

# **LED-Beleuchtung**

## Leiterplattenentwicklung- Projektarbeit

---

**Zielgruppe:** TMT22  
**Ziel:** Projektvorstellung Leiterplattenentwicklung

---

**Simon Follmann (1134578), Johannes Ströbel (9589176)**

---

**4. Dezember 2023**

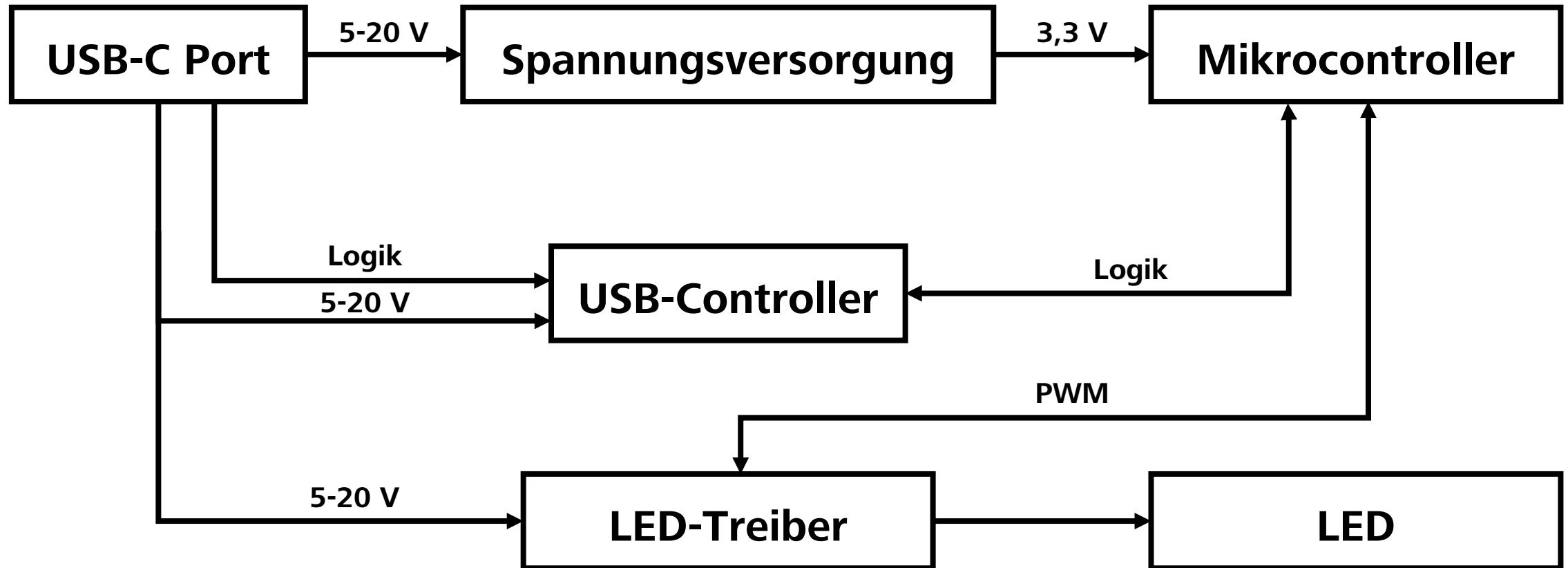
---

|   |  |                    |
|---|--|--------------------|
| 1 | Projektidee                                  | Follmann / Ströbel |
| 2 | Anforderungsprofil                           | Follmann           |
| 3 | Blockschaltbild                              | Ströbel            |
| 4 | Mikrocontroller & USB-PD Spannungsversorgung | Ströbel            |
| 5 | LED-Treiber                                  | Follmann           |
| 6 | Platinenlayout                               | Ströbel            |
| 7 | Ausblick und Verbesserungsvorschläge         | Follmann           |



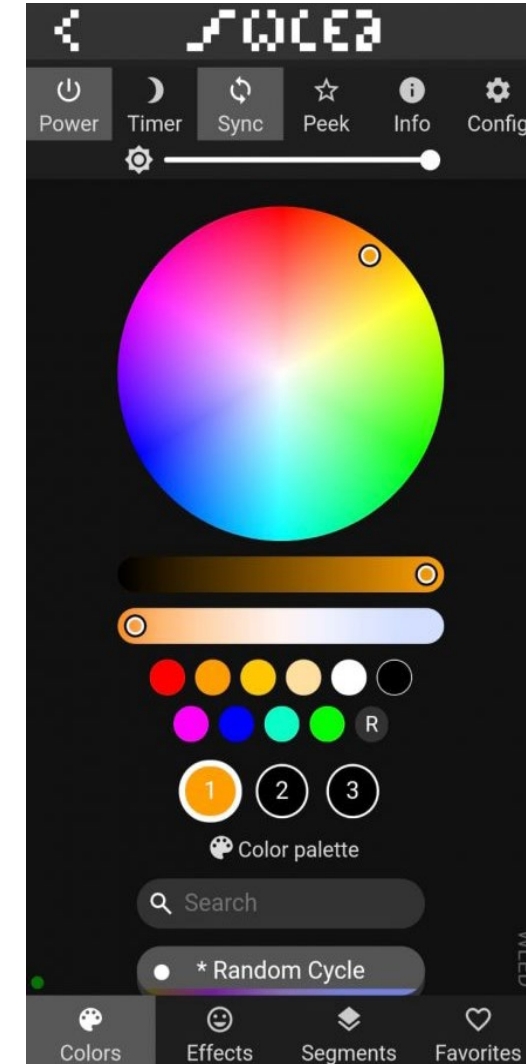
[1: Philips Hue, 2: Lumecube Inc., 3. Thomann GmbH]

| Komponente          | Anforderung            | Beschreibung                      | Typ |
|---------------------|------------------------|-----------------------------------|-----|
| LED                 | Farbspektrum           | RGBW                              | BA  |
| LED                 | Helligkeit             | $\Phi_{LED} > 500lm$              | LE  |
| LED                 | Gesamtleistung         | $P_{LED} > 20W$                   | BA  |
| Kühlung             | Passive Luftkühlung    | Ausreichende Kühlung der LED      | BA  |
| LED-Treiber         | PWM-Steuerungsfrequenz | $> 100Hz$                         | LE  |
| Spannungsversorgung | USB-Power Delivery     | 40 W Power Delivery               | BA  |
| Spannungsversorgung | Batteriebetrieb        | $> 6 h$                           | LE  |
| Prozessor           | Konnektivität          | WLAN                              | BA  |
| Prozessor           | DMX Bus                | DMX Bus (RS485 / ARTNET Netzwerk) | LE  |
| Prozessor           | Konnektivität          | WS2812b LED-Streifen              | BE  |



## W-LED

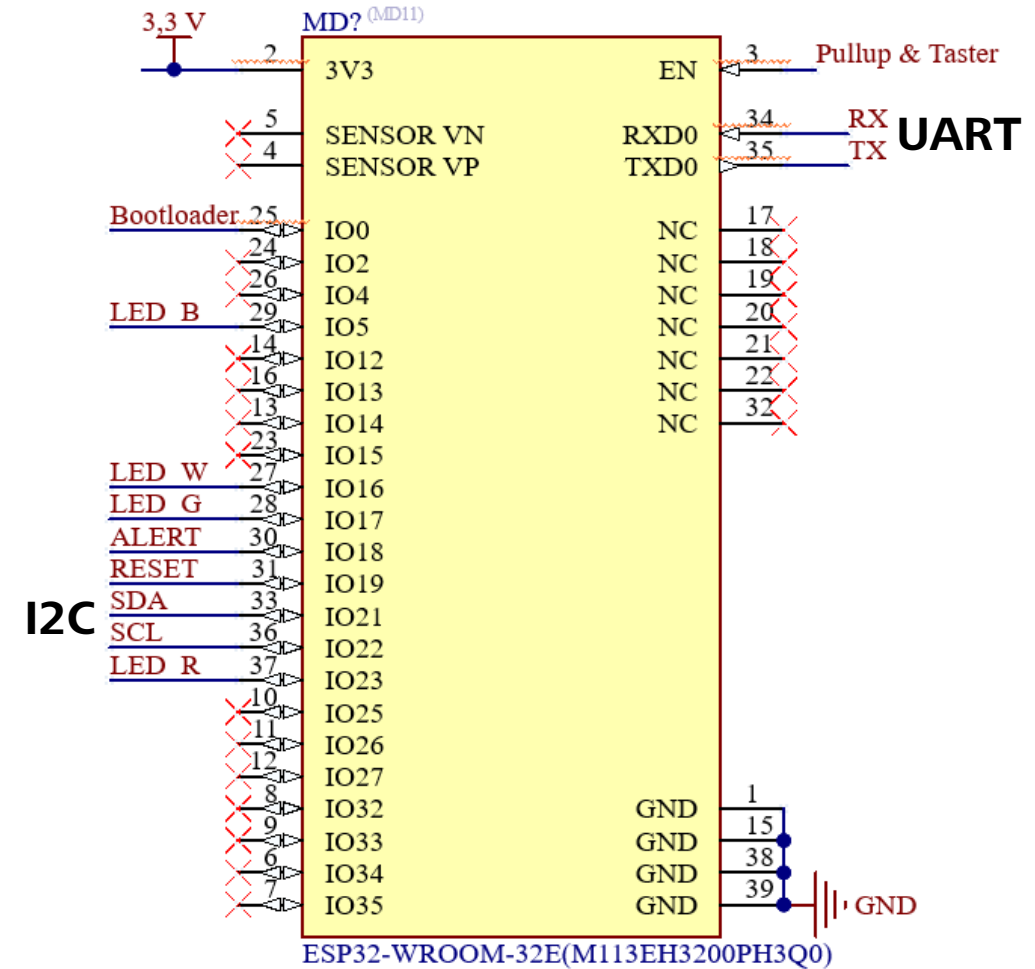
- PWM & Pixelansteuerung
- WLAN Anbindung
- Opensource Software-Projekt
- Browserbasiertes User Interface
- ESP32 kompatibel



# Mikrocontroller

## Hardware ESP32

- 4 PWM-Pins für LED-Steuerung
- 3,3 V basierter Mikrocontroller
- UART-Schnittstelle für Programmierung
- Reset und Bootloader Taster
- I2C-Schnittstelle zu USB-Controller
- 2 Input Pins für Fehlermeldung von USB-Controller

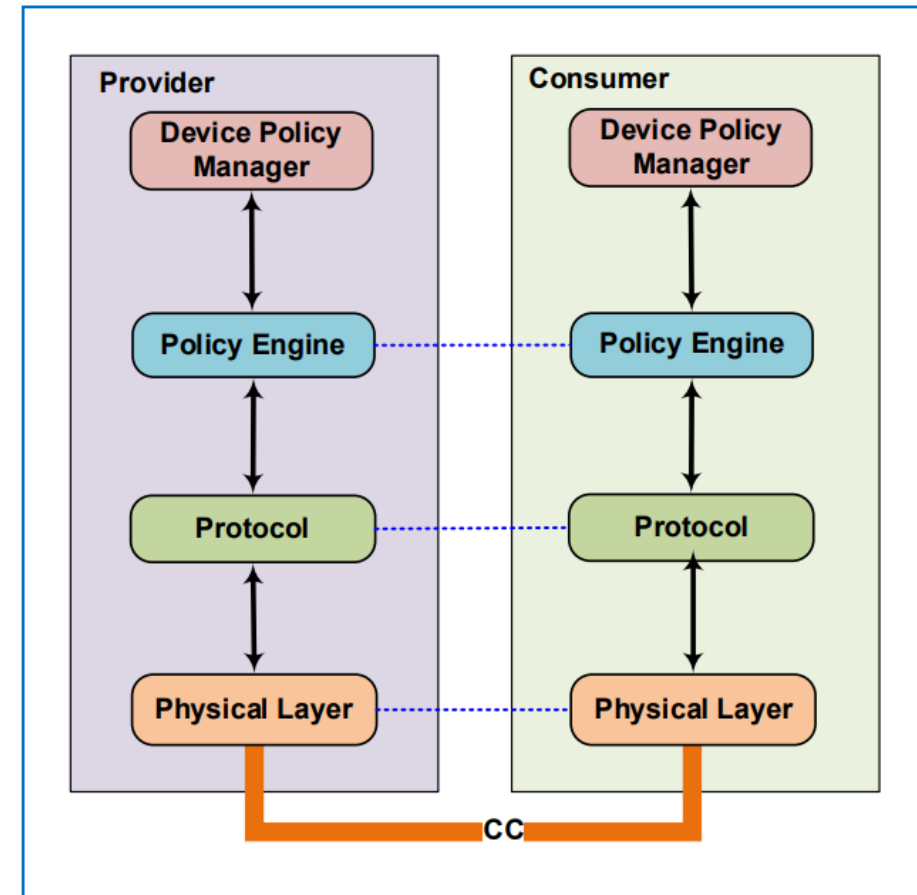


# USB-Power Delivery Standard

Provider-Consumer Beziehung (Source-Sink)

- Kommunikation zwischen Quelle und Senke
- Verhandlung des Power-Contracts

Figure 2-3 "USB Power Delivery Communications Stack"



[usb.org: USB-PD Specification Rev 3.1 2023-10]



# USB-Power Delivery Standard

## Power Data Object (PDO)

Leistungsbereitstellung  
abhängig von Netzteil

$$P_{\text{standby}} = 3,1 \text{ W}$$

$$P_{\text{max}} = 37,1 \text{ W}$$

$$\rightarrow 5 \text{ V } 3 \text{ A}$$

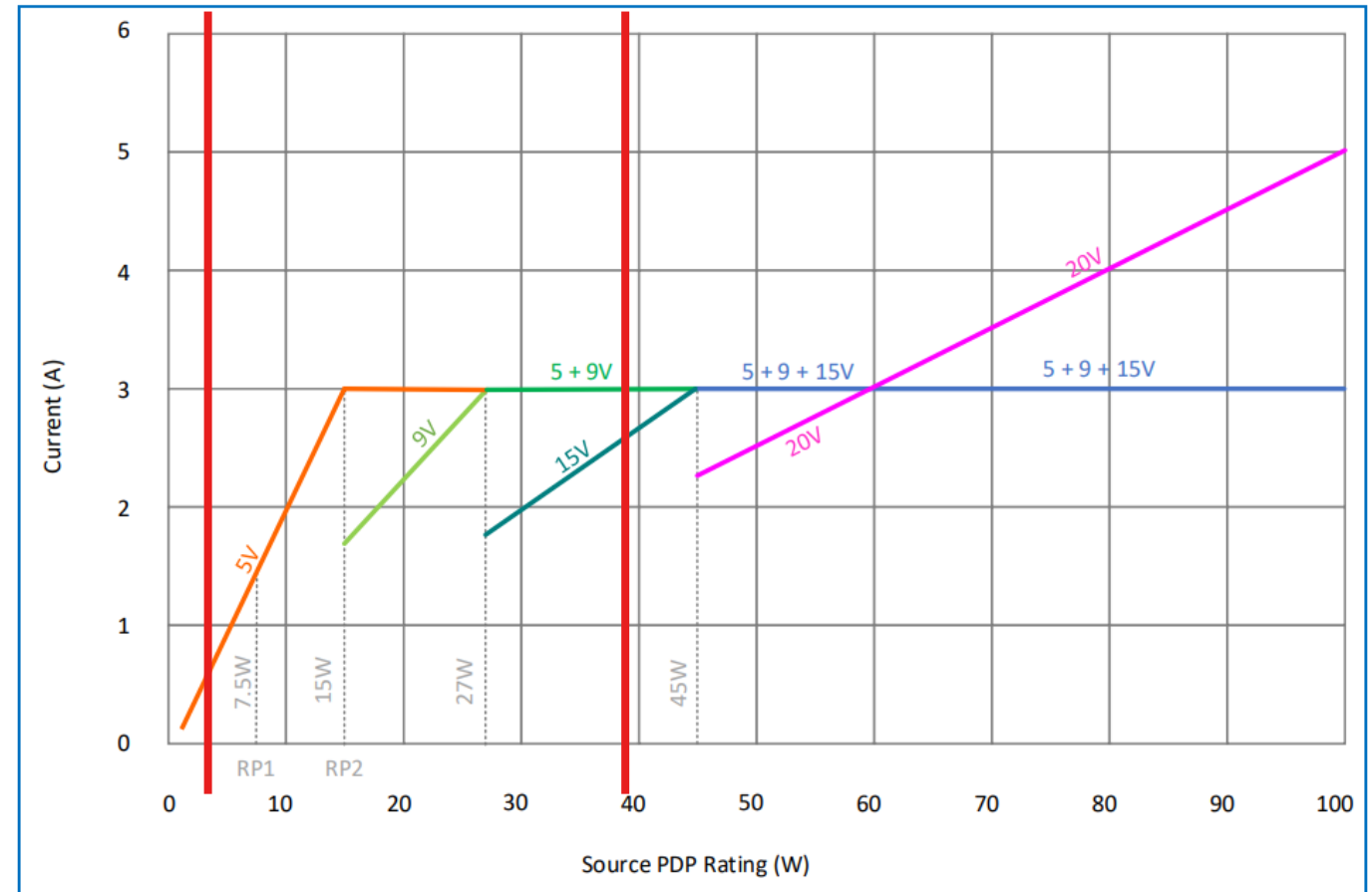
$$\rightarrow 9 \text{ V } 2\text{-}3 \text{ A}$$

$$\rightarrow 15 \text{ V } 2\text{-}3 \text{ A } (P_{\text{max}})$$

$$\rightarrow 20 \text{ V } 2 \text{ A } (P_{\text{max}})$$

$$I_{\text{max}} = \mathbf{3A}$$

Figure 10-1 "SPR Source Power Rule Illustration for Fixed PDOs"



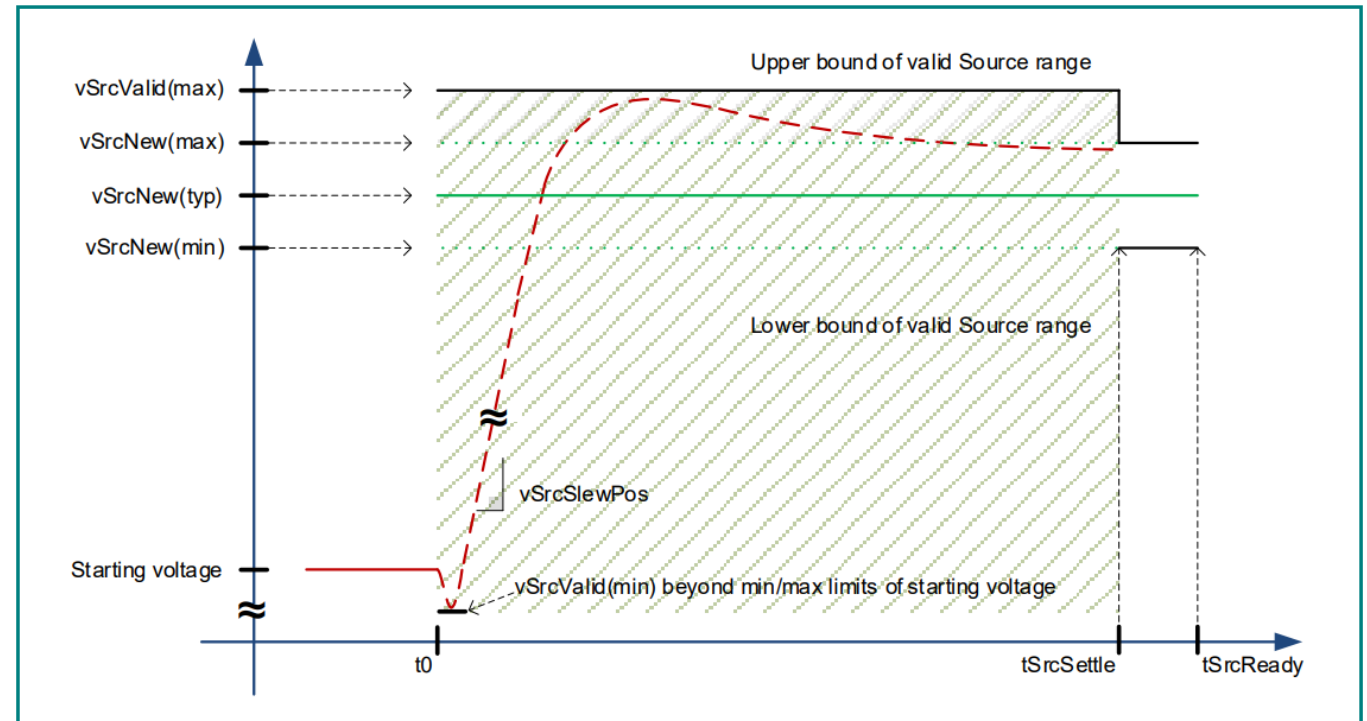
[usb.org: USB-PD Specification Rev 3.1 2023-10]

# USB-Power Delivery Standard

## Änderung Versorgungsspannung $U_{bus}$

5V vSafe → PDO → neue  $U_{bus}$   
Power Data Object (PDO) ≈  
Leistungsprofil

Figure 7-2 “Transition Envelope for Positive Voltage Transitions”



[usb.org: USB-PD Specification Rev 3.1 2023-10]

# Simulation Referenzapplikation Datenblatt

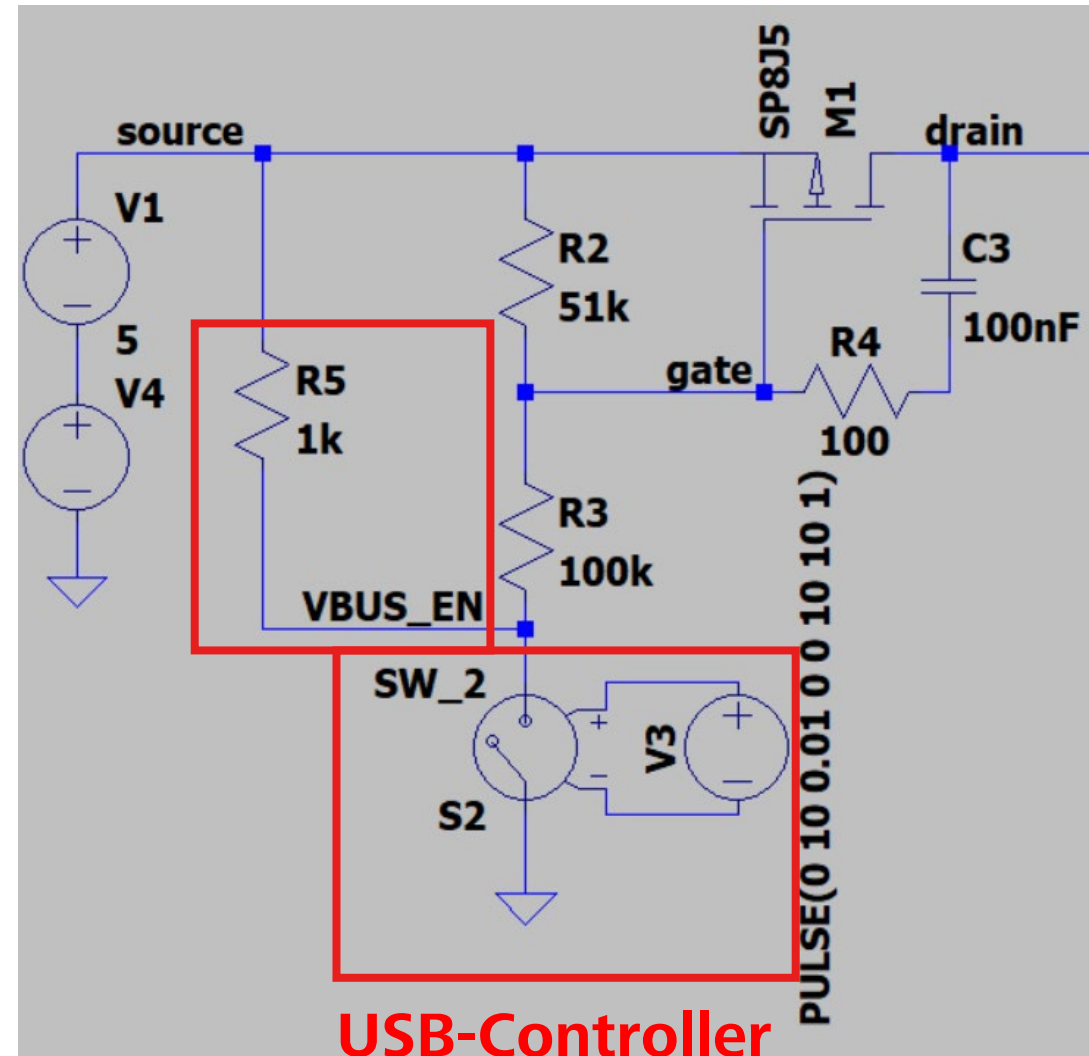
## P-MOS Eingangsschaltung

Vergleichbarer P-MOS:

30 m $\Omega$   $R_{DS,on}$

5 V  $\rightarrow$  20 V

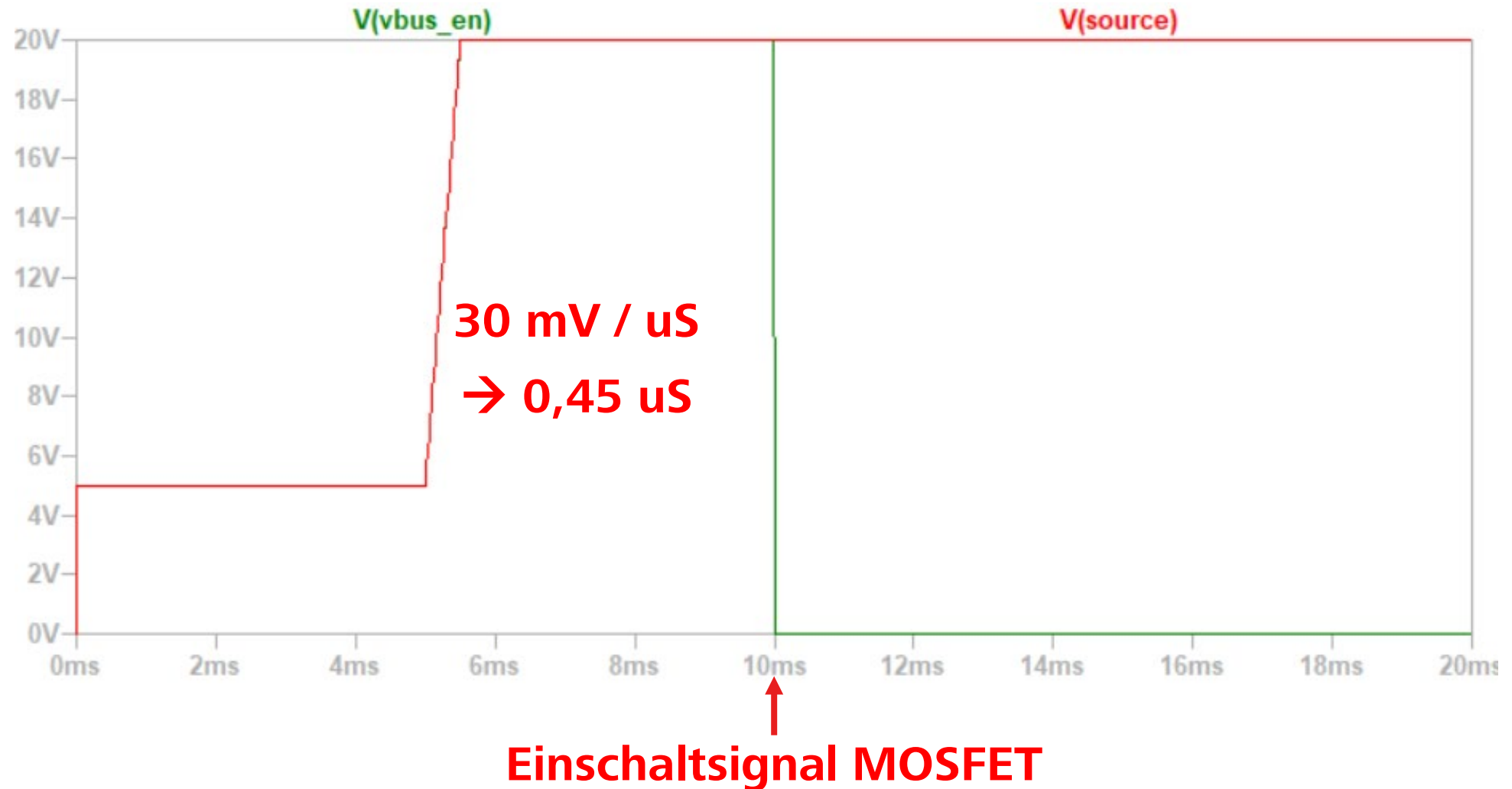
Einschaltsignal  $t = 10$  ms



Last

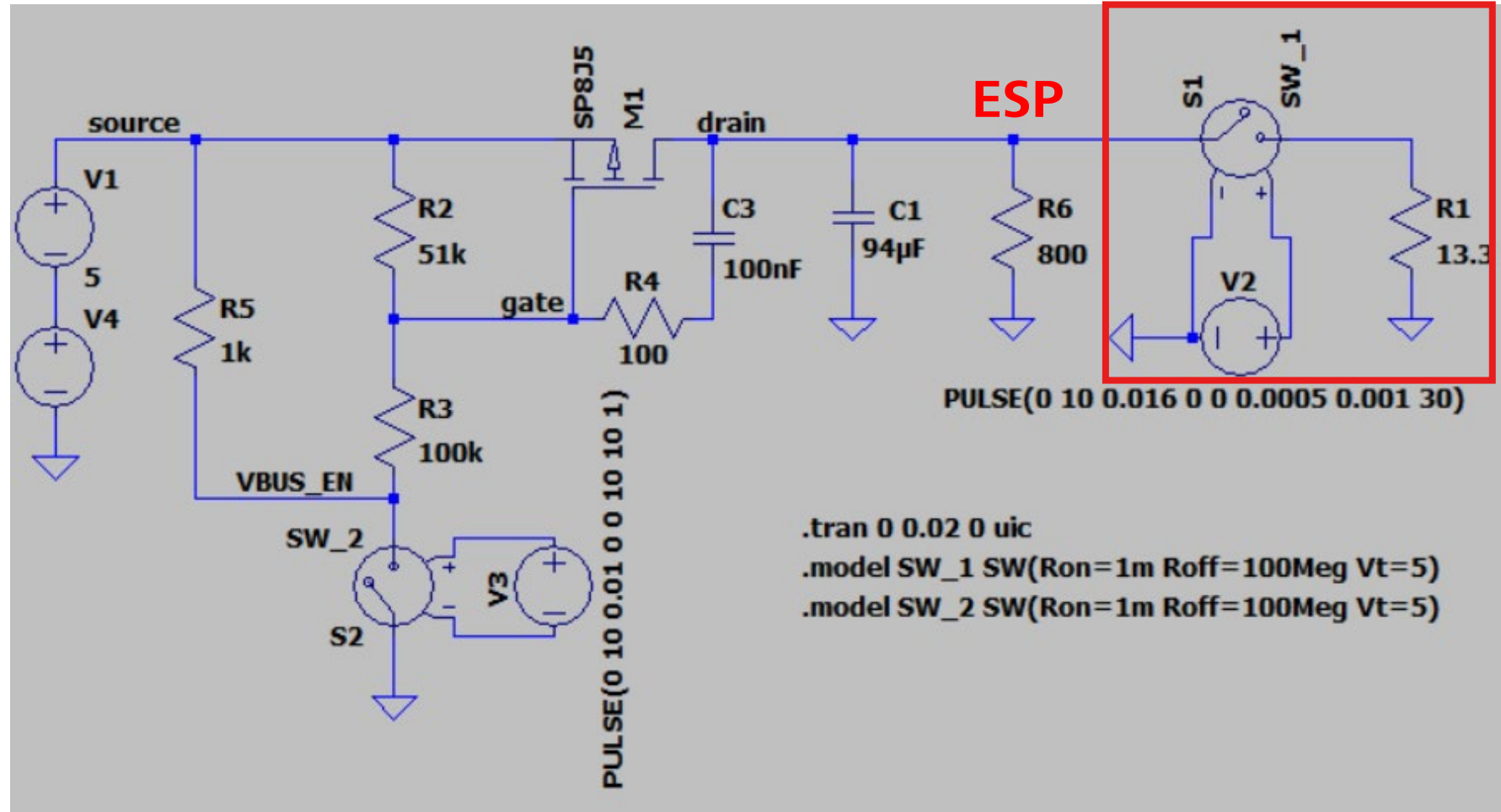
# Simulation Referenzapplikation Datenblatt

## Spannungsquelle und Einschaltsignal



# Simulation Referenzapplikation Datenblatt

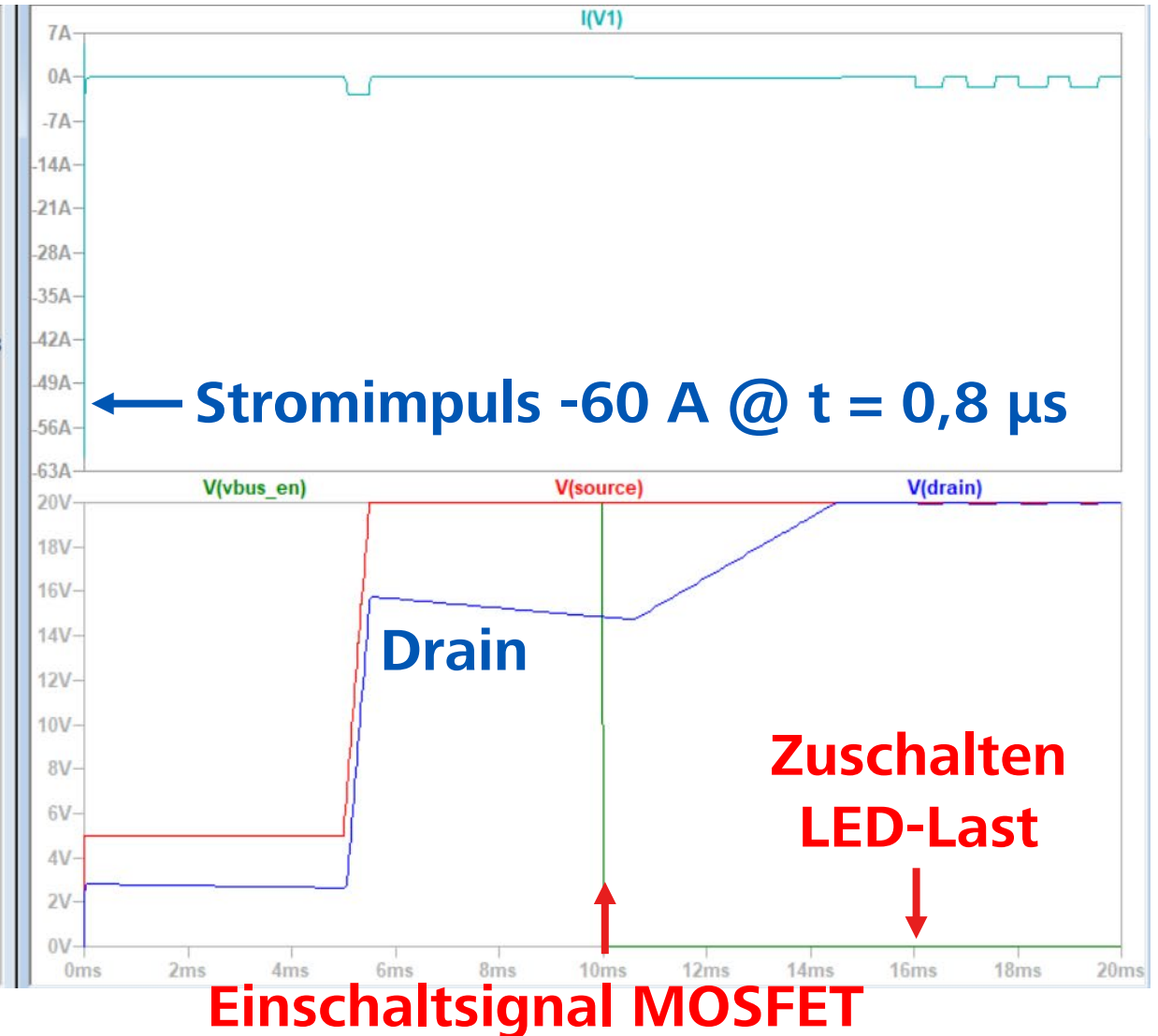
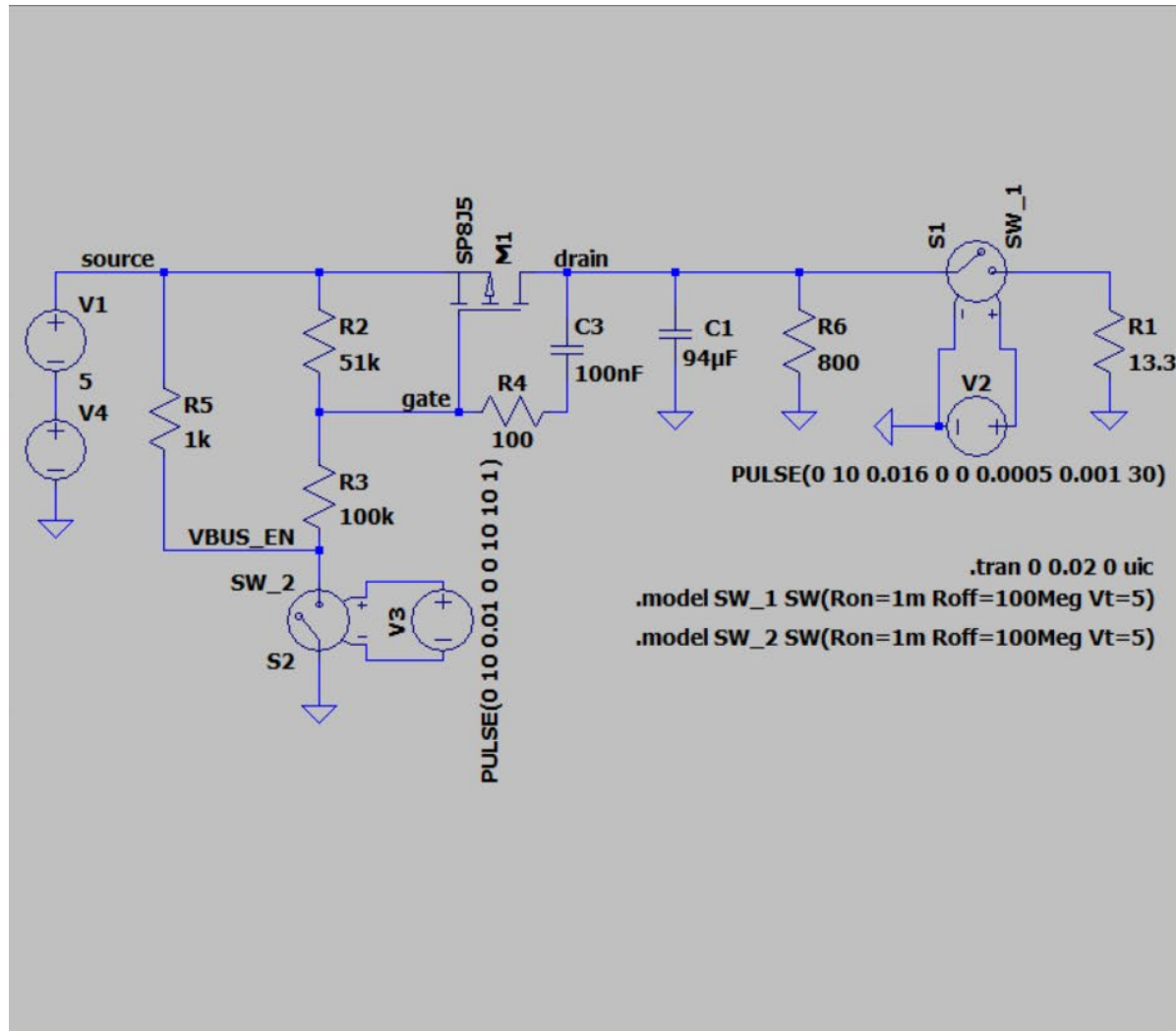
## Gesamtschaltung



**LED +  
Treiber**

# Simulation Referenzapplikation Datenblatt

## Transient-Simulation

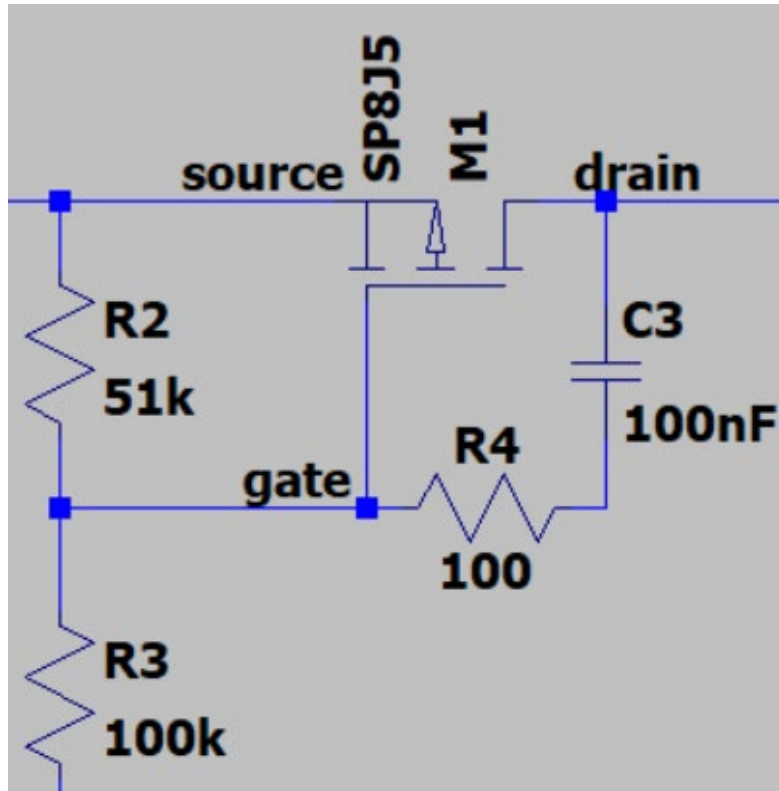


# Simulation Referenzapplikation Datenblatt

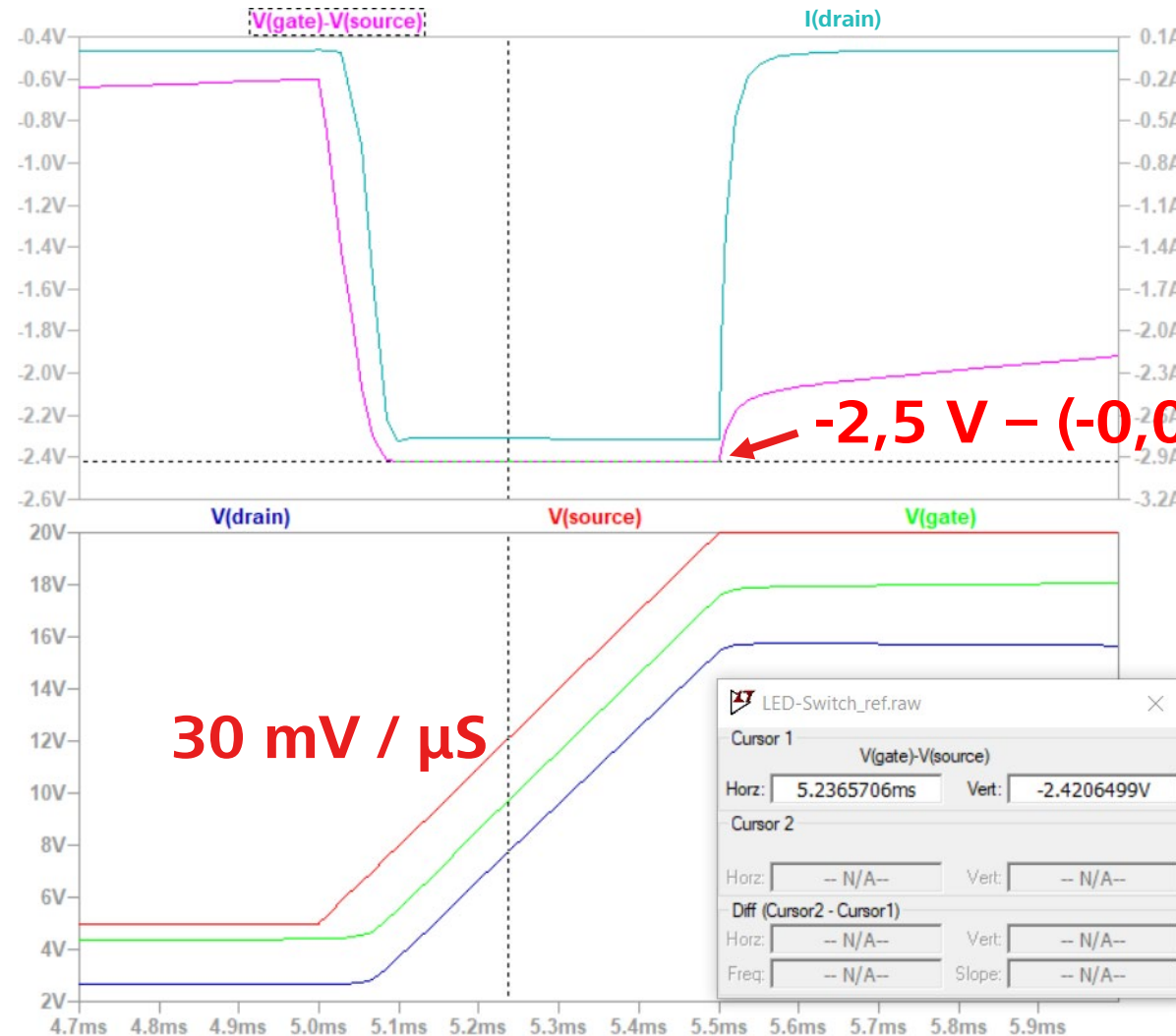
Transient-Simulation Spannungsanstieg  $U_{bus}$



$$U_{SD} = 0,8 \text{ V}$$



$$C3: \tau = 3,3 \text{ ms}$$



$$U_{GS,Threshold} - U_{DS} = -2,5 \text{ V} - (-0,08 \text{ V}) = -2,42 \text{ V}$$

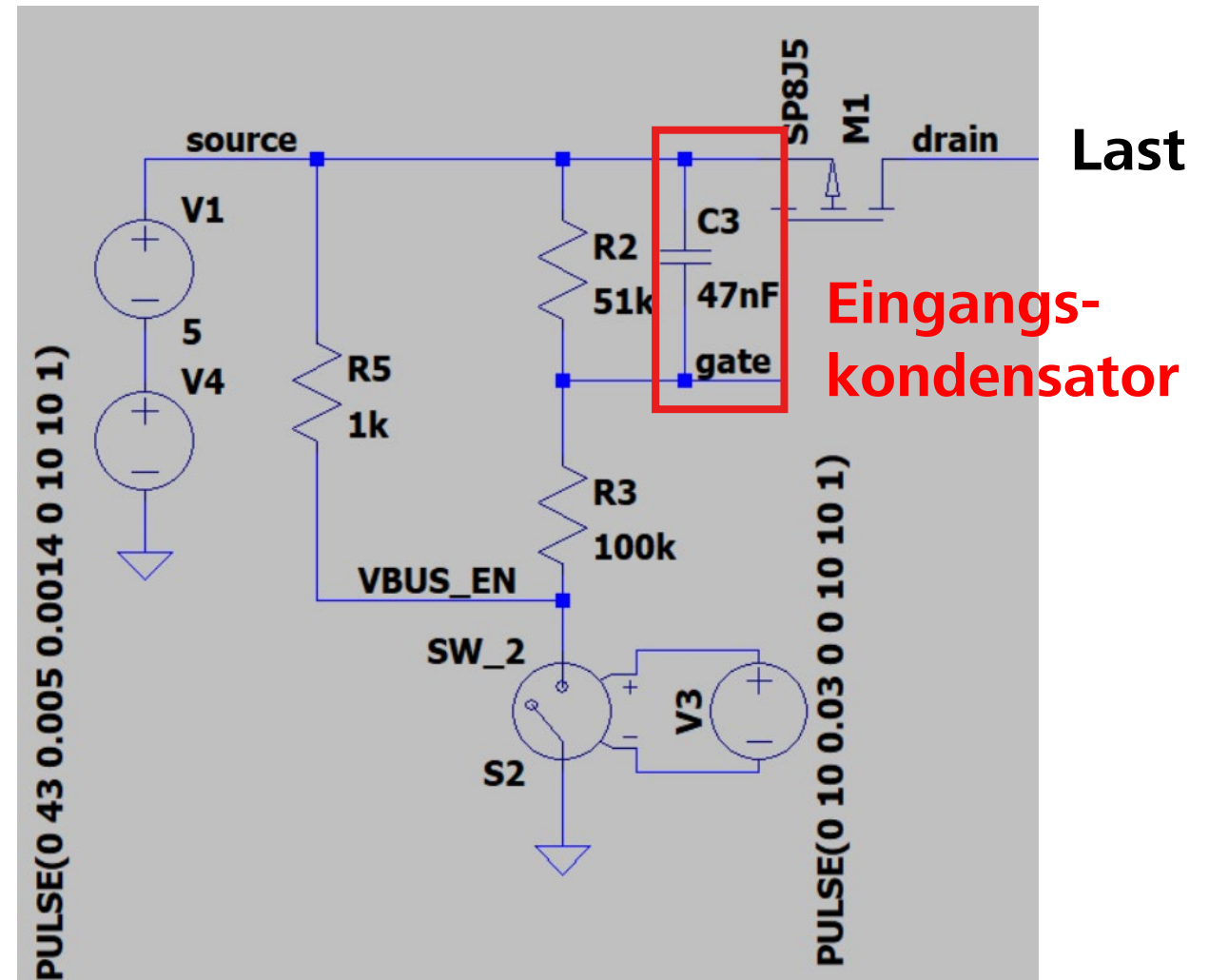
Einschaltsignal  
 $t = 10 \text{ ms}$



# Simulation eigene Schaltungsapplikation

## P-MOS Eingangsschaltung

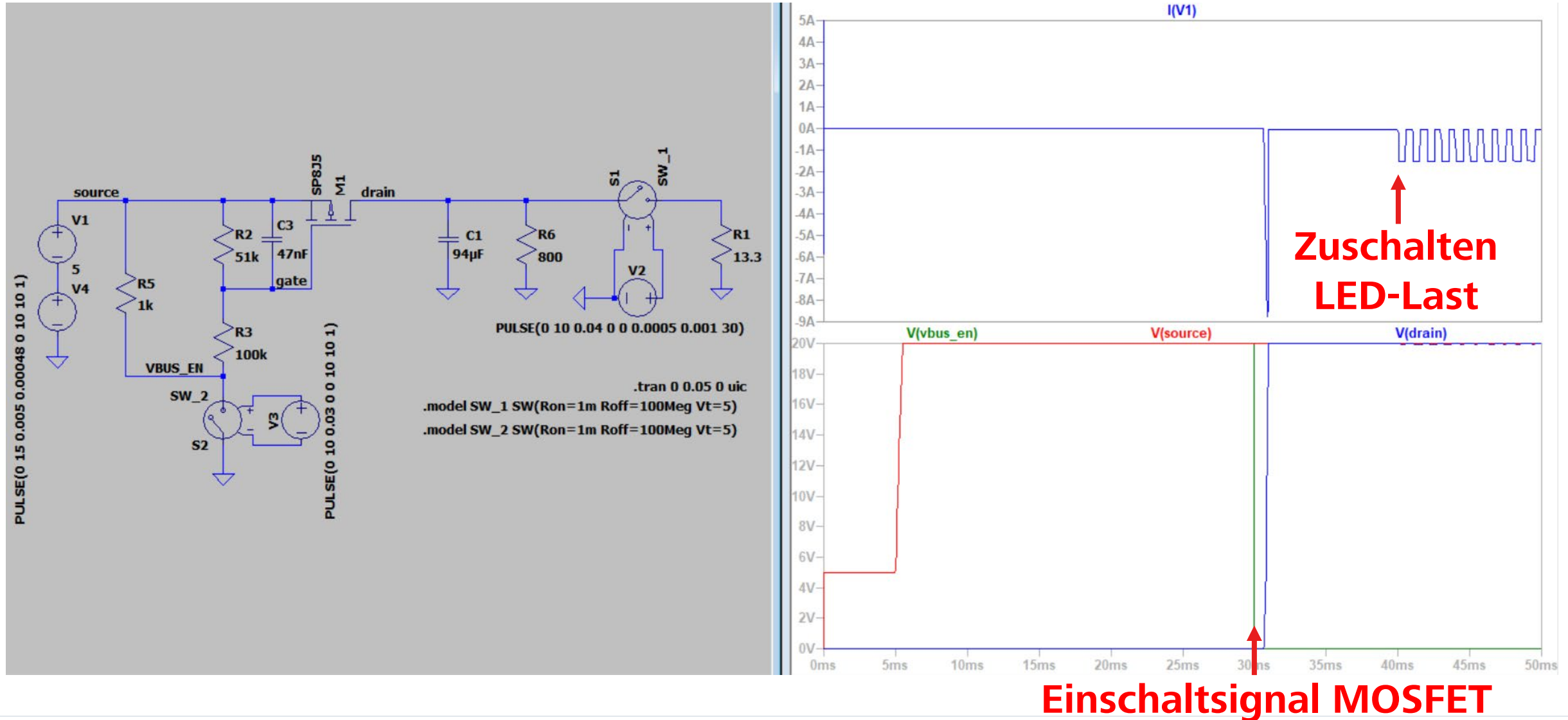
- Keine Spannungsänderung an C3 bei Spannungsanstieg *source*
- Verhindert schnellen Anstieg  $U_{\text{GateSource}}$
- MOSFET Gate-Kondensator  $C_{\text{ISS}} = 1,4 \text{ nF}$





# Simulation eigene Schaltungsapplikation

## Transient-Simulation

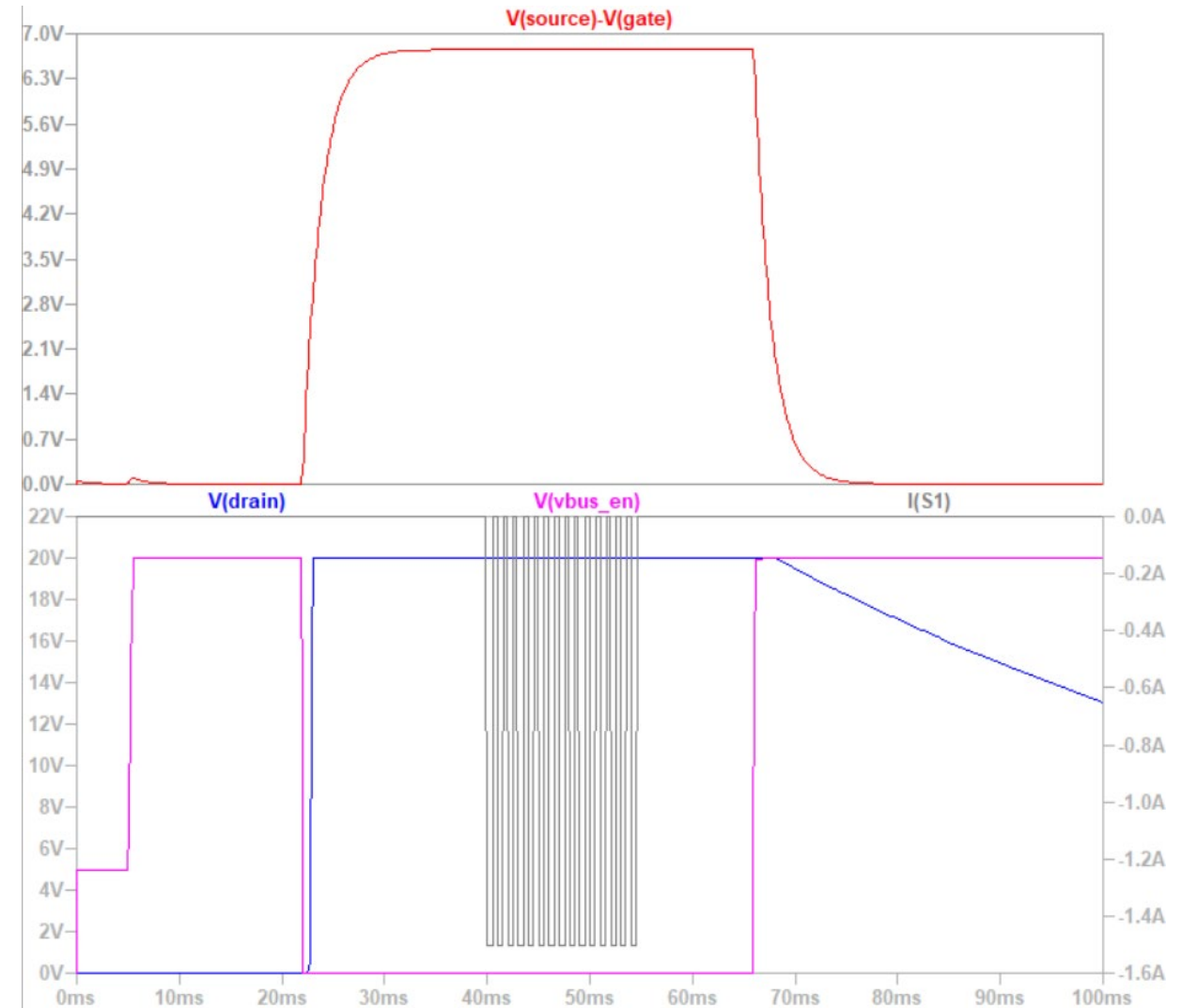


# Simulation eigene Schaltungsapplikation

## Transient-Simulation $U_{GS}$



- Erkennbare Lade/-Entladekurve Kondensator
- Spannungsspitze  $< U_{gs, threshold}$  bei  $U_{gs}$  bei  $t = 5 \text{ ms}$  wegen Spannungsanstieg,

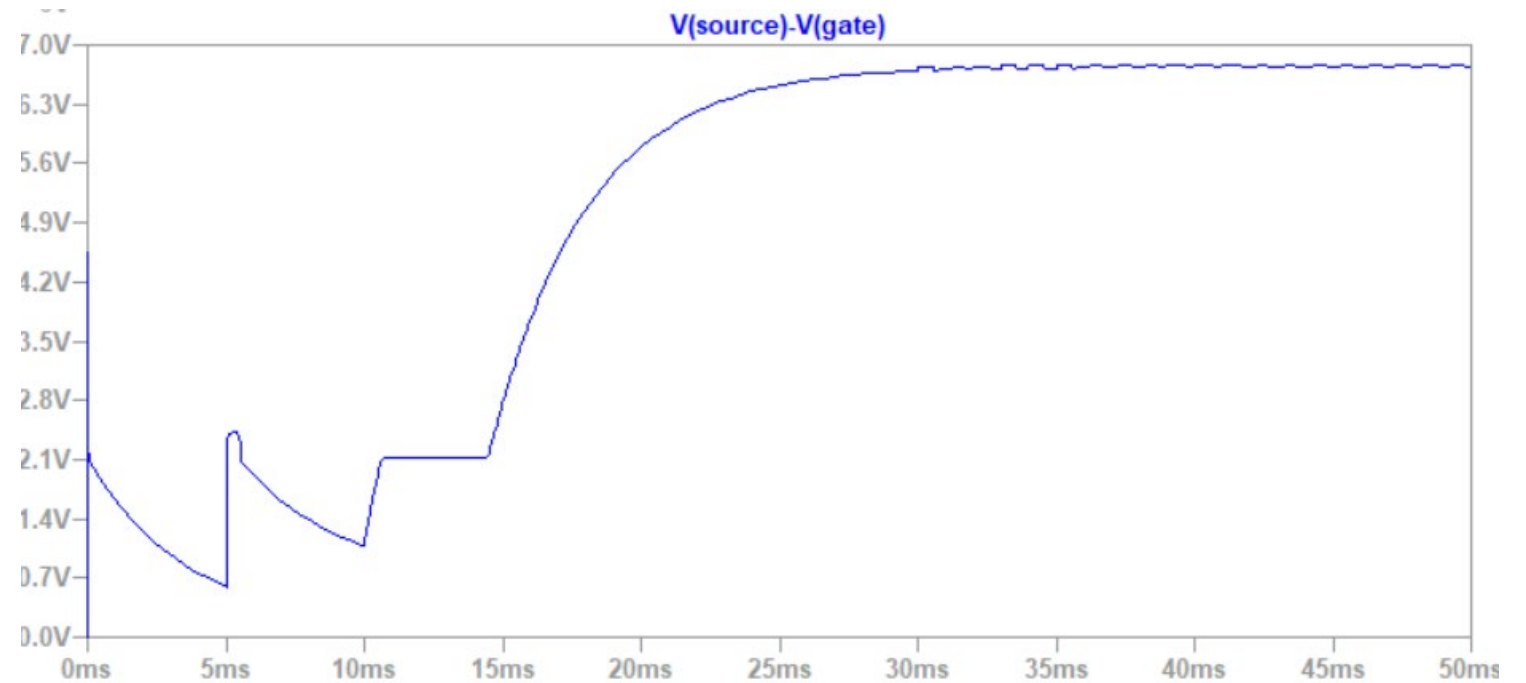


# Simulation Referenzapplikation Datenblatt

Transient-Simulation  $U_{GS}$

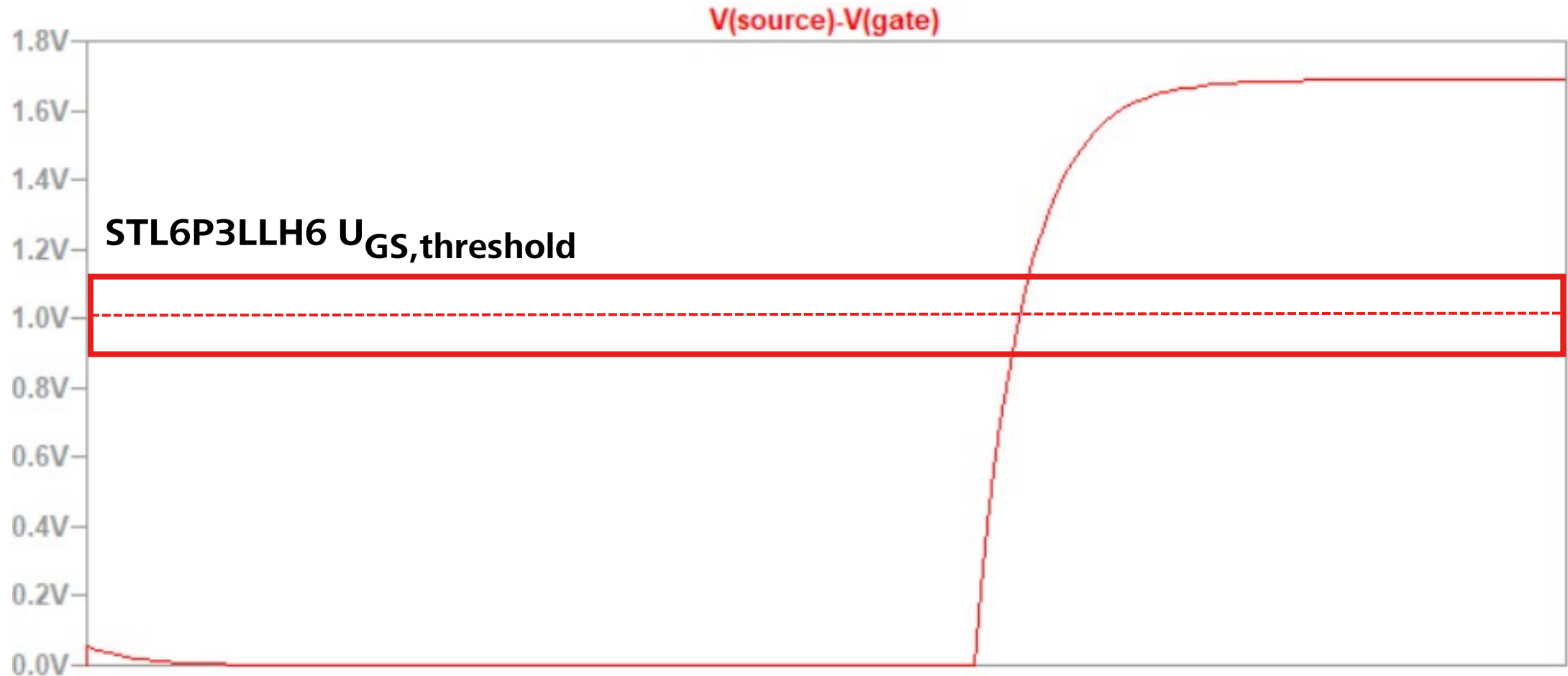


Unerwünschtes Verhalten



# Simulation eigene Schaltungsapplikation

5 V  $U_{\text{Bus}}$  – Reaktion Gate-Source Spannung

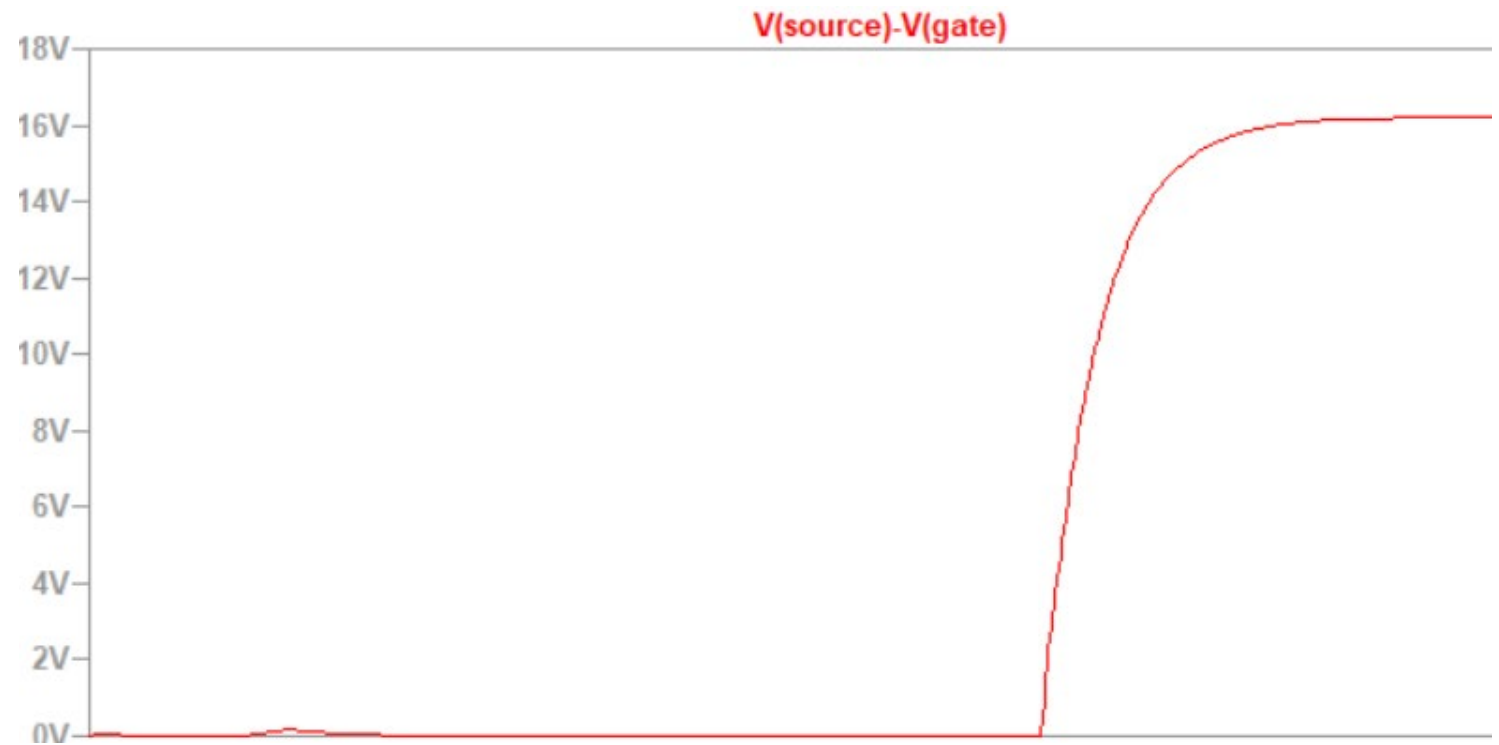


# Simulation eigene Schaltungsapplikation

## 48 V Bus – Reaktion Gate-Source Spannung

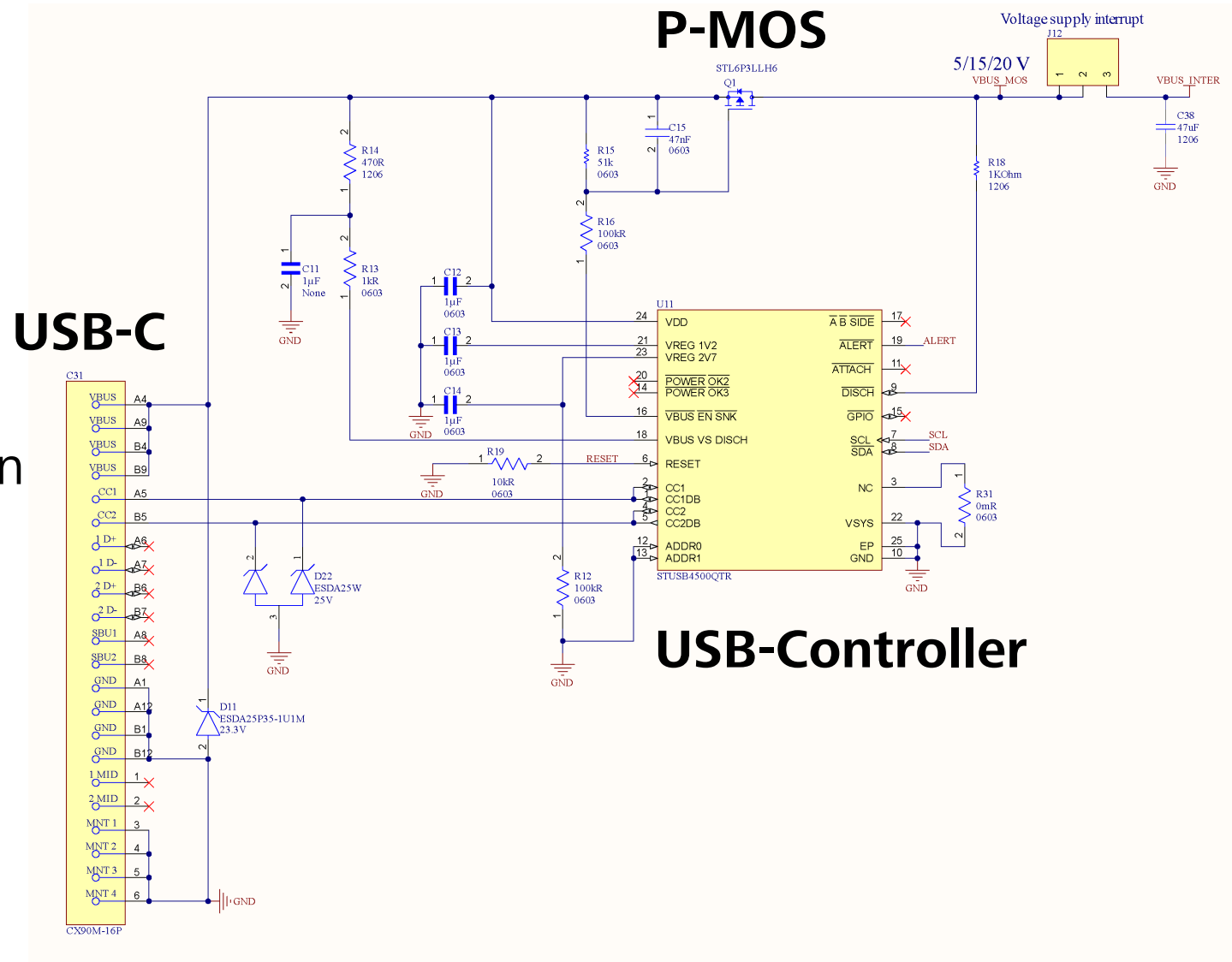


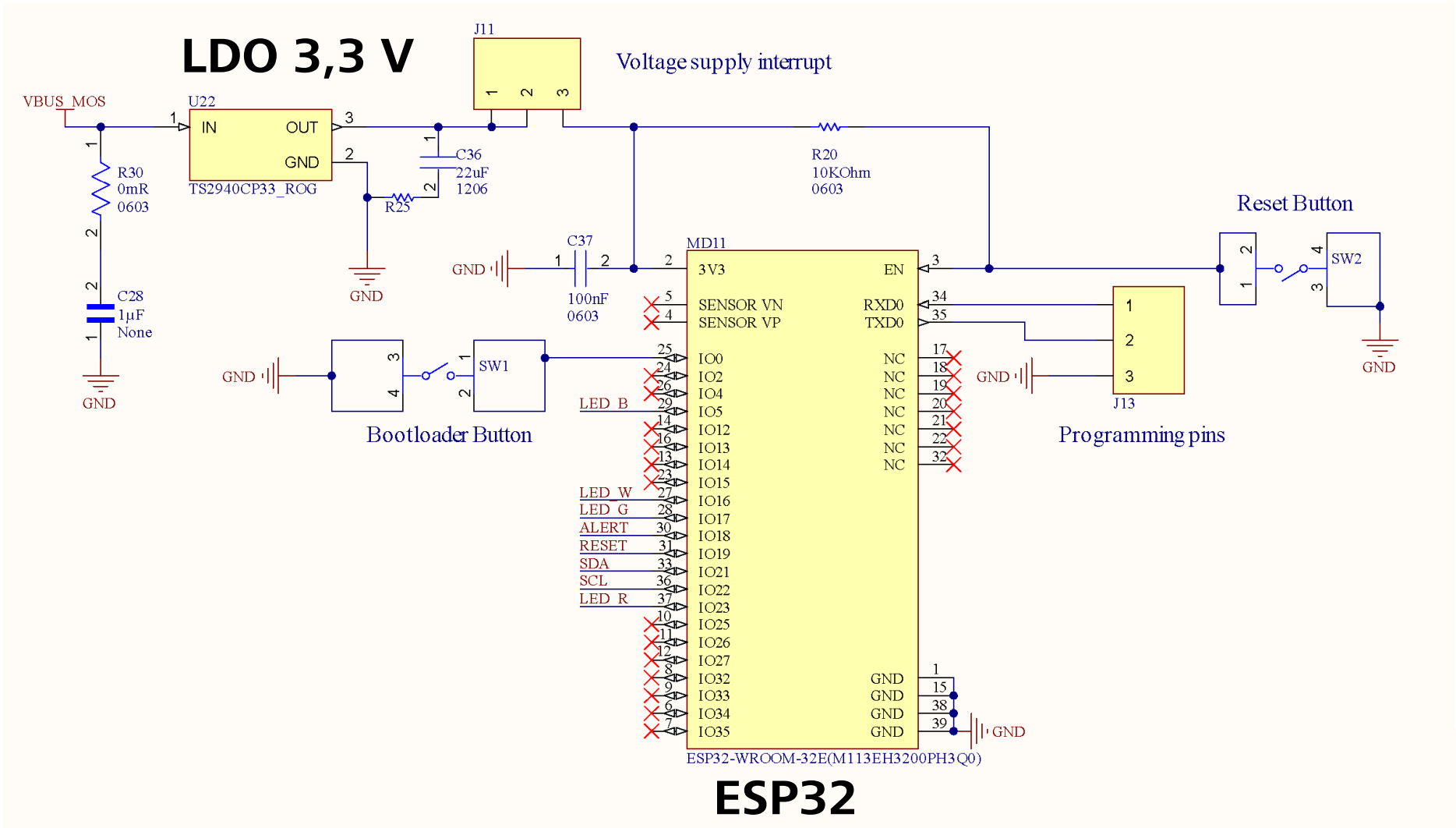
- Extender Power Range  
(bis 48 V / 240 W)
- $U_{GS} = \pm 20 \text{ V}$
- ESD-Schutzdiode ab 22 V



# USB-PD Schaltplan

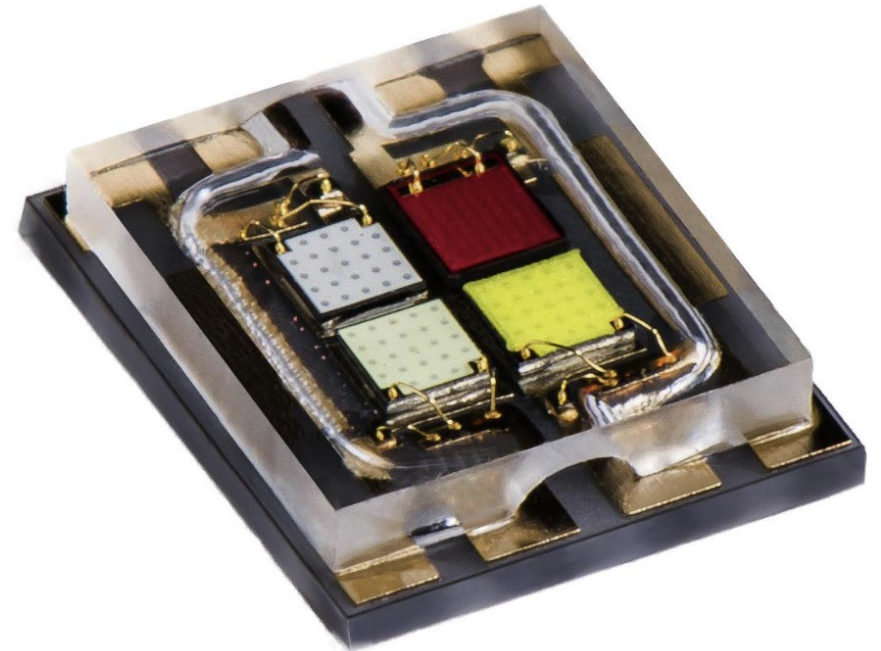
- ESD-Schutzdioden
- Stabilisationskondensatoren
- Entladewiderstand
- Spannungsmessung





### Hauptkriterien

- Leistung
- Farbvielfalt
- Maximaler Strom  $I_{\max} = 2\text{A}$  als wichtiger Faktor
- Steuerfrequenz: 1 kHz





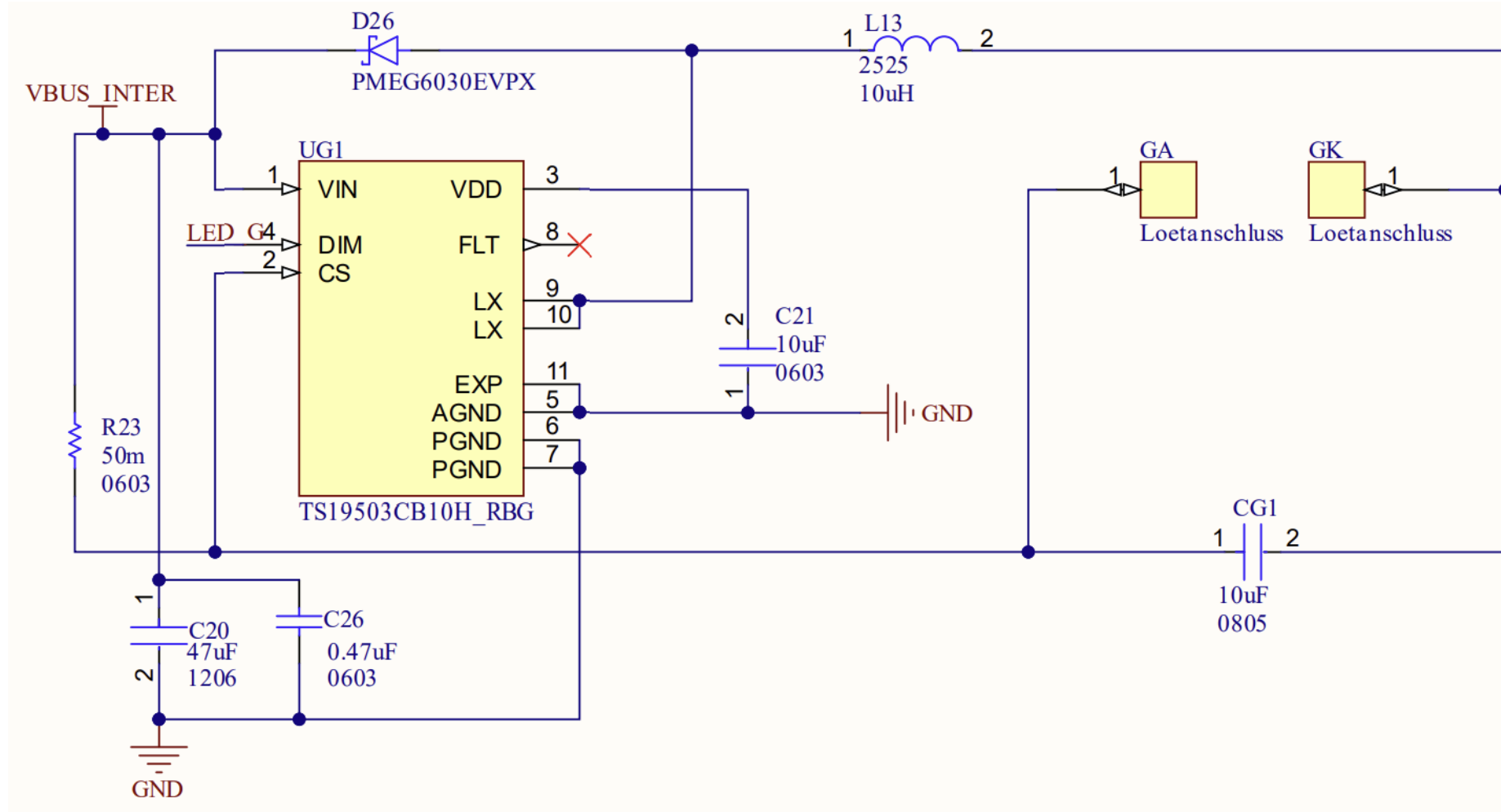
### Hauptkriterien

- Maximalstrom von  $I_{\max} = 2 \text{ A}$
- Je vier ICs steuern eine Farbe an
- Berücksichtigung von Eingangsspannungsschwankungen durch USB-P (4.5 V – 75 V)
- Hohes Dimmungsverhältnis möglich



# LED-Beleuchtungstreiber


## Schaltplan



# LED-Beleuchtungstreiber

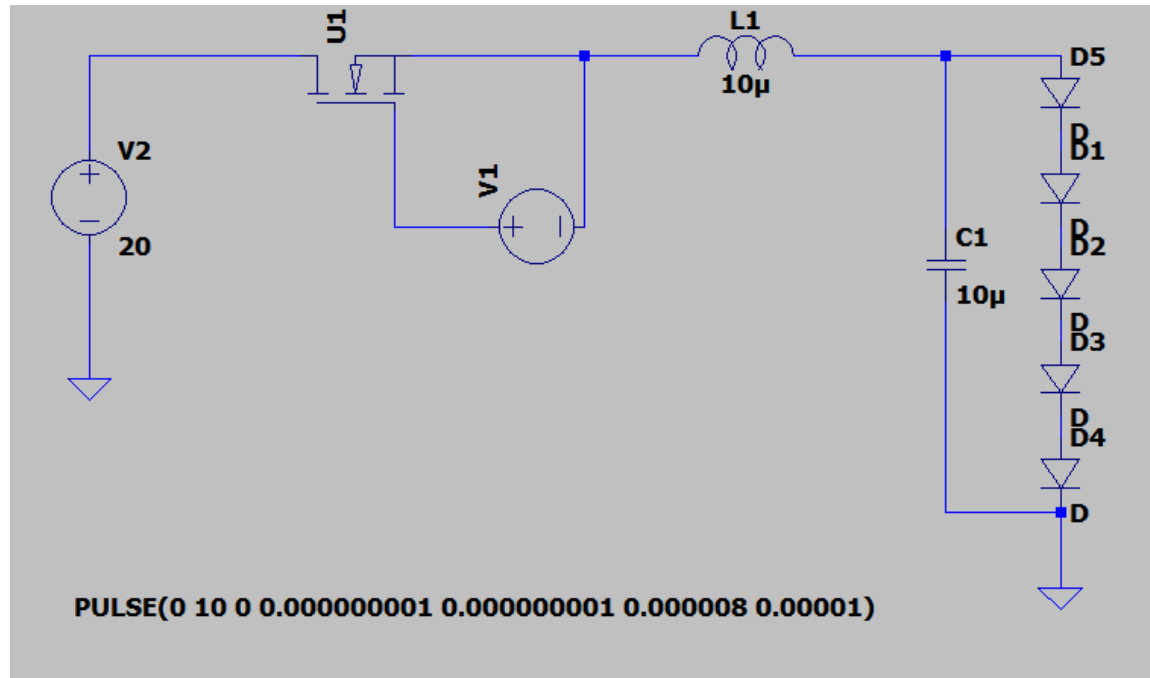
## Berechnung des Stromflusses



|  TAIWAN SEMICONDUCTOR |                            | System Calculation Form - TS19503CB10H |             |               | ver.: B2203      |
|--|----------------------------|--|-------------|---------------|------------------|
|  | Parameter                  | Symbol                                 | Non-Dimming | Unit          | Remark           |
| Design Condition   | Supply Voltage             | $V_{IN}$                               | 20          | V             |                  |
|  | Output Voltage             | $V_{OUT}$                              | 3.9         | V             |                  |
|  | LED Current                | $I_{OUT}$                              | 2           | A             |                  |
|  | Inductor                   | L                                      | 10          | $\mu H$       |                  |
|  | Ambient Temperature        | $T_C$                                  | 25          | $^{\circ}C$   |                  |
|  | Thermal Resistance         | $R_{\theta JC}$                        | 31          | $^{\circ}C/W$ | Parameter Fixed. |
| System Setting   | Duty Cycle                 | D                                      | 21.50       | %             |                  |
|  | $T_{ON}$                   | $T_{ON}$                               | 1.946       | $\mu s$       |                  |
|  | $T_{OFF}$                  | $T_{OFF}$                              | 7.65        | $\mu s$       |                  |
|  | Operating Frequency        | F                                      | 102.6       | kHz           |                  |
|  | IC Total Power Dissipation | P                                      | 0.83        | W             | PASS             |
|  | Junction Temperature       | $T_J$                                  | 50.73       | $^{\circ}C$   |                  |

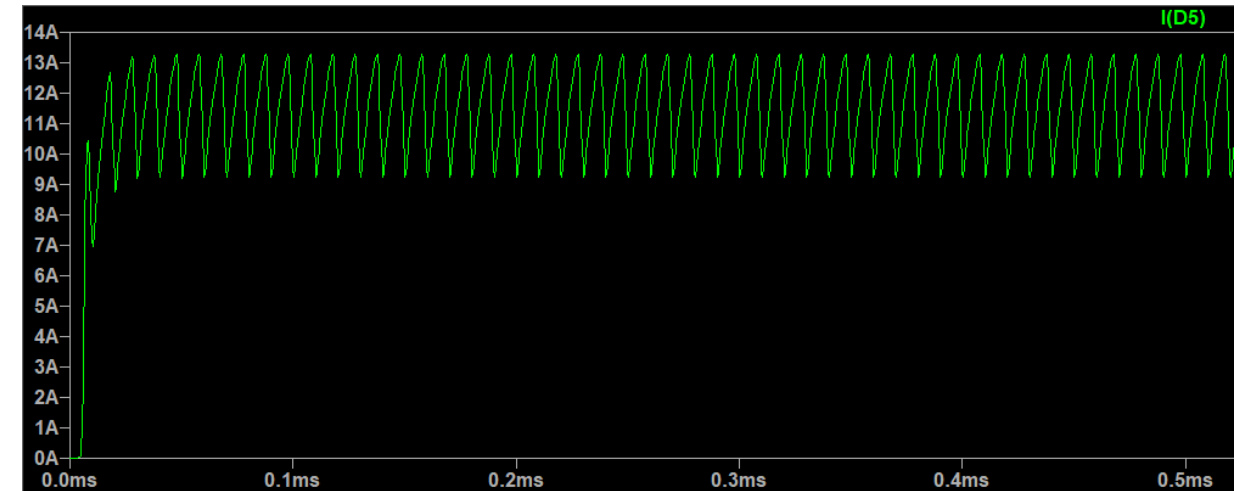
# LED-Beleuchtungstreiber

## Einstellung des Stromflusses – Switch Mode Power Supply

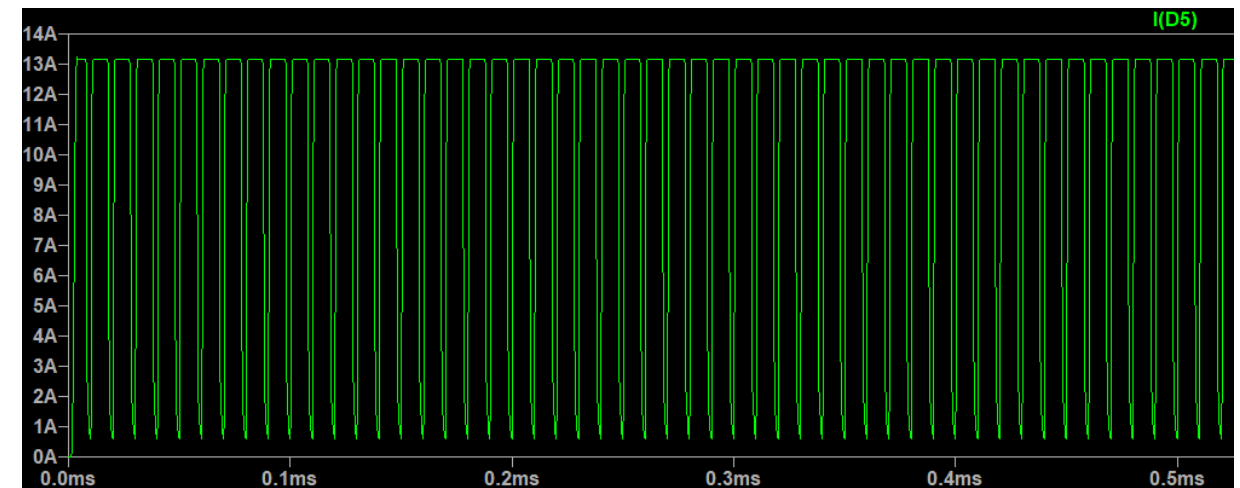


- mehr Strom  $\rightarrow$  längeres  $T_{on}$
- Widerstand reguliert das Verhältnis von  $T_{on}$ - $T_{off}$

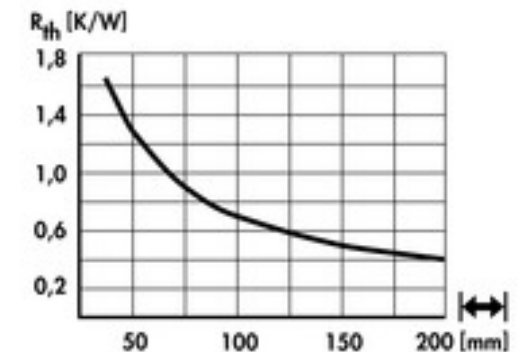
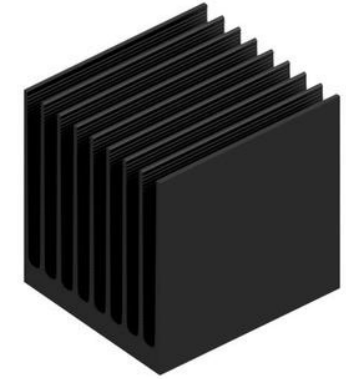
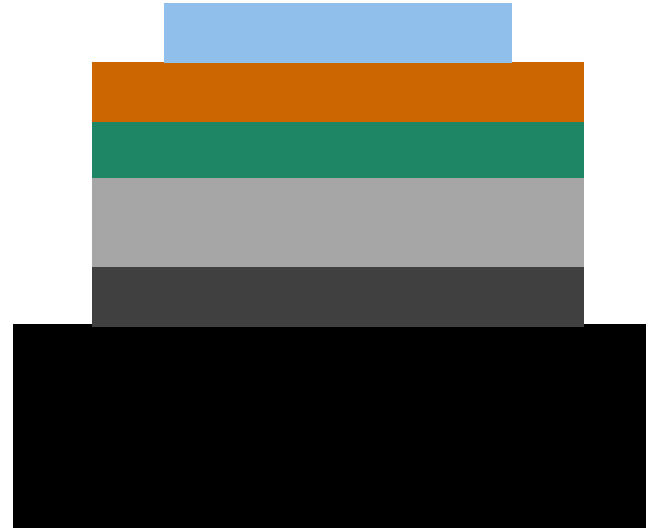
Mit Spule:



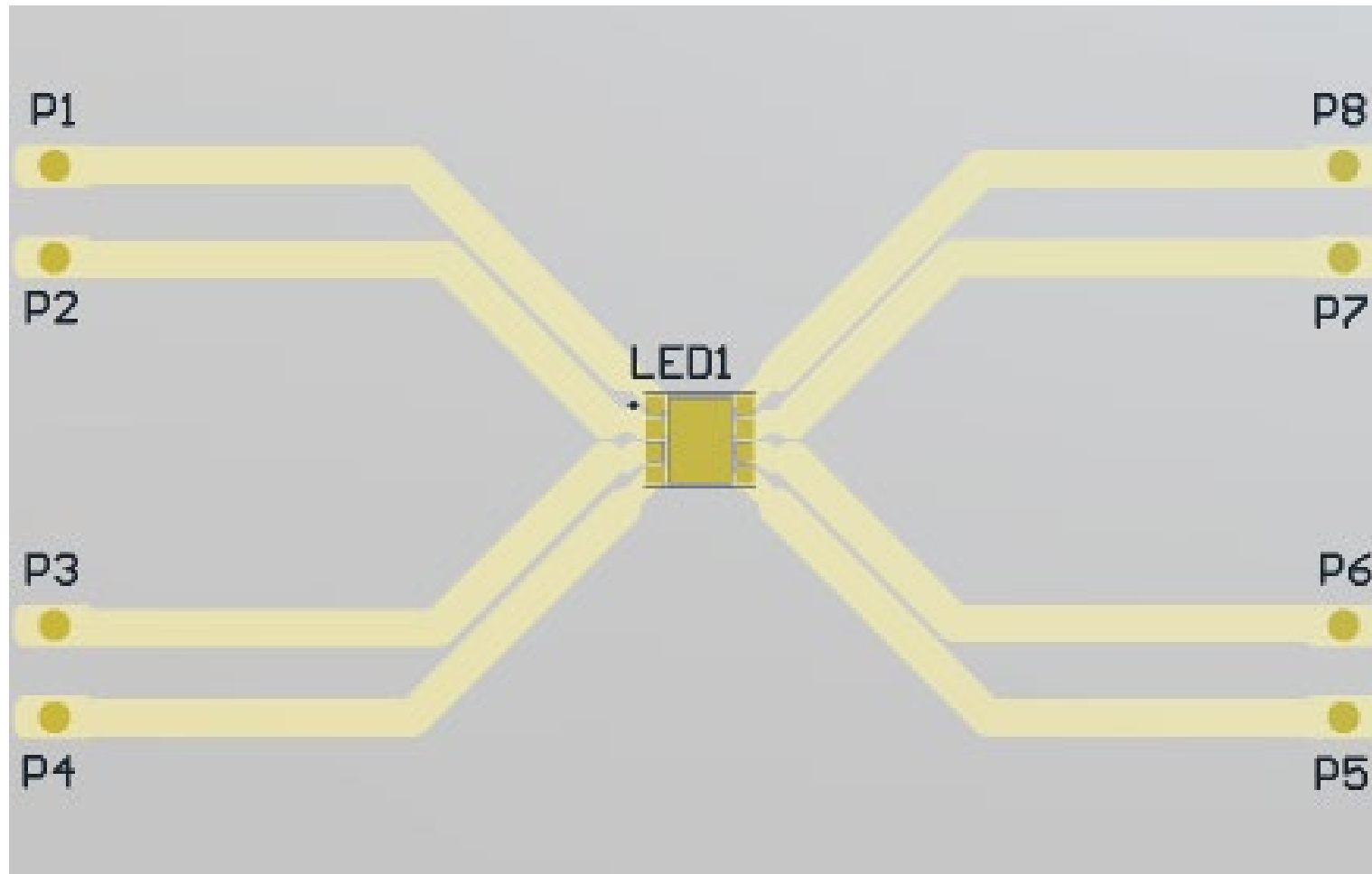
Ohne Spule:



1. Verlustleistung pro LED
2. Thermische Leistung
3. Gesamte thermische Verlustleistung
4. Maximaler thermischer Widerstand
5. Thermischer Widerstand der PCB
6. Gesamtwiderstand

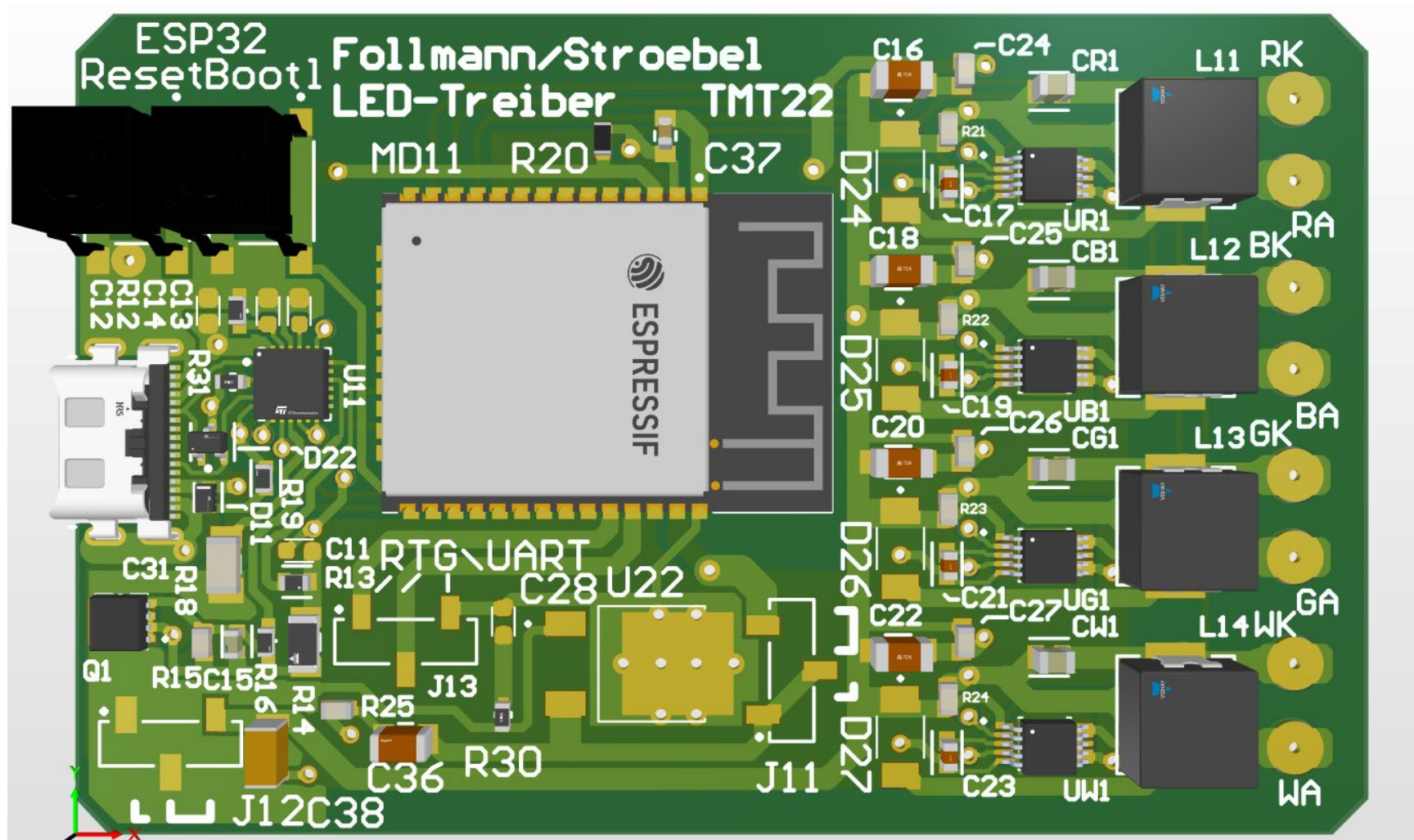


(Schichten v.u. n. o.: Kühlkörper, Wärmeleitpaste, Alukern (PCB), elektrische Isolation (PCB), Kupfer (PCB), Junction-Case LED)



# Layout

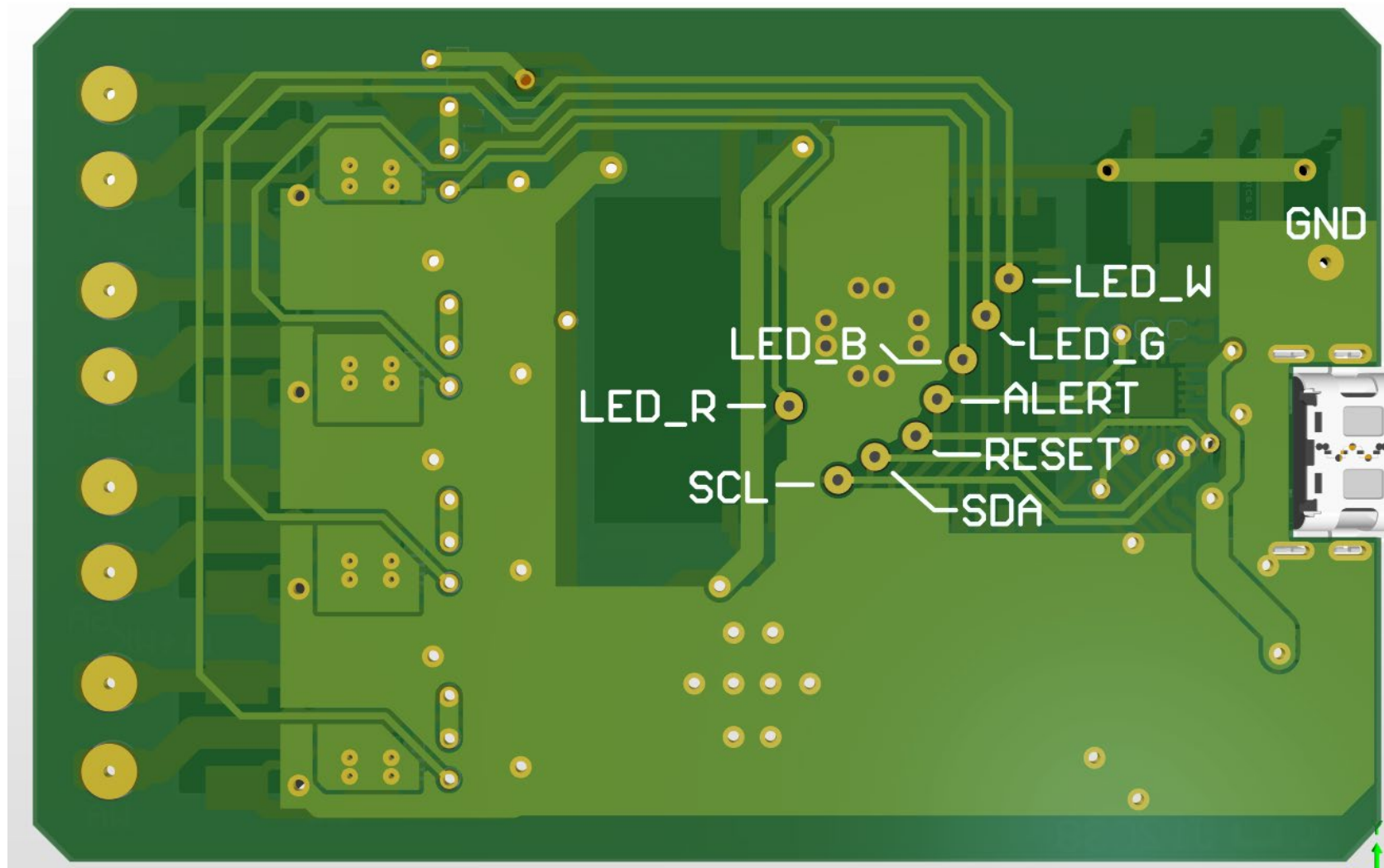
## 3D-Ansicht Oberseite



Bauteilkosten  $\approx$   
50 \$

# Layout

## 3D-Ansicht Unterseite

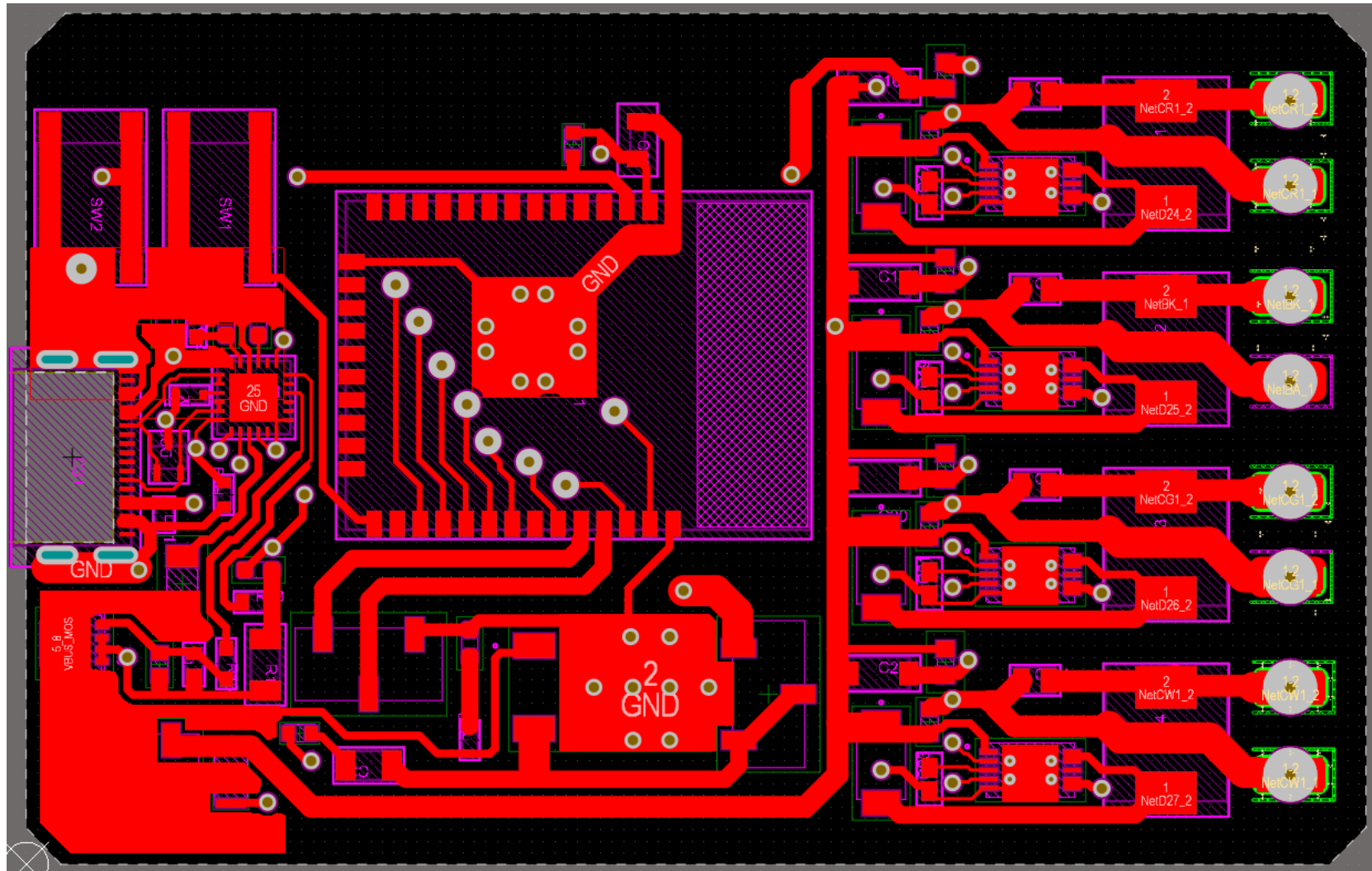


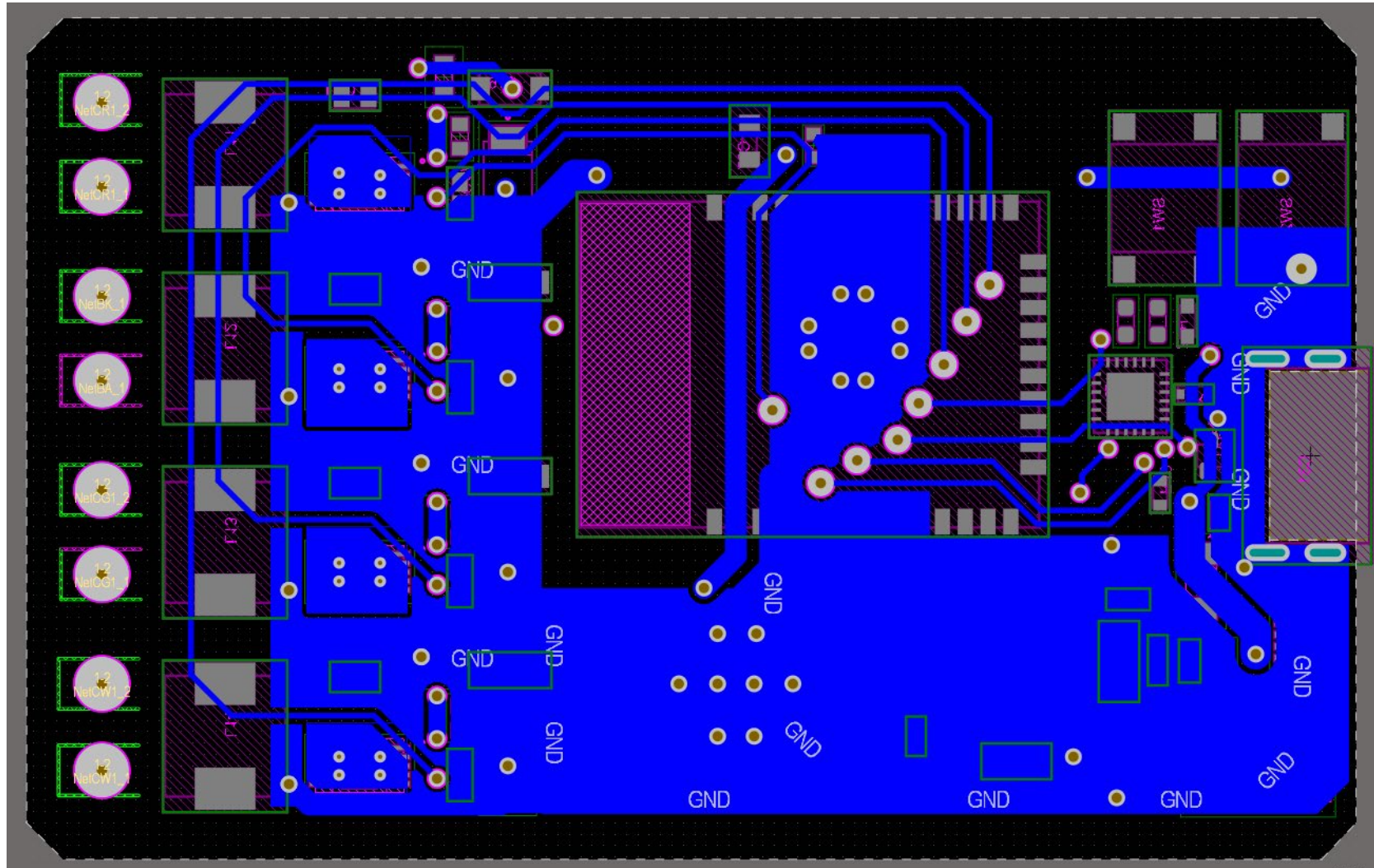
**74 \* 47 mm<sup>2</sup>**



# Layout

## Oberseite





(links: Trennung P-GND und A-GND von LED-Treibermodul

# Ausblick

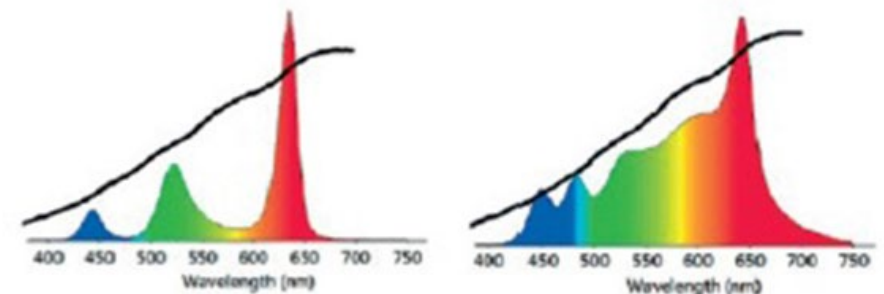
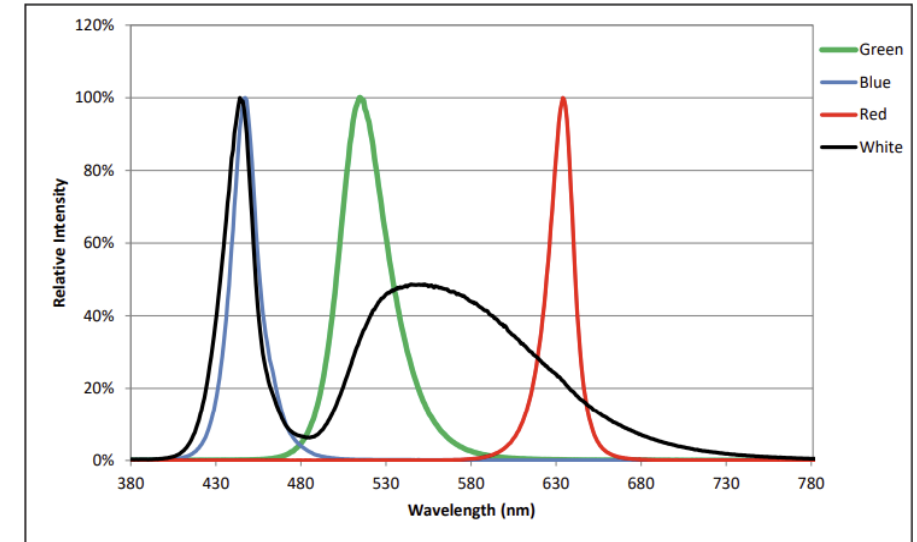
## Einführung einer Schnittstelle für Displayanschluss



- Anzeige von Systemparametern
- Vereinfachte Bedienung und Anpassung
- Zusätzlich weitere Status-LEDs

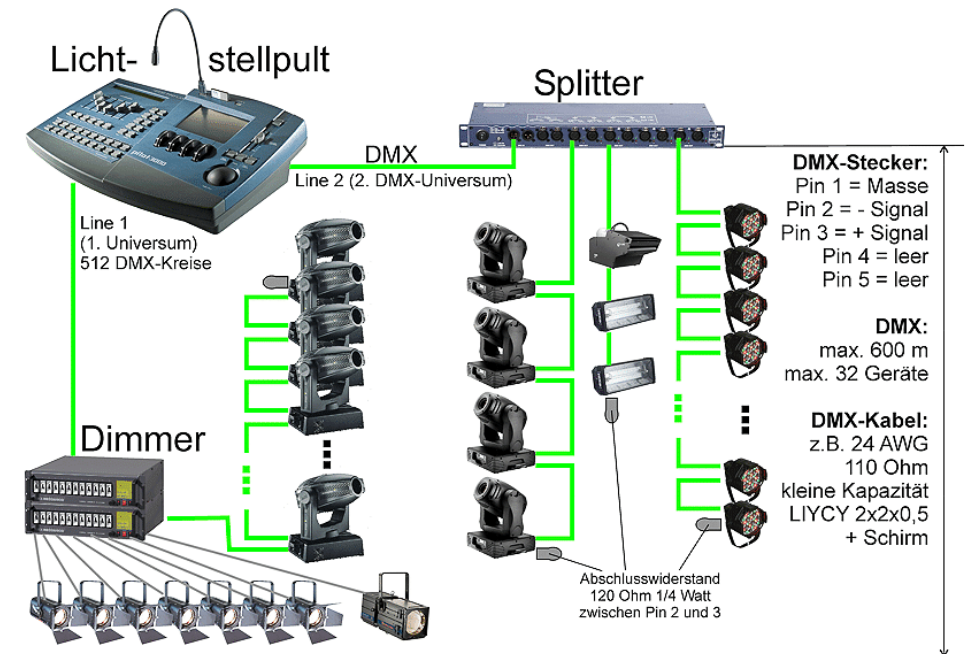


- Neue Spektren: UV, Amber etc.
- Neue Einsatzgebiete des Treibers
- Verbesserte Farbwiedergabe und Farbbandbreite
- Allgemeine Steigerung der Funktionalität des Systems





- Professionelle und flexible Steuerung des LED-Treibers
- Vernetzung mehrerer Treiber zu einem koordinierten LED-System
- Adressierbarkeit von LEDs
- Einsatz in umfangreichen Bühnensystemen



- Effizientere Kühlkörper für Treiber und LED-Board
- Verlängerte Lebensdauer der Komponenten durch optimale Wärmeabfuhr
- Verbesserung auf Basis von Temperaturmessungen
  - Gezielte Kühlung kritischer Komponenten
- Zentraler Kühlkörper zur Kühlung des Treiber- und LED-Boards

- Verbesserte Effizienz eines zentralen Systembauteils
- Unterstützung komplexerer Steuerungslogik
- Verbesserte Verarbeitungsleistung
- Erweiterung von verwendbaren Schnittstellen



Seeing beyond