

swissbit®

Application Note

**AN2111de**

**SD Memory Card  
Design-in**

© Swissbit AG 2023

  Creative-Commons-Lizenz<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Dieses Werk steht unter der Creative-Commons-Lizenz „Namensnennung 4.0 International“. Um eine Kopie dieser Lizenz zu sehen, besuchen Sie <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Versorgungsspannung</b>	<b>2</b>
2.1	Spannungsstabilisierung . . . . .	2
2.2	Schaltbare Versorgungsspannung	2
2.3	Einschaltmoment . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Signalleitungen</b>	<b>3</b>
3.1	Signalqualität und ESD-Schutz .	3
3.2	Pegelwandler . . . . .	3
3.3	Floating Clock . . . . .	4
3.4	Pull-Up-Widerstände . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Protokollfehler</b>	<b>5</b>
4.1	CMD11 – Voltage Switch . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Qualifikation</b>	<b>5</b>

## 1 Einleitung

Dieser Leitfaden soll als Unterstützung für die Integration von SD-Memory-Karten dienen. Swissbit ist seit vielen Jahren einer der führenden Anbieter von SD-Memory-Karten für den industriellen Einsatz sowie für die Automobilindustrie. Aus dieser Erfahrung ist dieses Dokument entstanden. Es fokussiert sich auf die häufigsten Probleme, die bei der Integration eines SD-Memory-Interfaces auftreten können.

## 2 Versorgungsspannung

### 2.1 Spannungsstabilisierung

Während der Initialisierung und im Betrieb mit Default-Speed (DS) darf eine SD-Memory-Karte maximal 100 mA benötigen. Wenn eine SDXC-Karte auf maximale Geschwindigkeit konfiguriert wird (XPC-Bit), darf sie sofort bis zu 150 mA verbrauchen. Bei der Aktivierung von High-Speed (HS) und Ultra-High-Speed (UHS-I) darf der Verbrauch bis auf 200 mA bzw. 400 mA steigen.

Probleme treten hier typischerweise während der Initialisierung auf. Der gemäß

SD-Memory-Spezifikation maximal zulässige Strom bezieht sich auf den Durchschnittswert, gemessen über eine Sekunde. Beim Zugriff des integrierten Controllers auf den Flash können sich der Verbrauch des Controllers und des Flashes auf deutlich höhere Spitzenwerte summieren. Diese Spitzen können mehrere hundert Milliampere betragen und dauern typischerweise bis zu einer Millisekunde an. Die Stromversorgung der SD-Memory-Karte muss für diese Spitzen ausgelegt und mit Kondensatoren gepuffert werden. Andernfalls kann die Versorgungsspannung die zulässige Minimalspannung unterschreiten. Hier löst möglicherweise der Brown-Out-Detektor aus und aktiviert zum Schutz der Daten den Schreibschutz des NAND-Flashes.

Gemäß SD-Memory-Spezifikation muss nach einem Unterschreiten des zulässigen Versorgungsspannungsbereichs ein Aus- und Einschalten der Spannungsversorgung durchgeführt werden, wodurch die Karte einen Hard-Reset ausführt und wieder in den normalen Betrieb gelangt. Da Stromspitzen aber bereits während der Initialisierung auftreten, kann bei zu schwacher Auslegung der Versorgung eine Endlosschleife entstehen.

### 2.2 Schaltbare Versorgungsspannung

Der Host sollte grundsätzlich in der Lage sein, die Versorgungsspannung der SD-Memory-Karte zu schalten, um einen Hard-Reset der SD-Memory-Karte zu erzwingen. Schlägt z. B. ein Wechsel der Interface-Spannung (CMD11) von 3,3V auf 1,8V fehl, so darf die Rückkehr zu 3,3V nur nach einer Abschaltung der Versorgungsspannung erfolgen.

Obwohl die SD-Memory-Spezifikation nur 0,5V fordert, sollte die Spannung beim Abschalten unter 0,1V fallen, um die Anforderungen heutiger und zukünftiger 3D-NAND-Flashes zu erfüllen. Die Dauer der Abschaltung muss daher ausreichend gewählt werden, um die Kondensatoren der Spannungsstabilisierung (siehe Abschnitt 2.1) zu entladen, sofern die Trennung vor diesen erfolgt.

### 2.3 Einschaltmoment

SD-Memory-Karten stellen keine hohen Anforderungen an die Spannungs-Rampe beim Einschalten. Die SD-Memory-Spezifikation sieht für Rampe eine Zeitdauer von 0,1 bis 35 ms vor. Wichtig ist jedoch (wie bei allen Speichermedien), dass die Spannung monoton steigt und nicht wieder abfällt, bevor die Betriebsspannung erreicht wurde. Anschließend darf die minimale Betriebsspannung von 2,7V nur zum Abschalten wieder unterschritten werden.

Lesefehlern resultieren kann, die gehäuft nach Temperaturänderungen auftreten, wenn kein erneutes *Tuning* (CMD19) durchgeführt wird.

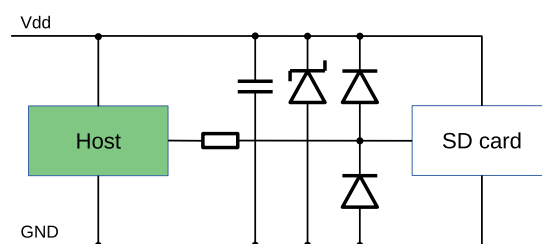
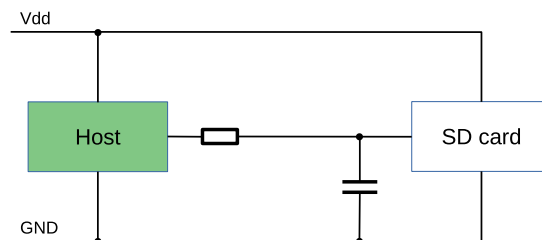


Abbildung 1: ESD-Schutz (oben: kapazitive Last auf Signalleitung, unten: empfohlene Schaltung)

## 3 Signalleitungen

### 3.1 Signalqualität und ESD-Schutz

Alle Signalleitungen zwischen Chipsatz und SD-Memory-Slot sollten präzise die gleiche Länge haben sowie über eine Ground-Plane geführt werden, um identische Impedanzen und ausreichende Störfestigkeit insbesondere für den SDR104-Mode zu gewährleisten. Die Anzahl der Vias in einer Signalleitung sollte zwei Vias nicht überschreiten. Bei größeren Distanzen zwischen Chipsatz und SD-Memory-Slot sollte zumindest im Clock-Pfad ein Serienwiderstand zur Dämpfung der Reflexionen vorgesehen werden und einen Wert von 0 – 22 Ω aufweisen.

Vom Einfügen zusätzlicher Kapazitäten in die Signalleitungen sollte Abstand genommen werden, da diese die Temperaturabhängigkeit der Signalausbreitung erhöhen. Zum ESD-Schutz sind schnelle Dioden in Kombination mit Serienwiderständen im Signalpfad und einer Suppressordiode besser geeignet als Tiefpässe aus Widerständen und Kondensatoren, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Werden dennoch Kondensatoren in den Signalpfad eingebracht, so sollten ihre Werte 4,7 pF nicht überschreiten. Zudem müssen dann sämtliche Signale (CLK, CMD, DAT[3:0]) mit der gleichen Kapazität beaufschlagt werden. Teilweise wird zum Verbessern der EMV-Eigenschaften ein Kondensator nur an CLK gehängt, was dann zu einer Verzögerung des Signals gegenüber CMD und DAT[3:0] führt und in

### 3.2 Pegelwandler

Beim Einsatz von bidirektionalen Pegelwandlern zwischen dem Host-Chipsatz und der SD-Memory-Karte ist der Zustand nach dem Einschalten der Versorgungsspannung zu prüfen, um nicht unbeabsichtigt den SPI-Mode der SD-Memory-Karte zu aktivieren. Dies geschieht, wenn während des Sendens von CMD0 ein Low-Pegel an DAT3 anliegt. Typischerweise sind beide Seiten eines Pegelwandlers mit Pull-Up-Widerständen versehen, die dies verhindern sollten. Es kann allerdings vorkommen, dass die Versorgungsspannung am Pegelwandler früher anliegt als an den Pull-Up-Widerständen. In diesem Fall würde der bidirektionale Pegelwandler in beide Richtungen einen Low-Pegel erkennen und einen solchen auch treiben.

Einen Pegelwechsel führt ein typischer Wandler bei einer von außen anliegenden Treiberstärke von wenigen Milliampere durch, die aber von den Pull-Up-Widerständen nicht auf-

gebracht werden kann. DAT3 verbleibt somit auf Low-Pegel, und die Karte wechselt mit CMD0 in den SPI-Modus und antwortet nicht mehr auf Kommandos.

Auch dieses Problem muss nicht sofort sichtbar werden, denn viele SD-Memory-Karten treiben beim Einschalten während dem Anstieg der Versorgungsspannung (unbeabsichtigt) für einen kurzen Moment die Ausgänge mit einem High-Puls, was ein Umschalten des Pegelwandlers bewirkt. Somit wird das Problem möglicherweise erst bei einem Wechsel des SD-Memory-Kartentyps bemerkt, oder es treten vereinzelt Ausfälle im Feld auf. Als mögliche Abstellmaßnahme kommt in Frage, die Enable-Leitung des Pegelwandlers mit einem Tiefpass zu versehen, damit der Wandler erst startet, nachdem auf beiden Seiten der High-Pegel durch die Pull-Up-Widerstände sicher anliegt. Alternativ kann der Host auch kurz einen High-Pegel auf DAT3 treiben, bevor er CMD0 absetzt. Dies ist aber meist nur auf Systemen möglich, die nicht von der SD-Memory-Karte booten.

### 3.3 Floating Clock

Gemäß SD-Memory-Spezifikation sind alle Signale bis auf die Clock mit Pull-Up-Widerständen zu versehen, um ein Floaten zu verhindern. Da das Clock-Signal im Gegensatz zu den anderen Signalen jedoch nur von der Host-Seite getrieben wird, ist hier kein Pull-Up-Widerstand vorgesehen. Dies setzt aber voraus, dass das Signal zu jeder Zeit vom Host getrieben wird. Floatet die Clock, kann es durch Einkopplung elektromagnetischer Störungen dazu kommen, dass die PLL der Karte einen internen Takt generiert, der oberhalb der zulässigen Maximalfrequenz liegt, wodurch es zu Fehlfunktionen oder einem Aufhängen der SD-Memory-Karte kommen kann.

Zu einem Floaten der Clock kommt es, wenn der Host nicht sofort beim Einschalten der Versorgungsspannung das SD-Memory-Interface initialisiert. Eine weitere Fehlerquelle ist die Übergabe der Programmausführung zwischen den verschiedenen Stufen des Bootloaders. Einige Systeme schalten hier den Clock-Ausgang

in einen hochohmigen Zustand. Die Raspberry-Pi-Familie ist zum Beispiel ein bekannter Vertreter dieser Gruppe.

Es empfiehlt sich daher, das erwartete Verhalten des Hosts mit einem Oszilloskop zu überprüfen und gegebenenfalls einen definierten Zustand des Clock-Signals mit einem 100 kΩ Pull-Down-Widerstand sicherzustellen bzw. eine solche Bestückungsoption vorzusehen.

### 3.4 Pull-Up-Widerstände

Die Pull-Up-Widerstände für CMD und DAT müssen zwischen 10 kΩ und 100 kΩ betragen. Es hat sich gezeigt, dass interne Pull-Up-Widerstände der Chipsätze zu große Werte aufweisen können, oder diese bei Änderungen der Interface-Konfiguration kurzzeitig abgeschaltet werden, was zu Kommunikationsfehlern führen kann. Es sollten daher nur externe Pull-Up-Widerstände verwendet werden.

Ist die Spannungsversorgung der SD-Memory-Karte schaltbar (wie im Abschnitt 2.2 empfohlen), so muss die Spannungsversorgung der Pull-Up-Widerstände hinter dem Schalter erfolgen. Andernfalls kann ein Rücksetzen der Karte durch den Strom verhindert werden, der die Karte weiterhin durch die Pull-Up-Widerstände und die internen ESD-Dioden speist wie in Abbildung 2 dargestellt.

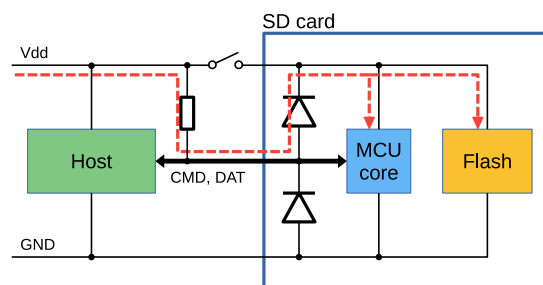


Abbildung 2: Speisung der SD-Memory-Karte durch Pull-Up-Widerstände und ESD-Dioden

## 4 Protokollfehler

### 4.1 CMD11 – Voltage Switch

Zur Erhöhung der Interface-Geschwindigkeit auf UHS-I ist vorab der Wechsel des Signalpegels von 3,3V auf 1,8V nötig. Dies erfolgt mittels Kommando *CMD11*. Dabei sind die Vorgaben der SD-Memory-Spezifikation genau einzuhalten, denn andernfalls kann die Synchronisierung der SD-Memory-Karte mit der neuen 1,8V-Clock des Hosts fehlschlagen, worauf sich die Karte aufhängt oder andere Fehlfunktionen zeigt.

Abbildung 3 zeigt den korrekten Ablauf: Nachdem der Host das Kommando *CMD11* abgesetzt und die Karte den Empfang mit *R1* bestätigt hat, treibt die Karte die *CMD*-Leitung und die *DAT*-Leitungen mit Low-Pegel. Anschließend stoppt der Host die 3,3V-Clock für mindestens 5 Millisekunden. Danach startet der Host die Clock erneut, aber nun mit einem Pegel von 1,8V. Innerhalb einer Millisekunde bestätigt nun die Karte die erfolgreiche Umschaltung, indem sie die *DAT*-Leitungen mit High-Pegel treibt. Erst jetzt darf der Host die Clock wieder stoppen.

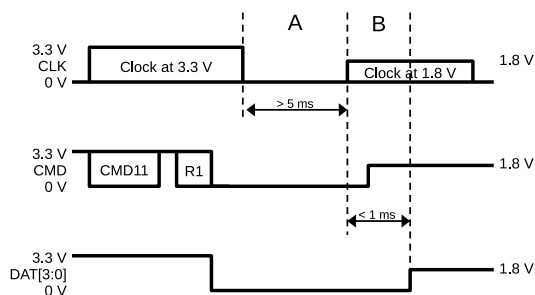


Abbildung 3: CMD11 Spannungsumschaltung

Während der Umschaltsequenz ist es absolut erforderlich, dass im Abschnitt *A* keinerlei Aktivität auf der *Clock*-Leitung stattfindet. Auch eine kurze Spannungsspitze, die möglicherweise vom Host bei der Umschaltung der Spannung erzeugt wird, kann zu einem Fehlverhalten der Karte führen.

Im Abschnitt *B* muss die *Clock* kontinuierlich durchlaufen, ohne dass auch nur ein Taktzy-

klus fehlt.

Einige Hosts, die gegen die Spezifikation in den Abschnitten *A* oder *B* verstoßen, zeigen zudem bei jedem *CMD11* ein anderes Verhalten, was dazu führt, dass eine Fehlfunktion der SD-Memory-Karte so selten auftritt, dass die Gefahr besteht, auf Fehler erst im Feld aufmerksam zu werden. Die Abbildung 4 zeigt einen solchen Fall.

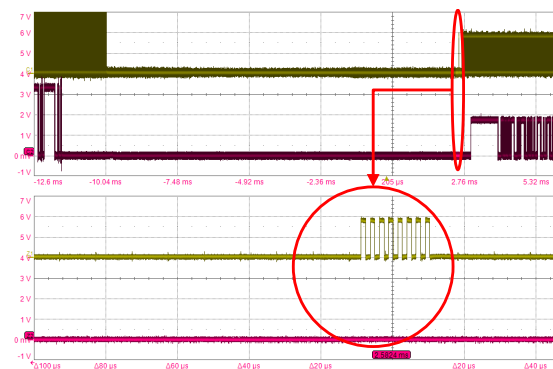


Abbildung 4: Protokollfehler bei *CMD11* (Grüntöne: *CLK*, Rottöne: *CMD*)

Bevor die *Clock* durchgehend auf 1,8V läuft, sendet der Host mehrere *Clock*-Zyklen, die jedes Mal in Anzahl und Position variieren. Wegen dieser weit verbreiteten Problematik mit *CMD11* wird empfohlen, das Umschalten in der fertigen Schaltung mit einem Oszilloskop zu überprüfen.

## 5 Qualifikation

Da das SD-Memory-Interface nicht wie z. B. eine eMMC über einen Rücklauftakt verfügt, gibt es mit *CMD19* die Möglichkeit, für höhere Übertragungsraten ein Testmuster von der SD-Memory-Karte anzufordern, um in Leserichtung den optimalen Abtastzeitpunkt für den Host zu bestimmen. Für Übertragungsmodi wie *SDR50*, *DDR50* und *SDR104* sollte daher für den gesamten, im Feld zu erwartenden Temperaturbereich geprüft werden, ob die Kommunikation mit der SD-Memory-Karte fehlerfrei bleibt, wenn die Initialisierung bzw. das

*Tuning* (CMD19) am anderen Ende des Temperaturbereichs erfolgte.

## Kontaktieren Sie uns

<b>Hauptsitz</b>	<b>Swissbit AG</b> Industriestraße 4 9552 Bronschhofen Schweiz	Tel. +41 71 913 03 03 sales@swissbit.com
<b>Deutschland (Berlin)</b>	<b>Swissbit Germany AG</b> Bitterfelder Straße 22 12681 Berlin Deutschland	Tel. +49 30 936 954 0 sales@swissbit.com
<b>Deutschland (München)</b>	<b>Swissbit Germany AG</b> Leuchtenbergring 3 81677 München Deutschland	Tel. +49 30 936 954 400 sales@swissbit.com
<b>Nord- und Südamerika</b>	<b>Swissbit NA Inc.</b> 238 Littleton Road, Suite 202B Westford, MA 01886 USA	Tel. +1 978-490-3252 salesna@swissbit.com
<b>Japan</b>	<b>Swissbit Japan Co., Ltd.</b> CONCIERIA Tower West 2F 6-20-7 Nishishinjuku Shinjuku City, Tokyo 160-0023 Japan	Tel. +81 3 6258 0521 sales-japan@swissbit.com
<b>Taiwan</b>	<b>Swissbit Taiwan</b> 3F., No. 501, Sec.2, Tiding Blvd. Neihu District, Taipei City 114 Taiwan, R.O.C.	Tel. +886 912 059 197 salesasia@swissbit.com
<b>China</b>	<b>Swissbit China</b>	Tel. +886 958 922 333 salesasia@swissbit.com

**Disclaimer:**

The information in this document is subject to change without notice. Swissbit AG ("SWISSBIT") assumes no responsibility for any errors or omissions that may appear in this document, and disclaims responsibility for any consequences resulting from the use of the information set forth herein. SWISSBIT makes no commitments to update or to keep current information contained in this document. The products listed in this document are not suitable for use in applications such as, but not limited to, aircraft control systems, aerospace equipment, submarine cables, nuclear reactor control systems and life support systems. Moreover, SWISSBIT does not recommend or approve the use of any of its products in life support devices or systems or in any application where failure could result in injury or death. If a customer wishes to use SWISSBIT products in applications not intended by SWISSBIT, said customer must contact an authorized SWISSBIT representative to determine SWISSBIT willingness to support a given application. The information set forth in this document does not convey any license under the copyrights, patent rights, trademarks or other intellectual property rights claimed and owned by SWISSBIT.

ALL PRODUCTS SOLD BY SWISSBIT ARE COVERED BY THE PROVISIONS APPEARING IN SWISSBIT'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ONLY, INCLUDING THE LIMITATIONS OF LIABILITY, WARRANTY AND INFRINGEMENT PROVISIONS. SWISSBIT MAKES NO WARRANTIES OF ANY KIND, EXPRESS, STATUTORY, IMPLIED OR OTHERWISE, REGARDING INFORMATION SET FORTH HEREIN OR REGARDING THE FREEDOM OF THE DESCRIBED PRODUCTS FROM INTELLECTUAL PROPERTY INFRINGEMENT, AND EXPRESSLY DISCLAIMS ANY SUCH WARRANTIES INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY EXPRESS, STATUTORY OR IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

© 2023 SWISSBIT AG