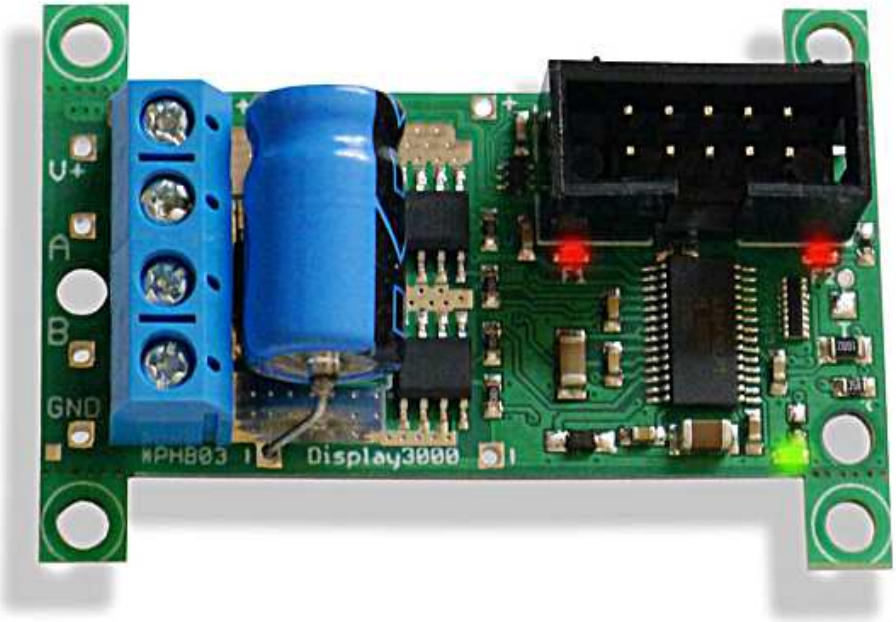
Handbuch für das
H-Brückenmodul / Vierquadrantensteller

HB03-30: 30V – 21A / 170A
HB03-40: 40V – 18A / 140A

V 1.30
3. Mai 2021



© by Peter Küsters

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Es ist nicht gestattet, dieses Dokument zur verändern und komplett oder Teile daraus ohne schriftliche Genehmigung von uns weiterzugeben, es zu veröffentlichen; es als Download zur Verfügung zu stellen oder den Inhalt anderweitig anderen Personen zur Verfügung zu stellen. Zuwiderhandlungen werden verfolgt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2
Einleitung 3
Optionen: 4
Mechanik 5
Generelle Funktionsweise 6
Lieferumfang / Aufbau 7
Anschlüsse 8
Anschlussleitungen generell 9
Spannung 9
Motor 9
Störungsunterdrückung 9
Logiksignale 10
Aktivierung von PwmL 12
Alternativer Betrieb: Vierquadrantensteuerung z.B. für Servosysteme 12
Sonderfall: Verwendung ohne Mikrocontroller bzw. externer Steuerelektronik 12
Übersicht Betriebssituationen und Stromverläufe MOSFETs 14
Normaler Betrieb 14
Wegfall der Spannung am Motor (Bremsen/Freilauf): 15
Tabellarische Übersicht der PWM Optionen 17
Ausgänge zur Fehlererkennung 18
Spannungsversorgung: 20
Tipps für die Zuleitungen / Lastleitungen / Kondensator 21
Fehlermeldung Kurzschluss - Abhilfen: 22
1) Spannungsquelle prüfen 22
2) Hinzufügung eines größeren Eingangskondensators zur Pufferung 22
3) Einfügen eines Lastwiderstands 22
4) Modifikation der Kurzschlusserkennung 24
Übersicht Jumper 25
Erwärmung / notwendige Kühlung 27
Erwärmung der MOSFETs 27
Erwärmung der Leiterbahnen 28
Kühlung / Einbau in ein Gehäuse 28
Kühlkörper Form / Farbe 29
Parallelschaltung von H-Brücken 29
Technische Daten H-HB03: 30
Exkurs Einschaltströme 31
Exkurs: induzierte Überspannung / Selbstinduktion / parasitäre Induktion 32
Fall 1 (Überspannung auf der Lastleitung durch die induktive Last) 32
Fall 2 (Überspannung durch parasitäre Induktion auf der Lastleitung) & 33
Fall 3 (Überspannung d. parasitäre Induktion auf der Versorgungsleitung) 33
Exkurs: Parallelschaltung mehrerer H-Brücken 36
Ein wenig Hintergrundwissen zur Parallelschaltung von Mosfets 37
Linearbetrieb 37
Schaltbetrieb 37
Exkurs PWM 38
PWM Geschwindigkeit 39
Errata: 41
Haftung, EMV-Konformität 42

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Einleitung

Herzlichen Glückwunsch zum Erwerb des H-Brückenmoduls HB03.

Das Modul kann entweder als „normale“ H-Brücke oder als Vierquadrantensteller genutzt werden.

Dieses Modul steuert über wenige Signale (Minimum: zwei) die Geschwindigkeit und die Laufrichtung von Lasten, z.B. Gleichstrom-Elektromotoren. Durch den aufwändigen Aufbau und dem äußerst geringen Innenwiderstand der Transistoren (MOSFETs) können Sie auch sehr leistungsfähige Motoren steuern, die die Brücke mit einem Dauerstrom von bis zu 21A belasten; dabei sind Impulsströme von über 100A erlaubt und möglich. Eine Parallelschaltung von zwei oder mehr Brücken für höhere Ströme ist möglich.

Dieses Modul bereits ab Versorgungs- (Motor)spannungen ab 5,5 Volt einsetzbar (Logiksignale von 3,3*/3,5 Volt bis 5 Volt) und erlaubt auch PWM Tastverhältnisse von 100% (das ist leider nicht selbstverständlich).
*=*Anmerkung: Laut Datenblatt 3,5V; 3,3V Logiksignale sind jedoch i.d.R. auch OK, trotzdem empfehlen wir für diesen Einsatz einen Pegelwandler 3,3V ⇨ 5V.*

Übrigens haben wir die gleiche H-Brücke auch mit Optokoppler-Eingängen im Programm, diese lässt sich dann z.B. direkt von einer SPS ansteuern).

Auf Wunsch (bei Abnahmemengen ab 50 Stück) können wir die H-Brücke auch in den folgenden Ausführungen liefern:

- 50V mit max. 12A Dauerstrom (kurzfristig 97A)
- 60V mit max. 12A Dauerstrom (kurzfristig 97A) (recht aufwändig und teuer, aber machbar)

Definition: auch wenn wir in diesem Handbuch immer von „Motor“ sprechen, können Sie trotzdem quasi jede beliebige ohmsche oder induktive Last an diese H-Brücke anschließen (Lampen, Transformatoren etc.). Das Wort „Motor“ steht also in diesem Handbuch stellvertretend für „Last“.

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Optionen:

Diese H-Brücke kann in verschiedenen Ausführungen geliefert werden. Je nach von Ihnen bei der Bestellung gewählter Ausstattung, sind folgende im Handbuch beschriebene Optionen vorhanden oder fehlen evtl.:

- **Fehleranzeige über LEDs:** über zwei rote Fehler-LEDs sowie eine grüne Status-LED ist der aktuelle Status bzw. Fehlergrund der H-Brücke jederzeit erkennbar.

- **Suppressodiode:** Die bei induktiven Lasten unvermeidbar auftretenden hohen Spannungen (z.B. Selbstinduktion, Generatorbetrieb) können die Mosfets der H-Brücke zerstören. Eine Suppressodiode kann dies verhindern und ist dringend zu empfehlen. Wir bieten unsere Module sowohl mit, als auch ohne eine solche Suppressodiode an. Diese Supressordiode fängt bei 10-15% unterhalb der erlaubten Maximalspannung langsam an zu leiten (bei 30V Mosfets also bei rund 25V; bei 40V Mosfests bei rund 35V) und schließt Überspannungen somit kurz. Die ersten 2-3 Volt fließen nur wenige mA durch die Supressordiode, weshalb wir die Brücke dann mit 26V / 36V kennzeichnen. Auch 27V/37V wären noch tolerabel.

Angeboten werden aktuell die H-Brücken mit 30V und 40V Mosfets sowie mit oder ohne Supressordiode. Die max. erlaubte Spannung ist auf der Unterseite der H-Brücke notiert.

Es gibt 4 mögliche Varianten:

- **30V Mosfets ohne Suppressordiode**
- **26V (wie oben, aber mit Supressordiode)**
  diese Variante ist somit ideal für den Einsatz in 24V Systemen
- **40 V Mosfets, ohne Suppressordiode**
- **36V (wie oben, aber mit Supressordiode)**

- **Kühlkörper für die Mosfests:** Bei dauerhaft hohen Leistungen empfiehlt es sich, zum Schutz der Mosfets, diese mit einem Kühlkörper zu versehen. Wenn Sie die Brücke mit Kühlkörper bestellen, kleben wir diesen bereits mit Wärmeleitkleber (nicht Wärmeleitpaste) fest.

- **Einstellbare Ansprechschwelle der Kurzschlusserkennung:** Die Brücke wird mit einer auf ca. 90% des Maximalstroms voreingestellten Kurzschlusserkennung geliefert. Alternativ ist die H-Brücke mit einem SMD-Potentiometer (auf der Platine) für eine einstellbare Ansprechschwelle lieferbar.

Optionales Zubehör (Lastwiderstände und/oder größerer Elektrolytkondensator) ist evtl. für erste Tests empfehlenswert. Das Handbuch geht im Detail darauf ein. Sprechen Sie uns bitte vor dem Kauf an, sofern Sie unschlüssig sind und Ihr Entwicklungslabor diese Bauteile nicht vorrätig hat.

© www.Display3000.com

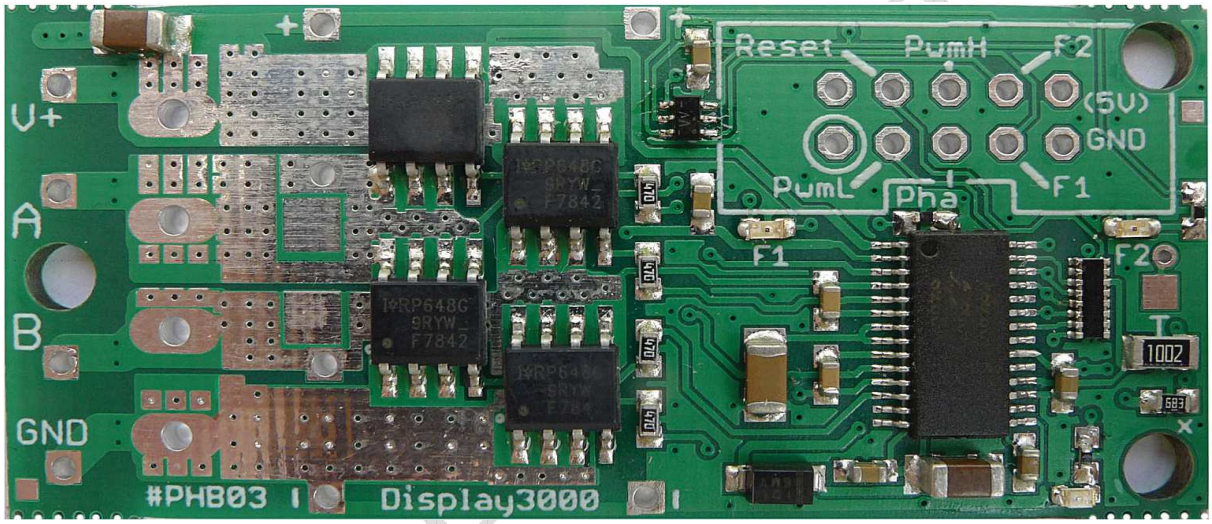
© Peter Küsters - www.display3000.com

Mechanik

Vorab-Anmerkung: Die folgenden Bilder im Handbuch zeigen z.T. ein handgefertigtes Prototypenmodul. Die Lötstellen sind also nicht perfekt. Die ausgelieferten Module sind selbstverständlich perfekt gelötet.

Das Modul ist auf geringe Größe hin entwickelt worden und benötigt lediglich 37 x 55 mm inkl. der vier entfernbaren Montagehalter.
Diese Montagehalter sind vorperforiert, so dass Sie sie mit einer Zange leicht und sauber abbrechen können. Das nachfolgende Bild zeigt die Brücke ohne die 4 Montagehalter (Ohren), die Größe beträgt dann lediglich 25 x 55 mm.

Wir empfehlen jedoch, die Montagehalter sicherheitshalber bis zur endgültigen Positionierung des Moduls in Ihrer Baugruppe nicht zu entfernen.



Sollten Sie Verbesserungswünsche an diesem Handbuch haben (z.B. weil Aspekte nicht oder nicht ausführlich genug besprochen wurden oder weil Sie einen Fehler gefunden haben), freuen wir uns über jeden Hinweis und werden diese in der nächsten Version berücksichtigen. Das kommt am Ende allen Anwendern zu Gute.
Hinweise bitte einfach und unbürokratisch per Mail senden an info@display3000.com

Bitte wundern Sie sich nicht über gelegentliche Redundanz: Damit einige wichtige Informationen auch garantiert nicht übersehen werden können, werden sie mehrmals erwähnt.

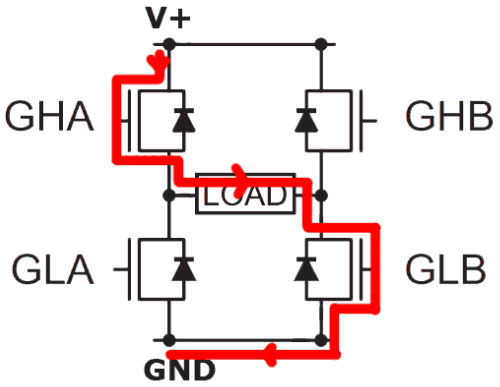
© Peter Küsters - www.display3000.com

Generelle Funktionsweise

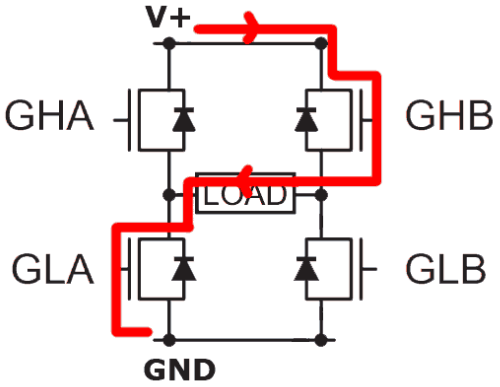
Eine H-Brücke, auch Vierquadrantensteller genannt, erhält ihre Bezeichnung aus dem H-förmigen Aussehen der Beschaltung. Hierbei steuern 4 MOSFET die Last (i.d.R. ein Motor) an. Der Ansteuerchip auf der Platine kümmert sich um das Timing und die Signalkontrolle und sorgt in einem Fehlerfall für die Abschaltung. Die vorliegende H-Brücke entkoppelt durch Optokoppler die Eingänge galvanisch von der Betriebsspannung.

Von den 4 MOSFETs auf der H-Brücke schalten immer zwei Stück gleichzeitig durch und erlauben somit ein Umpolen der Spannung. Dies ist z.B. notwendig, um einen Motor Vorwärts und Rückwärts drehen zu lassen.

Beispiel 1: Motor soll links herum drehen. Der Strom muss von links nach rechts durch den Motor (LOAD) fließen. Dazu wird der obere linke und der untere rechte MOSFET geschaltet.



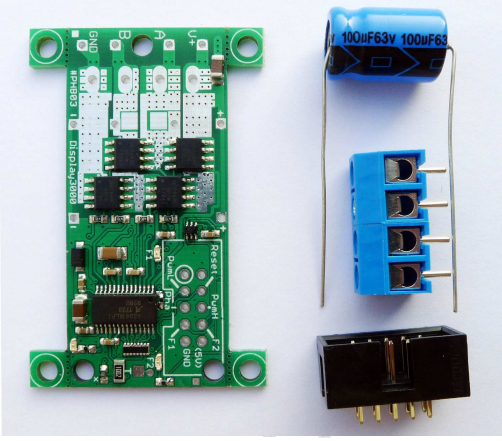
Beispiel 2: Motor soll rechts herum drehen. Der Strom muss für den Drehrichtungswechsel von rechts nach links durch den Motor fließen. Dazu wird nun der obere rechte und der untere linke MOSFET geschaltet.



display3000.com

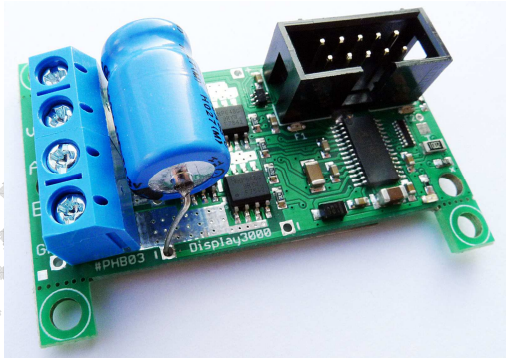
© Peter Küsters - www.display3000.com

Lieferumfang / Aufbau

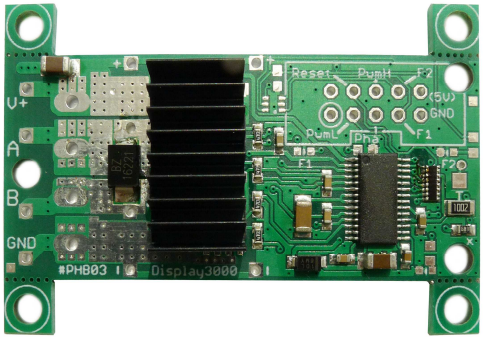


Die H-Brücke wird fertig gelötet zusammen mit den Anschlussbuchsen geliefert, die Sie jedoch je nach Bedarf noch selber einlöten müssen. Alternativ können Sie natürlich die Leitungen für Versorgungsspannung, Last und Logiksignalen direkt einlöten.

Ein evtl. mitbestellter Kühlkörper wird, wenn bestellt, von uns vorab mit Wärmeleitkleber auf die Mosfets aufgeklebt (siehe Bild unten).
Sofern Sie die blauen Anschlussstecker benötigen, löten Sie diese bitte ebenfalls ein.



Die blauen Anschlussstecker sollten Sie vor dem Einlöten durch die vorhandenen seitlichen Nut/Feder-Verbindungen miteinander verbinden (zusammenschieben). Diese blauen Anschlussbuchsen sind bis 15A Strom spezifiziert, wenn Sie größere Ströme erwarten, löten Sie Ihre Leitungen bitte direkt ein. Zum Betrieb der H-Brücke ist der beiliegende Elko zwingend erforderlich. Diesen löten Sie bitte an die rechts gezeigte Position ein. Achten Sie dabei auf die richtige Polung. Plus ist in diesem Falle oben. Lassen Sie bitte genug Platz zwischen den Mosfets (oder dem optionalen Kühlkörper) und dem Elko, um die Luftzirkulation nicht zu beeinträchtigen. Eine zu starke dauerhafte Erwärmung des Elkos wird zudem seine Lebensdauer reduzieren.
Je nach Montagesituation können Sie Elko natürlich auch von der Unterseite der Platine einlöten.



Wenn Sie mit der H-Brücke größere Leistungen schalten, dann fügen Sie bitte einen weiteren Elko mit 1.000µF oder mehr hinzu (siehe auch Seite 21).
Er sollte direkt vor der H-Brücke installiert werden.
Bei der Gelegenheit sollten Sie dann parallel zum Elko noch eine Supressordiode (ca. 25V bei der 30V-Brücke, 35V bei der 40V-Brücke) hinzuschalten. Den Grund hierfür erfahren Sie im Kapitel parasitäre Induktion auf Seite 33 (Fall 3).

Die geringen Ausmaße der Platine bedingen im Hochstrombereich relativ geringe (im Verhältnis zu den möglichen Strömen) Leiterbahnquerschnitte. Daher werden die Leiterbahnen auf beiden Seiten der Platine geführt und zudem mit vielen Durchkontaktierungen versehen. Dies sorgt für eine gute Strom- und Temperaturverteilung. Nur dadurch ist es möglich, dass diese kleine Platine Dauerströme bis 21A erlaubt (Impulsströme bis 170A).

Wichtig: Beim Einlöten der Kabel oder der Anschlussstecker achten Sie bitte darauf, die Kontakte und Platine gut zu erhitzen und mit genügen Lot zu arbeiten, sodass das Lot beim Einlöten auch weit (idealerweise bis zur anderen Platinenseite) in die Durchkontaktierung laufen kann. Dies verbessert die Stromverteilung auf die Leiterbahnen beider Platinenseiten.

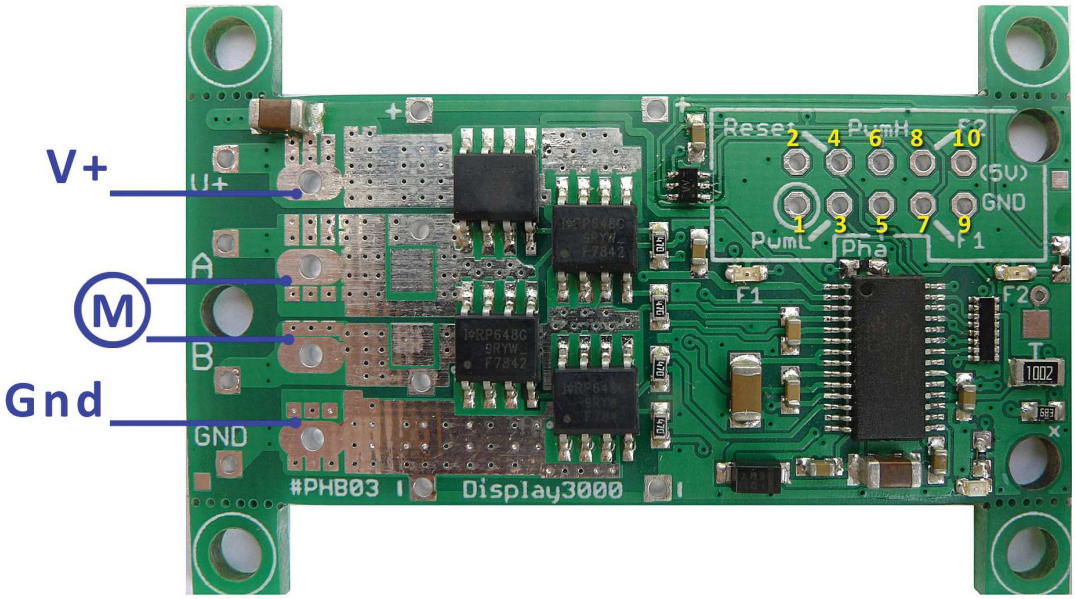
© Peter Küsters - www.display3000.com

Die nachfolgenden Seiten beschreiben den Aufbau, die Funktionsweise und die Limitierungen dieser H-Brücke. Um die H-Brücke klein und kostengünstig zu halten und trotzdem für 90% aller Anwendungen hervorragend geeignet zu sein, mussten gewisse Kompromisse bei der Entwicklung gemacht werden.

Bitte behalten Sie beim Lesen der folgenden Seiten im Hinterkopf, dass wir für Sie jederzeit eine individuell modifizierte Variante fertigen können. Wann immer die existierende universelle H-Brücke Ihren Anforderungen also nicht genügt: wir wandeln sie gerne auf Wunsch ab bzw. entwickeln für Sie eine individuelle, sich exakt an Ihrem Bedarf ausgerichtete Variante. Sprechen Sie uns einfach an.

Anschlüsse

Im nachfolgenden Bild erkennen Sie die Anschlüsse des Moduls. Die Versorgungsspannung und die Last wird links angeschlossen. Bei generell kleineren Strömen oder zusätzlich benötigten Leitungen (z.B. zum Messen), können Sie neben den größeren Lötpads auch die kleineren Lötpads am ganz linken Rand nutzen. Die Logiksignale werden oben rechts zugeführt.



Der Stecker für die Logiksignale (oben rechts) ist wie folgt belegt:

Pin 1 (mit Kreis gekennzeichnet): kein Kontakt
Pin 2: kein Kontakt
Pin 3: Pwm L *(Input)*
Pin 4: Reset *(Input) - siehe auch optionaler Sonderfall (Jumper J3)*
Pin 5: Phase *(Input)*
Pin 6: Pwm H *(Input)*
Pin 7: Leitung Erkennung Fehler 1 (*Output;* High = Fehler; Low = OK)
Pin 8: Leitung Erkennung Fehler 2 (*Output;* High = Fehler; Low = OK)
Pin 9: GND (kann über Jumper J1 getrennt werden)
Pin 10: 5 Volt Ausgang (wenn Jumper J2 geschlossen wird), max. bis 15-20mA belastbar
Jumperbeschreibungen siehe Seite 25

© Peter Küsters - www.display3000.com

Anschlussleitungen generell

Beachten Sie bitte, dass die genutzten Leitungen (Lastspannung und Motor) ausreichend dimensioniert werden. Als Daumenregel gilt: pro 10 Ampere 1 mm² Querschnitt. Mit einem 2,5mm² Kabel sind Sie also in der Regel gut gerüstet. Zu dünne Leitungen bei der Versorgungsspannung können wg. des verbundenen Spannungseinbruchs zu einer falschen Kurzschlussfehlermeldung führen.
Bitte beachten Sie zudem bei der Wahl und der Verlegung der Anschlussleitungen (sowohl zur Spannungsversorgung als auch zur Last) unbedingt die Anmerkungen zur parasitären Induktion auf Seite 32ff, speziell Seite 33 (Fall 2 & Fall3).

Spannung

An **V+** und **GND** wird Ihre Versorgungsspannung für die Brücke und den Motor gelegt. Diese darf zwischen 5,5 Volt und 30V bzw. 40V (je nach gewählter H-Brücke) betragen.

Die Logiksignale (High) zum Steuern dürfen zwischen 3,5 und 5,5 Volt betragen (Low: 0 bis 1 Volt). Anmerkung: 3,3V Logiksignale sind i.d.R. auch OK, trotzdem empfehlen wir für diesen Einsatz einen Pegelwandler 3,3V ⇨ 5V.

Achten Sie beim Anschluss einer Spannungsquelle darauf, dass diese auch genügend Strom liefern kann. Ein Motor, mit einem Anlaufstrom mit z.B. 10A kann evtl. NICHT durch ein 5A Netzteil betrieben werden (auch wenn der Motor im Standardbetrieb vielleicht nur 1A benötigt). Der Grund: Die Spannung des Netzteils bricht beim Anlaufen des Motors ein und das Board interpretiert dies als Kurzschluss. Um dies zu verhindern, ist die eine oder andere Vorkehrung notwendig. Mehr dazu im Kapitel Fehlermeldungen auf Seite 22. Auch kann ein größerer Eingangskondensator helfen, die notwendigen Ströme kurzfristig bereitzustellen (siehe auch Seite 21).

Motor

An den Anschluss **„M“** wird Ihr Motor angeschlossen – die Polung des Motors ist unerheblich, denn die Laufrichtung des Motors legen Sie über das Logiksignal *Phase* fest (siehe nächstes Kapitel). Die MOSFETs sind sehr robust und haben einen sehr geringen Innenwiderstand, der Motor kann theoretisch beim Anlauf einen Strom von bis zu 140 Ampere und im Betrieb einen Dauerstrom von max. 18 A ziehen. Bitte lesen Sie auch unbedingt das Kapitel „Kühlung“.

Anmerkung 1: Die Brücke kann bei hohen Strömen jedoch in den Fehlermodus „Kurzschluss“ gehen – bitte lesen Sie hierzu das Kapitel „Kurzschluss“ auf Seite 22.
Anmerkung 2: Um die H-Brücke gegen durch den Motor induzierte Überspannung zu schützen, lesen Sie bitte **unbedingt** das Kapitel „Schutz vor Überspannung“ auf Seite 20.

Störungsunterdrückung

Bitte beachten Sie, dass der Betrieb von Motoren, speziell bei PWM-Betrieb, u.U. Störungen verursachen wird. Wir empfehlen daher, parallel zum Motor (direkt am Motor) einen ca. 10nF großen Kondensator anzuschließen (Spannungsfestigkeit des Kondensators: mindestens doppelte Betriebsspannung, bei 24V also 50V oder mehr).

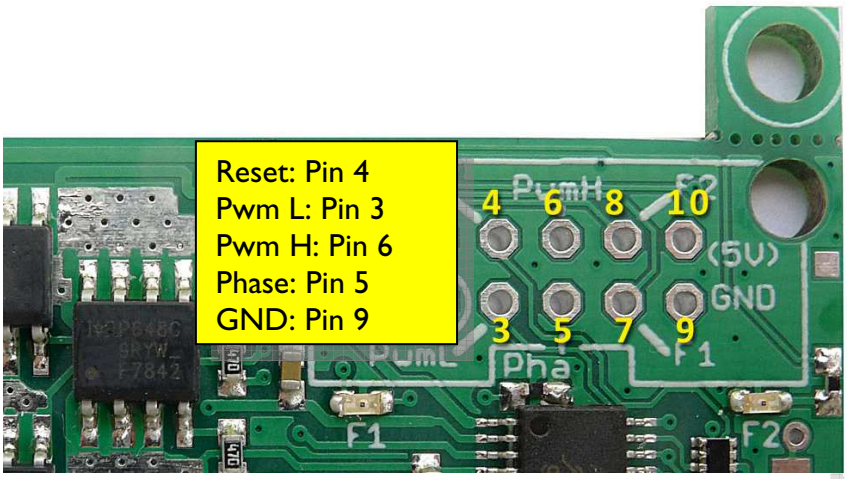
Weitere wichtige Details zu Spannung und Strom erfahren Sie Kapitel Spannungsversorgung.

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Logiksignale

Über die Kontakte am oberen Rand steuern Sie das Modul – z.B. mittels eines Mikrocontrollers. Die Signalpegel dürfen zwischen 3,5V und 5,5 V betragen *(3,3V Logiksignale sind i.d.R. auch OK, trotzdem empfehlen wir für diesen Einsatz einen Pegelwandler 3,3V ⇨ 5V).*



Achten Sie auch auf eine Masseverbindung zwischen Modul und Ihrem Mikrocontroller über das Pad 9 (GND). Um einen störungsfreien Betrieb zu ermöglichen, sollten Sie diese Verbindung nicht über den GND Anschluss der Motor-Versorgungsspannung herstellen.

Das mit 5V Pad gekennzeichnete Pad ist im Lieferzustand nicht kontaktiert. Durch Schließen von Jumper J2 auf der Unterseite der Platine (siehe auch Seite 25)wird es mit dem 5V Ausgang des Steuerchips verbunden. Diese 5V sind zur Steuerung (siehe übernächste Seite) oder notfalls auch für andere externe Elektronik nutzbar (der Ausgang ist max. bis 25mA belastbar). Bedenken Sie aber bitte, dass diese 5V Spannung während eines Resets der H-Brücke ausfällt.

Eingänge – Pulldown-Widerstände

Für die Steuerung grundsätzlich wichtig und notwendig sind nur die **Leitungen PwmH und Phase** (evtl. noch Reset). Alle Logikeingänge (PWM L, PWM H, Phase) liegen über einen 47K Pulldown-Widerstand an GND (Reset: 50 K Pulldown).

Phase: Low/High wechselt die Laufrichtung des Motors.

PWM: hiermit wählen Sie die Geschwindigkeit. Ein dauerhaftes High-Signal bedeutet volle Geschwindigkeit, ein Low-Signal bedeutet Stopp. Mittels eines pulsweitenmodulierten Signals (max. 40 Khz) betreiben Sie den Motor in jeder gewünschten Geschwindigkeit. Mehr zu PWM im Allgemeinen finden Sie in unserem Exkurs PWM ganz am Ende dieses Manuals.

Die Leitung ***Reset*** muss von Ihnen auf HIGH gelegt werden, um die Brücke zu betreiben. Mit einem fehlenden bzw. einem dauerhaften Low-Signal wird die Brücke zurückgesetzt bzw. in den Sleep-Modus versetzt. Der Aufweckvorgang (nach einem High) benötigt ca. 3ms.

© www.Display3000.com

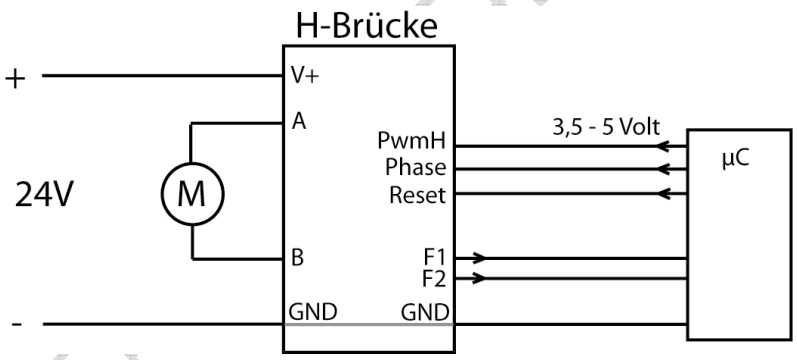
Anmerkung: Wenn Sie das Modul ohne externes Reset-Signal betreiben möchten, so können Sie den Jumper 3 schließen, dann liegt an Reset dauerhaft ein High-Signal an, welches über einen zugeschalteten Vorwiderstand von der Versorgungsspannung abgeleitet wird. Ein Reset lösen Sie dann durch eine Verbindung zwischen Reset und Masse aus.
Vorsicht: An Pin 4 des Wannensteckers liegt nach Schließen von Jumper 3 u.U. eine zu hohe Spannung an. Hier sollten Sie dann kein externes µC-System mehr anschließen, bzw. entsprechende Vorkehrungen treffen (z.B. externe Z-Diode oder Spannungsteiler).

Alle Eingangs-Logiksignale dürfen einen High-Pegel zwischen 3,5Volt und 5,5 Volt haben (Low: 0 bis 1 Volt) und liegen über Pulldown-Vorwiderstände an GND. *(3,3V Logiksignale sind i.d.R. auch OK, trotzdem empfehlen wir für diesen Einsatz einen Pegelwandler 3,3V ⇨ 5V).*

Die beiden Fehlerleitungen F1/F2 liegen standardmäßig über je einen Pullup-Widerstand an 5V und werden im Normalfall vom Steuerchip gegen Masse gezogen. Die Fehlerleitungen zeigen also üblicherweise einen Low-Pegel. Im Fehlerfall entfällt die Masseverbindung, die Leitung ist dann High (5V Pegel).

Wenn Sie ein µC System mit z.B. 3,3V anschließen und dort auch die Fehlerleitungen auswerten möchten, kann der 5V Pegel der Fehlerleitungen den µC beschädigen. In diesem Falle trennen Sie bitte Jumper J5 auf. Damit wird die Verbindung zu 5V getrennt. Auf die beiden Fehlerleitungen schalten Sie dann bitte Pullup-Widerstände am µC ein, damit der Pegel vom Steuerchip gegen Masse gezogen werden kann.

Nachfolgend ein **Beschaltungsbeispiel mit einem Mikrocontroller** inkl. Abfrage der beiden Fehlerleitungen.

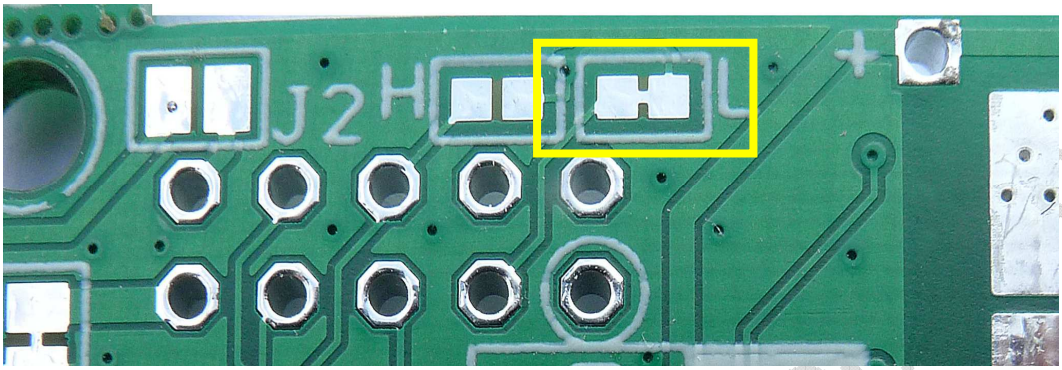


© Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Aktivierung von PwmL

Standardmäßig wird die Brücke so geliefert, dass das Signal für PwmL permanent auf High liegt – Sie können PwmL also nicht nutzen. Durch Öffnen des Jumpers „L“ mit einem feinen Skalpell auf der Unterseite der Platine wird die Verbindung zu permanentem High geöffnet und Sie können dann PwmL nach Belieben ansteuern (dann ist bei PwmL, wie auch bei den Leitungen PwmH und Phase, standardmäßig ein Pulldown gegen GND geschaltet).



Durch Schließen des danebenliegenden Feldes „H“ mit einer Brücke (oder einem Tropfen Lot), ist es übrigens auch möglich, **PwmH** dauerhaft an High zu legen.

Alternativer Betrieb: Vierquadrantensteuerung z.B. für Servosysteme

Durch dauerhaftes Anlegen eines High-Signals an *PwmH* sowie eines PWM Signals an *Phase* können Sie eine volle Vierquadrantensteuerung für Servosysteme vornehmen. Hier dreht mit einem PWM Verhältnis von 0 bis 50% der Motor nach links (langsam bis schnell), bei genau 50% stoppt er und bei 50 bis 100% dreht er nach rechts.

Sonderfall: Verwendung ohne Mikrocontroller bzw. externer Steuerelektronik

Eigentlich ist das Board mit der Zielsetzung entwickelt worden, es durch einen Mikrocontroller zu steuern. Hin und wieder gibt es aber evtl. die Notwendigkeit, den Motor zwar zu steuern, dies aber lediglich z.B. durch „normale“ Schalter zu bewerkstelligen. Dies ist mit dieser Brücke selbstverständlich auch möglich. Eigentlich bräuchten Sie dann trotzdem noch eine 5V Spannungsquelle, um die Leitungen Phase / PWM / Reset entsprechend zu beschalten. Das Board stellt jedoch, unabhängig von der Eingangs-/Motorspannung 5V bereit, die Sie abnehmen und für die Logiksignale nutzen können.

Auf der Platine liegt an Pad 10 nach Schließen von Jumper J2 (Unterseite der Platine) 5V an. Diese Spannung können Sie dort abnehmen und zur Steuerung der Logiksignale verwenden.

Hinweis: Diese 5V Spannung wird abgeschaltet, solange die Leitung Reset gegen Masse gezogen wird. Für den Anschluss *Reset* funktioniert diese Vorgehensweise daher nicht – Sie können Reset nicht an die 5V des integrierten Reglers ansteuern (da 5V erst eingeschaltet wird, nachdem Reset wieder an Spannung liegt)!

© www.Display3000.com

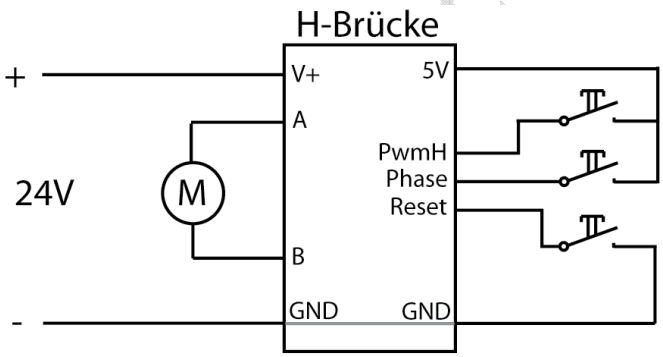
© Peter Küsters - www.display3000.com

Nutzung der Reset-Spannung über die Versorgungsspannung
Die Reset-Leitung kann jedoch optional über die Versorgung des Leistungsteils versorgt werden. Hierfür finden Sie auf der Unterseite des Boards einen Jumper J3. Wenn Sie diesen Jumper mit einem Tropfen Lötzinn überbrücken, erhält der H-Brückenchip die notwendige Reset-Spannung (High) über die Versorgungsspannung. Somit wird die Brücke beim Anschluss an die Versorgungsspannung automatisch eingeschaltet.
Durch Anschluss eines Tasters, welcher gegen Masse schließt, können Sie an Pin 4 des Logik-Anschlussfelds ein Reset auslösten.

Achtung: an Pin 4 des Anschlussfelds (s.o.) liegt dann (über einen integrierten Vorwiderstand) die Versorgungsspannung des Leistungsteils an (also z.B. 24V) die im Chip durch eine integrierte Z-Diode reduziert wird. Trotzdem empfehlen wir dringend, nach dem Schließen von Jumper J3 die Reset-Leitung nicht mehr mit einem Mikrocontroller zu verbinden.

Nebenstehen sehen Sie ein **Beschaltungsbeispiel für die Nutzung ohne externe Elektronik**.

Der Motor wird hier ausschließlich über Taster oder Schalter gesteuert. Über den Eingang *PwmH* wird der Motor ein und ausgeschaltet, mit High/Low an *Phase* wird die Drehrichtung festgelegt.
Der Reset-Taster ist optional, ein Reset ließe sich auch durch Unterbrechen der Versorgungsspannung erreichen.



Jumper 2: geschlossen
Jumper 3: geschlossen

Anmerkung: Die Leitungen PWM und Phase sind intern immer über einen Pulldown-Widerstand an Masse gelegt.

Parallelschaltung von H-Brücken: Sie können zur Erhöhung der Leistung oder zum Erreichen einer geringeren Mosfet-Temperatur auch zwei oder mehrere identische H-Brücken problemlos parallel schalten. Hierzu finden Sie einen Exkurs auf Seite 36. Wichtig ist hier, dass beide Brücken identisch konfiguriert wurden und sämtliche Logiksignale parallel liegen.

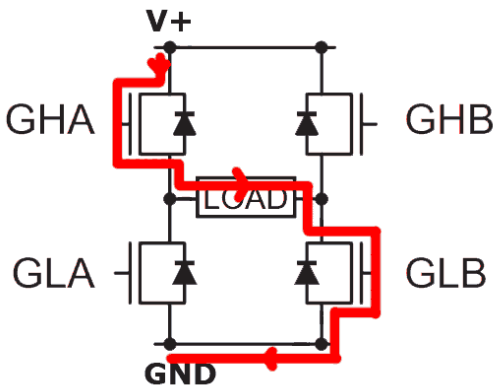
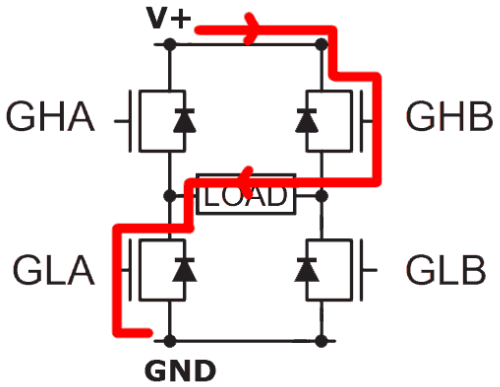
© www.Dis...com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Übersicht Betriebssituationen und Stromverläufe MOSFETs

Normaler Betrieb

Mittels des PWMH Signals werden die mit dem Signal *Phase* festgelegten Transistoren ein- oder ausgeschaltet. Mittels *Phase* wird die Drehrichtung des Motors festgelegt.
PWM**L** ist standardmäßig fest auf High gelegt (deswegen ist PWML=1 in der nachfolgenden Übersicht auch hellgrau), sodass die Steuerung ausschließlich per PWM**H** geschieht. Sie brauchen also kein Signal an PWML anlegen – es liegt immer an High.
Erst nach dem Entfernen einer vorhandenen Brücke (siehe Seite 12) können Sie PWM**L** auch per Logiksignal steuern. Da der Normalfall jedoch der Betrieb mit auf High definiertem PWML Signal ist, haben wir es bereits so vordefiniert.

Motor antreiben	
PWMH = 1 PWML = 1 **Phase = 1** Motor dreht rechts herum. Fast decay	
PWMH = 1 PWML = 1 **Phase = 0** Motor dreht links herum. Fast decay	

© www.Display3000.com

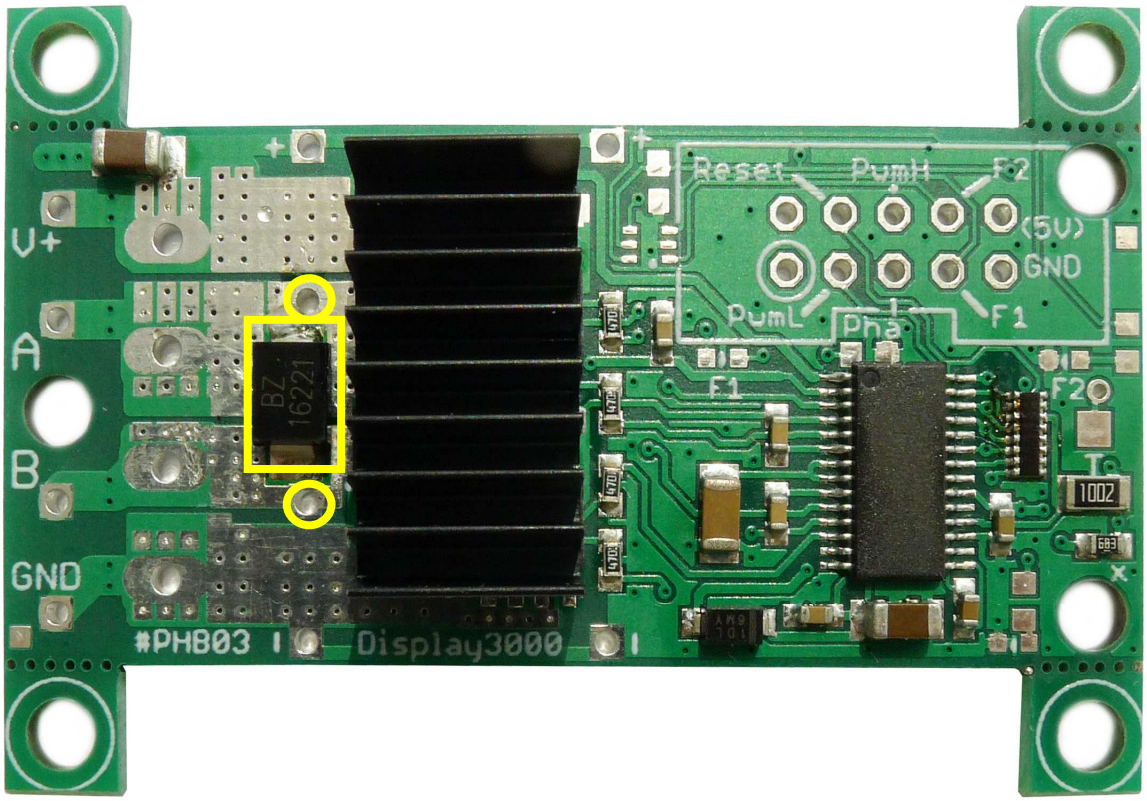
© Peter Küsters - www.display3000.com

Wegfall der Spannung am Motor (Bremsen/Freilauf):

Achtung, der Motor dreht sich bei Wegfall der Versorgungsspannung (z.B. durch die Massenträgheit) noch weiter und arbeitet dann als Generator. Hierbei treten u.U. hohe Spannungen auf, die die H-Brücke beschädigen können. Ähnliches gilt für Induktivitäten wie z.B. Elektromagneten (Stichwort Selbstinduktion). Siehe auch das Kapitel *Schutz vor Überspannung* auf Seite 32. Verlassen Sie sich nicht auf die internen Dioden der Mosfets!

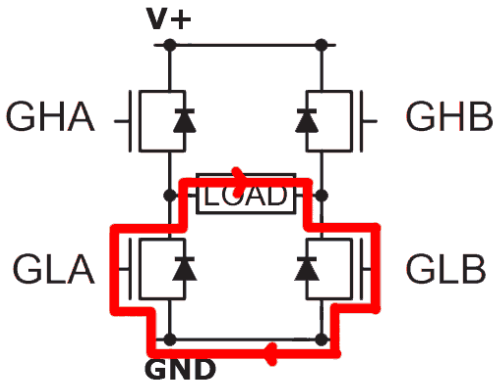
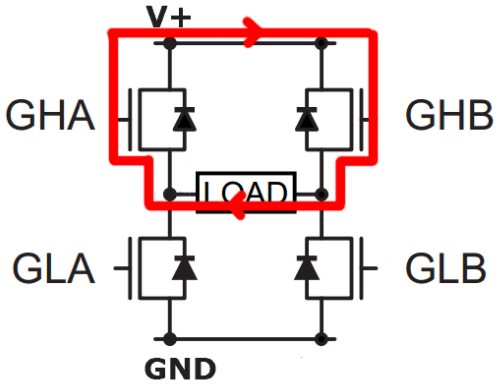
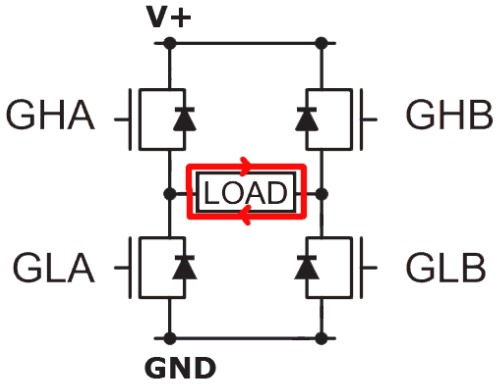
Daher ist eine Suppressordiode bei einer induktiven Last sinnvoll. Aber auch bei reinen ohmsche Lasten können bereits die Zuleitungen eine Induktivität darstellen (siehe Seite 32ff). Diese H-Brücke kann optional bereits mit einer Suppressordiode ausgestattet werden. Zudem kann es – besonders bei größeren Strömen bzw. länger andauerndem Generatorbetrieb – sinnvoll sein, eine weitere externe bidirektionale! Suppressordiode mit der notwendigen Stromfestigkeit direkt am Motor zu verbauen.

Die H-Brücke bietet direkt vor den Mosfets ein Feld für eine bidirektionale SMD Suppressordiode in der Baugröße SMB. Für den Fall, dass Sie SMD nicht löten können/mögen, befinden sich direkt darüber/darunter zwei Lötpads für eine alternative bedrahtete Diode. Bei Betrieb eines Motors oder einer anderen induktiven Last sollten Sie hier unbedingt eine solche Diode einlöten. Beispiel: Betriebsspannung 24 Volt: Dann sollten Sie hier eine 24V oder 25,6 Volt bidirektionale Suppressordiode einbauen, sofern Sie nicht bereits direkt am Motor eine solche verbaut haben (es schadet aber nichts, hier noch eine weitere Diode einzulöten – im Gegenteil!).



Anmerkung: Sie können die H-Brücke mit bereits bestückter Supressordiode erwerben. Die 30V Brücke hat dann eine 24V Diode, die 40V Brücke eine 33V Diode verbaut. 2-3V oberhalb der Diodendurchbruchspannung fließen hier nur wenige mA – das ist vernachlässigbar, daher ist die Brücke dann bis zu einer Spannung von 26V bzw. 36V einsatzbereit.

© Peter Küsters - www.display3000.com

Motor läuft aus (Bremsen / Leerlauf)	
PWMH = 0 PWML = 1 **Phase = 1 oder 0** Slow decay Motor wird abgebremst (Kurzschluss über die Mosfests, je nach Phase Paar 1 oder 2).	
PWMH = 1 **PWML = 0** **Phase = 1 oder 0** Slow decay Also wie oben, jedoch mit PWML und PWMH vertauscht. Das Verhalten der H-Brücke gegenüber der Last ist identisch, lediglich wird nun ein anderes Mosfet-Paar angesteuert.	
PWMH = 0 **PWML = 0** **Phase = 1 oder 0** Fast decay **Freilauf** – keine Beeinflussung durch die Mosfets.	 Die zum Schutz der Mosfets optionale bidirektionale Suppressordiode (liegt parallel zur Last) wird induzierte Spannungen. Sie wird bei Spannungen oberhalb der Versorgungsspannung leitend und ist für den Motor quasi ein Kurzschluss (d.h. bei einer 24V Diode für Spannungen >26V). Allerdings: Die Diode ist nicht für lange Zeit belastbar, sollte der Freilauf öfters und/oder länger dauern, dann müssen Sie direkt am Motor noch eine belastbare Suppressordiode (evtl. mit Kühlkörper) verbauen.

© www.Disp

© Peter Küsters - www.display3000.com

Tabellarische Übersicht der PWM Optionen

Steuerungssignale			PWM / Effekt		Decay	Modus
PWM H	**PWM L**	**Phase**	**100%**	**0%**		
1	1	PWM	A⇨B	B⇨A	Fast	4-Quadrantensteuerung, bei 50% PWM: Durchschnittlicher Stromverbrauch 0
PWM	1	1	A⇨B	Bremsen	Slow	High-side PWM, low-side MOSFET recirculation
		0	B⇨A			
1	PWM	1	A⇨B	Bremsen	Slow	Low-side PWM, high-side MOSFET recirculation
		0	B⇨A			
0	0	egal	Freilauf	Freilauf	Fast	Freilauf, alle MOSFets aus

<u>Anmerkung:</u>
Bitte berücksichtigen Sie speziell beim Bremsen die Auswirkung der jeweiligen Modi auf die Last. Besonders zu nennen wären hier als Beispiele:

- Abfallverzögerung bei Relais / Magneten
- Bremswirkung/Freilauf bei Motoren etc.
- Abbau der Überspannungen (Vernichtung im Mosfet - Wärmeentwicklung)

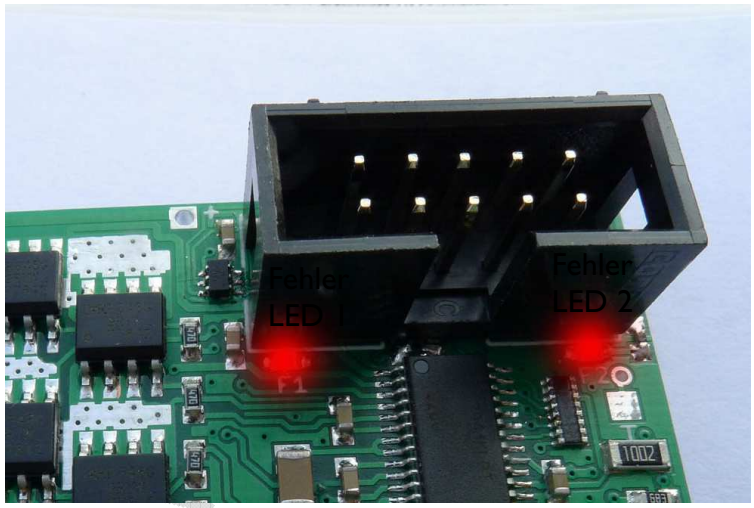
© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Ausgänge zur Fehlererkennung

Über die beiden Fehlerleitungen bzw. die optionalen roten Fehler-LEDs 1 und 2 (siehe Foto unten) können Sie einen evtl. Fehlerstatus erkennen/auslesen.
Dabei ist die Fehlerleitung F1/F2 synchron zu der LED zu interpretieren. Wenn z.B. die LED F1 im Fehlerfall eingeschaltet wird, liegt dann die Fehlerleitung F1 an High (ca. 4,5 Volt); solange die Leitung F1 / F2 also Low zeigt, ist alles OK.

Die beiden LEDs können codiert insgesamt vier Status *(ja das ist der Plural – nicht „Stati“ und auch nicht „Statusse“)* ausgeben, die mehrere Fehlermeldungen abdecken können. Die Tabelle am unteren Rand zeigt die möglichen Fehlermeldungen auf.



Hinweis: Während eines Resets des Moduls, wird die 5V Versorgungsspannung des Steuerchips abgeschaltet, d.h. die beiden Fehlerleitungen F1 / F2 liegen in dieser Zeit auf Low, bzw. die LEDs erlöschen.

Die optionale grüne LED am unteren Rand der H-Brücke erlischt ausschließlich, wenn sich die Brücke im Sleep-Modus befindet bzw. sie ein Reset erhält. Solange diese grüne LED leuchtet, ist die Brücke grundsätzlich betriebsbereit (d.h. also, auch während einer der nachfolgend genannten Fehlersituationen leuchtet sie grün).

LED 1 *F1*	LED 2 *F2*	Bedeutung	Motor wird abgeschaltet?	Fehlermeldung wird automatisch zurückgesetzt?
Off *Low*	Off *Low*	Kein Fehler. Alles OK.	-	-
Off *Low*	**On** High	Kurzschluss gegen Masse (**)	Ja	Nein (*)
Off *Low*	**On** High	Kurzschluss gegen V+ (**)	Ja	Nein (*)
Off *Low*	**On** High	Kurzschluss am Motor (**)	Ja	Nein (*)
On High	Off *Low*	Übertemperatur am Steuerchip	Nein	Ja
On High	**On** High	Zu geringe Versorgungsspannung	Ja	Ja

(*) = Sicherheitshalber ist hier ein Reset zum Rücksetzen notwendig

(**) = Alternativ ist auch ein Zusammenbruch der Spannung als mögliche Fehlerquelle in Betracht zu ziehen (Netzteil kann nicht genug Strom liefern und/oder Zuleitung mit zu geringem Querschnitt). Bitte beachten Sie bei der Fehlermeldung Kurzschluss auch die Anmerkung zur Spannungsversorgung im folgenden Kapitel und die Tipps bei Kurzschluss ab Seite 22.

© Peter Küsters - www.display3000.com

Bei einigen Fehlermeldungen wird der Motor automatisch abgeschaltet, um Schäden zu vermeiden. Je nach Fehlermeldung wird diese u.U. automatisch zurückgesetzt, wenn der Fehler nicht mehr vorliegt.

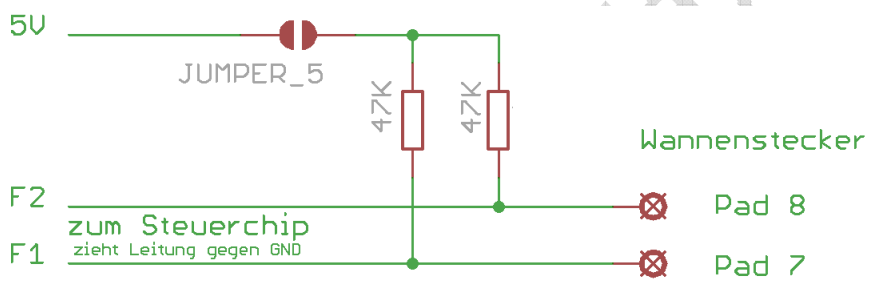
Bei erkannten Kurzschlüssen muss grundsätzlich der Fehler zuerst behoben und über die Reset-Leitung quittiert werden, vorher ist kein Betrieb mehr möglich.

Achtung: Eine Übertemperatur der MOSFETs wird nicht detektiert. Hier müssen Sie bei Bedarf selber noch einen Temperatursensor anbringen und über den Mikrocontroller auswerten.

Das Flag *Übertemperatur* ist zudem nur eine Information - hier findet keine automatische Abschaltung statt. Das Flag wertet lediglich die Übertemperatur (> 150°C-170°C) am Steuerchip aus (automatische Rücksetzung nach Temperaturabfall um mind. 15°C).

Vorsicht bei Betrieb mit µC-Systemen mit weniger als 5V Versorgungsspannung
Die beiden Fehlerleitungen werden im Normalfall (kein Fehler) gegen Masse gezogen, führen aber im Fehlerfall ein High, also einen Signalpegel von rund 4,5 Volt. Wenn Ihr angeschlossenes µC-System mit einer geringeren Spannung (z.B. mit 3,3V) arbeitet, wird dieser Pegel u.U. die Eingangs-Ports beschädigen. Somit müssen hier Vorkehrungen getroffen werden.

Die nachfolgende Zeichnung verdeutlicht die Beschaltung der beiden Fehlerleitungen.



Neben der möglichen Nutzung eines Pegelwandlers wären zwei weniger aufwändige Varianten zu nennen:

A) Pullup-Widerstände der Eingangs-Ports des µC nutzen:
   1) Trennen Sie den Jumper J5 auf. Dieser verbindet die Fehlerleitungen F1 und F2 mit je einem Pullup-Widerstand mit 5V des Steuerchips. Die Fehlerleitungen sind nun spannungslos.
   2) Da der Steuerchip im Fehlerfall diese Leitungen lediglich gegen Masse ziehen kann (Open Collector), müssen Sie nun bei Ihren Eingangs-Ports des µC-Systems die Pullup-Widerstände setzen, damit die Fehlerleitung wieder auf einem High-Pegel ist. Auch die LED Ansteuerung benötigt diesen High-Pegel, d.h. mit aufgetrenntem Jumper J5 und ohne extern angelegten High-Pegel an den Fehlerleitungen F1/F2 bleiben die Fehler-LED dunkel.
   Anmerkung: Die beiden Fehlerleitungen sind -wie oben im Schaltplan zu sehen- weiterhin auf der H-Brücke über je einem 47K Widerstand miteinander verbunden (insg. also 94K zwischen F1 und F2). Falls der Pullup-Widerstand Ihres µC zu groß ist, beeinflusst u.U. aufgrund dieser Verbindung eine Fehlerleitung die andere. In

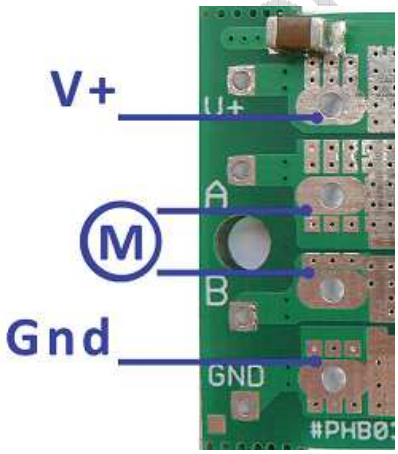
© Peter Küsters - www.display3000.com

diesem Fall benötigen Sie für jede Fehlerleitung einen separaten Pullup-Widerstand (empfohlen wird ein Bereich von 4K7 bis 10K), denn Sie mit der Versorgungsspannung des µC-Systems verbinden.

B) Spannungsteiler
Eine Alternative wäre das Zwischenschalten eines Spannungsteilers pro Fehlerleitung (je zwei Widerstände pro Fehlerkanal) um den Pegel von ca. 4,5 V auf den gewünschten Pegel zu reduzieren. Da die Spannung des Steuerchips nicht stark belastet werden darf, sollte die Summe der beiden Widerstände mind. im Bereich 10 KOhm liegen.

Spannungsversorgung:

Das Modul wird über die Anschlüsse V+ und GND mit Spannung versorgt.



Mindestspannung
Die Mindestspannung für den Motor (und somit auch gleichzeitig der Systemversorgung) beträgt 5,5 Volt.

Maximalspannung
Die maximale erlaubte Eingangsspannung (Motorspannung) beträgt 30 bzw. 40 Volt (je nach H-Brücken-Typ; siehe techn. Daten am Ende des Dokuments).
Hinweis: Mosfets sind hier nicht tolerant! 31 bzw. 41 Volt bedeuten: Mosfets defekt!

Maximalspannung bei Einsatz einer Supressordiode
Achten sie bitte darauf, dass nach dem Einlöten einer optionalen Supressordiode, die maximal erlaubte Spannung der Brücke auf den Wert dieser Diode reduziert wird. Ansonsten würde die Diode bei Betrieb der Last permanent ansprechen und vermutlich schnell durchbrennen und somit ihre Schutzwirkung verlieren.

Logiksignale
Die Spannung der Logiksignale (High) darf zwischen 3,5 und 5,5V betragen. In der Praxis hat sich gezeigt, dass auch 3,3V µC-Systeme problemlos mit der H-Brücke arbeiten.

Allerdings wird dies nicht garantiert und es ist nicht auszuschließen, dass bei extremen Temperaturen oder hoher PWM-Frequenz oder durch Serienstreuung Fehler auftreten. Sicherheitskritische Systeme sollten Sie also auf keinen Fall mit zu wenig Spannung ansteuern. Wir empfehlen für diesen Fall für die beiden üblicherweise genutzten Leitungen PWM H und Phase (evtl. noch PWM L) einen vorgeschalteten Pegelwandler oder Schmitt-Trigger, um die Signalpegel auf einen 5V-Level zu bekommen.

© Peter Küsters - www.display3000.com

Tipps für die Zuleitungen / Lastleitungen / Kondensator

Versäumen Sie bitte nicht, den Exkurs auf Seite 32ff bzgl. der Themen

- Überspannung durch induktive Last
- Parasitäre Induktion auf der Lastleitung
- Parasitäre Induktion auf der Spannungsversorgungsleitung

zu lesen.

Wenn Ihnen die Themen geläufig sind, hier trotzdem als Erinnerung: achten Sie bitte beim Anschluss der H-Brücke auf folgendes:

- Für den Anschluss der Spannungsversorgung und der Last nutzen Sie bitte nur eine Doppelleitung (also ein Kabel, bei dem beide Leitungen nebeneinander parallel laufen) oder –wenn Sie lediglich Einzelleitungen zur Verfügung haben– verdrillen Sie beide Leitungen über die gesamte Länge.
- Fügen Sie bei größeren Lasten und speziell bei deren Betrieb mit PWM einen großen Elektrolytkondensator (ab 1.000µF – siehe auch unten) direkt am Eingang der H-Brücke hinzu. Dies entlastet auch das Netzteil. Speziell die Regelung innerhalb von Schaltnetzteilen kann sehr unwillig reagieren, wenn eine hohe Last unter PWM anliegt: sie können nicht so schnell ausregeln und die Spannung wird instabil.
- Fügen Sie eine Supressordiode direkt am Spannungseingang der H-Brücke hinzu.

Hilfe für die Auswahl der Kondensatorgröße:

Zur Erinnerung: `1F = 1As / 1V`. Das bedeutet: die Spannung in einem geladenen Kondensator der Kapazität 1 Farad fällt bei einem konstanten Entladestrom von 1 Ampere in 1 Sekunde um 1 Volt ab. Angenommen, Sie möchten bei 5Khz PWM (0,2ms) und Taktverhältnis 50/50 (also 0,1ms) ein Absacken der Spannung um max. 2 Volt erlauben, dann ist mit 1.000µF Kapazität ein Strom von 20A möglich. Wenn wir von Peaks von 50A (z.B. Motoranlaufstrom) und z.B. von einem PWM Taktverhältnis von 90/10 (=0,18ms) ausgehen müssen, dann sind mindestens 4.500µF notwendig. Ein Wert von 6.800µF oder 10.000µF schadet also nicht und ermöglicht i.d.R. gute Sicherheitsreserven.

Wichtig: achten Sie bei der Kondensatorauswahl auf den erlaubten Ripple-Strom. Gelegentliche Überschreitungen sind kein Problem (z.B. seltener Motorstart = hoher Peak-Strombedarf), dauerhafte Überschreitungen werden jedoch zu Lasten der Lebensdauer des Kondensators gehen. Dann schalten Sie im Zweifel lieber mehrere Kondensatoren mit jeweils kleinerer Kapazität parallel, um die zu erwartenden Peak-Ströme zwischen den Kondensatoren aufteilen zu können.
Achten Sie auf auf einen niedrigen ESR (um die Kondensatorerwärmung zu verringern) und verbauen Sie 105°C Typen mit hoher Lebensdauer (siehe Datenblatt des Kondensators), wenn Sie höhere Umgebungstemperaturen erwarten. Im Bedarfsfall können wir für Ihren Anwendungsfall gut geeignete Kondensatoren auswählen und beschaffen.

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Fehlermeldung Kurzschluss - Abhilfen:

Zum Schutz der MOSFETs beinhaltet das Modul eine Kurzschlusserkennung und schaltet bei Erkennen eines solchen ab. Hierbei werden die Fälle

- Kurzschluss der Motorwicklung
- Kurzschluss gegen Masse und
- Kurzschluss gegen Vcc erkannt.

Tritt dieser Fehler im Betrieb gehäuft auf, obwohl kein Kurzschluss vorhanden ist, dann gibt es verschiedene Vorgehensweisen. Bevor Sie zu viel Zeit mit Experimentieren verwenden, würden wir für einen ersten Versuch Vorschlag 2 empfehlen.

1) Spannungsquelle prüfen

Achten Sie beim Anschluss einer Spannungsquelle darauf, dass diese auch genügend Strom liefern kann. Ein Motor, mit einem Anlaufstrom mit z.B. 10A kann evtl. NICHT durch ein 5A Netzteil betrieben werden, auch wenn er nach dem Anlaufen nur noch 1A benötigt. Der Grund: Die Spannung des Netzteils bricht beim Anlaufen des Motors ein und das Board interpretiert dies als Kurzschluss – und meldet dies über die beiden Fehlerleitungen. Verwenden Sie in diesem Fall entweder eine stärkere Stromquelle (z.B. ein Akku) oder puffern Sie die Eingangsspannung mittels eines Kondensators (siehe nächster Absatz).

2) Hinzufügung eines größeren Eingangskondensators zur Pufferung

Fügen Sie direkt an der H-Brücke an die Versorgungsspannung (V+/GND) einen größeren Elektrolytkondensator ein, der die notwendige Energiespitze beim Anlauf der Last bereitstellt. Die notwendige Größe muss je nach Last experimentell ermittelt werden. 1.000µF hat sich für mittlere Anlaufströme als durchaus ausreichend erwiesen; eine größere Kapazität wie z.B. 4.700µF ist u.U. hilfreich (siehe auch die vorhergehende Seite 21). Achten Sie auf einen niedrigen ESR und verbauen Sie 105°C Typen mit hoher Lebensdauer (siehe Datenblatt des Kondensators), wenn Sie höhere Umgebungstemperaturen erwarten. Im Zweifel können wir für Ihren Anwendungsfall gut geeignete Kondensatoren auswählen und beschaffen.

3) Einfügen eines Lastwiderstands

Das Anfahren von Motoren mit sehr hoher Leistung wird u.U. beim Motorstart wg. des niedrigen Innenwiderstands als Kurzschluss interpretiert. Hier hilft es dann oft nur, in die Motorleitung noch einen 0,1 Ohm bis 1 Ohm Lastwiderstand (der korrekte Wert muss experimentell ermittelt werden) einzuschleifen.
Die MOSFETs erlauben zwar einen kurzzeitigen Strom von 140/170A, der Brückenchip schaltet jedoch bei solchen Strömen in die Kurzschlussabschaltung. Hier ist es dann notwendig, mittels eines kleinen in Reihe geschalteten Lastwiderstands eine Strombegrenzung zu realisieren.
Alternativ zu einem Lastwiderstand könnte die Nutzung eines Heißleiters (NTC) als Einschaltstrombegrenzer sinnvoll sein. Ein solcher zeigt in kaltem Zustand einen höheren Widerstand als bei Erwärmung (z.B. 0,5 Ohm bei Raumtemperatur, 0,05 Ohm bei 15A Strom). Allerdings ist dann durch die notwendige Abkühlzeit (in erwärmten Zustand findet keine Strombegrenzung statt) ein Betrieb mit sehr häufigen Ein-Ausschaltperioden wegen der fehlenden Abkühlphase nicht möglich.

© www.display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Tipp: Bei uns im Internetshop erhalten Sie günstige 1 Ohm Lastwiderstände im Metallgehäuse mit einer Belastbarkeit von 50W. Wenn Sie hiervon zwei Stück erwerben, können Sie durch Parallel- oder Reihenschaltung Widerstände von 0,5 bis 2 Ohm erreichen, bei drei Stück 0,33 Ohm bis 3 Ohm.

Damit können Sie anfangs experimentieren. Wenn Sie als Schutz für die ersten Experimente 2 oder 3 Ohm in die Lastleitung mit einschleifen, dann schützen Sie damit auch die H-Brücke vor Überlastung. Im Zuge der Tests können Sie die Widerstände dann verkleinern oder auch komplett weglassen. Gerade bei hohen Lastströmen raten wir für die ersten Tests dringend zu einem Lastwiderstand als Schutz.
Zudem können Sie über den Widerstand die dort abfallende Spannung mit einem Oszilloskop messen und somit die fließenden Ströme berechnen. Nur mit einem Oszilloskop können Sie die Einschaltströme messen, die ja u.U. nur wenige ms lang auftreten, aber durchaus sehr hoch sein können. Der Widerstand begrenzt diese Einschaltströme auf einen ungefährlichen Wert, bewirkt aber trotzdem nur einen geringen Leistungsverlust.

© www.Display3000.com

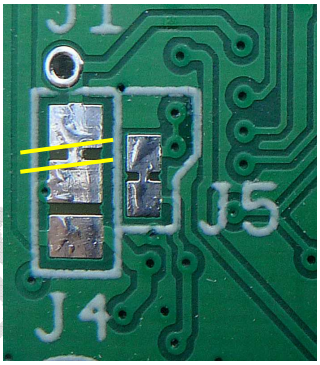
© Peter Küsters - www.display3000.com

4) Modifikation der Kurzschlusserkennung

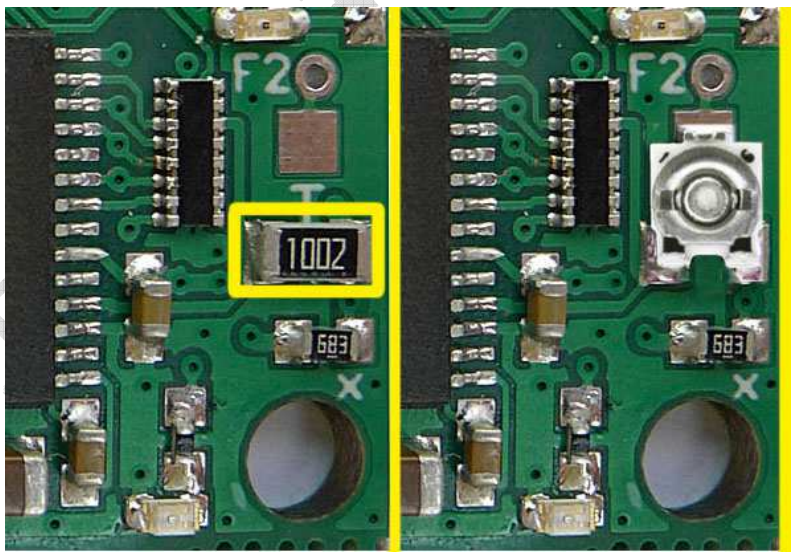
Standardmäßig ist das Board für einen Strom von ca. 90% des Maximalstroms eingestellt. In bestimmten Situationen muss aber die Kurzschlusserkennung abgeschaltet werden oder soll einstellbar sein. Anhand eines Spannungsteilers wird die Ansprechschwelle der Kurzschlusssicherung eingestellt. Um die Sensitivität der Kurzschlusserkennung zu modifizieren, müssen Sie das Widerstandsverhältnis des Spannungsteilers modifizieren oder alternativ die Kurzschlusserkennung komplett abschalten. Das Board ist für beide Fälle vorbereitet.

Einstellbare Kurzschlusserkennung:

Zuerst trennen Sie bitte auf der Unterseite der Platine die bestehende Verbindung in Jumper J4 auf (mittleres und oberes Feld), d.h. keine Felder von J4 dürfen mehr miteinander verbunden sein.

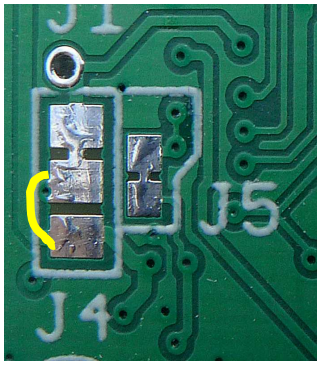


Dann löten Sie auf der Oberseite der Platine den vorhandenen 10K Widerstand aus (links im Bild) und ersetzen diesen durch einen 10K Trimmpotentiometer (rechts im Bild). Dann lässt sich das Ansprechen der Kurzschlusserkennung mittels des Potentiometers zwischen 0 und 160 Ampere (HB03-30) bzw. 128A (HB03-40) einstellen (Mittelstellung = ca. Mittelwert).



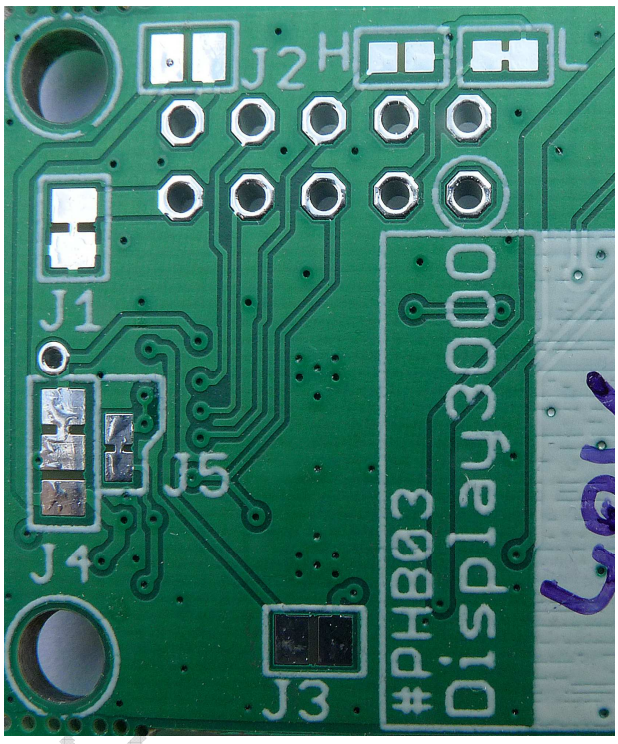
<u>Abschaltung der Kurzschlusserkennung:</u>

Diese Variante bietet sich als Kompromiss auch dann an, wenn die H-Brücke wegen einbrechender Spannung (unzureichende Spannungsversorgung, zu geringer Kabelquerschnitt) fälschlicherweise einen Kurzschluss (vor allem beim Start der Last – siehe vorherige Seite) erkennt. Um die Kurzschlusserkennung abzuschalten, müssen Sie bei Jumper J4 <u>das mittlere und das untere</u> Feld miteinander z.B. mit einem Tropfen Lot verbinden. Sollten Sie das obere Feld für den Einsatz eines Trimmpotis bereits geöffnet haben (siehe oben), dann muss dieses nun wieder geschlossen werden (d.h.: alle 3 Felder von J4 müssen miteinander verbunden sein).



© Peter Küsters - www.display3000.com

Übersicht Jumper



Die H-Brückenplatine bietet auf der Unterseite sieben Lötjumper (mit J1 bis J5 bzw. „H“ und „L“bezeichnet), die eine einfache Umkonfiguration erlauben. Die genaue Funktion der Jumper ist im Text beschrieben.

Standardmäßig geöffnete Jumper wie z.B. J2 oder J3 und „H“ können von Ihnen z.B. durch einen Tropfen Lötzinn geschlossen werden. Standardmäßig geschlossene Jumper zeigen zwischen den beiden großen Lötfeldern eine feine Leiterbahn (z.B. J1, J5, „L“). Zum Öffnen muss diese von Ihnen mit einem feinen Skalpell* durchtrennt werden. Ein späteres Schließen ist dann jederzeit mit einem Tropfen Lot möglich.

Der Jumper J4 ist zwei Jumper in einem, der drei unterschiedliche Konfigurationen erlaubt. Die Tabelle unten listet diese auf.
1) Im Lieferzustand ist das mittlere mit dem oberen Feld verbunden (siehe Bild oben). Hiermit ist dann die Kurzschlusserkennung auf ca. 90% des Maximalwerts eingestellt.
2) Wenn Sie die Kurzschlusserkennung abschalten möchten, dann verbinden Sie alle drei Felder miteinander, bei einem Board im Lieferzustand verbinden Sie also mit einem Tropfen Lot das untere und das mittlere Feld (das mittlere und obere Feld sind ja bereits verbunden).
3) Wenn Sie auf den mit „T“ gekennzeichneten Bereich auf der Oberseite der Platine (oberhalb des Jumpers J4) einen 10K Trimmer löten, können Sie die Schwelle der Kurzschlusserkennung beliebig einstellen. Dafür müssen Sie dann alle Jumperverbindungen öffnen (bei einem Board im Lieferzustand, also die Verbindung zwischen dem mittleren und oberen Feld auftrennen).

Seien Sie dabei bitte vorsichtig und beschädigen Sie keine Leiterbahnen. Benutzen Sie eine Lupe und ein feines Skalpell (kein Teppichmesser). Wie bieten in unserem Shop passende, äußerst präzise und scharfe Skalpelle an, diese sind ideal für diesen Zweck und sehr günstig.

Jumper	Beschreibung	Liefer-zustand	Siehe Seite
1	Pin 10 des Logiksignalfelds (Wannenstecker) ist per default mit Masse verbunden. Durch Öffnen von J1 ist diese Verbindung auftrennbar.	Aktiv (geschlossen)	
2	Pin 9 des Logiksignalfelds kann durch Schließen von J2 mit dem 5V Ausgang des Steuerchips verbunden werden. Sie dürfen diese Spannung nur mit wenigen mA belasten (z.B. für Pullup-Widerstände etc.).	Offen	10
3	Verbindet die Reset-Leitung über einen Vorwiderstand mit der Versorgungsspannung (muss für Reset gegen Masse gezogen werden). I.d.R. nur sinnvoll bei Betrieb ohne Mikro-	Offen	13

© Peter Küsters - www.display3000.com

	controller. Achtung: an Pin 4 des Wannensteckers liegt dann eine höhere Spannung an – also nicht direkt mit einem µC verbinden!		
4 **4a** **4b** **4c**	Mehrfach-Jumper Modifikation Kurzschlusserkennung: **Oben-Mitte:** Voreinstellung der Ansprechschwelle auf ~90% **Oben-Mitte-Unten:** (also alle Felder miteinander verbunden): Kurzschlusserkennung abgeschaltet. Kein Schutz mehr! **Keine Verbindung/alle Felder offen:** Ansprechschwelle regelbar über Trimmpoti	Oben-Mitte	24
5	Die Fehlerleitungen F1 und F2 liegen über J5 und je einem Pullup-Widerstand an 5V des Steuerchips. Im Normalfall (kein Fehler) werden die Fehlerleitung gegen Masse gezogen, sind also Low. Im Fehlerfall ist eine oder beide Leitung High (ca. 4,5 Volt). Wenn Sie die Leitungen mit einem µC abfragen möchten und Ihr µC-System mit geringerer Spannung als 5V arbeitet, kann das High-Signal der Fehlerleitungen den µC beschädigen. Hier ist daher eine Modifikation notwendig (siehe auch Seite 19): Öffnen Sie den Jumper J5 – die beiden Pullup-Widerstände der Fehlerleitungen sind nun nicht mehr mit 5V verbunden. Da der Steuerchip die Fehlerleitungen gegen Masse zieht, müssen Sie nun für jede Fehlerleitung einen eigenen Pullup-Widerstand (z.B. 4K7 bis 10 KOhm) anschließen, den Sie mit der Versorgungsspannung des µC-Systems verbinden (Alternative: Pullup der Input-Ports des µC einschalten). Ohne ein High-Signal an den Fehlerleitungen ist ansonsten keine Fehlerabfrage und keine LED Anzeige mehr möglich.	Aktiv	
H	Verbindet PwmH direkt mit High (5V des Steuerchips). Achtung: Pin 6 des Wannensteckers führt dann 5V	Offen	12
L	Verbindet PwmL direkt mit High (5V des Steuerchips) Achtung: Pin 3 des Wannensteckers führt dann 5V	Aktiv	12

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Erwärmung / notwendige Kühlung

Erwärmung der MOSFETs

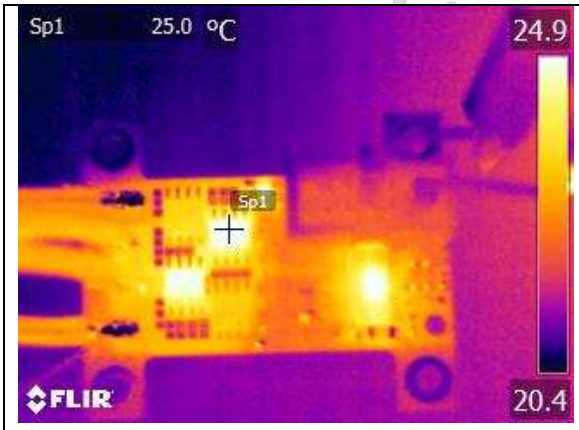
Die verwendeten MOSFETs haben einen sehr geringen Innenwiderstand von nur 5 Milliohm. Da immer zwei MOSFETs leitend sind, addiert sich der Innenwiderstand der H-Brücke somit auf 10 Milliohm. Bei angenommenen 24 Volt und 10 Ampere Strom (=240 Watt Last) fällt an der H-Brücke mit 10 mOhm Widerstand nur eine Spannung von ca. 0,1V ab. Dies entspricht bei 10A dann 1W Wärme.

Bei länger andauernden Lasten von über 300 Watt ist jedoch ein Kühlkörper und/oder eine aktive Kühlung notwendig.

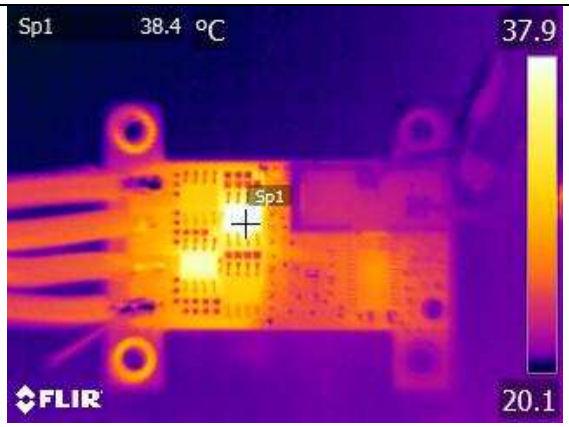
Die folgenden Wärmebilder zeigen das Verhalten der H-Brücke bei Dauerlast.
Anmerkung: Die Bilder zeigen eine ältere Platinenversion, die Grundbeschaltung (z.B. die Mosfets) sind jedoch identisch, daher gilt das gezeigte genauso für die Ihnen vorliegende H-Brücke.

Hinweis zum besseren Verständnis der nachfolgenden Bilder
Die gezeigten Wärmebilder von einer Flir E60 Wärmebildkamera sind mit automatischer Skalierung versehen, d.h. der kälteste Bereich wird automatisch immer dunkelblau und der wärmste Bereich hellgelb dargestellt – d.h. jedes Bild hat eine individuelle Skalierung.
Vergleicht man z.B. die beiden nachfolgenden Bilder, so ähneln sie sich sehr. Dabei ist aber der hellgelbe Bereich auf dem linken Bild 25°C warm, auf dem rechten Bild 38°C.
Die automatische Skalierung zeigt den wärmsten Bereich also immer hellgelb, das können 25°C aber auch 100°C sein. Die Farbe alleine sagt nichts über die tatsächliche Temperatur aus – dazu ist immer das Hinzuziehen der Skala (rechter Rand) notwendig.

Zur leichteren Arbeiten mit den Wärmebildern, haben wir jeweils ein oder zwei Spots gesetzt (Sp1/Sp2), deren Temperaturmessungen am oberen Bildrand eingeblendet werden.

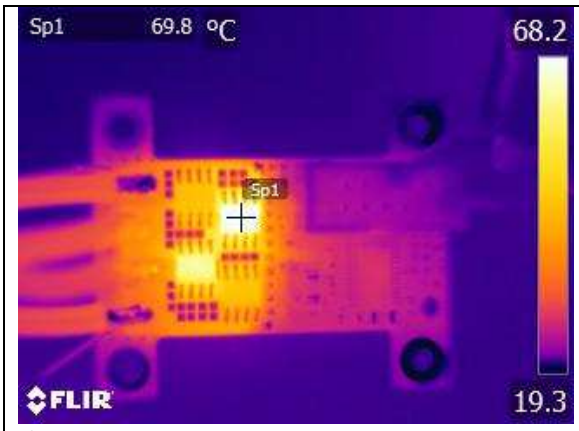


Oberseite ohne Kühlkörper
24V, 4A (100W),
Chiptemperatur ca. 25°C

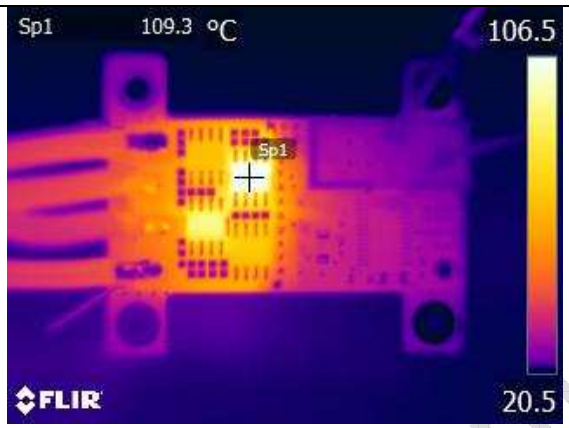


Oberseite ohne Kühlkörper
24V, 10A (240W),
Chiptemperatur ca. 38°C

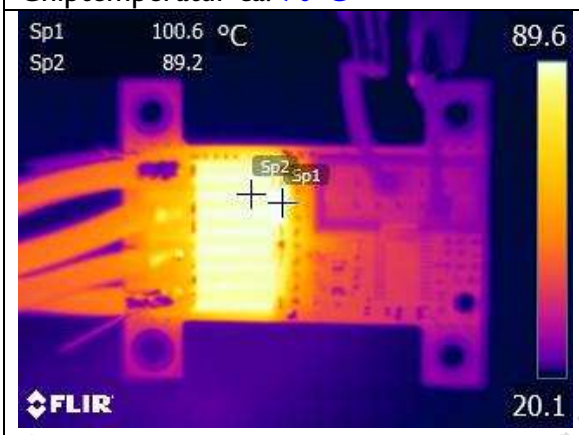
© Peter Küsters - www.display3000.com



Oberseite ohne Kühlkörper
24V, 12A (290W),
Chiptemperatur ca. 70°C



Oberseite ohne Kühlkörper
24V, 16A (380W) nach 1 Min. bereits 110°C. Testabbruch, da stetig steigend.



Oberseite mit Kühlkörper
24V, 16A (380W) nach ca. 10 Min.:
Kühlkörper ca. 90°C; heißeste Stelle der Platine ca. 100°C. Das ist OK.

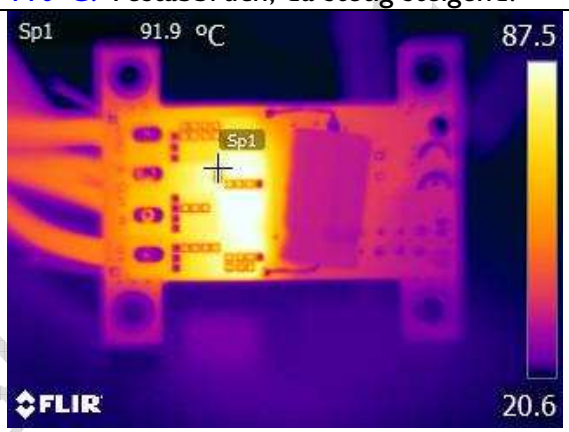


Bild der Unterseite der links genannten Konfiguration.
Heißeste Stelle der Platine ca. 92°C

Interessant auch: die Temperatur der (angelöteten) Anschlussleitungen am linken Rand. Trotz 2,5mm² Leitungen erreichen diese ca. 45°C. bei 380 Watt Dauerlast.

Erwärmung der Leiterbahnen

Eine Erwärmung findet allerdings nicht nur durch den Innenwiderstand der Mosfets statt. Auch die Leiterbahnen haben einen definierten Widerstand und erwärmen sich daher bei hohen Strömen natürlich ebenfalls. Da die Platine auf kleine Maße hin konzipiert wurde, wurden auch die Hochstromleiterbahnen soweit wie möglich reduziert. Dies führt als Kompromiss jedoch zu einer stärkeren Erwärmung der Leiterbahnen. Die Auslegung der Leiterbahnen orientiert sich am maximal möglichen Dauerstrom der H-Brücke. Rechnen Sie bei 18 Ampere Dauerlast (und 24V Betriebsspannung) mit einer Erwärmung der Leiterbahnen gegenüber der Umgebungstemperatur um ca. 40°C.

Kühlung / Einbau in ein Gehäuse

Denken Sie beim Verbauen der H-Brücke bitte immer daran, dass eine Erwärmung von z.B. 40° über der Umgebungstemperatur bedeutet: auf dem Labortisch erhalten Sie bei 25° Umgebungstemperatur 65°. Wenn Sie das Modul jedoch in ein geschlossenes Gehäuse oder Gerät verbauen, so steigt die Umgebungstemperatur der H-Brücke (=Temperatur im Innern des

© Peter Küsters - www.display3000.com

Gehäuses) durch die Erwärmung schnell an, denn die Temperatur kann nicht schnell nach außen abgegeben werden. Da ΔT jedoch unverändert 40°C beträgt, würde sich die H-Brücke bei einer Temperatur im Gehäuse von 35°C bereits auf 75°C erwärmen – die Gehäusetemperatur steigt noch weiter und das Modul wird noch wärmer und somit auch die Umgebungstemperatur usw. usw. …. solange bis es abschaltet oder beschädigt wird.

Achten Sie also bitte immer darauf, dass die erzeugte Wärme auch abgeführt werden kann (Kühlkörper und Öffnung im Gehäuse nach außen hin, Belüftung; evtl. Ventilator, Metallgehäuse und thermische Verbindung zwischen Kühlkörper/Mosfets und dem Gehäuse).
Im Zweifel testen/vermessen Sie Ihre Lösung im Dauerbetrieb.
Wichtig auch: der mitgelieferte Elektrolytkondensator (100µF, 63V, ca. 0,5Ohm ESR) hat bei 85°C Umgebungstemperatur eine Lebensdauer von 3000 Stunden.
Gerne hätten wir einen 105°C /5000 Stunden Typ verwendet. Leider sind diese von der Bauform zu groß für den universellen Einsatz. Wenn Sie jedoch die Nutzung in einer dauerhaft warmen Umgebung planen, tauschen Sie den Elko bitte gegen einen für die Umgebungstemperatur besser geeigneten Typ aus.
Tipps zur Auswahl: Wenn Sie kein Platzproblem haben: je höher die Kapazität, desto besser. Die Spannungsfestigkeit sollte mind. der Eingangsspannung +20% (besser 50%) entsprechen; als ESR empfehlen wir max. 1 Ohm (besser weniger). Bei hohen Lasten und bei Ansteuerung per PWM empfehlen wir definitiv einen größeren Elektrolytkondensator.

Kühlkörper Form / Farbe

Der von uns aufgebrachte schwarze Kühlkörper hat eine Größe von ca. 20x10x5mm und besitzt einen Wärmewiderstand von 35 K/W. Größere Kühlkörper wären natürlich besser, sind jedoch nicht immer sinnvoll zu verbauen. Hier sollten Sie je nach Einbausituation (Gehäuse, verwendete Stecker etc.) und Wärmeentwicklung einen größeren Kühlkörper verwenden. Sie können den vorhandenen Kühlkörper (sofern mitbestellt) mit etwas Kraft (z.B. einer Zange) von den Mosfets lösen und gegen einen größeren/höheren tauschen. Evtl. Klebereste lassen sich von der Mosfet-Oberfläche mit etwas Schmirgelpapier leicht beseitigen.

Je geringer der Wärmewiderstand des neuen Kühlkörpers und je höher der Luftaustausch desto besser – ideal wäre bei sehr hoher Wärmebelastung ein Ventilator zum schnellen Wärmeaustausch. Sofern Sie eine forcierte Kühlung durch einen Luftstrom (z.B. Ventilator) vorsehen, können Sie auch einen nicht-eloxierten (i.d.R. silbernen) Kühlkörper nutzen. Ansonsten empfehlen wir einen schwarz eloxierten Typ.
<u>Exkurs</u>: Eine Eloxalbehandlung ist bei natürlicher Konvektion von Vorteil. Ein schwarzer Körper emittiert (und absorbiert) Wärmestrahlung besser als ein heller oder silberner Körper. Durch die Erhöhung des Strahlungsanteils bei der Wärmeabfuhr ergeben sich Verbesserungen der Gesamtkühlleistung zwischen 5 und 10% bei einem schwarzen Kühlkörper. Bei einer Kühlung per Luftstrom überwiegt dagegen der Konvektionsanteil den Strahlungsanteil bei weitem. Hier kann dann auf eine eloxierte Oberfläche verzichtet werden.

Parallelschaltung von H-Brücken

Selbstverständlich können Sie zwei identische H-Brücken auch parallel schalten um die Leistung aufzuteilen. Lesen Sie hierzu bitte den Exkurs zur Parallelschaltung von H-Brücken auf Seite 36.

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Technische Daten **H-HB03:**

Artikel H-Brücke (alle Versionen):

Maße:	55 x 36,5 mm (25,5 mm ohne Montageohren) ca. 3,5 mm hoch (ohne Stecker/Elko) ca. 15 mm hoch mit Elko / Steckern
Gewicht:	ca. 5 Gramm ohne Stecker
Spannung Logiksignale:	**High:** (3,3V) 3,5 Volt bis 5,5 Volt Anmerkung: 3,3V Logiksignale sind i.d.R. auch OK, trotzdem empfehlen wir für diesen Einsatz Pegelwandler 3,3V ⇨ 5V. **Low:** 0 bis 1,0 Volt
Anzahl Motorkanäle:	1 (Vollbrücke)
Max. PWM Frequenz:	40 KHz
Eigenverbrauch des Moduls:	typ. 8mA, max. 15mA; 10µA im Sleep Mode

Nur Artikel PHB03-30:

Versorgungsspannung Motor:	5,5 Volt bis 30 Volt (*) DC 5,5 Volt bis 26 Volt (*) DC mit Supressordiode
Max. Dauerstrom Motor:	21 A bei Kühlung über Lüfter oder Kühlkörper 15 A ohne Kühlung bei Raumtemperatur Peaks: 170A
Innenwiderstand MOSFETs:	3,5 mOhm

Nur Artikel PHB03-40:

Versorgungsspannung Motor:	5,5 Volt bis 40 Volt (*) DC 5,5 Volt bis 36 Volt (*) DC mit Supressordiode
Max. Dauerstrom Motor:	18 A bei Kühlung über Lüfter oder Kühlkörper 12 A ohne Kühlung bei Raumtemperatur Peaks: 140A
Innenwiderstand MOSFETs:	5,0 mOhm

(*) = Lesen Sie bitte unbedingt das Kapitel Spannungsversorgung

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Exkurs Einschaltströme

Je nach verwendetem Verbraucher unterschalten sich die Nennströme (Betriebsströme) erheblich von den Einschaltströmen.

Glühwendel von **Glühlampen** haben im kalten Zustand einen erheblich niedrigeren Widerstand als im warmen/heißen Zustand. Der Einschaltstrom kann durchaus das 15- bis 20-fache des normalen Betriebsstroms betragen. D.h. eine 12V, 50W Lampe (=ca. 4A Nennstrom) kann im Moment des Einschaltens durchaus einen Strombedarf von 60A oder mehr haben. Mit zunehmender Erwärmung der Glühwendel (=glühen) steigt deren Innenwiderstand an. Wenn Glühlampen oft geschaltet werden sollen (Beispiel Bühnenbeleuchtung, Lichtorgel) ist es sinnvoll, sie per PWM in einem (leicht) gedimmten Zustand dauerhaft anzusteuern. Man wählt dabei eine Modulation (z.B. 5%), die Lampe scheinbar noch ausgeschaltet erscheinen lässt, sie jedoch bereits spürbar erwärmt. Dadurch sinkt der Einschaltstrom auf ca. das 2-fache des Nennstroms, gleichzeitig wird die Lebensdauer der Glühlampe massiv verlängert, da die Glühwendel vor allem durch das Einschalten im kalten Zustand verschleißt.

Die Einschaltströme, auch Anlaufströme genannt von **Gleichstrommotoren** sind ebenfalls wesentlich höher, da der Motor während der Anlaufphase (also der Phase, in der die Masse beschleunigt werden muss) ein wesentlich höhere Leistung aufbringen muss, folglich also mehr Strom benötigt. Der benötigte Anlaufstrom kann grob aus Spannung dividiert durch Innenwiderstand des Motors berechnet werden. Der Nennstrom des Motors ist dann abhängig von der Last nach der Beschleunigung. Mittels Pulsweitenmodulation (PWM) kann zwar ein Sanftanlauf des Motors erreicht werden: die Dauer der der einzelnen Stromspitzen verändert sich zwar durch PWM, jedoch bleibt die Höhe identisch, d.h. der Peak-Strombedarf wird durch PWM nicht reduziert.

Der Einschaltstrom „normaler“ **Induktivitäten** wie Relais oder Elektromagneten ist bei Gleichspannung üblicherweise sogar geringer als der Nennstrom im Betrieb. Die induzierte Gegenspannung wirkt der angelegten Gleichspannung entgegen und sorgt für einen langsamen Anstieg des Stroms. Dieser Stromanstieg bis zum Maximum kann je nach Größe der Induktivität mehrere Sekunden dauern.

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Exkurs: induzierte Überspannung / Selbstinduktion / parasitäre Induktion

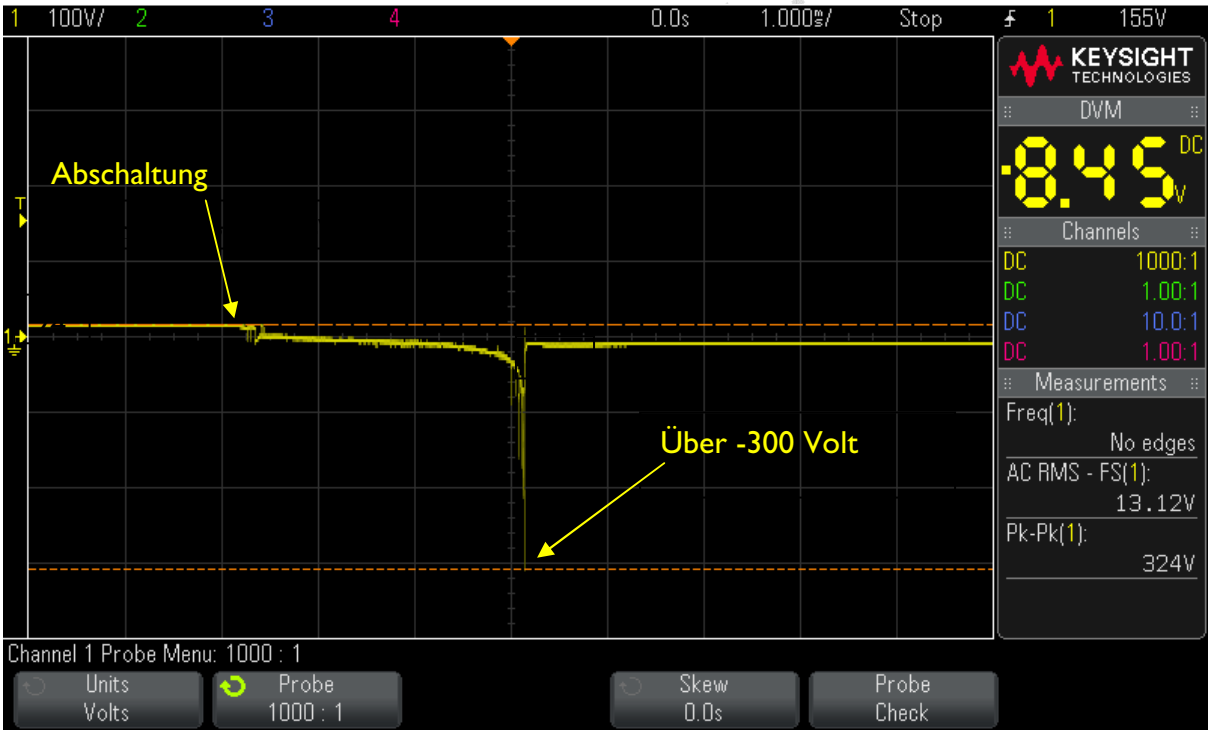
Es gibt (neben Überlastung/Überhitzung) drei typische Fälle, bei denen die H-Brücke beim Kunden beschädigt wird. Alle drei Fälle sind gekennzeichnet durch Induktivität erzeugte Überspannungen.

Fall 1 (Überspannung auf der Lastleitung durch die induktive Last)

Jede induktive Last (Motoren, Elektromagnete etc.) produziert bei Abschaltung der Spannung eine der bisherigen Spannung entgegengesetzte Selbstinduktionsspannung durch den Abfall des Magnetfeldes. Diese Spannung kann schnell das 10- oder 20-fache der angelegten Spannung betragen. Bei 24V Eingangsspannung kann die Selbstinduktionsspannung also durchaus bis zu 500 Volt betragen.

Diese Spannung wird der H-Brücke zugeführt und MUSS abgebaut werden, bevor sie die MOSFETs erreicht, denn sie würden diese sofort zerstören.

Das folgende Bild zeigt die Spannung eines kleinen! Elektromagneten, dessen 24V Betriebsspannung abgeschaltet wurde: die Selbstinduktionsspannung erreicht binnen 3ms -300 Volt!



Um die H-Brücke vor solchen Überspannungen zu schützen, können Sie optional die Brücke inklusive einer bidirektionalen Supressordiode bestellen oder diese selber integrieren. Für eine Versorgungsspannung von 24V z.B. würde man eine 24 oder 25,6 Volt Diode wählen. Diese wird ab 26V leitend und schließt die Motorleitung kurz, sobald Spannungen von über 26V auftreten. Sie schützt somit die H-Brücke vor Zerstörung, denn die Selbstinduktionsspannung wird somit während des Entstehens bereits ab 26V kurzgeschlossen und somit abgebaut.

© Peter Küsters - www.display3000.com

Anmerkung: Innerhalb der Mosfets sind (parallel zu den Drain-Source-Strecken) noch Freilaufdioden mit einer kurzen Reverse Recovery Time (kürzer als die Rise Time der Transistoren). Diese Dioden können somit die entstehende Ströme in einer Off-Phase über Vcc und GND ableiten; aber die Erfahrung zeigt, dass eine Supressordiode parallel zur Last eine sinnvolle Ergänzung ist, zumal diese nur für die Spannungsanteile oberhalb 26V (30V Brücke) bzw. 36V (40V Brücke) aktiv wird. Zudem reagieren manche Netzteile unwillig auf zurückgeleitete hohe impulsartige Spannungen (speziell bei PWM).

Zur Erinnerung: Motor = Generator! Ein sich (noch) drehender Motor mit abgeschalteter Spannung am Eingang wird zum Generator, erzeugt also selber eine Spannung. Auch diese wird ab 26V/36V von der Suppressodiode abgebaut und schützt also die H-Brücke auch vor solchen Spannungen, Spannungen unterhalb werden von den oben erwähnen integrierten Freilaufdioden an die DC Versorgung abgeleitet. Es ist aber grundsätzlich immer empfehlenswert ist, eine separate bidirektionale TVS bzw. Supressordiode und/oder einen Varistor* direkt an die Last sowie aufgrund der parasitären Induktion der Zuleitung (siehe unten bei Fall 2) eine weitere direkt an Vcc/GND (H-Brücke) anzuschließen.

Fall 2 (Überspannung durch parasitäre Induktion auf der Lastleitung) & Fall 3 (Überspannung d. parasitäre Induktion auf der Versorgungsleitung)

Ströme fließen immer in einer Schleife (Hin- und Rückweg) und rufen dabei ein Magnetfeld hervor. Wenn sich der Strom ändert, ändert sich auch die Stärke des Magnetfeldes und es wird eine Induktionsspannung erzeugt. Das Faraday'sche Gesetz bestimmt die Höhe der erzeugten Spannung, die Formel dafür ist die Stromänderungsgeschwindigkeit di/dt multipliziert mit der Induktivität L. Letztere ist u.a. von der Geometrie der Leitung(en) abhängig. Je größer die aufgespannte Fläche des Hin- und Rückleiters, desto höher ist L. Somit ist einleuchtend: um die erzeugte Spannung so klein wie möglich zu halten, muss die Induktivität klein gehalten werden, denn an di/dt ist (oft) nichts zu ändern. Leiterschleifen sollten grundsätzlich so verlegt werden, dass ihre eingeschlossene Fläche so gering wie möglich wird. Das bedeutet in diesem Fall: Die Hin- und Rückleiter sollten über die ganze Strecke direkt nebeneinander verlaufen. Bei kleinen Strömen ist dies i.d.R. vernachlässigbar, aber bei Strömen von mehreren zig Ampere (z.B. Stromspitzen beim Start eines stillstehenden Motors) sieht das anders aus.

Die, besonders bei einer per PWM angesteuerten (auch ohmschen!) hohen Last wiederholt entstehenden steilen Flanken (hohes di, kurzes dt) sorgen zusammen mit der Induktivität der Leitungen für hohe Spannungsüberschwinger, die die maximale Sperrspannung der Bauteile um ein Vielfaches übersteigen und damit zerstören können.

Beispiel: Als Daumenregel kann man annehmen, dass eine Zwillingsleitung (Doppelleitung mit parallel verlegten Hin- und Rückleitern) je nach Dicke und Leiterabstand rund 0,5-1µH Leitungsinduktivät pro Meter besitzt. Mit größerer Länge und wachsendem Abstand der Leiter zueinander steigt die Induktivität an. Eine 1,50 Meter lange Leitung mit 20cm Abstand zwischen den beiden Leitern besitzt eine Leitungsinduktivät von über 3µH. Bei angenommenen 30A Peaks und PWM Impulsen mit einer Anstiegszeit von 50ns (in Wirklichkeit vermutlich eher schneller) ergibt sich daraus bereits rechnerisch eine induzierte Spannung von fast 2000V. Verlaufen dagegen beide Leiter über den gesamten Weg direkt nebeneinander sinkt die induzierte Spannung auf 300V. In der Praxis sind diese Werte glücklicherweise geringer, da die Spannungsversorgung auf der einen Seite und der Elko auf der anderen Seite der Leitung diese Werte stark drücken. Trotzdem leuchtet sicher jedem ein, dass es sinnvoll ist, die Voraussetzungen für eine induzierte Spannung so wie möglich zu reduzieren.

© Peter Küsters - www.display3000.com

Um dies zu verdeutlichen, zeigt das folgende Bild den Unterschied in der Praxis. Hier sind die zwei Leitungen einmal mit 15cm Abstand zueinander und einmal miteinander verdrillt verlegt. Die Spannungsversorgung beträgt rund 16 Volt (unter Last etwas weniger), die Leitungen sind je 1,50 Meter lang, die Last misst 0,6 Ohm (hinzu kommen Leitungs- und Kontaktwiderstände); der gemessene Strom beträgt am Ende knapp 21A. Angeschlossen sind hier zur Demonstration lediglich Spannungsversorgung und Last, also keine H-Brücke.

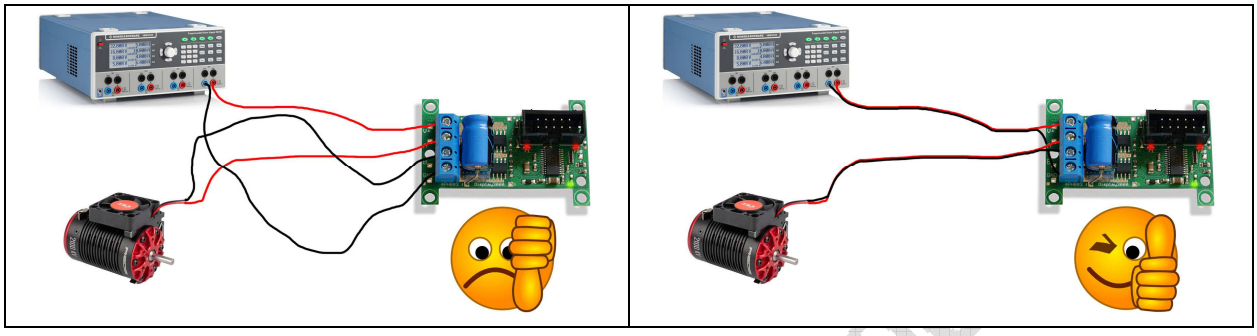
Zur Aufzeichnung der blauen Kurve sind die Hin- und Rückleiter der Spannungsversorgung mit Abstand verlegt worden. Gemessen wird am Ende der Spannungsversorgungskabel (also an den Kontakten, die mit der Last verbunden werden). Der Triggerpunkt ist der Zeitpunkt der Lastabklemmung. Durch die parasitäre Induktion der Leitungen steigt die Spannung kurzzeitig auf fast 40V (zur Erinnerung: das ist 2,5x der Eingangsspannung).

Die orangene Kurve zeigt exakt die gleiche Konfiguration, allerdings wurden hier die beiden Hin- und Rückleiter grob verdrillt, so dass sie über die gesamte Länge möglichst nahe zusammen verlaufen, der Peak erreicht keine 20V, also lediglich 30% der Eingangsspannung.

Zwei Anmerkungen:
1) mit einem zusätzlichen Elko am Ende der Leitungen verschwindet dieser Effekt fast vollständig, allerdings belastet dies auf Dauer diesen Kondensator, weshalb eine zusätzliche Suppressordiode hilfreich ist. Je größer der Elko ist, desto weniger Ripple auf der Leitung.
2) Nicht nur beim Abschalten, sondern auch beim Zuschalten einer Last wirkt eine parasitäte Induktion.

© Peter Küsters - www.display3000.com

Dies bedeutet für Sie: Hin- und Rückleitung sowohl für die Last als auch für die Spannungsversorgung sollten niemals durch einzelne lose ‚herumfliegende' Leiter, sondern durch ein zweiadriges und möglichst kurzes Kabel aufgebaut werden. Daraus ergibt sich auch, dass man es möglichst vermeidet, ein Gehäuse oder z.B. Kfz-Chassis als Rückleitung zu nutzen, auch wenn es praktisch wäre. Eine stromführende Leitung sollte sich also immer unmittelbar benachbart zur Rückleitung befinden. Haben sie Leitungen mit dem notwendigen Durchmesser nicht als Doppelleiter zur Verfügung, verdrillen Sie sie miteinander.



Für **Fall 2** (Lastleitung) ist beruhigend zu wissen: auch hier hilft die bei Fall 1 beschriebene Supressordiode in der Motorleitung.
Für **Fall 3** (Versorgungsleitung) ist jedoch wichtig zu wissen: **Die H-Brücke ist dagegen nicht geschützt.** Hier müssen Sie Vorkehrungen treffen. Zwar puffern die Elkos am Eingang der H-Brücke diese (zum Glück meist energiearmen) Spannungsspitzen ab (sie verhalten sich hier ähnlich einer Supressordiode), aber auf Dauer ist dies eine Belastung für die Elkos.

Sofern dieser Fall 3 bei Ihnen wg. sehr hoher Ströme und/oder Nutzung von PWM auftreten kann, empfehlen wir:

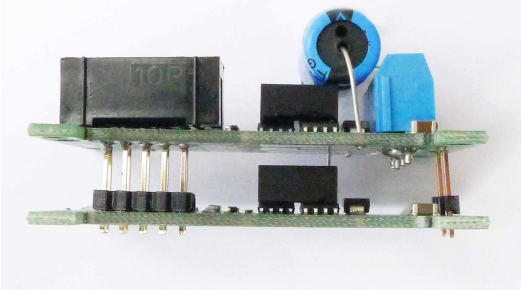
a) Wie beschrieben: Hin- und Rückleitungen (VCC/GND) permanent parallel führen. Dies verringert die Induktivität L und somit dann auch die aus `L*(di/dt)` resultierenden Spannungsspitzen.
b) Leitungslänge verringern (50% weniger Länge bedeutet 50% kleinere Induktivität)
c) Führen Sie die Versorgungsleitung vom Netzteil/von der Batterie zuerst an einen separaten, nahe der H-Brücke montierten Elektrolytkondensator mit hoher Kapazität und erst von dort zur H-Brücke. Der Elko sollte eine passend hohe Kapazität aufweisen, um die Stromspitzen auf der Leitung glätten zu können und daher auch einen niedrigen ESR haben und einen hohen Welligkeitsstrom bei Hochfrequenz erlauben. Dies verringert di/dt und somit die induzierten Spannungsspitzen, des Weiteren werden auftretende Spannungsspitzen durch den Elko abgebaut bevor sie die H-Brücke erreichen.
d) Anschluss einer bidirektionalen 24V/36V Supressordiode parallel zum o.g. Kondensator um die Spannungsspitzen kurzzuschließen, bevor sie die H-Brücke schädigen können.

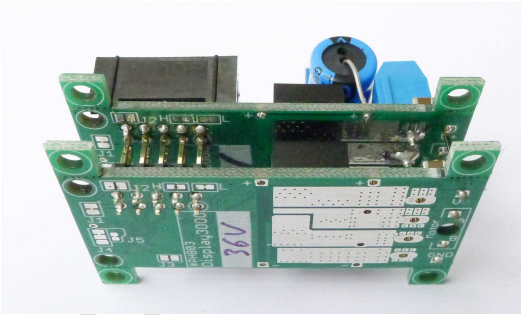
*= *Varistoren schließen Überspannungen ebenfalls kurz, sind jedoch aus Oxid aufgebaut. Einzelne Oxidkörner schließen ab einer bestimmten Spannung kurz und verbrennen dann. Sie sind dann nicht mehr leitend und nicht mehr funktionsfähig.* ***Varistoren altern also****: je häufiger sie ansprechen, desto weniger Oxidkörner verbleiben für eine ordnungsgemäße Funktion. Varistoren sind ideal für den Anschluss an einer Speisespannung, um gefährliche, aber selten auftretende Überspannungen abzuleiten, sofern nicht der o.g. Fall 3 (PWM bei hohen Lasten) vorliegt. Sie sind definitiv nicht für eine Beschaltung der Last einer H-Brücke geeignet, denn i.d.R. wird eine Last mittels der H-Brücke ja oft und regelmäßig geschaltet. Das Mittel der Wahl sind hier leistungsfähige bidirektionale Supressordioden.*

© Peter Küsters - www.display3000.com

Exkurs: Parallelschaltung mehrerer H-Brücken

Sollte die Leistung einer H-Brücke nicht ausreichen, bzw. sich eine Brücke zu sehr erwärmen, so können Sie **zwei oder mehr H-Brücken parallel schalten.**





Die Ausgangs-Mosfets der beiden Brücken werden dadurch parallel geschaltet: der Mosfet-Widerstand $R_{DS(on)}$ durch die Parallelschaltung halbiert und die möglichen Ströme werden somit theoretisch verdoppelt *(mehr zum Parallelschalten von Mosfets auf der nächsten Seite)*. Dazu müssen beide H-Brücken identisch konfiguriert werden (Jumper etc.) sowie alle Eingangssignale 1:1 miteinander verbunden werden (möglichst kurze Leitungen zwischen den beiden H-Brücken). Dies ist notwendig, damit sich beide Brücken vollkommen identisch verhalten. Idealerweise verbinden Sie die beiden H-Brücken mechanisch an den Montagebohrungen (=also zwei H-Brücken übereinander huckepack montiert) und legen dann alle Signale von einer Brücke zur anderen.

Trotz gleicher Konfigurierung der parallelen H-Brücken werden sich diese aufgrund von Bauteiltoleranzen (z.B. Totzeit) niemals 1:1 identisch verhalten können. Da wir hier über hohe Ströme sprechen, und die Mosfets eine Fehlbehandlung i.d.R. nicht tolerieren, ist folgendes empfehlenswert:

- Sicherheitspuffer: Reicht eine H-Brücke evtl. so gerade aus, planen Sie direkt mit zwei Stück . Wären Ihrer Berechnung nach 2 Stück parallele Halbbrücken gerade ausreichend, schalten Sie lieber drei Stück parallel! Wenn Sie die Brücken im Grenzbereich betreiben, kann es sein, das eine Brücke z.B. einen Fehler erkennt und abschaltet ….. die verbleibende(n) Brücke(n) sind dann u.U. sofort überlastet.
- Sorgen Sie für eine aktive Kühlung (Kühlkörper + Lüfter).
- Verzichten Sie nach Möglichkeit auf PWM oder arbeiten nur mit einer geringen PWM Frequenz.
- Schalten Sie niemals die Drehrichtung schlagartig um (Immer eine Pause von z.B. einer ms einlegen). Durch minimal unterschiedliches Timing kann es sonst passieren, dass zwei Brücken für ein paar µs gegeneinander arbeiten.
- Achten Sie auf gleichartige (Dicke, Länge) Anschlusskabel sowohl bei der Last als auch bei den Logikkanälen.

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Ein wenig Hintergrundwissen zur Parallelschaltung von Mosfets

Linearbetrieb

Normalerweise können Sie Mosfets nicht einfach parallel schalten. Mit „normalerweise“ meinen wir in diesem Fall linear angesteuerte Mosfets. Der Grund: Ströme durch zwei parallel geschaltete Halbleiter werden sich nie exakt zu 50% aufteilen sondern anfangs evtl. 51% zu 49%. Es wird immer so sein, dass ein Halbleiter ein klein wenig besser leitet als der andere. Bei einer linearen Ansteuerung (also kein komplettes Durchschalten) gibt es zudem einen relativ hohen Spannungsabfall im Mosfet, wodurch sich dieser stärker erwärmt. Da sich zwei parallel geschaltete Mosfets im linearen Betrieb jedoch (leicht) unterschiedlich verhalten (besser/schlechter leiten), wird sich ein Mosfet ein wenig mehr als der andere erwärmen. Diese Erwärmung führt zu einer geringeren Gate Schwellenspannung $V_{GS(th)}$ (*gate threshold*) als beim kühleren Mosfet, wodurch der wärmere Mosfet noch mehr durchschaltet (also mehr Strom leitet). Dadurch wird er nochmals wärmer, leitet noch mehr Strom, wird wiederum wärmer … ein Kreislauf, der am Ende dazu führt, dass ein Mosfet vielleicht 90% der Leistung schalten müsste, wenn er nicht vorher den Hitzetod stirbt.

Schaltbetrieb

Der aufmerksame Leser erwartet nun ein „Aber“, denn das Kapitel wurde ja mit „normalerweise“ eingeleitet. Also: der obige Absatz trifft auf unsere H-Brücke glücklicherweise nicht zu, denn hier werden die Mosfets nicht linear angesteuert, sondern quasi digital. Die Gatespannung beträgt bei unserer H-Brücke durch einen integrierten DC/DC Wandler immer mindestens 10 Volt (auch wenn Sie die Brücke z.B. nur mit 6V betreiben) – die Mosfets werden also immer komplett durchgeschaltet (100%) oder abgeschaltet (0%), zwischen 0 und 10V liegende Gate-Spannungen gibt es also nicht.
Zwar wird sich der Strom anfangs trotzdem mit z.B. 49/51% (s.o.) aufteilen und Mosfet A ´bevorzugen´, aber die –gegenüber dem anderen, parallelen Mosfet B– höhere Erwärmung führt lediglich dazu, dass sich $R_{DS(on)}$ (Innenwiderstand des Mosfets bei 100% Durchschaltung) des wärmeren Mosfets A vergrößert und als Resultat automatisch der Anteil des Stroms durch diesen Mosfets A verringert wird (d.h. der andere, kühlere Mosfet B übernimmt mehr) …. die Temperatur vom ersten Mosfet A fällt wieder, die von Mosfet B steigt …. usw. usw. Das System pendelt sich schnell stabil ein. **Die Mosfest in unserer H-Brücke arbeiten nur im Schaltbetrieb, daher ist eine Parallelschaltung problemlos möglich.**

Anmerkung, um Nachfragen zu vermeiden: Zwar würde im Linearbetrieb der Widerstand $R_{DS(on)}$ beim wärmeren Mosfet ebenfalls steigen, jedoch ist die Auswirkung lediglich minimal und kann vernachlässigt werden, denn einen viel stärkeren Einfluss hat im Linearbetrieb die Änderung der Gate-Schwellenspannung bei Erwärmung (die im Schaltbetrieb egal ist, denn hier schalten wir ja mit mind. 10V immer zu 100% durch).

© www.Display3000.com

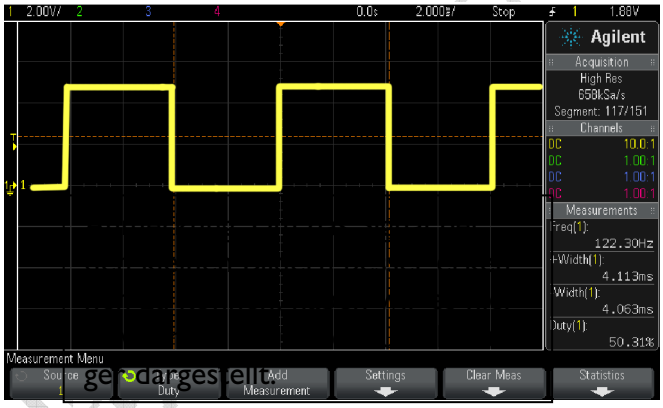
© Peter Küsters - www.display3000.com

Exkurs PWM

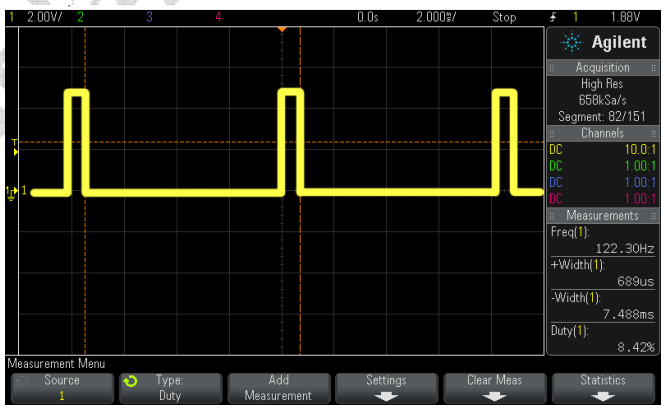
Die Pulsweitenmodulation (PWM) wird zur Informationsübertragung und zusätzlich häufig zur Steuerung der Energieumwandlung in einem technischen System eingesetzt.

Zuerst etwas (vereinfachte) Theorie:
Wenn Sie z.B. eine Leuchtdiode binnen 1 Sekunde 5 Mal für 0,1 Sekunden ausschalten und dann wieder für 0,1 Sekunden einschalten, sehen Sie zuerst einmal ein Flackern. Zudem war aber die LED die Hälfte der Zeit abgeschaltet und hat daher in der Gesamtzeit auch nur die Hälfte an Lichtenergie abgegeben (und auch nur in der Hälfte der Zeit Strom verbraucht).

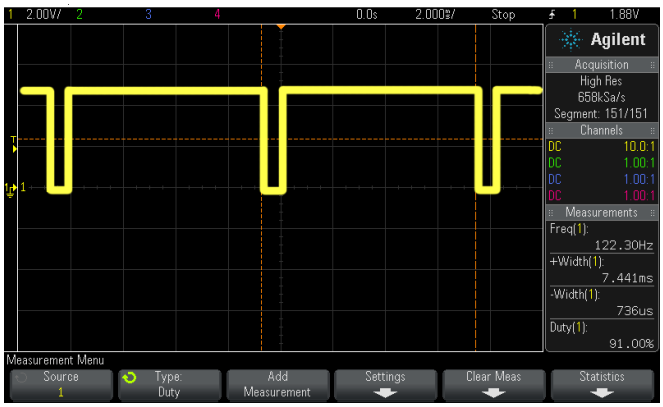
Angenommen, Sie beschleunigen diese Rate auf eine Ein- und Ausschaltzeit von ca. 4ms (also über 120 Hz wie im Oszilloskopbild rechts oben), dann würden das Auge sicher kein Flackern oder Flimmern mehr registrieren – es würde jedoch eine Leuchtdiode sehen, die scheinbar nur mit halber Kraft leuchtet – kein Wunder, sie ist ja auch die Hälfte der Zeit (nämlich 122x pro Sekunde für 4ms abgeschaltet – und dann für 4ms eingeschaltet).



Wenn Sie nun das Verhältnis von 1:1 im obigen Bespiel ändern auf rund 1:10 (wie im Bild in der Mitte), dann würde die Helligkeit noch weiter abnehmen, denn die LED ist meistens abgeschaltet – im umgekehrten Fall, also wenn die LED länger ein- als ausgeschaltet wäre (siehe Bild unten), würde die Helligkeit zunehmen.



Beachten Sie, dass in allen diesen Bildern die Frequenz gleichbleibt, lediglich der Anteil Ein/Aus variiert.
Dies nennt man Pulsweitenmodulation (PWM): das Tastverhältnis variiert, die Frequenz bleibt die gleiche.



Durch das Verhältnis der Einschaltdauer zur Ausschaltdauer in einer definierten Zeit, kann die einem Verbraucher zugeführte Leistung gesteuert werden. In unserem Fall könnte also der Mikrocontroller mittels PWM, also der schnellen Steuerung der Ein- und Ausschaltzeiten, die Geschwindigkeit des Motors steuern.

Starten Sie nun noch nicht gleich mit der Erstellung eines Programms, welches diese gepulste Ausgabe realisiert! Fast jeder Mikrocontroller kann eine solche PWM-Ausgabe hardwareseitig quasi nebenbei erledigen – für PWM ist extra entsprechende Hardware inkludiert. Um diese zu nutzen, ist nicht viel Programmieraufwand notwendig, lediglich durch das Setzen einiger

© Peter Küsters - www.display3000.com

Parameter wird der Pulsweitenmodulator gestartet; und durch Variation des genutzten Timers wird das Tastverhältnis von Eingeschaltet zu Ausgeschaltet verändert. Den Rest erledigt die Hardware quasi nebenbei – sie brauchen also in Ihrer Software keinerlei Resourcen hierfür zur Verfügung stellen.

Beispiel in Bascom zur Veranschaulichung:
Die folgenden Zeilen starten PWM auf Port B.7 und fahren den Motor langsam von 0% auf 100% hoch um dann, nach 5 Sekunden Wartezeit, den Motor auf 50% Geschwindigkeit zu reduzieren. Dann endet das Programm. Preisfrage: Was passiert nach dem Ende des Programms mit dem Motor? Wird er abgeschaltet, läuft er weiter mit 50% oder wieder mit 100% Geschwindigkeit? Antwort auf der nächsten Seite.

```
' PWM Beispielcode (~100 Hz)

Config Timer1 = Pwm , Pwm = 8 , Compare C Pwm = Clear Up ,
                Compare C Pwm = Clear Down , Prescale = 256

For I = 0 To 255 Step 5
   Pwm1c = I
   Waitms 10
Next I

Waitms 500

For I = 255 To 130 Step -5
   Pwm1c = I
   Waitms 10
Next I

End
```

Zu kurzen Erläuterung: PortB.7 hängt an der Hardware für den PWM Kanal C. Mit *Pwm1c* wird das entsprechende Register mit dem gewünschten Wert beschrieben.

PWM Geschwindigkeit

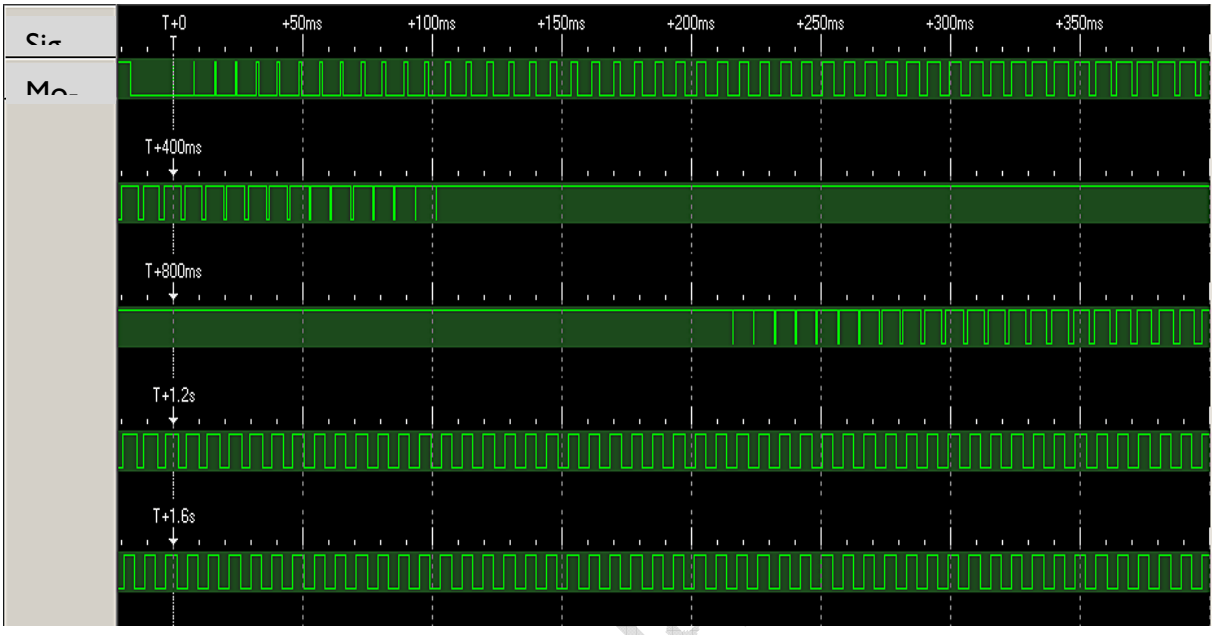
Zu langsame Geschwindigkeiten führen dazu, dass der Motor nicht rund läuft und man die Steuerung des Motors akustisch wahrnehmen kann.
Eine zu schnelle PWM Geschwindigkeit kann den Motor schädigen: Die Ummagnetisierungsverluste im Motor führen bei falscher PWM Frequenz dazu, dass die verbrauchte Energie nicht in Bewegung, sondern in Wärme umgesetzt wird. Diese Wärme sorgt mit der Zeit dazu, dass die Magnete Ihre magnetische Kraft verlieren (legen Sie einen Magneten auf die Herdplatte, ist er nach wenigen Minuten nicht mehr magnetisch) und somit der Motor für die gleiche Kraft an der Welle immer mehr Leistung verbrauchen muss.

Je nach Ausführung des Motors sind unterschiedliche PWM Frequenzen notwendig. Ein billig aufgebauter Motor sollte nicht mit mehr als 3-5 KHz betrieben werden. Hochwertigere Motoren mit Neodym Magneten und besseren Blechen sind besser mit bis zu 8-10 KHz zu betreiben und Brushless Motoren haben eine ideale Energieausbeute bei ca. 25 KHz.

© Peter Küsters - www.display3000.com

Im Zweifelsfall müssen Sie durch eigene Tests eine optimale PWM Frequenz ermitteln.

Zur Verdeutlichung haben wir zeigen wir das Ausgangssignal des Mikrocontrollers noch mit einem Logikananalyzer aufgezeichnet. Die gesamte Aufzeichnung ist 2 Sekunden lang, in jeder Zeile sind 400ms abgebildet. Sehr schön ist zu erkennen, wie das Tastverhältnis von Ein zu Aus sich mit fortlaufender Zeit verändert.



Die ersten 510 ms werden benötigt, um die Geschwindigkeit in 51 Schritten von 0 auf 100% zu steigern – nach jedem Schritt folgt eine Wartezeit von 10 ms. Dann folgt eine Pause von 500ms (Waitms 500), in der der Motor mit voller Geschwindigkeit läuft. Dann wird er in 25 Schritten auf eine Geschwindigkeit von ca. 50% gefahren (dies wird bei 1.25 Sekunden erreicht) und das Programm dann beendet. Nun die Antwort auf unsere Frage von der vorhergehenden Seite: Sie erkennen, obwohl das Programm beendet wurde (ca. ab Position 1,25 Sek.), arbeitet der Mikrocontroller seinen PWM-Befehl weiterhin ab (=der Motor wird weiter in einem Tastverhältnis von 1:1 gepulst = 50% Geschwindigkeit) und verbraucht dabei keinerlei Ressourcen.

© www.Display

© Peter Küsters - www.display3000.com

Errata:

In der ersten Version des Handbuchs haben wir versehentlich die Zustände Low/High der Fehlerleitungen F1 / F2 falsch beschrieben.
Im Fehlerfall sind die Leitungen High und nicht –wie ursprünglich erwähnt– Low.
Dieser Fehler wurde im Handbuch korrigiert.

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com

Haftung, EMV-Konformität

Wenn Sie diesen Bausatz fertig gestellt haben bzw. diese Baugruppe durch Erweiterung bzw. Gehäuseeinbau betriebsbereit gemacht haben, gelten Sie nach DIN VDE 0869 als Hersteller und sind verpflichtet, bei der Weitergabe des Gerätes alle Begleitpapiere mitzuliefern und auch Ihren Namen und Ihre Anschrift anzugeben.

Geräte, die aus Bausätzen selbst zusammengestellt werden, sind sicherheitstechnisch wie ein industrielles Produkt zu betrachten.

Derjenige, der den Bausatz zusammenbaut und in einem Gehäuse montiert, gilt als Hersteller und ist damit selbst für die Einhaltung der geltenden Sicherheits-, EMV- und Entsorgungsvorschriften verantwortlich.

Unsere EG Konformitätserklärung dieses Moduls kann vom Internet heruntergeladen werden oder wird Ihnen auf Nachfrage von uns zugesandt.

Für Schäden die durch fehlerhaften Aufbau entstanden sind, direkt oder indirekt, ist die Haftung generell ausgeschlossen.

Bei der Lieferung von Fremdprodukten als auch Software gelten über diese Bedingungen hinaus die besonderen Lizenz- oder sonstigen Bedingungen des Herstellers.

© www.Display3000.com

© Peter Küsters - www.display3000.com