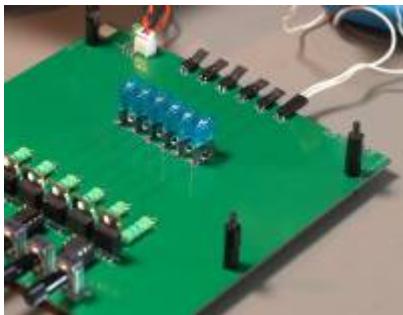


# Studentische Projekte

## Ströme messen mit Hallsensoren



Ströme richtig messen ist immer eine größere Herausforderung. Besonders dann, wenn man keinen direkten Zugang zum stromführenden Leiter hat. Hr. Sichler hat in seiner Bachelorarbeit untersucht ob sich mit sehr empfindlichen Hallsensoren Ströme messen lassen wenn diese über handelsüblichen Fahrzeugsicherungen angebracht werden. Die Idee dahinter: Fahrzeugkomponenten erkennen, welche bei einer Ruhestrommessung das Fahrzeug aufwecken. Das Problem: Das durch den Strom erzeugte Magnetfeld ist in der Größenordnung des Erdmagnetfelds.

[Videovorstellung](#)

[Poster zur Arbeit als Download](#)

## Anpassung der Eingangsspannung über Tiefsetzsteller



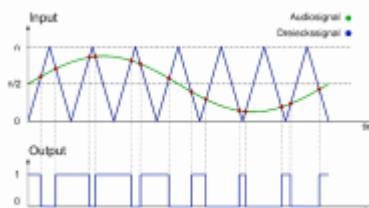
Die Grundschaltung jeder Leistungselektronik ist der Tiefsetzsteller. Je wird nahezu auch auf jeder Schaltung benötigt um eine gemeinsame Eingangsspannung an die Bedürfnisse der einzelnen Komponenten wie zum Beispiel ein Mikrocontroller anzupassen. Besonders bei

batteriebetriebenen Geräten kann nicht auf die beliebten Längsspannungsregler (LDO) aufgrund deren hohen Verlustleistung zurückgegriffen werden. In der Vorlesung Leistungselektronische Systeme haben die Teilnehmer recherchiert welche ICs am Markt verfügbar sind mit integriertem Schaltelement. Zum deren Betrieb werde typischerweise nur wenig externe Bauelemente wie die

Induktivität, die Freilaufdiode und ein Glättungskondensator benötigt. Download:

[leistungselektronik\\_tiefsetzsteller\\_praesentation.pdf](#)

## Unsere Motorsteuerung als digitale Audioendstufe



Jan Sperling hat in seiner Bachelorarbeit gezeigt, dass wir die Hardware der Motoransteuerung auch als digitale Class D Audio Endstufe einsetzen können. Unser TI-Launchpad tastet dazu die Audiosignal mit dem Analog-Digitalwandler zyklisch ab und übergibt die Werte dem PWM-Modul. Mit Hilfe einer T/2 versetzten Taktung wird dann

der Lautsprecher angesteuert. Leider können die Audio-Signale nicht direkt auf den Mikrocontroller losgelassen werden. Audiosignale sind mittelwertfrei, das bedeutet sie schwingen um den Nullpunkt, mit einer maximalen Eingangsamplitude von ca. 1,2V. Die Analog- nach Digitalwandlung jedoch erwartet Pegel zwischen 0 und 5V. Dazu wurde von Hr. Sperling eine Pegelanpassung entwickelt welche in der Lage ist das Audiosignal exakt auf den Wertebereich des AD-Wandlers anzupassen. Für den perfekten Sound muss allerdings noch eine Nachfolgearbeit eine Störeinkopplung vom Leistungsteil in die Pegelpassung aufspüren und natürlich beseitigen. Posterdokumentation:

[plakat\\_digitale\\_audioendstufe.pdf](#)

[Videodokumentation](#)

## Displayansteuerung mit i2C Bus und Simulink Embedded Coder



Konstantin Lutz hat in seiner Bachelorarbeit eine Displayansteuerung implementiert für unsere universelle Hardwareplattform in der Leistungselektronik. Das Display kann nun für weitere Projekte komfortabel in die Simulink-Umgebung eingebunden werden. Ohne sich um die Details kümmern zu

müssen können die einzelnen Zeilen ganz einfach über Strings beschrieben werden. Als Schnittstelle wird der i2C Bus verwendet. Das Display kann sowohl im Stand-Alone als auch im Monitor&Tune Modus beschrieben werden. Im Video [Video](#) erklärt Hr. Lutz die Details zum Projekt und wie das Display angesprochen werden kann.

Die vollständige Dokumentation zum Download:

[ansteuerung\\_eines\\_lcd-displays\\_mit\\_matlab\\_konstantin\\_lutz\\_2021.pdf](#)

und die Simulink Demo-Files:

[htwg\\_i2c\\_display\\_simulink.zip](#)

## Ansteuerung eines BLDC Motors mit Visualisierung



Auch im „Corona-Semester“ haben wir in der Vorlesung Leistungselektronik unsere Projekte realisiert. Allerdings lag der Focus jetzt auf der Projektierung, Simulation und virtuellen Inbetriebnahme. Die Projektgruppe mit Christoph Casagranda, Johannes Huober und Lucas Flender hat in ihrem Projekt gezeigt wie sich ein BLDC - Motor ansteuern lässt mit einer Visualisierung der aktuellen Rotorposition auf einem externen PC. Nachfolgender Link zeigt das Projekt in einem kleinen Videobeitrag. [Video](#)

## Ein mit Simulink programmier- und regelbarer Buck-Boost Converter



Lukas Hölsch hat in seiner Projektarbeit zum ersten mal im Labor für Leistungselektronik ein TI Launchpad eingesetzt zur Programmierung und Regelung eines Buck-Boost Converters. Das Besondere daran ist, dass die

Programmierung in Simulink rein graphisch erfolgt. Das bedeutet es sind keinerlei Programmierkenntnisse erforderlich. Weiterhin erlaubt die Anbindung der Schaltung an Simulink eine Variation aller Parameter im laufenden Betrieb. Somit ist es auf einfache Weise möglich Regelerparameter anzupassen und sich die Ergebnisse direkt visualisieren zu lassen.

Dokumentation zum Download.

[projektarbeit\\_lukas\\_hoelsch.pdf](#)

---

## 100W Klasse D Audio Verstärker



Im Projektlabor Leistungselektronik haben wir auch dieses Semester eine 100W Audioendstufe entwickelt. Das Ergebnis von Fabian Sernatinger und Dennis Rutkowski kann sich hören lassen. Die erstmals eingesetzten Snubber über den

Leistungshalbleitern haben einen deutlich positiven Effekt auf das Klangerlebnis. Die Endstufe generiert die Taktsignale mit Hilfe zweier analogen Referenzspannungen im T/2 Versatz. Dadurch können aufwendige Filterschaltungen zum Dämpfung des Trägersignals entfallen.

Überblick zum Projekt

[le\\_rutkowskisernatinger\\_praesentation1.pdf](#)

[schaltplan\\_class\\_d\\_amp\\_rev1.pdf](#)

[Inbetriebnahmevideo](#)

---

## Aktuelle Traktorgeneration



Auch dieses Semester gab es eine neu Version des vollelektrischen Traktors. Der Fokus liegt zunehmen auf Fahrspaß womit die Studierenden dem Motor immer mehr Drehmoment abverlangen. So konnte dieses Semester der Abzug noch einmal um 50% gesteigert werden. Die Obergrenze ist aber noch nicht erreicht. Ich bin gespannt ob wir in den kommenden Jahren noch schneller beschleunigen.

## Wechselrichter



Peter Schmidt hat in seiner Bachelorarbeit einen Sinuswechselrichter aufgebaut der zukünftig im Praktikum zu den elektrischen Maschinen zum Einsatz kommen wird. Der Wechselrichter kann sowohl im Stand-Alone als auch im Grid-Betrieb zur Energieeinspeisung in das öffentliche Netz verwendet werden. Die Nachfolgearbeit wird die Frequenzerkennung verbessern und den Wechselrichter in einem kompakten Design aufbauen.  
Dokumentation:

[netzgefuehrter\\_sinuswechselrichter\\_schmidt.pdf](#)

## Elektr. Trettraktor



Wer ist als Kind nicht gerne mit seinem Trettraktor oder dem Dreirad unterwegs gewesen? Wieviel besser wäre es dann erst mit einer elektrisch angetriebenen Version oder einer elektrischen Unterstützung? Im Sommersemester 2017 haben wir zum ersten mal für die lange Nacht der Wissenschaft die Traktoren elektrifiziert. Heute gibt es bereits mehrere Versionen: Als Pedelec, als Elektrofahrzeug, mit Gleichstrommotor oder BLDC Motor.

Die Traktoren werden ständig

weiterentwickelt und stehen für Projekt- und Abschlussarbeiten zur Verfügung:

- Elektrische Lenkung
- Kollisionsvermeidung über Sensoren
- Autonom fahrende Traktoren
- Induktive Ladeplatte

Die Systeme können auch im Rahmen des Projektlabors der Vorlesung Leistungselektronik aufgebaut werden.

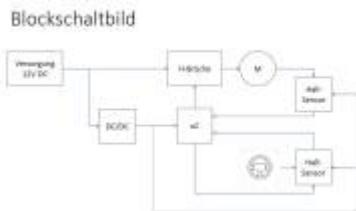


**Video**

## Steer-By-Wire

Sollen unsere Traktoren bald autonom fahren können müssen noch einige Hardwareanforderungen dazu umgesetzt werden. Grundvoraussetzung ist natürlich die Möglichkeit die Fahrtrichtung elektronisch vorzugeben. Das bedeutet der Lenkwinkel / Fahrerwunsch muss elektronisch umgesetzt werden. Im PAE7 Praktikum haben sich Studenten der Aufgabe angenommen und einen ersten Umsetzungsvorschlag ausgearbeitet. Es geht hier nicht darum die perfekte Lösung für eine Fahrzeugintegration zu finden, sondern mit einfachen und vorhandenen Mitteln die Funktion darzustellen. Unsere Standardkomponente im Praktikum, welche auch hier zum Einsatz kommen:

- DC- Getriebemotor (Aus Akkuschrauber)
- H-Brücke aus vorhandenem Praktikumsversuch
- XC866 Trainingsboard



Die Lage erfassung des Lenkrads erfolgt über einen Hallsensor. Über einen zweiten Hallsensor wird die aktuelle Position der Lenkachse ermittelt. Die Software zur elektrischen Lenkung hat nur eine Aufgabe: Der Fehlerwinkel zwischen Sollwinkel und Istwinkel muss ausgeglichen bzw. möglichst klein gehalten werden.

Das Projekt hat super funktioniert und es konnte gezeigt werden, dass auch mit einfachen Mitteln eine elektrische Lenkung oder ein Steer by Wire System aufgebaut werden kann. Für den Einsatz im Traktor müssen wir allerdings nach einem geeigneten Motor ausschau halten, da:

- Das hohe Haltemomente des Getriebes die Regelung ggf. sehr „nervös“ macht
- Das Getriebespiel der Akkuschraubereinheit sehr hoch ist

Das Ergebnis kann sich sehen lassen:



---

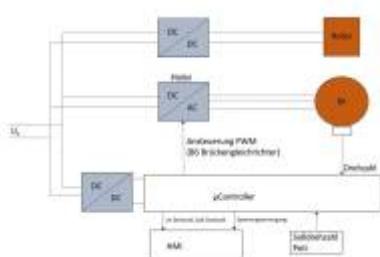
## Fahrzeuggenerator als Motor



Der Drehstromgenerator in modernen Fahrzeugen ist schon lange keine permanenterregte Gleichstrommaschine mehr, wie noch weithin angenommen. Besonders Fahrzeuge im Premiumsegment haben einen Leistungsverbrauch im Bereich von 3-4kW auf der 12V- Seite mit steigender Tendenz. Für die Versorgung des 12V Bordnetz kommen heute Drehstromgeneratoren zum Einsatz.

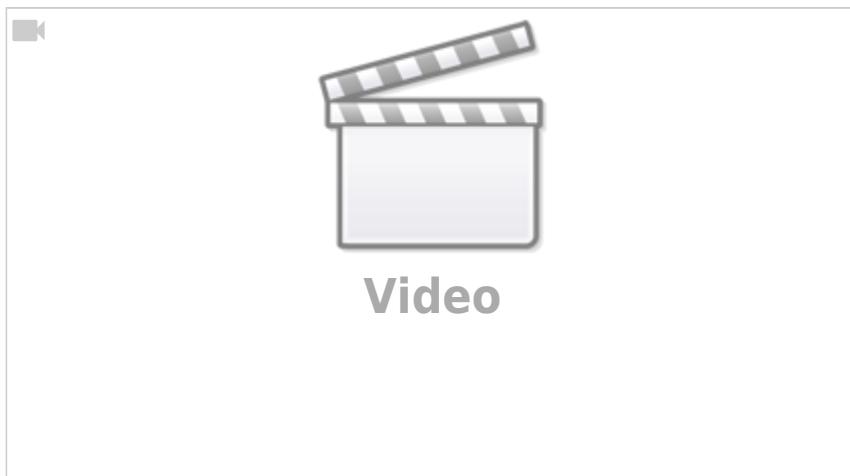
Genauer gesagt handelt es sich hierbei um fremderregte Synchronmaschinen.

Die Regelung der Ausgangsspannung bzw. des Ausgangsstromes erfolgt über einen Linearregler welcher den Erregerstrom entsprechend beeinflusst.



Stabilisiert werden die Bordnetzüber Spannungswandler zw. Fahrzeugbatterien.  
Im ersten Schritt muss das hintere  
Lagerschild und die Gleichrichterdioden  
entfernt werden um an die einzelnen  
Wickelabgriffe zu kommen. Danach gilt es  
herauszufinden wie die Wicklung verschalten  
ist. Typischerweise sind die Maschinen im  
Dreieck verschalten. Da meist keine  
Informationen zur Verschaltung verfügbar

sind kann über eine Spannungsmessung (Drehen von Hand + Erregerfeld  
anlegen) der Wicklungssinn ermittelt werden.



## TI Launchpad F28069

<https://www.ti.com/tool/LAUNCHXL-F28069M#technicaldocuments>

Das Launchpad F28069 bietet für die Leistungselektronik und elektrische  
Maschinen einen schnellen Einstieg

zur Steuerung und Regelung leistungselektronischer Schaltungen.

Zusätzlich ist es möglich die Hardware über Simulink zu programmieren, womit nur wenig Kontakt zum C-Code notwendig wird.

Die grafische Programmierung über Simulink ist in der Fahrzeugentwicklung und Autosar-Systemen weit verbreitet und bietet

auch ohne tiefes Wissen über die Hardware eine effiziente Programmierung.

Wie immer ist die erste Hürde (bis die Hardware mit Simulink kommuniziert) eine der Größten.

## Vorbereitende Maßnahmen:

- Launchpad F28069 organisieren
- In Matlab die Pakete installieren: Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors
- Notwendige Third Party Software wie CCS (Code Composer Studio) installieren

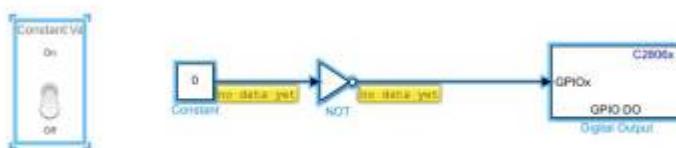
Anbei meine Fallstricke bei der Inbetriebnahme:

### Mit welchen LEDs kann ich spielen?

LED Pins:

- GPIO34 D9 (Rot) (Enable Boot)
- GPIO39 D10 (Blau)

Zum Spielen bietet sich D10 an (Achtung, Ausgabe ist invertiert) ....



firstc2000\_led\_toggle.zip

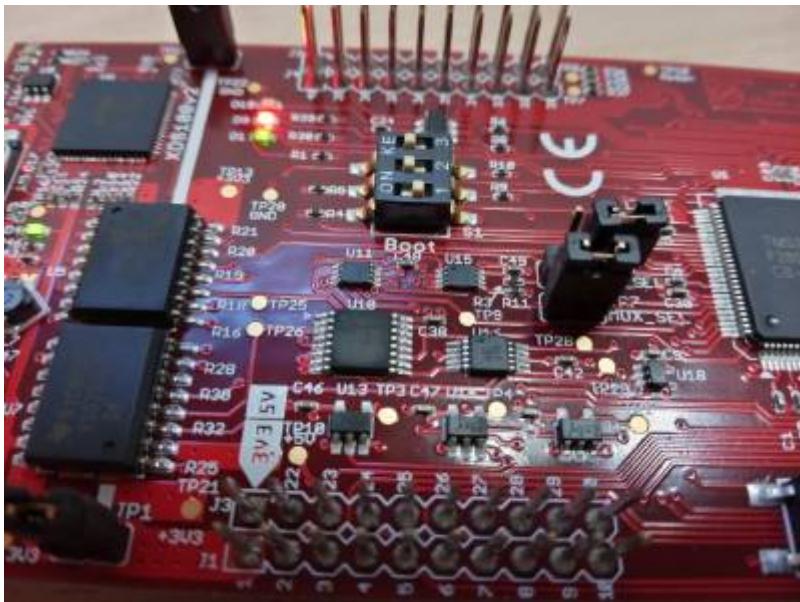
Im Simulinkbeispiel lässt sich über den Schalter die LED D10 aktivieren und deaktivieren.

Dazu muss in Simulink unter Hardware- Run on Hardware - Monitor&Tune gewählt

werden.

Falls der Download scheitert:

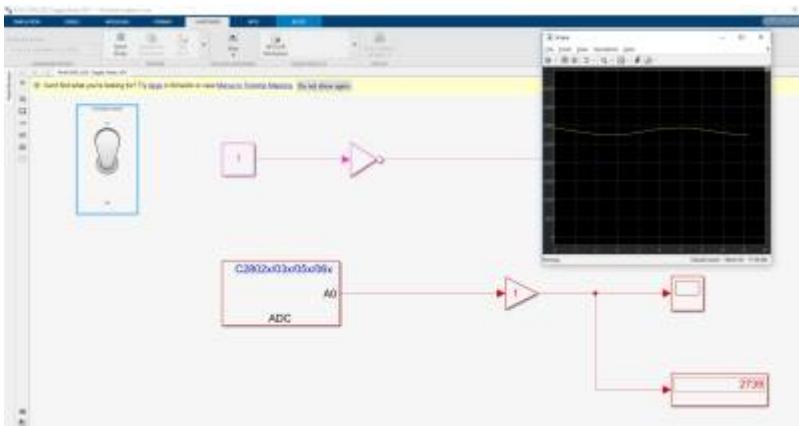
- Unter COM-Port im Gerätemanager muss XDS100 Class USB verfügbar sein, siehe  
<https://e2e.ti.com/support/microcontrollers/c2000/f/171/t/670519>
- Achtung: Schalter der Boot-Mode Switches beachten. Download aus Simulink mit Modus 2 Emulation Boot, siehe Launchpad Manual
- In Simulink muss der richtige COM-Port gewählt werden, siehe  
<https://de.mathworks.com/help/supportpkg/texasinstrumentsc2000/ug/external-mode.html>



## Daten vom ADC lesen

Über den Block ADC lässt sich der Analog- Digitalwandler konfigurieren und einlesen.

**To Do:** Wo ist der Unterschied zum Block AIOX?

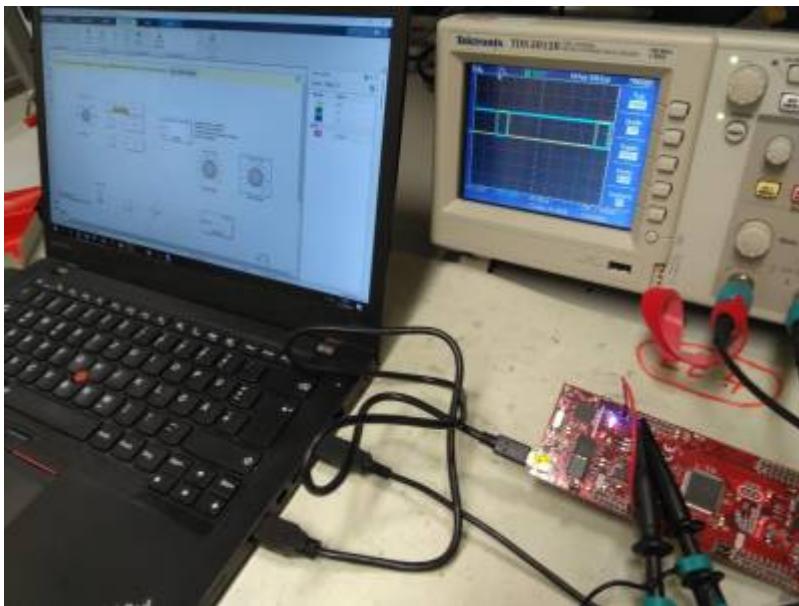


firstc2000\_led\_toggle\_read\_adc.zip

## PWM Ausgabe

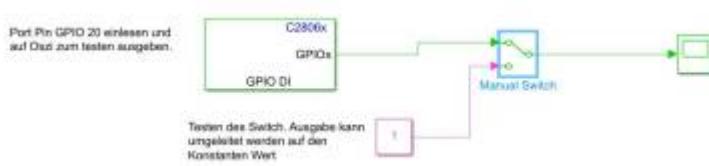
Die nächste Herausforderung besteht darin eine PWM zu generieren. Idealerweise gleich zusammen mit der invertierten Ausgabe zur Ansteuerung einer Halbbrücke.

Folgendes Setup ist eine Erweiterung der bisherigen Versuch zur PWM Ausgabe. Über die Dashboard-Potis lässt sich die Einschaltzeit ändern sowie die Todzeiten für die steigende und fallende Flanke.



firstc2000\_led\_toggle\_read\_adc\_calcvalue\_epwm.zip

## Digitalport einlesen



Der erste Versuch direkt einen Interrupt

t Routine auszulösen über den GPIO Pin 20, siehe unten ging leider schief. Die neue Strategie ist daher erst zu testen einen Digitalen Eingang auszulesen und damit auch zu prüfen ob die Logik-Pegel erkannt werden. Erzeugt werden die Impulse vom GPIO 0 welcher ein in Simulink einstellbares Rechtecksignal ausgibt. Erfreulich ist, dass sich die Signalquelle im Monitor&Tune Modus direkt ändern lassen, siehe

firstc2000\_led\_toggle\_read\_adc\_calcvalue\_epwm\_readdigital.zip

## Interrupt



Das Launchpad besitzt eine Reihe an interruptfähigen Pins. In der Pin-Übersicht des Quick-Start-Guide mit (!) gekennzeichnet. Das folgende Beispiel löst durch einen Flankenwechsel am GPIO20 einen Interrupt aus. In der ISR wird zuerst

Port 20 eingelesen, dann die LED entsprechend dem Port-Pin gesetzt. Achtung, das LED Signal ist invertiert. Zum testen lassen wir uns am GPIO0 ein Rechtecksignal erzeugen. Damit der Interrupt ausgelöst wird muss eine Drahtbrücke von GPIO 0 auf 20 gesetzt werden.

Wichtig ist, dass in Matlab unter Hardware-Settings → Target hardware resources → External Interrupt → der XINT3 ausgewählt wird für GPIO 20. Leider lassen sich nur drei externe Interruptquellen anwählen.

[firstrtc2000\\_led\\_toggle\\_read\\_adc\\_calcvalue\\_epwm\\_interrupt.zip](#)

## Stand-Alone

Um eine Stand-Alone Applikation (ohne Simulinkanbindung) zu generieren müssen folgende Änderungen vorgenommen werden.

- In Simulink unter Hardware Implementation „Boot From Flash“ aktivieren. Danach das Programm mit „Build, Deploy and Start“ auf den Controller flashen. Das Programm startet nach erfolgreichem Flashen auf dem Controller.



- Auf dem Launchpad die Dipschalter (Mäuseklavier) auf die Stellung „Get Mode“ setzen: ON ON OFF. Damit wird die richtige Bootkonfiguration gesetzt, damit nach einem Spannungsreset das Programm geladen wird.

Dies ist der letzte Schritt bevor die Schaltung sich nicht mehr aus der USB Verbindung versorgt. (Ausgangszustand: OFF ON ON)

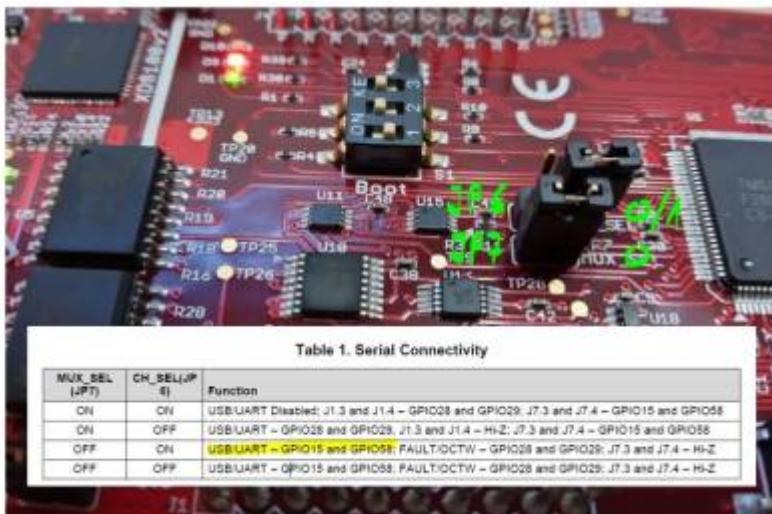
- Jetzt können wir das Launchpad über die Zwischenkreisspannung (Batterie oder ähnliches versorgen). Dazu auf der Leiterplatte JP4 setzen. Auf dem **Launchpad** die Jumper JP1 und JP2 entfernen.

## Monitoring über Serielle Schnittstelle

In vielen Fällen stößt die Monitor&Tune Funktion an Ihre Grenzen. Insbesondere wenn es darum geht Interrupts mit hoher Wiederholrate zu übertragen. Hier ist es sinnvoller den µC ohne Tune-Funktion laufen zu lassen und sich die Werte über die serielle Schnittstelle an den PC (beliebiges Interface) übertragen zu lassen. Besonders einfach geht das natürlich wieder mit Simulink.

Vorgehensweise:

1. Code für µC in Simulink erstellen und über den Button Build, Deploy & Start auf den µC übertragen. Im Code müssen natürlich die zu übertragenden Signale an die Serielle Schnittstelle übergeben werden. (Siehe Beispielcode). Dieser Schritt muss bei jedem Power-Up des µC wiederholt werden. Außerdem, es werden die Jumper-Settings für den Stand-Alone Betrieb gesetzt, siehe oben.
2. Das Serial Communication Interface A ist für den Monitor&Tune Modus reserviert. Zur Übertragung zu einem Host-PC wird das SCI B Modul verwendet. Da der FTDI Serial-To-USB nur einen Kanal beinhaltet müssen wir die Jumper-Settings auf dem Board verändern entsprechend Tabelle 1 im Manual. JP 7 = offen, JP 6 = gesetzt/offen.
3. Simulink als Host und Block zum lesen/schreiben der Seriellen Schnittstelle öffnen. (Achtung, ggf. muss die COMport Nummer angepasst werden.)

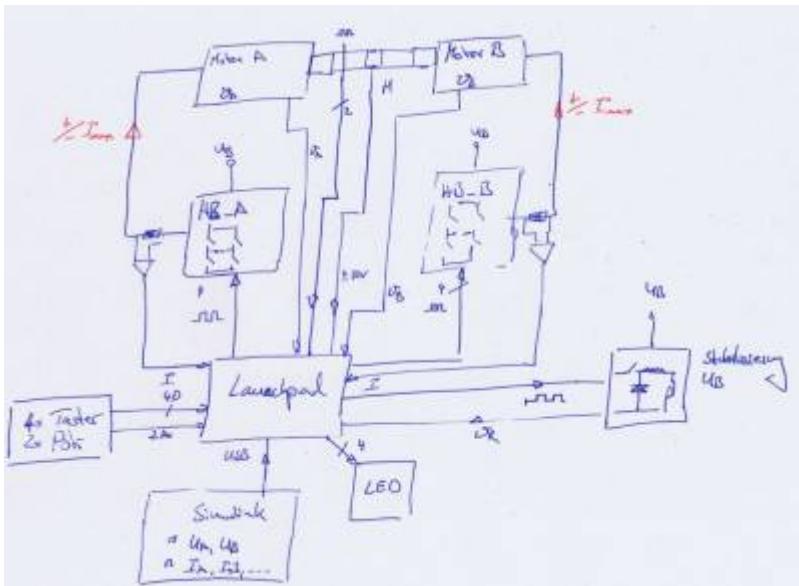


Demo-Download:

host-read.zip

## DC- Motor/Generator Prüfstand

Mit Hilfe von Simulink und dem TI-Launchpad werden zwei gekoppelte Gleichstrommaschinen getrennt voneinander angesteuert.



Hardware:

- Drehzahl / Drehmomentmessung an der Welle
- Strommessung (positiv, negativ) Motor A/B
- Spannung stellen Motor A/B
- Strom stellen Motor A/B (positiv, negativ), im Generatorbetrieb (Strom negativ) muss Leistung in Wärme umgesetzt werden
- Temperatur Motor A/B

Funktionsblöcke in Simulink:

- Konstante Spannung Motor (positiv, negativ) A/B (Strombegrenzung auf +/-  $I_{max}$ )
- Konstanter Motorstrom (positiv, negativ) A/B (Spannungsbegrenzung auf +/-  $U_{max}$ )
- Konstantes Drehmoment (positiv, negativ) A/B (Strombegrenzung)
- Lastsimulation, es können vorgegebene Drehmomentverläufe (z.B. Fahrprofile) abgefahren werden
- Konstante Drehzahl A/B (Spannungsbegrenzung, Strombegrenzung)
- Konstante Position A/B (Spannungsbegrenzung, Strombegrenzung)

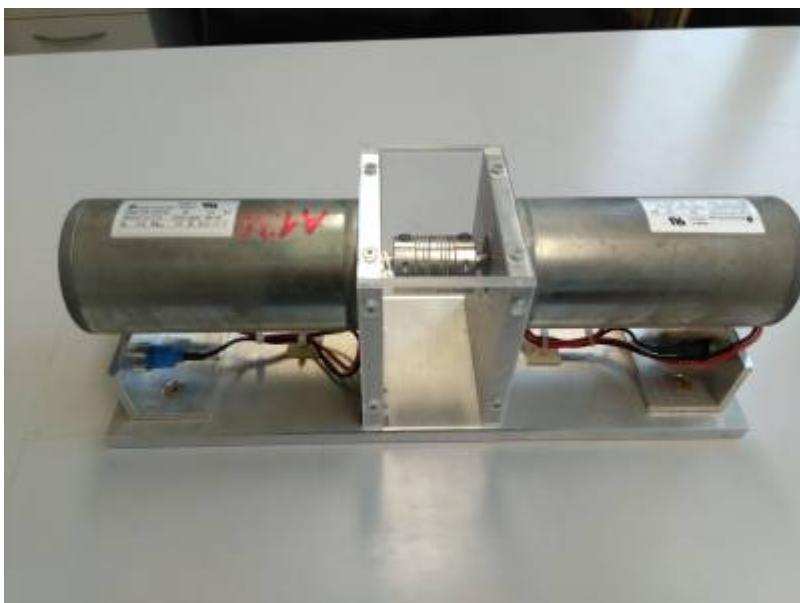
Versuchsdurchführung:

- Messung der Kennlinie  $n(M)$  Motor A, Parameter: Ausgangsspannung
- Messung der Kennlinie  $I(M)$  Motor A, Parameter: Ausgangsspannung
- Wirkungsgrad Motor A
- Hochlaufzeit unter Last

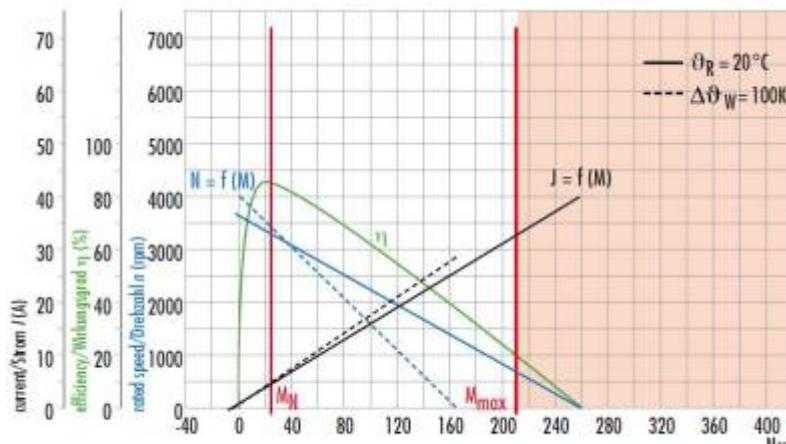
## Hardware-Blöcke

Parameter:

- $U_{max} = 30V$
- $I_{max} = 20A$



Das Bild zeigt den aktuellen Stand der gekoppelten Motoren. [Datenblatt](#)  
Es fehlen noch der Encoder und die Drehmomentmessung.  
Wellendurchmesser: 8mm, Technische Zeichnung  
[gr-63x55-8844201270.pdf](#)



GR 63x55, 24V

Aus Datenblatt: Dunkermotoren.de Kenndaten eines Motors am

Bemessungspunkt: Spannung: 24V Strom: 4,9A Drehzahl: 3350 1/min

Drehmoment: 27Ncm Leistung 94,7W

Weitere Kenndaten: Leerlaufdrehzahl: 3650 1/min Leerlaufstrom: 0,4A

Anlaufmoment (24V): 260Ncm Anlaufstrom 40A Entmagnetisierungsstrom 30A

Hardwarebegrenzung auf 20A ergibt ein maximales Drehmoment der Motoren von 128Ncm. Sicherheitsreserve für Impulsbelastung: Drehmomentmessung bis 300Ncm.

Nachfolgend ein Teil der notwendigen Hardwarekomponenten:

## Leistungswiderstand

Der Widerstand wird verwendet damit im Generatortrieb die erzeugte Energie in Wärme umgesetzt werden kann, da unsere Netzteile im Allgemeinen nicht rückspeisefähig sind.

Beispiel für einzusetzenden Lastwiderstand:

<https://de.farnell.com/arcol/hs100-r10-j/drahtwiderstand-0r1-5-axial/dp/2478150>

Der Widerstand darf nicht zu groß gewählt werden, da ansonst nur für hohe Drehzahlen (große Uind)

ein außreichend großer Strom fließen kann.

Der Widerstand muss zusätzlich auf einem Kühlkörper montiert werden und wird mit einem Temperatursensor ausgestattet.

Die Ansteuerung des Widerstandes erfolgt über PWM (min. 50kHz) über das Launchpad, geregelt wird auf konstante Versorgungsspannung.

Der Leistungswiderstand wird in der ersten Version der Schaltung nicht weiter verfolgt, da stets zwei gekoppelte Motoren verwendet werden. Die Gefahr eines ungewollten Rückspeisens entsteht aufgrund der Verluste in der Leistungselektronik und den Motoren nicht.

## Spannungsversorgung

Die Motoren müssen jeweils separat mit einer Spannung  $-U_{max} \leq U \leq +U_{max}$  angesteuert werden können.

Der maximale Laststrom wird auf  $+/-I_{max}$  begrenzt.

Die Ansteuerung der Spannungsregelung erfolgt über das Launchpad, geregelt wird auf konstante Ausgangsspannung.

## Drehmomentsensor

Das an der Welle anliegende Drehmoment wird mittels einem Drehmomentsensor erfasst.

Analoger Messbereich  $+/-10V$  für z.B.  $M_{max} = 1Nm$

<https://www.burster.de/de/drehmomentsensoren/p/detail/8661/>

Nach den ersten Anfragen bei Herstellern von Drehmomentsensoren ist klar, dass sich die Messwellen im Bereich von  $> 2000\text{€}$  abspielen → viel zu teuer.

Wir werden daher den Antriebsmotor frei lagern und über einen Hebelarm die Kraft auf einen Hebelarm messen.

## Encoder

Zur Drehzahl und Drehrichtungserkennung muss ein Encoder zum Einsatz kommen.

Der Encoder RE30/500 ist mit 5V Impulsausgängen A, B und einem Indexausgang ausgestattet.

## Pinbelegung Launchpad Hardware V01

Funktion	Analog / Digital	Anpassung	Launchpad	Launchpad Pin	Schaltplanlabel	Sonstiges, Schutzbeschaltung
PWM Out Motor A HB_A_Links_HS HalbBrücke_A_Links_HighSide	D	Logikpegel Treiber	1PWM_AH EPWM1A	40	M1B1H_IN	Todzeiteinstellung für jede Halbbrücken im µC ermöglichen
PWM Out Motor A HB_A_Links_LS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_AL EPWM1B	39	M1B1L_IN	
PWM Out Motor A HB_A_Rechts_HS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_BH EPWM2A	38	M1B2H_IN	
PWM Out Motor A HB_A_Rechts_LS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_BL EPWM2B	37	M1B2L_IN	
PWM Out Motor A* HB_A*_HS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_CH EPWM3A	36	M1B3H_IN	Vorhalt für BLDC Ansteuerung Motorport A
PWM Out Motor A* HB_A*_LS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_CL EPWM3B	35	M1B3L_IN	Vorhalt für BLDC Ansteuerung Motorport A
PWM Out Motor B HB_B_Links_HS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_AH EPWM4A	80	M2B1H_IN	
PWM Out Motor B HB_B_Links_LS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_AL EPWM4B	79	M2B1L_IN	
PWM Out Motor B HB_B_Rechts_HS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_BH EPWM5A	78	M2B2H_IN	
PWM Out Motor B HB_B_Rechts_LS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_BL EPWM5B	77	M2B2L_IN	
PWM Out Motor B* HB_B*_HS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_CH EPWM6A	76	M2B3H_IN	Vorhalt für BLDC Ansteuerung Motorport A
PWM Out Motor B* HB_B*_LS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_CL EPWM6B	75	M2B3L_IN	Vorhalt für BLDC Ansteuerung Motorport A
Strommessung Motorstrom A Messbereich +/- 20A	A	ACS712	ADCINA0	27	Strom_M1_33	
Strommessung Motorstrom B Messbereich +/- 20A	A	ACS712	ADCINB6	6	Strom_M2_33	
Versorgungsspannung +15V	A		ADCINB2	26	+15V_33	Überwachung der Versorgungsspannung,
Batteriespannung	A		ADCINA2	25	Vbat*_33	
Versorgungsspannung +3,3V	A		ADCINB1	24	+3,3V	
Drehmomentmessung I Kraftsensor 1	A	Spannungsteiler	ADCINA6	2	Moment_Pos_33	
Drehmomentmessung II Kraftsensor 1	A	Spannungsteiler	ADCINA7	23	Moment_Neg_33	
Encoder Pulse	D Interrupt 1	Logikpegel anpassen	GPIO19 ECAP1	19	Encoder-HallA_Interrupt_33	Jumper BLDC Hall-Sensoren, Wird auch als ECAP1 benutzt
Encoder Drehrichtung Rechts	D	Logikpegel anpassen	GPIO44	18	Rechts_33	
Encoder Drehrichtung Links	D	Logikpegel anpassen	GPIO14	47	Links_33	
Encoder Index	D Interrupt 2	Logikpegel anpassen	GPIO25 ECAP2	54	Index_HallB_Interrupt_33	Jumper
Vorhalt Hallsensor BLDC	D Interrupt 3	Logikpegel anpassen	GPIO26 ECAP3	58	HallC_33	BLDC Hall-Sensoren
Bafang Speed-Signal	D	Logikpegel anpassen	GPIO16	15	Speed_33	
Taster 1 für manuelle Ansteuerung	D	Pull-Up	GPIO12	5	T1	
Taster 2 für manuelle Ansteuerung	D	Pull-Up	GPIO22	8	T2	

Funktion	Analog / Digital	Anpassung	Launchpad	Launchpad Pin	Schaltplanlabel	Sonstiges, Schutzbeschaltung
Taster 3 für manuelle Ansteuerung	D	Pull-Up	GPIO13	34	T3	Achtung: Liegt auf Enable-Boot. Ggf. problematisch
Potentiometer A	A		ADCINB7	63	Poti 1	Manuelle Drehzahlstellung Motor A (frei Programmierbar in Simulink)
Potentiometer B	A		ADCINB4	64	Poti 2	
Temperatur Motor A	A	LM355 mit Impedanzwandler	ADCINA5	65	Temperatur1_33	
Temperatur Motor B	A	LM355 mit Impedanzwandler	ADCINB5	66	Temperatur2_33	
LED-Anzeige	D		GPIO51	12	LED Rot	
LED-Anzeige	D		GPIO27	59	LED_Grün	
Display i2C, SCL	D		SCL GPIO 33	9	SCL	
Display i2C, SDA	D		SDA GPIO 32	10	SDA	
Analoge Erweiterung 1	A		ADCINB0	28		
Analoge Erweiterung 2	A		ADCINA1	29		



Aktualisiert 05.04.2020:

Die aktuelle Schaltung mit PCB zum Download in der ersten Version:

[dcdc\\_v01\\_update.zip](#)

Das Layout zur Inbetriebnahme der Schaltung in Simulink ermöglicht einen schnellen Test aller IOs.



Folgende Tests können durchgeführt werden:

- LEDs aktivieren
- Externe Schalterposition einlesen
- Pegel der Hall und Encodersignale einlesen
- Zeit zwischen zwei Hall-Flanken ermitteln
- Test aller Halbbrücken
- Analog-Werte einlesen und umwandeln

[Download der Inbetriebnahme-Software](#)

inbetriebnahme\_v05.zip

Fazit und Erkenntnisse während des Aufbaus der Inbetriebnahmesoftware:

- Compiler und Flash-Vorgang dauert sehr lange.
- Dashboard Anzeigeelemente funktionieren leider nicht. Zur Anzeige stehen nur Display und Scopes zur Verfügung
- Das eCap Modul zur Messung der Periodendauer (Encoder) läuft nur alleine. Eine gleichzeitige Portabfrage über GPIO DI Pin ist nicht möglich

## Pinbelegung Launchpad Hardware V02

Die Umsetzung der ersten Hardware V01 hat nahezu problemlos funktioniert. Für die Hardware der zweiten Generation werden folgende Änderungen vorgenommen:

Nr.	Änderungen zu V01
1	Falsches Label zur Spannungsmessung 3,3V, daher keine Verbindung auf dem PCB
2	3x Zusätzliche Stromsensoren zur Messung der Phasenströme Motor A
3	Wechsel auf IR2110 Treiber mit SD Eingang, da die PWM ansonsten nicht deaktiviert werden kann.
4	PWM 0% bedeutet die Low-Side Mosfets sind dauerhaft geschlossen womit kein Freilauf möglich ist. SD Pin deaktiviert die Brücken.
5	Ausgabe der Encoder Impulse über Jumper optional auf Hall C.
6	Damit kann später auf Position geregelt werden. Simulink erlaubt keine doppelte Pinfunktion z.B. eCAP und gleichzeitig einen Interrupt
7	Neuer Drehmomentsensor mit 50N, da aktuelle Version mit 10N zu gering
8	Taster 1 und 2 werden auf ADC-Ports gesetzt, damit mehr GPIO freiwerden
9	Analoge Erweiterungsports entfallen

## Pinbelegung für V02

Funktion	Analog / Digital	Anpassung	Launchpad	Launchpad Pin	Schaltplanlabel	Sonstiges, Schutzbeschaltung
PWM Out Motor A HB_A_Links_HS HalbBrücke_A_Links_HighSide	D	Logikpegel Treiber	1PWM_AH EPWM1A	40	M1B1H_IN	Todzeiteinstellung für jede Halbbrücke im µC ermöglichen
PWM Out Motor A HB_A_Links_LS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_AL EPWM1B	39	M1B1L_IN	
<b>SD A Links</b>		Logikpegel Treiber	<b>GPIO50</b>	<b>13</b>	<b>M1B1_SD</b>	<b>Motor 1 Brücke 1 SD</b>
PWM Out Motor A HB_A_Rechts_HS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_BH EPWM2A	38	M1B2H_IN	
PWM Out Motor A HB_A_Rechts_LS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_BL EPWM2B	37	M1B2L_IN	
<b>SD A Rechts</b>		Logikpegel Treiber	<b>GPIO24</b>	<b>55</b>	<b>M1B2_SD</b>	<b>Motor 1 Brücke 2 SD</b>
PWM Out Motor A* HB_A*_HS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_CH EPWM3A	36	M1B3H_IN	Vorhalt für BLDC Ansteuerung Motorport A
PWM Out Motor A* HB_A*_LS	D	Logikpegel Treiber	1PWM_CL EPWM3B	35	M1B3L_IN	Vorhalt für BLDC Ansteuerung Motorport A
<b>SD B*</b>		Logikpegel Treiber	<b>GPIO52</b>	<b>53</b>	<b>M1B3_SD</b>	<b>Motor 1 Brücke 3 SD</b>
PWM Out Motor B HB_B_Links_HS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_AH EPWM4A	80	M2B1H_IN	
PWM Out Motor B HB_B_Links_LS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_AL EPWM4B	79	M2B1L_IN	
<b>SD B Links</b>	D	Logikpegel Treiber	<b>GPIO53</b>	<b>52</b>	<b>B2B1_SD</b>	<b>Motor 2 Brücke 1 SD</b>
PWM Out Motor B HB_B_Rechts_HS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_BH EPWM5A	78	M2B2H_IN	
PWM Out Motor B HB_B_Rechts_LS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_BL EPWM5B	77	M2B2L_IN	
<b>SD B Rechts</b>	D	Logikpegel	<b>GPIO12</b>	<b>5</b>	<b>M2B2_SD</b>	<b>Motor 2 Brücke 2 SD</b>
PWM Out Motor B* HB_B*_HS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_CH EPWM6A	76	M2B3H_IN	Vorhalt für BLDC Ansteuerung Motorport A
PWM Out Motor B* HB_B*_LS	D	Logikpegel Treiber	2PWM_CL EPWM6B	75	M2B3L_IN	Vorhalt für BLDC Ansteuerung Motorport A

Funktion	Analog / Digital	Anpassung	Launchpad Pin	Launchpad Pin	Schaltplanlabel	Sonstiges, Schutzbeschaltung
<b>SD B*</b>	D	Logikpegel Treiber	<b>GPIO22</b>	<b>8</b>	<b>M2B3_SD</b>	<b>Motor 2 Brücke 3 SD</b>
Strommessung Motorstrom A Messbereich +/- 20A	A	ACS712	ADCINA0	27	Strom_M1_33	
<b>Strommessung Motor 1 Brücke 1</b>	A	ACS712	<b>ADCINA3</b>	<b>67</b>	<b>Strom_M1_B1_33</b>	<b>Phasenstrom Motor 1 B1</b>
<b>Strommessung Motor 1 Brücke 2</b>	A	ACS712	<b>ADCINB3</b>	<b>68</b>	<b>Strom_M1_B2_33</b>	<b>Phasenstrom Motor 1 B2</b>
<b>Strommessung Motor 1 Brücke 3</b>	A	ACS712	<b>ADCINA4</b>	<b>69</b>	<b>Strom_M1_B3_33</b>	<b>Phasenstrom Motor 1 B3</b>
Strommessung Motorstrom B Messbereich +/- 20A	A	ACS712	ADCINB6	6	Strom_M2_33	
Versorgungsspannung +15V	A		ADCINB2	26	+15V_33	Überwachung der Versorgungsspannung,
Batteriespannung	A		ADCINA2	25	Vbat*_33	
Versorgungsspannung +3,3V	A		ADCINB1	24	+3,3V	
Drehmomentmessung I Kraftsensor 1	A	Spannungsteiler	ADCINA6	2	Moment_Pos_33	
Drehmomentmessung II Kraftsensor 1	A	Spannungsteiler	ADCINA7	23	Moment_Neg_33	
Encoder Pulse ECPA Modul	D Interrupt 1	Logikpegel anpassen	GPIO19 ECAP1	19	Encoder-HallA_Interrupt_33	Jumper BLDC A Hall-Sensor oder ECAP1 Modul
Encoder Drehrichtung Rechts	D	Logikpegel anpassen	GPIO44	18	Rechts_33	
Encoder Drehrichtung Links	D	Logikpegel anpassen	GPIO14	47	Links_33	
Encoder Index	D Interrupt 2	Logikpegel anpassen	GPIO25 ECAP2	54	Index_HallB_Interrupt_33	Jumper BLDC B Hall-Sensor oder Encoder Index
<b>Vorhalt Hallsensor BLDC</b>	D Interrupt 3	Logikpegel anpassen	GPIO26 ECAP3	58	<b>HallC_33</b> <b>Encoder-HallC_Interrupt_33</b>	<b>Jumper BLDC Hall-Sensoren oder Encodersignal zur Positionsbestimmung</b>
Bafang Speed-Signal	D	Logikpegel anpassen	GPIO16	15	Speed_33	
<b>Taster 1 für manuelle Ansteuerung</b>	D	Pull-Up	<b>GPIO12 ADCINB0</b>	<b>5 28</b>	T1	<b>Keine GPIO mehr übrig. Lösung über ADC Ports</b>
<b>Taster 2 für manuelle Ansteuerung</b>	D	Pull-Up	<b>GPIO22 ADCINA1</b>	<b>8 29</b>	T2	<b>Keine GPIO mehr übrig. Lösung über ADC Ports</b>
Taster 3 für manuelle Ansteuerung	D	Pull-Up	GPIO13	34	T3	
Potentiometer A	A		ADCINB7	63	Poti 1	Manuelle Drehzahlstellung Motor A (frei Programmierbar in Simulink)
Potentiometer B	A		ADCINB4	64	Poti 2	
Temperatur Motor A	A	LM355 mit Impedanzwandler	ADCINA5	65	Temperatur1_33	
Temperatur Motor B	A	LM355 mit Impedanzwandler	ADCINB5	66	Temperatur2_33	
LED-Anzeige	D		GPIO51	12	LED_Rot	
LED-Anzeige	D		GPIO27	59	LED_Grün	
Display i2C, SCL	D		SCL GPIO 33	9	SCL	
Display i2C, SDA	D		SDA GPIO 32	10	SDA	
Analoge Erweiterung-1	A		ADCINB0	28		
Analoge Erweiterung-2	A		ADCINA1	29		

Hardware Version DCDC\_V02 zum Download:

**dcdc\_v02.zip**

Leider habe ich es in KiCad nicht geschafft alle Projektdateien umzubenennen da ansonsten ständig die Footprints verlorengehen.

Daher bleibt die Bezeichnung der Schaltpläne auf V01. KiCad ist hier leider nicht sehr benutzerfreundlich ..... (oder ich kenne mich zu wenig aus)

Schaltplan als pdf:

**dcdc\_v02.pdf**

Software zur Inbetriebnahme der DCDC\_V02 Hardware:

**inbetriebnahme\_v07\_4\_dcdc02.zip**

## **Pinbelegung Launchpad Hardware V03**

Aktualisiert: 15.04.2021

Die Pinbelegung zu V02 hat sich nicht geändert. Allerdings wurden einige Fehler behoben und die Schaltung optimiert:

Nr.	Änderungen zu V02
1	3,3V für Stand-Alone Betrieb wird über einen LM2574 generiert (alt Spannungsregler)
2	Kraftsensoren werden über 3,3V angesteuert (Entfall Spannungsteiler)
3	Temperatursensoren werden mit 3,3V versorgt (Entfall Spannungsteiler)
4	Wechsel der Stromsensoren auf ACS725 (Entfall Spannungsteiler)
5	Impedanzwandler werden mit 3,3V versorgt (Entfall Spannungsteiler)

Hardware V02 war noch stark geprägt von der 5V Welt. Unnötigerweise mussten alle Signale zum µC dadurch über Spannungsteiler reduziert werden wodurch zusätzliche Bauteile und Messfehler entstehen.

V03 versucht daher möglichst viele Signale und Peripherie auf der 3,3V Ebene anzusteuern.

Schaltplan:

**schaltplan\_dcdc\_v03.pdf**

KiCAD-Projekt mit Bestellliste:

**dcdc\_v03\_kicad.zip**

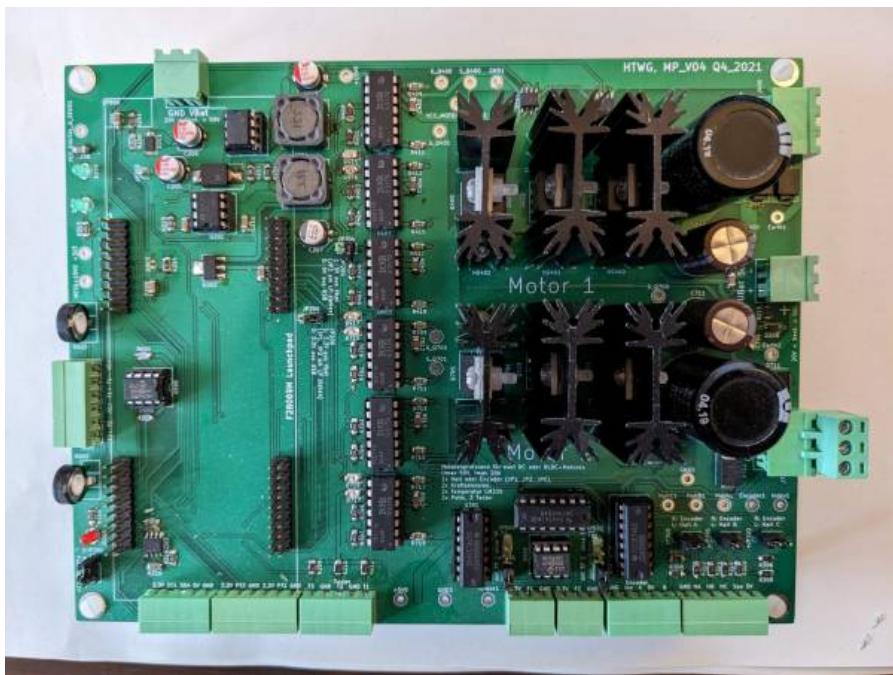
Bekannte Fehler in V03:

- Fehler in der Temperaturmessung, muss überarbeitet werden

## Pinbelegung Launchpad Hardware V04

Aktualisiert: 15.01.2023

Die Hardware V04 beinhaltet eine Reihe an Änderungen welche die Schaltung deutlich robuster machen soll gegenüber ungewolltes Verpolen der Eingangsspannung sowie eventuell auftretenden Überspannungen. Die Spannungsversorgung wurde optimiert und eine visuelle Anzeige der Gate-Signale mit eingefügt.



Schaltplan:

[schaltplan\\_dc/dc\\_v04.pdf](#)

KiCAD Projekt:

[dc/dc\\_v04\\_kicad.zip](#)

Nr.	Änderungen zu V03
1	Neue Bauteilbezeichnung

Nr.	Änderungen zu V03
2	Separate Spannungsversorgung der Treiber möglich über VBat. Dadurch auch ZK-Spannungen an UBat < 15V möglich. Falls die ZK-Spannung (UBat) unter VBat sinkt wird automatisch auf VBat gewechselt
3	
4	
5	

Nr.	Fehler in V04
1	Jumperbezeichnungen der Spannungsversorgung im Schaltplan falsch
2	
3	
4	
5	

### Pinbelegung für V04

Funktion	Analog / Digital	Anpassung	Launchpad	Launchpad Pin	Schaltplanlabel	Sonstiges, Schutzbeschaltung
Motor 1						
Motor 1, Halbbrücke U, Highside	D	Logikpegel Treiber	1PWM_AH EPWM1A	40	PWM_U_HIGH_BRIDGE1	Todzeiteinstellung für jede Halbbrücken im µC ermöglichen
Motor 1, Halbbrücke U, Lowside	D	Logikpegel Treiber	1PWM_AL EPWM1B	39	PWM_U_LOW_BRIDGE1	
SD Halbbrücke U, Motor 1		Logikpegel Treiber	GPIO50	13	U_SD_BRIDGE1	Motor 1 Brücke 1 SD
Motor 1, Halbbrücke V, Highside	D	Logikpegel Treiber	1PWM_BH EPWM2A	38	PWM_V_HIGH_BRIDGE1	
Motor 1, Halbbrücke V, Lowside	D	Logikpegel Treiber	1PWM_BL EPWM2B	37	PWM_V_LOW_BRIDGE1	
SD Halbbrücke V, Motor 1		Logikpegel Treiber	GPIO24	55	V_SD_BRIDGE1	Motor 1 Brücke 2 SD
Motor 1, Halbbrücke W, Highside	D	Logikpegel Treiber	1PWM_CH EPWM3A	36	PWM_W_HIGH_BRIDGE1	
Motor 1, Halbbrücke W, Lowside	D	Logikpegel Treiber	1PWM_CL EPWM3B	35	PWM_W_LOW_BRIDGE1	
SD Halbbrücke W, Motor 1		Logikpegel Treiber	GPIO52	53	W_SD_BRIDGE1	Motor 1 Brücke 3 SD
Motor 2						
Motor 2, Halbbrücke U, Highside	D	Logikpegel Treiber	2PWM_AH EPWM4A	80	PWM_U_HIGH_BRIDGE2	
Motor 2, Halbbrücke U, Lowside	D	Logikpegel Treiber	2PWM_AL EPWM4B	79	PWM_U_LOW_BRIDGE2	
SD Halbbrücke U, Motor 2	D	Logikpegel Treiber	GPIO53	52	U_SD_BRIDGE2	Motor 2 Brücke 1 SD

Funktion	Analog / Digital	Anpassung	Launchpad	Launchpad Pin	Schaltplanlabel	Sonstiges, Schutzbeschaltung
Motor 2, Halbbrücke V, Highside	D	Logikpegel Treiber	2PWM_BH EPWM5A	78	PWM_V_HIGH_BRIDGE2	
Motor 2, Halbbrücke V, Lowside	D	Logikpegel Treiber	2PWM_BL EPWM5B	77	PWM_V_LOW_BRIDGE2	
SD Halbbrücke V, Motor 2	D	Logikpegel	GPIO12	5	V_SD_BRIDGE2	Motor 2 Brücke 2 SD
Motor 2, Halbbrücke W, Highside	D	Logikpegel Treiber	2PWM_CH EPWM6A	76	PWM_W_HIGH_BRIDGE2	
Motor 2, Halbbrücke W, Lowside	D	Logikpegel Treiber	2PWM_CL EPWM6B	75	PWM_W_LOW_BRIDGE2	
SD Halbbrücke W, Motor 2	D	Logikpegel Treiber	GPIO22	8	W_SD_BRIDGE2	Motor 2 Brücke 3 SD
ZK_Stromaufnahme Motor 1 Messbereich +/- 20A	A	ACS712	ADCINA0	27	Strom_M1	Brückeneingangsstrom Motor 1
Strommessung Motor 1 Brücke 1	A	ACS712	ADCINA3	67	Strom_U_M1	Phasenstrom Motor 1 B1
Strommessung Motor 1 Brücke 2	A	ACS712	ADCINB3	68	Strom_V_M1	Phasenstrom Motor 1 B2
Strommessung Motor 1 Brücke 3	A	ACS712	ADCINA4	69	Strom_W_M1	Phasenstrom Motor 1 B3
ZK_Stromaufnahme Motor 1 Messbereich +/- 20A	A	AC5712	ADCINB6	6	Strom_M2_33	Brückeneingangsstrom Motor 1
Versorgungsspannung +15V	A		ADCINB2	26	+15V_33	
Batteriespannung	A	Spannungsteiler 0,06383	ADCINB0	28	VCC_Motor_U_Sense	
<b>Versorgung Digitalteil (Redundant)</b>	A	Spannungsteiler 0,06383	ADCINA2	25	VCC_Digital_U_Sense	
Versorgungsspannung +3,3V	A		ADCINB1	24	+3,3V	
Drehmomentmessung I Kraftsensor 1	A		ADCINA6	2	Moment_Pos_33	
Drehmomentmessung II Kraftsensor 2	A		ADCINA7	23	Moment_Neg_33	
Encoder Pulse ECPA Modul	D Interrupt 1	Logikpegel anpassen	GPIO19 ECAP1	19	Encoder-HallA_Interrupt_33	Jumper BLDC A Hall-Sensor oder ECAP1 Modul
Encoder Drehrichtung Rechts	D	Logikpegel anpassen	GPIO44	18	Rechts_33	
Encoder Drehrichtung Links	D	Logikpegel anpassen	GPIO14	47	Links_33	
Encoder Index	D Interrupt 2	Logikpegel anpassen	GPIO25 ECAP2	54	Index_HallB_Interrupt_33	Jumper BLDC B Hall-Sensor oder Encoder Index
Vorhalt Hallsensor BLDC	D Interrupt 3	Logikpegel anpassen	GPIO26 ECAP3	58	Encoder-HallC_Interrupt_33	Jumper BLDC Hall-Sensor oder Encodersignal zur Positionsbestimmung
Bafang Speed-Signal	D	Logikpegel anpassen	GPIO16	15	Speed_33	

Funktion	Analog / Digital	Anpassung	Launchpad	Launchpad Pin	Schaltplanlabel	Sonstiges, Schutzbeschaltung
Vorhalt Potis / Taster						
<b>Taster 1 für manuelle Ansteuerung</b>	D	Pull-Up	<b>GPIO 21</b>	<b>48</b>	T1	
<b>Taster 2 für manuelle Ansteuerung</b>	D	Pull-Up	<b>GPIO 23</b>	<b>49</b>	T2	
Taster 3 für manuelle Ansteuerung	D	Pull-Up	GPIO13	34	T3	
Potentiometer A	A		ADCINB7	63	Poti 1	Manuelle Drehzahlstellung Motor A (frei Programmierbar in Simulink)
Potentiometer B	A		ADCINB4	64	Poti 2	
Temperatursensoren						
Temperatur Motor A	A	LM355 mit Impedanzwandler	ADCINA5	65	Temperatur1_33	
Temperatur Motor B	A	LM355 mit Impedanzwandler	ADCINB5	66	Temperatur2_33	
Anzeigen						
LED-Anzeige	D		GPIO51	12	LED_Rot	
LED-Anzeige	D		GPIO27	59	LED_Grün	
Display i2C, SCL	D		SCL GPIO 33	9	SCL	
Display i2C, SDA	D		SDA GPIO 32	10	SDA	