

Diplomarbeit:

Messtechnische Ermittlung von Radlasten und Kräften an der Radaufhängung von Motorrädern

Autor: Christian Allmer
Betreuung: Prof. Dr. Luigi del Re
 Dipl. Ing. Daniel Alberer
Partner: KTM Sportmotorcycle AG
Fertigstellung: April 2007

Kurzbeschreibung

Diese Arbeit hat als Resultat den Prototypen eines Messsystems, welches in der Lage ist die Reaktionskräfte an einem Hinterrad eines Motorrades zu bestimmen.

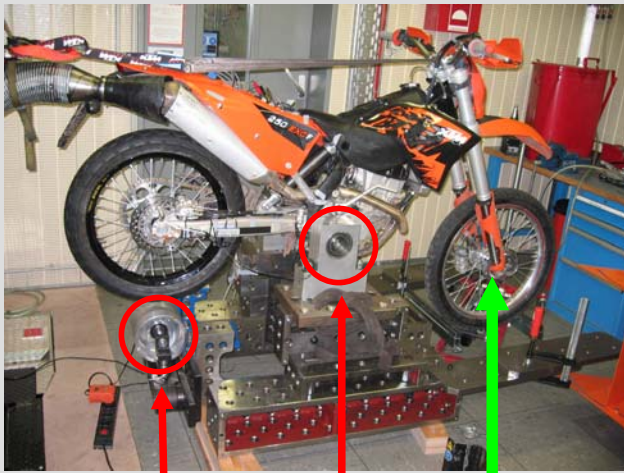
Die Arbeit beinhaltet alle nötigen Grundlagen, die Betrachtung bestehender Messverfahren zur Ermittlung von Radlasten, sowie den kompletten Entwicklungsprozess einer Radnabe zur direkten Messung von Reaktionskräften in den Lagerstellen des Rades. Weiters wird ein Kalmanfilter vorgestellt, der eine Bestimmung der eingepprägten Kräfte und Momente zulässt.

Mit der Erstellung eines Pflichtenheftes konnte ein Konzept entwickelt werden, welches eine Realisierung für die Messung von Reaktionskräften an den Lagern des Hinterrades eines Motorrades beinhaltet. Das Konzept wurde in eine Konstruktion umgesetzt. Berechnungen und Simulationen garantierten Festigkeit und Funktion des Konzeptes und somit wurde der erste Prototyp gefertigt.

Ein dementsprechender Prüfaufbau erlaubte die Kalibrierung des Prototypen. Die kalibrierte Messeinheit wurde durch Messungen an einem eigens konstruierten Prüfstand, verifiziert. Mit Hilfe von Referenzmessungen konnte eine Fehlerrechnung durchgeführt werden, um das System bewerten zu können.

Abschließend wurde ein physikalisches Modell für die Dynamik des Hinterrades erstellt. Mit den gemessenen Größen konnte ein Kalmanfilter entworfen werden, welcher die Schätzung der eingepprägten Kräfte und Momente zulässt. Die Ergebnisse haben klar belegt, dass das Konzept und die Umsetzung funktionieren. Fehler die gemacht wurden, sind erkannt worden und können bei Weiterentwicklungen korrigiert werden.

Dynamischer Prüfstand

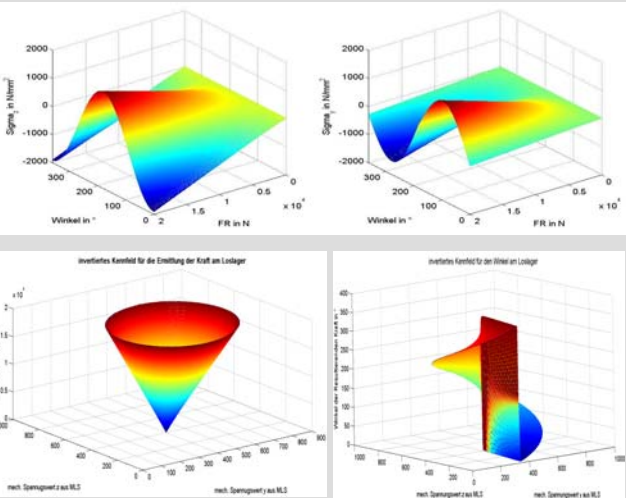


Referenz-
messstelle

Dreh-
gelenk

Kraft-
einleitung

Kennfelder



z-Achse: Kraft in Newton
 y-Achse: Kalibrierwert z aus KF
 z-Achse: Kalibrierwert y aus KF

z-Achse: Winkel in °
 y-Achse: Kalibrierwert z aus KF
 z-Achse: Kalibrierwert y aus KF

Ziel

- Entwicklung eines 3-Achs Direktmesssystems (bzw. 5 Komponenten)
- Keine Applikation am Rad (rotierend)
- Minimaler Aufwand der Kalibrierung
- Reproduzierbarkeit u. Eindeutigkeit (Fehlerabschätzung bzw. Fehlerkorrektur)
- Messstelle direkt an der Lagerstelle

Anforderung

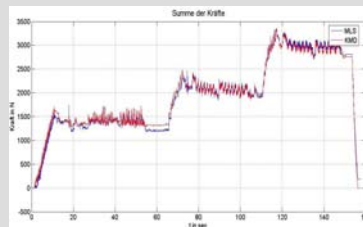
Massenzuwachs m_{Rad}	$\leq 10\%$
Trägheitsmomentenzuwachs I_{xx}	$\leq 10\%$
Vertikalkraft N	$\geq 20kN$
Seitenkraft R	$\geq 2,5kN$
Leistung P_{max}	$\leq 120W$
Anzahl Kanäle	≤ 6
Standardabweichung σ_x	$\leq 1\%$
Schockempfindlichkeit	$\geq 30g$
Vibrationsempfindlichkeit	$\geq 200Hz$
Temperaturbereich	$0^\circ C \leq T \leq 50^\circ C$

Zustandsraummodell : Dynamik des Hinterrads

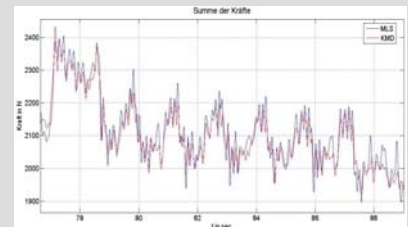
$$\begin{bmatrix} \dot{\omega}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{F}_K \\ \dot{F}_{Ry} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{r_K}{I_{red}} & -\frac{r_B}{I_{red}} \\ 0 & 0 & \frac{\cos \alpha_K}{m_{red}} & -\frac{1}{m_{red}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ \omega_x \\ F_K \\ F_{Ry} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{2 \cdot \mu \cdot A_{BK} \cdot r_B}{I_{red}} \\ -\frac{1}{m_{red}} & -\frac{1}{m_{red}} & -\frac{2 \cdot \mu \cdot A_{BK} \cdot \sin \alpha_B}{m_{red}} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_y \\ B_y \\ P_B \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ \omega_x \\ F_K \\ F_{Ry} \end{bmatrix}$$

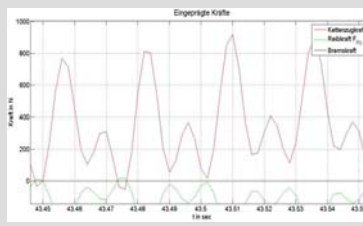
Ergebnisse



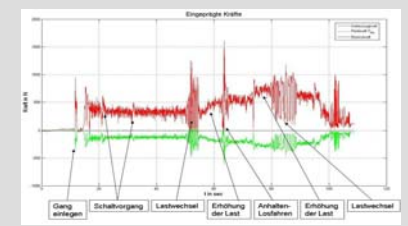
Vergleich der Referenzmessung (rot) mit den Ergebnissen der Messnabe (blau) der Radaufstandsfläche.



Dynamisches Verhalten der Referenzmessung (rot) sowie der Messnabe (blau)



Die Ungleichförmigkeit des Motors kann anhand der geschätzten Kettzugkraft deutlich gezeigt werden. Auspuff und Arbeitstakt der Verteilmaschine sind eindeutig sichtbar.



Schätzung der Kräfte mittels eines Kalman Filters. Kettzugkraft (rot) Umfangskraft am Radaufstandsfläche (grün)

Schlussfolgerungen

- Messung der Reaktionskräfte möglich
- Max. Messfehler < 2%
- Lagerung verursacht Nichtlinearitäten in der Messung
- Schätzung der Antriebskraft mittels Kalmanfilterung realisierbar
- Verbesserung der Schätzung durch direkte Messung der Bremskraft
- Konstruktionsänderung für optimale Seitenkraftmessung von Nöten
- Modellerweiterung für Kurvenfahrten
- Schaltungstechnik und Verstärkerbau im Messrad integrieren
- Überarbeitung der Kalibriervorrichtung
- Verbesserung des dynamischen Prüfstands zur Verifikation der Messungen an der Nabe
- Gewichtsreduktion und höheres Auflösungsvermögen durch bessere Materialien (z.B. Titan)

Ausblick

Diese Arbeit hat gezeigt, dass die Messung von Radlasten an der Aufhängung eines Motorrades möglich ist. Für die nächsten Schritte und den daraus folgenden Verbesserung ist es wichtig Hersteller von Messaufnehmern und Lagerungen zu konsultieren. Mit diesem zusätzlichen Wissen und dem Gewinn an Erfahrungen würde es mit Sicherheit gelingen ein Standardmessgerät zu fertigen. Die Auswertung der Signale müsste anhand integrierter Schaltungen erfolgen. Auch diese Aufgabe wäre am Besten in Zusammenarbeit mit erfahrenen Herstellern zu verwirklichen.

Messaufnehmer für Vorder- und Hinterrad, die in der Lage sind alle Reaktionskräfte zu messen, wären von großer Bedeutung in der Entwicklung eines einspurigen Fahrzeugs. Mit den Messungen wäre es möglich sehr komplexe Modelle für die Gesamtdynamik oder auch einzelne Komponenten eines Motorrades zu erstellen.

Lastkollektive, die zurzeit mit Hilfe von Erfahrungswerten generiert werden, könnten direkt gemessen werden und stünden für Dauerfestigkeitsprüfstände zur Verfügung. Dieselben Lastkollektive könnten für Simulationen verwendet, womit der Entwicklungsprozess stark verkürzt werden würde.