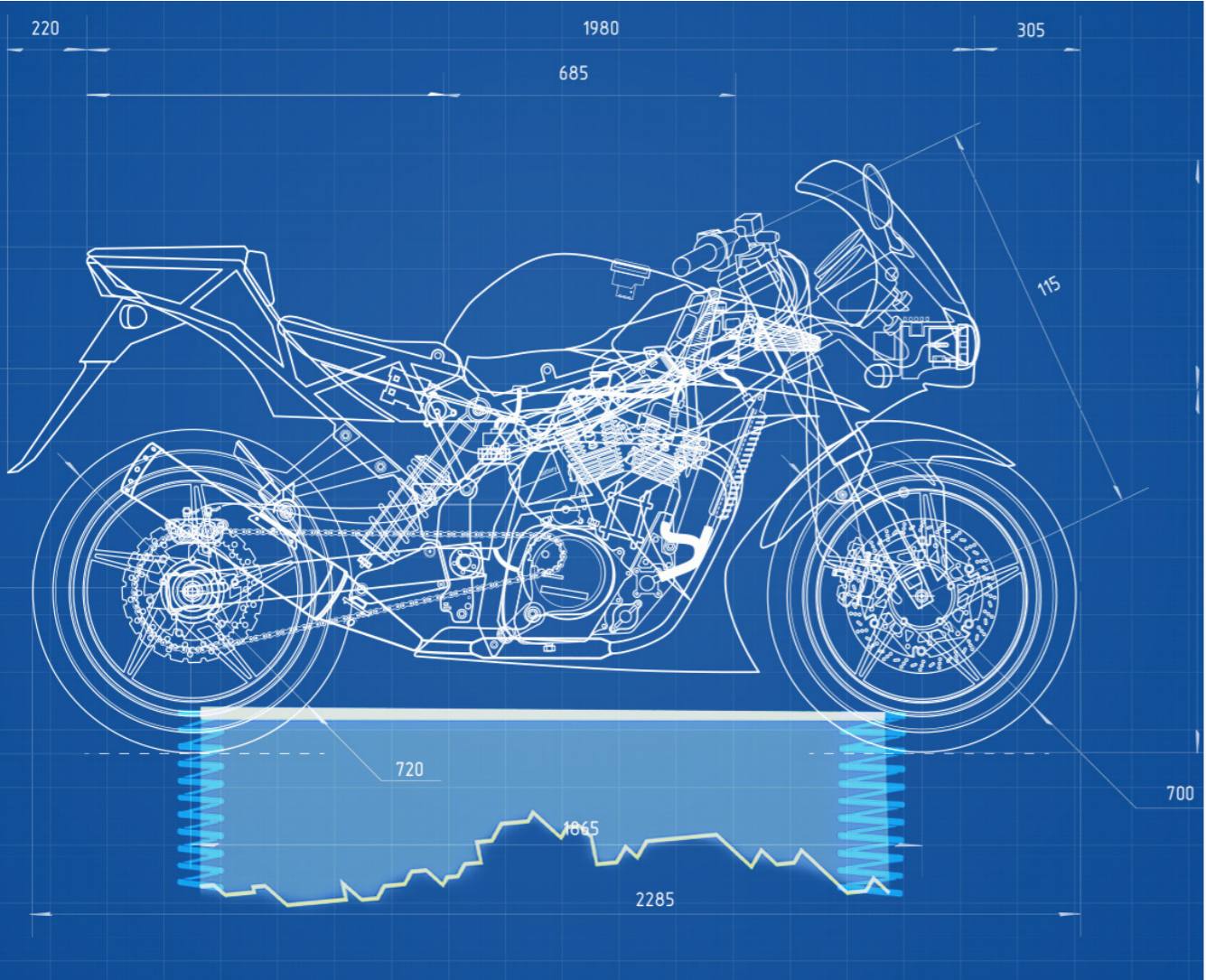




574

427



Mehr Stabilität mit MotorcycleMaker

Die Experten des italienischen Ingenieurbüros Soluzioni Ingegneria haben untersucht, unter welchen Bedingungen kritische Instabilitäten beim Motorradfahren entstehen und wie sie sich vermeiden lassen. Ergebnis ihrer Forschungsarbeit ist eine Regelung für ein semi-aktives Dämpfungssystem. Die Wirksamkeit der Regelung wurde im virtuellen Fahrversuch mit MotorcycleMaker validiert.

Motorradfahren ist ein Lebensgefühl. Doch die Freiheit auf zwei Rädern birgt Risiken. Crashzonen wie beim Auto gibt es nicht und kleine Fehler am Lenker können schnell verheerende Folgen nach sich ziehen. Aus diesem Grund ist die Fahrstabilität ein wichtiges Entwicklungsthema beim Motorrad. Sie hängt von vielen Faktoren ab, wie z. B. der Größe der Reifen und Räder, der Geschwindigkeit und nicht zuletzt vom Design des Fahrwerks.

Grundsätzlich sollte das Fahrwerk so konstruiert sein, dass das Motorrad Fahrstabilität in allen Fahrsituationen besitzt: Bei Geradeausfahrt, bei Kurvenfahrt, beim Beschleunigen und beim Bremsen. Eine relativ neue Motorradklasse stellt die Fahrwerksentwickler allerdings vor besondere Herausforderungen: das Crossover-Bike. Dieses Motorrad erfreut sich zunehmender Beliebtheit und zeichnet sich, wie der Name schon sagt, durch einen breiten Einsatzbereich aus: Von Fahrten im leichten bis schweren Offroad-Gelände bis hin zu sehr sportlichen Landstraßenfahrten soll alles möglich sein. Hierfür benötigen Crossover-Bikes sowohl eine hohe Motorleistung als auch

sehr gute Handling-Eigenschaften. Außerdem erwarten die Fahrer hohen Komfort und möchten ihr Fahrzeug für längere Touren voll beladen können. All diese Anforderungen in einer einzigen Motorradkategorie zu vereinen, scheint widersprüchlich und verlangt nach neuen Ansätzen in der Fahrwerksentwicklung.

Ein solcher Ansatz ist die Integration von neuen Fahrerassistenzsystemen. Während sich Brems- und Antriebsschlupfregelsysteme bereits vor einigen Jahren im Motorrad etabliert haben, dringen nun vermehrt semi-aktive Fahrwerke auf den Markt. Die geregelten Dämpfer der intelligenten Fahrwerke versprechen weitere Verbesserungen für die Fahrstabilität.

Die Spezialisten von Soluzioni Ingegneria, einem italienischen Ingenieurdienstleister, haben in einer Studie untersucht, wie sich die Stabilität von Crossover-Bikes durch semi-aktive Dämpfersysteme verbessern lässt. Sie konzentrierten sich dabei auf das Pendeln (Weave) und das Lenkerschlagen (Wobble). Diese Instabilitäten führen häufig zum Sturz und können erfahrene Motorradfahrer ebenso treffen

wie ungeübte Fahrer. Sie hängen also nicht so stark von den Fähigkeiten des Fahrers ab, sondern sind eng mit den Eigenschaften des Fahrzeugs selbst verbunden.

Instabilitäten beim Motorrad

Das Pendeln beschreibt eine komplexe Schwingungsform, bei der das Vorder- und das Hinterrad des Fahrzeugs und das Fahrzeugheck eine gekoppelte Schwingung ausführen. Das Gesamtfahrzeug vollführt dabei eine Schlingerbewegung um die Hochachse, die von einer zusätzlichen Kippbewegung um die Längsachse überlagert wird. Pendeln tritt erst bei höheren Geschwindigkeiten oberhalb von 100 km/h auf und nimmt mit steigender Geschwindigkeit an Intensität zu. Als Anregung für die Pendelschwingung wirken z. B. Lenkbewegungen, die eine Gierbewegung verursachen. Sie können von der Fahrbahn eingeleitet, aber auch durch aerodynamische Kräfte z. B. durch Gepäckstücke verursacht werden. Schaukeln sich Pendelbewegungen auf, können diese auch von geübten Fahrern nicht mehr beherrscht werden und es kommt zum Sturz.

Übersicht



Kunde



Land



Italien



Produkte



- MotorcycleMaker
- MotorcycleMaker/HIL



Herausforderung

Entwicklung und Validierung eines Reglers zur semi-aktiven Dämpfung, um die Fahrstabilität von Crossover-Motorrädern zu verbessern.



Lösung

- Sensitivitätsstudien anhand eines MKS-Modells
- Entwicklung eines Reglers und Integration des Simulink-Modells in MotorcycleMaker
- Virtuelle Fahrversuche in fahrdynamisch kritischen Bereichen
- Weitere Schritte: HIL-Tests mit realem Lenkungsdämpfer



Abbildung 1: Ablauf einer Pendelbewegung bei hohen Geschwindigkeiten

Beim Lenkerschlagen handelt es sich um eine parametrisch erregte Schwingung des Lenksystems um die Lenkachse, bei der in schneller Folge wenige, sehr große Lenkwinkelausschläge stattfinden. Die Kräfte können so groß sein, dass die Lenkausschläge vom Fahrer nicht mehr unter Kontrolle gebracht werden können. Die Einflussfaktoren für das Lenkerschlagen sind vielfältig. Neben Bodenwellen, Reifeneigenschaften, Luftdruck etc. ist eine der wichtigsten Ursachen für das Lenkerschlagen bei modernen Motorrädern die enorme Steifigkeit heutiger Fahrwerke. Hinzu kommt die gute Spurhaltung und Bodenhaftung, welche selbst bei welliger Fahrbahn höhere Kurvengeschwindigkeiten zulassen und es ermöglichen, auf

entsprechenden Straßen überhaupt erst in kritische Geschwindigkeitsbereiche vorzudringen.

Bestimmung eines Dämpfungsfaktors

Entscheidend für die Wirksamkeit semi-aktiver Dämpfersysteme ist es, instabile Schwingungsmoden des Pendelns und Lenkerschlagens rechtzeitig zu detektieren, bevor die Effekte nicht mehr kontrollierbar sind. Grundlegend hierzu ist die Bestimmung eines berechenbaren Stabilitätsindex. Die Ingenieure von Soluzioni Ingegneria standen daher vor der Frage, wie sich ein solcher Index aus Messgrößen berechnen lässt und wo die kritische Grenze für gefährliche Instabilitäten liegt.

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, haben die Ingenieure das Phänomen der Instabilitäten zunächst im Fahrversuch identifiziert. Verschiedene Testfahrer haben mit einem messtechnisch ausgestatteten Testfahrzeug stationäre Tests mit gestaffelten Geschwindigkeiten durchgeführt. Durch Hüftbewegungen wurde das Einsetzen von Instabilitäten provoziert. Die Auswertung der Messsignale zeigte, dass sich der Drehratensensor (Gyroscope) sehr gut eignet, um die Anfänge von Pendeln und Lenkerschlagen zu erfassen. Seine Signale zeigen typische Oszillationen aus denen sich ein Dämpfungsfaktor als Index für die Instabilität berechnen lässt.

Abbildung 2 zeigt den aus den Drehratensignalen berechneten Dämpfungsfaktor über die Geschwindigkeit für drei Crossover-Motorräder und eine Super-Sport-Maschine. Aus der subjektiven Einschätzung der Fahrer wurde ein Grenzwert (threshold) von 5% bestimmt. Sinkt der Dämpfungsfaktor unterhalb diese 5%-Grenze, wird das Fahren als gefährlich empfunden. Diese Grenze gilt ebenfalls für beladene Motorräder. Hier wird der 5%-Wert bereits bei geringeren Geschwindigkeiten erreicht.

Entwicklung der Dämpferregelung

Nachdem die Ingenieure nun ein messbares Kriterium für die Fahrstabilität erarbeitet hatten, wurden in der Simulation umfassende Sensitivitätsstudien zum Pendeln und Lenkerschlagen durchgeführt. Hierzu

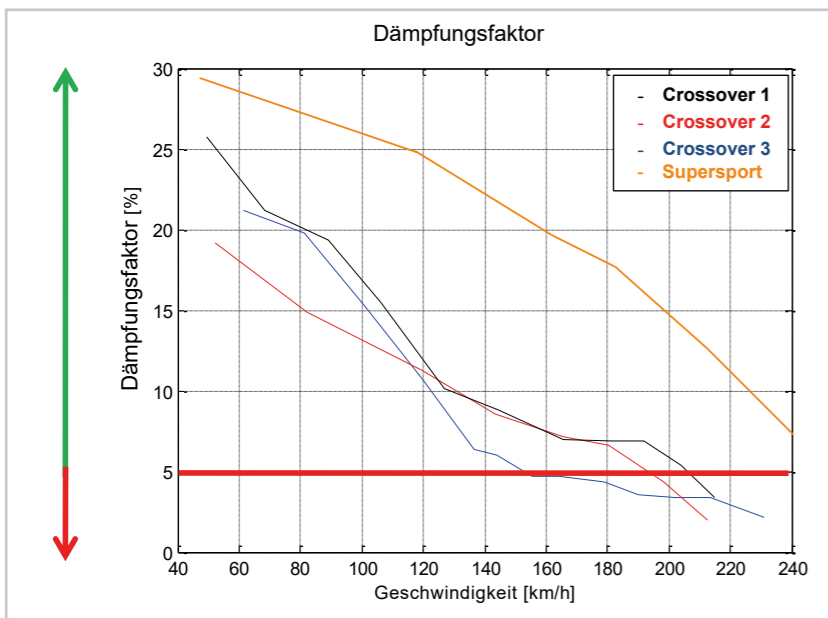


Abbildung 2: Berechneter Dämpfungsfaktor in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

diente ein nicht-lineares Motorrad-Modell mit 12 Freiheitsgraden, das in MATLAB entwickelt wurde. Das Ziel dieser Untersuchungen war es zu verstehen, wie sich verschiedene Designparameter des Motorrads grundsätzlich auf die Fahrstabilität auswirken.

Ein gutes Design ist fundamental für die Fahrstabilität eines Motorrads, doch gerade bei Crossover-Motorrädern haben es die Fahrwerkentwickler mit stark ausgeprägten Zielkonflikten zu tun. Crossover-Motorräder müssen für sehr vielfältige Bedingungen ausgelegt werden, wie sich ändernde Reibungskoeffizienten zwischen Fahrbahn und Reifen, Reifenabnutzung oder Beladungen. Das Ziel der Ingenieure von Soluzioni Ingegneria war es daher, diese Zielkonflikte durch ein semi-adaptives Fahrwerk besser abzufedern. Aufbauend

auf einem On-Board-Diagnose-System sollte ein grundsätzlich gut designtes Motorrad durch ein Regelsystem weiter verbessert werden.

Durch Sensitivitätsstudien wurde die Dämpfung des Lenkers als geeigneter Parameter (tunable parameter) identifiziert, da sich mit dem Lenkungsdämpfer das Pendeln und Lenkerschlagen sowohl in Kurven als auch bei Geradeausfahrt beeinflussen lässt.

Die Abbildung 3 zeigt die entwickelte Regellogik. Sie basiert auf der Echtzeit-Erfassung der Signale des Drehratensensors, aus denen der Dämpfungsfaktor berechnet wird. Liegt dieser Faktor für Pendeln oder Lenkerschlagen unterhalb der oben besprochenen 5%-Grenze, wird die

Dämpfung um den Verstärkungsfaktor K verstärkt.

Validierung im virtuellen Fahrversuch

Die Wirksamkeit der entwickelten Regelung wurde mit MotorcycleMaker getestet. MotorcycleMaker ist speziell für die Entwicklung von motorisierten Zweirädern ausgelegt und überträgt den realen Fahrversuch in eine virtuelle Versuchsumgebung. Hierzu enthält MotorcycleMaker eine vollständige Modellumgebung aus einem intelligenten Fahrermodell, einem detailliertem Fahrzeugmodell sowie flexiblen Modellen für Straße und Verkehr. Das Fahrzeugmodell basiert auf einem effizient implementierten, nicht-linearen Mehrkörpersystem und beinhaltet ein spezielles Reifenmodell mit großen Sturzwinkeln und transientem Reifenverhalten.

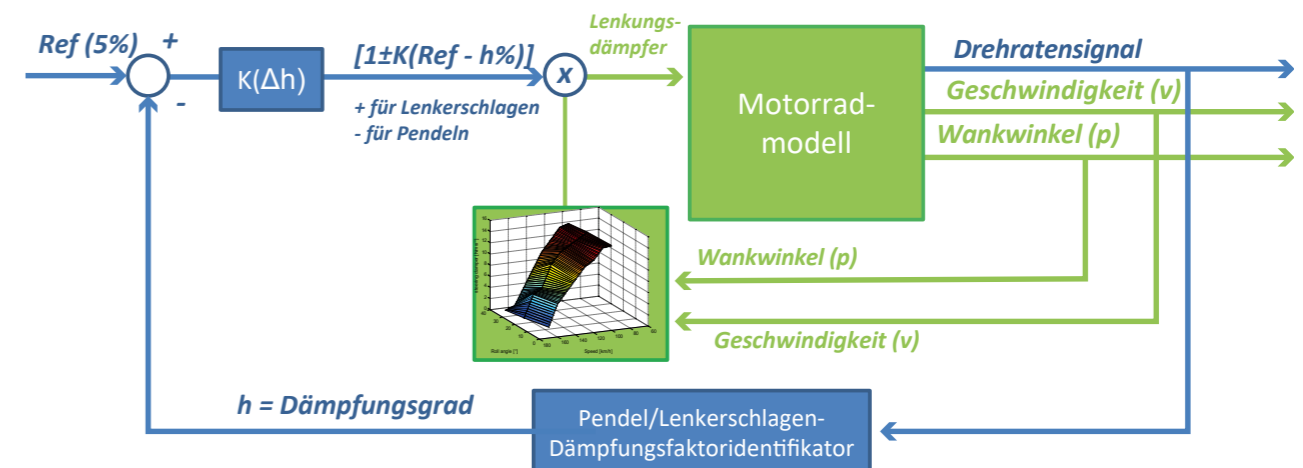


Abbildung 3: Logik zur Regelung des Lenkungsdämpfers



MotorcycleMaker ist eine offene Integrationsplattform mit verschiedenen Schnittstellen, um Modelle oder auch reale Komponenten einzubinden. Das entwickelte Regler-Modell wurde über die Simulink-Schnittstelle von MotorcycleMaker in das virtuelle Fahrzeug integriert. Auf diese Weise konnte die Regelung in verschiedenen Fahrmanövern umfassend untersucht werden. Die Vorteile dieser virtuellen Versuche liegen auf der Hand: Sie sind exakt reproduzierbar und ungefährlich. Gerade beim Motorrad können Versuche in der virtuellen Welt durchgeführt werden, die auf der Teststrecke gar nicht möglich wären. Während die Tests in der Realität abgebrochen werden müssen, sobald sich ein Pendeln oder Lenkerschlagen andeutet, können die Tests in MotorcycleMaker durchgeführt werden, bis das Motorrad durch den Fahrer nicht mehr kontrollierbar ist.

Abbildung 4 zeigt einen Video-Screenshot eines Open-Loop-Manövers mit voll beladenem Motorrad. Das Fahrzeug fährt mit konstant hoher Geschwindigkeit geradeaus. Durch Lenkmomentimpulse werden Perturbationen aufgeprägt, um ein instabiles Fahrverhalten zu provozieren.

Abbildung 5a) zeigt die Effizienz des integrierten Reglers im Vergleich zum Motorrad ohne Regler. Weiterhin zeigen die Abbildungen, wie sich die Wahl des Verstärkungsfaktors auf die Fahrstabilität auswirkt. Die Regelung

mit einem Verstärkungsfaktor $K=0,2$ ist wirksamer als ohne Verstärkung ($K=0$). Wird der Verstärkungsfaktor allerdings von $0,2$ auf 1 gesetzt, ist die Regelung nicht fähig, das Pendeln zu reduzieren. Außerdem führt sie in einem bestimmten Bereich zu Lenkerschlagen.

Fazit und nächste Schritte mit MotorcycleMaker

Die Untersuchungen mit MotorcycleMaker zeigen, dass die Regelung des Lenkungsdämpfers es ermöglicht, die Instabilitäten Pendeln und Lenkerschlagen in einem weiten Geschwindigkeitsbereich auf gerader Strecke und in Kurven zu reduzieren. Allerdings ist die Wahl der richtigen Parameter, in diesem Fall des Verstärkungsfaktors, entscheidend für die Wirksamkeit der Regelung.

Eine gezielte Untersuchung von Pendeln und Lenkerschlagen auf der Teststrecke ist sehr schwierig, weil die Instabilitäten im Fahrversuch kaum reproduzierbar erzeugt werden können – von der potentiellen Sturzgefahr einmal abgesehen. Bereits minimale Abweichungen der Spur, kleinste Lenkkorrekturen des Fahrers oder geringfügig andere Fahrgeschwindigkeiten können ein völlig anderes oder auch unkritisches Fahrverhalten bewirken. Die Fahrdynamiksimulation mit MotorcycleMaker ist daher ein wichtiges Werkzeug, um die Fahrstabilität von Motorrädern gezielt zu optimieren. Die Simulation spart Zeit und Kosten

und es lassen sich alle erdenklichen Parameterkombinationen ohne Gefahr durchtesten.

Die Ingenieure von Soluzioni Ingegneria wollen in weiteren Studien u. a. den Einfluss der Reifenabnutzung auf die Fahrstabilität des Motorrads untersuchen. Aus den Erkenntnissen, die mittels der Simulation gewonnen werden, soll erforscht werden, wie sich dieser Faktor in die Regelung integrieren lässt.

Nach umfassenden Model-in-the-Loop-Tests soll ein Hardware-in-the-Loop-Prüfstand aufgebaut werden, in den ein realer Lenkungsdämpfer und die reale ECU des neu entwickelten Regelsystems integriert werden. Damit lassen sich die realen Komponenten ebenfalls im virtuellen Fahrversuch mit MotorcycleMaker reproduzierbar bis in den fahrdynamischen Grenzbereich hinein testen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass MotorcycleMaker die Ingenieure von Soluzioni Ingegneria durchgängig unterstützt, die Zusammenhänge im Fahrwerk moderner Motorräder präzise zu untersuchen. Regelsysteme zur Verbesserung der Fahrstabilität können in jeder Forschungsphase äußerst effizient validiert werden.



Abbildung 4: Versuch in fahrdynamisch kritischen Bereichen

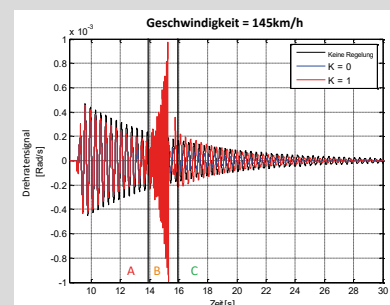
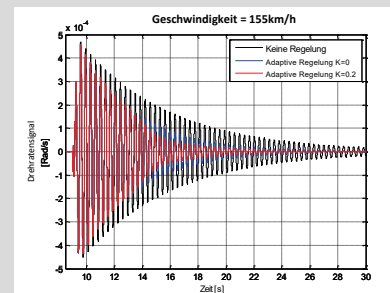


Abbildung 5a) und b): Zeitverlauf des Pendelns mit verschiedenen Verstärkungsfaktoren der Regelung