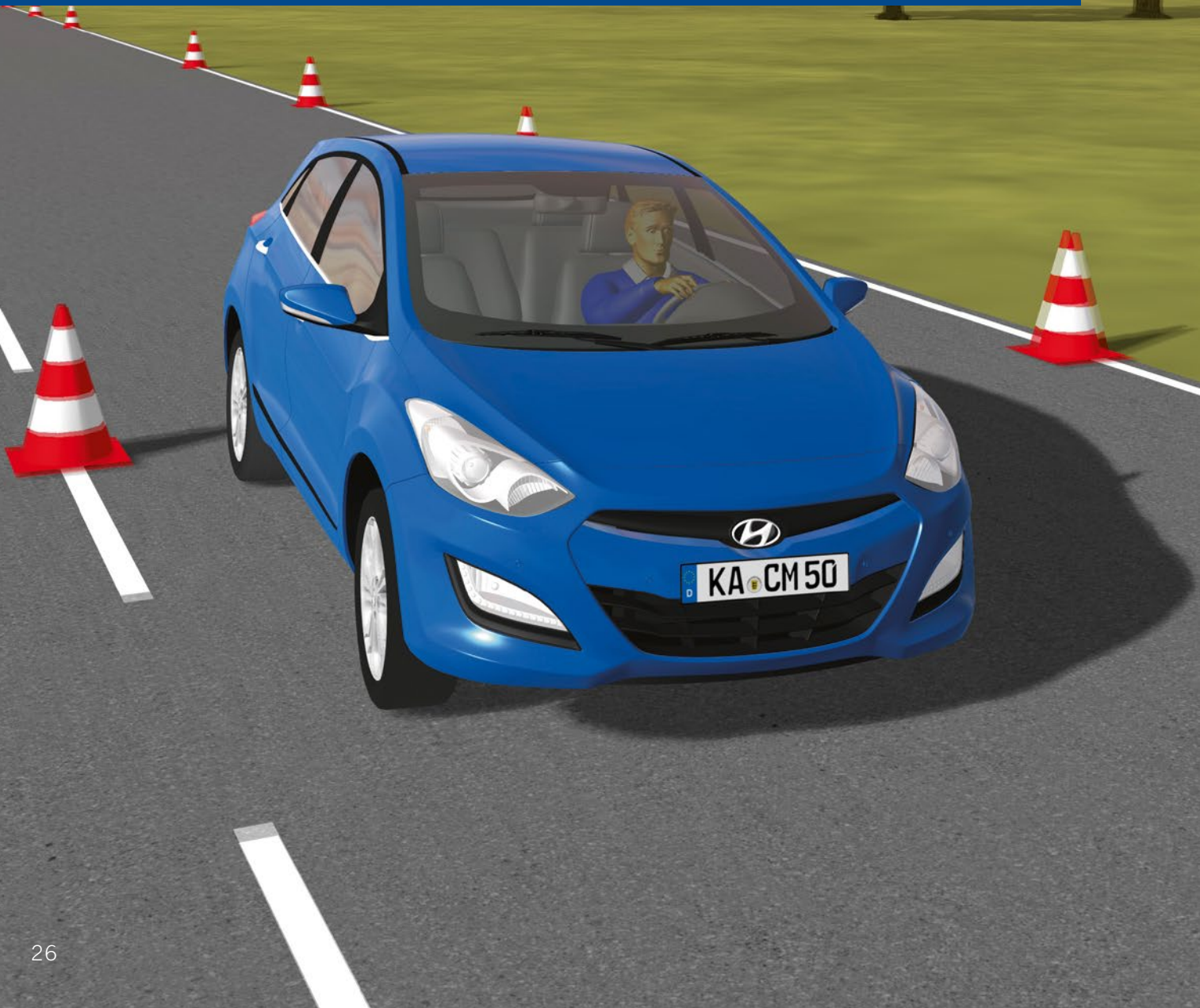


# Verbesserung des Lenkgefühls Virtueller Ansatz mit HiL

Das Lenkgefühl spielt eine wichtige Rolle bei der Wahrnehmung des Fahrverhaltens und gewinnt mehr und mehr an Bedeutung als kundenrelevantes Kriterium sowie als Teil der Marken-DNA eines Automobilherstellers. Aktuelle Simulationsumgebungen und Hardware-in-the-Loop(HiL)-Prüfstände bieten Möglichkeiten für einen reproduzierbaren und effizienten Abstimmungsprozess unter Laborbedingungen. Hyundai hat zusammen mit IPG Automotive die Machbarkeit einer solchen virtuellen Abstimmung der Parameter eines elektromechanischen Lenksystems (EPS-System) nachgewiesen.



## AUTOREN



**Dipl.-Ing. Axel Honisch**  
ist Abteilungsleiter der Abteilung  
Vehicle Test & Development bei der  
Hyundai Motor Europe Technical  
Center GmbH in Rüsselsheim.



**Dipl.-Ing. Michael Lugert**  
ist Manager der Gruppe Steering &  
Suspension, Vehicle Test & Develop-  
ment bei der Hyundai Motor Europe  
Technical Center GmbH in  
Rüsselsheim.



**Dipl.-Ing. (FH) Timo Schöning**  
ist Oberingenieur in der Gruppe  
Steering & Suspension, Vehicle Test &  
Development bei der Hyundai Motor  
Europe Technical Center GmbH in  
Rüsselsheim.



**Dipl.-Ing. Stephan Hakuli**  
ist Produktmanager für Engineering  
Services und Fachreferent  
Fahrerassistenzsysteme bei der IPG  
Automotive GmbH in Karlsruhe.

## STAND DER DINGE

Die Hauptfunktion einer Lenkung ist es, ein Fahrzeug mit einem akzeptablen Lenkmomentaufwand auf einem gewünschten Kurs zu halten. Zusätzlich sollte der Fahrer dabei eine ausreichende Rückmeldung über die Fahrsituation und die Streckenbedingungen erhalten, ohne dass er durch unangenehme Nebeneffekte gestört wird. Eine Lenkung von hoher Qualität wird dem Fahrer ein sicheres und komfortables Fahrgefühl vermitteln und gleichzeitig den Fahrspaß betonen. Um dieses gewünschte Lenkgefühl zu erreichen, wird die endgültige Lenkabstimmung hauptsächlich auf Prüfgeländen und öffentlichen Straßen von erfahrenen Spezialisten des Fahrzeugherstellers mit Unterstützung durch den Lenkungszulieferer durchgeführt.

Der Großteil der Personenwagen der Hyundai Motor Group (HMG) ist mit EPS-Systemen ausgestattet. Bei Fahrzeugen der Kompaktklasse – wie dem Hyundai i30 – wird das EPS-System an der Lenksäule verbaut, **BILD 1**. Die Abstimmung der Lenkunterstützung wird voll elektronisch mittels Software durchgeführt, und die Parameter werden auf dem integrierten Steuergerät abgelegt.

## MOTIVATION ZUR PROZESSOPTIMIERUNG

Das Ziel der HMG ist, in jedem Segment und in jeder Eigenschaft, einschließlich des Lenkgefühls, die Markenidentität zu festigen. Wegen der Vielfalt der Modellpalette sind effiziente und robuste Entwicklungsprozesse notwendig. Dies gilt insbesondere für die EPS-Abstimmung des Lenkgefühls durch Änderung von Softwareparametern, bei der eine nahezu



**BILD 1** Hyundai i30 mit elektromechanischem Lenksystem an der Lenksäule

unendliche Kombination von Eigenschaften erzeugt werden kann, die die Lenkunterstützung und damit das Lenkgefühl beeinflussen. Durch eine Verlagerung von Teilen der Entwicklungsarbeit vom Prüfgelände und von öffentlichen Straßen hin zum Labor und hin zur Computersimulation ergeben sich Möglichkeiten, Zeit und andere Ressourcen zu sparen.

### HARDWARE-IN-THE-LOOP FÜR EIN LENKSYSTEM

Simulationswerkzeuge erlauben es unabhängig von realem Testfahrzeug, Prüfgelände oder öffentlicher Straße, von Fahrexperten und Wetterlage zu arbeiten. Sämtliche Fahrversuche können schnell und ohne Gefahr für Personen oder Material durchgeführt werden, weil das simulierte Fahrzeug sofort und reproduzierbar in jede beliebige Fahrsituation in der virtuellen Welt gebracht werden kann.

Die offene Integrations- und Testplattform CarMaker von IPG Automotive ermöglicht die Integration von virtuellen und realen Fahrzeugkomponenten in ein virtuelles Fahrzeug und die schnelle und automatisierbare Anpassung der Fahrzeugparameter wie Gewicht, Federsteifigkeiten oder Stoßdämpfercharakteristika, die oft auch innerhalb eines Modells, zum Beispiel abhängig von der Antriebskonfiguration, variieren. Dadurch lassen sich Komponenteneigenschaften direkt im Gesamtfahrzeugkontext validieren.

HiL-Tests verbinden die Vorteile von Komponententests auf dem Prüfstand mit denen der Computersimulation. Der HiL-Ansatz wird hauptsächlich für eingebettete Echtzeit-Systeme wie Antriebsstrang- oder Fahrdynamik-Steuergeräte verwendet, um deren korrekte Funktionalität, Leistungsfähigkeit und Diagnoseverhalten zu überprüfen. Klassische HiL-Tests für mechanische Subsysteme wie Lenkungen konzentrieren sich üblicherweise auf Sicherheit und Dauerhaltbarkeit.

Im vorliegenden HiL-Test befindet sich das Lenksystem als realer Prüfling (Unit Under Test) auf dem Prüfstand. Durch die Verwendung realer Komponenten können Unsicherheiten ausgeschlossen werden, die sich durch die Modellierung eines so komplizierten Systems mit seinen Nichtlinearitäten (zum Beispiel durch Reibung und durch die Lenkungssoftware, die in der Regel nur als Black-Box vom Zulieferer vorliegt) ergeben.

Theoretisch kann durch die Kombination von Labortests und Computersimulation eines validierten Fahrzeugmodells eine perfekte Reproduzierbarkeit von Tests erreicht werden. Dies erlaubt eine isolierte Analyse von Ursache und Wirkung.

### EXPERTENBEURTEILUNG

Das Lenkgefühl wird normalerweise subjektiv durch Firmentestfahrer, Motorjournalisten und zumindest auf einer unterbewussten Ebene auch vom End-

kunden beurteilt. In einem ersten Schritt wurde deshalb eine interne Experten-Gruppe von Hyundai Motor Europe Technical Center (HMETC) und IPG Automotive gebildet, um verschiedene Bereiche des Lenkgefühls zu definieren und die Unterschiede im Lenkverhalten zu bestimmen.

Verschiedene Prüffahrten mit Benchmark- und Referenzfahrzeugen wurden auf öffentlichen Straßen und auf Prüfgeländen organisiert. Das Ergebnis war ein detaillierter Vergleichsbogen, der Hinweise darauf lieferte, an welchen Bereichen gearbeitet werden muss, um das gewünschte Ziel zu erreichen.

### OBJEKTIVIERUNG DES LENKGEFÜHLS

Eine vollständige Abstimmung mittels Simulation kann nur funktionieren, wenn sie hundertprozentig auf objektiven Bewertungskriterien basiert, da kein realer Fahrer in den Prozess eingebunden werden soll. Um diese Kriterien und Zielwerte zu erzeugen, wurden dieselben Fahrzeuge, die subjektiv in verschiedenen Fahrmanövern bewertet wurden, auch objektiv in Prüfgeländeversuchen, **BILD 2**, verglichen. Dafür sind die Versuchsfahrzeuge mit einer Inertialplattform zur Erfassung von Drehraten und Beschleunigungen, Differenzial-GPS für Längs- und Quergeschwindigkeit, Dehnmessstreifen (DMS) auf den Spurstangen für Zahnstangenkräfte und einem Lenkroboter für wiederholbare Lenkeingaben und Winkel- und Momentenmessung ausgestattet. Ausgewählte Daten wurden mit dem Ziel analysiert, reproduzierbare Zielwerte in den relevanten Endkundenbereichen zu erzeugen.

### AUFBAU DES SIMULATIONSMODELLS

Aus der Sicht von Fahrdynamik und Lenkung ist die Basis eines Fahrzeugsimulationsmodells das elastokinematische Verhalten (K&C) seines Fahrwerks. Mit dem internen Fahrwerkprüfstand, **BILD 3**, des HMETC in Rüsselsheim können die Versuche gefahren werden. Sie werden für die Erzeugung der Nachschlagetabellen für das Echtzeitmodell von CarMaker benötigt. Reifendaten werden vom HMG-Forschungszentrum in Namyang (Südkorea) geliefert. Die Validierung des Gesamtfahrzeugmodells findet gegen die gleichen dyna-



**BILD 2** Objektive Fahrversuche auf dem Prüfgelände mit Messung der Zahnstangenkräfte per DMS auf den Spurstangen

# 100 JAHRE ALLES BEWEGT, WAS SICH BEWEGT.

Seit 1915 ist ZF zu einem weltweit führenden Technologiekonzern in der Antriebs- und Fahrwerktechnik mit 71.400 Mitarbeitern geworden. Wir sind ein Unternehmen, in dem sich alles um effiziente Mobilität dreht: für die Wirtschaft, die Menschen und die Umwelt. Erleben Sie die bewegenden Geschichten unserer Geschichte auf [100jahre.zf.com](http://100jahre.zf.com)

**100** MOTION  
YEARS AND  
MOBILITY



MOTION AND MOBILITY



**BILD 3** Fahrzeug-Prüfling (links) auf dem Fahrwerkprüfstand, um das elastokinematische Verhalten (K&C) im HMETC in Rüsselsheim zu testen, und Lenksystem (rechts) auf dem Lenkungsprüfstand der Hochschule München

mischen Tests auf dem Prüfgelände statt, die der Erzeugung der Zielwerte für das Lenkgefühl dienen. Zusätzlich zur Fahrzeugreaktion nach Lenkeingaben (zum Beispiel Querbeschleunigung), müssen auch die Spurstangenkräfte überprüft werden, um sicherzustellen, dass die Testbedingungen im Labor realistisch sind.

**INSTALLATION AUF DEM HIL-LENKUNGSPRÜFSTAND**

Nach der Definition der objektiven Zielwerte und der Validierung des Echtzeit-Fahrzeugmodells wurde das gesamte EPS-System auf dem Lenksystemprüfstand der Hochschule München installiert. Die Umgebung des Realfahrzeugs muss am Prüfstand abgebildet werden, indem das Lenksystem in derselben geometrischen Position installiert wird. Das Steuergerät benötigt eine Stromversorgung und eine CAN-Schnittstelle. Die Signale vom CAN-Bus (zum Beispiel Fahrzeuggeschwindigkeit) werden direkt vom simulierten Modell auf dem Echtzeitrechner an die Lenkung weitergegeben.

Die Lenkwinkleingabe erfolgt über einen Drehmotor am Lenkrad. Die translatorische Bewegung der Spurstangen wird vom Prüfstand erfasst und dient als Eingangsgröße für das Echtzeitmodell, um die Radstellung bezogen zur Fahrbahnoberfläche zu bestimmen. Mit den resultierenden Größen in der Reifenaufstandsfläche (Latsch) berechnet CarMaker sowohl die Fahrzeugreaktion als auch die resultierenden Spurstangenkräfte für die Linear-motoren. Diese Kräfte werden in das Lenksystem zurückgeführt und führen zu einem Reaktionsmoment am Lenkrad, das gemessen wird, um den Regelkreis zu schließen, **BILD 4**.

**PARAMETRIERUNG DER EPS IM LABOR**

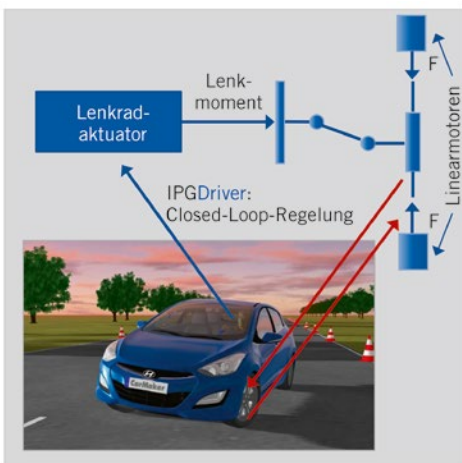
Die Abstimmung der Lenkungsparameter wird genauso durchgeführt wie in der Realfahrzeugumgebung. Das Steuergerät der EPS wird mit einem Rechner (PC) via On-Board-Diagnosis(OBD)-Kabel verbunden. Auf dem PC läuft dieselbe Software

wie bei der traditionellen Abstimmung im realen Fahrversuch. Durch die Arbeit im Labor lässt sich eine Echtzeitanalyse der Ergebnisse mittels eines firmeninternen Softwarewerkzeugs realisieren.

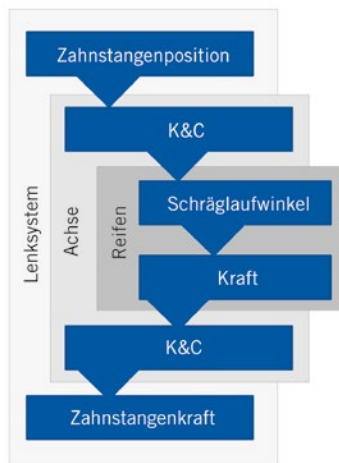
Basierend auf den Abweichungen zwischen der Messung und den Zielkurven werden spezifische Parameter angepasst, um die Zielwerte letztendlich schnell und effizient zu erreichen. Jede neue Parametrierung wird sofort überprüft und gegebenenfalls iterativ angepasst, bis alle Zielwerte erreicht sind. Am Ende des Prozesses steht ein gewünschter Parametersatz, der direkt im Realfahrzeug appliziert werden kann.

**VALIDIERUNG DER ERGEBNISSE**

Nach der Abstimmungsperiode am Prüfstand wird dasselbe EPS-System wieder im Realfahrzeug installiert. Sowohl der initiale als auch der finale Parametersatz werden auf das EPS-Steuergerät übertragen. Danach erfolgt die Wiederholung der objektiven Tests auf dem Prüfgelände, um sicherzustellen, dass die Zielwerte auch



**BILD 4** Hardware-in-the-Loop-Ansatz für das Lenksystem



**BILD 5** Validierung der HiL-Parametrierung

unter Realbedingungen wie auf dem HiL-Prüfstand erreicht werden, **BILD 5**. Die objektive Validierung der Messungen darf allerdings nur als Zwischenschritt gesehen werden, da letztendlich die subjektive Bewertung des Fahrers zählt. Als letzten Schritt hat HMETC deswegen weitere interne Subjektivbewertungen mit Experten aus verschiedenen Abteilungen sowie mit einer neutralen Kundengruppe durchgeführt. Beide Gruppen bestätigten wie erwartet die Verbesserung des Lenkgefühls und damit die Tauglichkeit des gewählten Ansatzes.

## AUSBLICK

In dieser ersten Machbarkeitsstudie wurden die wichtigsten kundenrelevanten Bereiche abgedeckt. Das Lenkgefühl ist aber in jeder Fahrsituation wichtig. Dementsprechend müssen die Fahrmanöver und Zielwerte auf Bereiche höherer Lenkgeschwindigkeiten und höherer Querschleunigungen erweitert werden. Der HiL-Parametrierungsprozess wird bereits Schritt für Schritt als hilfreiches Werkzeug während der Serienabstimmung eingeführt, um deren Effizienz und Robustheit zu unterstützen.

Ein weiterer großer Vorteil eines vollständig objektiven Prozesses durch Computersimulation wird die Automatisierung sein. Die gesamte Abstimmung der HiL-Tests basiert auf objektiven Werten und ist auch numerisch klar definiert. Für diesen Fall bewerten HMETC und IPG Automotive aktuell Möglichkeiten zur Optimierung mithilfe von statistischer Versuchsplanung (Design of Experiments) zur Abdeckung aller Fahrsituationen. Idealerweise wird das zu einer großen Reduzierung der Entwicklungszeit führen. Letztendlich wird der HiL-Prozess die Entwicklung eines gewünschten Lenkgefühls stark unterstützen, das die Marken-DNA sowohl für Hyundai- als auch für Kia-Fahrzeuge unterstreicht.



# Zuverlässige Optimierung von ADAS Systemen.

## SCHNELLE UND SICHERE ERGEBNISSE MITTELS AUTOMATISIERTER BEWERTUNG.

Unterstützung im Management der Entwicklungskomplexität: Mit der neuen Generation von AVL-DRIVE können Sie Fahrerassistenzsysteme toolgestützt entwickeln und optimieren. Virtuell wie in Echtzeit. Kostensparend und sicher.

- Automatische Erkennung unterschiedlicher ADAS Fahrsituationen in Echtzeit
- Effiziente Schwachstellenanalyse durch objektivierte Bewertung des ADAS-Fahrverhaltens unter Berücksichtigung der relevanten physikalischen Größen
- Durchgängige und vergleichbare Ergebnisse von der Simulation bis ins reale Fahrzeug durch HiL/SiL-Kompatibilität

AVL - Your Engineering Partner for Integrated Solutions.  
[www.avl.com](http://www.avl.com), [info@avl.com](mailto:info@avl.com)



DOWNLOAD DES BEITRAGS  
[www.springerprofessional.de/ATZ](http://www.springerprofessional.de/ATZ)



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE  
 order your test issue now:  
[springervieweg-service@springer.com](mailto:springervieweg-service@springer.com)

