

Verbesserungsmöglichkeiten des Fahrverhaltens von Pkw durch zusammenwirkende Regelsysteme

*Von Sven Beiker und
Manfred Mitschke*

Mit den heute in Pkw bekannten fahrdynamischen Regelsystemen wird auf sehr unterschiedliche Weise versucht, das Fahrverhalten zu verbessern. Im folgenden werden die überlagerte Vorderachslenkung, die zusätzliche Hinterachslenkung und der radindividuelle Bremseneingriff anhand von Simulationsrechnungen gegenübergestellt. Weiterhin wird der Nutzen einer Verknüpfung der verschiedenen Regelsysteme geklärt.

1 Einleitung

Seit Mitte der 70er Jahre sind in Pkw verschiedene fahrdynamische Regelsysteme bekannt, die die längs- bzw. querdynamischen Fahrzeugeigenschaften verbessern. Je nach Eingriff lassen sie sich in Systeme der Lenk-, Brems- und Antriebsanlage unterteilen, **Bild 1**. Es zeigt sich, dass alle drei zur Beeinflussung der querdynamischen Fahrzeugeigenschaften geeignet sind. Dadurch stellt sich die Frage, inwiefern sich die einzelnen Systeme unterscheiden und ob u.U. eine gegenseitige Ergänzung mehrerer Systeme sinnvoll ist. Diese Thematik umfassend zu bearbeiten, war Gegenstand umfangreicherer Untersuchungen [1], deren Inhalt mit diesem Aufsatz zusammengefasst werden soll.

2 Vorgehensweise

2.1 Simulationsmodell

Die Untersuchungen wurden ausschließlich anhand eines fahrdynamischen Simulationsmodells durchgeführt. So wurde es ermöglicht, die einzelnen Regelsysteme in einem einheitlichen Fahrzeugmodell abzubilden und wahlweise zu aktivieren, **Bild 2**. Die farblichen Kennzeichnungen in Bild 2 weisen dabei die Erweiterungen gegenüber einem heute als Standard anzusehenden Pkw aus. In rot sind die zusätzlichen Elemente einer überlagerten Vorderachslenkung eingezeichnet, in grün die einer zusätzlichen Hinterachslenkung und in blau die Anteile eines radindividuellen Bremseneingriffs zur Stabilitätsregelung. Bei der Synthese der jeweiligen Regelsysteme wurde zum einen auf bekannte Veröffentlichungen zurückgegriffen, zum anderen darauf geachtet, dass die jeweiligen Ansätze in ihren Steuerungs- bzw. Regelgesetzen vergleichbar sind. Diese Forderung ist besonders wichtig, um eine aussagekräftige Gegenüberstellung der Ergebnisse zu gewährleisten.

Für die beiden Zusatzlenkungen an Vorder- oder Hinterachse (rote bzw. grüne Kennzeichnung) wird jeweils eine Giergeschwindigkeits- ($\dot{\psi}$ -)regelung nach einem nichtlinearen Referenzmodell sowie ein Steuerungsanteil berücksichtigt. Der Steuerungsanteil der überlagerten Vorderachslenkung erfolgt dabei proportional zur Lenkradwinkelgeschwindigkeit $\dot{\delta}_L$ (vgl. [3]), und die Steuerung der Hinterachslenkung mittels eines Kennfelds in Abhängigkeit von Lenkradwinkel δ_L und Fahrgeschwindigkeit v (vgl. [2]).

Der Bremseneingriff vereinigt mehrere Regelkreise. Zum einen erfolgt die Schlupf-(S-)regelung beim Bremsen sowie Antreiben und beschreibt damit idealisiert die heute in Pkw üblichen Brems- und Antriebsschlupfregelungen ABS bzw. ASR/ASC/TCS (keine farbliche Kennzeichnung). Dem überlagert ist jedoch noch ein weiterer Regelkreis, der durch radindividuelles Bremsen die Giergeschwindigkeitsregelung ψ beeinflusst (blaue Kennzeichnung). Durch einen derartigen radindividuellen Bremseneingriff ergibt sich ein Gesamtsystem, das die seit Mitte der 90er Jahre in Pkw bekannten Stabilitätsregelsysteme EPS/DSC/VSC (vgl. [5]) idealisiert abbildet.

2.2 Simulationsumfang

Zum Vergleich der betrachteten Regelsysteme sind zunächst aus einer Gesamtheit von Fahrmanövern [4] neun Einzelfälle ausgewählt worden:

- Stationäre Kreisfahrt,
- Lenkwinkelsprung,
- Fahrbahnwechsel,
- Wedeln,
- Lastwechsel in der Kurve,
- Beschleunigen in der Kurve,
- Bremsen in der Kurve,
- Bremsen auf μ -split,
- Seitenwind.

So ergibt sich ein möglichst umfassendes Bild der verschiedensten Fahrsituationen, deren Untersuchung mit dem verwendeten Simulationsmodell möglich ist, **Bild 3**. Die Auswertung der einzelnen Fahrmanöver erfolgt anschließend durch entsprechende „Kennwerte“, um so die Möglichkeiten der einzelnen Regelsysteme gegenüberstellen zu können. Da das Ziel der Untersuchungen allerdings eine zusammenfassende Bewertung der Systeme über alle Fahrsituationen sein soll, erfolgt die Zuordnung der Kenngrößen zu den verschiedenen Bereichen des Fahrverhaltens, „Handling“, „Stabilität“, „Kurshaltung“ und „Längsdynamik“, indem eine relative Einordnung mit einem dimensionslosen Bewertungsmaßstab vorgenommen wird. Dadurch lassen sich die jeweiligen Eigenschaften der Regelsysteme verdeutlichen und vor allem voneinander abgrenzen.

3 Einzelsysteme

3.1 Inhalte der Einzelsysteme

Die Ansätze der jeweiligen Einzelsysteme für die beiden Zusatzlenkungen und den Bremseneingriff ergeben sich entsprechend der zuvor dargestellten Inhalte. Um deren Eigenschaften isoliert herauszuarbeiten, werden diese zunächst voneinander getrennt betrachtet, **Bild 4**. Das bedeutet, dass das als Vergleichsmaßstab betrachtete Ausgangsfahrzeug (nur die schwarzen Elemente in Bild 2 sind vorhanden) in den verschiedenen Versuchteilen nur um jeweils eines dieser drei Systeme erweitert wird, und so deren jeweiliger Einfluss bewertbar wird. Die Ergebnisse mit den Einzelsystemen können dann einander direkt gegenübergestellt werden.

Um allerdings dem Standard heutiger Pkw gerecht zu werden, wird auch bei den Zusatzlenkungen die Brems- und Antriebsschlupfregelung (ABS, ASR/ASC/TCS) abgebildet. Damit kann bei den Manövern, bei denen z.B. gebremst wird, kein Blockieren der Räder auftreten. Die zusätzliche Giergeschwindigkeitsregelung des Bremseneingriffs wird also nicht berücksichtigt.

3.2 Ergebnisse mit den Einzelsystemen

Die Einzelsysteme zeigen sehr unterschiedliche Eigenschaften zur Verbesserung des Fahrverhaltens, **Bild 5**. In der Grafik sind die Änderungen der Fahreigenschaften gegenüber dem Ausgangsfahrzeug aufgetragen, die sich aufgrund der in 2.2 beschriebenen zusammenfassenden Bewertung ergeben. Nach oben zeigt sich eine Verbesserung des Fahrverhaltens und nach unten eine Verschlechterung.

Die zusätzliche Hinterachslenkung zeigt ein herausragendes Potenzial zur Steigerung der Handlungseigenschaften. Das liegt vor allem darin begründet, dass der Schwimmwinkel verringert werden kann, und der Regeleingriff zur Fahrzeugstabilisierung nicht wie bei der überlagerten Vorderachslenkung zulasten der Querschleunigung geht. Letztere erreicht aber auch noch eine deutliche Verbesserung der Handlungseigenschaften, während der radindividuelle Bremseneingriff hier kaum eine Rolle spielt. Das liegt daran, dass er überwiegend im querdynamischen Grenzbereich eingreift und kaum in weniger kritischen Bereichen des Fahrverhaltens wie z.B. dem Handling.

Dagegen ist der Bremseneingriff mit Abstand am besten dazu geeignet, das Fahrzeug zu stabilisieren, was auch zur derzeit schnellen Verbreitung derartiger Systeme (ESP/DSC/VSC [vgl. 5]) als Stabilitätsregelungen geführt hat. Die überlagerte Vorderachslenkung kann hier auch noch zu einer sehr deutlichen Verbesserung der Fahrzeugeigenschaften beitragen, während die zusätzliche Hinterachslenkung ins Hintertreffen gerät. Das liegt daran, dass zum Stabilisieren der Gierbewegung an der Vorderachse eine Verringerung der Achsseitenkraft erforderlich ist und an der Hinterachse eine Vergrößerung. Während ersteres an der für diese Fälle zu betrachtenden querdynamischen Grenze ohne weiteres möglich ist, kann letzteres infolge der begrenzten Hinterachsseitenkräfte nur bedingt erfolgen.

Bei der Kurshaltung ist dagegen zu erkennen, dass der Bremseneingriff zu keiner Veränderung des Fahrverhaltens führt, da bei den hier zu betrachteten Manövern (u.a. Seitenwind) kein Eingriff erfolgt. Dagegen zeigen die Zusatzlenkungen hier eine wesentliche Verbesserung der Fahrzeugeigenschaften, weil einer ihrer Vorteile darin liegt, dass sie auch bei geringer Querschleunigung, d.h. ohne dass ein querdynamisch kritischer Fahrzustand vorliegt, wirksam werden.

Bei den längsdynamischen Eigenschaften zeigt der Bremseneingriff besondere Stärken, die im wesentlichen auf die radindividuelle und damit sehr effektive Brems- und Antriebsschlupfregelung zurückgehen. Die Hinterachslenkung zeigt in der Summe der Ergebnisse weder eine positive noch eine negative Beeinflussung der Fahrzeugeigenschaften. Die überlagerte Vorderachslenkung verschlechtert dagegen sogar noch das Fahrverhalten geringfügig, da die Kursabweichung bei Bremsungen auf μ -split zu einer Bremswegverlängerung führen kann.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die zusätzliche Hinterachslenkung vornehmlich die Handlungseigenschaften eines Fahrzeugs verbessert, die überlagerte Vorderachslenkung die Kurshaltung sowie Fahrstabilität und der Bremseneingriff die Stabilität sowie Längsdynamik. Das kennzeichnet aber auch, dass kein System allein in der Lage ist, alle Bereiche des Fahrverhaltens positiv zu beeinflussen. Wenn das gefordert wird, müssen mehrere dieser Einzelsysteme gemeinsam verwendet werden.

4 Systemkombinationen ohne gegenseitige Verknüpfungen

4.1 Inhalte der Systemkombinationen

Bei der Kombination sollen verschiedene Regelsysteme gleichzeitig zum Einsatz kommen, jedoch keine gegenseitige Verknüpfung in ihren Funktionalitäten erfahren, **Bild 6**. Das bedeu-

tet beispielsweise, dass verschiedene Systeme die Gierwinkelgeschwindigkeit voneinander unabhängig regeln und sich auch in ihrem Steuerungsanteil nicht gegenseitig beeinflussen. In den untersuchten Beispielen wurde jeweils eine der beiden Zusatzlenkungen mit dem Bremseneingriff kombiniert. Damit ist nach den zuvor gefundenen Ergebnissen zu erwarten, dass sich auch die positiven Eigenschaften zu einem besseren Gesamtkonzept zusammenfügen. Eine Kombination der beiden Zusatzlenkungen erscheint nicht sinnvoll, da dann trotz einer recht aufwendigen Systemstruktur z.B. längsdynamische Eigenschaften nicht verbessert werden.

4.2 Ergebnisse mit den Systemkombinationen

Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden Systemkombinationen besonders in Hinblick auf die Verbesserung der Stabilität und Kurshaltung jeweils den bisherigen Bestwert der Einzelsysteme erreichen, **Bild 7**. Im Falle der Fahrstabilität wird damit deutlich, dass die stabilisierenden Bremseneingriffe durch beide Zusatzlenkungen nicht behindert werden.

Im Falle der Kurshaltung ist das bei der Kombination der überlagerten Vorderachslenkung und des Bremseneingriffs ähnlich, nur dass hier die Vorderachslenkung nicht durch den Bremseneingriff beeinflusst wird. Hingegen wird die Kurshaltung bei der Hinterachslenkung mit gleichzeitigem Bremseneingriff verbessert.

Bei den Handlingeigenschaften ist das allerdings nicht mehr der Fall. Durch den Einfluss des Bremseneingriffs wird der Effekt der Hinterachslenkung verringert. Das liegt u.a. daran, dass die Hinterachslenkung nicht das Vorhandensein des Bremseneingriffs berücksichtigt und so bei einer starken Bremsung unangemessene Lenkwinkel aufprägt. Gleichzeitig ermöglicht die überlagerte Vorderachslenkung in Kombination mit dem Bremseneingriff aus den schon bei der Betrachtung als Einzelsystem genannten Gründen ein geringeres Potenzial zur Verbesserung der Handlingeigenschaften.

Die längsdynamischen Eigenschaften lassen sich dagegen noch deutlich gegenüber dem bisherigen Bestwert steigern. Dabei zeigt sich jedoch die überlagerte Vorderachslenkung wie schon bei der Untersuchung der Einzelsysteme etwas nachteiliger als die Hinterachslenkung. Dass jedoch beide Zusatzlenkungen mit dem Bremseneingriff zusammen eine deutliche Verbesserung der längsdynamischen Eigenschaften gegenüber dessen alleiniger Verwendung ermöglichen, offenbart die bessere Aufteilung zwischen längs- und querdynamischer Regelaufgabe. So ergibt sich hier schon ohne eine zusätzliche Abstimmung der Systeme aufeinander, dass die Stabilitätsregelung soweit möglich durch die Lenksysteme erfolgen kann und der geschwindigkeitsbeeinträchtigende Bremseneingriff häufig nicht benötigt wird. Außerdem kann die Brems- und Antriebsschlupfregelung ohne Einschränkung radindividuell erfolgen, da die Einflüsse auf die Querdynamik ebenfalls durch die Lenksysteme ausgeglichen werden können.

Mit der Betrachtung der Systemkombinationen wird deutlich, dass sich im allgemeinen zwar die jeweils positiven Eigenschaften der Einzelsysteme verbinden lassen, in einigen Fällen aber auch nachteilige Überlagerungen auftreten können, die deren Wirksamkeit vermindern. Deswegen ist es erforderlich, die Einzelsysteme so aufeinander abzustimmen, dass sie sich in ihren Regelansätzen gegenseitig beeinflussen können.

Darüber hinaus zeigt sich die überlagerte Vorderachslenkung weniger zu einer Kombination mit dem radindividuellen Bremseneingriff geeignet als die zusätzliche Hinterachslenkung. Das liegt im wesentlichen an den Handlingeigenschaften, die nicht in der Art verbessert werden können, wie es bei Einsatz der Hinterachslenkung möglich ist. In einem Systemzusammenschluss ist deswegen die zusätzliche Hinterachslenkung gegenüber der überlagerten Vorderachslenkung vorzuziehen.

5 Systemintegration (Systemkombination mit gegenseitiger Verknüpfung)

5.1 Inhalt der Systemintegration

Die Integration der Hinterachslenkung mit dem Bremseneingriff ergibt sich direkt aus der zuvor beschriebenen Systemkombination, jedoch sind nun die Regelkreise der Einzelsysteme über eine Dringlichkeitsfunktion miteinander verknüpft, **Bild 8**. Dadurch nehmen die beiden Systeme in ihrer jeweiligen Funktion derart aufeinander Einfluss, dass der Bremseneingriff erst bei Bedarf durch die Hinterachslenkung zugeschaltet wird. Die zugehörige Dringlichkeitsfunktion kann in Abhängigkeit des Hinterachslenkwinkels δ_{HA} einen Wert zwischen Null (Bremseneingriff vollständig ausgeschaltet) und eins (Bremseneingriff vollständig eingeschaltet) sowie beliebige Zwischenwerte (Bremseneingriff mit abgeschwächter Wirksamkeit zugeschaltet) annehmen. Dabei nimmt der Wert erst kontinuierlich zu, wenn der Hinterachslenkwinkel deutlich über den Steuerungsanteil $\delta_{H\text{Steuer}}$ hinaus anwächst und sich an seine Stellwegbegrenzung $\delta_{H\text{max}}$ annähert, **Bild 9**. Weitere Verknüpfungen sind außerdem umgesetzt, um die Eingriffe der beiden Einzelsysteme auch in speziellen Situationen besser aufeinander abzustimmen.

5.2 Ergebnisse mit der Systemintegration

Durch Integration des radindividuellen Bremseneingriffs in den Ansatz der zusätzlichen Hinterachslenkung gelingt es, die negativen Wechselwirkungen der Einzelsysteme, die bei deren Kombination zu beobachten waren, zu vermeiden. Dadurch überlagern sich die jeweiligen Vorteile der Einzelsysteme zu einem Gesamtkonzept, das in einigen Bereichen noch die bisherigen Bestwerte übertrifft, **Bild 10**. Im einzelnen gilt:

Ganz besonders sind die Vorteile der Systemintegration bei den Handlungseigenschaften zu erkennen. Wie die zuvor erläuterten Ergebnisse gezeigt haben, ist die zusätzliche Hinterachslenkung sehr zur Verbesserung derartiger Fahrzeugeigenschaften geeignet, wobei der radindividuelle Bremseneingriff deren Möglichkeiten jedoch teilweise einschränkt. Durch die Integration der beiden Systeme gelingt es nicht nur, diesen Nachteil zu vermeiden, sondern zusätzlich noch ein Gesamtergebnis zu erreichen, das über dem bisherigen Bestwert der alleinigen Hinterachslenkung liegt. In diesem Fall kann das dadurch erreicht werden, dass der Ansatz für die Hinterachslenkung zusätzlich noch die starke Abbremsung und die Einflüsse des Bremseneingriffs berücksichtigt, und damit unangemessene Lenkeingriffe unterbunden werden.

Bei der Stabilität und Kurshaltung lassen sich dagegen keine weiteren Verbesserungen der Fahreigenschaften mehr erreichen. Das liegt vorrangig daran, dass die Systeme hier voneinander getrennt agieren. Der Bremseneingriff gewährleistet alleine bereits eine sehr hohe Fahrstabilität und die Verbesserung der Kurshaltung wird im wesentlichen durch die Hinterachslenkung geprägt.

Bei den längsdynamischen Fahrzeugeigenschaften kann wiederum beobachtet werden, dass die Integration der beiden Systeme Vorteile gegenüber den Einzelsystemen und der Kombination ermöglicht. Durch die Verknüpfung beider Systeme in einem Gesamtansatz sind die Hinterachslenkung und der Bremseneingriff noch besser aufeinander abgestimmt. Als Folge der Integration werden die Bremsen weniger aktiviert, da die Regelung der Gierwinkelgeschwindigkeit weitgehend über die Lenkeingriffe erfolgt. Dadurch wird die Fahrgeschwindigkeit weniger beeinträchtigt als bei der einfacheren Kombination der Systeme.

Es zeigt sich also, dass es erst durch die Integration der Regelsysteme möglich wird, auf der einen Seite die jeweiligen Vorzüge der Einzelsysteme miteinander zu vereinen und auf der

anderen Seite negative Wechselwirkungen zu vermeiden. Damit lassen sich die fahrdynamischen Eigenschaften über einen sehr weiten Bereich verbessern.

6 Zusammenfassung

Anhand von Simulationsrechnungen wurde der Einfluss verschiedener Regelsysteme auf das Fahrverhalten eines Pkw bewertet. Es wurden die überlagerte Vorderachslenkung, die zusätzliche Hinterachslenkung und der radindividuelle Bremseneingriff untersucht.

Die Einzelsysteme zeigten dabei spezielle Eigenschaften. So verbessert die zusätzliche Hinterachslenkung in erster Linie die Handlingeigenschaften, die überlagerte Vorderachslenkung die Kurshaltung sowie Fahrstabilität und der radindividuelle Bremseneingriff die Fahrstabilität sowie Längsdynamik des Fahrzeugs. Daraus ergab sich, dass es erforderlich ist, mehrere Systeme miteinander zu kombinieren, um weite Bereiche des Fahrverhaltens zu verbessern.

In der Kombination der Zusatzlenkungen mit dem Bremseneingriff arbeiteten die einzelnen Regelsysteme unabhängig voneinander. Dabei wurde deutlich, dass die gemeinsame Nutzung Vorteile bringt, aber auch gegenseitige Störungen auftreten, so dass die Leistungsfähigkeit teilweise unter der der Einzelsysteme liegt. Daraus ließ sich ableiten, dass die Systeme in ihrer Funktion aufeinander abgestimmt und verknüpft sein müssen.

Vorgestellt wurde eine Integration der Hinterachslenkung mit dem Bremseneingriff mittels einer Dringlichkeitsfunktion, durch die der Hinterachslenkwinkel die Größe der Bremsmomente steuert. Dadurch lassen sich jeweils die positiven Eigenschaften nutzen und es treten keine negativen Überlagerungen auf. Dieses Gesamtsystem verbessert das Fahrzeugverhalten über weite Bereiche, und übertrifft die Ergebnisse der einzelnen Systeme.

Abbildungen

	Querdynamik	Längs- / Querdynamik
Lenkanlage	zusätzliche HA-Lenkung überlagerte VA-Lenkung	-
Bremsanlage	radindividuelles Bremsen	Bremsschlupfregelung
Antriebsanlage	Motoreingriff aktives Differential	Antriebsschlupfregelung

Bild 1: Verbesserungsmöglichkeiten des Fahrverhaltens durch verschiedene Regelsysteme

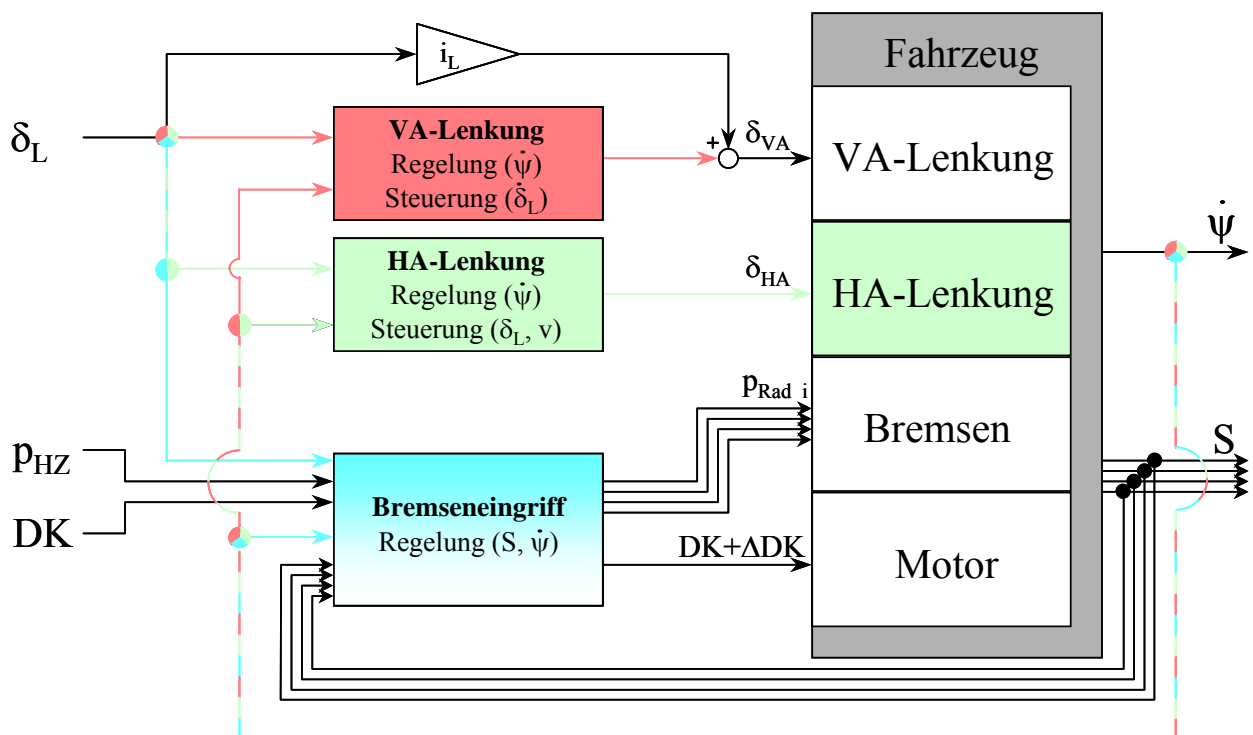
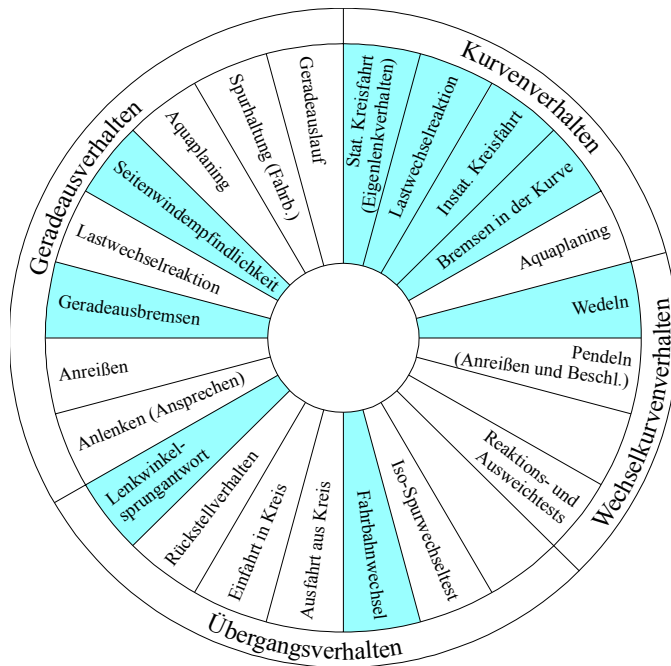


Bild 2: Umfang und Inhalt untersuchter Systeme

9 Fahrmanöver



Kennwerte

4 Bereiche

$$|\beta|_{\max}, |\beta|_{\max} - |\beta_0|,$$

$$\ddot{y}_{\max}, \Delta\dot{\psi}_{1s}, \dot{\psi}_{\max},$$

$$\frac{\dot{\psi}_{\max} - \dot{\psi}_{\text{stat}}}{\dot{\psi}_{\text{stat}}}, T_{\dot{y}},$$

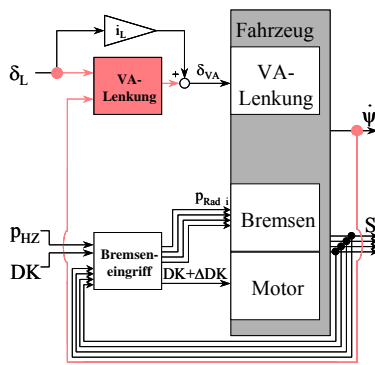
$$T_{\dot{\psi}}, |\delta_L|_{\max}, \Delta s_y,$$

$$\psi_{\text{Ende}}, v_{\min}, \Delta v, s_B$$

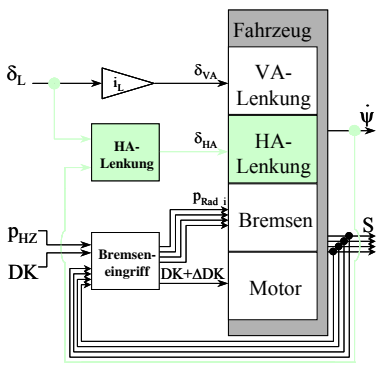
- Handling
- Stabilität
- Kurshaltung
- Längsdynamik

Bild 3: Überblick über untersuchte Fahrmanöver (blaue Segmente im Kreis) und deren Auswertung

Überlagerte Vorderachslenkung



Zusätzliche Hinterachslenkung



Radindiv. Bremseneingriff

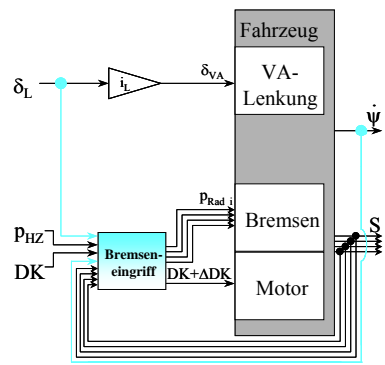
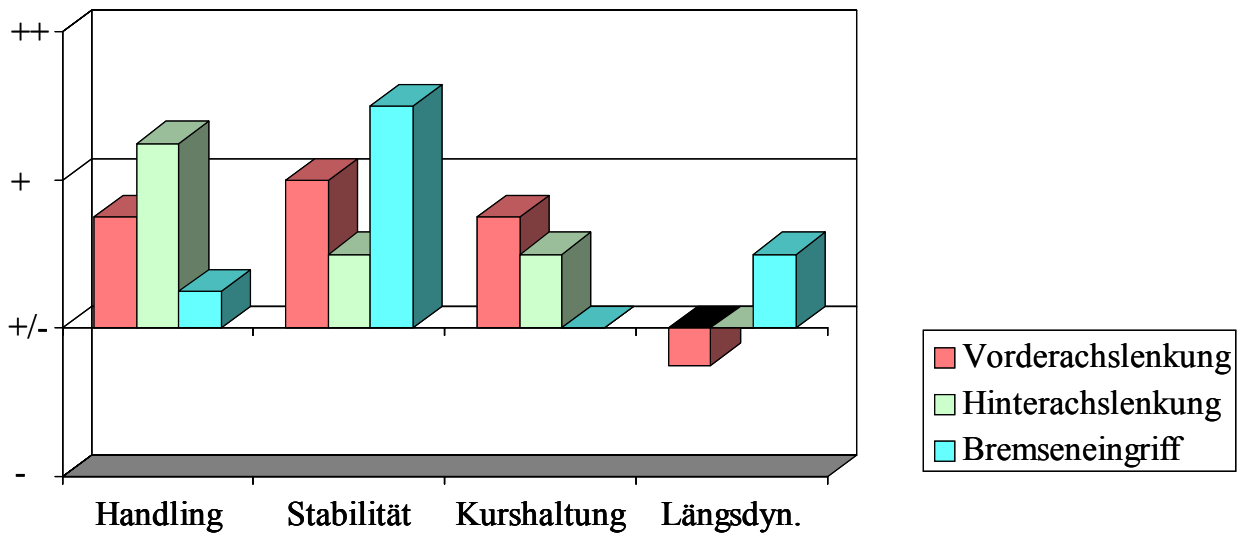


Bild 4: Darstellung der Einzelsysteme



Legende: ++ = sehr gute Eignung +/- = kein Zusatznutzen
 + = gute Eignung - = nachteiliger Effekt

Bild 5: Ergebnisse mit den Einzelsystemen

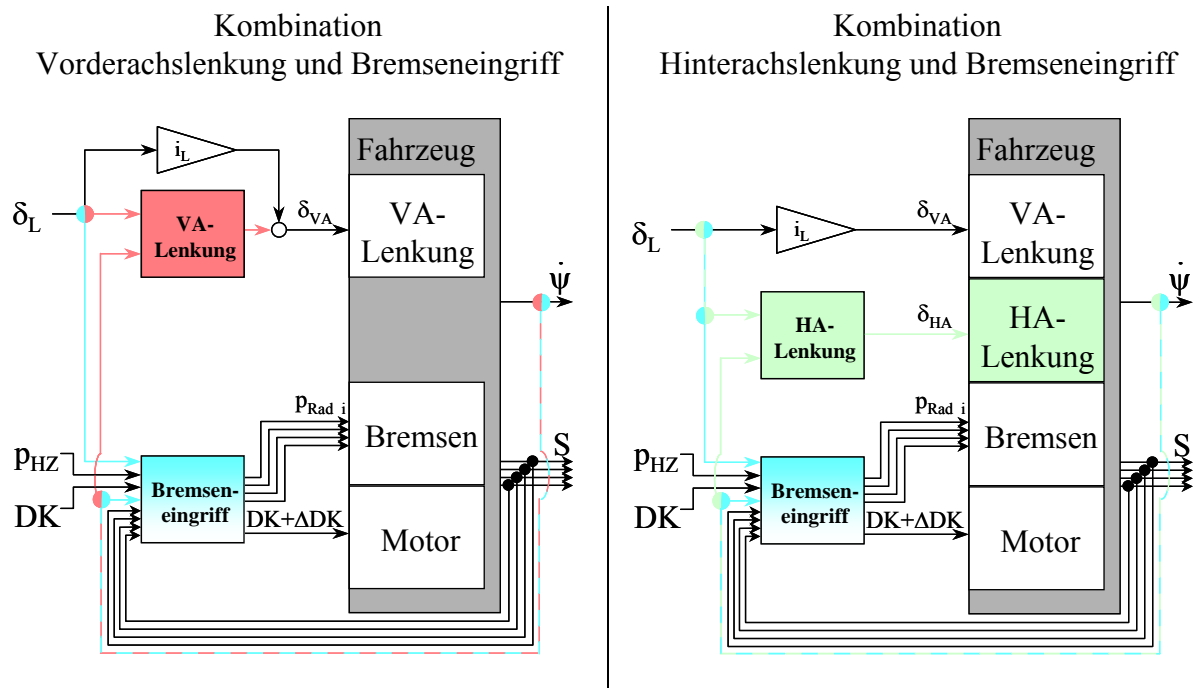
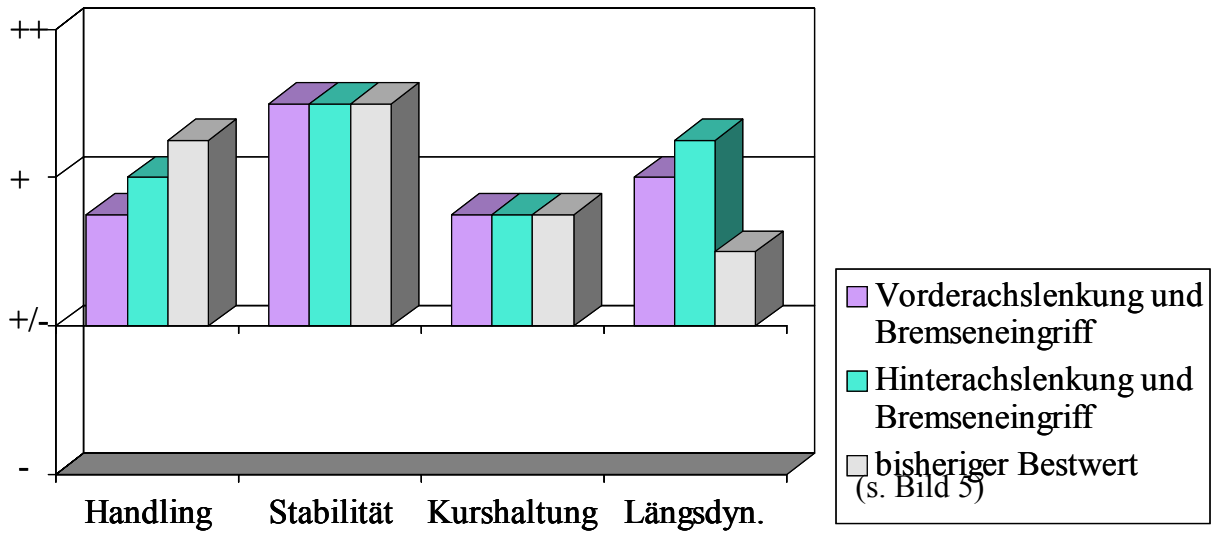


Bild 6: Darstellung der Systemkombinationen



Legende: ++ = sehr gute Eignung +/- = kein Zusatznutzen
 + = gute Eignung - = nachteiliger Effekt

Bild 7: Ergebnisse mit den Systemkombinationen

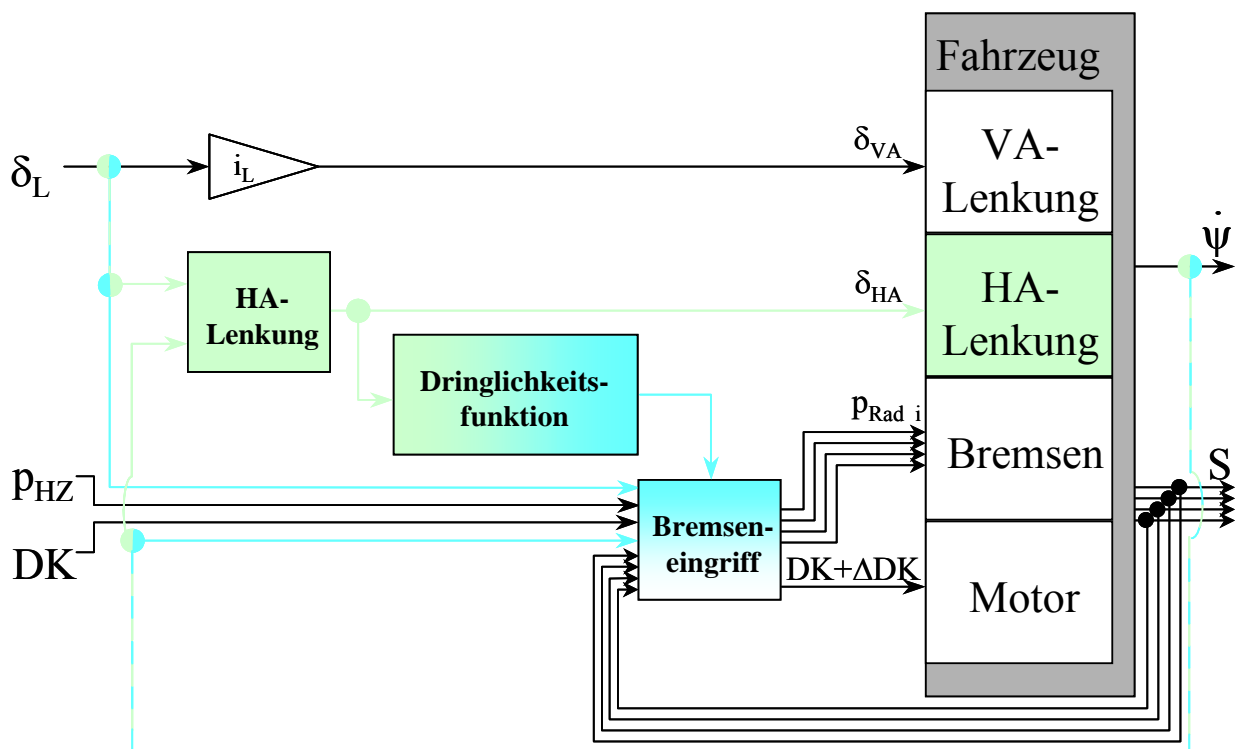


Bild 8: Darstellung der Systemintegration aus Hinterachslenkung und Bremseneingriff

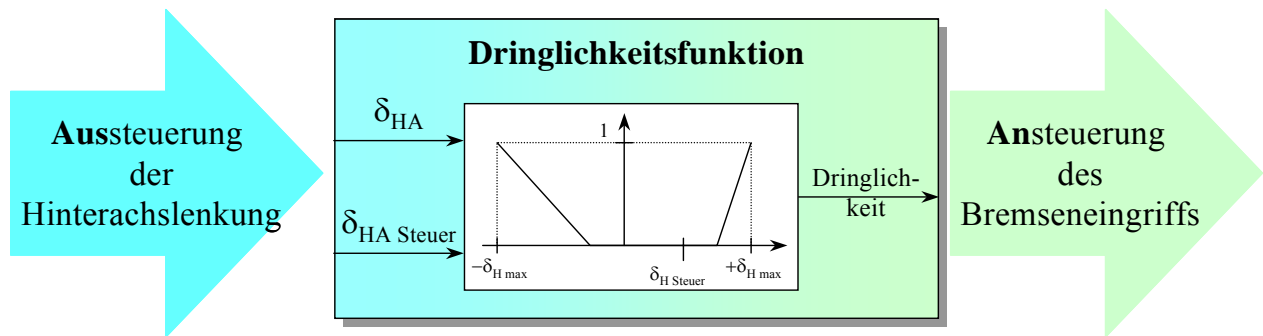
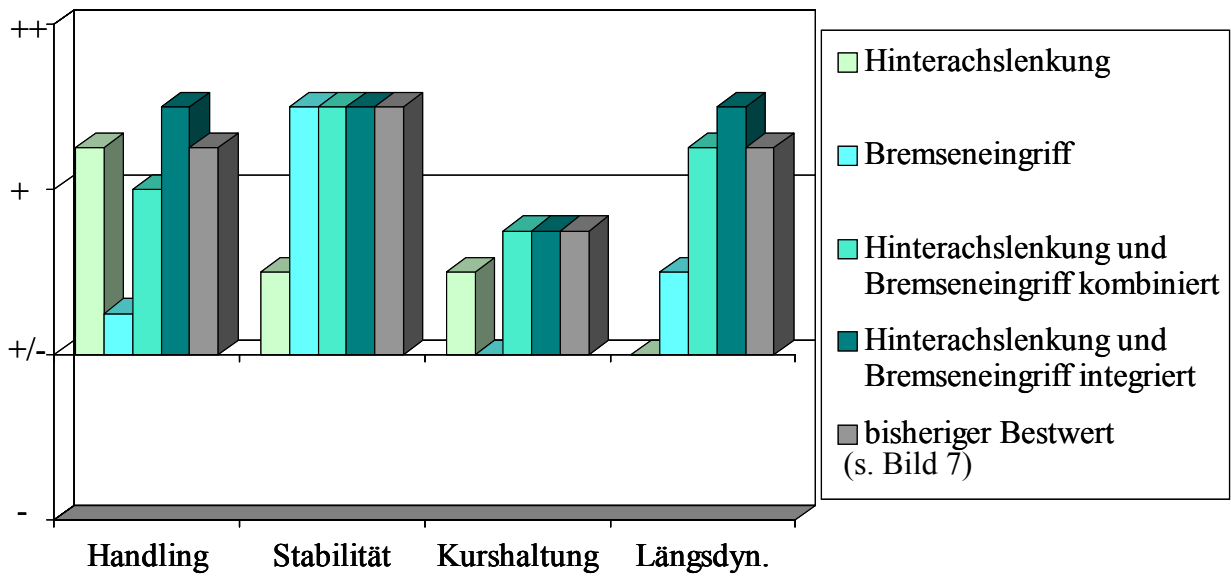


Bild 9: Darstellung der Dringlichkeitsfunktion zur Ansteuerung des Bremseneingriffs



Legende: ++ = sehr gute Eignung +/- = kein Zusatznutzen
 + = gute Eignung - = nachteiliger Effekt

Bild 10: Ergebnisse mit der Systemintegration

Verwendete Formelzeichen

DK	Drosselklappenöffnung
i_L	Lenkübersetzung
p_{HZ}	Hauptbremszylinderdruck
p_{Rad}	Radbremsdruck
S	Schlupf
s_B	Bremsweg
s_y	Querabweichung
T	Anstiegszeit
v	Fahrgeschwindigkeit
\ddot{y}	Querbeschleunigung
β	Schwimmwinkel
δ_L	Lenkradwinkel
δ_{HA}	Hinterachslenkwinkel
δ_{VA}	Vorderachslenkwinkel
$\dot{\psi}$	Gierwinkelgeschwindigkeit

Literatur

- [1] Beiker, S.: Verbesserungsmöglichkeiten des Fahrverhaltens von Pkw durch zusammenwirkende Regelsysteme, Dissertation TU Braunschweig 1999 und VDI Fortschrittberichte, Reihe 12, Nr. 418, Düsseldorf, VDI 2000
- [2] Donges, E.; Auffhammer, R.; Fehrer, P.; Seidenfuß, T.: Funktion und Sicherheitskonzept der aktiven Hinterachskinematik von BMW, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 92 (1990), S. 580 – 588
- [3] Krämer, W.; Hackl, M.: Potential Functions and Benefits of Electronic Steering Assistance, Vortrag auf dem FISITA-Kongreß, Prag, 1996
- [4] Rönitz, R.; Braess, H.-H.; Zomotor, A.: Verfahren und Kriterien zur Bewertung des Fahrverhaltens von Personenkraftwagen - *Stand und Problematik Teil 1 / 2*, Automobil-Industrie 1 u. 3/77, 1977, S. 29 - 38 u. 39 – 46
- [5] Zanten, A. van; Erhardt, R.; Pfaff, G.: FDR - Die Fahrdynamikregelung von Bosch, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 96 (1994), S. 674 – 689

Die Verfasser

Dr.-Ing. Sven Beiker ist bei der BMW AG in München für die strategische Ausrichtung der Fahrwerks- und Antriebsinnovationen zuständig und war vorher Doktorand in der dortigen Fahrwerksentwicklung.

Prof. em. Dr.-Ing. Manfred Mitschke, Technische Universität Braunschweig, Institut für Fahrzeugtechnik