

# Temperaturkompensierte Echtzeituhr mit Backup-Spannungsversorgung

Rolf Schütz  
Product Engineer bei Micro Crystal  
Grenchen, Schweiz  
rolf.schuetz@microcrystal.ch

## Inhalt

<b>1. Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Temperaturkompensiertes RTC-Modul RV-8803-C7</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Backup-Spannungsversorgung mit Superkondensator</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1. Superkondensator</b> .....	<b>5</b>
3.1.1. Verwendete Superkondensatoren .....	6
3.1.2. Berechnung der Lebensdauer .....	6
3.1.3. Selbstentladung .....	7
<b>3.2. Schaltung</b> .....	<b>8</b>
<b>3.3. <math>V_{DD}</math>-Betrieb</b> .....	<b>9</b>
3.3.1. Maximaler Einschaltstrom .....	9
3.3.2. Ladestrom des Superkondensators .....	9
3.3.3. Innenwiderstand des Superkondensators .....	10
3.3.4. Dimensionierung von $R_1$ .....	11
3.3.5. Schottky-Diode .....	11
<b>3.4. <math>V_{BACKUP}</math>-Betrieb</b> .....	<b>12</b>
3.4.1. Kontrolle der Zeitmessung .....	13
3.4.2. $V_{BACKUP}$ Entladekurve .....	14
3.4.3. Leckstrom des Superkondensators .....	15
3.4.4. Stromverbrauch RV-8803-C7 .....	16
3.4.5. Leckstrom der Schottky-Diode .....	16
3.4.6. Berechnung der Backup-Zeit .....	17
3.4.7. Backup-Zeiten .....	18
<b>4. Fazit</b> .....	<b>20</b>
<b>5. Dokumentversion</b> .....	<b>21</b>

## 1. Zusammenfassung

Dieses White Paper beschreibt die Verwendung eines umweltfreundlichen Superkondensators für den Backup-Betrieb der Echtzeituhr RV-8803-C7.

Das RTC-Modul RV-8803-C7 mit seinem tiefen Stromverbrauch ist das erste temperaturkompensierte Modul, mit dem es möglich ist, mit einer einfachen Backup-Spannungsversorgung mit Superkondensator, lange Backup-Zeiten zu erreichen. Dies erlaubt dem Anwender den Erhalt der gewünschten Präzision der Uhr im Überbrückungszeitraum mit einer umweltfreundlichen Supercap-Lösung.

Für die Backup-Schaltung werden neben dem RV-8803-C7 Modul und dem Superkondensator nur noch eine Schottky-Diode und ein Vorwiderstand zur Begrenzung des maximalen Einschaltstromes benötigt.

## 2. Temperaturkompensiertes RTC-Modul RV-8803-C7

Das temperaturkompensierte RTC-Modul RV-8803-C7 von Micro Crystal bietet die aktuell beste Ganggenauigkeit von  $\pm 3$  ppm über den Temperaturbereich von  $-40$  bis  $+85$  °C (entspricht  $\pm 0,26$  Sekunden/Tag) bei einem Stromverbrauch von lediglich 240 nA bei 3 V. Dieser ausserordentlich geringe Stromverbrauch und die volle Funktionalität des Thermometers und der Temperaturkompensation bis auf 1.5 V der Versorgungsspannung, verlängern massgeblich die Betriebsdauer bei einer Backup-Spannungsversorgung.

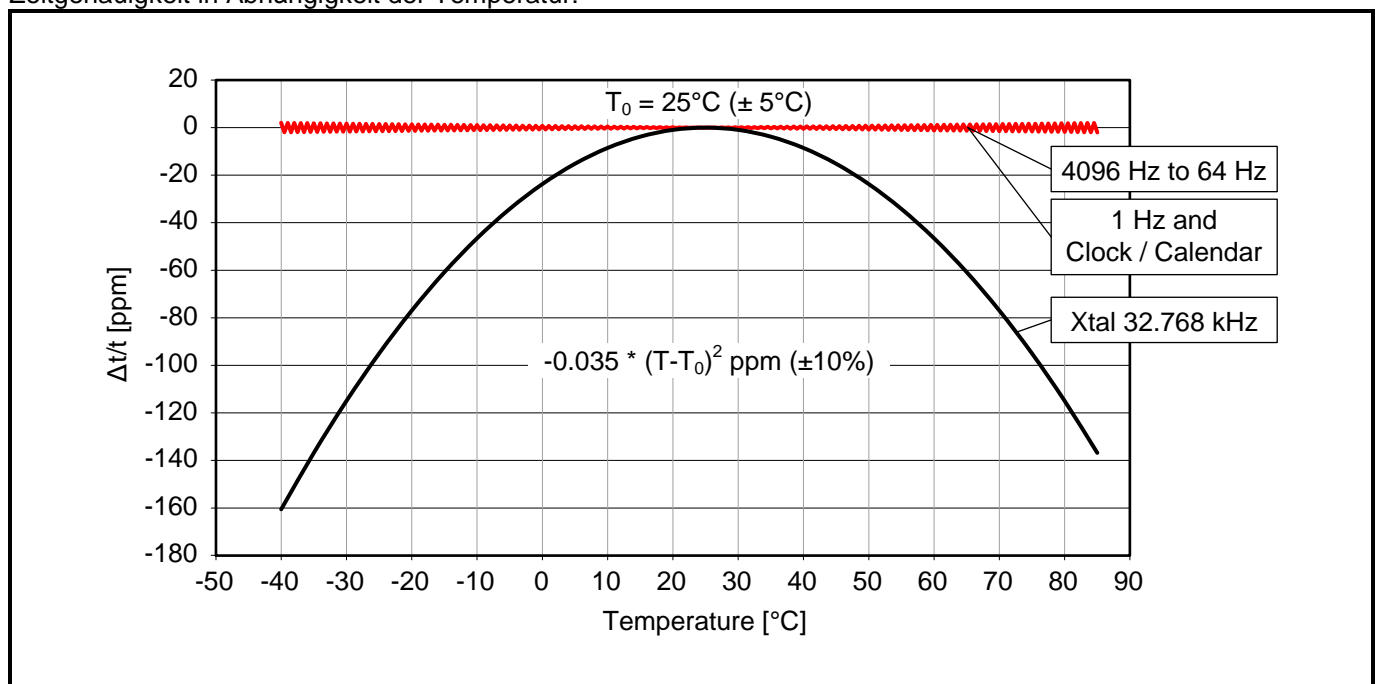
Nebst der besten Ganggenauigkeit und dem niedrigsten Stromverbrauch aller temperaturkompensierten RTCs am Markt, bietet das RTC-Modul RV-8803-C7 gleichzeitig auch das kleinste SMD-Keramikgehäuse mit Abmessungen von nur  $3.2 \times 1.5 \times 0.8$  mm.

Dies ermöglicht einen breiten Einsatzbereich, bei dem eine präzise Uhrzeit gepaart mit einer Überbrückung beim Ausfall der Spannungsversorgung gefordert wird, so z.B. bei Metering-Anwendungen, Embedded-Modulen, Datenloggern, weisser Ware, im Automotive-Bereich bis hin zu tragbaren Medizingeräten und POS-Systemen aller Art.

Die technischen Eckdaten des RTC-Moduls:

- Ultra-Miniatur-Keramik-SMD-Gehäuse  $3.2 \times 1.5 \times 0.8$  mm
- höchste Ganggenauigkeit über den gesamten Temperaturbereich
- Betriebsspannung 1.5 bis 5.5 V
- geringster Stromverbrauch von lediglich 240 nA
- I<sup>2</sup>C Schnittstelle
- AEC-Q200-qualifiziert

Zeitgenauigkeit in Abhängigkeit der Temperatur:



### 3. Backup-Spannungsversorgung mit Superkondensator

Da der Superkondensator (Doppelschicht-Kondensator) eine gleichwertige Performance wie ein Akkumulator hat, ist er bestens geeignet, um bei einer Real-Time-Clock-Anwendung als Sekundärstromquelle zu dienen.

#### 3.1. Superkondensator

Polarität und maximale Betriebsspannung beachten!

Eigenschaften:

- Grosser Kapazitätsbereich von 0.022 F bis 70F (oder mehr)
- Parallel- oder Serienschaltung möglich, um Kapazität oder Spannung zu erhöhen
- Nennspannung 5.5 V
- Temperatur bis 85°C
- Typen für Flow- und Reflow-Löten erhältlich
- Drei verschiedene Bauformen (Knopfzelle, Knopfzellen gestapelt, radial bedrahtet)

Vorteile:

- Idealer Ersatz für Akkumulator
- Schnelles Laden und Entladen möglich
- Keine Begrenzung der Anzahl der Lade- und Entladezyklen
- Sicher; kein Auslaufen / Ausgasen bei falscher Anwendung
- „Grünes“ Produkt / Keine Recyclingbeschränkung (RoHS-konform, keine Gefahrstoffe verwendet)
- Keine Schutzschaltung für Ladevorgang erforderlich
- Laden / Entladen bei niedrigen Temperaturen möglich
- Wartungsfrei

Nachteil:

- Lineare Spannungs-Entladekurve ( $I = \text{konstant}$ ) verhindert die vollständige Energienutzung

Vergleich Superkondensator / Akkumulator:

	Superkondensator	Akkumulator
Umwelt	Gut	Schlecht
Lade- und Entladezyklen	Gut	Schlecht
Temperaturbereich	Gut	Schlecht
Kapazität	Gleichwertig	Gut

### 3.1.1. Verwendete Superkondensatoren

Bei der Wahl des Superkondensators sollte darauf geachtet werden, dass Typen mit kleinem Leckstrom und nicht jene für hohe Ströme (mit grösserem Leckstrom) gewählt werden.

Verwendete Superkondensatoren von Panasonic (Gold Capacitors):

- 0.1 F EECS0HD104H (5.5V, Serie SD)
- 0.47 F EECS5R5H474 (5.5V, Serie SG)
- 1.0 F EECS5R5V105 (5.5V, Serie SG)

Temperatur	Max. Betriebsspannung	Kapazität	Kapazitätstoleranz(*)	R <sub>ESR</sub> @ 1kHz	Typ. R <sub>ISO</sub> bei +25°C	Gehäuse	Baugrösse (L x B x H)	Preis in CHF (25+)
-25°C bis 70°C	5.5 V	0.1 F	0.080 bis 0.180 F	≤ 75 Ω	32 MΩ	Horizontal	11.5 x 10.5 x 5.5	1.30
		0.47 F	0.376 bis 1.41 F	≤ 30 Ω	24 MΩ	Horizontal	20.5 x 19.5 x 6.5	1.99
		1.0 F	0.80 bis 1.80 F	≤ 30 Ω	13 MΩ	Vertikal	19.0 x 5.5 x 21.0	2.01

(\*) Die Kapazitätstoleranzen sind normalerweise (-20/+80%). Bei diesem 0.47 F-Typ sind sie jedoch (-20/+300%)!

Eigenschaften bei tiefer Temperatur:

- Kapazitätsänderung: ±30% von Anfangswert bei +20°C zum Wert bei -25°C
- Interner Widerstand R<sub>ESR</sub>: ≤5 mal den Anfangswert bei +20°C zum Wert bei -25°C

Belastbarkeit: Nach 1000 Stunden bei 5.5 V, +70°C.

- Kapazitätsänderung: ±30% Änderung zum Anfangswert
- Interner Widerstand R<sub>ESR</sub>: ≤ 4 mal den Anfangswert

Lagerfähigkeit: Nach 1000 Stunden Lagerung bei +70°C ohne Ladung.

- Der Kondensator hält die Grenzwerte der Belastbarkeit ein

### 3.1.2. Berechnung der Lebensdauer

Gemäss der Gleichung nach Arrhenius (Verdoppelung der Lebensdauer pro 10K Temperaturminderung) gilt:

$$L_X = L_{\text{Spec}} * 2^{\frac{T_0 - T_A}{10}}$$

Beispiel: Die Lebensdauer des Kondensators bei Betrieb bei +30°C bei 5.5 V:

$$L_{30} = 1000 * 2^{\frac{70 - 30}{10}} = 16'000 \text{ Stunden}$$

$$\rightarrow 16'000 \text{ Stunden} * \frac{1 \text{ Tag}}{24 \text{ Stunden}} = \underline{\underline{667 \text{ Tage}}}$$

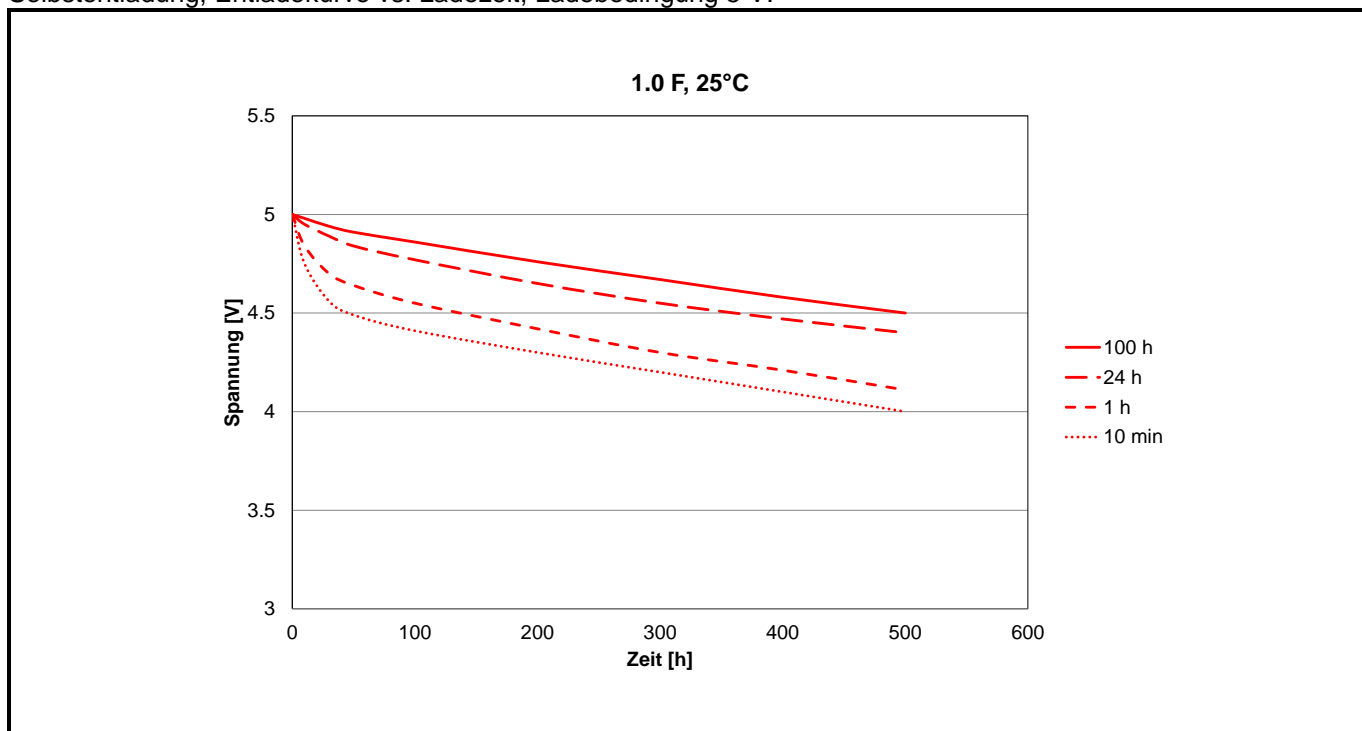
Parameter	Erläuterung
L <sub>Spec</sub> = Spezifizierte Lebensdauer	1000 Stunden bei 5.5 V, +70°C(*)
L <sub>X</sub> = zu berechnende Lebensdauer	
T <sub>0</sub> = obere Grenztemperatur	+70°C
T <sub>A</sub> = Kondensatortemperatur	

(\*) Bei tieferer Betriebsspannung erhöht sich die Lebensdauer (z.B. 3000 Stunden bei 4 V, +70°C)

### 3.1.3.Selbstentladung

Wenn die Ladezeit nur kurz ist (z.B. 10 Minuten), ist der Superkondensator noch nicht vollständig geladen und der anfängliche Spannungsabfall ist erhöht.

Selbstentladung, Entladekurve vs. Ladezeit, Ladebedingung 5 V:



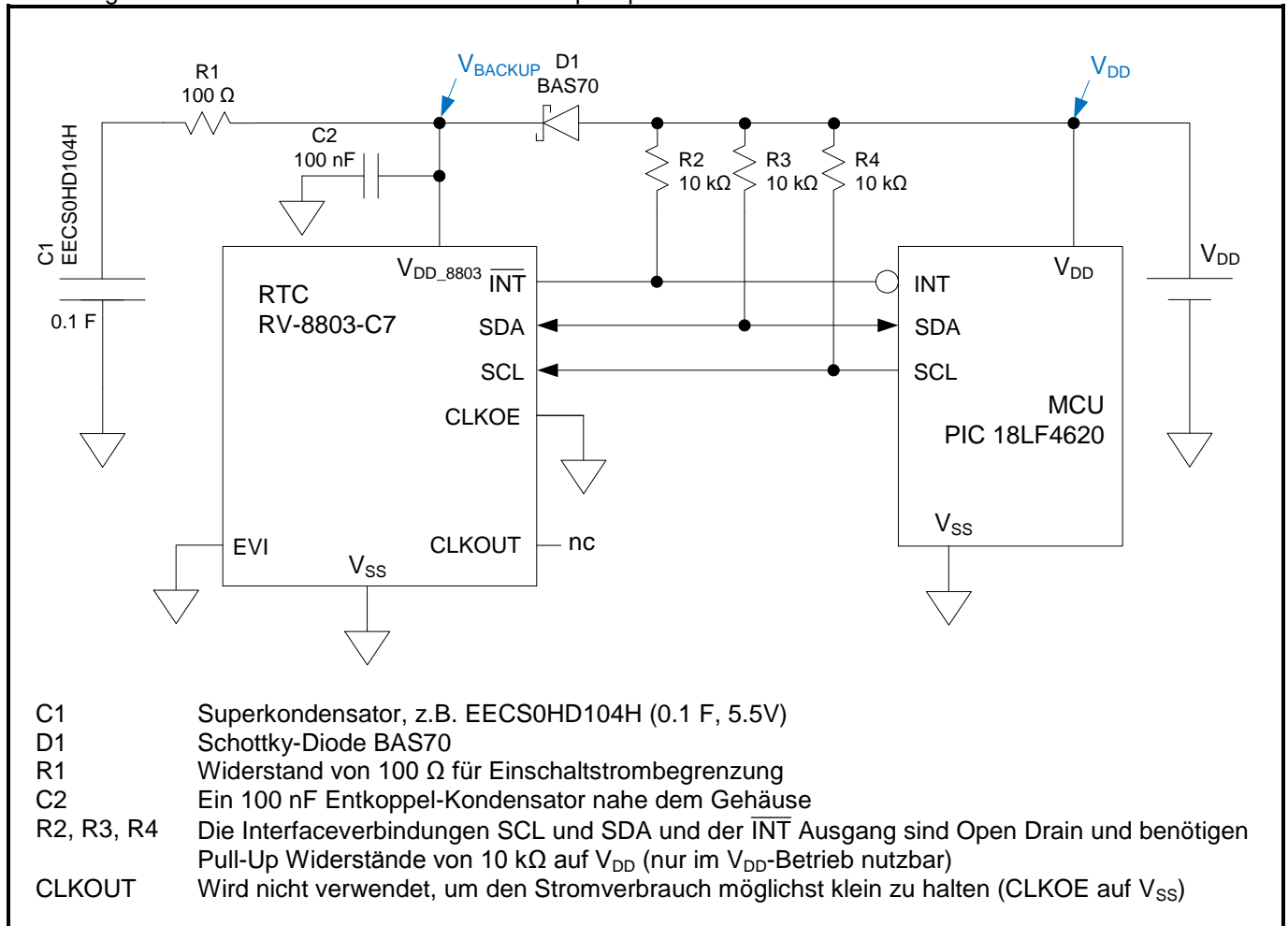
### 3.2. Schaltung

Während dem  $V_{DD}$ -Betrieb wird der Superkondensator C1 über die Schottky-Diode D1 geladen. Die I<sup>2</sup>C-Schnittstelle (SDA, SCL) und die Interrupt-Information ( $\overline{INT}$ ) stehen der MCU zur Verfügung.

Im  $V_{BACKUP}$ -Betrieb, wenn  $V_{DD} = 0\text{ V}$  ist, wird das RTC-Modul nur durch die Spannung von C1 gespeist. Die Schnittstelle und die Interrupt-Information stehen nicht mehr zur Verfügung. Das RTC-Modul arbeitet korrekt weiter (Timekeeping) solange  $V_{BACKUP} \geq 1.5\text{ V}$  ist. Für eine möglichst grosse Backup-Zeit ist CLKOUT ausgeschaltet (CLKOE auf  $V_{SS}$ ), und es fließen nur der Leckstrom von C1, der Speisestrom vom RTC-Modul und der Leckstrom von D1.

Sobald  $V_{DD}$  wieder eingeschaltet wird, stehen dem MCU die Schnittstelle und die Interrupt-Information wieder zur Verfügung und C1 wird erneut geladen.

Schaltung des RTC-Moduls RV-8803-C7 mit Backup-Superkondensator:





### 3.3. $V_{DD}$ -Betrieb

Die Spannungen  $V_I$  und  $V_O$  an den Eingängen und Ausgängen von RV-8803-C7 dürfen wegen der internen Schutzschaltung nur 0.3 V grösser sein als die Spannung  $V_{BACKUP}$  an Pin  $V_{DD\_8803}$ , darum wird in der Schaltung eine Schottky-Diode mit einem kleinen Spannungsabfall in Durchlassrichtung von  $V_F = 0.3$  V bei 200  $\mu$ A und +25°C verwendet.

#### 3.3.1. Maximaler Einschaltstrom

Der Superkondensator braucht grundsätzlich keinen Vorwiderstand um den Ladestrom zu begrenzen. Die Begrenzung des Stromes erfolgt lediglich durch den Innenwiderstand  $R_{ESR}$  des Superkondensators selber.

Der grösste Einschaltstrom  $I_{C1max}$  (Worst-Case) entsteht, wenn der Superkondensator vollständig entladen ist und wenn bei grösster Spannung  $V_{DD} = 5.5$  V und grösster Umgebungstemperatur  $T_A = 70^\circ\text{C}$  (kleinster Innenwiderstand  $R_{ESR}$ ), die Hauptspeisung  $V_{DD}$  eingeschaltet wird.

Soll der maximale Einschaltstrom  $I_{C1max}$  auf einen tieferen Strom begrenzt werden, ist ein Vorwiderstand  $R_1$  notwendig. Die Serienschaltung  $R_{ESR} + R_1$  begrenzt dann den Strom.

Vorwiderstand  $R_1$  ist notwendig:

- Wenn die Schottky-Diode geschützt werden muss. Der maximale Einschaltstrom  $I_{C1max}$  wird dabei auf den maximal zulässigen Vorwärtsstrom  $I_{Fmax} = 70$  mA der Schottky-Diode BAS70 (D1) begrenzt.
- Wenn der DC/DC-Wandler oder der Regler für die Hauptspeisung  $V_{DD}$  nicht genügend Strom liefern kann.

#### 3.3.2. Ladestrom des Superkondensators

Der Ladestrom definiert auch die Vorwärtsspannung  $V_F$  der Schottky-Diode und damit die maximal mögliche Spannung  $V_{BACKUP}$ . Der Ladestrom  $I_{C1}$  setzt sich aus dem Strom mit dem der verlustfreie Kondensator geladen wird und aus dem Leckstrom durch  $R_{ISO}$  zusammen, darum wird dieser Strom nie ganz Null sein. So bewirkt z.B. der Ladestrom  $I_{C1}$  von 0.9  $\mu$ A in den 0.1 F Superkondensator nach 24 Stunden und bei +25°C noch ein  $V_F$  von 0.2 V.

Erwarteter Ladestrom  $I_{C1}$  nach langer Zeit bei 5.5V, 20°C:

$C_1$	Ladestrom $I_{C1}$	
	Nach 24 Stunden	Nach 100 Stunden
0.1 F	0.9 $\mu$ A	0.3 $\mu$ A
0.47 F	1.8 $\mu$ A	0.5 $\mu$ A
1.0 F	3 $\mu$ A	0.8 $\mu$ A

### 3.3.3. Innenwiderstand des Superkondensators

Der Innenwiderstand des Superkondensators beeinflusst:

- den Einschaltstrom
- die Lade- bzw. Entladezeit von C1 nach dem Einschalten von  $V_{DD}$
- den Spannungsabfall im  $V_{BACKUP}$ -Betrieb

Für die Berechnung des maximalen Einschaltstromes ist der kleinste Innenwiderstand  $R_{ESR}$  des noch nicht gealterten Superkondensators relevant. Dieser wird vom Hersteller bei 1 kHz gemessen (ESR = Equivalent Series Resistance).

Kleinsten Innenwiderstand  $R_{ESR}$ :

C1	$R_{ESR}$		
	$T_A = -20^\circ\text{C}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$T_A = +70^\circ\text{C}$
0.1 F	110 $\Omega$	30 $\Omega$	25 $\Omega$
0.47 F	40 $\Omega$	10 $\Omega$	9 $\Omega$
1.0 F	40 $\Omega$	10 $\Omega$	9 $\Omega$

Aus Panasonic "Gold Capacitors ABC0000PE103\_TechGuide\_Oct 1st 2014"

Für eine Abschätzung der grössten Ladezeit des ungeladenen Superkondensators C1 nach dem Einschalten von  $V_{DD}$ , ist der Gleichstrom-Innenwiderstand  $R_{DC} \approx R_{ESR}$  und der im nachfolgenden Kapitel berechnete Seriewiderstand R1 relevant. Für die Berechnung der grössten Ladezeit wird der maximale Innenwiderstand  $R_{DC} \approx R_{ESR}$  gebraucht.

(Entladezeit nur im Ausnahmefall, wenn C1 geladen ist und  $V_{BACKUP}$  kurzgeschlossen würde.)

Die Zeitkonstante T gilt:

$$T = (R_{DC} + R1) * C1$$

Grösste Ladezeit t ausgedrückt mit Zeitkonstante T:

C1	$R_{DC}$	R1	t = T ( $V_{BACKUP} \approx 63\%$ )	t = 5*T ( $V_{BACKUP} > 99\%$ )
0.1 F	75 $\Omega$	100 $\Omega$	18 s	88 s
0.47 F	30 $\Omega$	100 $\Omega$	61 s	306 s
1.0 F	30 $\Omega$	100 $\Omega$	130 s	650 s

Der grösste Spannungsabfall  $V_{C1}$  über dem Innenwiderstand des Superkondensators und des Vorwiderstandes R1 im  $V_{BACKUP}$ -Betrieb tritt bei grössten Lastströmen und beim grössten Innenwiderstand  $R_{DC} \approx R_{ESR}$  auf.  $I_{max}$  = Maximaler Laststrom,  $I_{DD\_8803max}$  = Maximaler Stromverbrauch des RTC-Moduls,  $I_{D1\_Lmax}$  = Maximaler Leckstrom der Schottky-Diode.

Grösster Spannungsabfall  $V_{C1max}$ :

$$V_{C1max} = (I_{max}) * (R_{DCmax} + R1)$$

$$V_{C1max} = (I_{DD\_8803max} + I_{D1\_max}) * (R_{DCmax} + R1)$$

Mit C1 = 0.1 F:

$$V_{C1max} = (350 \text{ nA} + 110 \text{ nA}) * (75 \Omega + 100 \Omega) = \underline{\underline{0.08 \text{ mV}}}$$

Mit C1 = 0.47 F und 1.0 F:

$$V_{C1max} = (350 \text{ nA} + 110 \text{ nA}) * (30 \Omega + 100 \Omega) = \underline{\underline{0.06 \text{ mV}}}$$

Dieser mögliche maximale Spannungsabfall  $V_{C1max}$  ist vernachlässigbar.  $V_{C1}$  wird in nachfolgenden Berechnungen nicht mehr berücksichtigt ( $V_{C1} = 0 \text{ V}$ ).

### 3.3.4. Dimensionierung von $R_1$

Worst-Case:  $V_{DD} = 5.5 \text{ V}$ ,  $T_A = 70^\circ\text{C}$

Schottky BAS70: Bei  $I_{F\text{max}} = 70 \text{ mA}$  und  $70^\circ\text{C}$  ist  $V_F = 0.9 \text{ V}$

Maximaler Einschaltstrom daher:  $I_{C1\text{max}} = 70 \text{ mA}$

$$I_{C1\text{max}} = \frac{V_{DD} - V_F}{R_{\text{ESR}} + R_1}$$

Notwendiger Vorwiderstand  $R_1$ :

$$R_1 = \frac{V_{DD} - V_F}{I_{C1\text{max}}} - R_{\text{ESR}}$$

EECS0HD104H (0.1 F, 5.5V, Serie SD):

$$R_1 = \frac{5.5 \text{ V} - 0.9 \text{ V}}{70 \text{ mA}} - 25 \Omega = 41 \Omega$$

$$R_1 \text{ gewählt} = \underline{100 \Omega}$$

EECS5R5H474 (0.47 F, 5.5V, Serie SG) und EECS5R5V105 (1.0 F, 5.5V, Serie SG):

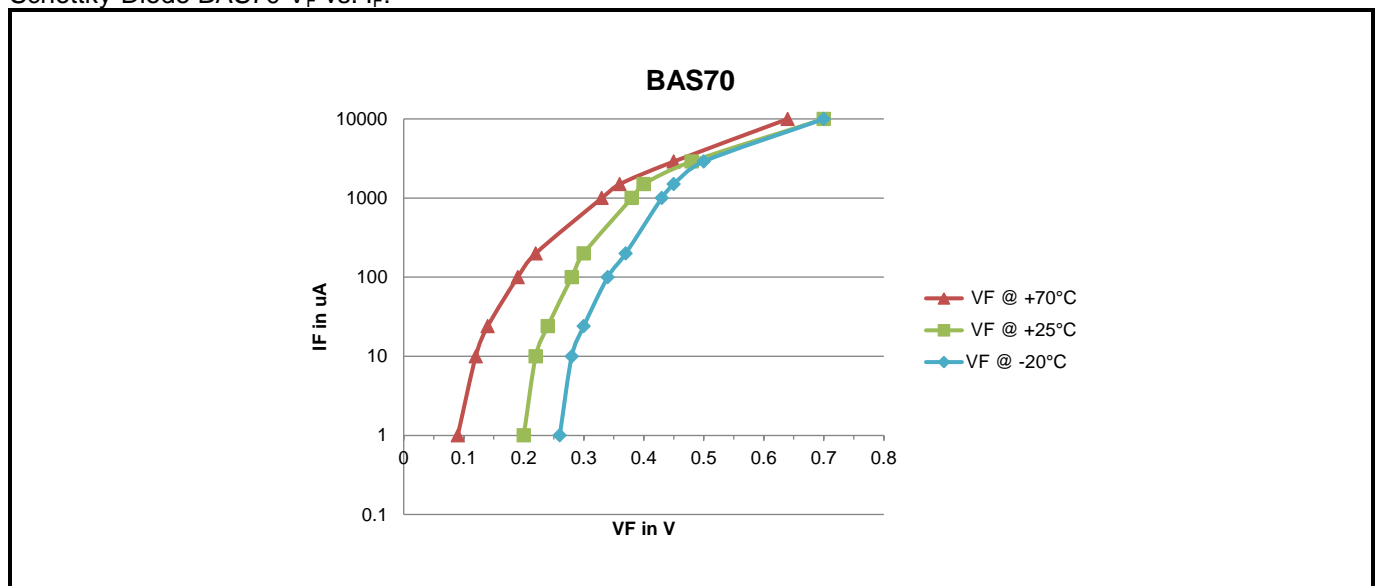
$$R_1 = \frac{5.5 \text{ V} - 0.9 \text{ V}}{70 \text{ mA}} - 9 \Omega = 57 \Omega$$

$$R_1 \text{ gewählt, ebenfalls} = \underline{100 \Omega}$$

### 3.3.5. Schottky-Diode

BAS70 ist eine Schottky-Diode mit einem sehr kleinen Leckstrom und der gewünschten, kleinen Vorwärtsspannung  $V_F$ . Ist beispielsweise der Ladestrom in den 0.1 F Superkondensator nach 24 Stunden und bei  $+25^\circ\text{C}$  auf  $0.9 \mu\text{A}$  abgesunken, beträgt  $V_F$  nur noch  $0.2 \text{ V}$ .

Schottky-Diode BAS70  $V_F$  vs.  $I_F$ :



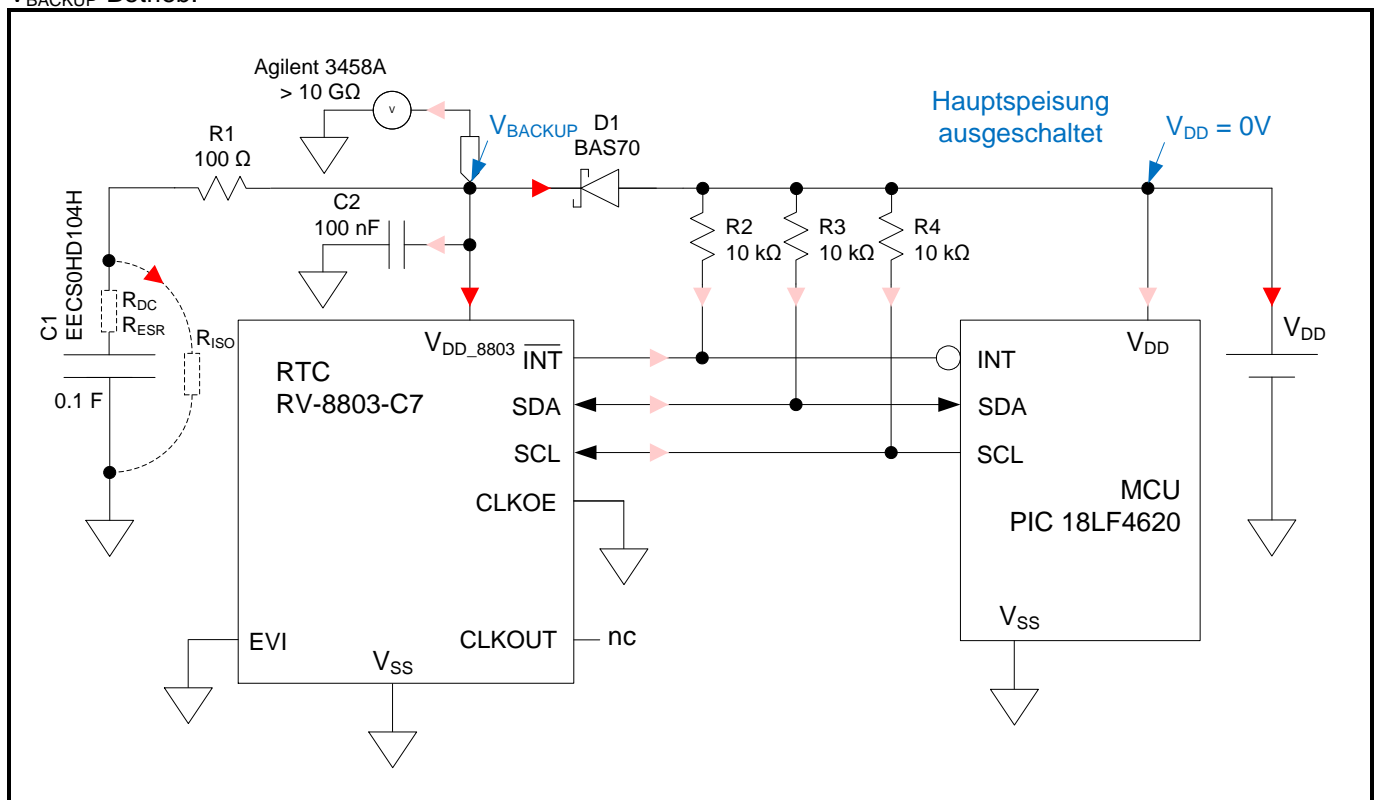
### 3.4. $V_{BACKUP}$ -Betrieb

Sobald  $V_{DD}$  abgeschaltet wird (auf 0V geht), übernimmt der Superkondensator mit der Spannung  $V_{BACKUP}$  die Speisung des RTC-Moduls RV-8803-C7 automatisch. Der Anfangswert von  $V_{BACKUP}$  ist abhängig von der Ursprünglich angelegten Spannung  $V_{DD}$  und von der Vorwärtsspannung  $V_F$  der Schottky-Diode. Diese wiederum ist abhängig vom Ladezustand des Superkondensators und von der Umgebungstemperatur.

Im  $V_{BACKUP}$ -Betrieb erfolgt die Entladung des Superkondensators über den Leckstrom des Superkondensators  $C1$  selber, den Stromverbrauch des RTC-Moduls RV-8803-C7 und den Leckstrom der Schottky-Diode  $D1$ .

Die Spannungs-Entladekurve ( $V_{BACKUP}$ ) wird mit dem Multimeter Agilent 3458A gemessen. Der Innenwiderstand des Multimeters bei Gleichspannungsmessung und dem Spannungsbereich von 10 V ist  $> 10 \text{ G}\Omega$ , was den vernachlässigbaren Strom bei 5.5 V von  $< 0.55 \text{ nA}$  bewirkt.

$V_{BACKUP}$ -Betrieb:



### 3.4.1. Kontrolle der Zeitmessung

Die korrekte Zeitmessung des RTC-Moduls während des  $V_{\text{BACKUP}}$ -Betriebs (Timekeeping) kann mit dieser Schaltung nur im Nachhinein, beim Einschalten von  $V_{\text{DD}}$ , überprüft und bestätigt werden, da im  $V_{\text{BACKUP}}$ -Betrieb die I<sup>2</sup>C Schnittstelle und die Interrupt-Information nicht zur Verfügung stehen.

Vorgehen:

1.  $V_{\text{DD}}$ -Betrieb:
  - a. Superkondensator wird geladen.
  - b. Start Messung  $V_{\text{BACKUP}}$  mit Agilent 3458A (>10 G $\Omega$ ) und z.B. Aufzeichnung mit VEE Pro ( $V_{\text{BACKUP}}$  und Referenz-Zeit)
  - c. RTC Initialisierung über I<sup>2</sup>C (Zeit, Datum und alle Flags auf 0 setzen).
2.  $V_{\text{DD}}$  ausschalten:
  - a. Schaltung ist im  $V_{\text{BACKUP}}$ -Betrieb (Timekeeping)
3. Wenn z.B.  $V_{\text{BACKUP}} \leq 1.5 \text{ V}$  ist:
  - a.  $V_{\text{DD}}$  einschalten.
  - b. RTC-Zeit und Flags F1V und F2V mit I<sup>2</sup>C auslesen.
  - c. Wenn die Flags F1V und F2V 0 sind, hat das RTC-Modul während der Backup-Zeit korrekt weitergearbeitet und die ausgelesene RTC-Zeit ist die Backup-Zeit, welche mit der Referenz-Zeit verglichen werden kann.

Hinweis:

Die Schaltung kann so angepasst werden, dass die RTC-Zeit, mit nur wenig Verlust von Backup-Zeit, direkt überwacht werden kann:

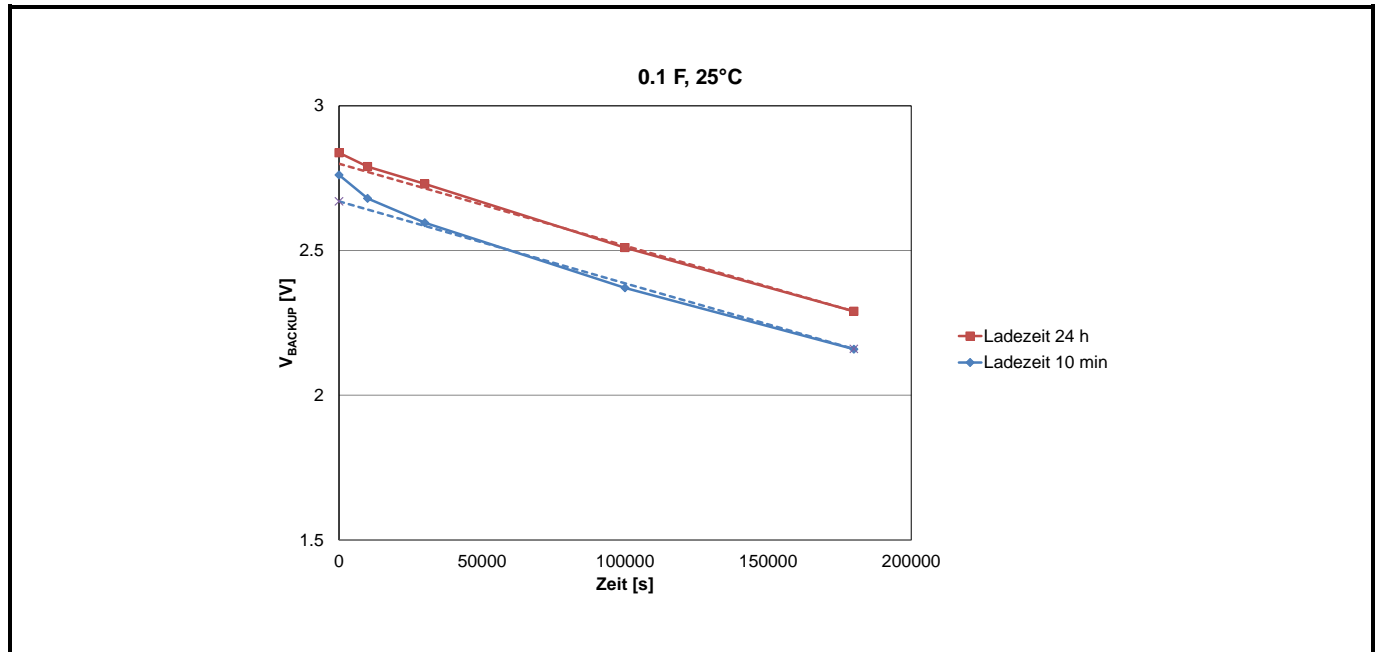
1. Pull-up Widerstand R2 auf 100 k $\Omega$  erhöhen und vom RTC-Pin  $\overline{\text{INT}}$  auf die Kathodenseite der Schottky-Diode führen (Pull-up auf  $V_{\text{BACKUP}}$ ).
2.  $\overline{\text{INT}}$  Verbindung zum PIC unterbrechen, da der Widerstand gegen Masse des PIC-pins bei  $V_{\text{DD}} = 0 \text{ V}$  circa 25 k $\Omega$  beträgt.
3. Ein-Minute-Interrupt programmieren und einschalten (Pulsdauer = 15.6 ms)
4. Über eine High Impedance Probe (z.B. HIP101, typ. 0.3 pA, max. 1 pA) die Interrupt-Pulse erfassen und die Periodenzeiten mit einem Timer/Counter messen.

Der Durchschnittliche Stromverbrauch ist mit dieser Schaltung bei  $V_{\text{BACKUP}} = 3 \text{ V}$  und bei 25°C um etwa 9 nA erhöht (Leckstrom und 15.6 ms Puls an RTC-Pin  $\overline{\text{INT}}$ ).

### 3.4.2. $V_{\text{BACKUP}}$ Entladekurve

In der Gesamtschaltung mit der  $V_{\text{BACKUP}}$  Entladekurve ist der Ladezustand des Superkondensators ebenfalls ersichtlich.

$V_{\text{BACKUP}}$  Entladekurve. Beispiel mit 0.1 F, 25°C, Ladebedingung  $V_{\text{DD}} = 3.0 \text{ V}$  bei Ladezeiten von 10 Minuten und 24 Stunden:



Nach einer Ladezeit von 24 Stunden fließt durch die Schottky-Diode nur noch ein Ladestrom von  $1 \mu\text{A}$  in den Superkondensator (bei allen C1 und  $V_{\text{DD}}$  etwa gleich). Über der Schottky-Diode stellt sich die Vorwärtsspannung  $V_F$  ein.

Wenn die Ladezeit nur kurz ist (10 Minuten), ist der Superkondensator noch nicht vollständig aufgeladen und es fließt ein signifikant grösserer Ladestrom (bis einige mA) durch die Schottky-Diode. Die erhöhte Vorwärtsspannung  $V_F$  und die noch nicht vollständige Aufladung des Superkondensators können als linearer Faktor in die Entladezeitberechnung eingefügt werden. Neben der Vorwärtsspannung  $V_F$  muss daher noch eine Korrekturspannung  $V_K$  von  $V_{\text{DD}}$  abgezogen werden.

Für die Anfangsspannung  $V_0$  im  $V_{\text{BACKUP}}$ -Betrieb gilt:

$$V_0 = V_{\text{DD}} - V_F - V_K$$

Vorwärtsspannung  $V_F$  in Abhängigkeit der Ladezeit:

Ladezeit	$V_F$		
	$T_A = -20^\circ\text{C}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$T_A = +70^\circ\text{C}$
24 Stunden	0.25 V	0.2 V	0.1 V
10 Minuten			

Korrekturspannung  $V_K$  in Abhängigkeit der Ladezeit:

Ladezeit	$V_K$
24 Stunden	0 V
10 Minuten	0.13 V

### 3.4.3. Leckstrom des Superkondensators

Es ist von Vorteil, zuerst den Isolationswiderstand  $R_{ISO}$  des Superkondensators zu bestimmen. So kann danach der durchschnittliche Leckstrom  $I_{C1\_L}$  bei einer beliebigen durchschnittlichen Backup-Spannung  $\emptyset V_{BACKUP}$  berechnet werden. Der Isolationswiderstand  $R_{ISO}$  nimmt bei Temperaturerhöhung ab und kann mit Hilfe der Spannungs-Entladekurve des Herstellers, oder einer selber gemessenen, folgendermassen berechnet werden:

$$R_{ISO} = - \frac{t_2 - t_1}{C_1 * \ln\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}$$

Vorgehen, wenn Spannungs-Entladekurve selber gemessen wird:

1. Kapazität von  $C_1$  bestimmen; mit Entladung über einen konstanten Strom  $I_{CONST}$  (1 mA/F als Norm):

$$C_1 = I_{CONST} * \frac{t_2 - t_1}{U_1 - U_2}$$

2. Spannungs-Entladekurve aufnehmen (keine Last)
3. Berechnung von  $R_{ISO}$

Mit  $R_{ISO}$  kann nun der durchschnittlichen Leckstrom  $I_{C1\_L}$  bei einer durchschnittlichen Backup-Spannung  $\emptyset V_{BACKUP} = (V_0 + V_1) / 2$  berechnen werden:

$$I_{C1\_L} = \frac{\emptyset V_{BACKUP}}{R_{ISO}}$$

Beispiel:

Bei +25°C und der Ladebedingung  $V_{C1} = 5$  V, 24 Stunden mit  $C_1 = 0.1$  F,  $t_1 = 0$  s,  $t_2 = 100$  Stunden = 360'000 s,  $U_1 = 5$  V,  $U_2 = 4.47$  V:

$$R_{ISO} = - \frac{360'000 \text{ s} - 0 \text{ s}}{0.1 \text{ F} * \ln\left(\frac{4.47 \text{ V}}{5 \text{ V}}\right)} = 32'129 \text{ k}\Omega$$

Der durchschnittliche Leckstrom ist dann bei  $\emptyset V_{BACKUP} = (2.8 \text{ V} + 1.5 \text{ V}) / 2 = 2.15$  V:

$$I_{C1\_L} = \frac{2.15 \text{ V}}{32'129 \text{ k}\Omega} = \underline{\underline{67 \text{ nA}}}$$

Isolationswiderstand  $R_{ISO}$ :

Ladebedingung	$C_1$	$R_{ISO}$		
		$T_A = -20^\circ\text{C}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$T_A = +70^\circ\text{C}$
$V_{C1} = 5$ V, 24 Stunden	0.1 F	178'000 k $\Omega$ (*)	32'100 k $\Omega$	4'310 k $\Omega$
	0.47 F	133'084 k $\Omega$ (*)	24'000 k $\Omega$ (*)	3'222 k $\Omega$ (*)
	1.0 F	74'305 k $\Omega$ (*)	13'400 k $\Omega$	1'799 k $\Omega$ (*)
Werte aus Entladekurven von Panasonic "Gold Capacitors ABC0000PE103_TechGuide_Oct 1st 2014". (*) Fehlende Werte wurden durch lineare Interpolation bzw. Extrapolation bestimmt.				

Durchschnittliche Leckströme  $I_{C1\_L}$  bei verschiedenen  $\emptyset V_{BACKUP}$ :

$\emptyset V_{BACKUP}$	$C_1$	$I_{C1\_L}$		
		$T_A = -20^\circ\text{C}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$T_A = +70^\circ\text{C}$
$(2.8 \text{ V} + 1.5 \text{ V}) / 2 = 2.15$ V ( $V_{DD} = 3.0$ V, 24 Stunden)	0.1 F	12 nA	67 nA	499 nA
	0.47 F	16 nA	90 nA	667 nA
	1.0 F	29 nA	160 nA	1195 nA
$(5.3 \text{ V} + 1.5 \text{ V}) / 2 = 3.4$ V ( $V_{DD} = 5.5$ V, 24 Stunden)	0.1 F	19 nA	106 nA	789 nA
	0.47 F	26 nA	142 nA	1055 nA
	1.0 F	46 nA	254 nA	1890 nA

### 3.4.4. Stromverbrauch RV-8803-C7

Anmerkung: Da das RTC-Modul RV-8803-C7 jede Sekunde eine Temperaturmessung macht, tritt jede Sekunde ein Stromimpuls  $I_{DD\_8803\_PULS}$  von zirka 19  $\mu\text{A}$  mit einer Dauer von 1.3 ms auf. Um den typischen (durchschnittlichen) Stromverbrauch  $I_{DD\_8803}$  direkt zu messen, ist es daher notwendig, am Spannungsmessgerät eine Messdauer (Integrationszeit) von mindestens einer Sekunde anzuwählen.

Typischer Stromverbrauch  $I_{DD\_8803}$  des RTC-Moduls RV-8803-C7:

$\emptyset V_{\text{BACKUP}}$	$I_{DD\_8803}$		
	$T_A = -20^\circ\text{C}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$T_A = +70^\circ\text{C}$
1.5 V	195 nA	235 nA	330 nA
2.15 V	200 nA	240 nA	335 nA
3 V	200 nA	240 nA	345 nA
3.4 V	200 nA	245 nA	350 nA
5.5 V	210 nA	250 nA	360 nA

### 3.4.5. Leckstrom der Schottky-Diode

Typischer Leckstrom  $I_{D1\_L}$  der Schottky-Diode BAS70:

$\emptyset V_{\text{BACKUP}}$	$I_{D1\_L}$		
	$T_A = -20^\circ\text{C}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$T_A = +70^\circ\text{C}$
2.15 V	0.03 nA	1.3 nA	47 nA
3.4 V	0.05 nA	2 nA	75 nA
5 V	0.07 nA	3 nA	110 nA



### 3.4.6. Berechnung der Backup-Zeit

Es kann die Formel für die Entladezeit bei einem konstanten Strom angewendet werden, da der Strom des RTC-Moduls und die Leckströme von C1 und D1 bei einer durchschnittlichen Backup-Spannung  $\varnothing V_{\text{BACKUP}} = (V_1 + V_0)/2$  berechnet wurden.

Beispiel: Backup-Zeit mit Superkondensator  $C_1 = 0.1 \text{ F}$  (EECS0HD104H),  $V_{\text{DD}} = 3.0 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , nach einer Ladezeit von 24 Stunden.

$$t = \frac{C_1 * (V_0 - V_1 - V_{C1})}{I}$$

$$t = \frac{C_1 * (V_{\text{DD}} - V_{\text{F}} - V_{\text{K}} - V_1 - V_{C1})}{I_{C1\_L} + I_{\text{DD\_8803}} + I_{D1\_L}}$$

$$t = \frac{0.1 \text{ F} * (3.0 \text{ V} - 0.2 \text{ V} - 0 \text{ V} - 1.5 \text{ V} - 0 \text{ V})}{67 \text{ nA} + 240 \text{ nA} + 1.3 \text{ nA}} = \underline{421'711 \text{ Sekunden}}$$

$$= 117 \text{ Stunden}$$

$$= \underline{4.9 \text{ Tage}}$$

Parameter	Erläuterung anhand Beispiel
t = Gesuchte Backup-Zeit in Sekunden	
C <sub>1</sub> = Kapazität in Farad	C <sub>1</sub> = 0.1 F
T <sub>A</sub> = Umgebungstemperatur	T <sub>A</sub> = 25°C
V <sub>DD</sub> = Hauptspeisung	V <sub>DD</sub> = 3.0 V
V <sub>0</sub> = Anfangsspannung in V, V <sub>BACKUP</sub> = V <sub>0</sub>	V <sub>0</sub> = V <sub>DD</sub> - V <sub>F</sub> - V <sub>K</sub>
V <sub>F</sub> = Vorwärtsspannung der Schottky-Diode	
V <sub>K</sub> = Korrekturspannung	Bei 24 Stunden Ladezeit ist V <sub>K</sub> = 0 V
V <sub>1</sub> = Endspannung in V nach der Zeit t, V <sub>BACKUP</sub> = V <sub>1</sub>	V <sub>1</sub> = 1.5 V (V <sub>DD\_MIN</sub> von RV-8803-C7)
V <sub>C1</sub> = Spannungsabfall über Innenwiderstand R <sub>DC</sub> (ca. R <sub>ESR</sub> ) und Vorwiderstand R <sub>1</sub> . Vernachlässigbar.	V <sub>C1</sub> = (I <sub>DD_8803</sub> + I <sub>D1_L</sub> ) * (R <sub>DC</sub> + R <sub>1</sub> ) → V <sub>C1</sub> = 0 V
∅V <sub>BACKUP</sub> = Durchschnittliche Backup-Spannung in V	∅V <sub>BACKUP</sub> = (V <sub>0</sub> + V <sub>1</sub> )/2 (für vorangehende Berechnung der Ströme)
I = Konstanter, durchschnittlicher Entladestrom in A	I = I <sub>C1_L</sub> + I <sub>DD_8803</sub> + I <sub>D1_L</sub>
I <sub>C1_L</sub> = Durchschnittlicher Leckstrom von Superkondensator	I <sub>C1_L</sub> = ∅V <sub>BACKUP</sub> / R <sub>ISO</sub>
I <sub>DD_8803</sub> = Durchschnittlicher Stromverbrauch RV-8803-C7	
I <sub>D1_L</sub> = Durchschnittlicher Leckstrom der Schottky-Diode	

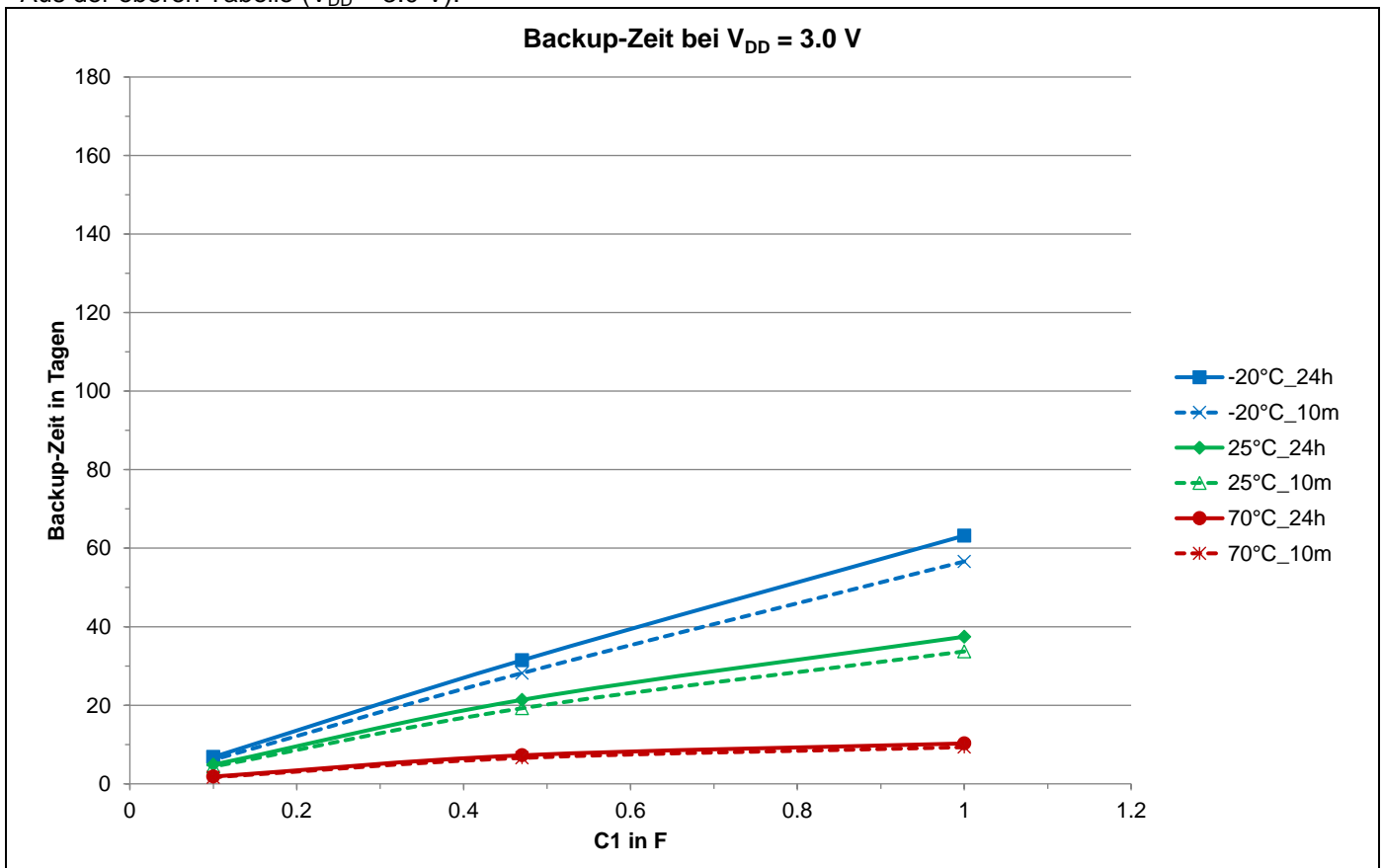
### 3.4.7.Backup-Zeiten

Backup-Zeit in Abhängigkeit der Kapazität  $C_1$  (0.1 F, 0.47 F, 1 F), der Ladezeit des Superkondensators (10 Minuten, 24 Stunden), der Umgebungstemperatur  $T_A$  (-20°C, 25°C, 70°C) und der Betriebsspannung  $V_{DD}$  (3.0 V, 5.5 V).

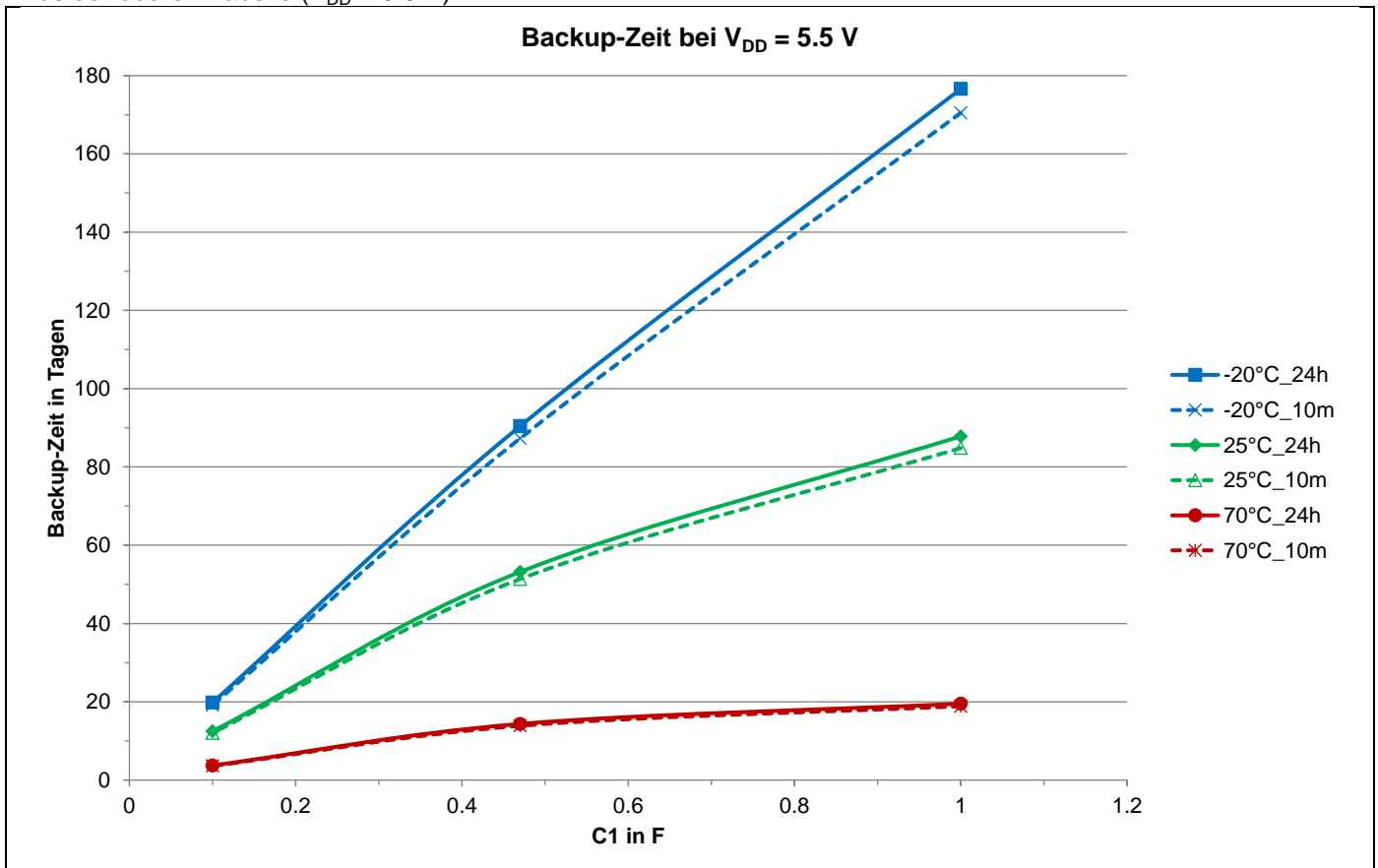
Backup-Zeit in Tagen:

$T_A$	$C_1$	$V_{DD} = 3.0 \text{ V}$		$V_{DD} = 5.5 \text{ V}$	
		Ladezeit 10 min	Ladezeit 24 h	Ladezeit 10 min	Ladezeit 24 h
-20°C	1.0 F	57	63	170	177
	0.47 F	28	31	87	90
	0.1 F	6.1	6.8	19	20
+25°C	1.0 F	34	37	85	88
	0.47 F	19	21	51	53
	0.1 F	4.4	4.9	12	12
+70°C	1.0 F	9	10	19	20
	0.47 F	6.6	7.3	14	14
	0.1 F	1.7	1.8	3.6	3.7

Aus der oberen Tabelle ( $V_{DD} = 3.0 \text{ V}$ ):



Aus der oberen Tabelle ( $V_{DD} = 5.5 \text{ V}$ ):



#### 4. Fazit

Der unvergleichbar tiefe Stromverbrauch des temperaturkompensierten RTC-Moduls RV-8803-C7 macht es zum ersten Mal in der Industrie möglich, benutzerfreundliche Superkondensatoren als RTC Backup-Spannungsversorgung zu verwenden.

Die langen Backup-Zeiten in diesem Schaltungsvorschlag sind für eine Vielzahl Anwendungen äusserst nützlich.

Da die verschiedenen Quellen des Stromkonsums erfasst und in Abhängigkeit von bekannten Faktoren, wie Temperatur und Speisespannung, quantifiziert werden können, kann eine gewünschte Backup-Zeit mit einem dazugehörigen Kapazitätswert des Superkondensators bestimmt werden.

Messungen und Tests wurden an der echten Schaltung durchgeführt, um alle Quellen des Leckstromes zu identifizieren und um sicherzustellen, dass die berechnete Backup-Zeiten mit den effektiven Backup-Zeiten übereinstimmen.

Kostengünstige RTC Backup-Lösungen und Module mit wenig Platzverbrauch und geringen BOM-Auflagen können nun mit einem Superkondensator, einer Schottky-Diode und dem RTC-Modul RV-8803-C7 entwickelt werden.

## 5. Dokumentversion

Datum	Version #	Änderungen
Juni 2015	0.90	Erster Entwurf
Juni 2015	0.91	Geändert Wort Anwender Entfernt Kapazitätsbereich Ergänzt erste Schaltung Ergänzt IC1_Lmax und IDD_8803max Ergänzt Schottky BAS70 Vereinfacht zweite Schaltung Separiert Beispiel Leckstrom des Superkondensators Ergänzt Stromverbrauch RV-8803-C7 Vereinfacht Berechnung der Backup-Zeit Vereinfacht Backup-Zeiten
August 2015	0.92	Geändert, „der RTC“ zu „die Echtzeituhr“ und „das RTC-Modul“ Kleine Änderungen in Satzstellungen
September 2015	0.93	Hinzugefügt: Autor Kleine Textänderungen Ergänzt Verwendete Superkondensatoren Ergänzt Überwachung der RTC-Zeit mit abgeänderter Schaltung Geändert Darstellung der Backup-Zeiten (neu: 3.0 V / 5.5 V)

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, Micro Crystal assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. In accordance with our policy of continuous development and improvement, Micro Crystal reserves the right to modify specifications mentioned in this publication without prior notice. This product is not authorized for use as critical component in life support devices or systems.