

Volt (V) ist die Einheit der Spannung und steht beim Elektrofahrrad in direktem Zusammenhang mit der **Leerlauf-Geschwindigkeit** des Motors. Dh wenn ein Motor mit einem 36V-Akku maximal 30km/h schnell ist, ist er mit einem 48V-Akku 40km/h schnell - vorausgesetzt

- der Controller lässt ihn so schnell werden (regelt nicht ab)
- und der Luftwiderstand (oder was anderes) bremst ihn nicht zusehr ein.

Fast immer ist daher ein für 36V ausgelegtes System, das mit 48V betrieben wird, nicht mehr pedelec-legal, da die maximal zulässige Unterstützungsgeschwindigkeit (25km/h+Toleranz) überschritten wird (ausser der Controller verhindert das).

Da auch die **Motorleistung** mit der Geschwindigkeit steigt, ist eine Erhöhung der Betriebsspannung meist die einfachste Möglichkeit, die Leistung des Motors zu erhöhen. Eine erhöhte Leistung geht allerdings immer **zulasten der Lebensdauer** des Motors bzw noch mehr des Getriebes (falls es eines gibt), im Extremfall kann der Motor durch Betrieb mit einer Leistung weit über seiner Nennleistung überhaupt defekt werden. Dabei hat ein

schwerer Directdrive

Motor erheblich

mehr Leistungsreserve

als ein vergleichsweise kleiner Getriebemotor - das ist auch der Grund warum Directdrive Motoren oft jahrelang problemlos mit sehr hohen Spannungen (72V und mehr) betrieben werden, nicht zuletzt in den USA, wo die Geschwindigkeitsvorschriften grosszügig sind.

Durch eine Erhöhung der Spannung erhöht sich die **Kraft (Bergleistung, Anfahrleistung)** eines Motors hingegen

nicht

oder zumindest nicht wesentlich. Deshalb macht es auch wenig Sinn, für das Bergfahren die Akkuspannung zu erhöhen.

Ampere (A) ist die Einheit für den Stromfluss und steht beim Elektrofahrrad in direktem Zusammenhang mit dem **Drehmoment** des Motors, dh mit der Kraft, die vom Motor insb beim Anfahren und am Berg spürbar ist. Dh wenn

ein Motor im Zusammenspiel mit einem 14A Controller eine bestimmte Kraft entwickelt (Einheit Nm "Newtonmeter"), hat er mit einem 17A Controller einfach 20% mehr maximale Kraft, vorausgesetzt

- der Akku kann diesen Strom auch liefern
- der Motor hält diesen Strom auch aus ohne dass seine Wicklung zu heiss (=defekt) wird

Hätte der Motor keinen Controller, der seine Stromaufnahme begrenzen würde, dann würde er unter extremen Bedingungen (Last) nahezu unbegrenzt viel Strom aufnehmen, sodass er überhitzen und somit defekt werden könnte. Der **Controller begrenzt** also immer **die maximale Stromaufnahme des Motors** und ist somit das wichtigste Regulierungs-Instrument für den Motor.

Das ist auch der Grund, warum ein kleiner Getriebemotor, der für 14A maximalen Strom ausgelegt ist, zwar mit einem 30A Controller betrieben werden kann, in diesem Betrieb aber vermutlich nach kurzer Zeit defekt wird (überhitzt). Umgekehrt kann ein schwerer Directdrive Motor bedenkenlos mit einem 14A Controller betrieben werden - dieser reizt halt seine max. Leistung nicht aus - der Controller wird dadurch aber nicht defekt. Bei der Abschätzung der Hitze-Entwicklung kann man davon ausgehen, dass die Wärmeentwicklung mit dem Quadrat des Stromes steigt. Anders ausgedrückt: 17A erzeugen im Vergleich zu 14A nicht 20% mehr Hitze, sondern 45%.

Da die Motorleistung auch mit dem Drehmoment steigt, ist eine Erhöhung des maximalen Stromes prinzipiell auch ein Weg, die Leistung des Motors zu erhöhen. Da sich die Erhöhung des Stromes allerdings **nur beim Anfahren und Bergfahren** auswirkt, kann es sein, dass sich die **maximale mechanische Leistung** des Motors, die ja bei fast maximaler Geschwindigkeit meist erreicht wird, durch die Stromerhöhung gar nicht erhöht, da der Motor bei Maximalgeschwindigkeit üblicherweise gar nicht den vollen Strom zieht.

Aus diesem Grund geht eine Erhöhung des maximalen Stromes **nicht zwingend** mit einem Verlust der Pedelec-Legalität einher. Anders ausgedrückt: Der Betrieb eines Pedelec mit einem 17A Controller (statt 14A) zieht meist nicht den Entfall der Pedelec-Legalität nach sich. Der Motor hat nur einfach beim Anfahren und Bergfahren mehr Schub.

Durch eine Erhöhung des maximalen Stromes erhöht sich die **maximale Leerlauf-Geschwindigkeit** des Motors jedenfalls **nicht**.

Allerdings ist es möglich, dass der Motor dadurch unter Last eine höhere Drehzahl erreicht, weil er mehr mechanische Leistung erbringen kann.

Watt (W) ist die Einheit für die Leistung und die kommt beim Elektrofahrrad in 2 sehr verschiedenen Bedeutungen vor:

- die **mechanische Leistung** an der Motorwelle ergibt sich aus Drehmoment mal Geschwindigkeit. Dh je höher das Drehmoment, desto höher die Leistung, je höher die Geschwindigkeit, desto höher die Leistung. Die mechanische Leistung kann nicht wirklich einfach direkt gemessen werden, allerdings kann sie durch eine definierte Bergfahrt indirekt festgestellt werden. Ein pedelec-legales Fahrrad darf hier nur

maximal 250W Dauerleistung (plus Toleranz) aufbringen.

- davon unterschieden werden muss die **elektrische Leistung**, die der Motor (genauer: der Controller) aufnimmt. Sie kann mit einem Leistungsmessgerät einfach gemessen werden und unterliegt keiner gesetzlichen Beschränkung. Sie beträgt typisch 100-1000W und mehr. Sie entspricht in der Welt der fossilen Treibstoffe dem

Benzinverbrauch

Das Verhältnis von mechanischer zu elektrischer Leistung nennt man **Wirkungsgrad**. Dieser Wirkungsgrad beträgt bei einem guten Fahrradmotor bis zu 90% in seinem besten Betriebspunkt (meist nahe der Höchstgeschwindigkeit) und kann bei niedriger Drehzahl insb bei Nabenmotoren durchaus nur 10% betragen (typisch: quälende langsame Bergfahrt <10km/h).

Der **Wirkungsgrad** eines Motors (und damit auch sein Strom-Verbrauch) ist jedenfalls grundsätzlich **unabhängig** von der **Nennleistung** des Motors. Ein Motor mit 500W Nennleistung (oder mehr) braucht daher bei

vergleichbarer Fahrweise (gleiche Leistungs-Anforderung) **gleich viel Strom**

(und damit auch elektrische Leistung=Verbrauch) wie ein Motor mit 250W Nennleistung. Wir betonen das hier deshalb besonders, weil diese Frage immer wieder gestellt wird. Das einzige was beim Motor mit höherer Nennleistung grundsätzlich anders ist: er hat

mehr Leistungsreserve

, dh kann mit höherem Strom (der vom Controller begrenzt wird) betrieben werden, ohne dass er Schaden nimmt. Diesen höheren Strom zieht er allerdings nur bei einer Fahrweise (steiler, schneller), die mit einem Motor mit weniger Nennleistung unerreichbar ist.

Gerade dieser letzte Punkt kann allerdings durchaus dazu führen, dass zb das Überwinden eines Hindernisses am Weg (zb lange steile Bergstrecke) mit einem Motor mit höherer Nennleistung sogar sparsamer ist als mit einem schwächeren Motor. Das schwächere Motor kommt einfach nicht in denselben (sparsamen) Betriebspunkt des stärkeren Motors, da er den dafür nötigen Strom gar nicht ziehen kann, ohne defekt zu werden. Dadurch muss er aber mit sehr langsamer Geschwindigkeit fahren, in einem sehr schlechten Wirkungsgradbereich. Der stärkere Motor kann uU diesen Berg mit einem höheren Wirkungsgrad überwinden, weil er schneller (und damit näher am optimalen Betriebspunkt) fahren kann.

Dieselbe Überlegung gilt natürlich auch für Fahrräder mit mehreren Motoren: Ist ein Motor zu wenig, um eine bestimmte Bergstrecke effizient fahren zu können, kann ein zweiter Motor "wahre Wunder wirken". Durch die zusätzliche Unterstützung können einander beide Motoren in einen besseren Wirkungsgradbereich "pushen" .

Amperestunden (Ah) ist die Einheit für die Strommenge, und wird beim Elektrofahrrad üblicherweise für die Kapazitätsangabe des Akkus verwendet. Üblich sind heute Werte von 5Ah bis ca 20Ah pro Akku. Die "Ah" (Kapazität) sagen nichts über die "A" (Strom) aus mit denen der Akku maximal belastet werden darf. Dh ein 10Ah Akku kann durchaus nur mit 10A belastbar sein, oder ein anderer mit 50A, je nach Zell-Technologie, Sicherung und Elektronik.

Eine Kapazität von 10Ah bedeutet rechnerisch, dass der Akku 1 Stunde lang mit 10A belastet werden kann, oder 10 Stunden mit 1A usw, bevor er leer wird. Dabei ist jedoch der sogenannte "Peukert-Effekt" zu berücksichtigen, der besagt, dass die Akku-Kapazität immer bei hohen Strömen geringer ist als bei kleinen Strömen:

Peukert-Effekt

Dieser Effekt bewirkt, dass also zb ein 10Ah Akku, rechnerisch zwar 1 Stunde lang durchhält bei einer Belastung von 10A, in Wirklichkeit aber kürzer. Der Effekt ist bei Blei-Akkus extrem, und würde, um bei dem Beispiel zu bleiben, bewirken, dass aus einem 10Ah Akku bei einer Last von 10A der Akku in Wirklichkeit nur ca 6Ah liefern kann, während er bei einer Belastung von nur 1A wirklich 10Ah liefert.

Bei den heute bei Fahrrädern üblichen Li-Akkus ist der Effekt zwar weit geringer, aber auch spürbar: Als Daumenregel kann man davon ausgehen, dass der Peukert-Effekt bei normaler Belastung (bis 14A) bei einem 10-15Ah Akku vernachlässigbar ist, bei einem 5Ah Akku aber bereits erheblich spürbar ist (ca 20% Verlust). Das ist auch der Grund warum man, wenn man 2 Akkus beim Fahren zur Verfügung hat, diese, falls technisch erlaubt (mehr dazu weiter unten), parallel geschaltet leer fahren sollte, und nicht, einen nach dem anderen.

Und, es ist weiters der Grund, warum man einen Akku nicht allzu knapp dimensionieren sollte, selbst wenn man plant, nur kurze Strecken damit zu fahren. Als Daumenregel gilt bei den dzt (2016) üblichen Zellen mit ja ca 3Ah, dass man immer 4 Zellen oder mehr parallel im Akku verschalten sollte, das entspricht dann einer Kapazität von ca 12Ah. 3 Zellen parallel wären 9Ah, das geht auch noch, 2 Zellen parallel wären 6Ah nominal (wegen Peukert Effekt wohl eher 5Ah real), das ist bereits kritisch, ausser man weiss ganz genau was man tut.

Wattstunden (Wh) ist die Einheit für die Energiemenge, sie errechnet sich aus der Strommenge mal der Spannung ($Ah * V$). Die Energiemenge (und damit auch Grösse, Gewicht und Preis) in einem Akku steigt mit der Strommenge und der Spannung. Ein typischer Fahrrad-Akku hat heute 500-1000Wh Energie-Inhalt. In der fossilen Welt entspricht dem Energie-Inhalt der **Brennwert**, oder anders ausgedrückt die **Menge an Treibstoff**

. So hat 1 Liter Benzin etwa eine Energiemenge von 10kWh, das entspricht einem modernen Lithium-Akku mit ca 50-100kg Gewicht. Dies ist einer der Gründe, warum es so schwierig ist, schwere Autos zu elektrifizieren - der große Energiebedarf erfordert Akkus, die viele 100kg schwer sind.

Wattstunden pro Kilometer (Wh/km) ist die Einheit für den Energieverbrauch pro Weg. In der fossilen Welt entspricht ihm der Benzinverbrauch pro km (oder 100km). Er beträgt bei Elektrofahrzeugen typisch

10Wh/km

(oder 0.1Liter Benzinäquivalent pro 100km, siehe auch weiter oben).

Beim Bergauffahren steigt der Energieverbrauch beim E-Fahrrad allerdings rasant an, er wird dann oft in Wh/Hm (Höhenmeter) angegeben. Typische Werte sind hier **50Wh/100Hm** bei Nabenmotoren. Dh ein 36V/9Ah (350Wh) Akku ist nach etwa 700Hm leer.

Genauere Abschätzungen zu maximaler Steigfähigkeit, Verbrauch etc finden Sie unter [Leistungsrechner](#)

Wieviel Volt hat ein 36V (48V) Akku wirklich?

36V bzw 48V ist die sogenannte "Nennspannung" eines Akkus. Aber genauso wenig wie eine 12V Autobatterie genau 12V hat, hat ein 36V Akku genau 36V. Er hat vielmehr eine sog. "Ladeschluss-Spannung", dh diese Spannung liefert er normalerweise unmittelbar nachdem er voll geladen wurde (bei einem 36V Li-Akkus ca 42.0V), und eine "untere Abschaltspannung", das ist die Spannung, die er hat, unmittelbar bevor er ihn seine Elektronik als "ganz leer" betrachtet - üblicherweise ca 32.0V. Bei einem 48V Akku sind die entsprechenden Werte 58V bzw 42V.

Es gibt auch sog. "48V Spar-Akkus", bei denen die Ladeschluss-Spannung nicht 58V, sondern nur 54V beträgt. Relevant ist das vor allem insofern, als mit einem 54V Ladegerät ein "echter" 48V Akku nicht ganz voll geladen werden kann.

In der Praxis gibt es gute Gründe, die Ladeschluss-Spannung nicht voll auszureizen, dies kann sich positiv auf die Lebensdauer des Akkus auswirken.

Kleinspannungs-Verordnung

Diese Verordnung besagt im Prinzip, dass Spannungen bis 50V Gleichspannung "ungefährlich" sind in dem Sinn, dass üblicherweise bei einer Berührung dieser Spannung keine tödlichen Unfälle zu erwarten sind. Da die Ladeschluss-Spannung von 48V Akkus bis zu 58V beträgt, ist die Grenze zwar noch in einer 20% Toleranz, genau genommen aber schon überschritten!

Wir raten daher insb im Zusammenhang mit 48V Akku zu größter Vorsicht im Hantieren. Gute Ladegeräte sollten darüber hinaus nur dann Spannung liefern, wenn sie direkt mit einem passenden Akku verbunden sind, um die Gefahr einer unabsichtlichen Berührung zu minimieren.

Zum Hantieren von Spannungen über 50V muss eine gewerbliche Elektriker-Befähigung vorliegen.