Bosch

Optimal unterstützt

Inzwischen erfreuen sich E-Bikes immer größerer Beliebtheit. Unterschiedliche Sensoren sorgen für ein angenehmes Fahren im Rahmen gesetzlicher Bestimmungen.

Denise Müller-Dum und Jens Kube

Für ein klimaneutrales Deutschland muss sich noch vieles ändern – unter anderem beim Verkehr. Elektroantriebe sollten Verbrennungsmotoren ersetzen, und die Mobilität muss sich insgesamt wandeln, hin zu einem besseren öffentlichen Nahverkehr und der verstärkten Nutzung von Fahrrädern. Ausgestattet mit einem Elektroantrieb sind letztere auch auf langen Strecken oder in hügeligem Gelände attraktiv: beim Weg zur Arbeit mit dem E-Bike, wenn Eltern ihre Kinder mit dem Lastenrad transportieren und mancher Paket- und Lieferdienst auf das Cargo-Bike umsteigt. In einer britischen Studie sparten Lastenräder mit Elektroantrieb in der Stadt beim Paketdienst nicht nur 90 Prozent der Kohlendioxid-Emissionen ein, sondern waren auch 60 Prozent schneller unterwegs als Lieferwägen mit Dieselmotor.

Der Gesetzgeber versteht unter einem E-Bike ein Zweirad mit Elektromotor, das bis zu 45 km/h schnell sein darf und daher wie ein Moped behandelt wird – inklusive Fahrerlaubnis und Versicherung. Die korrekte Bezeichnung für das umgangssprachlich als E-Bike bezeichnete Gefährt ist „Pedelec", eine Abkürzung für „pedal electric bike". Dahinter verbirgt sich der Hinweis, dass der Elektroantrieb nur läuft, wenn in die Pedale getreten wird: Der Motor dient zur Unterstützung. Beträgt die maximal erreichbare Geschwindigkeit mit Elektroantrieb nicht mehr als 25 km/h, gelten diese Zweiräder vor dem Gesetz als Fahrräder: Führerschein und Versicherungskennzeichen sind nicht nötig, die Fahrt auf dem Radweg ist erlaubt. Laut Zweirad-Industrie-Verband ZIV besaß 2021 statistisch gesehen jede zehnte Person in Deutschland ein solches Pedelec – Tendenz steigend.

Was das Pedelec vom normalen Fahrrad unterscheidet, ist der Elektroantrieb, bestehend aus Elektromotor, Batterie und Steuereinheit (**Abb. 1**). Zum Einsatz kommen hauptsächlich bürstenlose Gleichstrommotoren. Wie in anderen Motoren auch, sorgen Magnetfelder für den Antrieb. Der bewegliche Teil des Motors (Rotor) enthält Permanentmagneten, der feststehende Teil (Stator) Spulen. Fließt nun aus der Batterie ein Strom durch die Spulen, entsteht darin ein Magnetfeld, das den Rotor in Gang setzt. An Fahrrädern findet sich der Motor entweder in der Vorderrad- oder Hinterradnabe oder neben der Tretkurbelwelle. Bei den ersten beiden Varianten treibt er das Rad direkt an; beim letzteren Fall unterstützt der Mittelmotor an der Tretkurbel, sodass die Übersetzung des gewählten Gangs auch dem Motor zugutekommt.

Die Position macht's

Wo der Motor platziert ist, macht beim Fahren einen Unterschied. Weil meist mehr Gewicht auf dem Hinterrad liegt, ist bei einem dort installierten Motor die Traktion größer als bei einem Vorderradnabenmotor: Der Reifen übt mehr Druck auf die Straße aus, und ein größerer Teil der Antriebskraft wird in eine Beschleunigung umgesetzt. Der geringere Schlupf verschenkt weniger Energie, und die Räder drehen nicht durch. Dass der Antrieb hinten wirkt, entspricht außerdem der Erfahrung beim Fahren von Rädern ohne Elektroantrieb. Allerdings ist der Motor in der Radnabe nicht gefedert. Das macht sich vor allem bei schlechten Straßenverhält-

© 2022 Wiley-VCH GmbH

nissen bemerkbar, bei vielen Schlaglöchern oder wenn Baumwurzeln den Straßenbelag angehoben haben. Daher besitzen heute die gebräuchlichsten Pedelecs einen Mittelmotor. Dieser benötigt eine spezielle Rahmenkonstruktion: Das Unterrohr ist deutlich massiver ausgeführt und nimmt den Akku auf; der Motor ist ebenfalls in den Rahmen integriert. Das schützt beide Komponenten vor Nässe und Steinschlag und lässt das Fahrrad optisch wie aus einem Guss wirken. Einen Mittelmotor nachträglich in ein Fahrrad einzubauen, ist aufwändig und aufgrund der Platzverhältnisse oftmals schwierig.

Sensorik allerorten

Verschiedene Sensoren sorgen dafür, dass sich der Motor nur beim Treten einschaltet und beim Erreichen der erlaubten Maximalgeschwindigkeit anhält. Beispielsweise registriert ein Hall-Sensor, wie oft sich ein in der Radspeiche oder auf der Radfelge platzierter Magnet an ihm vorbeibewegt: Ladungstrennung führt zu Spannungsimpulsen, aus deren Frequenz sich die Geschwindigkeit ergibt. Alternativ kommen Reed-Schalter zum Einsatz, bei denen sich ebenfalls ein Magnet auf der Radspeiche befindet. Kommt dieser am Schalter vorbei, schließen sich dessen entgegengesetzt gepolte Kontaktzungen und er liefert ein Signal. Auch hier folgt aus der Frequenz der Spannungsimpulse die Geschwindigkeit.

Die Montage solcher Sensoren ist nicht nur am Rad, sondern auch an der Tretkurbel möglich. Damit lässt sich ermitteln, ob und wie schnell jemand in die Pedale tritt. Dazu registriert der Sensor, wie oft sich ein in der Tretkurbelwelle montiertes Zahnrad an ihm vorbei dreht. Eine Steuereinheit, die entweder am Motor oder neben dem Akku montiert ist, verarbeitet die Informationen und regelt die Motorleistung. Ein Regler am Lenkrad erlaubt es den Fahrenden, eine Unterstützungsstufe auszuwählen.

Bei einer Steigung sollte der Motor stärker unterstützen als auf ebener Fahrfläche; umgekehrt ist beim Bergabfahren weniger oder gar keine Unterstützung notwendig. Steuert allein die Höhe der Pedalierfrequenz den Motor, tritt beim Pedelec ein seltsames Fahrverhalten auf. Um das Gefühl eines gleichmäßigen Tretens in die Pedale zu erreichen, braucht es daher einen Drehmomentsensor. Das Drehmoment ergibt sich als Produkt der Kraft, die auf das Pedal wirkt, und der Länge der Pedalarme. Es lässt sich beispielsweise mithilfe von Dehnungsmessstreifen in der Antriebsachse ermitteln. Solche elektrischen Elemente ändern unter Dehnung ihren Widerstand. Auf eine Folie in einem Zickzackmuster geschweißt sorgen sie auf der Tretkurbelwelle durch eine spezielle Verschaltung für ein elektrisches Signal, das dem Dehnungszustand entspricht. Eine Alternative bieten magnetoelastische Materialien, deren Magnetisierung sich bei mechanischer Dehnung oder Stauchung ändert (inverse Magnetostriktion). Ein hohes Drehmoment entspricht einer großen Kraft, sodass der Motor mehr Leistung aufbringen sollte, um das Fahren zu erleichtern.

Die Technik am Pedelec wird immer umfangreicher und ausgefeilter: Seit kurzem gibt es erste Antiblockiersysteme, die im Wesentlichen auf Geschwindigkeitssensoren basieren und automatisch in den Bremsvorgang eingreifen, wenn das Vorderrad zu blockieren droht. Bei Spezialrädern wie E-Mountainbikes bestimmen Neigungssensoren den Winkel zur Schwerkraft und sorgen an größeren Steigungen für eine stärkere Unterstützung – beim Fahren und beim Schieben. Bei Lastenrädern lässt sich die Unterstützung je nach Belastungszustand regulieren. Spezielle Motoren mit einem besonders hohen Drehmoment bei niedriger Geschwindigkeit sorgen dafür, dass selbst ein voll beladenes Lastenrad an einer Steigung anfahren kann. Technisch gesehen steht einem weiteren Siegeszug der E-Bikes also nichts im Wege. Die Beliebtheit von Pedelecs ist hierzulande ungebrochen, nicht zuletzt weil sie das Radfahren auch jenen Personen wieder ermöglichen, deren Fitness alleine dafür nicht mehr ausreichen würde.

Die Autor:innen

Dr. Denise Müller-Dum und **Dr. Jens Kube**, awk/jk – Agentur für Wissenschaftskommunikation, awkjk.de

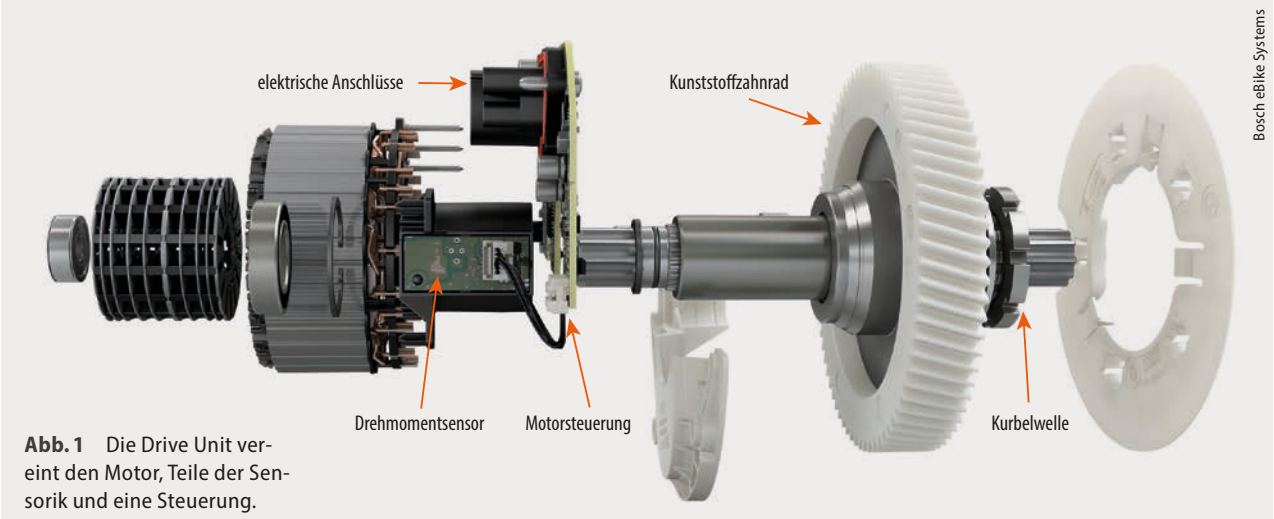

Abb. 1 Die Drive Unit vereint den Motor, Teile der Sensorik und eine Steuerung.

© 2022 Wiley-VCH GmbH