

Lithium Lade-IC N μ 701.65

Mit Last-Management

**Komplettlösung für Akkuanwendungen mit
1 bis 5 Lithium-Zellen
Adaptierbar an alle Li+ Systeme**

Integrierter DC-DC-Wandler

Ladestrom max. 0,7 A (2..3 A mit ext. FET)

Einzelzellüberwachung

Innovatives Zell-Balancing

Anzeige des Ladezustands mit 2 LEDs

Lastabschaltung bei:

- Überlast / Kurzschluss
- Unterspannung
- Übertemperatur

Sicherheitslogik mit Wiederanlaufsperr

Seestr. 2
63533 Mainhausen
Tel: +49-6182 92120 0
www.neutron.de

NEUTRON
— MIKROELEKTRONIK —

1 Kurzbeschreibung

Es können Akku-Packs mit **1 bis 5 Zellen** in Reihenschaltung geladen werden. Ohne zusätzliche Programmierung sind Ladeschlussspannung, Entladeschlussspannung und die Nachladeschwelle an die **verschiedenen Akku-Systeme** wie Lithium-Mangan, LiFePO, Li-Polymer etc. anpassbar.

Das IC enthält einen kompletten Abwärts-Schaltregler und kann für höhere Ladeströme auch einen externen P-MOSFET ansteuern, um aus der Netzteilspannung den Akku zu laden.

Während des Ladens wird die **Spannung an jeder einzelnen Zelle überwacht**. Ungleiche Zellspannungen werden während des Ladens mit einem innovativen **Balancing** ausgeglichen.

Überwachungsfunktionen während Lade- und Lastbetrieb: Über- und Untertemperatur, zu hohe / niedrige Zellspannungen, Erkennung defekter Zellen und Timeouts führen zum Abschalten der Last bzw. zum Beenden des Ladevorganges. Die Lastüberwachung schaltet bei **Überlast** verzögert, bei **Kurzschluss** sofort ab.

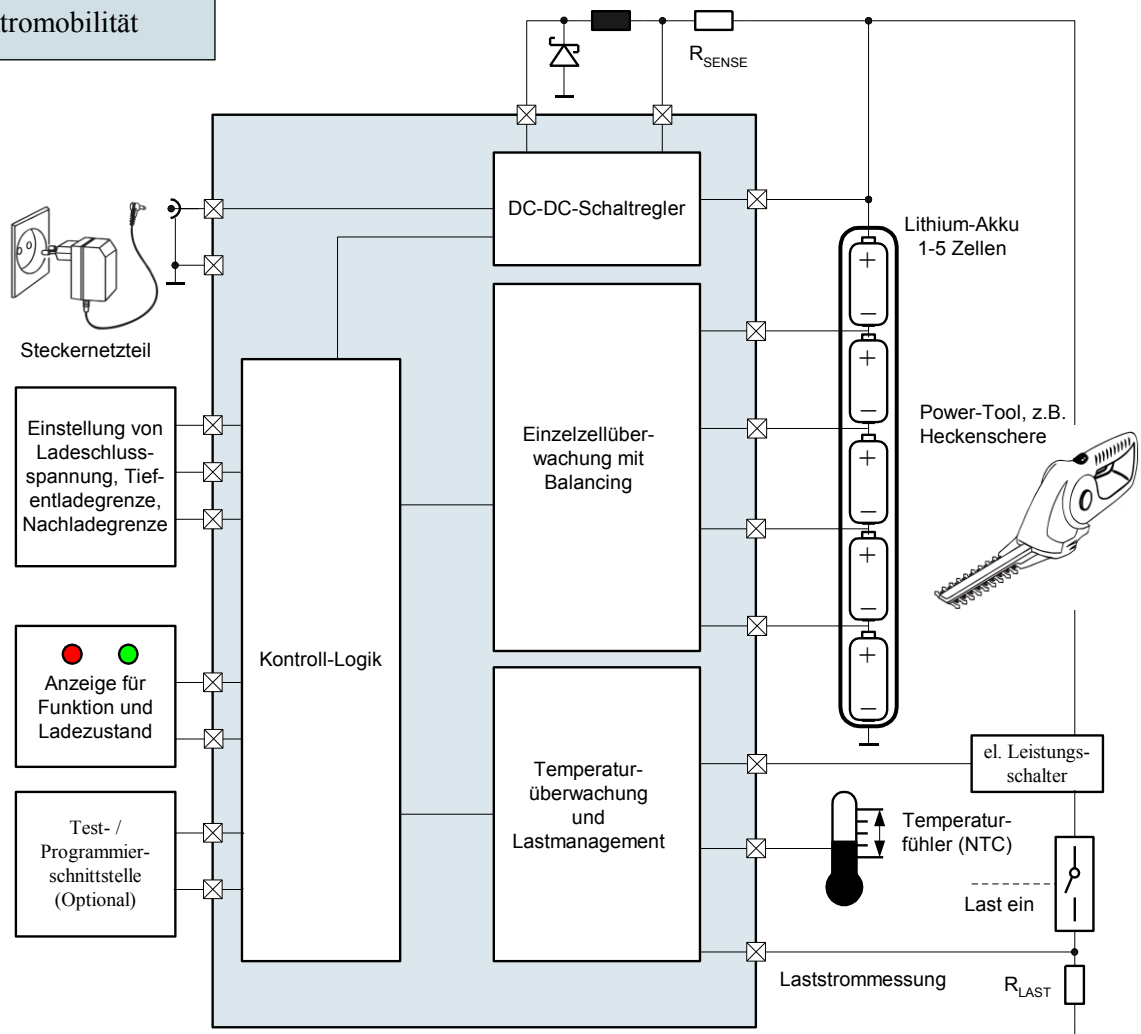
Um leitungsgebundene EMV-Störungen zu vermeiden, wird bei Einstecken des Netzteils die Last abgeschaltet.

Anzeige von Ladezustand und Fehlercodes über eine Duo-LED.

Über eine serielle zweidraht-Schnittstelle können Statusregister ausgelesen und der gesamte Ladevorgang von einem optionalen Mikrocontroller gesteuert werden. Hierüber ist auch der Leiterplatten- und Baugruppentest möglich.

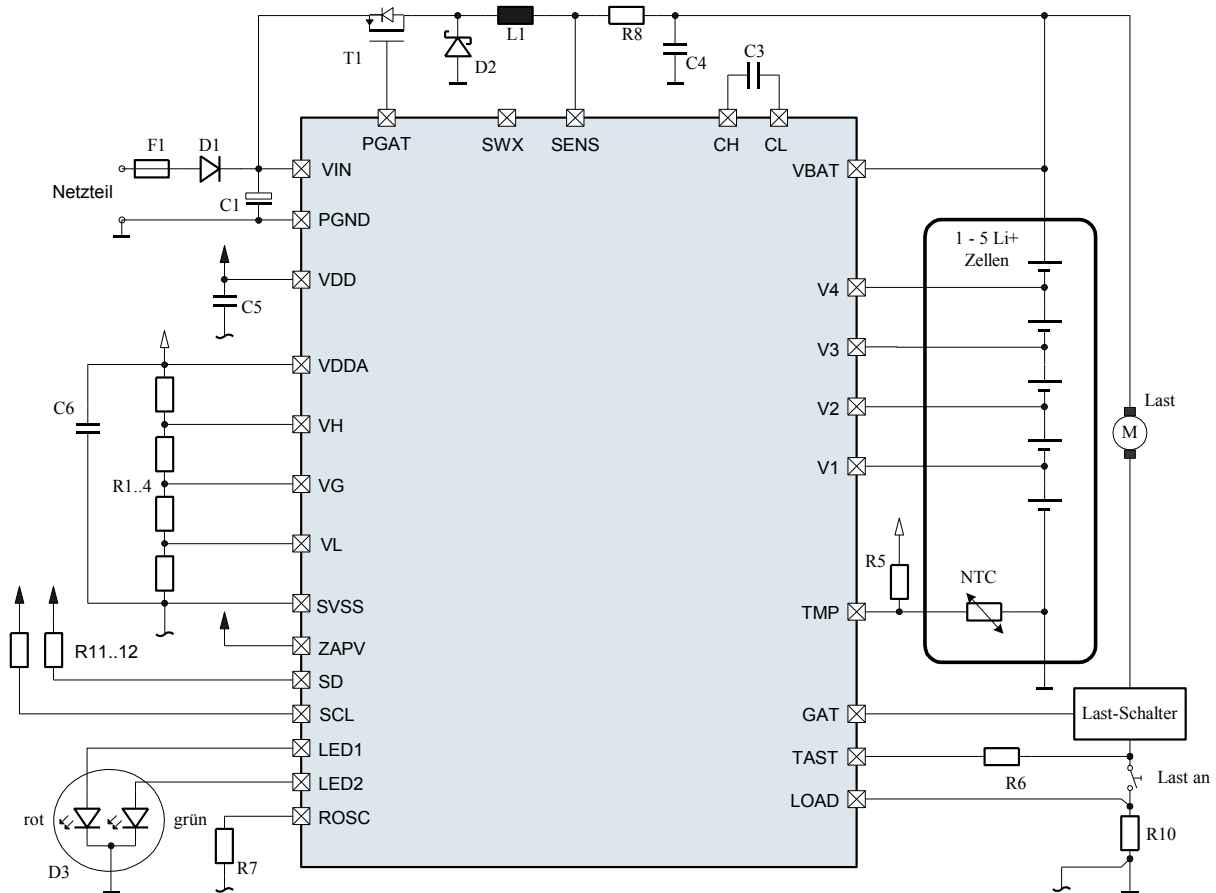
Anwendungen:

- Akku-Power Tools
- Gartengeräte
- Notbeleuchtungen
- Arbeitsleuchten
- Elektromobilität



2.2 Applikationsbeispiel Stand-Alone, 5 Zellen mit ext. Leistungs-FET (3A Ladestrom)

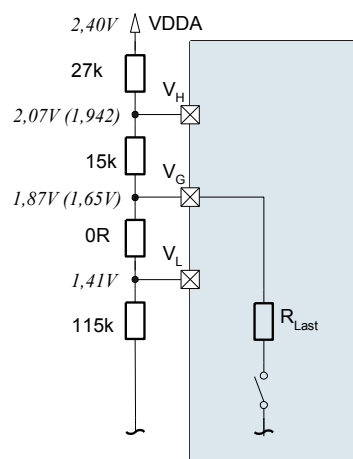
In diesem Beispiel wird der Ladestrom von einem externen Leistungs-Transistor (P-Kanal MOSFET) geschaltet. Dadurch kann der Ladestrom frei gewählt werden, auch über die Grenzen des 701.65 hinaus. Der interne Leistungs-FET bleibt dabei unbenutzt.



- C1: 47 μ F, 35V (derating beachten), Low ESR
- C3: 220nF, 50V
- C4: 47 μ F, 35V
- C5: 1 μ F, 10V Keramik
- C6: 10 μ F, 10V
- D1: Verpolschutzdiode 3A
- D2: Schottky, 4A
- D3: DUO-LED Rot / Grün
- F1: Schmelzsicherung Flink 3A
- L1: 47 – 68 μ H, 4A
- R1..4: 0,1% Genauigkeit, Dimensionierung siehe Kapitel 2.3
- R5,11,12: 4k7
- R6: 1k
- R7: 270k
- R8: 39mR
- R10: entspr. Motorlast,
- NTC: 6K8@25°C, z.B. Vishay 2381 640 6 3682
- T1: P-Kanal MOSFET 30V, niedrige Gate-Ladung

2.3 Dimensionierung des Widerstandsteilers

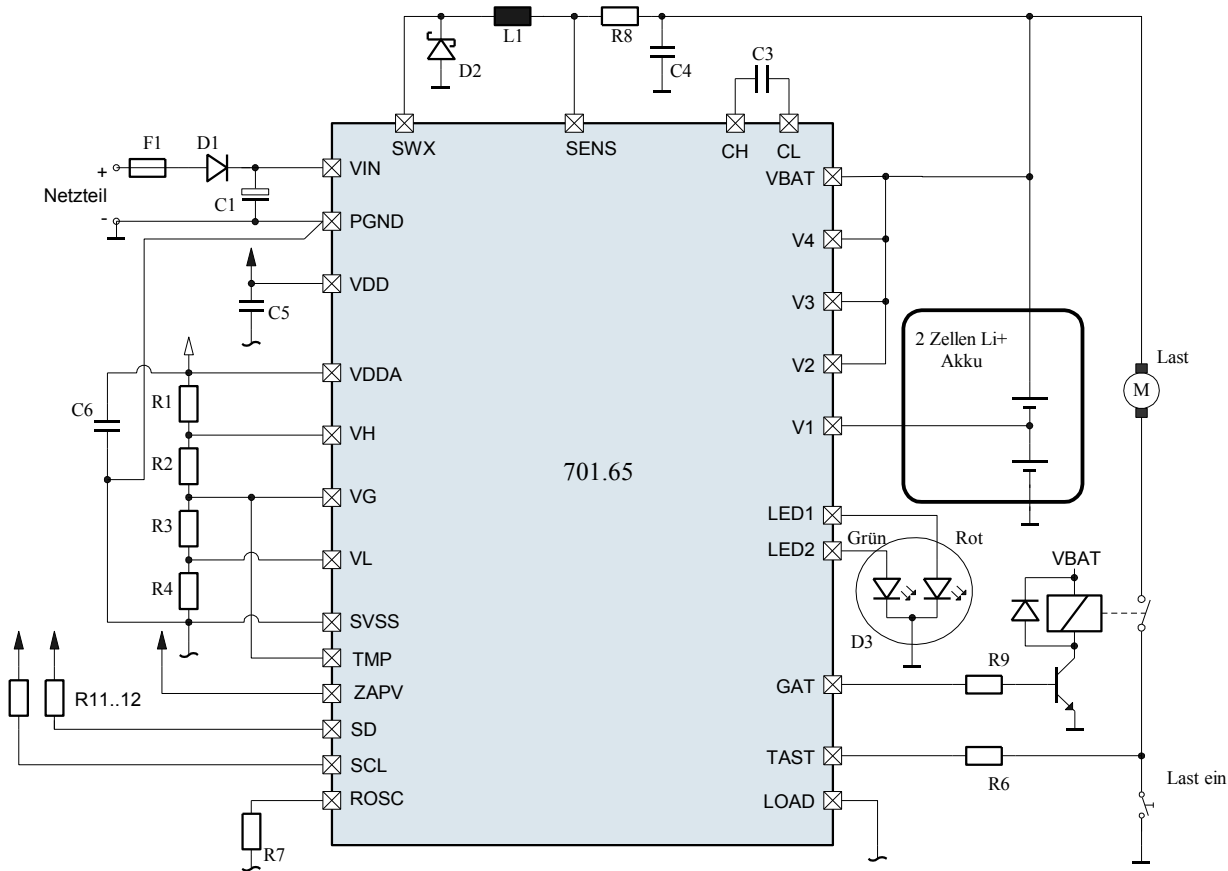
Das folgende Beispiel zeigt die Dimensionierung des Widerstandsteilers für Li-Mangan-Zellen:



Ladeschlussspannung:	U_{MAX}	= 4,14V
Grenze Ladebeginn:	U_{VOLL}	= 3,83V
Nachladegrenze:	U_{NL}	= 3,77V
Warngrenze „gelb“:	U_{GELB}	= 3,30V
Entladeschlussspannung:	U_{MIN}	= 2,81V

2.4 Applikationsbeispiel Stand-Alone, 2 Zellen, ohne Temperatur- und Motorstromüberwachung

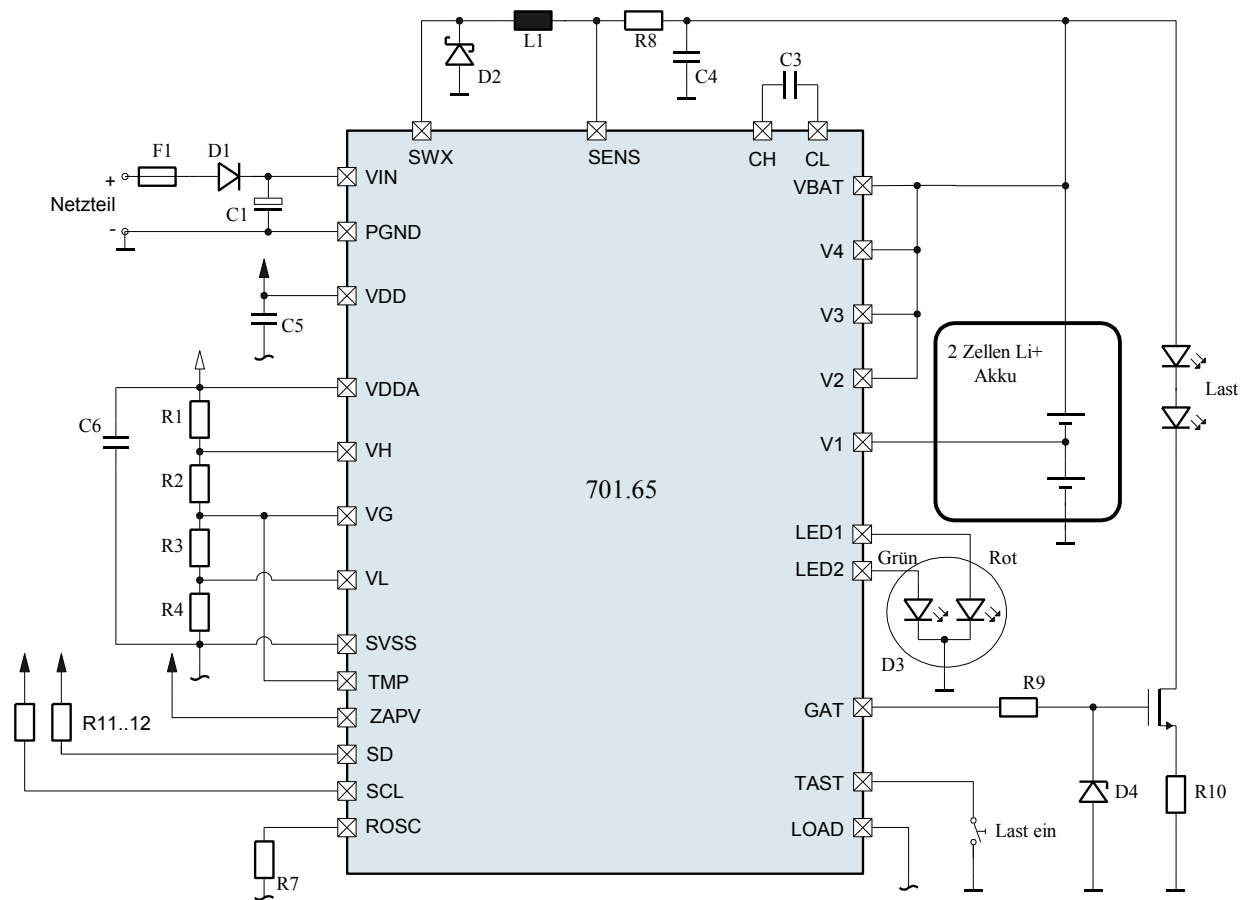
Dieses Beispiel zeigt die Beschaltung für einen Akkupack mit 2 Lithium-Ionen Zellen ohne Temperaturüberwachung. Der Last-Strom wird ebenfalls nicht überwacht. Damit am Pin TEMP auch ohne den NTC ein gültiger Spannungspegel anliegt, wurde TEMP mit VG verbunden. Der Potentialausgleich zwischen SVSS und PGND wurde mit einem Kelvin-Kontakt nahe am Pin PGND realisiert.



- C1: 10 μ F, 35V (derating beachten), Low ESR
- C3: 220nF, 50V
- C4: 10 μ F, 16V
- C5: 10 μ F, 10V Keramik
- C6: 10 μ F, 10V
- D1: Verpolschutzdiode
- D2: Schottky, 1A
- D3: DUO-LED Rot / Grün
- F1: Schmelzsicherung Flink 1A
- L1: 68 μ H, 1A
- R1..4: 0,1% Genauigkeit, Dimensionierung siehe Kapitel 2.3
- R6: 1k
- R7: 270k
- R8: mind. 0,25 Ω
- R9: 10K Ω
- R11..12: 4k7

2.5 Applikationsbeispiel Akku-Lampe

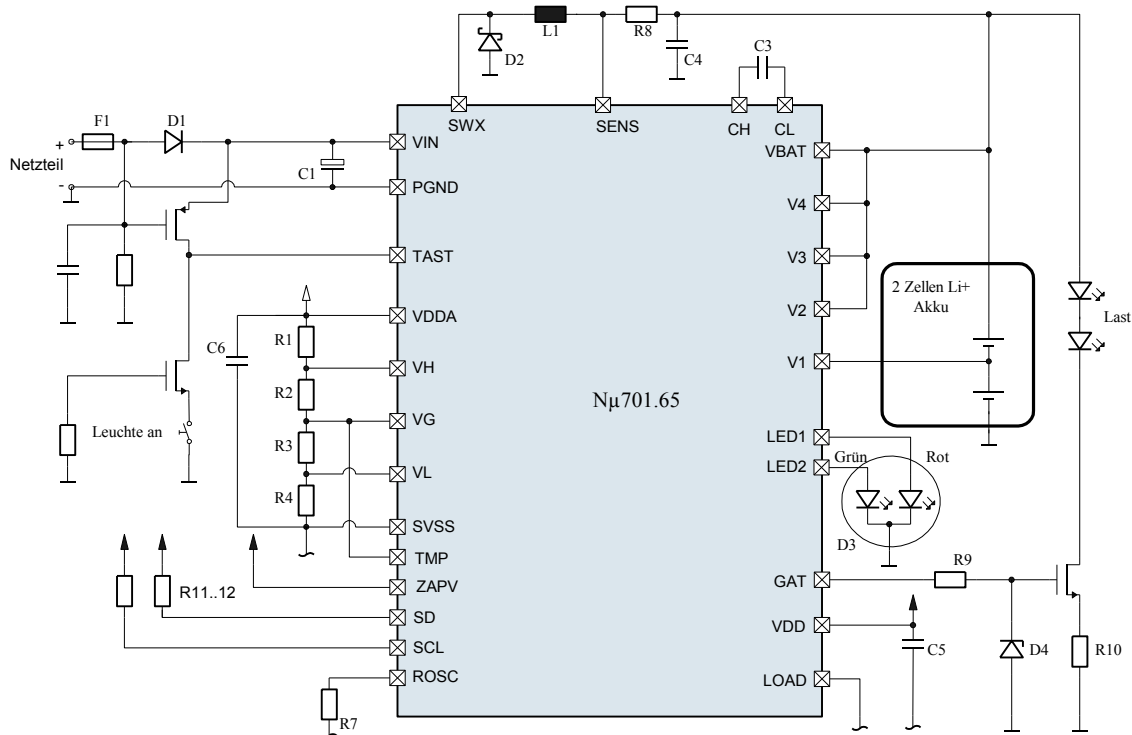
Im folgenden Beispiel handelt es sich nicht um eine sicherheitskritische Applikation, daher wird auf die Redundanz bei der Lastabschaltung verzichtet: Die Last wird nur durch den elektronischen Schalter getrennt. Als Benutzer-Interface kann ein preisgünstiger Folientaster oder -Schalter dienen.



- C1: 10 μ F, 35V (derating beachten), Low ESR
- C3: 220nF, 50V
- C4: 10 μ F, 16V
- C5: 10 μ F, 10V Keramik
- C6: 10 μ F, 10V
- D1: Verpolschutzdiode
- D2: Schottky, 1A
- D3: DUO-LED Rot / Grün
- D4: Z-Diode: Spannung entsprechend Laststrom und V_{TH} des Lasttransistors
- F1: Schmelzsicherung Flink 1A
- L1: 68 μ H, 1A
- R1..4: 0,1% Genauigkeit, Dimensionierung siehe Kapitel 2.3
- R7: 270k
- R8: mind. 0,25 Ω
- R9: 10K Ω
- R10: Dimensionierung entsprechend Laststrom
- R11..12: 4k7

2.6 Applikationsbeispiel Sicherheitsleuchte

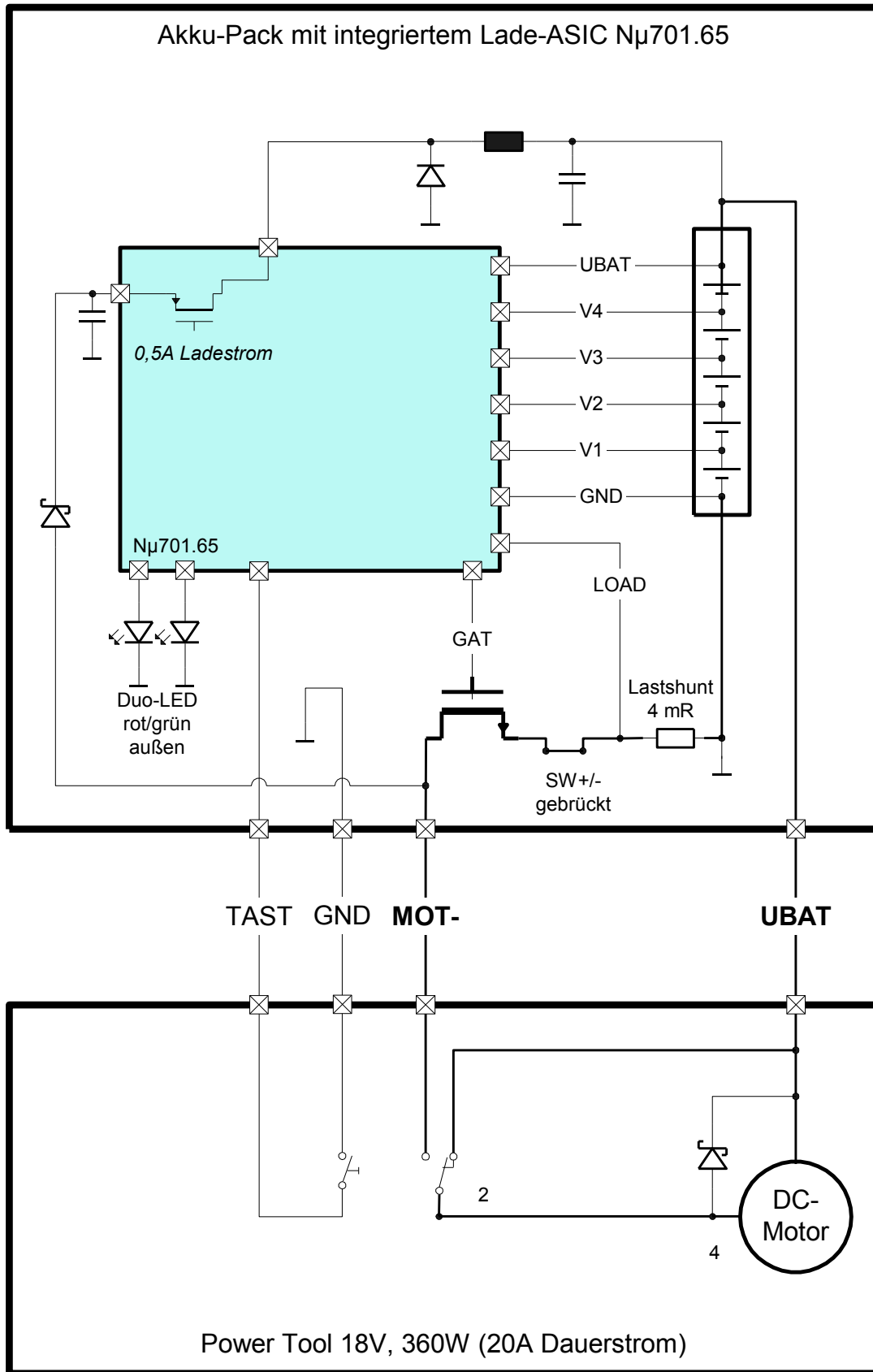
Im folgenden Beispiel handelt es sich um eine Akkugepufferte Leuchte, die sich bei Ausfall der Netzversorgung einschaltet.



- C1: 10 μ F, 35V (derating beachten), Low ESR
- C3: 220nF, 50V
- C4: 10 μ F, 16V
- C5: 10 μ F, 10V Keramik
- C6: 10 μ F, 10V
- D1: Verpolschutzdiode
- D2: Schottky, 1A
- D3: DUO-LED Rot / Grün
- D4: Z-Diode: Spannung entsprechend Laststrom und V_{TH} des Lasttransistors
- F1: Schmelzsicherung Flink 1A
- L1: 68 μ H, 1A
- R1..4: 0,1% Genauigkeit, Dimensionierung siehe Kapitel 2.3
- R7: 270k
- R8: mind. 0,25 Ω
- R9: 10K Ω
- R10: Dimensionierung entsprechend Laststrom
- R11..12: 4k7

2.7 Applikationsbeispiel Wechselakku

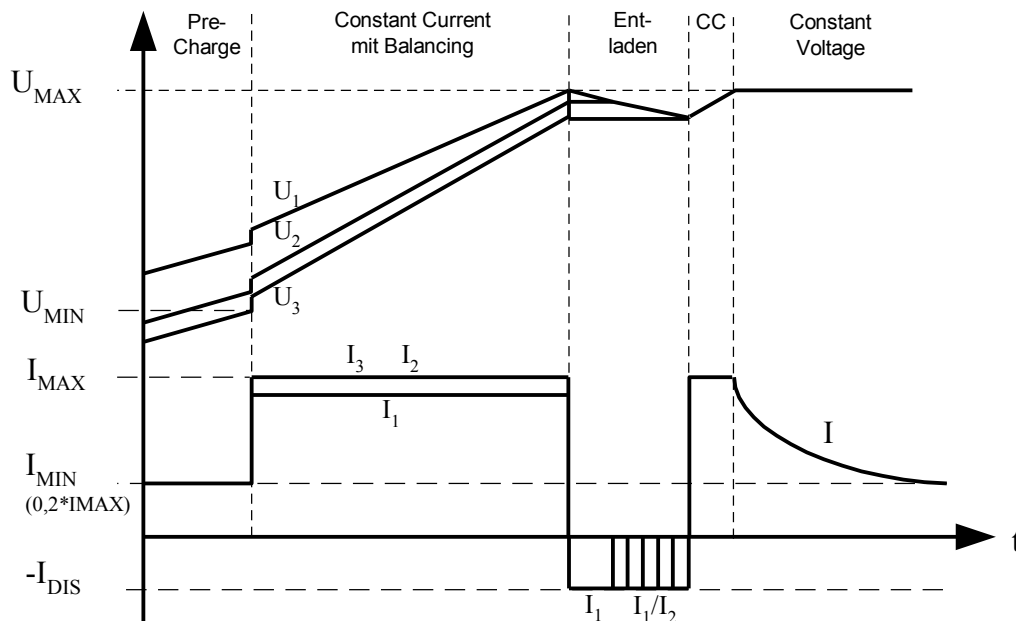
Auch Wechselakku-Systeme sind mit dem N μ 701.65 realisierbar. Dabei sitzt die „Intelligenz“ des Systems weitgehend im Akku.



3 Beschreibung der Funktionen

3.1 Ladezyklus

Es wird die Constant-Current / Constant-Voltage-Methode (CC/CV) mit Precharge-Phase bei Tiefentladung unterstützt. Der Ladezyklus besteht aus 5 Zyklen, die durch die Spannungsniveaus U_{MIN} und U_{MAX} , sowie die Ströme I_{MAX} , I_{MIN} und I_{DIS} gekennzeichnet sind. U_{MIN} und U_{MAX} werden durch den Spannungsteiler R1..R4 definiert (siehe Kap. 3.2), I_{MAX} und I_{MIN} durch den Widerstand R8 (Siehe Kap. 3.10.3). Das Gerät zeigt das Laden durch grünes blinken an. Im folgenden Beispiel eines Ladezyklus wird von einem entladenen Akku mit drei stark ungleichen Zellen ausgegangen.



3.1.1 Precharge-Phase (PreC)

Liegt die Spannung aller Zellen des Packs unter U_{VOLL} und mindestens eine Zelle unter U_{MIN} , wird mit einem konstanten Strom I_{MIN} geladen, bis die Spannung U_{MIN} von allen Zellen erreicht wird. Der Akku ist dann nicht mehr tiefentladen und für die Ladung mit der CC/CV Methode vorbereitet.

3.1.2 Constant-Current-Phase mit Balancing (CC)

Die CC-Phase beginnt, wenn alle Zellspannungen zwischen U_{MIN} und U_{VOLL} liegen. Der Akku wird nun mit einem konstanten Strom geladen, wobei die Spannung am Akku kontinuierlich steigt. In dieser Phase erhält der Akku ca. 80% seiner Ladung. Die CC-Phase endet, wenn eine Zelle die Spannung U_{MAX} erreicht. Während dieser Phase wird der Ladestrom der Zelle mit der höchsten Spannung reduziert (Balancing, siehe Kap. 3.5).

3.1.3 Entladephase

Ist nach der CC-Phase mit Balancing noch keine Balance erreicht, werden zyklisch die Zellspannungen des Batteriepacks gemessen und die Zelle mit der höchsten Spannung entladen. Sobald alle Zellspannungen gleich sind, oder eine Zellspannung unter U_{MIN} fällt, ist die Entladephase beendet.

3.1.4 Constant-Current-Phase 2 (CC2)

Der Akku wird wieder mit einem konstanten Strom geladen, wobei die Spannung am Akku kontinuierlich steigt. Die CC2-Phase endet, sobald eine Zelle U_{MAX} erreicht. Während dieser Phase wird der Ladestrom der Zelle mit der höchsten Spannung reduziert.

3.1.5 Constant-Voltage-Phase (CV)

Die restliche Ladung erhält der Akku indem die Spannung der vollsten Zelle auf U_{MAX} gehalten wird. Mit steigender Ladung wird der Ladestrom nun kontinuierlich reduziert. Fällt der Ladestrom unter I_{MIN} , gilt der Akku als vollgeladen, der Ladestrom wird abgeschaltet.

3.1.6 Nachladen bei anstecken des Netzteils

Damit der Akku-Pack geladen wird, müssen alle Zellspannungen unter U_{VOLL} liegen. Ein Akku gilt als voll geladen, wenn eine Zelle über U_{VOLL} , die anderen zumindest über U_{MIN} liegen. U_{VOLL} ergibt sich durch Verdopplung der Spannung an V_H bei interner Belastung des Spannungsteilers mit R_{Last} . Die Spannung an V_H sinkt dadurch entsprechend der Impedanz des externen Spannungsteilers. Ein Dimensionierungsbeispiel findet sich bei den Applikationsvorschlägen.

3.1.7 Nachladen, wenn Netzteil angesteckt bleibt

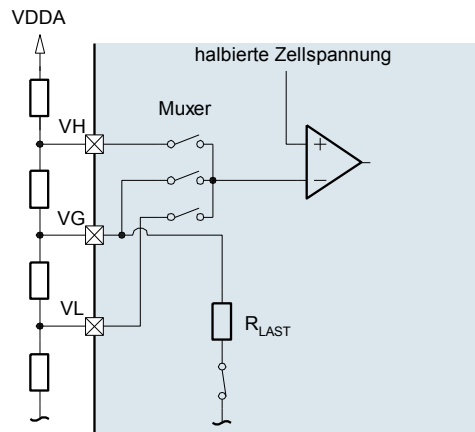
Bleibt das Netzteil nach Ende des Ladezyklus angesteckt, erfolgt in regelmäßigen Abständen (T_{NL}) oder nach einem Tastendruck eine Überprüfung der Zellspannungen. Liegt dabei mindestens eine der Zellen unter U_{NL} , startet ein neuer Ladezyklus.

3.1.8 Laden bei Tiefentladenen bzw. defekten Zellen

Bei erkanntem Batteriefehler versucht der 701.65 den Akku für einige Minuten (T_{TO_DEF}) mit I_{MIN} zu laden. Liegt nach dieser Zeit immer noch ein Batteriefehler vor, wird das Laden mit der Meldung Batteriefehler (Siehe Kap. 3.9.2) abgebrochen.

3.2 Spannungsgrenzen im Ladebetrieb

Maximale Zellspannung:	$U_{MAX}=2*U(VH)$
Grenze Ladebeginn:	$U_{VOLL}=2*U(VH)$ (belastet)
Grenze Nachladen:	$U_{NL}=2*U(VG)$
Minimale Zellspannung:	$U_{MIN}=2*U(VL)$



3.3 Timeouts

Alle Timeouts werden bei Beginn der entsprechenden Phase zurück gesetzt und betragen T_{TO} Stunden.

Precharge-Phase (PreC) Timeout

Die Precharge-Phase wird spätestens nach T_{TO} beendet. Ist eine Zelle dann immer noch tiefentladen, wird ein Timeout angezeigt (rotes blinken), das Laden wird abgebrochen.

Constant-Current-Phase (CC) Timeout

Die CC-Phase wird spätestens nach T_{TO} beendet. Ist keine der Zellen bis dahin auf U_{MAX} geladen, wird ein Timeout angezeigt (rotes blinken), das Laden wird abgebrochen.

Entladephase Timeout

Die Entladephase wird spätestens nach T_{TO} beendet. Danach wird in die zweite CC Phase gesprungen.

Constant-Current-Phase 2 (CC2) Timeout

Die CC2-Phase wird spätestens nach T_{TO} beendet. Ist keine der Zellen bis dahin auf U_{MAX} geladen, wird ein Timeout angezeigt (rotes blinken), das Laden wird abgebrochen.

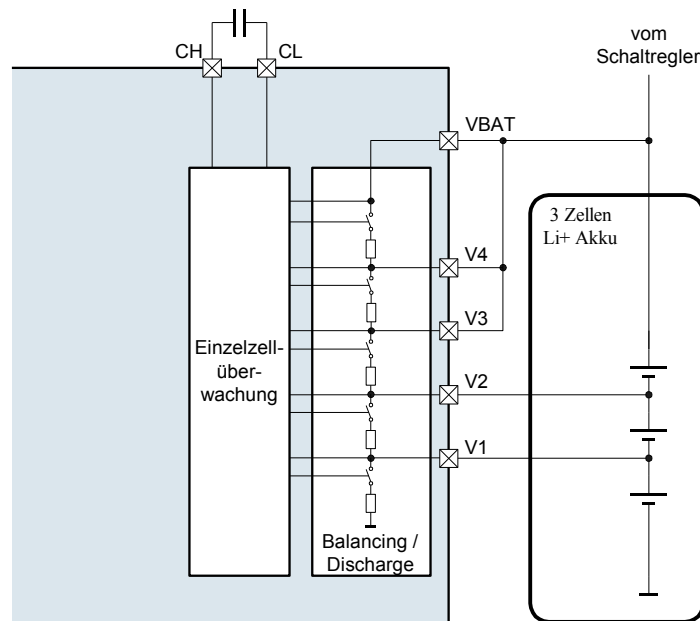
Constant-Voltage-Phase (CV) Timeout

Die CV-Phase wird spätestens nach T_{TO} beendet. Ist der Ladestrom dann immer noch nicht auf I_{MIN} gefallen wird ein Timeout angezeigt (rotes blinken), das Laden wird abgebrochen.

3.4 Bestimmung der Zellanzahl

Ein Akkupack besteht aus einer einzelnen Zelle oder einer Reihenschaltung von zwei bis fünf Zellen. Parallel geschaltete Zellen werden wie eine einzige Zelle behandelt. Die Anschlüsse jeder einzelnen Zelle werden zu den Sense-Pins V1-V4 des 701.65 geführt. Bei weniger als 5 Zellen werden die nicht benutzten Sense-Pins des 701.65 auf der Leiterplatte miteinander verbunden. Dabei wird zuerst V4 mit VBAT verbunden, dann V3 mit V4 und VBAT usw.

Um den Schaltregler richtig einzustellen und um das Balancing zu steuern bestimmt der 701.65, wie viele Zellen im Akkupack in Reihe geschaltet sind. Dazu wird in der Precharge Phase die Spannung zwischen den Anschlüssen VBAT/V4, V4/V3, V3/V2, V2/V1 und V1/VSS gemessen. Ist die Spannung zwischen den Sense-Anschlüssen kleiner als U_{Short} wird angenommen, dass die Pins auf der Leiterplatte miteinander verbunden sind. Das folgende Beispiel zeigt die Beschaltung für 3 Zellen:



3.4.1 Erkennung invertierter Zellen

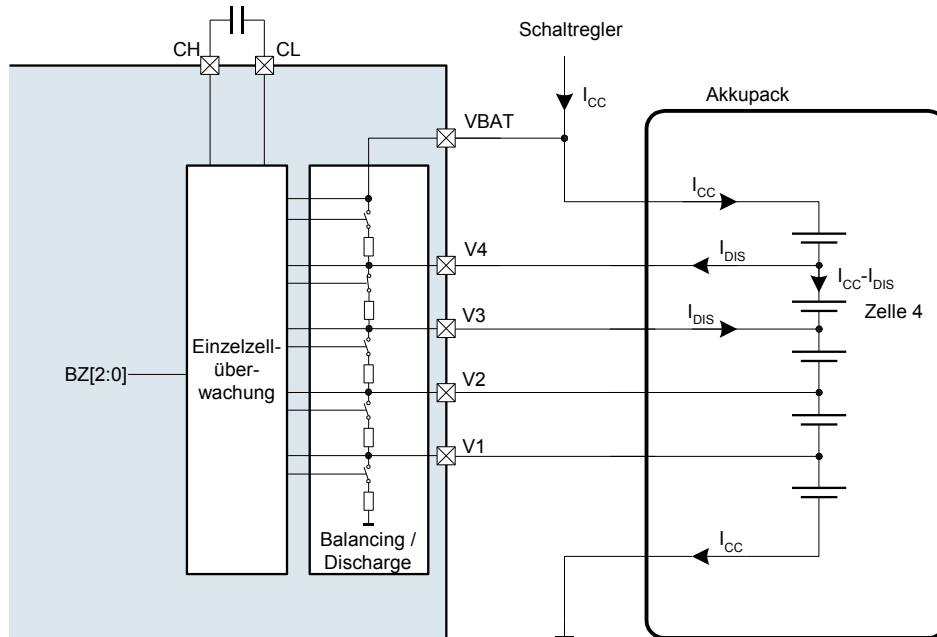
Vorgeschädigte Zellen können ihre Polarität unter bestimmten Umständen umdrehen. Unterschreitet eine Zellspannung $-U_{\text{SHORT}}$ wird dies vom IC als Batteriefehler erkannt. Die Last wird nach T_{OFF} abgeschaltet.

3.5 Balancing

Balancing ist eine Maßnahme um sicherzustellen, dass alle Zellen auch dann gleichmäßig geladen werden, auch wenn sie zu Ladebeginn unterschiedliche Ladungen aufweisen. Dafür wird in den Constant-Current Phasen der Ladestrom der Zelle mit der höchsten Spannung und damit auch der größten Ladung, reduziert. Dazu wird ein Transistor eingeschaltet, der einen Teil (I_{DIS}) des Ladestroms (I_L) an der Zelle vorbei leitet. I_{DIS} ist konstant und von I_L unabhängig.

In der Entladephase wird die Zelle mit der höchsten Spannung ebenfalls durch diese Schaltung entladen.

Im folgenden Beispiel hat die 4. Zelle im Ladebetrieb die höchste Zellspannung:

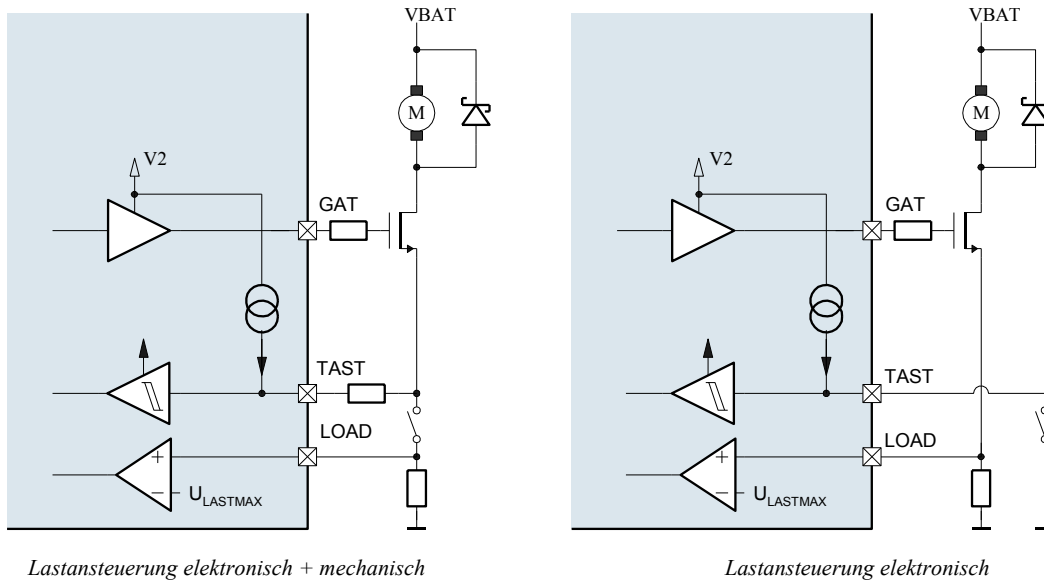


3.6 Last Treiber und Schalter-Eingang

Der 701.65 enthält einen Treiber für einen externen Schalttransistor. Darüber wird die Last (zum Beispiel ein Motor) im Falle von Unterspannung, dem Verlassen des zulässigen Temperaturbereichs, Überlast, Kurzschluss oder beim anstecken des Netzteils abgeschaltet. Der Treiber-Ausgang GAT wird zum Begrenzen der Flankensteilheit beim Ein- und Ausschalten der Last mit einem Widerstand versehen.

Der Schalter-Eingang TAST dient der Erkennung eines Tastendrucks durch den Benutzer. Die Beschaltung kann auf zwei Arten erfolgen:

3.6.1 Beispiele Lastansteuerung



Die Gatespannung des Lasttransistors wird aus V2 getrieben. Da am Pin GAT maximal die Spannung V2 ausgegeben werden kann, ist bei Betrieb mit nur einer Zelle ein externer Transistor zu verwenden, der mit entsprechend niedriger Gatespannung betrieben werden kann.

3.6.2 Erkennen des Schalterzustands

Ein Schmitt-Trigger detektiert die Spannung am mechanischen Schalter. Sinkt die Spannung am Pin TAST unter U_{SG} wird „Schalter geschlossen“ erkannt.

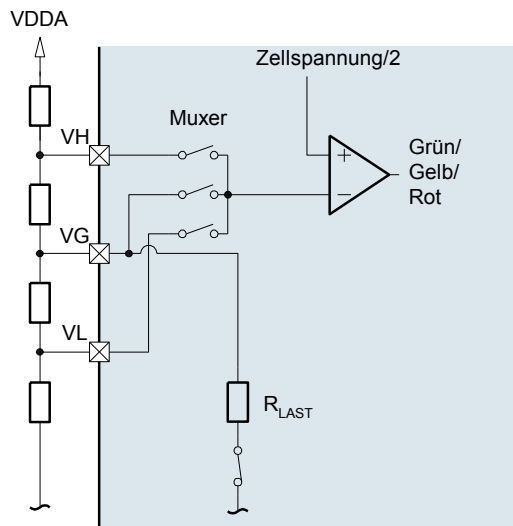
3.7 Lastmanagement

Der Akkupack wird beim Betrieb des Geräts (Taste gedrückt) vor Tiefentladung sowie Unter- und Übertemperatur geschützt. Zur Vermeidung leitungsgebundener Störungen wird bei angestecktem Netzteil die Last abgeschaltet. Die Last wird vor thermischer Überlastung, die Schaltung vor Kurzschluss geschützt.

3.7.1 Spannungsgrenzen im Lastbetrieb

Zum Schutz vor Unterspannung und zur Anzeige des Ladezustands wird die Spannung der Zellen kontinuierlich beim Entladen gemessen. VG ist dabei intern mit R_{LAST} belastet.

Niedriger Akkustand: $U_{GELB} = 2 * U(VG_{(Belastet)})$
 Minimale Zellspannung: $U_{MIN} = 2 * U(VL)$



Ladestand hoch

Liegen alle Zellspannungen nach öffnen des Lastschalters über U_{GELB} leuchtet die LED für T_{LED} grün.

Ladestand niedrig

Liegt eine Zellspannung nach öffnen des Lastschalters unter U_{GELB} , leuchtet die LED für T_{LED} gelb und signalisiert, dass demnächst Aufladen nötig wird.

3.7.2 Temporäre und tatsächliche Unterspannung

Unterschreitet die Spannung einer Zelle die Tiefentladungsgrenze $U_{MIN} = 2 * U(VL)$ für die Zeit T_{OFF} , wird die Last abgetrennt und die rote LED für T_{LED} eingeschaltet. Da der Akku sich nach Abschalten der Last wieder etwas erholt (Akkuspannung steigt über U_{MIN}) muss der 701.65 entscheiden, ob nur ein kurzer Überlastfall vorlag, der den Akku so stark belastet hat, dass die Akkuspannung kurzzeitig unter U_{MIN} fiel, oder ob der Akku tatsächlich schon fast leer ist. Liegt die Leerlaufspannung beim nächsten Drücken des Lastschalters über $U(VG) * 2$, leuchtet die grüne LED für T_{LED} , Weiterarbeiten ist möglich. Steigt die Spannung jedoch nur bis unter $U(VG) * 2$ leuchtet die rote LED für T_{LED} , Weiterarbeiten ist nicht mehr möglich, die Last bleibt abgetrennt, bis das Gerät wieder an das Ladegerät angeschlossen wird.

Nach einer Lastabtrennung wird immer gewartet, bis die Taste losgelassen und erneut gedrückt wird, bevor die Last erneut eingeschaltet wird.

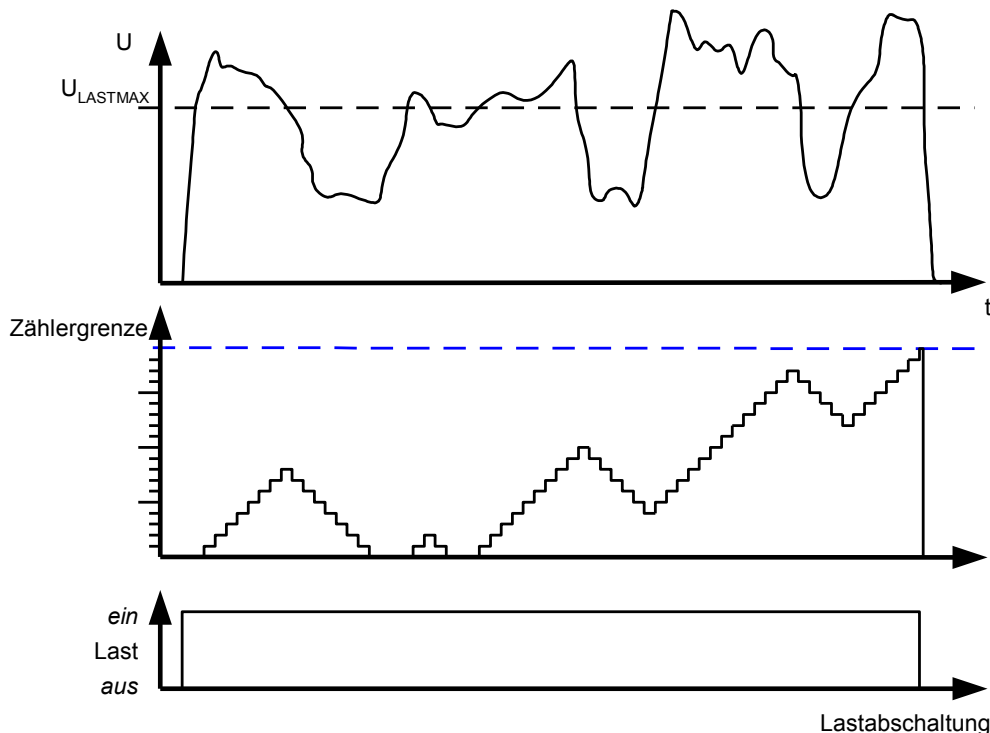
3.7.3 Überlastabschaltung

Mittels des Shunts R10 wird der Motorstrom gemessen. Kurzzeitige Lastüberschreitungen dürfen bei Akku-Werkzeugen im Interesse einer allgemeinen Gebrauchstauglichkeit nicht zur sofortigen Abschaltungen führen. Vielmehr soll das Gerät kraftvoll den erhöhten, kurzzeitigen Widerstand überwinden. Tritt diese Überlastung allerdings zu lange oder zu häufig kurz hintereinander auf, kann dies zur Beschädigung bzw. Zerstörung des Motors führen.

Bei Überschreitung des vorgegebenen Motorstroms durch den Shunt R10 startet ein 19-stufiger Zähler, der alle T_{CL_LOAD} inkrementiert. Bei Unterschreitung der eingestellten Stromgrenze wird wiederum in gleichen Abständen dekrementiert. Dadurch werden kurzfristige Überlastspitzen ignoriert. Wenn die nachfolgende Unterschreitung der Überlaststromgrenze länger als die Überlastzeit ist, verharrt der Zähler in der Nullstellung. Bei mehrmaliger Überschreitung der Überlastgrenze mit kurzen Pausen, integriert der Zähler die Zeiten auf und schaltet bei Erreichen des Zählerhöchststandes die Last ab. Bei dauerhafter Überlast wird die Last nach T_{OL} abgeschaltet.

Durch geeignete Wahl der Überlastabschaltgrenze mit den Widerstandswert von R10 kann eine Anpassung an den maximal zulässigen Strom des Motors erreicht werden.

Nach einer Abschaltung kann die Last nach Wartezeit T_{OL} wieder eingeschaltet werden.



3.7.4 Kurzschlussabschaltung

Durch noch höheren Strom, wie im Falle eines Kurzschlusses, könnte die Lastbeschaltung (R10, Leistungsschalter und die Verkabelung) beschädigt werden. Daher muss in diesem Fall die Abschaltung schneller erfolgen.

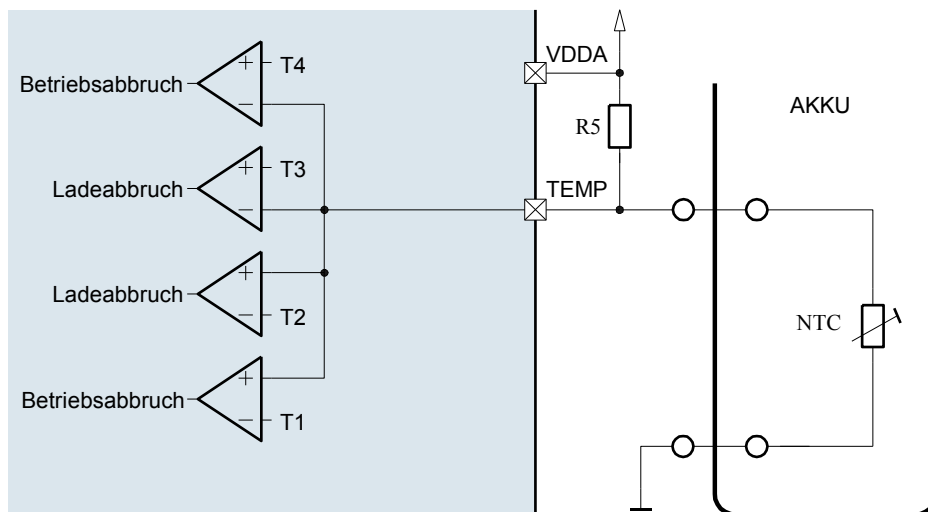
Übersteigt die Spannung am Pin LAST den 5-fachen Wert von $U_{LASTMAX}$ wird die Last innerhalb von T_{SC} abgeschaltet.

Diese Zeit kann verlängert werden, indem ein RC-Glied vor den Pin LAST geschaltet wird.

Nach einer Abschaltung kann die Last nach Wartezeit T_{OL} wieder eingeschaltet werden.

3.8 Temperaturüberwachung

Um Akku und IC nur im erlaubten Temperaturbereich zu betreiben, enthält das IC einen Anschluss für einen externen Temperaturabhängigen Widerstand (NTC), sowie einen internen Temperatursensor.



Es werden 4 Temperaturschwellen überwacht. Ein Temperaturfehler wird ausgelöst, wenn eine der Grenzen für die Dauer von T_{OFF} verletzt wird. Die Beispieltemperaturen gelten für eine Bestückung von R5 mit $4k7\Omega$ und eines NTCs mit $6K8\Omega@25^{\circ}C$, z.B. Vishay 2381 640 6 3682:

- T1 (-20°C):** Die Temperatur im Akku liegt unter der zulässigen Betriebstemperatur des Akkus. Die Last wird abgetrennt, laden ist nicht möglich
- T2 (-5°C):** Die Temperatur im Akku liegt unter dem zulässigen Ladetemperaturbereich, laden ist nicht möglich.
- T3 (45°C):** Die Temperatur im Akku liegt über dem zulässigen Ladetemperaturbereich, laden wird beendet.
- T4 (65°C):** Die Temperatur im Akku liegt über dem zulässigen Betriebstemperaturbereich des Akkus. Die Last wird abgetrennt, laden ist nicht möglich.

Tritt im Betrieb (Taste gedrückt) ein Temperaturfehler länger als T_{OFF} auf, wird die Last abgetrennt und die gelbe LED blinkt für T_{LED} . Beim nächsten Drücken der Taste wird die Temperatur geprüft. Liegt sie wieder im erlaubten Bereich, und liegen alle Zellspannungen über $U(VG)*2$ wird dies dem Nutzer durch leuchten der grünen LED angezeigt. Nach Öffnen des Tasters wird die Last wieder freigegeben.

Tritt ein Temperaturfehler im Betrieb kürzer als T_{OFF} vor öffnen des Tasters auf, wird dem Benutzer nach loslassen der Taste mit gelbem leuchten eine Warnung angezeigt. Weiterarbeiten ist möglich, bis der Temperaturfehler für die Dauer von T_{OFF} aufgetreten ist.

Kurzzeitige Temperaturfehler im Betrieb werden nicht angezeigt.

Nach einem Temperaturfehler wird bei angestecktem Netzteil im Intervall von T_{NL} , sowie nach Drücken der Taste geprüft, ob die Temperatur wieder im erlaubten Bereich liegt. Falls ja, wird das Laden neu gestartet.

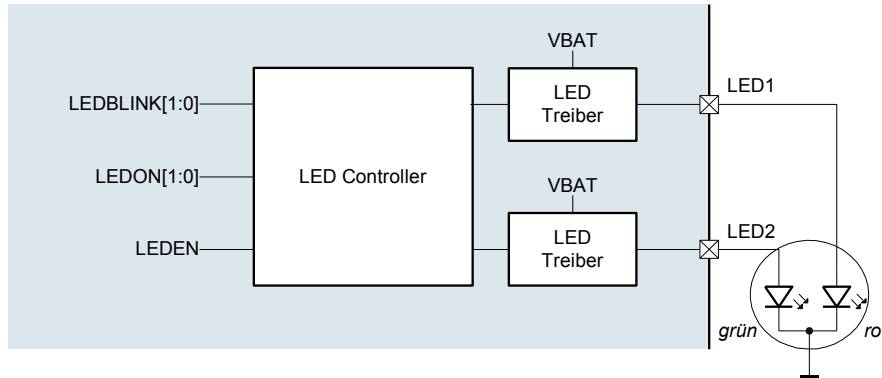
3.8.1 Betrieb ohne Temperaturüberwachung

Soll in der Anwendung der NTC wegfallen, muss am Pin TEMP trotzdem ein zulässiger Spannungswert (zwischen U_{T2} und U_{T3}) angelegt werden. Diesen erhält man durch verbinden von TEMP mit dem Pin VG.

3.9 Status-LEDs

Der 701.65 kann zwei Status-LEDs ansteuern, um Ladezustand und Fehlercodes durch Leuchten oder Blinken anzuzeigen. Durch Verwendung einer 2-farbigen Duo-LED mit Common Kathode kann die Farbe Gelb erzeugt werden, wenn beide LED-Ausgänge gleichzeitig eingeschaltet werden.

Die LED-Anzeige erlischt, sobald die Last eingeschaltet wird (Tastendruck).



3.9.1 Zustands-Anzeigen

- Beim laden: Grün blinkend
- Laden beendet: Grün (leuchtet bis die Netzversorgung ausgeschaltet wird)
- Beim entladen (Betrieb): Rot: Entladeschlussspannung erreicht, Lastabschaltung.
- Nach Betrieb für die Dauer von T_{LED} :
 Grün leuchtend: Akku mehr als halb voll.
 Gelb leuchtend: Akku bereits über die Hälfte entladen.
 Rot leuchtend: Entladeschlussspannung erreicht.

3.9.2 Fehlercodes

- Zeitfehler beim Laden: Rot blinkt schnell.
- Batteriefehler: Rot blinkt langsam.
- Temperaturfehler kürzer als T_{OFF} beim loslassen der Taste: Gelb leuchtet für die Dauer von T_{LED}
- Temperaturfehler länger als T_{OFF} : Gelb blinkt langsam.
- Motorfehler (Überlast): Gelb blinkt schnell.

Ein Batteriefehler wird dann angezeigt, wenn eine Zelle im Pack eine Zellspannung kleiner U_{MIN} und eine andere Zelle die Ladeendspannung U_{MAX} erreicht hat, oder ein fehlerhafter Batteriepack detektiert wurde (d.h. eine Zellspannung unter U_{SHORT}).

Zustand	Beschreibung	Farbe	Bild	Bemerkung
1	Ladend	Grün	Blinkt	Kleine Pulsweite: PreC, CC, DIS-Phase Große Pulsweite: CV-Phase
2	Laden beendet (Akku voll)	Grün	Leuchtet	Bis Netzteil abgezogen wird
3	Akku voll (nach Tastendruck)	Grün	Leuchtet	Dauer: T_{LED}
4	Akku halb (nach Tastendruck)	Gelb	Leuchtet	Dauer: T_{LED}
5	Akku leer (bei / nach Tastendruck)	Rot	Leuchtet	Dauer: T_{LED}
6	Zeitfehler	Rot	Blinkt	Schnell Blinkfrequenz f_{LEDf}
7	Batteriefehler	Rot	Blinkt	Langsam Blinkfrequenz f_{LEDs}
8	Temperaturfehler $<T_{OFF}$ bei loslassen der Taste	Gelb	Leuchtet	Dauer: T_{LED}
9	Temperaturfehler $>T_{OFF}$	Gelb	Blinkt	Langsam Blinkfrequenz f_{LEDs}
10	Motorfehler (Überlast / Kurzschluss)	Gelb	Blinkt	Schnell Blinkfrequenz f_{LEDf}

3.9.3 LED Treiber LED1, LED2

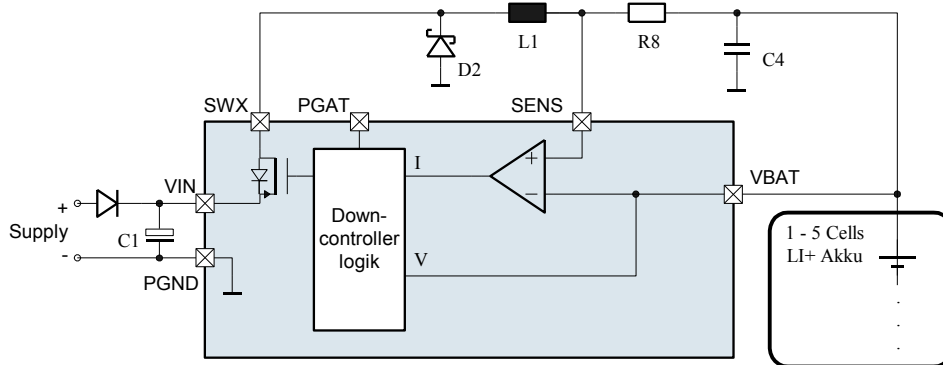
Die LED-Treiber sind Stromquellen, daher können LEDs ohne Vorwiderstand angeschlossen werden. Der Strom wird aus der Batteriespannung gezogen. Dieser Block ist zweimal vorhanden zur Ansteuerung einer roten und einer grünen LED in einem Gehäuse mit gemeinsamer Kathode.

3.10 DC-DC Schaltwandler

Der 701.65 enthält einen integrierten P-Kanal-Leistungs-FET mit EMV-optimierten Schaltflanken zum Aufbau eines Down-Converters. Der maximale Ausgangsstrom ist damit von der IC-Kühlung und dem Maximalstrom der Pins VIN und SWX begrenzt und wird über einen Shunt eingestellt. Als externe Bauteile werden nur noch eine Induktivität, eine Schottky-Freilaufdiode, ein Kondensator und ein Shunt benötigt.

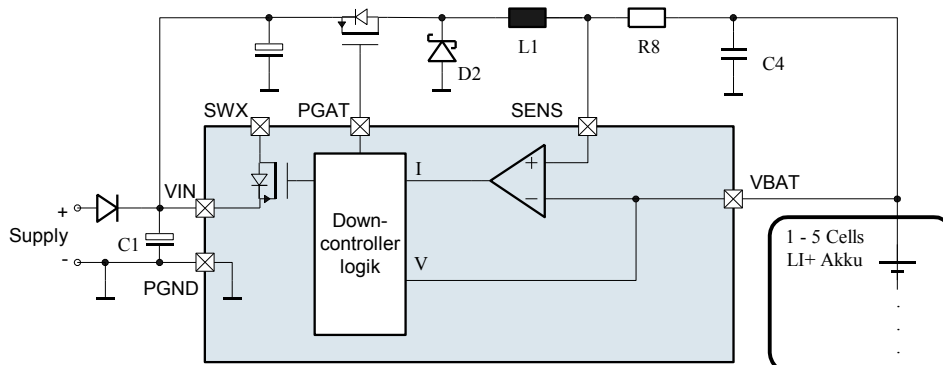
Die Leitungen zu diesen Bauteilen müssen wegen der hohen Schaltfrequenzen sehr kurz gehalten werden. Ebenso muss der Kondensator am Netzeingang nah am Pin VIN platziert werden und einen niedrigen ESR-Wert aufweisen. Die Masseverbindungen der beiden Kondensatoren und der Freilaufdiode sollten sternförmig und auf kürzestem Wege mit dem Masse-Anschluss des ICs verbunden werden.

Das separate Application-Note AN701.65-114 behandelt ausführlich Auslegung und Layoutvorschläge für den Schaltregler.



3.10.1 Betrieb mit externem Leistungs-FET

Der 701.65 kann am Anschluss PGAT einen externen P-Kanal Leistungs-FET treiben, um höhere Ladeströme zu erreichen. Die Ladestromeinstellung erfolgt weiterhin über R8.



3.10.2 Variablen und Parameter des Schaltwandlers

- I_{CC} : Mittlerer Ladestrom in den Constant-Current-Phasen
- U_{SENS} : Überschreitet die Spannung über dem Ladeshunt R8 diesen Wert, geht der Regler von der Spulenladung in die Freilaufphase.
- I_{RIPPLE} : Schwankungsbreite des Spulenstroms
- f_{DC} : Maximale Frequenz des Schaltwandlers

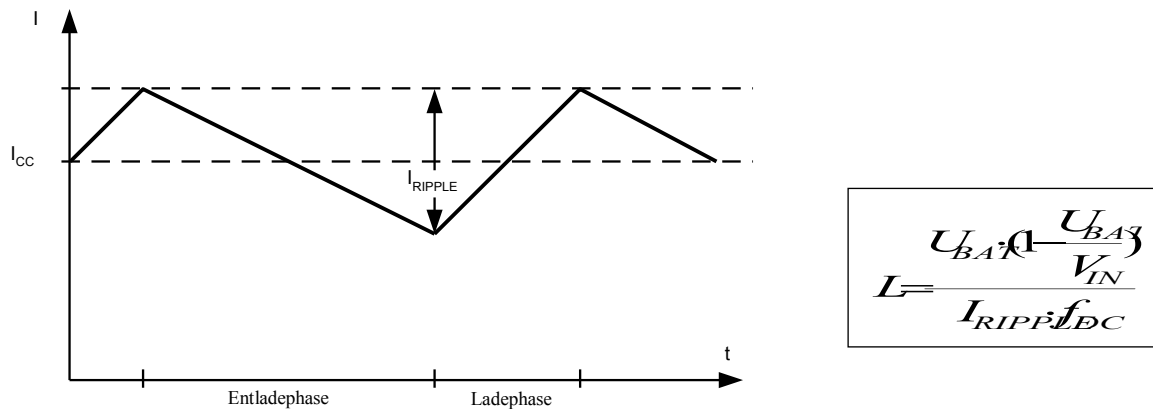
3.10.3 Stromeinstellung

Der maximale Ladestrom in den CC-Phasen I_{CC} wird über den Widerstandswert des Shunts R8 im Ladekreis festgelegt. Die Spannung über den Shunt wird intern mit der Referenzspannung von U_{SENS} verglichen.

$$I_{CC} = \frac{U_{SENS}}{R_8}$$

I_{CC} darf bei Nutzung des internen Leistungs-FET nicht über I_{CCMAX} eingestellt werden.

3.10.4 Dimensionierung der Spuleninduktivität und Bestimmung des Stromripples



Der Induktivitätswert der Spule sollte so dimensioniert werden, dass der Schaltregler immer im nicht-lückenden Betrieb arbeitet, der Spulenstrom also in keiner Ladephase auf null sinkt. Der Stromripple muss also deutlich kleiner als I_{CC} gewählt werden. Die Strombelastbarkeit (Sättigungsstrom) der Spule muss über $I_{CC} + \frac{1}{2} \cdot I_{RIPPLE}$ liegen.

3.10.5 Ladestromregelung in der CV-Phase

In der CV-Phase regelt der Schaltregler den Strom konstant so nach, dass keine Zellspannung über U_{MAX} liegt. Mit steigender Akkuladung sinkt somit der Strom, bis I_{MIN} unterschritten und damit das Lade-Ende erreicht sind. I_{MIN} beträgt 20% von I_{MAX} , wird also ebenfalls mit den Shunt R8 festgelegt.

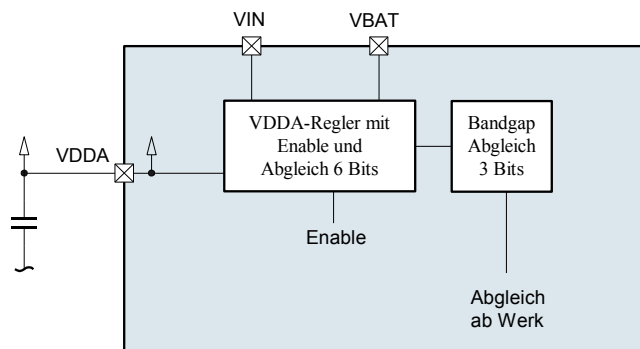
Der Ladeschlussstrom und der Precharge-Strom sind identisch. Der Balancing-Strom ist von beiden unabhängig.

3.10.6 Eingangsseitiger Verpol- und Kurzschlusschutz

Technologisch bedingt enthält der integrierte Leistungs-FET eine Body-Diode, über die auch bei abgezogenem Netzteil VBAT am Netzteileneingang (VIN) anliegt. Deshalb muss dieser Eingang extern durch eine Diode gegen Kurzschluss und Verpolung geschützt werden.

3.11 VDDA

VDDA ist die genau geregelte Versorgungsspannung für den externen Widerstandsteiler, interne Analogsignale und einen optional anschließbaren Mikrocontroller. Sie muss durch einen $10\mu\text{F}$ Kondensator gegen SVSS gepuffert werden. VDDA wird von einem ab Werk abgeglichenen Längsregler erzeugt.



3.11.1 VDDA-Aktivierung

VDDA wird von der Kontroll-Logik eingeschaltet, wenn der externe Taster geschlossen oder das Netzteil angeschlossen wird. Somit wird ein optional angeschlossener Mikrocontroller nur dann aktiviert, wenn die Interaktion mit dem Benutzer des Geräts einen Steuereingriff erfordert.

Außerdem weckt der eingebaute Ultra-Low-Power-Timer das IC bei angestecktem Netzteil in einem Intervall von T_{NL} auf, um festzustellen, ob Nachladen (siehe Kapitel 3.1.7) erforderlich ist.

3.11.2 VDDA-Deaktivierung

Um den Akku zu schonen, wird die Versorgungsspannung VDDA möglichst häufig deaktiviert, der Chip also in Standby geschaltet. Dies geschieht im autonomen Betrieb nach Lade-Ende sowie dem Loslassen der Taste und Erlöschen der Akkustandsanzeige. Beim Betrieb mit Mikrocontroller erfolgt die Deaktivierung durch diesen.

3.12 Netzteilerkennung

Das angesteckte Netzteil wird erkannt, wenn die Spannung an VIN um mehr als U_{NT} größer ist als an VBAT. Wird das Netzteil beim Lastbetrieb (Taste gedrückt) erkannt, wird zur Vermeidung netzgebundener Störungen innerhalb von T_{OFF_NT} die Last abgeschaltet. Nach Loslassen der Taste beginnt der Ladevorgang.

3.13 Mikrocontroller-Schnittstelle

Der 701.65 kommt ohne einen Mikrocontroller aus und kann die oben beschriebenen Funktionen wie Ladestrategie, Temperatur- und Lastmanagement autonom ausführen. Für Test und Verifikation enthält das IC jedoch eine zweidraht-Schnittstelle (SD und SCL). Darüber erhält der Anwender Zugriff auf interne Register. Es ist auch möglich, das IC über die Schnittstelle von einem Mikrocontroller zu steuern. Dann muss der Mikrocontroller die komplette Steuerung übernehmen, das reine Ändern von Ladeparametern ist nicht möglich. Die Beschreibung der Schnittstelle finden Sie im separaten Application-Note AN701.65-115. Programmierbeispiele finden Sie im separaten Application-Note 116 (Ansi-C) bzw. 117 (National Instruments LabView).

3.13.1 Autonomer Betrieb

Der autonome Betrieb wird aktiviert, indem SD und SCL auf VDD gelegt werden. Erfolgt dies über Pull-Up-Widerstände, kann z.B. für den Testbetrieb die Schnittstelle weiterhin genutzt werden.

4 Anschlussbeschreibung

Die folgende Liste enthält alle Pin-Bezeichnungen und beschreibt die Funktion.

PIN-# (QFN32)	Pin-# (SO28)	Name	Funktion
1	25	PGND	Masse
2	--	nc	unbenutzt
3	26	V1	Abgriff Pluspol der ersten Akku-Zelle
4	27	V2	Abgriff Pluspol der zweiten Akku-Zelle
5	28	V3	Abgriff Pluspol der dritten Akku-Zelle
6	1	V4	Abgriff Pluspol der vierten Akku-Zelle
7	2	VBAT	Pluspol der Batterie
8	3	CL	Negativer Anschluss für Level-Shift Kondensator
9	4	CH	Positiver Anschluss für Level-Shift Kondensator
10	5	VDD	Interne Versorgungsspannung
11	6	ROSC	Anschluss für Widerstand zur Frequenzeinstellung
12	7	SD	Serielle Schnittstelle Dateneingang und -ausgang
13	8	SCL	Serielle Schnittstelle Clock-Eingang
14	9	ZAPV	Versorgung für ZAP-Zellen, auf VDD legen
15	10	LAST	Anschluss für Motorshunt
16	11	SVSS	Analog-Masseanschluss
17	12	VDDA	Analoge Versorgungsspannung, abschaltbar
18	13	VL	Spannungsteiler unterer Abgriff für U_{MIN}
19	14	VG	Spannungsteiler mittlerer Abgriff für U_{GELB} und U_{NL}
20	15	VH	Spannungsteiler oberer Abgriff für U_{MAX}
21	16	TMP	Anschluss für externen NTC zur Temperaturerfassung
22	17	LED2	Ansteuerung für grüne LED, Stromquelle
23	18	LED1	Ansteuerung für rote LED, Stromquelle
24	--	nc	unbenutzt
25	19	GAT	Ansteuerung des Lasttransistors
26	20	TAST	Anschluss für mechanischen Taster gegen Masse
27	21	SENS	Anschluss für den Ladeshunt
28	22	PGAT	Gateanschluss des externen Schalttransistors für den DC-DC Wandler
29,30	23	SWX	Ausgang des Schaltreglers
31,32	24	VIN	Netzteilananschluss
Kühlpad	--	Cool	Mit 25 Vias an große Kupferfläche anbinden und mit SVSS verbinden

5 Gehäuse

Bezeichnungen: SO-28 (auf Anfrage), QFN-32 7*7
 Anschlüsse: bleifrei verzinkt
 Lötbar nach IPC/JEDEC J-STD-020C

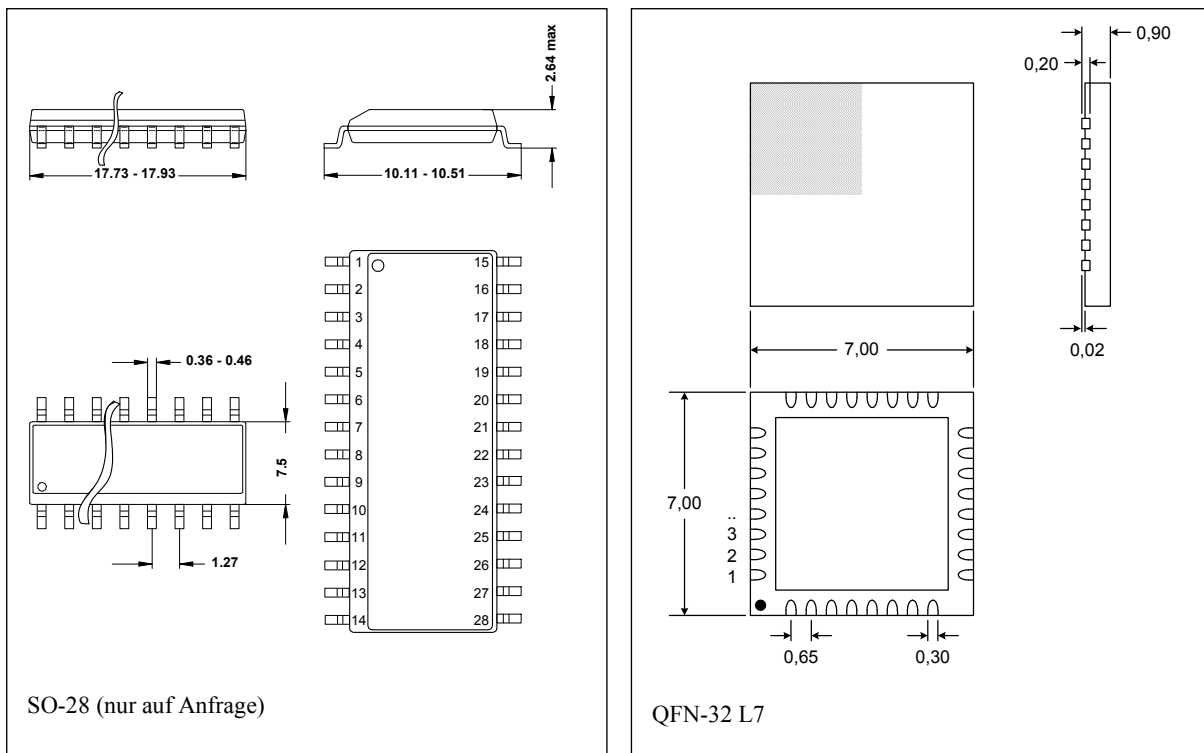
Thermischer Widerstand Θ_{JA} :

SO-28: 53,7 – 58,6 K/W.

QFN-32: 15,5 K/W.

Die thermischen Eigenschaften des QFN-Gehäuses gelten nur bei Anbindung der Kühlfläche auf der Chip-Unterseite mit mindestens 25 Vias auf eine ausreichend große Kupferfläche auf der Rückseite der Platine.

5.1 Abmessungen



6 Evaluation-Boards

Zur Applikationsentwicklung oder Evaluierung stehen Musterteile im QFN-Gehäuse und Evaluation-Boards zur Verfügung.

Die Evaluation-Boards sind mit 0,5 und 2 Ampere maximalem Ladestrom verfügbar. Es können damit alle Funktionen des N μ 701.65 erkundet werden, viele Optionen wie Ladestrom / Laststrom sind herausgeführt und leicht änderbar.

Eine ausführliche Beschreibung der Evaluation-Boards, das vollständige Datenblatt und weitere Applikationshinweise finden Sie auf unserer Homepage www.neutron.de