



Ohne Kette

Serieller Hybridantrieb im Fahrrad

Nahezu alle Pedelects (Pedal Electric Cycles) werden bislang mit einem parallelen Hybridantrieb ausgestattet, bei dem noch eine mechanische Verbindung zwischen Tretkurbel und Antriebsrad besteht. Serielle Hybridantriebe verzichten auf diese wartungsintensive Kopplung, vermitteln aber nur ein unnatürliches Fahrgefühl. Das seriell-hybride EE-SpeedBike der IAI GmbH räumt mit diesem Nachteil auf. Dank einer ausgeklügelten Regelung, die mit dSPACE Werkzeugen entwickelt wurde, bietet es ein hochauthentisches Fahrgefühl.



Der Pedelec-Markt in Deutschland und Europa boomt und wächst jährlich um fast 10 %. Die heute verfügbaren Pedelecs im mittleren Preissegment verfügen zusätzlich zum Ketten- oder Riemenantrieb entweder über einen Mittelmotor nahe dem Tretlager oder über einen Hinterradmotor. Diese Antriebskonzepte werden als parallele Hybridantriebe bezeichnet.

Serielle Hybridantriebe

An seriellen Hybridantrieben für Fahrräder wird bereits seit über 40 Jahren gearbeitet. Die ursprüngliche Idee geht auf den Amerikaner Augustus Kinzel zurück, der 1975 das erste Patent dazu erteilt bekam. Das damalige Konzept ging davon aus, dass die Tretkurbeln direkt mit einem Generator verbunden sind, mit dem der Fahrer beim Treten der Pedale elektrische Leistung erzeugt, die dann per Kabel an einen Antriebsmotor im Vorderrad geleitet wird. Auf die sonst übliche mechanische Verkopplung zwischen Tretkurbel und Hinterrad wurde komplett verzichtet. In den folgenden Jahren wurden verschiedene Musterfahrräder mit seriellen Hybridantrieb vorgestellt, die aus verschiedenen Gründen, unter anderem wegen des unnatürlichen Tretgefühls und des fehlenden Gegenmoments an der Tretkurbel, die Marktreife nicht erreichten.

Der Weg in die Zukunft

Anlass für die ersten Untersuchungen zum seriellen Hybridantrieb am Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI) waren Gespräche mit einem Fahrradhersteller, in denen der Verschleiß sowie der Wartungsaufwand an Pedelecs mit parallelem Hybridantrieb, insbesondere an Kette und Kettenschaltung, bemängelt wurden. Diese Untersuchungen waren vornehmlich durch die Analyse von Fahrleistungen von verschiedenen konventionellen Fahrrädern geprägt. Das Entwicklungsziel bestand darin, ein Fahrrad mit seriellen Hybridantrieb als Funktionsmuster aufzubauen, das in seinen Fahrleistungen einem Pedelec mit parallelem Hybridantrieb mindestens ebenbürtig ist und an dem das Tretgefühl eines normalen Fahrrades komplett erhalten bleibt. Basierend auf der Fahrleistungsanalyse, wurden im Rahmen eines von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) geförderten Projektes im IAI Synchronantriebe mit zugehöriger Mess- und Regelungstechnik sowie Leistungselektronik entwickelt, die zunächst an einem um-

gebauten Serienfahrrad getestet wurden. Die Anforderungen an den Motor und den Generator unterscheiden sich im Hinblick auf die Drehmomente wesentlich von den am Markt befindlichen Hilfsantrieben. Beim seriellen Hybridantrieb muss der Antriebsmotor in der Lage sein, die gesamte für das Fahrrad notwendige Antriebsleistung umzusetzen; der Generator hingegen muss ein in einem Kettenantrieb adäquates Gegenmoment erzeugen können, das dem Fahrer wie gewohnt ein der Fahrsituation entsprechendes Feedback liefert. Die erste Generation der Antriebe erfüllte diese Anforderungen noch nicht vollständig, da der Zielkonflikt zwischen dem erforderlichen Drehmoment und der kleinen Bauform nur mit einem optimierten Getriebe zu lösen war. Dieser erste Musteraufbau konnte dennoch nachweisen, dass die Software-Nachbildung eines Kettenantriebs mit speziellen Regelalgorithmen möglich ist.

Das Konzept X-PESA

Im Anschluss an den funktionellen Nachweis wurden die Antriebe durch die Integration von Planetengetrieben verkleinert sowie die Drehmomente erhöht und in einem angepassten Rahmen verbaut. Das als weiteres Funktionsmuster aufgebaute Pedelec mit dem Namen X-PESA, ausgelegt als Pedelec bis 25 km/h, konnte sich mit den Fahrleistungen von marktüblichen, parallel-hybriden Pedelecs messen. Allerdings war auch hier in einer frühen Phase der Entwicklung klar, dass der Generator zu groß und zu schwer war, um die gewünschten Drehmomente mit einem einstufigen Planetengetriebe zu erreichen.

Die nächste Generation

Durch die Förderung des Landes Sachsen-Anhalt im Rahmen der Landesinitiative ELISA (Elektromobilität und Leichtbau) wurde es möglich, die Antriebe nochmals zu überarbeiten. Der Generator, nun ausgestattet mit einem zweistufigen Planetengetriebe, liefert

>>

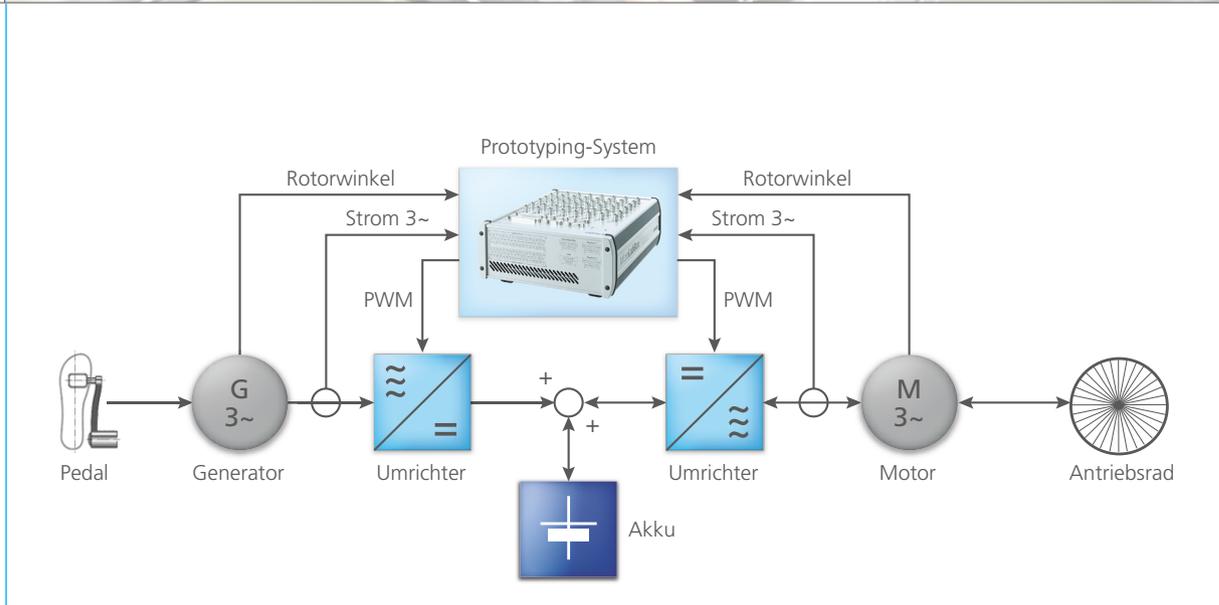


Abbildung 1: Leistungsfluss des seriellen Hybridantriebs mit der dSPACE MicroLabBox als Prototyping-System.

bei einer Gesamtmasse von 2,9 kg maximal 180 Nm Drehmoment, so dass ein 100 kg schwerer Fahrer auch bei sportlicher Fahrt ausreichend Gegenmoment verspürt. Der Antriebsmotor, der den Bauraum des Hinterradritzens nutzt, erreicht ein Spitzendrehmoment von 120 Nm und leistet kurzzeitig 2 kW. Mit dieser Antriebsleistung ist der Motor für den Einsatz in der Kategorie S-Pedelecs bis 45 km/h konzipiert, kann aber alternativ auch mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung auf 25 km/h in Fahrrädern jeglicher Bauart (City-Räder, Mountainbikes, Lastenräder, Rikschas usw.) eingesetzt werden. Motor und Generator sind komplett wartungsfrei. Trotz der zweifachen Energiewandlung sind Effizienz und Kosten dieses Antriebssystems prinzi-

piell vergleichbar mit parallelen Hybridantrieben, da die mechanische Verkopplung vom Pedal zum Hinterrad und die mechanische Schaltung entfallen. In seiner Funktionalität ist der serielle hybride Antrieb weltweit einzigartig.

Bedienkomfort per Smartphone

Herzstück des Antriebsstranges ist ein 16-Bit-Mikrocontroller, der neben der echtzeitkritischen Ansteuerung von Motor und Generator und diversen Überwachungsaufgaben auch die Kommunikation zum Bedienteil und zum per Bluetooth angekoppelten Smartphone übernimmt. Mit dem Smartphone werden mit einer eigens entwickelten App Fahrzustände dargestellt, zum Beispiel Geschwindigkeits-, Akku- und Leis-

tungsanzeigen. Weiterhin dient das Smartphone zur Einstellung verschiedener Betriebsarten. In der Betriebsart „Handschaltung“ kann über das Bedienteil die virtuelle 20-Gang-Schaltung bedient werden, die einer konventionellen Kettenschaltung nachempfunden wurde. Alternativ dazu verfügt der serielle Hybridantrieb über eine stufenlose Automatikschaltung, bei der der Fahrer am Bedienteil die Wunschtretfrequenz vorgeben kann. Die variable Einstellung der Akkuunterstützung gestattet die Anpassung des „Rückenwindes“. Bei mittlerer Unterstützung erreicht das EE-SpeedBike eine Reichweite von 80 km. Diese kann beliebig verlängert werden, indem der Fahrer während der Fahrt mehr Tretleistung erzeugt, als für den Antrieb benötigt wird, wobei die überschüssige Leistung den Akku lädt. Bei einer Geschwindigkeit von 45 km/h, bei der die Antriebsleistung zum größeren Teil vom Akku gespeist wird, beträgt der Aktionsradius immer noch 45 km. Alternativ zum Laden an der Steckdose erlaubt der Heimtrainermodus das Laden des mit einer Kapazität von 850 Wh bemessenen Bordakkus, während das Fahrrad im Stillstand ist. Beim Bremsen am Hinterrad wird der Motor im Rekuperationsmodus betrieben und wandelt die Bewegungsenergie, vom Fahrer stufenlos steuerbar, in elektrische Energie zurück, die in den Akku gespeist wird, bevor und während die mechanische Bremse greift.

Abbildung 2: Bedienoberfläche des über Bluetooth angekoppelten Smartphones.



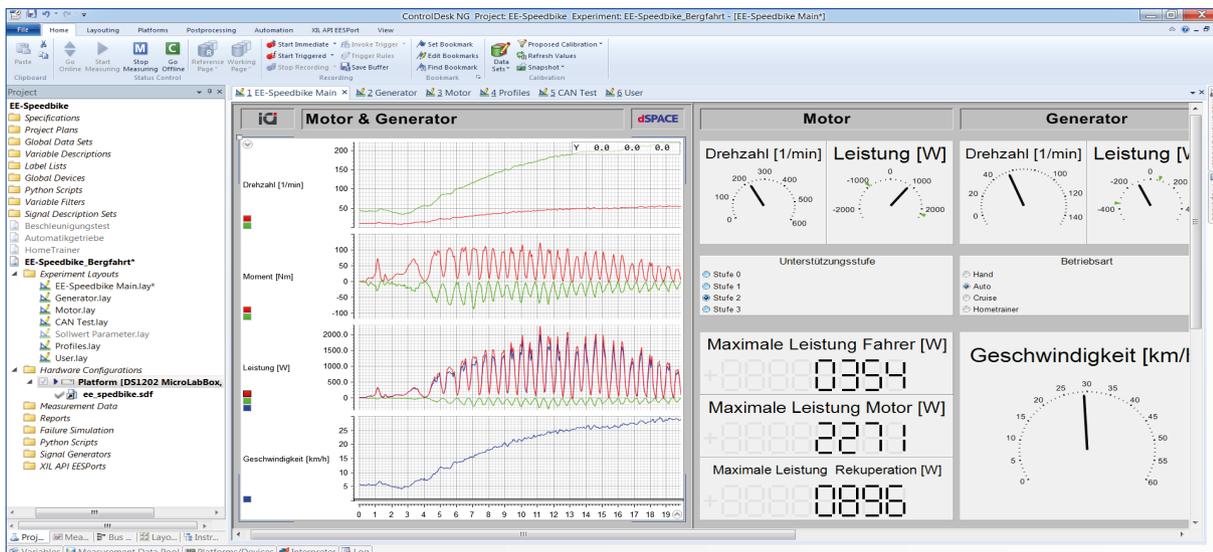


Abbildung 3: Drehmomente, Drehzahlen und Leistungen von Motor und Generator bei einer am Prüfstand simulierten Bergfahrt.

„Die dSPACE MicroLabBox mit ihren umfangreichen I/O-Funktionalitäten ermöglichte uns maximale Flexibilität beim Testen unseres neuen Antriebskonzepts am Prüfstand.“

Steffen Braune, Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI)

Erste Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme und Evaluierung der Antriebskomponenten wurde mit einem DS1103 PPC Controller Board durchgeführt. Die Rechenleistung dieses Prototyping-Systems erlaubte es, auch rechenintensive in MATLAB®/ Simulink® entwickelte Regelalgorithmen zunächst ohne die Betrachtung von Laufzeitoptimierungen in Echtzeit testen zu können. Mit den umfangreichen Peripheriefunktionen des DS1103 war ein vollumfänglicher Prüfstandtest entweder für den Motor oder für den Generator möglich.

Vom DS1103 zur MicroLabBox

Seit Kurzem kommt am Prüfstand eine MicroLabBox zum Einsatz. Mit der gegenüber dem DS1103 höheren Rechenleistung und der erweiterten Peripherie, insbesondere der Mehrkanal-PWM-Signalgenerierung, wurde es nun möglich, Motor und Generator zeitgleich am Prüfstand zu testen. So gelang es, die Wechselwirkung der beiden Antriebe besser zu verstehen und damit das Fahrgefühl am Generator sowie die Drehmomenterzeugung am Motor weiter zu optimieren. Das RTI USB Flight Recorder Blockset erlaubt dabei die Aufzeichnung aller relevanten Prozessdaten mit hoher

Abtastrate über einen längeren Zeitraum und erleichtert die Analyse erheblich. Die erweiterten Funktionalitäten in ControlDesk 5.5, zum Beispiel der neue Variable Browser oder auch die Möglichkeit, einzelne Plots als neue Messung speichern zu können, ermöglichen eine schnelle und effiziente Durchführung und Auswertung von Testreihen.

Fazit und Ausblick

Das EE-SpeedBike und sein Vorgänger X-PESA haben zusammen bisher mehrere tausend Testkilometer auf der Straße

und am Prüfstand ohne nennenswerte Probleme absolviert. Im Dezember 2015 wurde das Antriebskonzept mit dem dritten Platz des Hugo-Junkers-Preises für Forschung und Innovation aus Sachsen-Anhalt in der Kategorie „Innovativste Projekte der angewandten Forschung“ ausgezeichnet. Der nächste Entwicklungsschritt ist die Industrialisierung des vorliegenden Funktionsmusters, um mit Serientechnologien wirtschaftlich hohe Stückzahlen fertigen zu können. ■

Steffen Braune und Knut Hahne, Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI)

Steffen Braune

Steffen Braune ist Projektleiter Mechatronische Systeme am Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI), Wernigerode, Deutschland



Knut Hahne

Knut Hahne ist Applikationsingenieur am Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI), Wernigerode, Deutschland

