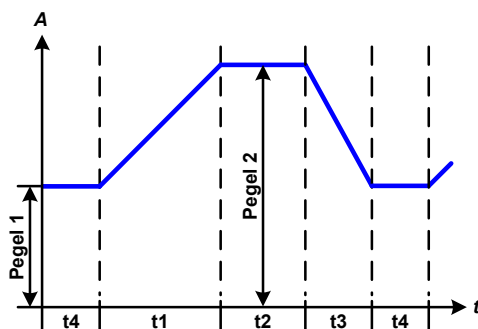
- **VOLT?\_(@2)** gibt z. B. **20.45V** zurück, aber ohne Selektor, da die Antwort direkt auf die Anfrage erfolgt, die explizit an Ausgang 2 ging
- **MEAS:ARR?\_(@1:2)** gibt sechs kommagetrennte Istwerte zurück, wovon die ersten drei zu Ausgang 1 gehören und die zweiten drei zu Ausgang 2; auch hier gibt es keine extra Zuordnung durch einen Selektor

## 5.4.20 Spezifische Befehle bei Serie EL 3000 B

Die sog. 3000er Serien unterstützen auch SCPI, wobei die Standardbefehle identisch mit denen anderer Serien sind. Ein spezielles Feature, das es so nur bei der Serie EL 3000 B gibt, ist der Rampengenerator. Man kann ihn deshalb auch als Funktionsgenerator für Standardfunktionen wie Rechteck, Dreieck oder Trapez betrachten. Eine Besonderheit bei dem Rampengenerator ist, daß dieser zur Laufzeit der Funktion im Hintergrund neu konfiguriert und mit der geänderten Konfiguration durch einen Trigger-Befehl irgendwo innerhalb des momentan generierten Verlaufs neu gestartet werden kann. Das grundlegende Konzept ist, daß der Generator konfiguriert wird und nach dem Start im Gerät automatisch abläuft. Da die Daten nicht gespeichert werden, muß der Generator nach dem Einschalten des Gerätes mindesten einmal neu konfiguriert werden muß, was auch bedeutet, das Gerät kann nicht ohne eine Steuerung auskommen.

### 5.4.20.1 Konfigurationsbefehle für den Rampengenerator

Der Rampengenerator kann, wie beim Funktionsgenerator anderer Serien, entweder auf den Strom oder die Spannung zugewiesen werden. Der jeweils andere Wert bleibt dann statisch, ebenso die Leistung. Er basiert auf Rampen, die durch mehrere Zeiten für Anstieg/Abfall, sowie zwei Pegel definiert werden. Das bedeutet, man benötigt nur wenige Befehle insgesamt für die Konfiguration. Verdeutlichung der Zuordnung:



Pegel 1: unterer Pegel

Pegel 2: oberer Pegel

t1 = Verweilzeit am unteren Pegel

t2 = Zeit für die ansteigende Rampe

t3 = Verweilzeit am oberen Pegel

t4 = Zeit für die abfallende Rampe

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCTION:RAMP:SElect_{VOLTage   CURRent   NONE} [SOURce:]FUNCTION:RAMP:SElect?	Wählt die Zuweisung der Rampengeneration zur Spannung ( <b>VOLTage</b> ) oder Strom ( <b>CURRent</b> ) oder keins von beidem ( <b>NONE</b> ) bzw. fragt die gesetzte Zuweisung ab. Dieser Befehl muß immer als erstes gesendet werden, soll die Konfiguration geschrieben werden, sowie auch zum Lesen.
[SOURce:]FUNCTION:RAMP:INDex_{0...3} [SOURce:]FUNCTION:RAMP:INDex?	Wählt einen der 6 Parameter, die konfiguriert werden müssen. <b>0</b> = Unterer Pegel P1 und Zeit t1 (Anstieg P1->P2) <b>1</b> = Oberer Pegel P2 und Zeit t2 (Haltezeit von P2) <b>4</b> = Zeit t3 (abfallende Flanke, P2 -> P1) <b>3</b> = Zeit t4 (Haltezeit von P1) Der obere Pegel ist für eine ansteigende Rampe der Endpunkt, sowie für eine abfallende Rampe der Anfangspunkt. Umgekehrt dann für den unteren Pegel. Der Pegel an sich wird mit dem <b>:OFFSet</b> -Parameter definiert, daher muß der zu setzende Pegel vorher gewählt werden. Die Zeiten verteilen sich pro Pegel auf zwei Indexe und werden mit dem <b>:TIME</b> -Befehl gesetzt.
[SOURce:]FUNCTION:RAMP:OFFSet_{NR2}> [SOURce:]FUNCTION:RAMP:OFFSet?	<i>Funktioniert nur mit den Indexen 0 und 1, wie oben beschrieben.</i> Legt den Pegel der Spannung oder des Stromes in Prozent vom Nennwert fest, je nach Wahl der Zuweisung mit <b>:SElect</b> . Der Wertebereich ist hier 0...100% von $U_{Nenn}$ bzw. $0...I_{Nenn}$ .
[SOURce:]FUNCTION:RAMP:TIME_{NR1}> [SOURce:]FUNCTION:RAMP:TIME?	Definiert die vorher mit <b>:INDex</b> gewählte Zeit. Der Wert wird in Mikrosekunden angegeben, Bereich: 10 µs ... 6.000.000.000 µs (6 Milliarden), was 100 Minuten entspricht. <b>Außerdem gibt es eine technisch bedingte Schrittweite von 10, so daß Zeitwerte die kein glattes Vielfaches von 10 sind auf- oder abgerundet werden, wenn der Wert intern geschrieben wird.</b> Die Gesamtzeit aller Zeiten darf 100 Minuten nicht überschreiten. Eine der vier Zeiten kann auf genau 100 Minuten gesetzt werden, wenn die anderen drei auf das Minimum von 10 µs gesetzt sind.

Hinweise zur Konfiguration:

- Die Reihenfolge der Wahl der 6 Indexe ist nicht vorgegeben
- Sollte P1 größer sein als P2 wird die generierte Kurve invertiert

## 5.4.20.2 Steuerung des Rampengenerators

Nach der Konfiguration kann direkt gestartet werden. Dabei steht dem Anwender zur Wahl zuerst den DC-Eingang einzuschalten oder zuerst die Funktion zu starten (Direktstart), was den DC-Eingang automatisch mit einschaltet. Der Unterschied zum Direktstart ist der, daß die Last vor dem Start der Funktion noch für eine gewisse Zeit statisch arbeiten würde.

Befehl	Beschreibung
[SOURce:]FUNCtion:RAMP:STATe_{RUN   STOP} [SOURce:]FUNCtion:RAMP:STATe?	Startet die Funktion mit <b>RUN</b> bzw. stoppt sie mit <b>STOP</b> jederzeit während des Ablaufs.
[SOURce:]FUNCtion:RAMP:TRIGger_{TRIGger}	Löst die Übernahme einer im Hintergrund und zur Laufzeit des Generators geladenen, neuen Konfiguration Übergangslos aus, also ohne den Generator zu stoppen. Das vermeidet Lücken im Ablauf. Falls die steuernde Software eine Zeiterfassung des Ablaufs ab Start hat, kann das Triggern auch zeitlich so günstig platziert werden, daß es genau am Ende eines Kurvenablaufs stattfindet.

Programmierbeispiele sind in „5.5.5. Programmierbeispiele zum Rampengenerator der Serie EL 3000 B“ zu finden.

## 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	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	—	✓	✓	✓	✓	✓

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 zum Slave 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 (max. Widerstand) 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% (die meisten Serien) bzw. 0...103% (bestimmte Lastserien) 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)  
Die Master-Last 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 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 des Stromes des MS-Systems abfragen: **SYST:NOM:CURR?**
13. Nennwert der 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, dazu:
  - 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 dieser fließt irgendwann tatsächlich, würde OCD ausgelöst. In dem Fall erfolgt keine Abschaltung des Ausgangs, weil der Aktionstyp „Warnung“ gesetzt wurde.

## 19. DC-Ausgang einschalten, um mit dem System 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 initialisieren. 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 erneut ausgeführt werden, wenn nötig.

## 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	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	✓

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 einen 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 zwischen Spitze und Mittellinie, welcher hier durch Start(DC) und End(DC) definiert wird. Siehe dazu auch das Gerätehandbuch bzw. Abschnitt 5.4.12.5. Demzufolge muß der Offset, welcher die Mittellinie ergibt, 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 der Tabelle in 5.4.12.5 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.*

Für das Schreiben von Sequenzpunktdaten in den Arbiträrgenerator gelten folgende Regeln:

- Soll der AC-Anteil eines Sequenzpunkts genutzt werden (Sinuskurvenerzeugung), dann müssen die DC-Werte vor den AC-Werten geschickt werden
- Werden Rampen programmiert, d. h. DC-Start und DC-Ende sind nicht gleich, dann wird eine min. Steigung (Verhältnis von Änderung des Wertes und Zeit) erwartet oder die Daten werden abgelehnt; bei 10000er Serien ab einer bestimmten Firmwareversion ist diese Einschränkung nicht mehr vorhanden -> Hinweis: sollte beim Laden der Sequenzpunktdaten ein Fehler zurückgegeben werden, so liegt dieser mit großer Wahrscheinlichkeit an einer unzureichenden Steigung
- Die Zeit des Sequenzpunkts muß als letzter Wert geschrieben werden, weil er eine Überprüfung der min. Steigung auslöst.

Befehlsabfolge (Annahme: Gerät ist bereits in Fernsteuerung):

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	<b>FUNC:GEN:SEL CURR</b>	Wählt Arbiträrgenerator für Strom. Ab hier befindet sich das Gerät im Funktionsgenerator-Modus	852
2	<b>FUNC:GEN:WAVE:LEV_12</b>	Wählt die 12. Sequenz zum Schreiben aus	1092
3	<b>FUNC:GEN:WAVE:IND_5</b>	Index 5 wählen: Startwert DC-Anteil bzw. Offset AC-Anteil	
4	<b>FUNC:GEN:WAVE:DAT_50</b>	Offset auf 50 A setzen	1092
5	<b>FUNC:GEN:WAVE:IND_6</b>	Index 6 wählen: Endwert DC-Anteil bzw. Offset AC-Anteil	
6	<b>FUNC:GEN:WAVE:DAT_50</b>	Offset auf 50 A setzen. Wenn sich der Offset über den Zeitraum des Ablaufs nicht ändern soll, so muß Endwert = Startwert gesetzt werden.	1092
7	<b>FUNC:GEN:WAVE:IND_2</b>	Index 2 wählen: Startfrequenz	
8	<b>FUNC:GEN:WAVE:DAT_10</b>	Startfrequenz auf 10 Hz setzen	1092
9	<b>FUNC:GEN:WAVE:IND_3</b>	Index 3 wählen: Endfrequenz	

# ModBus & SCPI

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
10	<b>FUNC:GEN:WAVE:DAT_10</b>	Endfrequenz auf 10 Hz setzen. Wenn sich die Frequenz über den Zeitraum des Ablaufs nicht ändern soll, so muß Endwert = Startwert gesetzt werden.	1092
11	<b>FUNC:GEN:WAVE:IND_0</b>	Index 0 wählen: Startwert AC-Anteil (Amplitude)	
12	<b>FUNC:GEN:WAVE:DAT_30</b>	Amplitude auf 30 A setzen	1092
13	<b>FUNC:GEN:WAVE:IND_1</b>	Index 1 wählen: Endwert AC-Anteil (Amplitude)	
14	<b>FUNC:GEN:WAVE:DAT_30</b>	Amplitude auf 30 A setzen. Wenn sich die Amplitude über den Zeitraum des Ablaufs nicht ändern soll, so muß Endwert = Startwert gesetzt werden.	1092
15	<b>FUNC:GEN:WAVE:IND_7</b>	Index 7 wählen: Dauer der Sequenz	
16	<b>FUNC:GEN:WAVE:DAT_60</b>	Ablaufdauer auf 60 s festlegen	1092
17	<b>FUNC:GEN:WAVE:END_12</b>	Endsequenzpunkt auf 12 festlegen	860
18	<b>FUNC:GEN:WAVE:STAR_12</b>	Startsequenzpunkt auf 12 festlegen	859
19	<b>FUNC:GEN:WAVE:NUM_1</b>	Setze die Anzahl der Durchläufe auf 1, weil der eine Sequenzpunkt allein schon 60 s läuft. Alternativ könnte man auch die Dauer des Sequenzpunkts auf 1 s festlegen und 60 Durchläufe wählen.	861
20	<b>FUNC:GEN:WAVE:SUBM</b>	Lädt die zuvor gesetzten Werte in den Funktionsgenerator	

Nun sollten noch die drei globalen Sollwerte gesetzt werden, bei manueller Bedienung „U/I/P Limits“ genannt, damit nicht irgendwelche vorher mal eingestellten Werte die generierte Funktion durch unerwartete Begrenzung verfälschen.



*Wichtig für Master-Slave-Systeme: die Slaves selbst haben die programmierte Funktion nicht laufen, denn sie werden durch den Master über den Share-Bus gesteuert. Damit diese wie erwartet mitarbeiten, ist es zwingend nötig, diese globalen Sollwerte an den Master zu senden, der sie an die Slaves weitergibt.*

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	Register
21	<b>VOLT_0</b>	Spannung auf 0 V setzen, damit die auf den Strom angewendete Sinuskurve sauber im Stromregelmodus zwischen Minimum und Maximum pendeln kann	500
22	<b>POW_MAX</b>	Leistungssollwert mit <b>MAX</b> unabhängig vom Gerätemodell setzen	502 (498)

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

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
23	<b>INP_ON OUTP_ON</b>	Einschalten des DC-Eingangs bzw. des DC-Ausgangs, je nach Gerätetyp	405
24	<b>FUNC:GEN:WAVE:STAT_RUN</b>	Starten des Funktionsablaufs mit <b>RUN</b> . Dieser stoppt nach 60 s	850
25	<b>FUNC:GEN:WAVE:STAT_STOP</b>	Optional: die Funktion kann jederzeit gestoppt werden. Der DC-Eingang/-Ausgang bleibt danach zunächst eingeschaltet und kann mit dem entsprechenden Befehl ausgeschaltet werden	850
26	<b>FUNC:GEN:SEL_NONE</b>	Optional: Funktionsgenerator mit <b>NONE</b> wieder verlassen.	852



## 5.5.2.2 Befehlsabfolge für den XY-Generator

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	—	—	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	✓

Die Konfiguration und das Laden von Tabellenwerten für den XY-Generator gestalten sich ähnlich wie beim Arbi-trärgenerator. 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 Eingangs-spannungsbereich 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 auch als CSV-Datei speichern, für die Verwendung am HMI des Gerätes.

Der Meßbereich für die Führungsgröße ist auf 0...125% festgelegt, auch wenn manche elektronischen Lasten bereits ab 103% Eingangsspannung wegen Überspannung abschalten würden. Bei Netzgeräten hingegen sind niemals mehr als 100% Spannung machbar. Die abhängige Größe, I oder U, kann daher nur zwischen 0...100% gesetzt werden, somit ist bei Tabelleneintrag 3276 (4096/1,25) bereits 100% für die abhängige Größe erreicht. Somit können alle Tabellenwerte oberhalb Index 3276 auch auf dem Wert wie in 3276 bleiben.

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 vom Gerät nicht umsetzbar wären.



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

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	<b>FUNC:GEN:SEL_IU</b> Außerdem für PSB-Serien: <b>FUNC:GEN:SEL_IUPS</b> <b>FUNC:GEN:SEL_IUEL</b>	Wähle XY-Generator als IU-Funktion, also $I = f(U)$ . Ab hier be-findet sich das Gerät im Funktionsgenerator-Modus.  IU-Tabelle nur im Quelle-Betrieb IU-Tabelle nur im Senke-Betrieb	855  856 856
2	<b>FUNC:GEN:XY:LEV_0</b>	Wählt Tabelleneintrag 0 zum Schreiben aus	2600
3	<b>FUNC:GEN:XY:DAT_0</b>	Stromwert für Tabelleneintrag 0 schreiben, hier: 0 A (Beispiel-wert)	2600
...			
8192	<b>FUNC:GEN:XY:LEV_3276</b>	Wählt Tabelleneintrag 3276 zum Schreiben aus	5875
8193	<b>FUNC:GEN:XY:DAT_120</b>	Stromwert für Tabelleneintrag 3276 schreiben, hier: 120 A (Beispielwert)	5875
8194	<b>FUNC:GEN:XY:SUBM</b>	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 haben irgendwelche vormals gesetzten Werte.

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	Register
8195	<b>VOLT_MAX</b> bzw. <b>CURR_MAX</b>	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.	500 501
8196	<b>POW_MAX</b>	Leistungssollwert auf Maximum setzen, unabhängig vom Ge-rätemodell	502
	Zusätzlich für PSB-Serien: <b>SINK:CURR_MAX</b> <b>SINK:POW_MAX</b>	Nur nötig in den Modi <b>IU</b> und <b>IUEL</b> , wo das Gerät im entweder ausschließlich im Senke-Betrieb arbeitet oder in diesen wech-seln kann	499 498

# ModBus & SCPI

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

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
8197	INP_ON OUTP_ON	Einschalten des DC-Eingangs bzw. des DC-Ausgangs, je nach Gerätetyp	405
8198	INP_OFF OUTP_OFF	Später: Ausschalten des DC-Eingangs bzw. des DC-Ausgangs, je nach Gerätetyp, um die Funktion zu stoppen	405
8199	FUNC:GEN:SEL_NONE	Optional: Funktionsgenerator mit <b>NONE</b> wieder verlassen.	855 (856)

## 5.5.2.3 Befehlsfolge zur Realisierung einer ansteigenden Rampe (Arbiträrgenerator)

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	✓

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-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-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.

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 umsetzen. Die Endspannung von 50 V soll für 3 Minuten konstant bleiben (die Zeit hier ist beliebig variabel). Die zwei Sequenzpunkte, die man dazu benötigt, könnten Punkt 1 und 2 sein. Fernsteuerung ist bereits aktiv, es wird zunächst konfiguriert.

Da eine Rampe die Spannung linear ansteigen oder abfallen läßt, also nur den DC-Anteil des Sequenzpunktes nutzt, sollten die zum hier nicht genutztem AC-Anteil gehörenden Parameter (Indexe 0, 1, 2, 3, 4) zur Sicherheit alle auf 0 gesetzt werden, damit nicht irgendwelche vormals verwendeten Werte den späteren Ablauf stören können. Die Befehle, die das umsetzen, sind im Beispiel unten nicht aufgeführt.

### Sequenzpunkt 1, die ansteigende Flanke

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	FUNC:GEN:SEL_VOLT	Wählt Arbiträrgenerator für Spannung. Ab hier befindet sich das Gerät im Funktionsgenerator-Modus	851
2	FUNC:GEN:WAVE:LEV_1	Wählt die 1. Sequenz zum Schreiben aus	900
3	FUNC:GEN:WAVE:IND_5	Index 5 wählen: Startspannung der Rampe	
4	FUNC:GEN:WAVE:DAT_0	Auf 0 V setzen	900
5	FUNC:GEN:WAVE:IND_6	Index 6 wählen: Endspannung der Rampe	
6	FUNC:GEN:WAVE:DAT_50	Auf 50 V setzen	900
7	FUNC:GEN:WAVE:IND_7	Index 2 wählen: Dauer der Flanke	
8	FUNC:GEN:WAVE:DAT_6	Auf 6 Sekunden setzen	900

### Sequenz 2, die konstante Spannung am Ende der Rampe

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
9	FUNC:GEN:WAVE:LEV_2	Wählt die 2. Sequenz zum Schreiben aus	915
10	FUNC:GEN:WAVE:IND_5	Index 5 wählen: Startwert für die statische Spannung	
11	FUNC:GEN:WAVE:DAT_50	Auf 50 V setzen (muß gleich dem Endwert von Sequenzpunkt 1 sein)	915
12	FUNC:GEN:WAVE:IND_6	Index 6 wählen: Endwert für die statische Spannung	
13	FUNC:GEN:WAVE:DAT_50	Auf 50 V setzen	915

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
14	<b>FUNC:GEN:WAVE:IND_7</b>	Index 2 wählen: Dauer	
15	<b>FUNC:GEN:WAVE:DAT_180</b>	Auf 3 Minuten setzen	915

## Arbiträrgenerator konfigurieren

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
16	<b>FUNC:GEN:WAVE:END_2</b>	Legt den 2. Sequenzpunkt als Endpunkt fest	860
17	<b>FUNC:GEN:WAVE:STAR_1</b>	Legt den 1. Sequenzpunkt als Startpunkt fest	859
18	<b>FUNC:GEN:WAVE:NUM_1</b>	Anzahl der Durchläufe	861
19	<b>FUNC:GEN:WAVE:SUBM</b>	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-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	Register
20	<b>FUNC:GEN:WAVE:STAT_RUN</b>	Starten des Funktionsablaufs (RUN)	850

Ohne Wiederholung stoppt die Funktion bei 1-maligem Durchlauf und 2 genutzten Sequenzpunkten nach der sich ergebenden Zeit von 3 m 6 s, die Spannung würde dann auf 0 sinken. Soll die Spannung danach nicht sinken und die Zeit am Ende der Funktion so lang wie möglich sein, müßte man eventuell die restlichen 97 Sequenzen bemühen. Pro Sequenzpunkt sind max. 10 h machbar, insgesamt also  $98 \times 10 \text{ h} = 980 \text{ h}$  statischer Wert.

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

ELR9	ELR5	PS9	PSI9	PSI5	PSE	DT	PST	PSIT	EL3	PSB	PSBE	PS3	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
—	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	✓	✓	—	—

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		
<b>ET</b>	x	x (Beispiel 1)
<b>UI</b>		x (Beispiel 3)
<b>DAY ET</b>	x (Beispiel 2)	x
<b>DAY UI</b>		x (Beispiel 4)

### 5.5.3.1 Beispiel 1

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

# ModBus & SCPI

## Konfiguration

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	SYST:LOCK_ON	Fernsteuerung aktivieren	402
2	FUNC:PHOT:MOD_ET	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus <b>ET</b>	12001
3	FUNC:PHOT:TECH_CSI	Technologie wählen: <b>cSi</b>	12016
4	FUNC:PHOT:IMOD_MPP	Eingabemodus wählen: <b>MPP</b>	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_ENAB	Datenaufzeichnung: aktivieren	12018
8	POW_MAX	Globale Leistung auf das Maximum setzen	502
9	VOLT 30	Globale Spannungsgrenze setzen (sollte $\geq U_{oc}$ sein)	500



- Die Standard- oder Startwerte, 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: 40 °C	12052
12	FUNC:PHOT:IRR_800	Einstrahlungsstärke verändern: 800 W/m <sup>2</sup>	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:DAT?	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:DAT?	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:MOD_DAYET	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus <b>DAYET</b>	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

# ModBus & SCPI

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
6	FUNC:PHOT:FACT:ALPH_0.0003	Temperaturkoeffizient $\alpha$ zu $I_{sc}$ : 0,0003 /°C	12038
7	FUNC:PHOT:FACT:BETA_-0.003	Temperaturkoeffizient $\beta$ 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: <b>ULIK</b>	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_ENAB	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 Standard- oder Startwerte, 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:MOD_WRIT	Zugriffsmodus Schreiben wählen	12006
19	FUNC:PHOT:DAY_CLE	Alte Daten löschen (sollte immer vor dem Laden neuer Daten ausgeführt werden)	12007
20	FUNC:PHOT:DAY:DAT_1,_500,_20,_1500	Ersten Tages-Datensatz in Index 1 schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 500 W/m² Temperatur: 20°C Verweildauer: 1500 ms	12010
		Die Verweildauer ist zwar generell auf minimal 500 ms definiert, der Wert für den <u>ersten</u> Tagesdatensatz sollte aber auf 1000 ms oder höher gesetzt werden, sonst könnte der Ablauf der Funktion fehlschlagen.	
21	FUNC:PHOT:DAY:DAT_2,_800,_28,_1500	Zweiten Tages-Datensatz in Index 2 schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 800 W/m² Temperatur: 28°C Verweildauer: 1500 ms	12010
...	...	Weitere Tages-Datensätze schreiben, insgesamt 500	...
519	FUNC:PHOT:DAY:DAT_500,_1200,_35,_20000	500. Tagesdaten-Satz in Index 1 schreiben mit: Einstrahlungsstärke: 1200 W/m² 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:DAT?	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:DAT?	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:MOD_UI	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus <b>UI</b>	12001
3	FUNC:PHOT:TECH_THIN	Technologie wählen: <b>Dünnschicht</b>	12016
4	FUNC:PHOT:IMOD_MPP	Eingabemodus wählen: <b>MPP</b>	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_DIS	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 auf: 40 V	12050
12	FUNC:PHOT:STAN:MPP:CURRE_9	MPP verschieben auf: 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



# ModBus & SCPI

## Konfiguration

Nr.	Befehl	Beschreibung	Register
1	SYST:LOCK_ON	Fernsteuerung aktivieren	402
2	FUNC:PHOT:MOD_DAYUI	PV-Simulation aktivieren, Simulations-Modus <b>DAYUI</b>	12001
3	FUNC:PHOT:TECH_CSI	Technologie wählen: <b>cSi</b>	12016
4	FUNC:PHOT:IMOD_MPP	Eingabemodus wählen: <b>MPP</b>	12017
5	FUNC:PHOT:STAN:MPP:VOLT_36	Leerlaufspannung setzen: 36 V	12050
6	FUNC:PHOT:STAN:MPP:CURR_12	Kurzschlußstrom setzen: 12 A	12051
7	FUNC:PHOT:REC:ACT_DIS	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:MOD_WRIT	Zugriffsmodus Schreiben wählen	12006
12	FUNC:PHOT:DAY_CLE	Alte Daten löschen (sollte immer vor dem Laden neuer Daten ausgeführt werden)	12007
13	FUNC:PHOT:DAY:DAT_1,1,1,300000	Ersten Tages-Datensatz in Index 1 schreiben mit: MPP-Spannung: 1 V MPP-Strom: 1 A Verweildauer: 300.000 Millisekunden => 5 Minuten	12010
14	FUNC:PHOT:DAY:DAT_2,2,2,500	Zweiten Tages-Datensatz in Index 2 schreiben mit: MPP-Spannung: 2 V MPP-Strom: 2 A	12010
...	...	Weitere Tages-Datensätze schreiben, insgesamt 1000	...
1012	FUNC:PHOT:DAY:DAT_1000,30,9,500	1000. Tagesdaten-Satz in Index 1000 schreiben mit: MPP-Spannung: 30 V MPP-Strom: 9 A	12010

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	PS2	PS1	PSI1	PSB1	PSBE1	ELR1
✓	✓	—	—	—	—	✓ <sup>(1)</sup>	—	—	✓	✓	—	—	—	—	—	✓	—	✓

(1 nicht PSI 9000 DT)

### 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:DAT_MPP2	Modus <b>MPP2</b> ("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:DAT_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:DAT_100	$I_{SC}$ auf 100 A setzen	11002
8	FUNC:GEN:MPP:IND_10	Tracking-Intervall $\Delta t$ in Millisekunden, der zeitliche Abstand zum nächsten Trackingversuch	11013
9	FUNC:GEN:MPP:DAT_3000	Zeit = 3 s	11013
10	FUNC:GEN:MPP:IND_6	$\Delta P$ , ein Differenzwert zu $P_{MPP}$ ab dessen Überschreitung das Gerät überhaupt erst wieder einen nächsten Trackingversuch startet	11006
11	FUNC:GEN:MPP:DAT_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:DAT?	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:DAT_MPP4	Modus <b>MPP4</b> ("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:DAT_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:DAT_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:DAT_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:DAT_1	Startpunkt = 1	11014
159	FUNC:GEN:MPP:IND_10	Tracking-Intervall $\Delta t$ in Millisekunden, der zeitliche Abstand zum nächsten Trackingversuch	11013
160	FUNC:GEN:MPP:DAT_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:DAT_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 $\Delta t * (\text{Ende} - \text{Start} + 1)$ . 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:DAT?	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	
314	FUNC:GEN:MPP:DAT?	Meßwerte des 75. Punktes als $U_{MPP}$ , $I_{MPP}$ und $P_{MPP}$ auslesen	11007 11008 11009
315	FUNC:GEN:MPP:IND_7	Index 7 dient zur Anwahl vor dem Auslesen der MPP-Werte	
316	FUNC:GEN:MPP:DAT?	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
- PSI 9000 2U - 24U
- PSE 9000 / PSB 9000
- alle 10000er Serien

Auf der Seite des Gerätes 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 Siemens 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. Die Schnittstellen-Module repräsentieren das Gerät dabei gegenüber dem Netzwerk als **DP-V1-Slave** mit zyklischem und azyklischem Datenverkehr, wobei der azyklische im Vordergrund steht.

### 6.2 Vorbereitung

Für die Einbindung in ein Netzwerk und 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.



*Die Hardwarekonfiguration mit den Slots ist normalerweise für steckbare Hardwaremodule an einer SPS oder Erweiterungen gedacht, daher der Name "Slot". Ein Netzgerät oder eine elektronische Last werden als periphere Hardware mit mehreren Software-Slots betrachtet. Das Slotmodell wird dazu genutzt, diverse Funktionen der Fernsteuerung auf die Slots aufzuteilen, um bequemer damit arbeiten zu können. Die Adressierung erfolgt dabei genauso, als würde man ein echtes Steckmodul, z. B. einen digitalen I/O-Port ansprechen.*

### 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, zumindest die Slots 1-4. Eine Minimalkonfiguration mit 8 Slots deckt die meisten Serien ab, andere benötigen bis zu 12.

Übersicht der Slots und deren Zuordnung:

Slot	Slot-Name	Beschreibung
1	Device status	Zyklischer Gerätezustand (für die Bitaufteilung siehe Register 505) + Azykl. Slot 1
2	Actual voltage	Zyklischer Istwert Spannung (für Umrechnung siehe 4.4) + Azykl. Slot 2
3	Actual. current	Zyklischer Istwert Strom (für Umrechnung siehe 4.4) + Azykl. Slot 3
4	Actual power	Zyklischer Istwert Leistung (für Umrechnung siehe 4.4) + Azykl. Slot 4
5	Reserved slot 5	für azyklischen Verkehr (DP-V1, azyklischer Slot 5)
...		
12	Reserved slot 12	für azyklischen Verkehr (DP-V1, azyklischer Slot 12)



## 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. Eine Slotkonfiguration ist für die zyklischen Objekte notwendig und sollte wie folgt umgesetzt werden:

Slot	Slot-Name	Beschreibung
1	Input 2 words	Zyklischer Gerätezustand (für die Bitaufteilung siehe Register 505)
2	Input 1 word	Zyklischer Istwert Spannung am DC-Eingang/Ausgang (für Umrechnung siehe 4.4)
3	Input 1 word	Zyklischer Istwert Strom am DC-Eingang/Ausgang (für Umrechnung siehe 4.4)
4	Input 1 word	Zyklischer Istwert Leistung am DC-Eingang/Ausgang (für Umrechnung siehe 4.4)

Für azyklische Kommunikation werden die Slots 5-12 nur indirekt verwendet, und zwar über einen aus der Slotnummer und der sog. ID (wird bei Profibus verwendet) errechneten "Index". Der Index, zusammen mit Slot 0 und Subslot 1 reicht aus, um alle gemäß Registerliste adressierbaren Objekte zu verwenden. Die Registerlisten der 10000er Serien enthalten ab der Ausgabe, die zur Firmware KE 3.02 paßt, bereits diesen Indexwert in einer separaten Spalte, der ansonsten leicht berechnet werden kann, wie in „6.7.1. Fernsteuerung aktivieren/deaktivieren“ gezeigt.

## 6.5 Zyklische Kommunikation über Profibus/Profinet

Der Profibus/Profinet-Slave sendet zyklische Daten (Istwerte & Status) auf bestimmte Eingangsadressen (Slots 1-4), wenn durch den Anwender für Profibus (siehe „6.3. Slot-Konfiguration für Profibus“) oder Profinet (siehe „6.4. Slot-Konfiguration für Profinet“) korrekt definiert. Diese Daten sind, sofern es sich um Istwerte handelt, gemäß „4.4. Umrechnung der Soll- und Istwerte“ 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 der Registerliste für alle Serien an Position 508 und an dieser Stelle auch für den Gebrauch mit Profibus/Profinet freigegeben, indem für dieses Register ein Slot und ein Index angegeben sind. Das Prinzip gilt für alle Register, denen ein Slot/Index zugeordnet wurde.

Gemäß den Abschnitten 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 Slots für den azyklischen Zugriff werden nur wegen der Reservierung der Slotadressen und des Speicherbereiches plaziert. Dabei ist irrelevant, daß sie nur Eingangsadressen belegen.



*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. Alternativ kann man auch die Speicheradressen der Slots direkt ansprechen.

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.

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 und 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.



*Die Methode der Berechnung der ID ist abhängig von der CPU. Ältere CPUs (300er, 400er) nutzen die E/A Adresse des jeweiligen Slots, neuere CPUs wie 1200er oder 1500er zusammen mit TIA Portal nutzen eine der sog. Systemkonstanten in den PLC-Variablen*

4. 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
5. Verarbeitung der vom Gerät bei einer Anfrage zurückgegebenen Daten

## 6.7 Beispiele für azyklische Kommunikation

Hinweis: es wird davon ausgegangen, die Slotkonfiguration für das Gerät ist bereits korrekt erfolgt.

Die Beispiele unten beziehen sich auf die Verwendung der von Fa. Siemens hergestellten Steuerungssoftware STEP7, welche in früheren Versionen Funktionsblöcke (SFB52, SFB53) für azyklischen Zugriff (DP-v1) bereitstellte, die in neueren Versionen (TIA Portal) nun als Funktionen namens **RDREC** (Datensatz lesen) und **WRREC** (Datensatz schreiben) implementiert sind und dieselben Parameter ID, INDEX und MLEN als Eingang benötigen. Diese drei müssen ermittelt werden, wobei die ID für ein bestimmtes Gerät immer gleich bleibt.

### 6.7.1 Fernsteuerung aktivieren/deaktivieren

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

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

1. Finden Sie in der Registerliste den passenden Befehl, hier: Register 402 - Fernsteuerungsmodus.
2. Ermitteln Sie die Werte von Slot und Index (dezimal) in den entsprechenden Spalten der Registerliste, hier für das Beispiel sind das Slot 2 und Index 1. Für Profinet, zumindest falls die Registerliste eine separate Spalte für den Profinet-Index enthält, dort ablesen, ansonsten berechnen (siehe Schritt 4).
3. Für ältere CPUs wie die 300er lesen Sie aus der Slot-Konfiguration des Gerätes die E/A-Adresse für Slot 2 ab, um den Parameter „ID“ zu erhalten. Dieser ist standardmäßig 260 bzw. anders dargestellt DW#16#104. Für neuere CPUs wie die 1200er ist die ID gleich der "Hw\_Kennung" aus den Systemkonstanten des Slots 2.
4. Die aus der Registerliste entnommenen Werte für "Slot" und "Index" (Achtung, Kleinschreibung zwecks Unterscheidung!) gehen in den Eingabe-Parameter INDEX für azyklische Bausteine über:

Profibus: **INDEX** = Index = 1

**ID** = wie abgelesen, z. B. 260 bzw. DW#16#104

**MLEN** = 2 (entspricht einem ModBus-Register)

Profinet: **INDEX** (berechnet) = Slot aus Registerliste \* 255 + 1 + Index aus Registerliste = **512 (0x200)**

**ID** = wie abgelesen, z. B. 260 bzw. DW#16#104, oder wie aus der "Hw\_Kennung" abgelesen

**MLEN** = 2 (Länge in Bytes, entnommen aus der Registerliste für Register 402)

5. Nehmen Sie in Ihrer Automatisierungssoftware einen geeigneten Baustein, zum Beispiel SFB53 / DB53, oder eine Funktion wie WRREC.
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 Eingang **REQ** ein, zusammen mit den anderen drei und führen Sie den Baustein SFB53 bzw. die Funktion WRREC 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 die Werte von Slot und Index (dezimal) in den entsprechenden Spalten der Registerliste, hier für das Beispiel sind das Slot 2 und Index 24. Für Profinet, zumindest falls die Registerliste eine separate Spalte für den Profinet-Index enthält, dort ablesen, ansonsten berechnen (siehe Schritt 4).
3. Für ältere CPUs wie die 300er lesen Sie aus der Slot-Konfiguration des Gerätes die E/A-Adresse für Slot 2 ab, um den Parameter „ID“ zu erhalten. Dieser ist standardmäßig 260 bzw. anders dargestellt DW#16#104. Für neuere CPUs wie die 1200er ist die ID gleich dem "Hw\_Kennung" aus den Systemkonstanten des Slots 2.
4. Die aus der Registerliste entnommenen Werte für "Slot" und "Index" (Achtung, Kleinschreibung zwecks Unterscheidung!) gehen in den Eingabe-Parameter INDEX für azyklische Bausteine über:

Profibus: **INDEX** = Index = 1

**ID** = wie abgelesen, z. B. 260 bzw. DW#16#104

**MLEN** = 2 (entspricht einem ModBus-Register)

Profinet: **INDEX** (berechnet) = Slot aus Registerliste \* 255 + 24 + Index aus Registerliste = **535 (0x217)**

**ID** = wie abgelesen, z. B. 260 bzw. DW#16#104, oder wie aus der "Hw\_Kennung" abgelesen

**MLEN** = 2 (Länge in Bytes, entnommen aus der Registerliste für Register 501)

- Nehmen Sie in Ihrer Automatisierungssoftware einen geeigneten Baustein, zum Beispiel SFB53 / DB53, oder eine Funktion wie WRREC.
- 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  $52428 \div 17 = 3084 \rightarrow 0x0C0C$ .
- Geben Sie den Steuerungswert am Eingang **REQ** des Bausteins SFB53 bzw. der Funktion WRREC 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. Neben den zyklisch übertragenen Werten können alle lesbaren Informationen auch azyklisch 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 die Werte für ID, INDEX und MLEN wie in den obigen Beispielen gezeigt und geben Sie diese zusammen mit der Anzahl der zu lesenden Daten (4 Bytes oder 2 Words, abhängig davon, wie die Software den Eingang definiert) am Eingang **REQ** des Bausteins SFB52 bzw. der Funktion RDREC 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, was 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  $250 \text{ V} \cdot 0x263A / 52428 = 46,7 \text{ V}$ .

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

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

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-Gerätes: die Istwerte von Strom und Leistung werden im Senke-Betrieb auf der Anzeige des Gerätes mit negativem Vorzeichen 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 (zyklisch im Slot 1) signalisiert. Mit Hilfe des Bits können Istwerte nach dem Auslesen und für spätere Weiterverarbeitung negiert werden.*



## 7. CANopen

Bei CANopen sind die für ein Gerät verfügbaren Kommunikationsobjekte üblicherweise in einer EDS/XDD-Datei (Electronic Data Sheet) definiert. Sie wird mit dem Gerät auf USB-Stick mitgeliefert bzw. kann online von der Webseite des Herstellers des Gerätes abgerufen werden. Das EDS kann in entsprechender Software eingebunden werden. Die EDS-Indexe werden nicht gesondert erläutert, 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 „4.8.7. 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.

CANopen als Datenübertragungsprotokoll wird auch bei **EtherCAT** verwendet. Der Unterschied ist dort, daß man kein EDS/XDD laden muß bzw. nicht laden kann und die sog. Objektliste aus dem Gerät herunterlädt, in die Steuerungsumgebung. Dieser Abschnitt gilt gleichsam für EtherCAT-Anwender, da das Gerät hauptsächlich über SDO-Zugriff steuerbar ist.



*Das CANopen-Modul IF-AB-CANO bietet keinen Busabschlußwiderstand. Daher muß die Bussterminierung hier am Kabel erfolgen.*

### 7.1 Einschränkungen

Intern ist Kommunikation auf ModBus basiert, das einen Registersatz hat, der bei Adresse 0 anfängt. Da bei CANopen der Benutzerbereich von 0x2001 bis 0x5FFF positioniert ist, werden die ModBus-Adressen um den Betrag 0x2001 für die Adressierung in CANopen verschoben. Dabei wird der Registersatz und seine Adressaufteilung, wie in den Registerlisten aufgeführt, beibehalten. Das bedeutet, daß man bei CANopen nicht alle Features des Gerätes nutzen kann, denn man kann nur bis Register 16383 adressieren.

### 7.2 Vorbereitung (nicht EtherCAT)

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

1. CAN-Kabel mit gewünschter Länge und fest installiertem oder 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. der Fall 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., 7.3 und 9., sowie die externen Registerlisten-PDFs.

### 7.3 Anwendung der Benutzerobjekte (Indexe)

Das über CANopen verwendete Datenformat ist an ModBus angelehnt. Ein bestimmter Index ist dabei mit einem bestimmtem ModBus-Register verbunden. Der CANopen-Standard gibt 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.

#### 7.3.1 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.



## 7.4 Konkrete Beispiele

### 7.4.1.1 Fernsteuerung übernehmen

Wie in „4.8.7.5. 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.

### 7.4.1.2 Einen Sollwert setzen

Nachdem die Fernsteuerung übernommen wurde, können Sie Sollwerte an das Gerät schicken. Diese repräsentieren einen Prozentwert des jeweiligen Nennwertes. Sollwerte können zyklisch oder azyklisch übertragen werden. Laut Definition der Sollwertregister (siehe Registerliste) entsprechen 100% dem Hexwert 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 „4.8.7.1. Einen Sollwert setzen“.

## 7.5 Besonderheiten gegenüber ModBus

Das bei CANopen verwendete Werteformat und Objektadressierung sind von ModBus abgeleitet und auf das hierfür Nötigste reduziert.

### 7.5.1 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 alte Werte.

Die Schritte zur Konfiguration und zum Laden der Funktionsdaten sind über CANopen identisch mit der Vorgehensweise bei Verwendung einer anderen Schnittstelle und direkten ModBus-Nachrichten, wie in Abschnitt 4.11.8.1 beschrieben,

#### 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.

#### Schritt 2:

Endsequenzpunkt (Index 235D), Startsequenzpunkt (Index 235C), 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).

#### 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.

## 7.6 CANopen-spezifische 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™ Softwares oder anderen, 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 an das Gerät (Botschaft **Send\_Object**) benutzt, die Basis-ID + 1 zum Abfragen von Daten vom Gerät (Botschaft **Query\_Object**) 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 welche dazu dienen kann, auf mehrere Geräte mit gleicher Broadcast-ID 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, dort den Abschnitt zu den Kommunikations-Einstellungen im Setup-Menü.

### 8.3 Telegrammtypen

#### 8.3.1 Normales Schreiben

Schreiben oder Setzen eines Wertes erfolgt immer über die Basis-ID oder die Broadcast-ID und erfordert in der CAN-Nachricht die Angabe der Objektnummer, d. h. die Adresse eines ModBus-Registers bzw. -Startregisters, sowie die Anzahl der zu schreibenden Register und eine bestimmte Anzahl von nachfolgenden Parameter-Bytes, die verschiedene Datentypen repräsentieren können.

**Zugehörige ModBus-Funktionen:** Write Single Coil (WSC), Write Single Register (WSR)

**Zugriff über:** Basis-ID, Broadcast-ID

Bytes 0+1	Byte 2	Bytes 3+4
Register	Anzahl Register	Datenwort (16 Bit)
0...65534	Immer 1	Zu schreibender Wert

# ModBus & SCPI

**Zugehörige ModBus-Funktion:** Write Multiple Registers (WMR)

**Zugriff über:** Basis-ID, Broadcast-ID

<b>Bytes 0+1</b>	<b>Byte 2</b>	<b>Byte 3</b>	<b>Bytes 4-7</b>
<b>Startreg.</b>	<b>Anzahl Register</b>	<b>Kennung</b>	<b>Datenbytes</b>
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 für den Befehl

**Anzahl Register:** siehe Registerliste. Wenn ein Objekt auf 40 Bytes Länge definiert ist, dann sind das 20 Register, also würde hier eine 20 eingetragen.

**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 Ziel (PC, SPS) ankommen, wie sie vom Gerät abgeschickt wurden.

**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 müßte, braucht 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 und somit 16 Bytes ergeben (15 Zeichen String + Abschlußzeichen).

## 8.3.2 Zyklisches Schreiben

Das zyklische Schreiben ist eine zusätzliche Möglichkeit, häufig gebrauchte Sollwerte und Status zeitsparend **in einem Block** zu übertragen. Dieser Block wird, je nach Geräteserie, an mehrere CAN IDs gesendet. Das Intervall, in dem Sollwerte über die separaten ID für's zyklische Senden geschickt werden, definiert der Anwender mit seiner CAN-Software zwar selbst, jedoch gelten auch hier die Timing-Empfehlungen im Abschnitt 3.3.3.

### 8.3.2.1 Blockteil "Steuerung"

**Zugriff über:** Basis-ID Zyklisches Senden

<b>Bytes 0-1</b>
Steuerwort

Aufteilung des Steuerwortes:

Bit	Name	Zugehöriges Register	Bedeutung
8	Fernsteuerung	402	Aktiviert mit 1 bzw. deaktiviert mit 0 die Fernsteuerung des Gerätes
9	Eingang/Ausgang	405	Schaltet den DC-Eingang/-Ausgang des Gerätes mit 1 ein bzw. mit 0 aus
10	UIP / UIR	409	Schaltet mit 1 Widerstandsregelung (UIR-Modus, wo vorhanden) frei, bei 0 ist dann UIP aktiv
11	Spannungsregler	422	Nur für el. Lasten der 9000er Serien (EL/ELR): Schaltet mit 1 den Spannungsregler auf „schnell“ bzw. mit 0 auf „langsam“ Hinweis: hiermit kann nicht die Spannungsreglergeschwindigkeit bei den 10000er Serien umgeschaltet werden, da diese ein anderes Register verwenden.
12	Alarmer	411	Quittiert mit 1 alle löschbaren Alarmer



*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 9 vor Bit 8 verarbeitet hat.*

## 8.3.2.2 Blockteil "Sollwerte 1"

**Zugriff über:** Basis-ID Zyklisches Senden + 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 PSB Serien gehören diese 4 Sollwerte zum Quelle-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Senden" angezeigt als "Sollwerte [PS]". Der Blockteil gehört auch für Serie PSBE zum Quelle-betrieb, dort jedoch ohne den Sollwert Widerstand.

## 8.3.2.3 Blockteil "Sollwerte 2" (nur PSB/PSBE Serien)

**Zugriff über:** Basis-ID Zyklisches Senden + 2

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 PSB Serien gehören diese 3 Sollwerte zum Senke-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Senden" angezeigt als "Sollwerte [EL]". Der Blockteil gehört auch für Serie PSBE zum Quelle-betrieb, dort jedoch ohne den Sollwert Widerstand.

## 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.

**Zugehörige ModBus-Funktionen:** Read Coils (RC), Read Holding Registers (RHR)

**Zugriff über:** Basis ID + 1

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 Software der Fa. Vector durch die Datenbasis automatisch in Signale verteilt werden, bilden eine Antwort. Geteilte Antworten 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 gelesen werden.

**Eingehend vom Gerät über:** Basis ID + 2

**Antwort in einer Nachricht (Anzahl angefragter Register 1-3):**

Bytes 0+1	Bytes 2-7
Register	Daten
0...65534	1-3 Register

**Antwort in mehreren Nachrichten (Anzahl angefragter Register >3):**

Bytes 0+1	Byte 2	Bytes 3-7
Register	Kennung	Daten
0...65534	0xFF, 0xFE...	5 Bytes

Der Wert in Byte 2 kann nicht für die Erkennung auf eine geteilte Antwort verwendet werden, auch dann nicht, wenn die nächste Nachricht 0xFE enthält. Einzelne Register können auch den Inhalt 0xFF usw. im Byte 2 zurückgeben.

## Antwort als Fehlernachricht:

Bytes 0+1	Byte 2
65535	Fehlercode

Die Fehlercodes sind zwar teils identisch mit denen von ModBus, aber teils CAN-spezifisch. Siehe „8.3.6. Kommunikationsfehlercodes“.

### 8.3.5 Zyklisches Lesen

Das zyklische Lesen ist eine zusätzliche Funktion des Gerätes, durch die es bestimmte Objekte automatisch an benutzerdefinierbare IDs und in einem benutzerdefinierbaren Intervall senden kann. Das eingehende Nachrichtenformat ist hier abweichend vom Format beim normalen "azyklischen" 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.

#### 8.3.5.1 Nachricht "Status"

Eingehend vom Gerät über: Basis-ID Lesen

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	Alarme	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	Fernföhlung	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



## 8.3.5.2 Nachricht "Istwerte"

Eingehend vom Gerät über: Basis-ID Lesen + 1

Bytes 0-1	Bytes 2-3	Bytes 4-5
Register 507	Register 508	Register 509
Istwert Spannung	Istwert Strom	Istwert Leistung



Nur PSB/PSBE Serien: die hiermit gelesenen Istwerte enthalten kein Vorzeichen. Zwecks Interpretation eines neg. Vorzeichens für Senke-Betrieb sollte das Bit 0 aus Block "Status" ausgewertet werden.

## 8.3.5.3 Nachricht "Sollwerte 1"

Eingehend vom Gerät über: Basis-ID Lesen + 2

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 PSB Serien gehören diese 4 Sollwerte zum Quelle-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Lesen" aufgelistet als "Sollwerte [PS]". Bei der PSBE-Serie dann ohne den "Sollwert Widerstand".

## 8.3.5.4 Nachricht "Limits 1"

Eingehend vom Gerät über: Basis-ID Lesen + 3

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 PSB/PSBE Serien gehören diese Einstellungsgrenzen nur zum Quelle-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Lesen" aufgelistet als "Limits 1 [PS]".

## 8.3.5.5 Nachricht "Limits 2"

Eingehend vom Gerät über: Basis-ID Lesen + 4

Bytes 0-1	Bytes 2-3
Register 9004	Register 9006
P-max	R-max



Bei den PSB/PSBE Serien gehören diese Einstellungsgrenzen nur zum Quelle-Betrieb, im HMI unter "Basis-ID Lesen" aufgelistet als "Limits 2 [PS]". Bei Serie PSBE dann ohne "R-max".

## 8.3.5.6 Nachricht "Sollwerte [EL]"

Nur verfügbar bei bidirektionalen Geräten der Serien PSB und PSBE (hier ohne "Sollwert Widerstand"). Gehört zum Senke-Betrieb.

Eingehend vom Gerät über: Basis-ID Lesen + 5

Bytes 0-1	Bytes 2-3	Bytes 4-5
Register 499	Register 498	Register 504
Sollwert Strom (EL)	Sollwert Leistung (EL)	Sollwert Widerstand (EL)

## 8.3.5.7 Nachricht "Limits [EL]"

Nur verfügbar bei bidirektionalen Geräten der Serien PSB und PSBE (hier ohne "R-max"). Gehört zum Senke-Betrieb.

Eingehend vom Gerät über: Basis-ID Lesen + 6

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

## 8.3.6 Kommunikationsfehlercodes

Die über CAN zurückgegebenen Fehlercode sind größtenteils an die ModBus-Kommunikation angelehnt. Das CAN-Modul kann zudem eigene Fehlercodes erzeugen, weil es als Gateway eine eigene Firmware hat. Für das Format einer Fehlermeldung siehe auch „8.3.4. Normales Lesen“.

Code	Beschreibung
0x02	Ungültige Registeradresse. Bedeutet, daß das adressierte Register für das angesprochene Gerät nicht definiert ist. Siehe Registerliste der jeweiligen Serie.
0x03	Falsche Länge der Nachricht bzw. der Nutzdaten. Je nach adressiertem Register werden zwei oder mehr Nutzdaten-Bytes in der Nachricht erwartet, wodurch eine Mindestlänge entsteht. Dieser Fehler entsteht z. B. wenn der DLC der CAN-Nachricht nur 5 ist, wenn er 6 oder mehr sein müßte.
0x04	Ausführungsfehler. Allgemeiner Fehler der entsteht, wenn ein korrekter Befehl nicht ausgeführt werden kann, weil ein Konflikt mit dem Zustand des Gerätes besteht. Beispiel: man versucht den Modus des Funktionsgenerator (wo vorhanden) zu ändern, während dieser momentan aktiv ist.
0x07	Zugriff verweigert. Es wurde versucht, auf ein Register zu schreiben, das als "nur lesen" definiert oder umgekehrt.
0x17	Gerät ist in Lokal-Modus. Kann nur auftreten, wenn versucht wurde, mit einem korrekten Befehl das Gerät in den Fernsteuerungsmodus zu versetzen, während die Fernsteuerungssperre "Lokal" am Gerät aktiv war. Die Situation ist eigentlich eine wie bei Fehler 0x04, hier nur spezifischer zurückgemeldet.
0x20	Überlast. Kann auftreten, wenn zu viele Nachrichten beim Modul eintreffen und dessen Messageboxen volllaufen. Überlast kann vermieden werden, indem entweder der Traffic auf dem CAN-Bus verringert oder größere zeitliche Abstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nachrichten an dieselbe CAN ID gesetzt werden

## 8.3.7 Beispiele

### 8.3.7.1 Fernsteuerung übernehmen

Wie in „4.8.7.5. 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 Register 505 auslesbar.

### 8.3.7.2 Einen Sollwert setzen und gegenlesen

Nachdem die Fernsteuerung übernommen wurde, können Sie Sollwerte an das Gerät schicken. Diese repräsentieren einen Prozentanteil vom Nennwert. Laut Definition der Register sind 0xCCCC = 100% und 0x0000 = 0%. 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 etwa 26214 Werten. Ein Berechnungsbeispiel für Sollwerte finden Sie in „4.8.7.1. Einen Sollwert setzen“.

Nachrichten-Beispiel: 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  $52428 / 170 \text{ A} * 35 \text{ A} = 10794 = 0x2A2A$ . Der Strom wird mit Register 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 diese ID schicken müssen. Sofern das Gerät den Sollwert annimmt, setzt es diesen und man könnte ihn von der Anzeige ablesen bzw. über dasselbe Objekt zurücklesen. Die Anfrage

0x01	0xF5
Register /	
Objekt	

ginge raus an die ID **0x89** und das Gerät sollte kurze Zeit später auf der ID **0x8A** mit folgenden Daten antworten:

0x01	0xF5	0x2A	0x2A
Register /		Sollwert	
Objekt		Strom	

Sollte "Sollwert Strom" nicht dem erwarteten Wert entsprechen, kann das z. B. daran liegen, daß die obere Einstellgrenze für den Strom (I-max) auf 30 A gesetzt wurde. Dann würde von dem Gerät eine Fehlernachricht statt der erwarteten Antwort kommen:

0xFF	0xFF	0x03
Fehler-		
code		

Der ModBus Fehlercode 0x3 sagt aus „fehlerhafte Daten“, siehe 4.10. Das bedeutet, 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, darunter 9000er Modelle mit älteren Firmwareständen ab August 2016 per Firmware-Update auch das EtherCAT-Modul IF-AB-ECT. EtherCAT-Kommunikation basiert hier per Definition auf CANopen-Objekten, die über eine Netzwerkverbindung übertragen werden. Daher wird das „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.

### 9.2 Einschränkungen

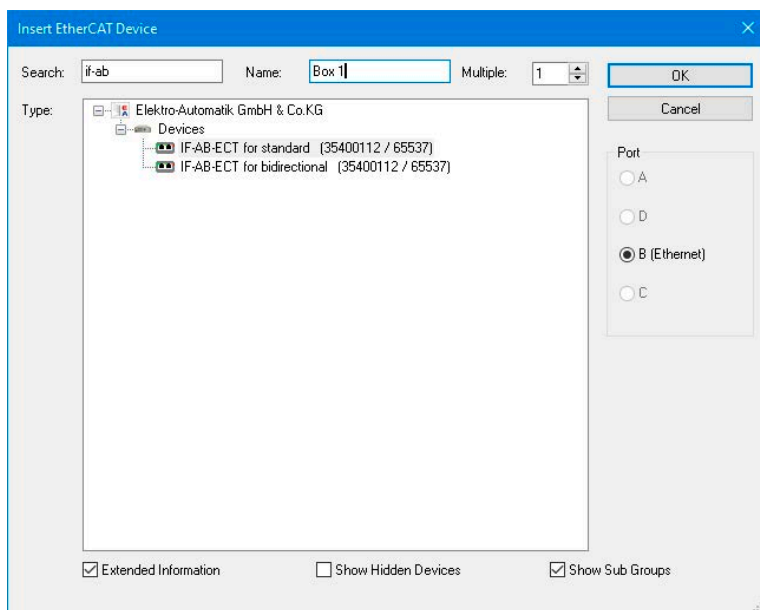
- Der Scan nach Geräten kann ein bidirektionales Gerät nicht als solches aus dem ESI erkennen, außer das ESI würde vorher modifiziert (siehe unten)
- Keine Hotplug-Unterstützung; das Gerät muß nach dem Start separat auf Run-Modus "OP" gestellt werden
- Keine Unterstützung für Portmapping in den PDOs

### 9.3 Einbindung des Gerätes in TwinCAT

Mit allen Geräteserien die EtherCAT unterstützen wird auf USB-Stick eine ESI-Datei mitgeliefert. Sie definiert einen einfachen Slave und ist global für alle Serien. Alternativ ist die Datei auf Anfrage erhältlich. Die Datei wird im Installationspfad von TwinCAT abgelegt, üblicherweise in c:\TwinCAT\<twincat\_version>\Config\Io\EtherCAT\.

Nach 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 das Gerät ein bidirektionales aus den Serien PSB oder PSBE ist. Bidirektionale Geräte benötigen mehr Objekte im PDO, daher die beiden Untergruppen.

*Hinweis: ein Scan nach Boxen kann nicht automatisch zwischen "standard" und "bidirectional" unterscheiden. Sollten Sie ein bidirektionales Modell aus den Serien PSB oder PSBE haben, muß dieses manuell eingebunden werden.*



### 9.4 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 Objekte im PDO und die azyklischen Objekte (SDOs) dienen jene 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 CANopen 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.

# ModBus & SCPI

- **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-Objekts „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.

## 9.4.1 Unterobjekte im RxPDO

Das ESI definiert für alle unsere EtherCAT-Slaves die gleichen Unterobjekte im RxPDO:

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)
Control	UDINT	4	-	Nicht dokumentiert
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 <sup>(1)</sup>	UINT	2	503	Sollwert Widerstand (Prozentwert)

Bidirektionale Geräte aus den Serien PSB und PSBE haben mehr Sollwerte, daher sollte die Boxdefinition "IF-AB-ECT (for bidirectional)" für diese Serien verwendet werden, um Zugriff auf diese zusätzlichen Objekte zu erhalten:

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) <sup>(1)</sup>	UINT	2	504	Sollwert Widerstand (Prozentwert) für Senke-Betrieb

## 9.4.2 Unterobjekte im TxPDO

Objekte in diesem PDO dienen zur Steuerung des Gerätes. Mit Stand sind nur Sollwerte auf diese Weise übertragbar, alles andere erfolgt über SDO-Zugriff.

Name	EtherCAT-Datentyp	Länge in Bytes	ModBus-Register	Kurzbeschreibung
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 <sup>(1)</sup>	UINT	2	503	Sollwert Widerstand (Prozentwert)

Bidirektionale Geräte aus den Serien PSB und PSBE haben mehr Sollwerte, daher sollte die Boxdefinition "IF-AB-ECT (for bidirectional)" für diese Serien verwendet werden, um Zugriff auf diese zusätzlichen Objekte zu erhalten:

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) <sup>(1)</sup>	UINT	2	504	Sollwert Widerstand (Prozentwert) für Senke-Betrieb

<sup>1</sup> Dieser Wert gehört zu einem Feature namens "Widerstandsmodus" (kurz:UIR), das nicht bei jeder Serie verfügbar ist

## 9.4.3 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 zur Erläuterung der Funktion und des Inhalt eines Datenobjekts, sowie die auf ModBus und zugehörige Beispiele bezogenen Abschnitte in diesem Dokument.

## 9.5 Steuerung

Grundsätzlich gilt: die Objekte im TxPDO steuern nur die Sollwerte U, I, P und R zyklisch. Alle anderen Zustände und Funktionen des Gerätes sind nur über azyklischen Zugriff über SDOs, in dem Fall CANopen-Indexe zu steuern. Das betrifft auch grundlegende Funktionen wie "Fernsteuerung ein/aus" und "DC ein/aus". Diese Objekte können auch nicht in das TxPDO gemappt werden, weil die Geräte Portmapping nicht unterstützen.

Informationen über den Objektzugriff über SDOs bei CANopen/EtherCAT sind in der Dokumentation der jeweiligen Software zu finden.

### 9.5.1 Verwendung der CANopen-Datenobjekte

Siehe „7.3. Anwendung der Benutzerobjekte (Indexe)“.

Die grundlegende Vorgehensweise zur Steuerung und Überwachung der Geräte unterscheidet sich bei EtherCAT nicht von anderen Schnittstellen. Daher gelten bei Verwendung des Gerätes als EtherCAT-Slave die in den Abschnitten „3.2. Bedienorte“, „3.5. Besonderheiten der Fernsteuerung“, „4.3. Format der Sollwerte und Auflösung“, „4.4. Umrechnung der Soll- und Istwerte“ und „4.7. Über die Register-Listen“ aufgeführten Informationen ebenso.



## 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)	Klasse	Zugehörige Serie(n)
16	PS 2000 B TFT Single	62	PSB 9000 Slave (nur Front-USB)
20	ELR 9000	63	PSB 9000 3U 3W
21	PSI 9000 2U/3U (Modelle ab 2014)	64	PSBE 9000
23	PS 5000	65	ELR 9000 HP Slave
24	PS 2000 B TFT Triple	66	PSB 10000
28	PS 9000 2U/3U (Modelle ab 2014)	67	ELR 10000
29	PSI 5000	68	PSI 10000
30	PS 9000 1U	69	PSBE 10000
32	ELR 9000 TFT 3W	70	PSB 10000 Slave (nur Front-USB)
33	PSI 9000 2U/3U TFT	81	ELR 10000 (ab 01/2022)
34	ELR 9000 TFT 3W	82	PSI 10000 (ab 01/2022)
35	PSI 9000 2U/3U TFT 3W	83	PSB 10000 (ab 01/2022)
38	PS 9000 2U/3U 3W	84	PSBE 10000 (ab 01/2022)
39	EL 9000 B	85	PS 10000
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	USB-B-Port am reduzierten HMI von PSI 9000 3U/WR, EL 9000 B 2Q, ELR 9000 B Slave und EL 9000 B Slave		
53	EL 9000 B 2Q		
54	EL 9000 B 3W		
55	EL 3000 B		
57	PS 3000 C		
58	PS 9000		
59	ELR 9000 HP		
60	ELR 9000 HP 3W		
61	PSB 9000 Slave		

Erläuterungen:

TFT = Modell/Serie mit TFT-Touchpanel (ältere Serien hatten LCD-Touchpanel)

3W = Modell/Serie mit Option 3W installiert

1U / 2U usw. = Bauform ist 19" und Gehäusehöhe in x Höheneinheiten

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](mailto:ea1974@elektroautomatik.de)

Internet: [www.elektroautomatik.de](http://www.elektroautomatik.de)