

# eRig

Reichweiten- und Leistungsmessung auf höchstem Niveau



*Leistungsprüfstand eRig von velotech.de GmbH*

Pedelecs erfreuen sich zunehmender Beliebtheit am Markt. Die Absatzzahlen steigen jährlich und die Vielfalt an Systemen nimmt ständig zu. Inzwischen gibt es motorisierte Mountainbikes, Tourenrädern, Cityrädern, Lastenrädern etc. Hierbei ist die richtige Auswahl längst nicht mehr auf Rahmengröße, Rahmenart, Bremssysteme und Schaltungstypen beschränkt. Vor allem der Elektromotor mit seiner gesamten Steuerung inklusive Akku bildet das Herzstück des Pedelecs. Gerade der Mittelmotor findet zunehmende Absatzzahlen, wodurch sich die meisten größeren Hersteller auf dieses Konzept konzentrieren. Eine ausgiebige Probefahrt mit den Systemen offenbart letztendlich einige Verhaltensweisen und Unterschiede, verschafft jedoch keine zuverlässigen Vergleichswerte.

Wie hoch ist der Unterstützungsfaktor für den Menschen?

Welche maximale mechanische Leistung dient bergauf als Unterstützung?

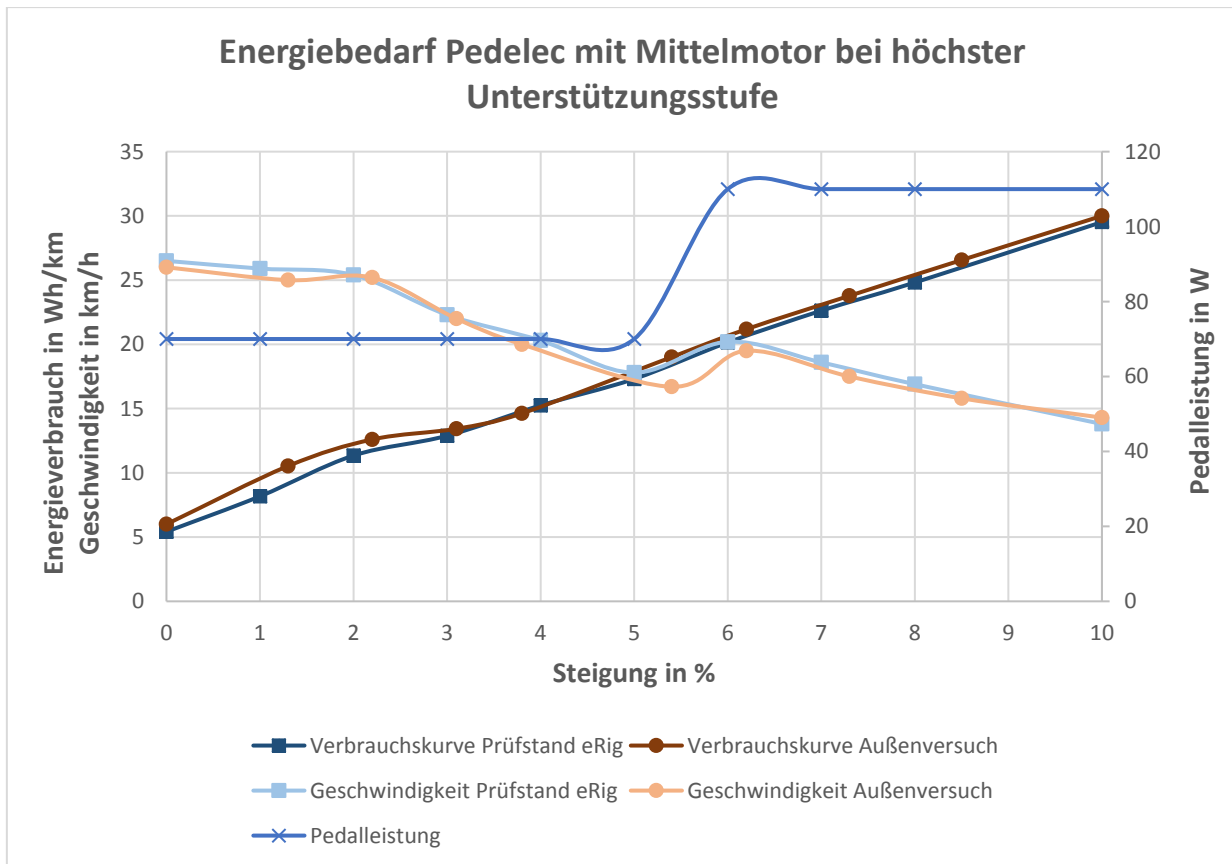
Wie groß ist die Reichweite in der Ebene und bergauf?

Wie reagiert der Drehmomentsensor in der Kurbel auf pedalierende Kräfte genau?

Dies ist nur ein Auszug von vielen möglichen Fragen, deren Beantwortung für eine Auswahl des richtigen Systems entscheidend ist und weit über die normativ geforderten Messungen gemäß EN 15194 hinausgeht. Diese Antworten können nur auf modernen Prüfständen gefunden werden.

## Reichweitenmessung auf dem Leistungsprüfstand eRig

Für eine erfolgreiche Reichweitensimulation müssen zunächst die Fahrwiderstände korrekt simuliert werden. Diese lassen sich generell in Steigungs-, Roll-, und Luftwiderstand aufteilen. Reibungsverluste des Antriebsstrangs müssen nicht simuliert werden, da diese bei der Prüfung durch die menschliche Antriebssimulation an der Kurbel wie bei einer realen Testfahrt abfallen. Nachdem die Parameter realistisch ausgewählt wurden, kann ein gesamtes Kennlinienfeld simuliert werden. Für eine bessere Aussagekraft wurde ein umfangreicher Vergleichstest zwischen Prüfstands- und Außenversuchen durchgeführt. Hierbei hat sich ergeben, dass man mit einer mittleren relativen Abweichung von 5 % die präzise durchgeführten Außenversuche im Labor nachstellen kann.



*Reichweitenvergleich zwischen Außen- und Prüfstandsversuch (eRig von velotech.de GmbH)*

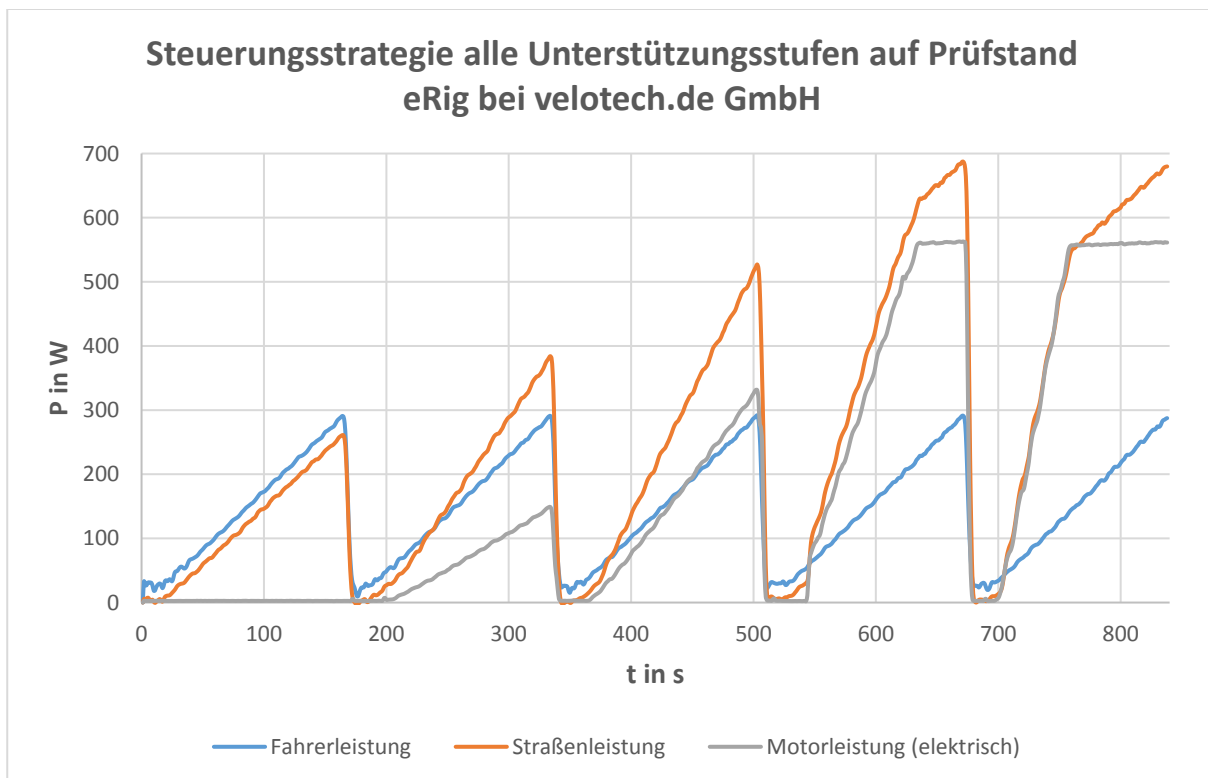
### Vorgehensweise und Erläuterung

Grundsätzlich wurde bei dem Versuch wie folgt vorgegangen: Zunächst wurde ein Testfahrrad mit Testfahrer ausgewählt. Mittels Bildanalyse wurde die Frontfläche des Gesamtsystems (Fahrer + Fahrrad) bestimmt. Dieser Parameter ist für die Simulation des Luftwiderstandes von großer Bedeutung. Anschließend wurde die Gesamtmasse (wichtig für Roll- und Steigungswiderstand) ermittelt. Mittels kalibriertem Leistungsmesssystem wurde an dem Testrad die menschliche Fahrerleistung im Außenversuch exakt ermittelt. Bei einer ersten Testfahrt auf komplett ebener Strecke bei windstillen Bedingungen und einer definierten Antriebsleistung des Menschen von 70 W, wurden der Energiebedarf des Pedelec-motors sowie die gefahrene Geschwindigkeit über mehrere Kilometer gemittelt gemessen. Diese Grundlage war wichtig, um am Prüfstand ungewisse Parameter wie Rollreibungskoeffizient sowie cw-Wert des Systems so anzupassen, dass in der Ebene der Außenversuch (gleiche Geschwindigkeit, gleiche Fahrerleistung, gleicher Energieverbrauch) eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Prüfstandsversuch zeigt. Diese Parameter wurden im weiteren Testverlauf konstant gehalten und nicht weiter verändert. Im Anschluss galt es zahlreiche Außenstrecken in der Umgebung mit gut asphaltierter Straße bei ähnlichen Wetterbedingungen abzufahren. Bis 5 % Steigung sollte der Testfahrer eine Leistung von 70 W an der Kurbel einbringen, ab 6 % wurde diese auf 110 W erhöht. Die Übersetzung wurde stets so gewählt, dass eine Trittfrequenz nahe 60 U/min erzielt wurde. Ziel des Versuchs war es zu untersuchen, ob eine realistische Reichweitensimulation möglich ist, ohne ständig Parameter anpassen zu müssen. Dies ist – wie oben erwähnt - mit einer mittleren relativen Abweichung von 5 % zum Außenversuch gut gelungen. Bei niedrigeren Steigungen zeigen sich erwartungsgemäß die größten

Abweichungen, da hier kleine Änderungen des Luftwiderstandes ( $c_w$ -Wert durch Fahrerhaltung, Luftdichte durch Höhe, Wetterlage und Temperatur, Windgeschwindigkeit) sowie des Rollwiderstandes (Reifentemperatur, Rollreibungskoeffizient zwischen Reifen und Fahrbahn) hohe Auswirkungen auf den Energieverbrauch haben. Insgesamt stellen diese Versuche eine solide Grundlage dar, um zukünftig gut vergleichbare Reichweitenangaben mit einer enorm hohen Reproduzierbarkeit zu erhalten. Nach bisher zahlreichen Versuchen liegt die Wiederholungsgenauigkeit der Reichweitenmessung auf dem Prüfstand eRig bei 3 %, dies wäre bei Außenversuchen undenkbar.

### Steuerungsstrategie auf dem Leistungsprüfstand eRig

Wie empfindlich ein moderner Pedelec-Motor auf Eingangssignale reagiert, soll folgendes Diagramm veranschaulichen. Hierbei wurde die Geschwindigkeit und Trittfrequenz konstant gehalten. Die Fahrerleistung wurde von 0 W bis 300 W zügig erhöht. Der Test wurde ohne elektromotorische Unterstützung begonnen und bis hin zur maximalen Unterstützungsstufe durchgeführt.



*Steuerungskurve eines Mittelmotors über alle Unterstützungsstufen auf dem Leistungsprüfstand eRig*

Das Diagramm veranschaulicht sehr deutlich, wie die Motorleistung linear von der eingebrachten Fahrerleistung abhängt. Es ist schön zu erkennen, wie der Verstärkungsfaktor mit jeder weiteren Unterstützungsstufe deutlich zunimmt. Während der Fahrer bei der kleinsten Unterstützungsstufe lediglich 100 W elektrische Motorunterstützung bei 100 W Kurbelleistung erhält, sind es bei der höchsten Stufe starke 570 W. Kurven wie diese eignen sich sehr gut, um das subjektive Fahrgefühl, wie sich ein Motor verhält, verlässlich zu quantifizieren und somit auch zu vergleichen.