Power aus dem Nabendynamo

Einen Laderegler für den Anschluss von Smartphones oder Tablets an den Nabendynamo von Fahrrädern kann man sich mit wenigen Bauelementen selbst bauen. Wir zeigen, wie Nabendynamos funktionieren und mit welchen Mitteln man die erzeugte Spannung regelt.

von Andreas Gräßer

Viele Radfahrer haben mittlerweile eine richtige Lichtmaschine an Bord, einen Nabendynamo. Diese sehr zuverlässigen Dynamos haben einen Wirkungsgrad, mit dem sie nicht nur die Fahrradbeleuchtung versorgen, sondern auch den Saft für Smartphones oder Tablets liefern können. So kann man auf jeder Fahrradtour Navigations-Apps mit stromfressender GPS-Unterstützung laufen lassen, ohne fürchten zu müssen, dass der Akku nicht ausreicht.

Für diesen Zweck gibt es sehr viele fertige Geräte – meist in Form von USB-Ladereglern – mit deren Hilfe man die am Nabendynamo anstehende Spannung in die für das Smartphone passende Form bringen kann. Es ist aber auch möglich, einen solchen Laderegler selbst sehr kostengünstig zu bauen. Die entsprechende Schaltung ist ganz einfach und kommt mit sehr wenigen Bauelementen aus. Bevor wir die Ladeschaltung vorstellen und erläutern, zeigen wir wie ein Nabendynamo eigentlich funktioniert.

Der Nabendynamo

Der Nabendynamo wandelt mechanische Energie in elektrische Energie um. Er funktioniert auf der Basis der magnetischen Induktion. Die magnetische Induktion umfasst das Motor- und das Generatorprinzip: Durch die richtige Anordung von Magneten und einer Spule kann entweder Bewegung durch Stromfluss oder Stromfluss durch Bewegung ausgelöst werden. Hier geht es um letzteres: Durch die Bewegung von Magneten um eine Spule herum wird Stromfluss induziert.

Der Nabendynamo besteht aus einem äußeren Ring aus Magneten, der mit den Speichen des Vorderrades verbunden ist und sich deshalb beim Fahren dreht. Dieser Ring heißt Rotor. An der Vorderradachse und -gabel – also exakt in der Mitte des Rotors – befindet sich eine auf einen Eisenkern gewickelte Spule. Dieser Eisenkern dreht sich nicht, genau wie die Achse und die Gabel, und wird deshalb als Stator bezeichnet. Am Stator sind außerdem so genannte Klauen oder Polschuhe aus Eisen befestigt, die vom Stator bis in unmittelbare Nähe zum Rotor reichen.

Zwischen den Magneten im Rotor befindet sich ein Magnetfeld. Durch die Klauen werden die magnetischen Flüsse der Magnetpole zur Spule geleitet. Sie wirken über die Lo-

Kurzinfo

- Mobiltelefon oder Powerbank unterwegs auf dem Fahrrad laden
- Induktion und Generatorprinzip anhand eines Nabendynamos erklärt
- Aufbau eines Ladereglers

Checkliste

Zeitaufwand:
2 bis 3 Stunden

Kosten:
circa 10 Euro ohne Befestigung am Fahrrad

Elektronik:
einfache Löt- und Messarbeiten

Alles zum Artikel im Web unter
make-magazin.de/xr9y

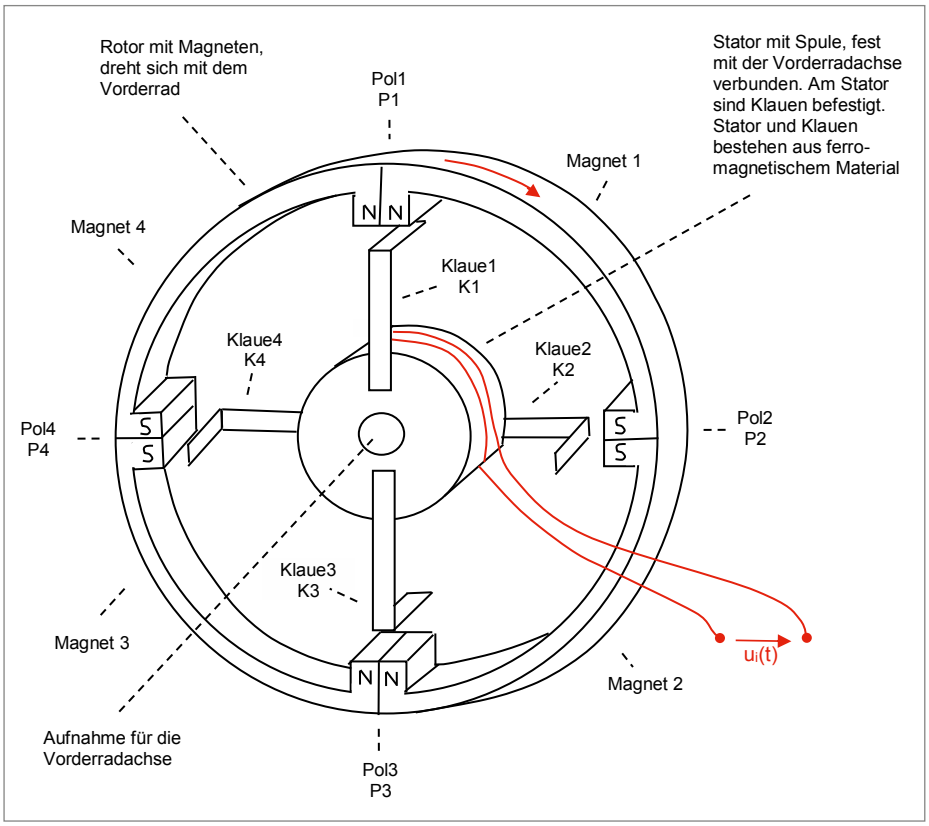
Material

- **4 Schottky-Dioden** SB140
- **unpolarisierter Kondensator 330µF** oder 2 in Reihe geschaltete Elektrolytkondensatoren von jeweils 660µF
- **Elektrolytkondensator 2200µF**
- **DC-DC-Step-Down-Modul** LM 2596
- **Lochrasterplatte** für den Versuchsaufbau
- **Stecker für den Nabendynamo**
- **USB-zu-Mikro-USB-Kabel** zur Verbindung der Ladeschaltung mit dem Smartphone

Mehr zum Thema

- Elke Schick, Die Gesetze der Anziehung, Make 1/2015, S. 126
- Florian Schäffer, Spannungsumwandlung, Make Sonderheft 2018, S. 64
- Carsten Meyer, Spannungsregler, Make 6/2015, S. 116

Der Nabendynamo funktioniert durch Induktion: Magnete werden um eine Spule herum bewegt und erzeugen so Stromfluss.



Prinzipieller Aufbau eines Nabendynamos

rentz-Kraft auf die in der Spule vorhandenen frei beweglichen Elektronen, wodurch in der Spule ein Plus- und ein Minuspol entstehen. Der Eisenkern verstärkt die Ladungstrennung, weil sich in ihm Elementarmagnete befinden, die sich in Richtung des Magnetfeldes ausrichten.

In der im Bild dargestellten Stellung des Rotors verläuft der magnetische Fluss wie folgt:

Verlauf des von Pol 1 ausgehenden Flusses:
Pol 1 → Klaue 1 → Spule → Klaue 2 → Pol 2
Pol 1 → Klaue 1 → Spule → Klaue 4 → Pol 4

Verlauf des von Pol 3 ausgehenden Flusses:
Pol 3 → Klaue 3 → Spulenkern → Klaue 2 → Pol 2
Pol 3 → Klaue 3 → Spulenkern → Klaue 4 → Pol 4

Die Flussrichtung durch die Spule ist dabei jeweils gleich. Sie weist in die Zeichenebene hinein, also von der Front zur Rückseite der Spule.

Wenn der Rotor mit der Drehbewegung des Laufrads um 90° nach rechts gedreht wird, nehmen die magnetischen Flüsse andere Verläufe:

Verlauf des von Pol 1 ausgehenden Flusses:
Pol 1 → Klaue 2 → Spule → Klaue 3 → Pol 2
Pol 1 → Klaue 2 → Spule → Klaue 1 → Pol 4

Verlauf des von Pol 3 ausgehenden Flusses:
Pol 3 → Klaue 4 → Spule → Klaue 3 → Pol 2
Pol 3 → Klaue 4 → Spule → Klaue 1 → Pol 4

Die Flussrichtung durch die Spule ist dabei wieder in beiden Fällen gleich, sie weist jedoch aus der Zeichenebene heraus, hat sich also verändert.

Jede weitere Drehung des Rotors um 90° nach rechts bewirkt wiederum eine Änderung des Flusses und der Flussrichtung durch die Spule. Und weil die frei beweglichen Elektronen in der Spule bewegt werden, wird so gemäß des Induktionsgesetzes eine Spannung induziert, die an den Spulenanschlüssen abgenommen werden kann. Die induzierte Spannung wird durch die ständig wechselnde Bewegungsrichtung des Stromflusses mal stärker und mal schwächer. Diese Schwankungen haben einen angenähert sinusförmigen Verlauf.

Der hier der Übersicht halber sehr vereinfacht dargestellte Generator – er wird auch als Klauenpolgenerator bezeichnet – besitzt vier Pole und vier Klauen. Bei einer Umdrehung des Rotors wird die Flussrichtung also viermal geändert. Die induzierte Wechselspannung durchläuft dann zwei Perioden. Wie sieht es nun mit der Frequenz der induzierten Spannung an der Spule aus? Da müssen wir ein wenig rechnen. Wir gehen davon aus, dass wir ein Vorderrad mit einem Durchmesser von circa 700mm (28“) benutzen. Damit ergibt sich ein Umfang von rund 2,2m. Wir nehmen nun einmal an, dass wir 15km/h fahren. Für eine Strecke von 15 km braucht unser Rad etwa 7000 Umdrehungen (15.000m/2,2m = 6818,181818).

Da wir 15 km/h fahren, müssen wir diese 7000 Umdrehungen in einer Stunde durchlaufen. Pro Sekunde bedeutet das etwa 2 Umdrehungen (7000/(60·60) ≈ 2). Bei einem Generator wie in der Zeichnung dargestellt hätte die induzierte Wechselspannung dann eine Frequenz von etwa 4Hz. Das ist natürlich viel zu gering, das Lampenlicht würde dann fürchterlich flackern. Deshalb enthalten reale Nabendynamos meist 28 Magnete beziehungsweise 28 Pole. Damit ergibt sich bei einem 28“-Fahrrad und einer Geschwindigkeit von 15 km/h eine Frequenz der induzierten Spannung von 28Hz, das ist akzeptabel.

Die Ladeschaltung

Wie kann man nun mit dem Nabendynamo eine Powerbank, ein Smartphone oder ein anderes Gerät aufladen? Wir stellen hier eine Schaltung vor, die sich durch eine erfreuliche Einfachheit und Effizienz auszeichnet.

Den mit dem Dynamo erzeugten Strom leiten wir zuerst durch den Kondensator C_K. Kondensatoren bestehen üblicherweise aus zwei Metallplatten, die durch eine Isolationsschicht (Dieelektrikum) voneinander getrennt sind. Durch den Stromfluss wird eine der Platten negativ aufgeladen, so dass eine Potentialdifferenz zur anderen Platte entsteht. So werden Kondensatoren meist eingesetzt, um elektrische Ladung zu speichern.

Der Kondensator hier dient aber als kapazitiver Blindwiderstand zur (zumindest teilweisen) Kompensation der Induktivität des Nabendynamos. Damit verringert er den komplexen Gesamtinnenwiderstand des Generators. Der Nabendynamo hat einen Innenwiderstand, der durch eine Reihenschaltung aus einer Induktivität (Spule) und einem Ohmschen Widerstand (Spulendraht) dargestellt werden kann. Wenn man an den Dynamo einen passenden Kondensator anschließt, wird die Induktivität kompensiert und der Strom wird nur noch durch den Ohmschen Widerstand begrenzt.

Das liegt daran, dass Kondensatoren sich im Wechselstromkreis nicht aufladen. Da die Elektronen sich dort nicht in eine Richtung bewegen, sondern ihre Flussrichtung regelmäßig ändern, werden die Metallplatten im Wechsel negativ und positiv aufgeladen. Der Kondensator nimmt also zyklisch Leistung auf und gibt sie anschließend wieder an die Quelle ab.

Diese Kompensation ist, wie Messungen ergeben haben, ziemlich wirksam. Für C_K schlagen wir einen unpolarisierten Kondensator von 330µF vor. Solche Kondensatoren sind aber nicht so leicht zu beschaffen, deshalb kann man beispielsweise auch zwei gegensinnig in Reihe geschaltete Elektrolytkondensatoren von 660µF verwenden. In diesem Fall

sind entweder die Pluspole der beiden Kondensatoren miteinander verbunden oder die Minuspole.

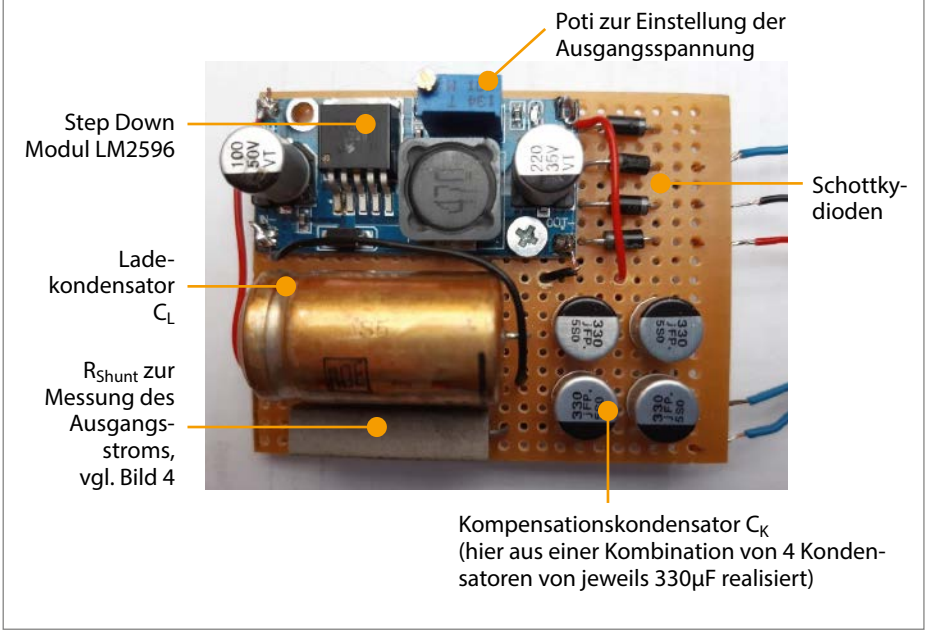
Die am Nabendynamo anstehende Spannung wird mit den 4 Schottky-Dioden zunächst gleichgerichtet. Durch Dioden kann Strom nur in eine Richtung fließen, sie haben eine sogenannte Durchlassrichtung und eine Sperrrichtung. Mit ihnen wird der Wechselstrom, den der Dynamo erzeugt und dessen Flussrichtung sich immer wieder ändert, in Gleichstrom umgewandelt wird, der nur in eine Richtung fließt. Nach den Dioden folgt in unserer Schaltung ein Ladekondensator, der als Zwischenspeicher dient. Anschließend kommt das Herz der Schaltung, ein Step-Down-Modul mit dem IC LM2596.

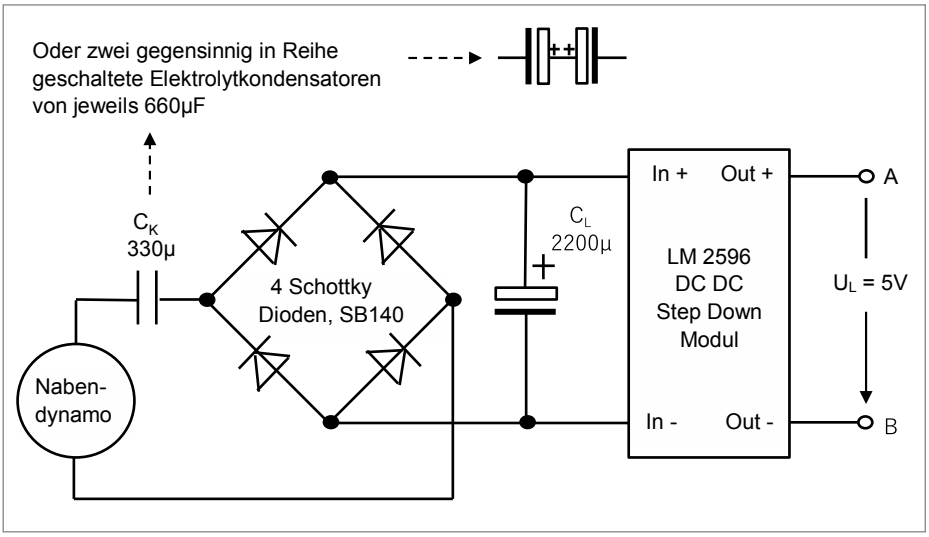
Am Eingang dieses Abwärtswandlers kann man eine Spannung zwischen 3,2V und 36V anlegen. Die auszugebende Ausgangsspannung kann man mit einem auf dem Modul integrierten Poti einstellen. Sie kann zwischen 1,25 und 30V liegen, bei einem maximalen Ausgangsstrom von 2A. Die Eingangsspannung muss allerdings immer etwa 1V höher als die Ausgangsspannung sein.

Die Spannung am unbelasteten Nabendynamo kann über 30V liegen, sie sinkt aber bei Belastung weit unter die maximal zulässigen Eingangsspannung des LM2596-Moduls. An unsere Ladeschaltung sollten vorrangig Geräte angeschlossen werden, die über einen USB-Standard Anschluss verfügen. Deshalb muss die Ausgangsspannung des LM2596-Moduls mit Hilfe des auf dem Board befindlichen Potis möglichst exakt auf 5V eingestellt werden.

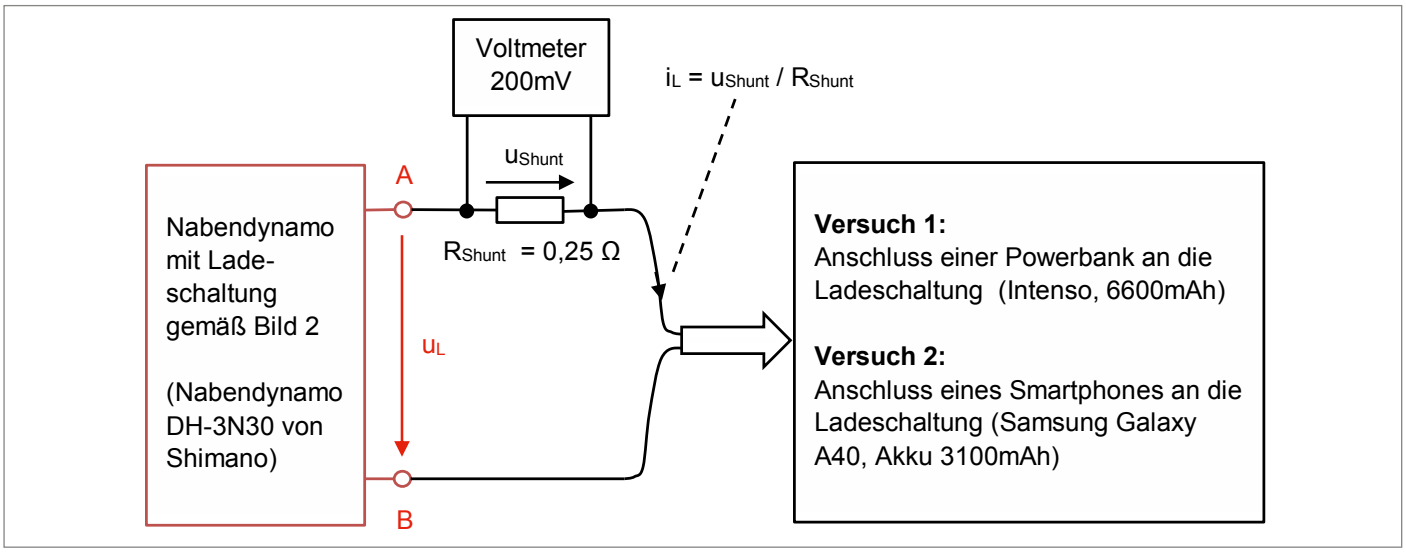
Was liefert die Ladeschaltung?

Wir haben zunächst eine Powerbank und anschließend ein Smartphone an die Ladeschaltung angeschlossen. Dann haben wir jeweils den Ladestrom i_L in Abhängigkeit von der





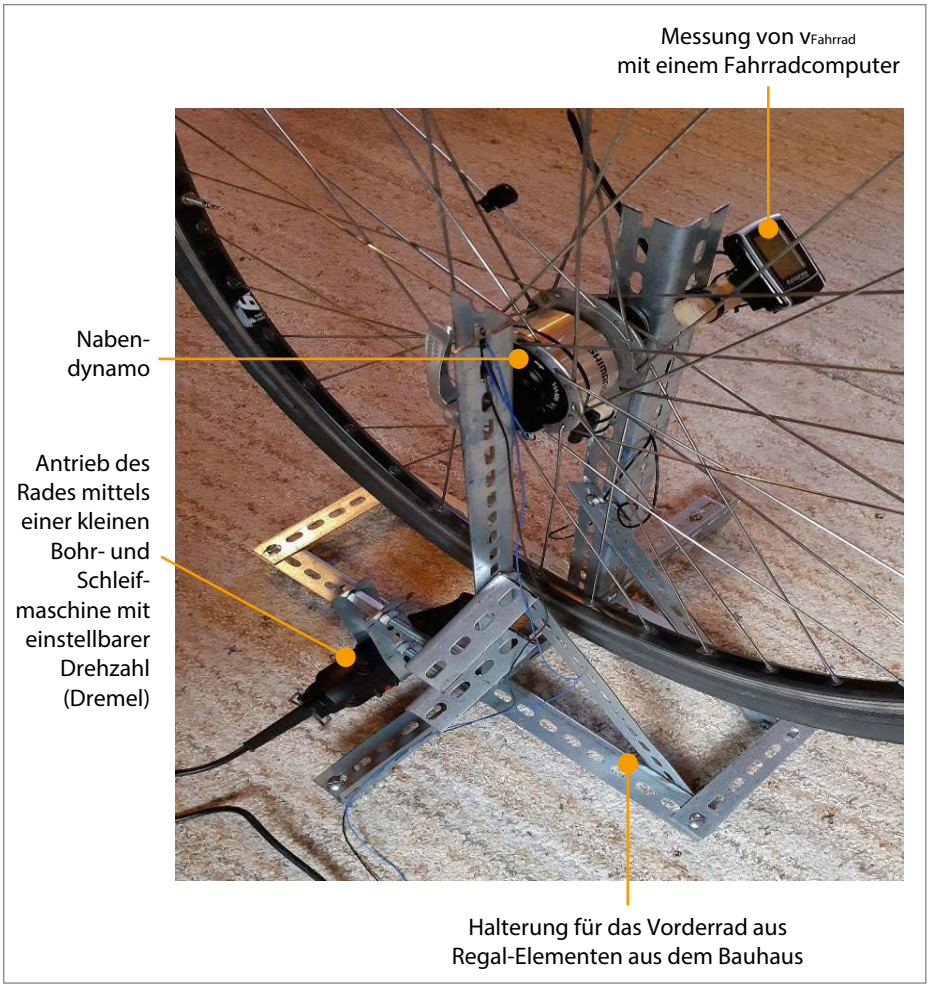
Das ist die gesamte Ladeschaltung, viel einfacher geht es nicht!



Die einfache Messschaltung für die Überprüfung unseres Laderreglers

Fahrradgeschwindigkeit $v_{Fahrrad}$ gemessen. Am Ausgang der Ladeschaltung befindet sich ein Shunt als Messwiderstand. Dort haben wir mit Hilfe eines hochohmigen Messgerätes die Spannung gemessen. Als Shunt haben wir einen ziemlich kleinen Widerstand von 0,25Ω gewählt, man könnte dafür auch vier parallelgeschaltete 1Ω-Widerstände verwenden.

Die Ergebnisse der Messungen haben wir in der rechts oben stehenden Grafik erfasst. Zunächst ein paar Worte zur roten Kurve (Versuch 1, Anschluss einer Powerbank an die Ladeschaltung). Die Funktion $i_L = f(v_{Fahrrad})$ steigt hier zunächst ziemlich steil an und fällt dann mit zunehmender Fahrradgeschwindigkeit wieder ab. Verantwortlich dafür sind vermutlich Eisen- und Hystereseverluste, die durch den größer werdenden Strom immer mehr ins Gewicht fallen. Letztere steigen ja mit zunehmender Frequenz der induzierten Spannung. Und die wird ja mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit immer größer! Aber das ist nicht so schlimm. Ein Radfahrer, der nicht gerade bei der Tour de France mitmischt, bewegt sich ja oft in einem Geschwindigkeitsbereich zwischen 15km/h und 25km/h. In diesem Bereich wird die Powerbank immerhin mit über 400mA geladen. Das ist schon ganz gut.



Messungen an einem stationären Prüfstand

Die Versuche wurden mehrfach bei verschiedenen Ladezuständen der Powerbank wiederholt, die Ergebnisse waren immer fast identisch. Wenn der Akku voll geladen ist, stellt sich eine Erhaltungsladung von circa 8mA ein. Die in der Powerbank enthaltene Lade- und Überwachungsschaltung funktioniert wohl recht gut.

Nun zur grünen Kurve (Versuch 2, Anschluss eines Smartphones an die Ladeschaltung). Die Funktion $i_L = f(v_{Fahrrad})$ verläuft ähnlich wie die rote Kurve, weist aber insgesamt eine etwas flachere Form auf. Das liegt wahrscheinlich an der im Telefon enthaltenen Lade- und Überwachungsschaltung. Die Messungen haben wir jeweils an einem stationären Prüfstand und während einer Radtour durchgeführt. Die Messergebnisse stimmten weitgehend überein.

Handy-Akku schonen

Die Messergebnisse und die Versuchsfahrten haben gezeigt, dass es mit dem Laderegler

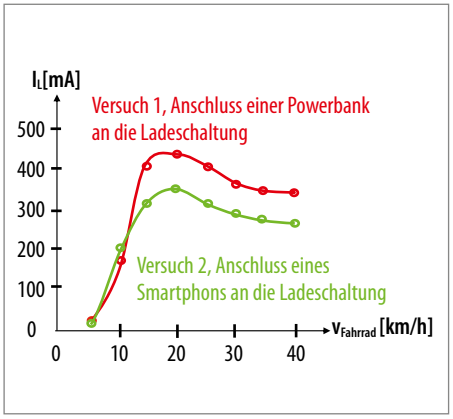
möglich ist, unterwegs mit dem Handy das GPS zu benutzen, ohne dass sich der Akku des Handys entleert. Allerdings gibt es dabei eventuell ein Problem: Wenn das Smartphone direkt mit der Ladeschaltung verbunden ist, wird die Ladung naturgemäß sehr oft ein- und ausgeschaltet. Man denke nur an Ampelstops, Trinkpausen und so weiter. Das ist nicht gut für den Akku.

Es wäre deshalb sicherlich sinnvoller, zwischen Telefon und Ladeschaltung einen Energiespeicher zu schalten. Dazu könnte der Einfachheit halber eine Powerbank dienen. Aber da gibt es eine Schwierigkeit: Die Powerbanks kann man in den meisten Fällen nicht gleichzeitig laden und entladen. Nur die als charge-through/pass-through gekennzeichneten Powerbanks sind dafür geeignet und die gibt es ziemlich selten und sie sind auch relativ teuer. Eine mögliche Lösung wäre die Verwendung von zwei kleineren Powerbanks (etwa *Varta 57959*, 2600mAh). Zunächst wird Powerbank 1 an die Ladeschaltung angeschlossen und Powerbank 2 wird mit dem Telefon verbunden. Nach einem Zeitintervall wird umgeschaltet, so dass 1 zur Speisung des Telefons dient und 2 aufgeladen wird. Diese Umschalterei kann periodisch fortgesetzt werden. Dazu bräuchte man nur einen Wechselschalter. Sicherlich könnte ein solcher Schaltvorgang auch automatisiert werden.

Fazit

Ganz am Anfang dieses Artikels haben wir bereits erwähnt, dass man für Nabendynamos geeignete USB-Laderegler in allen möglichen Preisklassen fertig kaufen kann. Viele dieser Geräte beinhalten allerdings keine Powerbank, genauer gesagt, keinen Pufferakku zwischen Ladeschaltung und Smartphone. Wenn man sich also für den Kauf eines Ladereglers entscheidet, sollte man darauf achten, ob er um einen Pufferakku ergänzt werden muss.

Der Selbstbau eines USB-Ladereglers lohnt sich selbstverständlich nur dann, wenn man Spaß an der Bastelei und am Experimentieren hat. Beim hier vorgeschlagenen Konzept sind zwar die Kosten für die Bauelemente sehr niedrig, aber man muss schon etwas Zeit investieren, bis der Laderegler zuverlässig am Fahrrad funktioniert. Dazu gehören auch die Befestigung am Rad und die Verkabelung, die nicht mehr Teil dieser Anleitung sind. Der Autor wollte zunächst nur erkunden, ob die *Power aus dem Nabendynamo* grundsätzlich möglich ist. Die Ladeschaltung wurde deshalb einfach in ein kleines Plastikgehäuse gequetscht und unter die Telefonhalterung montiert. Das reichte für die Testfahrten aus, sollte aber keine endgültige Lösung sein. —*esk*



Ladestrom i_L als Funktion der Geschwindigkeit $v_{Fahrrad}$