

EMV Problemstellungen an Pedelecs (Pedal Electric Cycles) innerhalb der Konformitätsüberprüfung nach DIN EN 15194

Dipl.-Ing. Johannes Hagmann, Hermes Hansecontrol-Cert, EMV
Dipl.-Phys. Sven Schefer, Hermes Hansecontrol-Cert, EMV

1. Einführung

Pedelecs (Pedal Electric Cycles) und auch E-Bikes erfreuen sich in den letzten Jahren einer hohen Beliebtheit. Im Jahre 2012 verkauften sich knapp 380000 Pedelecs in Deutschland und waren ca. 1,3 Mio. Pedelecs im Gebrauch. Wobei Jahr für Jahr ein beachtliches Wachstum im zweistelligen Prozentbereich festgestellt werden konnte. Bei einem direkten Vergleich mit dem chinesischen Markt, auf dem in jedem Jahr ca. 20 Mio. Pedelecs verkauft und ca. 120 Mio. im Einsatz sind, besteht somit in Europa und vor allem in Deutschland weiterhin ein großes Wachstumspotential.

Pedelecs sind dabei eine Variante des E-Bikes. Diese dürfen nur im Zuge einer Anfahrunterstützung Geschwindigkeiten von bis zu 6 km/h ohne Pedalbewegungen erzeugen. Um größere Geschwindigkeiten und somit eine solide Unterstützung zu erfahren, muss das Pedelec durch pedalierende Bewegungen am Pedalarm angetrieben werden. Pedelecs dürfen dabei eine motorische Unterstützung bis zu 25 km/h erreichen und können eine Motorleistung von bis zu 250 W abrufen und sind dieser Definition zufolge in der Maschinenrichtlinie im Harmonisierungsprozess. Für Elektrofahrräder mit höherer Leistung und höheren Geschwindigkeiten wird eine E-Kennzeichnung notwendig.

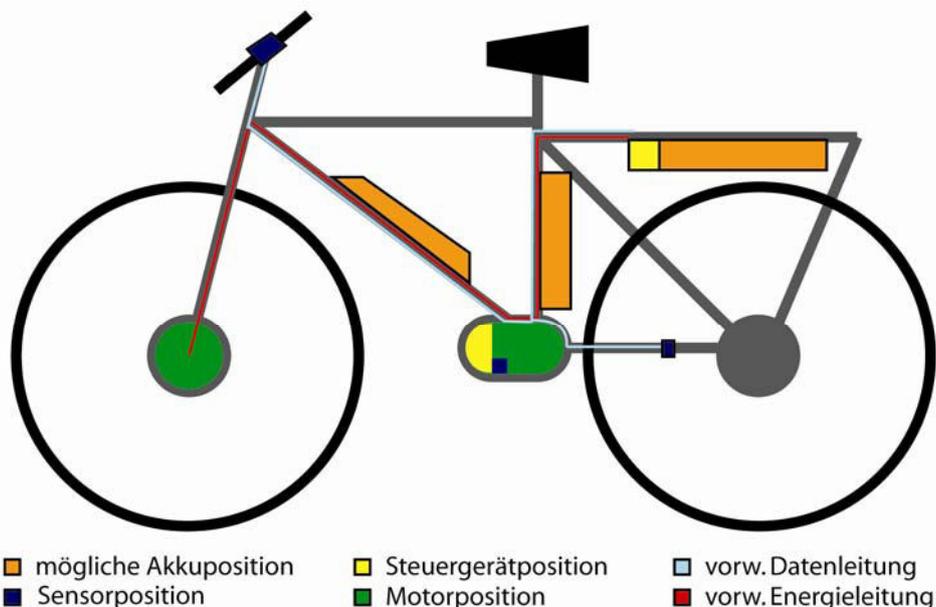


Bild 1: Schematischer Aufbau elektrischer Fahrräder

Durch die steigende Verbreitung dieser Produktgruppe wurde eine eigene Norm, die DIN EN 15194:2012 entworfen, um die EMV, die mechanische und elektrische Sicherheit abzubilden und sichere Fahrzeuge im Straßenverkehr hervorzubringen. Diese lehnt

sich im Bereich EMV stark an die UN-ECE-R10 an. Dieses Paper beschäftigt sich mit den EMV-Anforderungen nach der DIN EN 15194 und mit Angriffspunkten in der zukünftigen Normenarbeit, um die Pedelecs in ihrer EMV zu verbessern.

2. Pedelec Aufbau

2.1. Aufbau der elektrischen und elektronischen Pfade

Kern des gesamten Antriebssystems bildet die Kombination aus Gleichstrommotor und Steuergerät, welches den Motor über eine leistungselektronische Stufe antreibt (Bild 1 und Bild 2). Diese leistungselektronische Einheit überwacht dabei zudem den Stromfluss und wird zudem eingesetzt, bei Störfällen die Antriebsleistung wegzuschalten.

Um ein Pedalieren, also das bewusste Treten am Pedalarm zu detektieren, werden diverse Sensoren eingesetzt. Zu diesen Sensoren gehören Drehzahl und Drehmoment an der Tretwelle und ein Hallsensor zu Geschwindigkeitsüberwachung am Antriebsrad. Im Prinzip haben sich bei den Pedelecs 2 Motor- und 3 Akkuvarianten durchgesetzt. Zu diesen Varianten gehören der Front und der Mittelmotor (Bild 1.) Als Akkupositionen dominieren die Positionen hinter der Sattelstange und unter dem Gepäckträger, wobei sich die Ausrichtung der Akkus ändert.

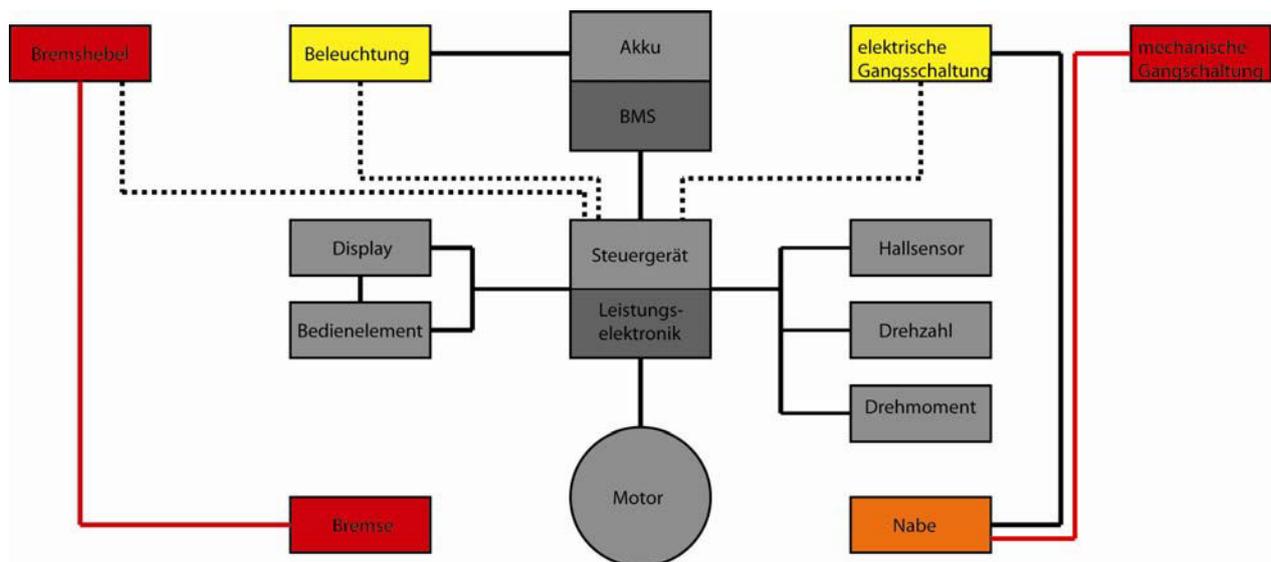


Bild 2: Schematischer Aufbau elektrischer Fahrräder

Zur direkten Steuerung des Systems durch den Anwender befindet sich ein Bedienelement mit integrierter Anzeige bzw. ein Anzeigedisplay getrennt von einem zusätzlichen Bedienelement in unmittelbarer Nähe der Handgriffe am Lenker. Zudem sind im selben Kabelbaum Öffnerkontakte der Handbremsen eingebunden, die die Betätigung der Bremse direkt zum Steuergerät melden und somit die Unterstützung durch den Motor wegschalten.

Der Akku besitzt in der Regel ein Batteriemanagementsystem (BMS) zum Schutz vor Überladung oder ungewollter chemischer Reaktion aufgrund von Überhitzung oder zu hoher Stromabgabe. Sehr modern ist derzeit die Entwicklung hin zu elektronischen Na-

benschaltungen, die somit lange Leitungen vom Lenker über den Rahmen zum Steuergerät und zur Nabe führen.

Je nach Lage der Steuereinheit und des Motors variieren die Längen und Positionen der Leitungswege und die damit verbundenen Einkoppelantennen. Die geführten Leitungen lassen sich in 3 Typen einteilen: Datenleitungen, Signalleitungen und Seilzüge (Bild 2).

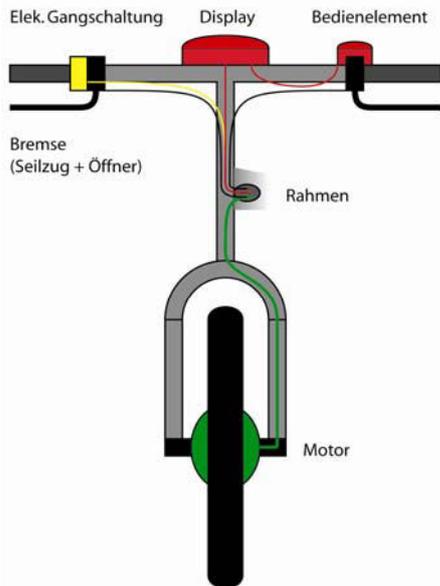


Bild 3a: Schematischer Aufbau Lenker



Bild 3b: Foto zu Bild 3a

2.2 Direkte Koppelpfade

Zu den direkten Koppelpfaden gehören in diesem Fall alle Leitungen, die in den Elektrofahrzeugen verwendet werden, da dort direkt die HF-Energie feldgebunden eingestrahlt werden kann. In vielen Fällen sind alle Leitungen ungeschirmt, was zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber der HF führt und vielfach die Signalintegrität beeinflusst. Besonders die Zuleitungen zwischen Bedienelementen und Steuergerät als auch die Zuleitung zwischen Motor und Steuergerät bei Frontantrieben gelten als besonders anfällig (Bild 3a, 3b).

Zudem ist häufig eine Einkopplung der HF in die im Akku verbauten Leiterplatten (Batteriemanagementsystem (BMS)) zu beobachten. Die Akkusysteme bilden vor allem mit ihren großen Metallflächen zur Verbindung der einzelnen Zellen als potenzielle Antenne und direktes Einfalltor hin zum Steuergerät.

2.3 Indirekte Koppelpfade

Zu den indirekten Kopplungswegen gehören die sekundären elektrischen Leitungen, z. B. über den Akku angeschlossene Leuchten oder die Verbindungsleitungen einer elektrischen Gangschaltung. Ein häufig unterschätztes Thema sind bei den indirekten Koppelpfaden die mechanischen Seilzüge für die Bremsen oder eine mechanische Gangschaltung. Dies ergibt sich als problematisch, da diese Leitungen häufig parallel und somit in direkter Nähe zu kritischen Leitungen verlaufen und überkoppeln können. Gerade die Bemühung die kritischen Leitungen möglichst im Rahmen zu führen (Bild 3a)

und so wenig Leitungslängen außerhalb des Rahmens zu führen wird dadurch zunichtegemacht, da die indirekten Leitungen parallel im Rahmen geführt werden und somit die HF mit in den Rahmen als TEM Wellenleiter einbringen und dementsprechend gut auf die kritischen Datenleitungen überkoppeln können. Bekanntermaßen werden bei der Parallelführung von L Leitungen $M=L-1$ TEM-Moden ausbreitungsfähig. Gerade bei den langen Seilzügen wird nicht darauf geachtet, wie viel Länge außerhalb des Rahmens verlegt wird und als Backdoor für die HF zur Verfügung steht.

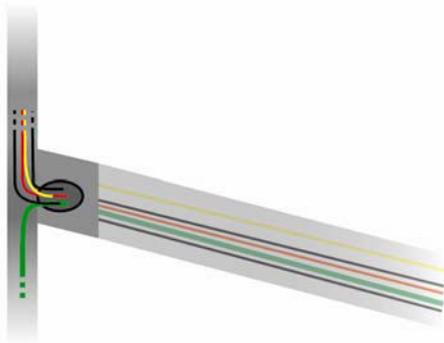


Bild 4a: Kabelführung in den Rahmen



Bild 4b: Kabelführung am Lenker

3. EMV Prüfung nach DIN EN 15194

Die EMV Prüfungen nach der DIN EN 15194 [1] unterteilen sich prinzipiell in zwei Prüfkonfigurationen. Zunächst einmal besteht die Möglichkeit des Komponententests, wonach nur die elektronischen Komponenten ohne die zusätzlichen Einflüsse wie Rahmen, Seilzüge und weiterer Komponenten geprüft wird. Als Zweites besteht die Möglichkeit der Kompletttests am Pedelec, zu denen derzeit mehr geneigt wird, da diese die parasitären Effekte in seiner Gänze widerspiegeln und eine realitätsnahe Betrachtung liefern. Die Prüfungen umfassen die drei Prüfungen: gestrahlte Emission, gestrahlte Störfestigkeit und ESD.

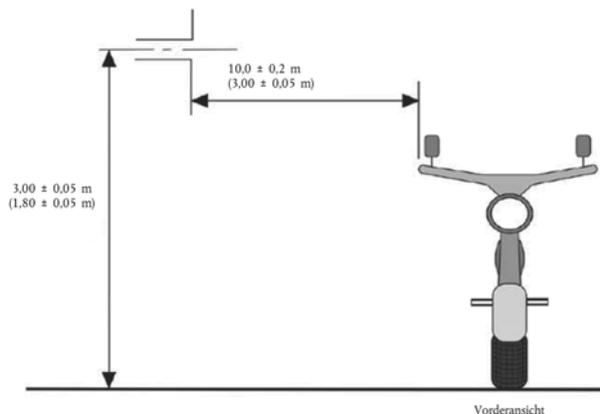


Bild 5a: Aufbau zur Emissionsprüfung [2]

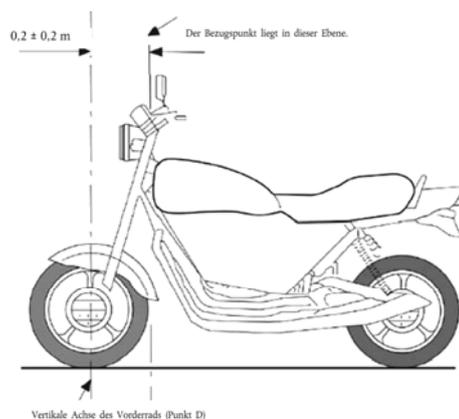


Bild 5b: Aufbau zur Störfestigkeitsprüfung [2]

3.1 Emission

Bei der Emissionsmessung werden nach der UN-ECE-R10 in erster Linie die Seiten betrachtet und der Messantenne zugewandt. Dabei korreliert die Messhöhe der Antenne mit der Messentfernung zwischen Antenne und DUT (Bild 5a).

Die Vorder und Rückseite eines Pedelecs spielen dabei als Ausrichtung ein untergeordnete Rolle und verweilen teilweise nicht vermessen. Dabei werden die unterschiedlichen Richtwirkungen verschiedenartiger Aufbauten nicht berücksichtigt.

Bei der Prüfung wird zwischen Breit- und Schmalbandstörern unterschieden und diese Störer werden mit dem QP bzw. AV Detektor bewertet. Als Betriebszustände werden hier Stillstand und 75% der Nenndauerleistung verwendet.

3.2 Gestrahlte Störfestigkeit

Das Fahrzeug wird mit einem Feld von 30 V/m (80% AM (abwärtsmoduliert), 1kHz, 2000ms) im Frequenzbereich zwischen 20 MHz- 1GHz beaufschlagt.

Bei der gestrahlten Störfestigkeit wird das Pedelec in erster Linie von der Vorderseite als Normalfall bestrahlt. Dabei wird ein sogenannter Bezugspunkt ungefähr auf Lenkerhöhe festgelegt (siehe Bild 4) und es erfolgt eine Einpunktkalibrierung, die an zwei weiteren Punkten links und rechts des Bezugspunktes nachgemessen wird und im Rahmen von bis zu -6dB liegen darf.

Als minimale Belastungszustände werden bei dieser Messung der Stillstand, 90% der maximalen Geschwindigkeit und 90 % der Anfahrunterstützung verwendet.

Als Durchfallkriterium wurde bisher eine Geschwindigkeitsänderung von mehr als 10 % festgelegt. In der Realität kommt es bei mehr als 90% der Fails zum Stillstand der Unterstützung.

In Problemfällen ist ein gewisser Spielraum bei der Feldstärke gegeben (Bild 6). Und zwar muss das Pedelec die Feldstärke von 30 V/m in mindestens 90% des Frequenzbereichs erfüllen. Die Feldstärke darf aber in bis zu 10% des Frequenzbereichs auf bis zu 25 V/m abgesenkt werden. Somit ist eine Unterschreitung von 25 V/m immer ein sofortiges Fail.

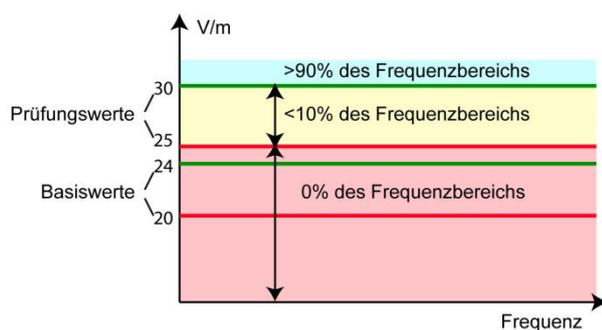


Bild 6a: Einteilung der Feldstärkebereiche zwischen 25-30 V/m

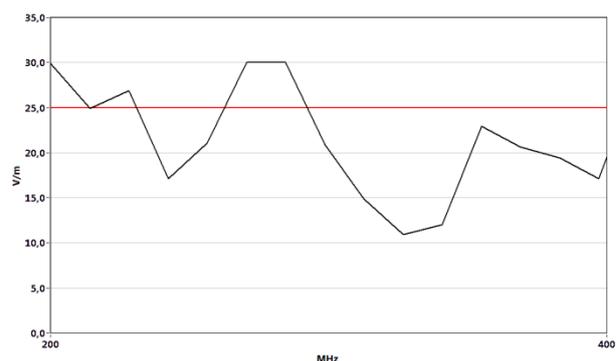


Bild 6b: Beispielmessung eines Fails

3.3 ESD – elektrostatische Entladung

Das Pedelec wird mit einer Entladung von 4kV (Kontaktentladung) und 8kV (Luftentladung) beaufschlagt. Als Problemzone für den ESD erweisen sich vorwiegend Bedienelemente und Displays sowie Akkuanzeigen.

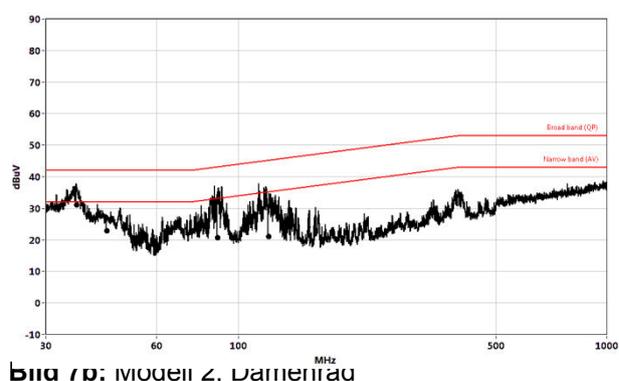
4. Problemstellungen, die von der Norm nicht abgedeckt werden.

Die Norm DIN EN 15194 deckt dabei nur minimale Anforderungen an die EMV ab und vernachlässigt dabei den Einfluss weiterer Seiten und natürlich den Einfluss tieffrequenter magnetischer Felder oder den Einfluss von magnetischen Feldern auf den menschlichen Körper (EMF / EMVU).

4.1 Emission

Bei der Emissionsmessung werden, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, vorwiegend die Seiten des Pedelecs zur Antenne ausgerichtet und auf einer festgeschriebenen Höhe vermessen. Diese Messung basiert auf den Vereinbarungen nach UN/ECE-R10 [2], wonach die längsten Kabel und somit Sendeantennen in der Ausrichtung vom Heck zur Front des Fahrzeugs gespannt sind (Bild 1). Beim Pedelec sind die meisten langen Leitungen aber im Rahmen des Fahrzeugs verlegt, und kommen am Steuergerät bzw. am Display oder hin zum Frontantrieb (Bild 1, 3) zum Vorschein. Somit befinden sich die meisten emissionsfähigen Antennen an der Frontseite und in der Nähe der Sattelsäule bzw. des Gepäckträgers.

Dies zeigt sich auch an den bisherigen Messergebnissen. In vielen Fällen sind die Werte gemessen an der Frontseite höher als an den Flanken des Pedelecs. Zudem werden häufig Taktfrequenzen und deren Harmonische über die kürzeren Leitungen (Sensoren, Bedienelemente am Display, etc.) abgestrahlt. Diese Kabel erzeugen in der Regel aber vektorielle Feldanteile die eine seitliche Aufnahme der Feldstärke nur schlecht erfassen kann. Ein häufig unterschätzter Faktor sind die Variationen bei Rahmen, den Positionen der Leitungen und die Art der Verkabelung. Diese zusätzlichen zum Teil HF führenden Komponenten des Rahmens und ihre Abschattungs- und Reflexionseffekte machen eine Betrachtung der Emission zu allen Seiten hin unerlässlich, um die EMV zu gewährleisten. Die Bilder (Bild 7a, b) beschreiben die Emission zweier Pedelecs mit gleicher elek-



tronischer Hardware. Nur der Rahmen und hat sich dabei leicht geändert. Es zeigt, dass die dominanten Eigenschaften der Kabellängen hier die maßgeblichen Frequenzbereiche vorgeben, aber die Rahmenkonstruktion die Frequenzbereiche in ihrer Resonanz verschiebt und somit auch die Feldstärken sich stark ändern können. Daher ist eine Prüfung an allen Rahmenmodellen mit derselben elektronischen Hardware nötig.

4.2 Störfestigkeit

Im Gegensatz zur Emission wird nach der DIN EN 15194 das Pedelec nur von der Vorderseite bestrahlt und nur bei begründetem Verdacht auch von der Rückseite.

4.2.1 Direkte und indirekte Kopplung in Leitungen

Die Einkopplungen erfolgen dabei vorwiegend über die Leitungen, die auf der Vorderseite am Rahmen herauslaufen und zu den Bedien- und Anzeigekomponenten laufen (Bild 3). Die Sensorleitungen, die vorwiegend am Rahmen laufen, werden in erster Linie durch indirekte Bestrahlung, Reflexionen am Boden oder am Rahmen erreicht und erfahren dadurch nicht die erwünschten Feldstärken.

4.2.2 Akkus

Die Akkus, die in den meisten Fällen keine wirkungsvolle Schirmung besitzen, liegen bei der frontalen und rückseitigen Bestrahlung weitestgehend im Bestrahlungsschatten (Bild1). Die Batteriemanagementsysteme (BMS), die zur Überwachung der Akkufunktionen und zum allgemeinen Schutz verwendet werden, liegen ungeschützt unter der Umverpackung. Zudem werden viele Leitungen für den Stromfluss und zur Überwachung und Verbindungsstege als massive Verbindungen ausgeführt und arbeiten effektiv als Antennen. Diese Backdoorkopplung ist ein häufiges Problem bei der EMV-Prüfung von Pedelecs. Leider wird bei der geforderten Frontrichtungsprüfung nur eine indirekte Bestrahlung des Akkus vorgenommen. Wodurch sich nur die Güte der Abschattungsmaßnahmen beschreiben lässt.

Um die effektive Wirkfläche auf die Akkus und deren Ladeelektronik zu vergrößern, ist eine Prüfung von den Seiten unerlässlich, da nur in dieser Form der Einfluss der elektromagnetischen Felder auf den Akku und das Wechselspiel mit den angeschlossenen Leitungen und dem Rahmen bestimmt werden kann. Als Beispiel sei hier die Prüfung eines Pedelecs erwähnt, dessen Funktionen in frontaler Ausrichtung zur Sendeantenne nach Norm bestehen, aber bei der Bestrahlung von der Seite, sowohl die Funktionalität nachlässt (Fahrrad bremst, statt zu unterstützen), als auch der Akku im höheren Frequenzbereich (Resonanz der Leiterplatte) ausfällt und in einen Schutzmodus fällt, der nur durch direkte Eingriffe auf der Leiterplatte wieder korrigiert werden kann. Der interne Überspannungsschutz im Ladefall hat bei der Bestrahlung reagiert und den Akku deaktiviert.

Zudem bieten die verbauten Seilzüge optimale Koppelantennen, da diese über lange Leitungen verfügen und weite Strecken außerhalb des Rahmens verbaut werden. Durch Parallelführung der Seilzüge am und im Rahmen mit den Signal und Strom führenden Leitungen besteht die Möglichkeit der Überkopplung (Crosstalk) als auch durch Überkoppeln im Rahmen gebildeten TEM Wellenleiter bis hin zum Steuergerät. Wodurch diese Produkte bei der EMV-Prüfung durchfallen können. Diese Leitungen lassen sich deutlich effizienter bei einer seitlichen Bestrahlung prüfen.

4.3 EMVU

Im Bereich der EMVU werden in erster Linie die Effekte der elektromagnetischen Felder auf den Menschen untersucht. Da es sich bei einem Pedelec um eine Maschine im Sinne der Maschinenrichtlinie handelt, sollten auch eine Prüfung hinsichtlich der Aussendung tieffrequenter Magnetfelder (EMF Prüfung) erfolgen. Diese Felder sind eine bekannte Quelle bei Problemen mit implantierten Defibrillatoren und Herzschrittmachern. Da durch die geschalteten Ströme für den Motor große Ströme und somit magnetische Felder erzeugt werden können. Einfache Haushaltstechnik oder Beleuchtungssysteme müssen hierzulande nach der DIN EN 62233 [3] auf ihre Eigenschaften zur Erzeugung von magnetischen Feldern untersucht werden, Pedelecs bisher noch nicht.

4.4 Einfluss tieffrequenter (50/60 Hz) magnetischer Felder nach DIN EN 61000-4-8

Fast alle Pedelecs überwachen die Geschwindigkeit des Pedelecs mit Hallsensoren (Fahrradacho-Prinzip). Da eine Überwachung der Geschwindigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen unerlässlich ist, sollte hier eine Prüfung des Sensors auf Empfindlichkeiten gegenüber magnetischen Feldern im Frequenzbereich der Energienetze durchgeführt werden. In einigen Experimenten hat sich bislang gezeigt, dass sich einige Pedelecs bei derartiger Beaufschlagung stören lassen und zu hohe Geschwindigkeiten messen, was zu einem Abbruch der Unterstützung führt.

5. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich schreiben, dass mithilfe der DIN EN 15194 viele EMVProbleme aufgedeckt wurden und zum Teil auch abgestellt werden konnten. Um aber eine generelle Verbesserung der elektrischen Fahrräder zu gewährleisten, ist eine Rundumprüfung aller Seiten des Pedelecs notwendig. Zudem ist eine Prüfung weiterer Parameter aus dem Bereich der Maschinenrichtlinie sinnvoll, um den vollständigen Schutz der Nutzer zu gewährleisten.

6. Literatur

- [1] *Fahrräder – Elektromotorisch unterstützte Räder – EPAC-Fahrräder; Deutsche Fassung EN 15194:2009+A1:2011*, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2012, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [2] *Regelung Nr. 10 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit*, Amtsblatt der Europäischen Union, 2012
- [3] *Verfahren zur Messung der elektromagnetischen Felder von Haushaltsgeräten und ähnlichen Elektrogeräten im Hinblick auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern*, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2012, Beuth Verlag, Berlin