



Elektronisch
geregelt
Stromversorgungen

Bedienungsanleitung DCL 3000



Inhaltsverzeichnis:	Seite
1. Produktmerkmale der DCL-Serie	4
1.1 Basismerkmale	5
1.2 Optionen	5
1.3 Frontansicht DCL 3000	6
1.4 Rückansicht DCL 3000	6
1.5 Arbeitsbereich DCL 3000	7
1.6 Dauerleistung DCL 3000	7
2. Inbetriebnahme	8
2.1 Überprüfung des Lieferumfangs	8
2.2 Zulässige Umgebungsbedingungen	8
2.3 Aufstellung	8
2.4 Vorbereiten der Funktionsprüfung	9
2.5 Netzanschluss	9
2.6 Lastschluss	9
2.7 Funktionsprüfung	10
3. Wartung	12
4. Betriebsarten	12
4.1 I-konstant-Betrieb (IMODE)	12
4.2 P-konstant-Betrieb (PMODE)	12
4.3 G-konstant-Betrieb (GMODE)	12
4.4 U-konstant-Betrieb (UMODE)	12
4.5 IU-konstant-Betrieb (IUMODE)	12
4.6 MPP-Betrieb (MPPMODE)	12
4.6.1 Konfiguration des MPP-Trackers (MPPMODE)	13
4.6.1.1 Typische Kennlinie eines Solar-Panels	13
4.6.1.2 Charakteristik einer Solarzelle	13
4.6.1.3 Funktionsweise des MPP-Trackers	13
4.7 Betrieb mit 2 Sollwerten (TOGGLE)	14
4.8 Funktion Load ON/OFF	14
4.9 Sense-Betrieb	14
5. Konfigurationsmöglichkeiten	14
6. Befehle	15
6.1 Abfrage Gerätekonfiguration	15
6.2 Auswahl Betriebsarten	15
6.3 Einstellung Sollwerte	15
6.3.1 Einstellung Sollwerte MPP-Mode	15
6.4 Abfrage Sollwerte	16
6.4.1 Abfrage Sollwerte MPP-Mode	16
6.5 Abfrage Istwerte	16
6.6 Abfrage Gerätestatus	16
6.6.1 Status-Flags	16
6.7 Steuerbefehle	17
6.8 Einstellung PID-Regler	18
6.8.1 Einstellung Koeffizienten	18
6.8.2 Einstellung Tiefpass	18
6.8.3 Einstellung Startup-Zeit	18

6.9	Abfrage PID-Regler	19
6.9.1	Abfrage Koeffizienten	19
6.9.2	Abfragen Tiefpass	19
6.9.3	Abfragen Startup-Zeit	19
7.	Schutzfunktionen	20
7.1	Überspannungsschutz	20
7.2	Übertemperaturschutz	20
7.2.1	Übertemperatur-Vorwarnung	20
7.2.2	Übertemperatur-Abschaltung	20
7.3	Leistungsbegrenzung	20
7.4	Verpolschutz	20
8.	NOT-AUS	21
9.	Lastanschlüsse.....	21
10.	Sense-Anschlüsse.....	21
11.	Modulations-Eingang	21
12	Schnittstellen	22
12.1	USB-Schnittstellen (1x Frontplatte, 1x Rückwand).....	22
12.2	RS232-Schnittstelle	22
12.2	IEEE488-Schnittstelle	22
12.3	Analog-Schnittstelle	23

1. Produktmerkmale der DCL-Serie

Die elektronische Last der Serie DCL ist eine DC-Stromsenke neuester Technologie, mit modernster digitaler Regelungstechnik, extrem hoher Leistungsdichte und galvanischer Trennung zwischen Lastkreis und Steuerelektronik. Durch das vollständig digitale Design eröffnen sich ungeahnte Möglichkeiten in Bezug auf Bedienerfreundlichkeit und Flexibilität. Das Herzstück dieser Lastserie ist ein digitaler PID-Regler mit einer Abtastfrequenz $f_a = 100 \text{ kHz}$. Die Charakteristik des Reglers wird über drei Koeffizienten b_0, b_1, b_2 bestimmt, welche als Digitalwerte gespeichert sind und per Software-Befehle verändert werden können. Zur Anpassung an die Regelstrecke bzw. zur Optimierung des Regelverhaltens müssen keine Bauteile geändert werden, sondern es genügt, maximal diese drei Koeffizienten zu verändern. Das Gerät verfügt über 2 Schnittstellen, die gleichzeitig aktiv sein können. Hiermit ist es möglich, dass das Gerät über die Schnittstelle auf der Rückseite von der Anwender-Software gesteuert wird, während über die USB-Schnittstelle auf der Frontplatte, z.B. mit einem Laptop, eine Überwachung und Konfiguration des Systems bzw. eine Optimierung des Reglers vorgenommen wird. Außerdem können für die Start-Phase, von Last EIN bis zum Erreichen des Arbeitspunktes, spezielle Koeffizienten festgelegt werden. Konkret bedeutet dies, dass der Regelkreis mit der Regelcharakteristik 1 „hochgefahren“ wird, und der Regler nach Erreichen des Sollwertes automatisch und unterbrechungsfrei auf die Regelcharakteristik 2 umgestellt wird. Damit lassen sich auch extrem schwierige Regelstrecken beherrschen. Für jede Betriebsart können je 2 benutzerdefinierte Reglerkonfigurationen abgespeichert werden. Neben den benutzerdefinierten Konfigurationen steht für jede Betriebsart eine Werkseinstellung zur Verfügung, die als Basis für die Regleroptimierung benutzt werden kann. Zusätzlich kann eine benutzerdefinierte Gerätekonfiguration als Power-Up-Konfiguration festgelegt werden. Beim nächsten Einschalten startet das Gerät mit dieser Konfiguration. Neben den Standard-Betriebsmodi Stromkonstant-, Leistungskonstant-, Widerstandskonstant-, Leitwertkonstant- und Spannungskonstantbetrieb stehen zwei weitere Betriebsarten für Akkumulatoren- und Solarzellentests zur Verfügung. Über den Modulationseingang können hochfrequente Signale auf das Ausgangssignal des Reglers aufmoduliert werden. Die Last ist eigensicher und schützt sich selbst. Sie verfügt über eine Überspannungs-, Unterspannungs- und Übertemperaturabschaltung sowie über eine Leistungsbegrenzung. Die Lüfter sind temperaturabhängig geregelt. Das Gerät ist mit einer Not-Aus-Funktion ausgerüstet, die rein in Hardware ausgeführt ist. Bei Aktivierung dieser Funktion wird die Last sofort, ohne Beteiligung der Firmware und ohne Berücksichtigung des aktuellen Gerätestatus in den Zustand Load_OFF versetzt. (im Zustand Load_OFF ist der Laststrom 0A, unabhängig von der Betriebsart und der Lastspannung). Das Gerät meldet die Not-Aus-Abschaltung über das Gerätestatus-Register und durch gleichzeitiges Blinken aller Fehler-LED auf der Frontplatte.

1.1 Basismerkmale

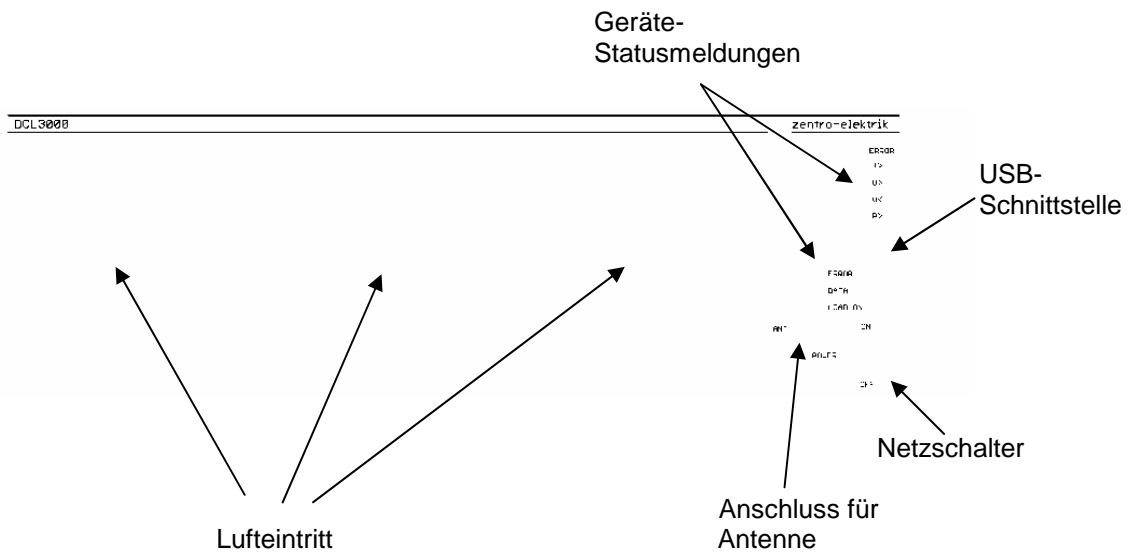
- Gehäuse 19" 3HE
- Leistung 3000 Watt
- Lastspannungsbereich 0,35 – 60V
- Laststrombereich 0 – 320A
- Betriebsarten I-, P-, G-, R-, U-konstant, IU-Betrieb und MPP-Betrieb
- Master-Slave Betrieb (digital)
- Not-Aus-Funktion (Hardware)
- Eigensicherheit durch:
 - Leistungsbegrenzung
 - Strombegrenzung
 - Verpolschutz
 - Überspannungsschutz
 - Übertemperaturschutz
- 2 USB-Schnittstellen, die gleichzeitig aktiv sein können
- 2 Sollwerte für jede Betriebsart
- Taktbetrieb mit frei wählbarer Umschaltfrequenz
- Modulationseingang
- Abrufbare Werkskonfiguration für jede Betriebsart
- 2 benutzerdefinierte Reglerkonfigurationen pro Betriebsart (Hauptkonfiguration + Startkonfiguration)
- Benutzerdefinierte Power-Up-Gerätekonfiguration
- Lüfterdrehzahl abhängig von der Kühlkörpertemperatur
- Normalbetrieb / Sense-Betrieb wählbar

u.v.m.

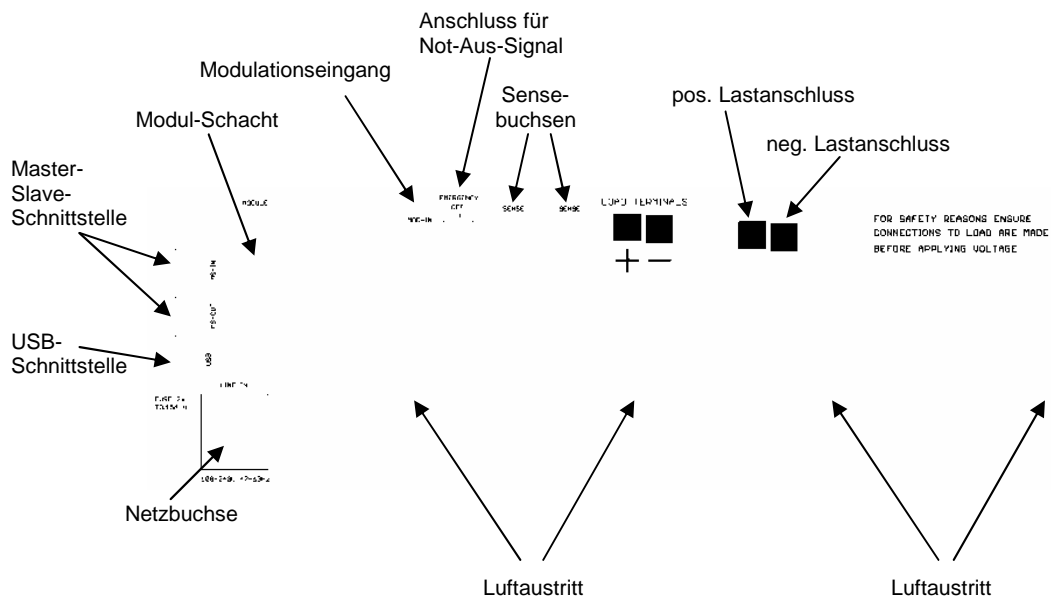
1.2 Optionen

- Isolierte RS232 Schnittstelle
- Interface IEEE488.2 (GPIB) (auf Anfrage)
- Analogschnittstelle (auf Anfrage)
- LAN-Schnittstelle (auf Anfrage)
- WLAN-Schnittstelle (auf Anfrage)

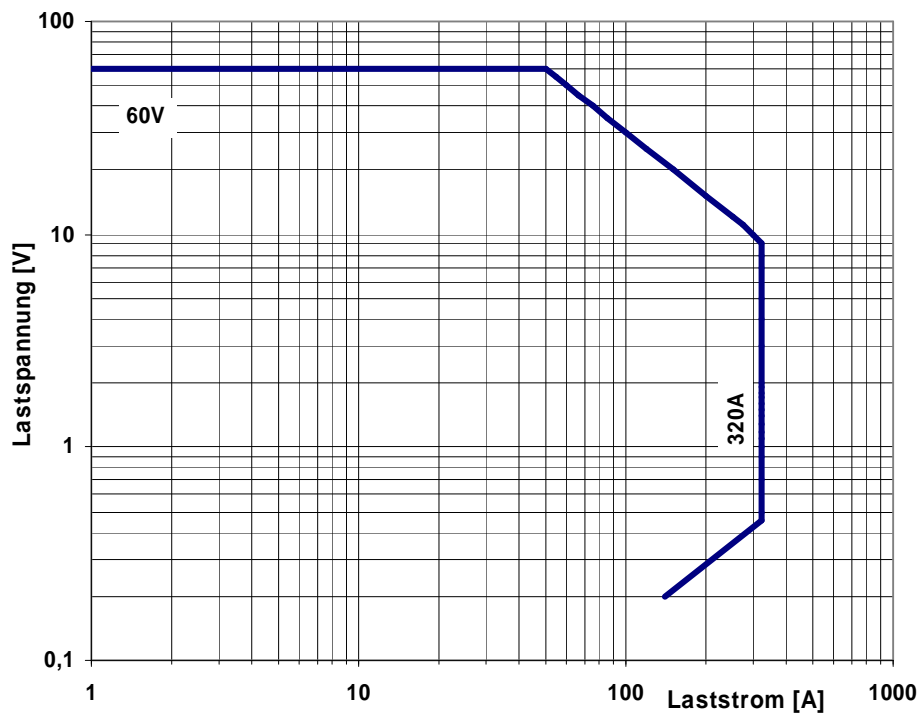
1.3 Frontansicht DCL 3000



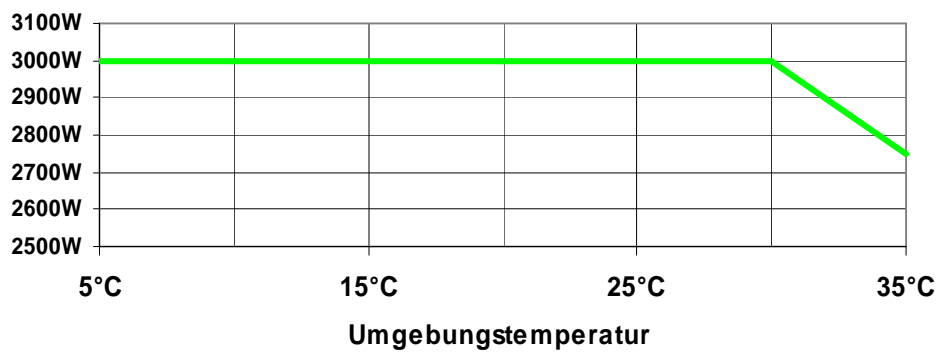
1.5 Rückansicht DCL 3000



1.6 Arbeitsbereich DCL 3000



1.6 Dauerleistung DCL 3000



2. Inbetriebnahme



Vor Einschalten des Gerätes Betriebsanleitung beachten!

2.1 Überprüfung des Lieferumfangs

Zum Standard-Lieferumfang gehören:

- 1 elektronische Last
- 1 Netzkabel
- 1 Bedienungsanleitung



Bitte überprüfen Sie gleich beim Auspacken des Gerätes

- **ob der Lieferumfang vollständig ist (Vergleich mit Bestellung)**
- **ob sichtbare äußere Beschädigungen vorliegen.**

Bei sichtbaren Beschädigungen oder befinden sich im Gerät lose Teile, darf das Gerät nicht in Betrieb genommen werden!

2.2 Zulässige Umgebungsbedingungen

- Verwendung in trockenen Innenräumen
- Temperaturbereich 0 – 40°C
- max. 80% rel. Feuchte bis 30°C, linear abnehmend bis 50% rel. Feuchte bei 40°C
- Höhe bis 2000m üNN
- Verschmutzungsgrad 2 (**keine leitfähigen Verschmutzungen, z.B. Metallstaub**)



2.3 Aufstellung



Gerät ausschließlich an den Griffen vorn und Hinten anheben bzw. tragen!

Um Beschädigungen des Gerätes zu vermeiden, darf das Gerät ausschließlich an den Griffen angehoben, bewegt oder getragen werden. Wir empfehlen, das Gerät waagrecht zu transportieren und zu lagern.

Die Stromschienen sind so dimensioniert, dass sie nicht über die hinteren Griffe hinausragen. Wenn Adapter oder sonstige Anschlusselemente an die Lastanschlüsse montiert wurden, die über die Griffe hinausragen, darf das Gerät nie senkrecht abgestellt werden! Da in diesem Fall das Gewicht des Gerätes nicht ausschließlich auf den Griffen ruht, sondern auch auf den Stromschienen, kann es zu erheblichen Beschädigungen im innern des Gerätes kommen. Diese Beschädigungen sind von der Garantie ausgeschlossen!

Durch das hohe Eigengewicht des Gerätes müssen im 19"-Rack an der Einbauposition Tragschienen montiert werden. Das Gerät muss auf den Tragschienen aufliegen. Die Frontplatte dient zur Fixierung des Gerätes.

Wählen Sie den Aufstellungsort so, dass die Lastleitungen kurz gehalten werden können, d.h. möglichst nah an der zu prüfenden Stromversorgung bzw. Spannungsquelle.



Ausreichende Luftzirkulation ermöglichen!

Beachten Sie beim Aufstellen oder dem Einbau der elektronischen Last, dass die Kühlluft ungehindert ein- und austreten kann, d.h. die Lüftungsöffnungen vorne und hinten dürfen nicht bedeckt werden. Bei zu geringem Luftdurchsatz kann der Übertemperaturschutz ansprechen.

Vor der Last sollten sich keine leichten, unbefestigten Teile befinden. Bei Maximallast können, bedingt durch den großen Luftdurchsatz, leichte Teile (z.B. Papier) angesaugt werden, die dann den Luftstrom behindern und als Folge zur Übertemperaturabschaltung führen.

Hinter dem Gerät muss ein Mindestabstand von mindestens 50cm zu einem Hindernis eingehalten werden.



Thermischen Kurzschluss vermeiden!

Thermischer Kurzschluss (die warme Abluft wird vom Gerät vorne wieder angesaugt) muss verhindert werden.

2.4 Vorbereiten der Funktionsprüfung



Vor dem Anschluss des Gerätes beachten Sie bitte die einschlägigen Sicherheitsbestimmungen VDE 0100/0110.

Der Aufbau ist in jedem Fall so auszuführen, dass Spannung führende Teile nicht berührt werden können. Es ist darauf zu achten, dass die Schutzleiter mit einem Schutzleiteranschluss verbunden sind.

2.5 Netzanschluss

Netzkabel anschließen. Achten Sie auf die richtige Netzspannung. Das Gerät ist durch zwei Primärsicherungen geschützt. Bevor diese gewechselt werden, ist das Netzkabel zu entfernen.

Das Gerät darf nur von einer ausgebildeten Elektro-Fachkraft geöffnet werden. Vor dem Öffnen des Gerätes müssen die Netzleitung und die Lastleitungen entfernt werden!

In geöffnetem Zustand darf das Gerät nicht betrieben werden!

2.6 Lastanschluss

Die korrekte Herstellung des Lastkreises ist die wichtigste Voraussetzung für das sichere und ordnungsgemäße Funktionieren jedes Messaufbaus mit einer elektronischen Last.



Stellen Sie den Lastkreis nur im spannungslosen Zustand her!

Die Lastspannung darf erst angelegt werden, wenn das Gerät eingeschaltet ist!
(Netzschalter auf Position I)

Beachten Sie folgende Punkte:

- Halten Sie die Lastleitungen so kurz wie möglich.
- Halten Sie die Plus- und Minusleitung gleich lang.
- Führen Sie die Lastleitungen unbedingt **parallel, ohne Abstand** bzw. **verdrillt**.
- Wählen Sie die Leitungsquerschnitte ausreichend groß. (Stromdichte $< 2A/mm^2$ Cu)
- Beachten Sie den zulässigen Arbeitsbereich der elektronischen Last.
- Vermeiden Sie Spannungen an den Lastklemmen bei ausgeschalteter Last.
- Bei Spannungsquellen ohne Strom- bzw. Leistungsbegrenzung sollte unbedingt eine geeignete **Sicherung in den Lastkreis** eingebaut werden.



- **Niemals** eine Spannungsquelle verpolt anschließen. Bei Verpolung unterbrechen interne Schmelzsicherungen den Lastkreis und müssen ausgetauscht werden. Außerdem kann die Spannungsquelle bzw. der Prüfling beschädigt werden. (siehe auch 4.6.5)



- **Niemals** bei angelegter Lastspannung und fließendem Laststrom den Lastkreis unterbrechen. Die dabei entstehenden Spannungsspitzen können die Last und angeschlossene Messgeräte beschädigen oder zerstören. Je nach Spannung und Laststrom kann ein Lichtbogen entstehen, der zur Beschädigung der Last und zu erheblichen **Verletzungen** führen kann!



Der Anschluss der Lastleitungen muss so ausgeführt sein, dass bei gefährlichen Lastkreisspannungen der Berührungsschutz gewährleistet ist. Lebensgefahr durch hohe Ströme und Spannungen! Schützen Sie daher nach Aufbau des Lastkreises alle Strom führenden Verbindungen durch geeignete Maßnahmen vor versehentlicher Berührung.

2.7

Funktionsprüfung

Durchführung der Funktionsprüfung

- Stellen Sie den Lastkreis bei ausgeschalteter Last und Spannungsquelle her.
- Beachten Sie die Hinweise aus Kapitel 2.1 - 2.6
- Schalten Sie elektronische Last ein (Netzschalter in Position „I“). Alle Anzeigen müssen für ca. 2s leuchten.
- Nach Ablauf der 2s leuchtet nur noch die rote U< LED. Da keine Lastspannung anliegt, wird die Fehlermeldung -Lastspannung zu klein- angezeigt.
- Starten Sie ein Terminalprogramm, z.B. Windows® Hyper-Terminal
- Konfigurieren Sie das Terminalprogramm: 9600 Baud, 1 Startbit, 8 Datenbits, 1 Stoppbit, no Parity sowie LF als Ende-Zeichen für die Eingabe.

Alternativ kann das LabView® Demoprogramm benutzt werden. Das Demo kann nur auf Systemen ausgeführt werden, auf denen NI-LabView® und der VISA-Treiber installiert sind.

- Drücken Sie einmal die Return-Taste. Nun sollten sowohl die gelbe DATA-LED und die rote ERROR-LED kurz aufleuchten. Ist dies nicht der Fall, findet keine Datenübertragung statt. Eine Ursache kann eine nicht korrekte Konfiguration des Terminalprogramms sein.
- Senden Sie den Befehl: IDN?
 - Dieser Befehl fordert den Identify-String an.
 - Antwort: DCL3000/60/320 SN:100012 (Beispiel für Serien-Nr. 12)

- Senden Sie den Befehl: LOAD_OFF
→ Dieser Befehl stellt sicher, dass die Last im gesperrten Zustand ist ($I_L = 0A$).
- Schalten Sie die Spannungsquelle ein. Stellen Sie eine Spannung im Bereich 1V bis 60V ein. Nun dürfen keine Fehlermeldungen mehr angezeigt werden.
- Senden Sie den Befehl: UL?
→ Dieser Befehl fragt die aktuelle Lastspannung ab
→ Antwort: Aktuelle Lastspannung
- Senden Sie den Befehl: IMODE
→ Dieser Befehl schaltet die Last in den Stromkonstant-Modus
- Senden Sie den Befehl: SP_A 5
→ Dieser Befehl setzt den Sollwert A auf 5A
- Senden Sie den Befehl: SP_B 10
→ Dieser Befehl setzt den Sollwert B auf 10A
- Senden Sie den Befehl: CHAN_A
→ Dieser Befehl legt den Sollwert A als aktiven Sollwert fest
- Senden Sie den Befehl: LOAD_ON
→ Dieser Befehl schaltet die Last in den aktiven Zustand.
- Senden Sie den Befehl: IL?
→ Dieser Befehl fragt den aktuellen Laststrom ab
→ Antwort: 5.000
Der angezeigte Laststrom entspricht dem gewählten Sollwert A
- Senden Sie den Befehl: CHAN_B
→ Dieser Befehl legt den Sollwert B als aktiven Sollwert fest. Da die Last sich im Zustand Last_EIN befindet, erhöht sich der Laststrom auf 10A.
- Senden Sie den Befehl: IL?
→ Dieser Befehl fragt den aktuellen Laststrom ab
→ Antwort: 10.000
Der angezeigte Laststrom entspricht dem gewählten Sollwert B
- Senden Sie den Befehl: PL?
→ Dieser Befehl fragt die aktuelle Lastleistung ab
→ Antwort: Aktuelle Lastleistung in Watt
- Senden Sie den Befehl: LOAD_OFF
→ Dieser Befehl schaltet die Last in den gesperrten Zustand ($I_L = 0A$).
- Senden Sie den Befehl: IL?
→ Dieser Befehl fragt den aktuellen Laststrom ab
→ Antwort: 0.000
- Schalten Sie die Spannungsquelle aus.
- Schalten Sie elektronische Last aus (Netzschalter in Position „0“).
- Entfernen Sie die Lastleitungen.

Hinweis: Sie können mit SP_A und SP_B beliebige Werte zwischen 0 und 320A einstellen. Es muss unbedingt darauf geachtet werden, dass der Maximalstrom der zu prüfenden Spannungsquelle nicht überschritten wird. Der Laststrom kann nur innerhalb des Arbeitsbereiches der Last eingestellt werden. Bei Überschreitung der maximalen Lastleistung begrenzt eine interne Schutzschaltung den Laststrom. Wenn die Schutzschaltung den Laststrom begrenzt, leuchtet die gelbe P>-LED auf der Frontplatte.

3. **Wartung**

Das Gehäuse darf nur mit einem trockenen oder leicht feuchten Tuch gereinigt werden. Die Reinigung der Lüftungsöffnungen sollte durch Absaugen erfolgen, um einen Schmutzeintrag ins Geräteinnere zu vermeiden.

Die Reinigungsintervalle sind vom Aufstellort und vom Reinheitsgrad der Luft abhängig.



Achtung: Vor der Reinigung ist das Gerät von allen externen Stromkreisen zu trennen.

Leitfähige Verschmutzungen, z.B. durch Metallstaub müssen unbedingt vermieden werden. Leitfähige Verschmutzung kann die Sicherheit und die Funktion des Gerätes beeinträchtigen.

4. **Betriebsarten**

4.1 **I-konstant-Betrieb (IMODE)**

Der Laststrom entspricht dem eingestellten Sollwert, unabhängig von der Lastspannung.

4.2 **P-konstant-Betrieb (PMODE)**

Der Laststrom ist abhängig vom Sollwert **und** von der Lastspannung. Die Last verhält sich wie ein Verbraucher mit konstanter Leistungsaufnahme ($I = P / U$).

4.3 **G-konstant-Betrieb (GMODE)**

Der Laststrom ist abhängig vom Sollwert **und** von der Lastspannung. Die Last verhält sich wie ein ohmscher Widerstand ($I = U * G$; $G = 1/R$).

4.4 **U-konstant-Betrieb (UMODE)**

Der Laststrom ist abhängig vom Sollwert **und** von der Lastspannung. Die Last verhält sich wie ein Shunt-Regler. Bei Quellen mit Urspannung $>$ Sollwert erhöht sich der Laststrom, bis der Spannungsabfall über dem Innenwiderstand der Quelle der Differenz zwischen Sollwert und Urspannung entspricht.

Lastspannungen $<$ Sollwert: $I_L = 0A$,
Lastspannungen \geq Sollwert: $0A < I_L \leq 320A$

$$I_L = \frac{(U_0 - U_{Soll})}{R_i}$$

4.5 **IU-Betrieb (IUMODE)**

Nach Last EIN befindet sich die Last im Modus I-konstant-Betrieb. Die Last verhält sich, wie unter Punkt 4.1 beschrieben. Aktiver Sollwert für den I-konstant-Betrieb ist Sollwert A. Sinkt die Lastspannung unter die mit Sollwert B eingestellte Spannung, wechselt die Last in den U-konstant-Betrieb und verhält sich wie unter Punkt 4.4 beschrieben. Aktiver Sollwert für den U-konstant-Betrieb ist Sollwert B. Die Last bleibt im U-konstant-Betrieb, bis der Zustand Last AUS eingenommen wird.

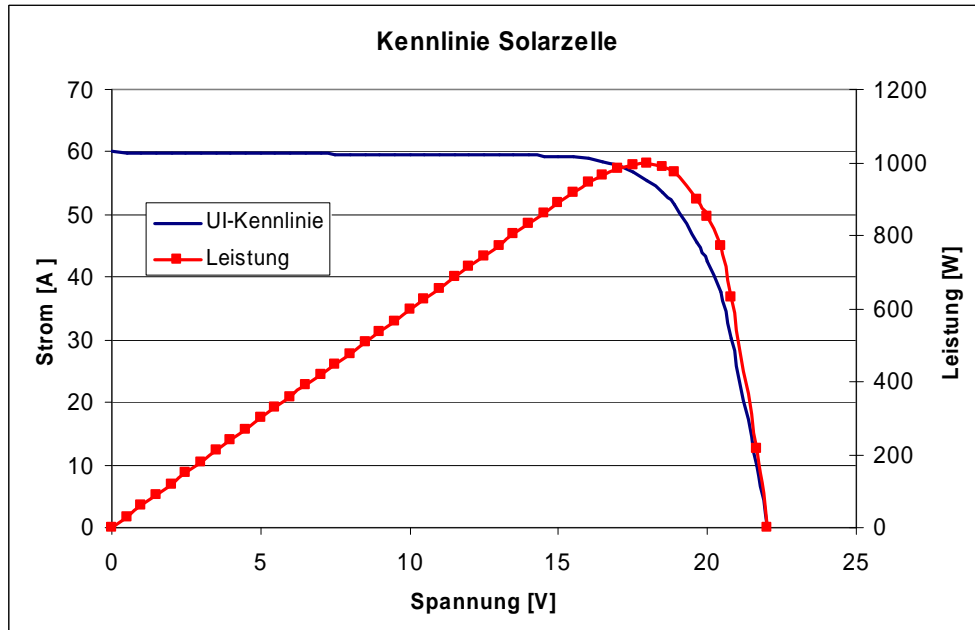
Sollwert für I-Mode: Sollwert A
Sollwert für U-Mode: Sollwert B

4.6 **MPP-Betrieb (MPPMODE)**

Der MPP-Mode (MPP = Maximum Power Point) wird zum Test von Solarzellen und Solarmodulen benötigt. Im MPP-Mode wird aus der Quelle immer die maximale Leistung entnommen. Das Kernelement dieser Betriebsart ist ein optimierter MPP-Tracker. Zur Konfiguration dieses MPP-Trackers müssen der Startwiderstand, die minimale und maximale Schrittweite (ΔR) angegeben werden.

4.6.1 Konfiguration des MPP-Trackers (MPPMODE)

4.6.1.1 Typische Kennlinie eines Solar-Panels



4.6.1.2 Charakteristik einer Solarzelle

Im Bereich von der Leerlaufspannung bis zum MPP hat die Solarzelle die Charakteristik einer Spannungsquelle. Im Bereich vom MPP bis 0V hat die Solarzelle die Charakteristik einer Stromquelle.

4.6.1.3 Funktionsweise des MPP-Trackers

Der MPP-Tracker-Algorithmus arbeitet mit variabler Schrittweite. Die Schrittweite ΔR wird mit zunehmendem Abstand des Arbeitspunktes zum MPP vergrößert. Dadurch werden die Tracking-Geschwindigkeit erhöht und der Rippel im MPP reduziert. Im Bereich des MPP wird mit minimaler Schrittweite (MPP_min) gearbeitet. Mit zunehmendem Abstand zum MPP nimmt die Schrittweite zu bis MPP_max. Für besondere Zwecke steht ein Skalierungsfaktor MPP_K zur Verfügung.

Nach Last EIN startet der MPP-Tracker mit dem Startwiderstand (MPP_R). Nun wird ermittelt, in welchem Bereich der Kennlinie sich der momentane Arbeitspunkt befindet und wie groß der Abstand zum MPP ist. Als Ergebnis dieser Berechnung erfolgt eine Änderung des Lastwiderstandes um ΔR . Da ΔR im Bereich MPP_min und MPP_max liegen kann, darf MPP_max nicht zu groß gewählt werden. Bei Vergrößerung von MPP_min wird der MPP nach Last EIN schneller erreicht. Wird MPP_max zu groß gewählt, ist der MPP-Tracker ggf. nicht stabil. Es sollten mindestens 2 Schritte mit $\Delta R = \text{MPP_max}$ zwischen Leerlauf und MPP benötigt werden. MPP_min bestimmt die Schrittweite im Bereich des MPP. Da der Lastwiderstand bei jedem Durchlauf des MPP-Trackers immer um mindestens $\pm \text{MPP_min}$ variiert wird, resultiert daraus ein ΔP -Rippel. Bei Vergrößerung von MPP_min wird ΔP -Rippel größer, bei zu kleinem MPP_min wird die Reaktion auf eine Änderung der Beleuchtungsstärke der Solarmodule langsamer.

4.7 Betrieb mit 2 Sollwerten

Für die Standard-Betriebsarten können zwei unabhängige Sollwerte eingestellt werden.

Die Auswahl des aktiven Sollwertes erfolgt mit den Befehlen CHAN_A für Sollwert A und CHAN_B für Sollwert B.

- Der Befehl **CHAN_A** legt den Sollwert A als aktiven Sollwert fest. (Festlegen des Sollwertes A mit dem Befehl SP_A)
- Der Befehl **CHAN_B** legt den Sollwert B als aktiven Sollwert fest. (Festlegen des Sollwertes B mit dem Befehl SP_B)
- Der Befehl **TOGGLE** startet den Taktbetrieb. Dabei wird abwechselnd Sollwert A und Sollwert B als aktiver Sollwert festgelegt. (Die aktive Zeit pro Sollwert kann mit dem Befehl TOGGLE_TIME festgelegt werden)

4.8 Funktion Load ON/OFF

Der Befehl LOAD_OFF schaltet die Last in den gesperrten Zustand. Der Laststrom immer 0A, unabhängig vom eingestellten Sollwert.

Der Befehl LOAD_ON schaltet die Last in den aktiven Zustand. Der Laststrom ist abhängig von der Betriebsart und vom eingestellten Sollwert.

4.9 Sense-Betrieb

Im Sense-Betrieb wird für die internen Berechnungen die Spannung an den Sense-Buchsen verwendet.

Diese Funktion wird verwendet, um Fehler im P-, G- und U-Mode, bedingt durch Spannungsabfälle über den Lastleitungen, zu eliminieren.

Der maximale Spannungsabfall über der neg. Lastleitung darf max. 7V betragen. Der Spannungsabfall über der pos. Lastleitung ist unkritisch, es muss aber gewährleistet werden, dass die maximal zulässige Sense-Spannung ($U_{L_max} + 15\%$) nicht überschritten wird.

5. Konfigurationsmöglichkeiten

Die Regelcharakteristik des digitalen PID-Reglers wird über drei Koeffizienten b_0 , b_1 , b_2 festgelegt. Zu jeder Betriebsart steht ein vollständiger Koeffizientensatz, bestehend aus Hauptkoeffizienten, Haupt-Tiefpass, Startup-Koeffizienten, Startup-Tiefpass und Startupzeit im EEPROM zur Verfügung. Nach dem Einschalten (Netz) wird der PID-Regler mit den EEPROM-Werten konfiguriert. Für welche Betriebsart das Gerät nach dem Einschalten konfiguriert wird, hängt von den Festlegungen in der Power-Up-Konfiguration ab. Als Default ist I-Mode ohne Startup mit speziellen Reglerparametern eingestellt. Diese Default-Einstellung kann mit dem Befehl SAVE_DCL_SC durch eine benutzerspezifische Konfiguration überschrieben werden. Für jede Betriebsart ist eine Werkseinstellung verfügbar, die mit den Befehlen LOAD_FCx geladen werden kann. Änderungen an den Werkseinstellungen sind nicht möglich. Für jede Betriebsart kann eine benutzerdefinierte Regler-Konfiguration mit den Befehlen SAVE_CCx gespeichert und mit den Befehlen LOAD_CCx geladen werden.

Die Reglerkonfiguration kann mit den entsprechenden Befehlen jederzeit geändert werden, auch wenn der Regler aktiv ist (→ Load_ON). Alle Änderungen wirken sich sofort aus, d.h. die Regelcharakteristik verändert sich entsprechend. Änderungen an der Startup-Konfiguration wirken sich erst nach dem nächsten Load_ON-Befehl aus. Konfigurationsänderungen wirken sich nicht auf die im EEPROM gespeicherten Werte aus. Damit sie nach einem Mode-Wechsel noch zur Verfügung stehen, müssen sie im EEPROM mit den Befehlen SAVE_CCx gespeichert werden. Nach Änderungen bzw. Optimierungsversuchen kann entweder die neue Konfiguration ins EEPROM übernommen oder durch Laden der gespeicherten Einstellung die letzte Reglerkonfiguration wiederhergestellt werden.

6. Befehle

6.1 Abfrage Gerätekonfiguration

*IDN? oder IDN?	Abfrage Identify-String (
Antwort:	String mit 24 Zeichen
Beispiel:	DCL3000/60/320␣SN:100005
	DCL → Typ DCL
	3000 → max. Lastleistung 3000W
	60 → max. Lastspannung 60V
	320 → max. Laststrom 320A
	␣ → Leerzeichen (Space)
	100005 → Geräte-Nr. 100005
FIRMWARE?	Abfrage Firmware-Version
Antwort:	String mit 26 Zeichen
Beispiel:	Firmware Vx.xx/Vx.xx/Vx.xx
MODULE?	Abfrage Modultyp
Antwort:	String mit max. 26 Zeichen

6.2 Auswahl Betriebsarten

IMODE	Wählt den I-Mode
PMODE	Wählt den P-Mode
GMODE	Wählt den G-Mode
UMODE	Wählt den U-Mode
IUMODE	Wählt den IU-Mode
MPPMODE	Wählt den MPP-Mode

Hinweis: Bei jedem Mode-Wechsel wird automatisch LOAD_OFF ausgeführt!

6.3 Einstellung Sollwerte

SP_A␣<Wert>	Vorgabe Sollwert A
SP_B␣<Wert>	Vorgabe Sollwert B
<Wert>	Dezimalzahl (Vor- und Nachkommateil durch <u>Punkt</u> getrennt)

6.3.1 Einstellung Sollwerte MPP-Mode

MPP_MAX␣<Wert>	Einstellung max. Schrittweite
MPP_MIN␣<Wert>	Einstellung min. Schrittweite
MPP_R␣<Wert>	Einstellung Start-Widerstand
MPP_K␣<Wert>	Einstellung Skalierungsfaktor K
<Wert>	Dezimalzahl (Vor- und Nachkommateil durch <u>Punkt</u> getrennt)

6.4 Abfrage Sollwerte

SP_A? Abfrage Sollwert A
SP_B? Abfrage Sollwert B
Antwort: Dezimalzahl, 3 Nachkommastellen

6.4.1 Abfrage Sollwerte MPP-Mode

MPP_MAX? Lesen max. Schrittweite
MPP_MIN? Lesen min. Schrittweite
MPP_K? Lesen Faktor K
MPP_R? Lesen Start-Widerstand
<Antwort> Dezimalzahl (Vor- und Nachkommateil durch Punkt getrennt)

6.5 Abfrage Istwerte

UL? Abfrage Lastspannung
IL? Abfrage Laststrom
ULM? Abfrage Spannung am Lastmodul
Antwort: Dezimalzahl, 3 Nachkommastellen

PL? Abfrage Lastleistung
Antwort: Dezimalzahl, 1 Nachkommastelle

TMAX? Abfrage Kühlkörpertemperatur
Antwort: Dezimalzahl, 1 Nachkommastelle

6.6 Abfrage Gerätestatus

DCL_STAT? Abfrage Gerätestatus
Antwort: Hexadezimalzahl 0x[d]d
d = Hexadezimale Ziffer, [d] optionale Ziffer

6.6.1 Status-Flags

Bit 0 Load ON
Bit 1 -
Bit 2 -
Bit 3 U<
Bit 4 U>
Bit 5 P>
Bit 6 T>
Bit 7 T> Vorwarnung
Bit 8 -
Bit 9 -
Bit 10 -
Bit 11 -
Bit 12 -
Bit 13 -
Bit 14 -
Bit 15 NOT-AUS aktiv

6.7 Steuerbefehle

LOAD_ON	Schaltet die Last aktiv
LOAD_OFF	Schaltet die Last in den inaktiven Zustand
CHAN_A	Wählt Sollwert A als aktiven Sollwert
CHAN_B	Wählt Sollwert B als aktiven Sollwert
TOGGLE	Wählt den Taktbetrieb (Zyklische Umschaltung zwischen Sollwert A und B)
TOGGLE_TIME □ <Wert> Wert:	Einstellung der Umschaltzeit für Toggle-Mode 1 - 26280000ms (1ms – 7h 18min)
SENSE_ON	aktiviert Sense-Betrieb
SENSE_OFF	deaktiviert Sense-Betrieb
STARTUP_ON	aktiviert Betrieb mit speziellen Reglerparametern nach Load_ON
STARTUP_OFF	deaktiviert Betrieb mit speziellen Reglerparametern nach Load_ON
UL_MEAN_ON	Aktiviert die Mittelwertbildung für UL-Messung
UL_MEAN_OFF	Deaktiviert die Mittelwertbildung für die UL-Messung
IL_MEAN_ON	Aktiviert die Mittelwertbildung für IL-Messung
IL_MEAN_OFF	Deaktiviert die Mittelwertbildung für die IL-Messung
PL_MEAN_ON	Aktiviert die Mittelwertbildung für PL-Messung
PL_MEAN_OFF	Deaktiviert die Mittelwertbildung für die PL-Messung
ENEE	Schreibzugriff für EEPROM-Bereich freigeben
DSEE	Schreibzugriff für EEPROM-Bereich sperren
SAVE_CCI	Speichert die Regler-Parameter für I-Mode
SAVE_CCP	Speichert die Regler-Parameter für P-Mode
SAVE_CCG	Speichert die Regler-Parameter für G-Mode
SAVE_CCU	Speichert die Regler-Parameter für U-Mode
SAVE_CCMPP	Speichert die Regler-Parameter für MPP-Mode
LOAD_CCI	Lädt die Benutzer-Einstellungen für I-Mode
LOAD_CCP	Lädt die Benutzer-Einstellungen für P-Mode
LOAD_CCG	Lädt die Benutzer-Einstellungen für G-Mode
LOAD_CCU	Lädt die Benutzer-Einstellungen für U-Mode
LOAD_CCMPP	Lädt die Benutzer-Einstellungen für MPP-Mode
LOAD_FCI	Lädt die Werkseinstellungen für I-Mode
LOAD_FCP	Lädt die Werkseinstellungen für P-Mode
LOAD_FCG	Lädt die Werkseinstellungen für G-Mode
LOAD_FCU	Lädt die Werkseinstellungen für U-Mode
LOAD_FCMPP	Lädt die Werkseinstellungen für MPP-Mode
SAVE_DCL_SC	Legt die aktuelle Betriebsart und die aktuelle Konfiguration als Power-Up-Einstellung fest.
<Wert>	Dezimalzahl (Vor- und Nachkommateil durch <u>Punkt</u> getrennt)

6.8 Einstellung PID-Regler

PID-Stellungsalgorithmus: $y_k = y_{k-1} + (b_0 * e_k) + (b_1 * e_{k-1}) + (b_2 * e_{k-2})$

y_k neuer Ausgabewert
 y_{k-1} Ausgabewert beim letzten Durchlauf
 e_k aktuelle Regeldifferenz
 e_{k-1} Regeldifferenz beim letzten Durchlauf
 e_{k-2} Regeldifferenz beim vorletzten Durchlauf

6.8.1 Einstellung Koeffizienten

PID_B0 \square <Wert>	Einstellung Reglerkoeffizient b_0
PID_B1 \square <Wert>	Einstellung Reglerkoeffizient b_1
PID_B2 \square <Wert>	Einstellung Reglerkoeffizient b_2
START_B0 \square <Wert>	Einstellung Startup-Reglerkoeffizient b_0
START_B1 \square <Wert>	Einstellung Startup-Reglerkoeffizient b_1
START_B2 \square <Wert>	Einstellung Startup-Reglerkoeffizient b_2
AUX1_B0 \square <Wert>	Einstellung 2. Reglerkoeffizient b_0 im Kombi-Mode (z.B. IU-Mode)
AUX1_B1 \square <Wert>	Einstellung 2. Reglerkoeffizient b_1 im Kombi-Mode (z.B. IU-Mode)
AUX1_B2 \square <Wert>	Einstellung 2. Reglerkoeffizient b_2 im Kombi-Mode (z.B. IU-Mode)
<Wert>	Dezimalzahl
	Wert = $b_n * 2^{16}$ ($b_n \in \mathbb{R}$; Wert $\in \mathbb{Z}$)
	Wertebereich für b_n : $\pm 2^{-16} \dots 2,3$
Hinweis:	Im IU-Mode werden mit den AUX1-Befehlen die Reglerkoeffizienten für den U-Regler eingestellt.

6.8.2 Einstellung Tiefpass

LPF_PID \square <Wert	Einstellung für Hauptregler
LPF_START \square <Wert	Einstellung für Startup des Hauptreglers
LPF_AUX1 \square <Wert	Einstellung für 2. Regler im Kombi-Mode
<Wert>	0,1,2,3
Hinweis:	Im IU-Mode wird mit dem AUX1-Befehl der Tiefpass für den U-Regler eingestellt.

6.8.3 Einstellung Startup-Zeit

START_TIME \square <Wert	Einstellung der Startup-Zeit in μs
<Wert>	100 μs ... 0,4s
	Wertebereich 100 ... 400000 μs

6.9 Abfrage PID-Regler

6.9.1 Abfrage Koeffizienten

PID_B0?	Lesen des Reglerkoeffizienten b0
PID_B1?	Lesen des Reglerkoeffizienten b1
PID_B2?	Lesen des Reglerkoeffizienten b2
START_B0?	Lesen des Startup-Reglerkoeffizienten b0
START_B1?	Lesen des Startup-Reglerkoeffizienten b1
START_B2?	Lesen des Startup-Reglerkoeffizienten b2
AUX1_B0?	Lesen des 2. Reglerkoeffizienten b0 für Kombi-Mode
AUX1_B1?	Lesen des 2. Reglerkoeffizienten b1 für Kombi-Mode
AUX1_B2?	Lesen des 2. Reglerkoeffizienten b2 für Kombi-Mode
Antwort:	Ganze Zahl $\rightarrow b_n = \text{Antwort} / 2^{16}$

6.9.2 Abfragen Tiefpass

LPF_PID?	Lesen Tiefpass für Hauptregler
LPF_START?	Lesen Tiefpass für Startup des Hauptreglers
LPF_AUX1?	Lesen Tiefpass für 2. Regler im Kombi-Mode
Antwort:	Ganze Zahl im Bereich 0 - 3.

6.9.3 Abfragen Startup-Zeit

START_TIME?	Lesen der Startup-Zeit in μs
Antwort:	100 ... 400000 μs (\rightarrow 100 μs ... 0,4s)

7. Schutzfunktionen

7.1 Überspannungsschutz

Bei Überschreitung der maximalen Lastspannung wird der Laststrom automatisch auf 0A geschaltet (entspricht Load OFF). Das Ansprechen des Überspannungsschutzes wird durch die rote U> LED auf der Frontplatte und durch das U> Flag im DCL-Statusregister signalisiert.

Hinweis: Wird die maximale Lastspannung um mehr als 40% überschritten, kann die elektronische Last beschädigt werden!

7.2 Übertemperaturschutz

7.2.1 Übertemperatur-Vorwarnung

Überschreitet die Kühlkörpertemperatur die Warnschwelle, blinkt die rote T> LED auf der Frontplatte und im DCL-Statusregister wird das P> Flag gesetzt.

Mögliche Ursachen: - Umgebungstemperatur zu hoch
- Luftstrom behindert. Hinweise unter Kapitel 1.2 beachten.

7.2.2 Übertemperatur-Abschaltung

Bei Überschreitung der maximal zulässigen Kühlkörpertemperatur wird der Laststrom automatisch auf 0A geschaltet (entspricht Load OFF). Das Ansprechen des Übertemperaturschutzes wird durch die rote T> LED auf der Frontplatte durch das P> Flag im DCL-Statusregister signalisiert.

Mögliche Ursachen: - Umgebungstemperatur zu hoch
- Luftstrom behindert. Hinweise unter Kapitel 1.2 beachten.

7.3 Leistungsbegrenzung

Bei Überschreitung der maximal zulässigen Verlustleistung wird der Laststrom auf den maximal zulässigen Wert begrenzt. Die Schutzschaltung verhindert einen Betrieb der Last außerhalb des zulässigen Arbeitsbereiches. Das Ansprechen der Leistungsbegrenzung wird durch die gelbe P> LED auf der Frontplatte durch das P> Flag im DCL-Statusregister signalisiert.

7.4 Verpolschutz



Um eine Zerstörung der Last zu verhindern, lösen bei Anlegen eine Lastspannung mit falscher Polarität interne Schmelzsicherungen aus, wenn der fließende Strom 400A überschreitet. Das Gerät ist erst wieder betriebsbereit, nachdem die Sicherungen ausgetauscht wurden!

Hinweis: Bei Anlegen einer Lastspannung mit falscher Polarität kann der Laststrom von der elektronischen Last **nicht begrenzt werden**. Spannungsquellen ohne Strombegrenzung können beschädigt oder zerstört werden, da die Sicherungen den Stromkreis erst bei Überschreiten von 400A unterbrechen!



Achtung: Stromquellen mit Maximalströmen von weniger als 400A müssen gegen Überlastung geschützt werden, z.B. durch eine geeignete Sicherung im Lastkreis.



Achtung: Lastkreisverbindungen nie unter Spannung herstellen. Bei versehentlicher Verpolung kann je nach Spannung und Maximalstrom der Quelle ein Lichtbogen entstehen, der zur Beschädigung der Last und zu erheblichen Verletzungen führen kann!

8. NOT-AUS

Das Gerät verfügt über eine Not-Aus-Funktion. Diese Funktion ist als Hardware-Funktion realisiert. Solange ein NOT-AUS-Signal (5V) an den rückseitigen Emergency-OFF-Anschlüssen anliegt, wird die Last, unabhängig vom aktuellen Betriebszustand oder von Steuerbefehlen, in den Zustand Load_OFF versetzt. Die Last kann nur durch Rücknahme des NOT-AUS-Signals (0V) in den normalen Betrieb zurückkehren. Wird im Zustand Load_ON die Not-Aus-Funktion aktiviert oder wird versucht, die Last in den Zustand Load_ON zu schalten, während die Not-Aus-Funktion aktiv ist, wird dies durch das gleichzeitige Blinken aller Error-LED auf der Frontplatte und durch das NOT-AUS-Flag im Statusregister signalisiert.

9. Lastanschlüsse

Stromschiene 12x12mm mit Bolzen M6x10 auf Geräterückseite	Anschluss für die Lastleitung (Pluspol) (linker Anschluss)
---	--

Stromschiene 12x12mm mit Bolzen M6x10 auf Geräterückseite	Anschluss für die Lastleitung (Minuspol) (rechter Anschluss)
---	--

Hinweis: Für den Anschluss von Lastleitungen mit großem Querschnitt stehen geeignete Adapter zur Verfügung.

10. Sense-Anschlüsse

Buchse 4mm rot	Anschluss für + Sense
Buchse 4mm blau	Anschluss für – Sense



Hinweis: Wird bei nicht angeschlossen Fühlerleitungen in den Sense-Betrieb geschaltet, können die Betriebsarten P-, G-, U, UI- und MPP-Mode nicht korrekt funktionieren und mit UL? werden falsche Spannungswerte gemeldet. Die Schutzfunktionen bleiben unbeeinflusst, da dafür immer die Spannung an den Lastanschlüssen verwendet wird.

11. Modulations-Eingang

BNC-Buchse	Anschluss für Signalquelle
Innenwiderstand	50Ω
Bandbreite -3dB	50Hz – 30kHz

Hinweis: Das Modulationssignal wird in den Regelkreis eingekoppelt. Bei der Konfiguration des Reglers ist darauf zu achten, dass die Grenzfrequenz des Reglers viel geringer sein muss als die Modulationsfrequenz! Wird dies nicht beachtet, wird die Modulationsfrequenz gedämpft bzw. unterdrückt.

12 Schnittstellen

Signal- und Steuerleitungen dürfen aus Gründen der Störfestigkeit eine Gesamtlänge von 3m nicht überschreiten.

Die DCL-Serie ist mit 2 USB-Schnittstellen ausgerüstet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, ein zusätzliches Schnittstellenmodul zu bestücken. Die Module werden automatisch erkannt und initialisiert. Ist ein Modul bestückt, wird die USB-Schnittstelle auf der Geräterückseite deaktiviert.

12.1 USB-Schnittstellen (1x Frontplatte, 1x Rückwand)

Im USB-Betrieb wird auf dem PC eine virtuelle COM-Schnittstelle emuliert.
Schnittstellen-Einstellungen: 9600 Baud, 1 Startbit, 8 Datenbits, 1 Stoppbit, no Parity

Hinweis: Die Massen der Schnittstellensignale haben eine elektrische Verbindung zum Gehäuse und zum PE-Kontakt der Netzbuchse.

12.2 RS232-Schnittstelle

Geschwindigkeiten: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400 Baud
Parität: No Parity, Odd Parity, Even Parity,
Flusskontrolle: Hardware-Handshake

Konfiguration: RS232-Konfiguration über Gerätekonfiguration einstellbar

Default: 8N1: 9600 Baud, 1 Startbit, 1 Stoppbit, 8 Datenbits , No Parity, Hardware-Handshake

Anschluss: Stecker 9pol D-SUB

12.2 IEEE488-Schnittstelle

Protokolle: IEC625-1 und IEC625-2 (SCPI)

Adresse: 0 – 31 Wählbar über Gerätekonfiguration

Schnittstellenfunktionen:

SH1	Source Handshake
AH1	Acceptor Handshake
T6	Talker
L4	Listener
SR1	Service Request
PP1	Parallel Poll
DC1	Device Clear
DT0	Device Trigger
E2	Tri-State-Treiber

12.3 Analog-Schnittstelle

Die Analogschnittstelle stellt neben den digitalen Steuer- und Meldesignalen einen Eingang für den Sollwert und 2 Monitorausgänge für Laststrom und Lastspannung zur Verfügung. Alle Signale des Analogmoduls sind vom Lastkreis und vom der DCL-Steereinheit galvanisch getrennt.

Analogsignale:	Steuerspannung Sollwert 1	Bereich 0-5V, Abtastrate 100kHz
	Rückmeldung Lastspannung	Bereich 0-5V, Abtastrate 100kHz
	Rückmeldung Laststrom	Bereich 0-5V, Abtastrate 100kHz
Digitalsignale:	Befehl Last EIN/AUS	
	Befehl Mode_0	
	Befehl Mode_1	
	Befehl Mode_2	
	Befehl Mode_3	
	Meldung Last_EIN	
	Meldung U<	
	Meldung U>	
	Meldung P>	
	Meldung T-Vorwarnung	
	Meldung T>	
Meldung NOT-AUS		