

Unsere bürstenlosen Gleichstrommotoren ("brushless DC"=**BLDC**) mit Hallsensoren, die wahlweise hallsensorgesteuert oder hallsensordfrei angesteuert werden können (je nachdem was der Controller unterstützt), sind in mehreren Varianten erhältlich:

- als leichte und kleine **"250W" Freilauf-Getriebemotoren** für Pedelecs
- als mittelschwere **"500W" Freilauf-Getriebemotoren** (dzt nur Hinterrad)
- als grosse und schwere sog. **"Directdrive-Motoren"** von 250W bis ca 2000W (echte Leistung an der Welle - die elektrische Leistung ist wesentlich höher)

Vorweg gleich eine Anmerkung zu den **Leistungsangaben**: Im Gegensatz zu einem Verbrennungsmotor kennt ein Elektromotor so etwas wie eine "maximale Leistung" nicht. Er kann vielmehr, je nachdem wie gut man ihn kühlt, jede Leistung erzeugen. Die angegebenen Leistungen wie "250W" sind daher "Nennleistungen", die der Motor im Normalbetrieb und normalen Bedingungen dauerhaft leisten kann. Noch dazu wird bei einem Elektromotor die maximale Leistung durch Akku und Controller bestimmt - ein "500W Motor" kann daher zb auch auf 250W begrenzt betrieben werden.

Dabei sind die **Freilauf-Getriebemotoren** für den Einsatz in "normalen" Fahrrädern gedacht, und die Directdrive-Motoren tendenziell für Spezial-Fahrräder, bei denen ein Maximum an Wartungsfreiheit angestrebt wird, zb Lastenfahrräder und mehrspurige Fahrräder, die ein hohes Drehmoment und/oder eine hohe Dauerleistung brauchen. (Allerdings spricht technisch mal nichts dagegen, einen Directdrive-Motor in ein "normales" Fahrrad einzubauen.)

Die Entscheidung, welcher dieser beiden Motortypen "der bessere" ist, ist grundsätzlicher Natur und oft nicht leicht zu treffen.

Grundsätzlich gilt: Ein Fahrrad mit Getriebemotor fühlt sich noch als "Fahrrad" an (PKW), ein Fahrrad mit directdrive fühlt sich eher wie ein Kleinmofa an (LKW), wobei man immer noch mitreiten kann.

Rechtlicher Hinweis: Fahrzeuge mit mehr als 250W elektrisch erzeugter **Dauerleistung** "an der Motorwelle" sind in den meisten EU-Ländern und der Schweiz zulassungspflichtig. Die

Spitzenleistung beim Anfahren darf allerdings wesentlich höher sein, ohne dass dies die Pedelec-Legalität verletzt.

Fahrzeuge mit mehr als 250W Dauerleistung (S1-Leistung), aber nur 25km/h Nenngeschwindigkeit (plus Toleranz) gelten als "**Kleinkraftrad mit geringer Leistung bis 25km/h**", die Anmeldung ist einfach und kostengünstig. Ein Versicherungskennzeichen wird ausgestellt. Ein

Pedelec-Sensor

ist

nicht erforderlich

. Das ist auch der Grund, warum ia Controller, die eine Leistung wesentlich über 250W erlauben, gar keinen Pedelecsensor-Eingang haben (bei uns sind das die 22A und 30A Controller).

Fahrzeuge bis **45km/h Nenngeschwindigkeit** müssen höhere Anforderungen erfüllen. Auch hier ist eine Zulassung möglich, allerdings sehr aufwändig. Ein Pedelec-Sensor ist nur erforderlich, falls das Fahrrad als sog "

c

zugelassen wird (eine Unterart der 45km/h-Fahrzeuge), da ein solches nur 20km/h ohne Mittreten fahren darf ("erweiterte Anfahrhilfe"). Es gibt dzt keine uns bekannten Bausätze mit einer fertigen Zulassung für 45km/h, da die grössten Anforderungen an das Fahrrad selbst gestellt werden (zertifizierte Komponenten, etc).

S-Pedele
"

Ein möglicher Weg für legale Fahrten von 45km/h Selbstbau-Fahrrädern ist dzt, ein Gewerbe zur "Entwicklung von 45km/h Elektro-Kleinfahrzeugen" anzumelden (in DE freies Gewerbe, in AT gebundenes Gewerbe), und ein **Probekennzeichen** zu beantragen (in DE rot, in AT blau), das ca 60€ pro Jahr kostet und eine Haftpflichtversicherung beinhaltet. Natürlich entbindet so ein Kennzeichen nicht von einer erheblichen Sorgfaltspflicht: Ein so gefahrenes Fahrzeug muss **gutachterfest** sein, dh Bremsanlage, Reifen sowie alle weiteren sicherheitskritischen Teile müssen einem 45km/h Betrieb gewachsen sein. Im Konfliktfall (Unfall) muss der Nachweis der eingehaltenen Sorgfaltspflicht erbracht werden.

Technischer Hinweis: Alle unsere Motoren sind sowohl im sog. "**hallsensorgesteuerten**" Modus, wie auch im "

sensorlosen

" Betrieb betriebsfähig, wie dies für moderne BLDC Motoren typisch ist (Näheres dazu unter Technik/Controller). Jedenfalls sind alle unsere Motoren mit sog.

Hallsensoren

ausgerüstet. Da diese Sensoren empfindlich sind (vor allem elektrisch, in geringerem Mass auch elektrostatisch), werden die Steckeranschlüsse an diesen Sensoren immer

isoliert

geliefert, dh der Hallsensorstecker (oder Wartungsstecker) ist mit einem Schrumpfschlauch oä gegen unbeabsichtigtes Berühren mit spannungsführenden Teilen oder Kabeln gesichert. Diese Isolation darf nur entfernt werden, wenn der Stecker, der dort befestigt wird, wieder berührungssicher ist. Eine Manipulation am Stecker, solange das Kabel mit dem Motor verbunden ist, kann zu einem Defekt der Sensoren führen. Vor jeder Manipulation sollte daher der

Wartungsstecker

(Stecker zwischen Motorkabel und Motor, kurz nach Achsende) getrennt werden.

Modulares Drehzahl- und Drehmomentkonzept

Darunter verstehen wir, dass die Drehzahl und das Drehmoment unserer Motoren, Ihren speziellen Bedürfnissen angepasst werden kann, indem die Motoren bei uns, auf Ihren Anwendungsfall zugeschnitten, zusammengebaut werden.□

Unsere Motoren sind, wie auch die meisten anderen erhältlichen Umbausatz-Motoren, standardmässig so ausgelegt, dass sie im normalen Betrieb, bei 36V mit einer sog. "nativen Wicklung" (26" Wicklung in 26" Laufrad, 20" in 20" etc) ihre **Nenngeschwindigkeit (NG)** (Geschwindigkeit die auf ebener Strecke ohne Gegenwind bei einem normalen Fahrrad ohne Mitreten erreicht wird) von ca 26km/h erreichen. Durch verschiedene Einflüsse kann die reale Nenngeschwindigkeit um einige % variieren.

Davon unterschieden werden muss die sog. "**Unterstützungsgrenze (UG)**", die ca 10% höher liegt. Diese darf bei Pedelecs 25km/h (plus Toleranz) betragen. Wir legen unsere Motoren so aus, dass sie mit nativer Wicklung im Betrieb mit 36V-Akkus möglichst in dieser Bandbreite bleiben, um **pedele**

c-legal

zu sein.

Letzlich haben wir aber auf die real erzielte Geschwindigkeit im Detail keinen Einfluß, da diese von vielerlei Faktoren abhängt, so ist zb die Unterstützungsgrenze linear von der Akkuspannung abhängig: Ein schwächerer Akku mit schnell abfallender Nennspannung wird also im Betrieb sehr bald eine geringere Geschwindigkeit ergeben als ein neuer Akku, der die Spannung konstant hält. Aber auch der Luftwiderstand wirkt sich auf die reale Unterstützungsgrenze stark aus - bei Gegenwind wird die optimale UG zb nicht erreicht.

Dzt bieten wir folgende Drehzahlen der Motoren an (rpm = U/min):

- 26/28" 'Bergwicklung', ca 5 U/min/V, also ca 180 rpm bei 36V
- 28" nativ, ca 6.5 rpm/V, also ca 230 rpm bei 36V
- 26" nativ, ca 7.0 rpm/V, also ca 250 rpm bei 36V
- 20" nativ, ca 9.0 rpm/V, also ca 330 rpm bei 36V
- 16" nativ, ca 11.0 rpm/V, also 400 rpm bei 36V

Dementsprechend gibt es ein Bezeichnungsschema (Code) für Motoren, Wicklungen bzw eingespeichte Motoren, das sich zusammensetzt aus

- Motortyp (zweistellige Zahl)
- Vorderrad/Hinterrad-Schraubkranz/Hinterrad-Cassette (F/R/C)
- Felgendurchmesser in Zoll
- Nenndrehzahl bei 36V

Beispiele für Motor-Codes: **07F28-230** bedeutet: Getriebemotor 250W (=typ 07), Vorderrad (=F), Felge 28", 230U/min bei 36V
40R20-330 bedeutet: 205er Directdrive Motor (=typ 40), Hinterrad-Schraubkranz (=R), Felge 20", 330U/min bei 36V
usw die Drehzahl ist im Leerlauf gemessen und stimmt auf ca 5% genau

Der Effekt einer "Bergwicklung" (**langsamer als Nenngeschwindigkeit**, aber bergstärker) kann bei jedem Laufrad durch Einbau einer langsameren Wicklung als der nativen, also der Wicklung einer grösseren Felge erreicht werden (zb native 26/28" Wicklung in 20" Laufrad etc).

So eine Kombination ist

pedelec-legal

, dh der Gesetzgeber hat gegen eine Erhöhung des Drehmomentes zulasten der Geschwindigkeit nichts einzuwenden. Solche Kombinationen sind in der Tabelle unten

grün

markiert.

Beim Einbau einer schnelleren Wicklung als dies der Felge entspricht (also der nativen Wicklung eines kleineren Laufrades), ergibt sich ein höherer Nennbereich auch bei 36V, so ein Fahrzeug ist nicht mehr Pedelec-legal und muss, um beim Betrieb auf öffentlichen Strassen legal zu sein, als Kleinkraftrad bis 45km/h angemeldet werden (siehe oben). Beim Einsatz von 48V-Akkus gilt dasselbe auch schon für native Wicklungen.

Da die Leistung beim Einbau einer schnelleren Wicklung gleich bleibt, sinkt das Drehmoment, dh so ein Motor ist beim Anfahren und am Berg schwächer. Grob gilt, dass man das an Drehmoment verliert, was man an Geschwindigkeit gewinnt. Auch der Verbrauch des Motors steigt ja an, da der Motor in einem schlechteren Wirkungsgradbereich läuft, und natürlich der höhere Luftwiderstand sich erheblich auswirkt.

Im Gegensatz dazu, bewirkt eine **höhere Akkuspannung** immer höhere Geschwindigkeit **und höhere Leistung**

, dh das Drehmoment ("Bergleistung") bleibt gleich. Diese Methode ist besonders verschleissend für die Getriebezahnräder, da höhere Geschwindigkeit und höhere Leistung den Abrieb vergrössern.

Einen Überblick über die **Unterstützungsgrenzen "UG"**, beim Einsatz von verschiedenen Laufrädern und Wicklungen, beim Betrieb an 36V Akkus (bei LiMn ca 37.0V Nominalspannung) finden Sie in der folgenden Tabelle:

v Wicklung v // Felge ->U/min @ 36V, ca.	
UG 16" [km/h]	
UG 20" [km/h]	
UG 24" [km/h]	
UG 26" [km/h]	UG 28" [km/h]
26/28" Bergwicklung	
180	14
18	
20	22
24	
28" Normalwicklung	
230	17
22	
24	27
29	

26" Normalwicklung	250	18	23
25	29	30	

20" Normalwicklung = 26/28" Schnellwicklung (ca 330rpm@36V)

330	25
29	
33	37
40	

16" Normalwicklung = 20" schnell = 26/28" Superschnellwicklung (ca 400rpm@36V)

400	29	37
43	50	
53		

Für 48V brauchen die Werte nur mit ca 1.4 multipliziert zu werden. 1.4 deshalb, weil die meisten 36V in Wirklichkeit eine Nominalspannung von 37.0V haben, die meisten 48V Akkus eine Nominalspannung von 51.8V. Dazwischen liegt ein Faktor von 1.4, der sich linear auf die Geschwindigkeit auswirkt. Allerdings bricht die Geschwindigkeit jenseits von 30km/h durch den starken Luftwiderstand ziemlich stark ein - wie stark, hängt vom Luftwiderstand des Fahrrades ab und kann daher nicht so einfach beantwortet werden.

Wie man erkennen kann, liegt beim Einsatz einer "nativen" Wicklung auch bei 36V (typisch für LiMn) die Unterstützungsgrenze UG noch im Pedelec-legalen Bereich von 25km/h plus einer gewissen Toleranz. Diese Kombinationen sind **fett** markiert.

Steigerung des Drehmomentes für Bergfahrten und schnelle Beschleunigung

Ein starkes Drehmoment erreicht man durch

- langsame Wicklungen
- hohe Motorströme

oder eine Kombination von beiden.

Der 250W Standardmotor wird normalerweise mit einem Controller betrieben, der den Strom bei 14A begrenzt - das hält die Wicklung des Motors gut aus, ohne "heisse" und damit defekt zu werden. Reicht das Drehmoment bei 14A nicht aus, bietet sich ein 17A Controller an, der 20% mehr Schub verspricht, allerdings bei 40% mehr Verlustleistung (die sog. I^2R -Verluste sind dafür verantwortlich) - die Wicklung kann dadurch bei längerer Höchstlast Schaden nehmen. Eine mögliche Abhilfe dagegen bietet für versierte Bastler die sogenannte [Öl-kühlung](#) .

Der 17A Controller hat allerdings auch andere Nachteile:

- durch erhöhtes Drehmoment ergibt sich auch ein erhöhter Getriebeverschleiss. Wie konkret sich das Wartungsintervall von Zahnrädern oder Getriebefreilauf verkürzt, hängt von sehr individuellen Faktoren ab. Da Zahnräder und Freilauf Standard-Ersatzteile sind, ergibt sich jedenfalls kein unlösbares Problem.

- der Akku muss die 17A auch liefern können, ohne selbst dabei Schaden zu nehmen. Im Fall von LiMn Akkus ist das grenzwertig. Dh bei täglicher Nutzung des Akkus sollte besser LiFePo verwendet werden, der die 17A leicht liefern kann. Für den LiMn Akku ergibt sich durch häufiges Belasten mit 17A eine Verringerung seiner Zyklenfestigkeit. Ein seltenes, kurzes Belasten in diesem Bereich ist eher unbedenklich.

Abgesehen davon ist die Stromerhöhung ein billiger und einfacher Weg, zu mehr Leistung am Berg zu kommen (ca +20%).

Wenn Sie nicht wissen, welche Drehzahl/Drehmoment für Sie die beste ist, kontaktieren Sie uns bitte per mail unter service@elfkw.at, wir werden dann für Ihren speziellen Anwendungsfall die beste Kombination erarbeiten.

Die Sache mit den **Hallsensoren**

Da es Teil unserer Philosophie ist, dass unsere Motoren möglichst effizient arbeiten, haben alle unsere Motoren **3 Hallsensoren** (plus evt einen weiteren zur Messung der Geschwindigkeit der Nabe). Das sind empfindliche elektronische Bauteile, deren Anschlüsse über die 8polige Motorleitung zum Controller geführt werden.

Da diese Sensoren elektrisch empfindlich sind, sind am Motorkabel-Ende (controllerseitig) diese Anschlüsse extra mit einem Schrumpfschlauch geschützt, und auch die Kabellängen unterschiedlich von den Phasenleitungen, um Berührungen zwischen diesen Kabeln zu vermeiden. Insb. dürfen die dünnen Sensorleitungen nicht mit den dicken Phasenkabeln in Kontakt kommen, vor allem nicht während der Motor an seiner Welle bewegt wird (und daher Spannung erzeugt).

Die erzeugten ca 40V können zu einem sofortigen Defekt eines oder mehrerer Sensoren führen. Aus demselben Grund darf auch das Motorkabel zum einkürzen nicht einfach

abgeschnitten werden, sondern es muss zuerst am Wartungsstecker getrennt werden. Der offene Wartungsstecker sollte vorsichtshalber motorseitig immer gleich mit einem Schrumpfschlauch oder Isolierband provisorisch isoliert werden. Auch sollte der Motor immer nur mit angestecktem Kabel, oder eben isoliertem Stecker gelagert oder gar versendet werden. Jeder Kontakt des offenen Steckers mit Metall kann zum Hallsensordefekt führen. Zwar können mittlerweile unsere Controller defekte Hallsensoren "ausblenden", dies geht jedoch zulasten eines maximalen Drehmomentes im unteren Drehzahlbereich, dh beim Anfahren.

Wichtiger **Einbauhinweis** für Nabenmotoren

Bei Nabenmotoren für Fahrräder haben sich die BLDC Motoren heute praktisch ausschließlich durchgesetzt. Sie ersetzen dort die Laufräder, die mit ihren Naben in den Gabeln bzw Ausfall-Enden montiert sind. Fast alle Naben sind durch Motornaben ersetzbar, es gibt nur eine harte Restriktion: Motoren können beim Stand der Dinge (2021) nicht statt **Steckachsen** eingebaut werden. Nabenmotoren brauchen ein einseitig offenes Loch für die Montage. Ob diese Öffnung nach unten (wie bei modernen Fahrrädern bei praktisch allen Gabeln und Hinterbautend), oder nach schräg vorne (wie bei älteren Fahrradrahmen im Hinterbau) ausgerichtet ist, ist dabei nicht wichtig. Es darf nur kein rundum geschlossenes Loch sein.