

Verpolschutz mit „Idealer Diode“

Vortrag zum „Regiotreffen Nord“ bei P02,
13. Oktober 2024

Matthias Ulmann, DK9MAT



Ausgangspunkt

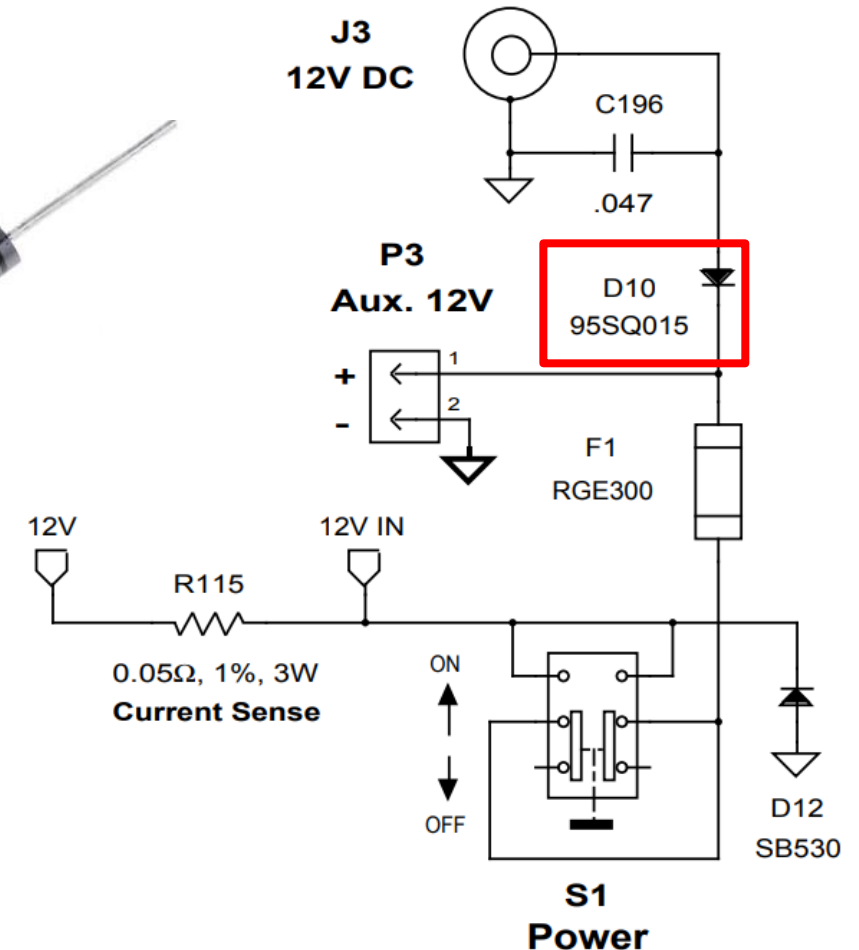
- Verpolschutz zum Schutz von Geräten vor versehentlich falsch herum angelegter Versorgungsspannung
- Möglichkeiten des Verpolschutzes
 - Mechanisch: Kontakte, Gehäuse
 - Elektrisch: Diode
- Mechanik kann sicher sein, muss aber nicht (Beispiel Hohlstecker)
- Eine Diode lässt Strom nur in eine Richtung fließen und man kann manuell nichts falsch machen
→ Hört sich nach der idealen Lösung an, oder etwa nicht!?
Im Prinzip ja, aber ...



Beispiel Elecraft K2

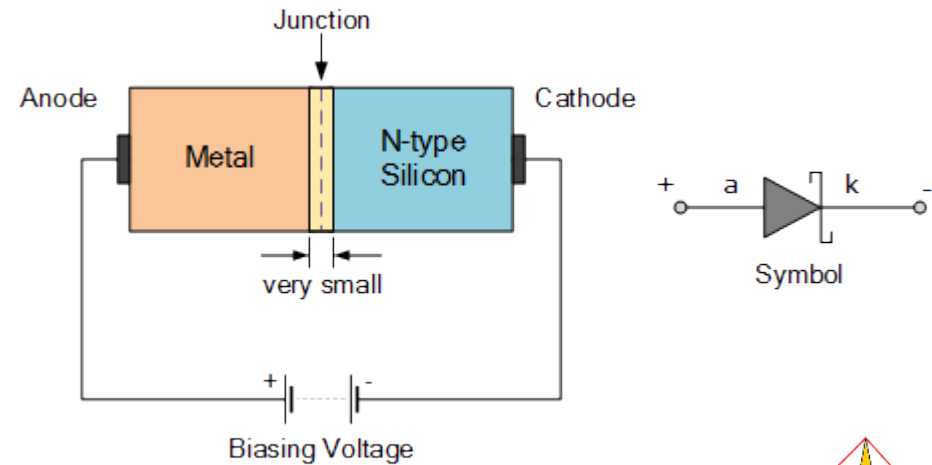
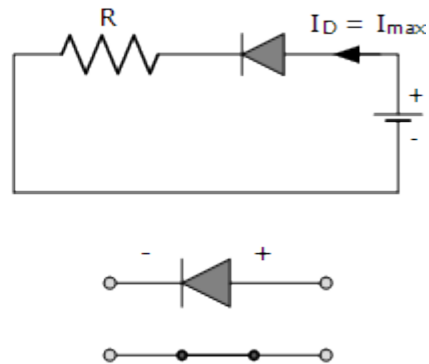
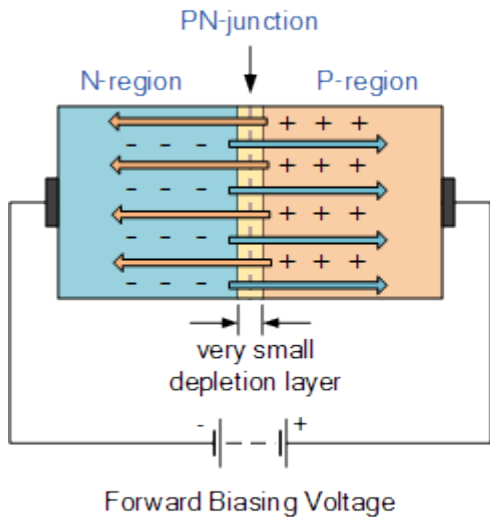
- Verpolschutz K2
 - Verpolschutzdiode 95SQ015
 - Versorgungsspannung 9 .. 15 V
 - Stromaufnahme ca. 2 A bei 10 W HF
- 95SQ015 Datenblatt
 - Schottky Diode
 - 15 V Sperrspannung
 - 9 A bei 50 % Duty Cycle @ $T_C = 55\text{ }^\circ\text{C}$

Was sagt uns das ...?



Exkurs: Diode

	Halbleiterdiode	Schottky-Diode
Übergang	p-n (Halbleiter – Halbleiter)	Metall-Halbleiter
Vorwärtsspannung	ca. 0.7 V	typ. < 0.5 V
Max. Sperrspannung	sehr hoch (kV-Bereich)	< 250 V
Reverse recovery	ja → langsames Schalten	nein → schnelles Schalten



Schottky-Diode 95SQ015

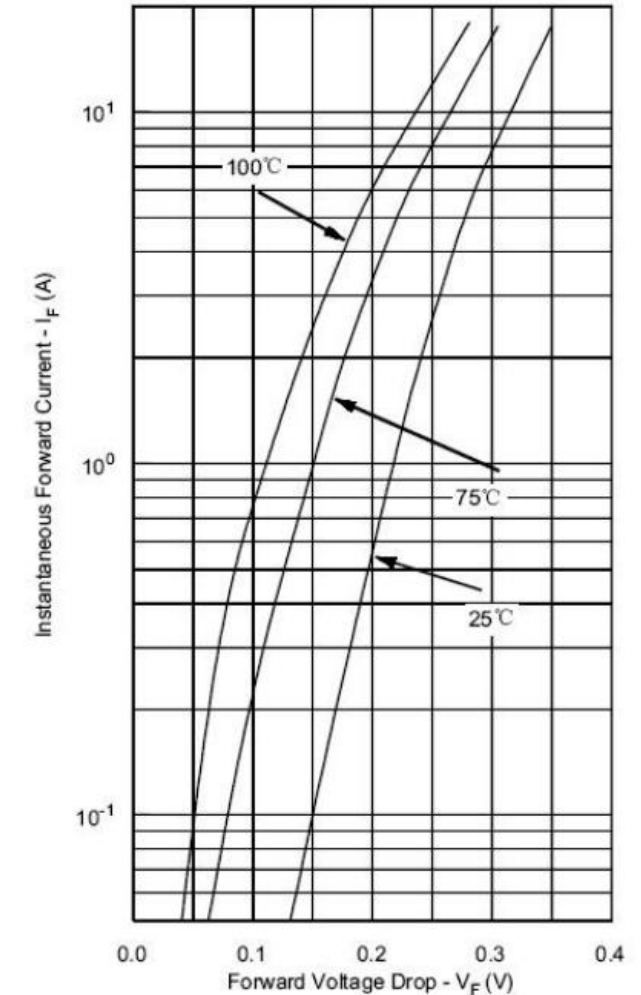
Characteristics	Symbol	Condition	Typ.	Max.	Units
Forward Voltage Drop*	V_{F1}	@ 9A, Pulse, $T_J = 25\text{ °C}$	0.31	0.34	V
		@ 18A, Pulse, $T_J = 25\text{ °C}$	0.35	0.37	
	V_{F2}	@ 9A, Pulse, $T_J = 125\text{ °C}$	0.22	0.25	V
		@ 18A, Pulse, $T_J = 125\text{ °C}$	0.28	0.31	

- Je niedriger der Strom, desto niedriger die Vorwärtsspannung
→ Diode strommäßig überdimensionieren
- Je höher die Temperatur, desto niedriger die Vorwärtsspannung
→ Signifikante Erwärmung im Betrieb kann vorteilhaft sein
- Je niedriger die Sperrspannung, desto niedriger die Vorwärtsspannung
→ Diode spannungsmäßig nicht überdimensionieren

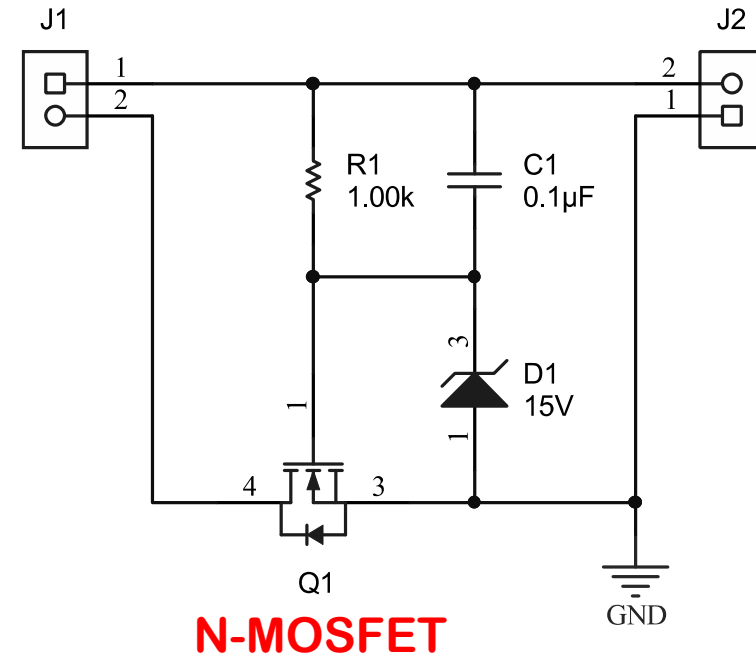
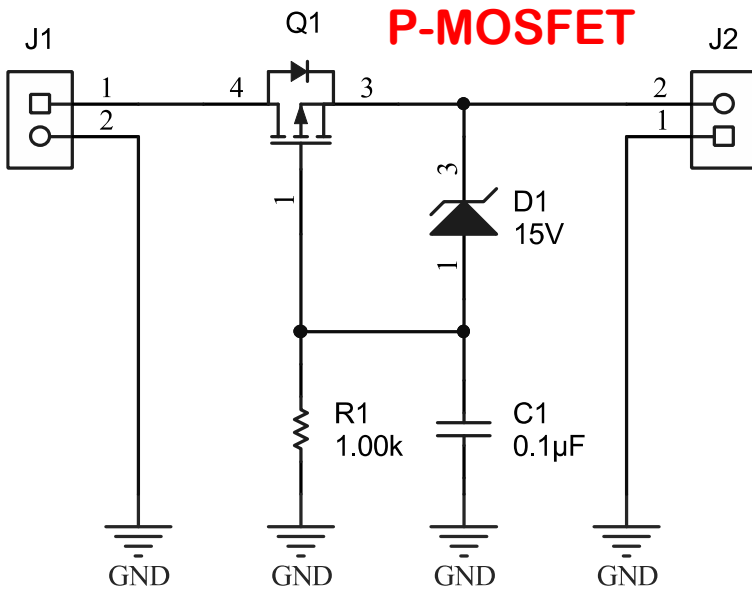
Temperatur	25 °C		100 °C	
	2 A	5 A	2 A	5 A
Vorwärtsstrom				
Vorwärtsspannung	240 mV	275 mV	140 mV	175 mV
Verluste	480 mW	1375 mW	280 mW	875 mW

Sieht bei 2 A nicht so dramatisch aus, aber geht es trotzdem besser?

Typical Forward Characteristics



MOSFET als Alternative

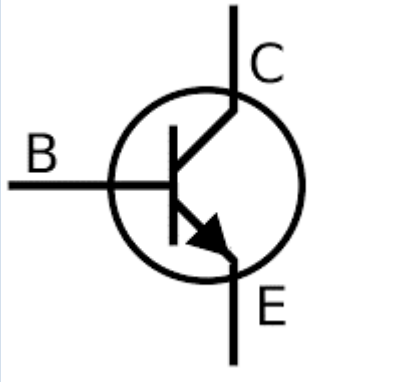
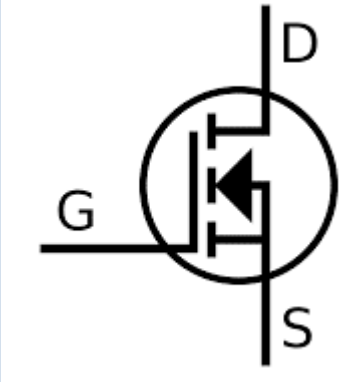


- „Leistungslose Ansteuerung“
- „Idealer Schalter“
- Und wie funktioniert der überhaupt ...?



Exkurs: MOSFET 1/3

Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor

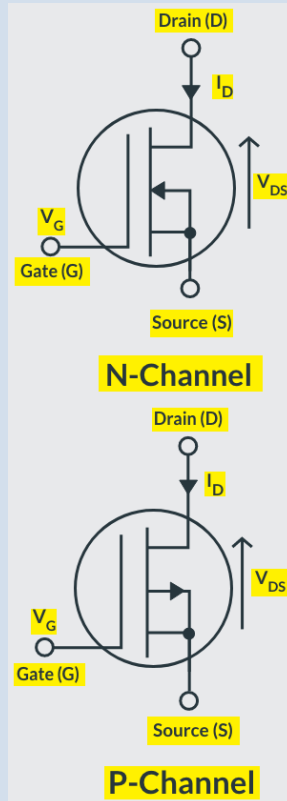
	Bipolartransistor	MOSFET
Ansteuerung	stromgesteuert → Basis-Emitter Strom	spannungsgesteuert → Gate-Source Spannung
Spannungsabfall	Kollektor-Emitter Spannung	$R_{DS,on} * I_D$
Symbol	 NPN	 N-MOSFET



Exkurs: MOSFET 2/3

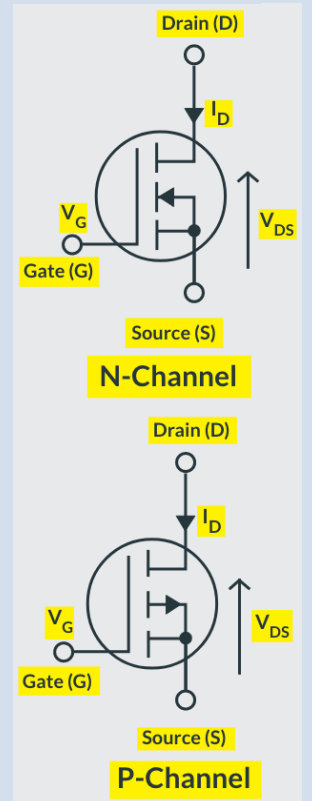
Depletion Type / Verarmungstyp

- Selbstleitend / normally-on
- ON
 - N-Kanal: $V_G \geq V_S$
 - P-Kanal: $V_G \leq V_S$
- OFF
 - N-Kanal: $V_G \leq V_S - 3V^*$
 - P-Kanal: $V_G \geq V_S + 3V^*$
- Selten verwendet, z.B. in Anlaufschaltungen für Schaltnetzteile



Enhancement Type / Anreicherungstyp

- Selbstsperrend / normally-off
- ON
 - N-Kanal: $V_G \geq V_S + 3V^*$
 - P-Kanal: $V_G \leq V_S - 3V^*$
- OFF
 - N-Kanal: $V_G \leq V_S$
 - P-Kanal: $V_G \geq V_S$
- Häufig verwendet, v.A. N-Kanal



* 3V ist in vielen Fällen die max. Schwellspannung / Threshold V_{TH} des MOSFETs

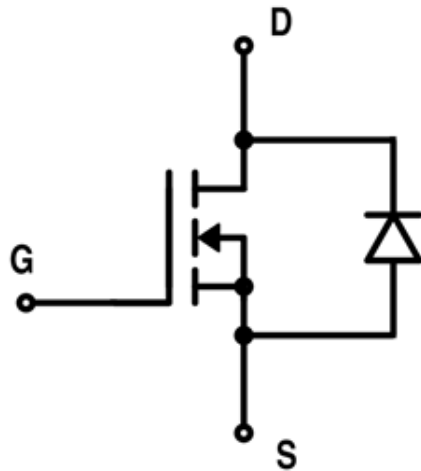


Exkurs: MOSFET 3/3

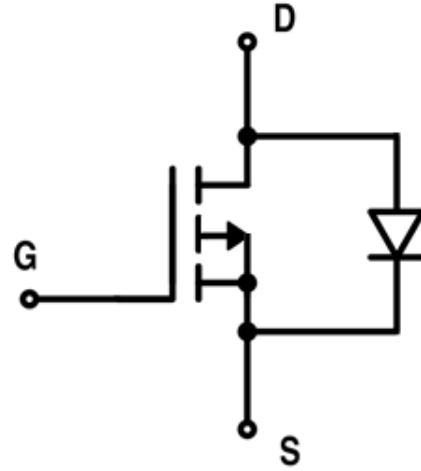
Noch zwei Punkte zum Schluß:

Nicht immer bekannt bzw. berücksichtigt, aber sehr wichtig!

Body Diode

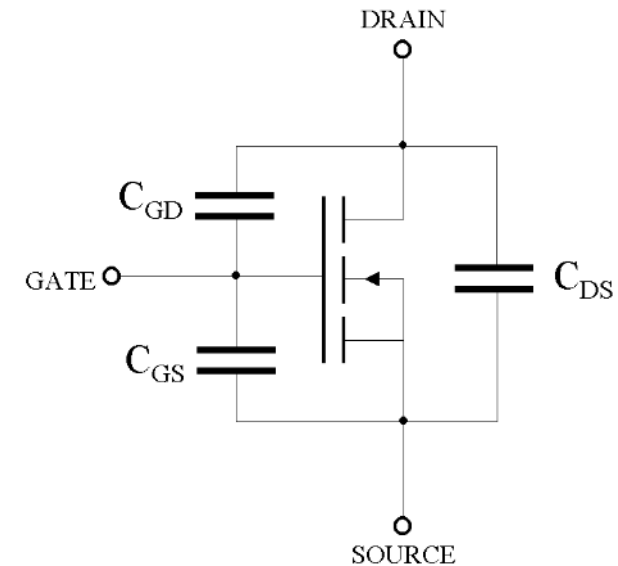


N MOS

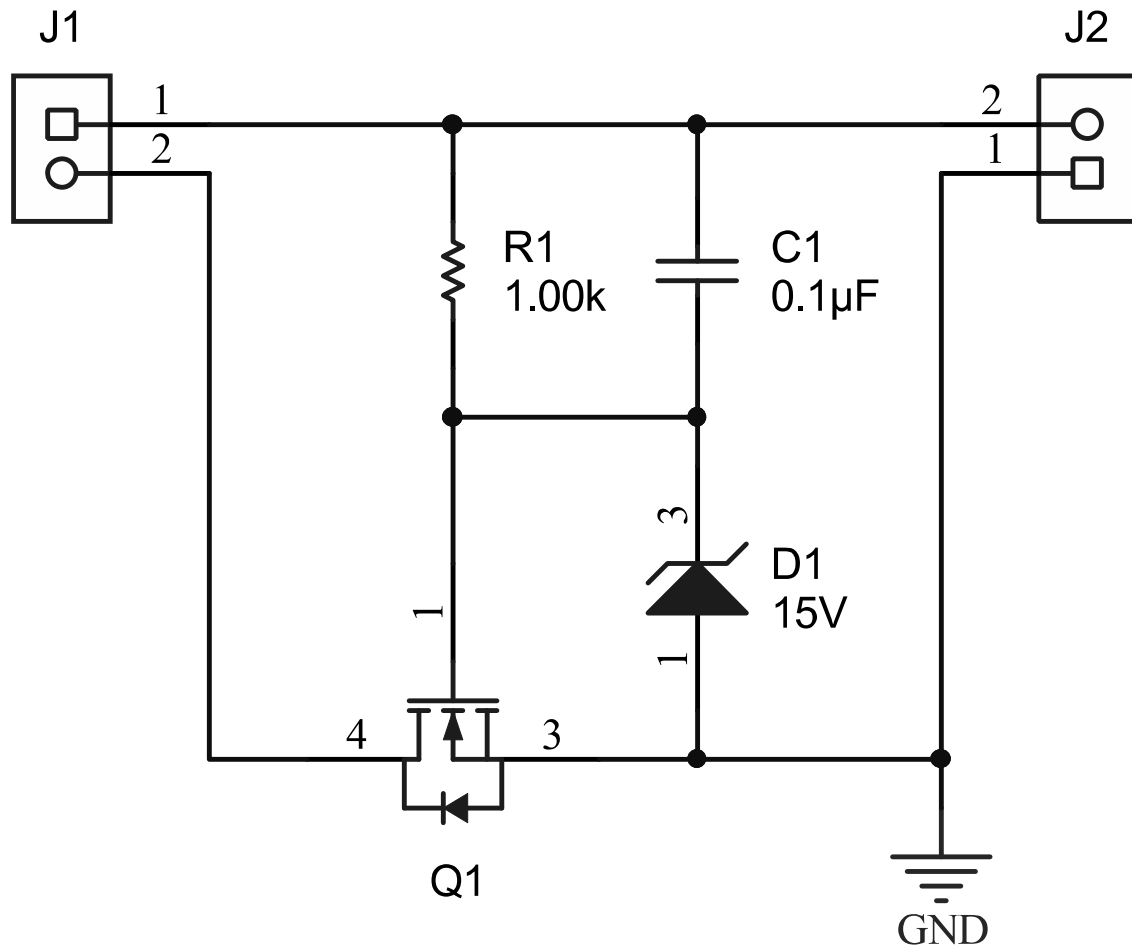


P MOS

parasitäre Kapazitäten



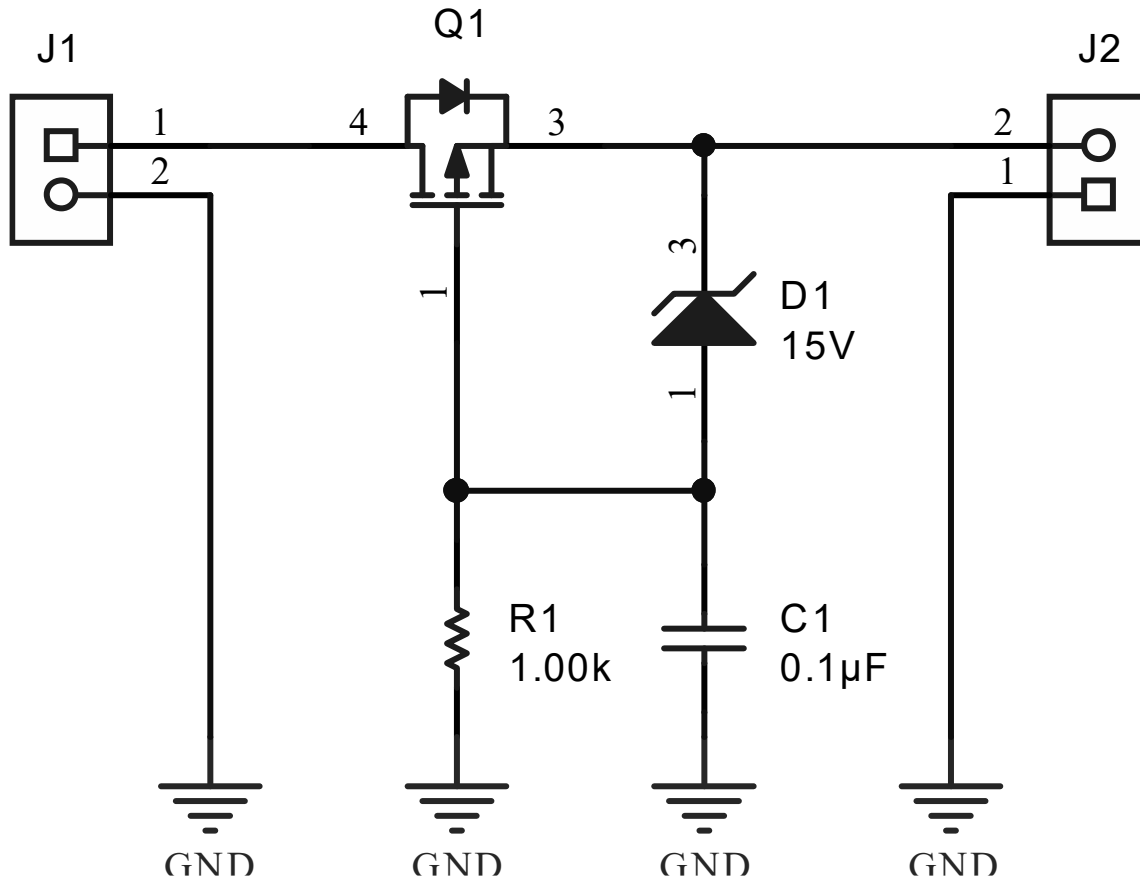
N-MOSFET tiefliegend



- N-MOSFET als „ideale“ Diode
- Schaltet sich selbst an und aus
- D1 + R1 begrenzen Gate-Spannung
- Nachteil: Auftrennung von GND
→ Nicht immer möglich oder erlaubt



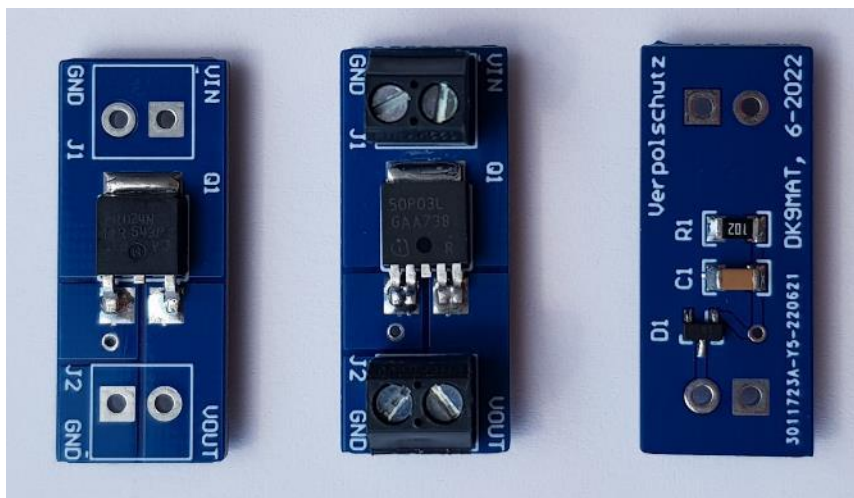
P-MOSFET hochliegend 1/2



- P-MOSFET als „ideale“ Diode
- Schaltet sich selbst an und aus
- D1 + R1 begrenzen Gate-Spannung



P-MOSFET hochliegend 2/2



SMD, jedoch bastelfreundliche Gehäusegrößen (0805, SOT23, DPAK)

	SPD50P03L G P-FET, -30 V	FDD6637 P-FET, -35 V	SUD50P06-15 P-FET, -60 V	95SQ015 Schottky, 15 V
$R_{DS,ON}$ @ 10 V_{GS}	7.0 mΩ	11.6 mΩ	15.0 mΩ	-
Spannungsabfall bei 5 A	35 mV	58 mV	75 mV	275 mV
Verluste bei 5 A	175 mW	290 mW	375 mW	1375 mW



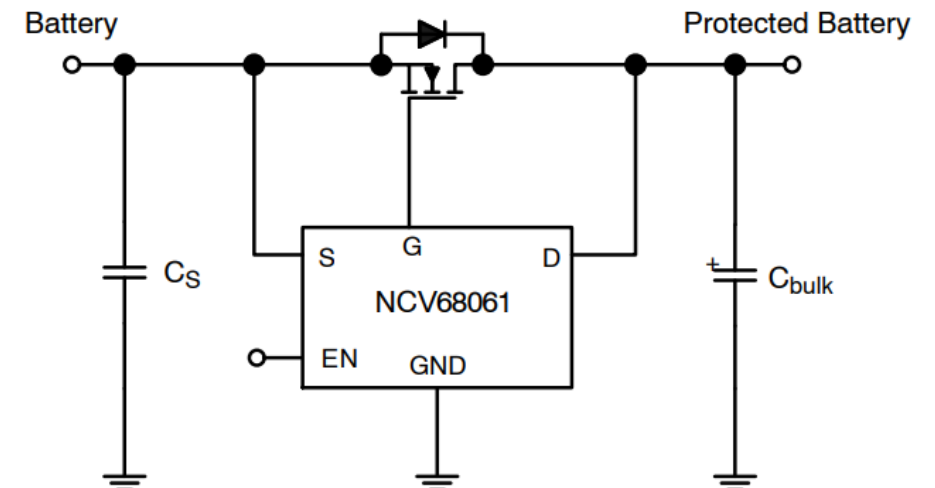
Exkurs: N-MOSFET hochliegend

Sehr niederohmige P-MOSFETs für höhere Ströme ($> 10\text{ A}$) sind nicht auf dem Markt verfügbar

- Grundlage eines P-MOSFETs ist die Mobilität der Löcher, bei einem N-MOSFET die Mobilität der Elektronen
- Mobilität der Löcher ist fast zweieinhalb mal kleiner als die Mobilität der Elektronen
- Bedeutet für den gleichen Widerstand eine deutlich größere Siliziumfläche im Vergleich bei einem P-MOSFET zu einem N-MOSFET
- Höhere Kosten sowie Limitierungen bezüglich max. Silizium-Größe für Gehäuse (Kosten)

Lösung: N-MOSFET hochliegend + „Ideal Diode Controller“

- Beispiel [NCV68061](#)
- Integrierte Ladungspumpe
- Misst Spannungsabfall zwischen Source und Drain und schaltet N-MOSFET entsprechend an und aus
- Extrem niederohmige N-MOSFETs ($< 0.5\text{ m}\Omega$) können verwendet werden



Zusammenfassung

- Wenn Verpolschutz mit Dioden, dann bevorzugt Schottky-Dioden, um die Verluste zu minimieren
- Über 2 A kann / sollte man über die hier gezeigten Alternativen nachdenken
- Bei 5 A spart man mehr als 1 W Verluste ein, wenn eine sehr gute Schottky-Diode durch einen niederohmigen P-MOSFET ersetzt wird
 - Reduziert Erwärmung im Gerät
 - Verlängert ggf. die Betriebsdauer bei Batteriebetrieb
- Artikel erschienen in der CQ DL 6/2023

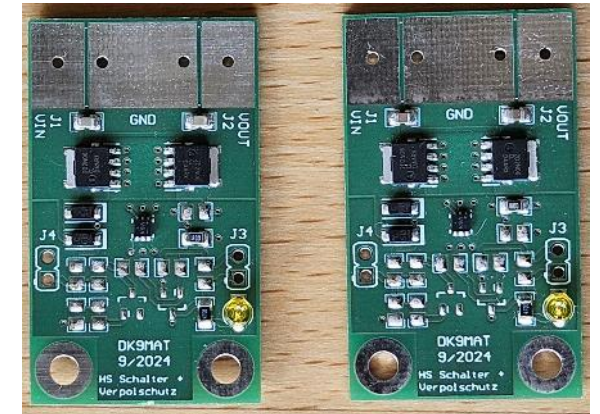
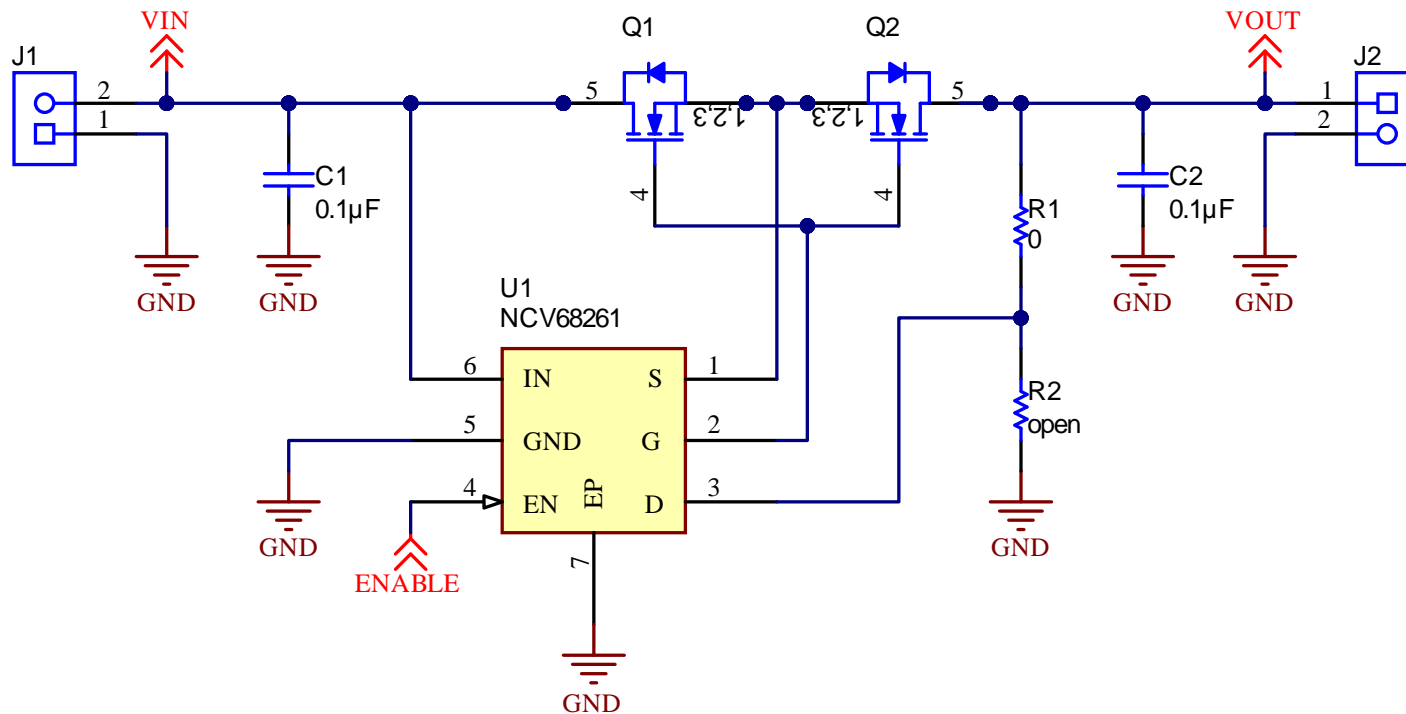


... es sind noch ein paar unbestückte Leiterplatten übrig



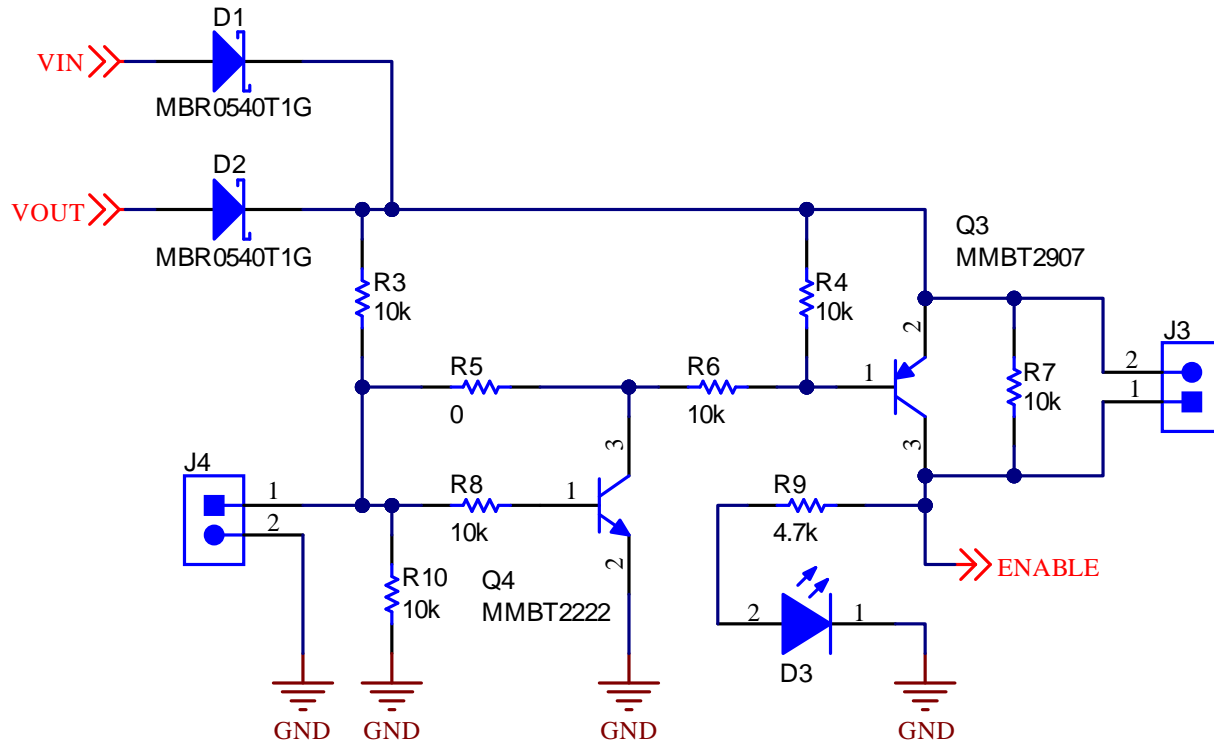
Nachtrag Oktober 2024 – „Idealer Schalter“ 1/2

- Zwei MOSFETs „back-to-back“, um Strom durch die Body Diode zu verhindern
- Controller [NCV68261](#) kann zwei MOSFETs ansteuern und für zwei Anwendungen konfiguriert werden
 - Idealer Schalter + ideale Diode (Stromfluß nur in eine Richtung möglich)
 - Idealer Schalter + Verpolschutz (Stromfluß in beide Richtungen möglich)
- Sehr niederohmige MOSFETs, um Verluste zu minimieren



Nachtrag Oktober 2024 – „Idealer Schalter“ 2/2

- Sechs verschiedene Möglichkeiten zur Ansteuerung über den „enable“ Eingang
- Verhalten wird über Bestückung ausgewählt



Konfiguration „Funktion“

- Idealer Schalter + ideale Diode: R1 bestückt
- Idealer Schalter + Verpolschutz: R2 bestückt

Konfiguration „Enable“

- Immer aktiv
 - D1, D2, R7 bestückt
- Steuerung mit einem Schalter an J3
 - D1, D2, bestückt
- Steuerung mit einem Logiksignal an J4
 - ON = LOW, OFF = HIGH / OPEN
 - D1, D2, Q3, R4, R5, R6 bestückt
 - ON = LOW / OPEN, OFF = HIGH
 - D1, D2, Q3, R4, R5, R6, R10 bestückt
 - ON = HIGH, OFF = LOW / OPEN
 - D1, D2, Q3, Q4, R4, R6, R8, R10 bestückt
 - ON = HIGH / OPEN, OFF = LOW
 - D1, D2, Q3, Q4, R3, R4, R6, R8, R3 bestückt
 - ACHTUNG! Im ausgeschalteten Zustand fließt ein Strom von ca. 1 mA !

Anzeige des Zustands (optional): R9, D3 bestückt

