

3. Stand der Technik

Der folgende Abschnitt beschreibt den Stand der Forschung zur mechatronischen Beeinflussbarkeit der Achsgeometrie von Pkw. Bei der Betrachtung stehen die folgenden Aspekte im Vordergrund:

- Beeinflussbarer Achskennwert
- Entwicklungsstadium des Systems
- Technische Umsetzung
- Funktionspotenzial

Die Quellen der Beiträge entstammen zum einen der Fach- und zum anderen der Patentliteratur. Abgeschlossen wird das Kapitel mit der Darstellung der offenen Forschungsfelder zum Thema mit der sich daraus ergebenden Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.

3.1 Literaturrecherche

In der Fachliteratur sind unterschiedliche Ansätze beschrieben, wie durch mechatronische Komponenten die Achsgeometrie fahrsituationsabhängig verändert und somit das Fahrverhalten von Pkw optimiert werden kann. Diese lassen sich für die folgende Betrachtung im Wesentlichen einteilen in:

- Aktive Spurverstellung
- Aktive Sturzverstellung
- Aktive Fahrwerkslager

Vor allem zum Thema aktive Spurverstellung ist dabei in der Fachliteratur eine Vielzahl von Veröffentlichungen vorhanden. Der Grund dafür ist, dass derartige Systeme bereits bis zur Serienreife gebracht wurden. Für Sturzstellsysteme und aktive Fahrwerkslager trifft dies hingegen nicht zu, weshalb dazu bislang nur wenige Veröffentlichungen existieren.

3.1.1 Aktive Spurverstellung

Gekoppelte aktive Spurverstellung an der Vorderachse

Lenksysteme, die in der Lage sind, zum eingestellten Fahrerlenkwinkel an der Vorderachse mechatronisch zusätzliche Spurwinkel zu stellen, nehmen damit aktiv Einfluss auf die Achsgeometrie. Zwei unterschiedliche Ausführungsformen werden dabei in der Literatur beschrieben, nämlich aktive Lenksysteme zur Winkelüberlagerung und Steer-by-Wire-Lenksysteme (SbW). Während sich erstere bereits seit einiger Zeit beim Pkw im Serieneinsatz befinden (z. B. bei BMW, Toyota oder AUDI), wird die SbW-Lenkung bisher nur in Sonderfahrzeugen (z. B. im Unimog) eingesetzt und befindet sich für den Pkw-Einsatz noch im Forschungsstadium. Abbildung 3.1 zeigt eine Übersicht klassifiziert nach Funktionalität, Arbeitsform und Entwicklungsstand.

Beide Systeme basieren, was die Aktorik zum Stellen der Spurwinkel betrifft, auf einem

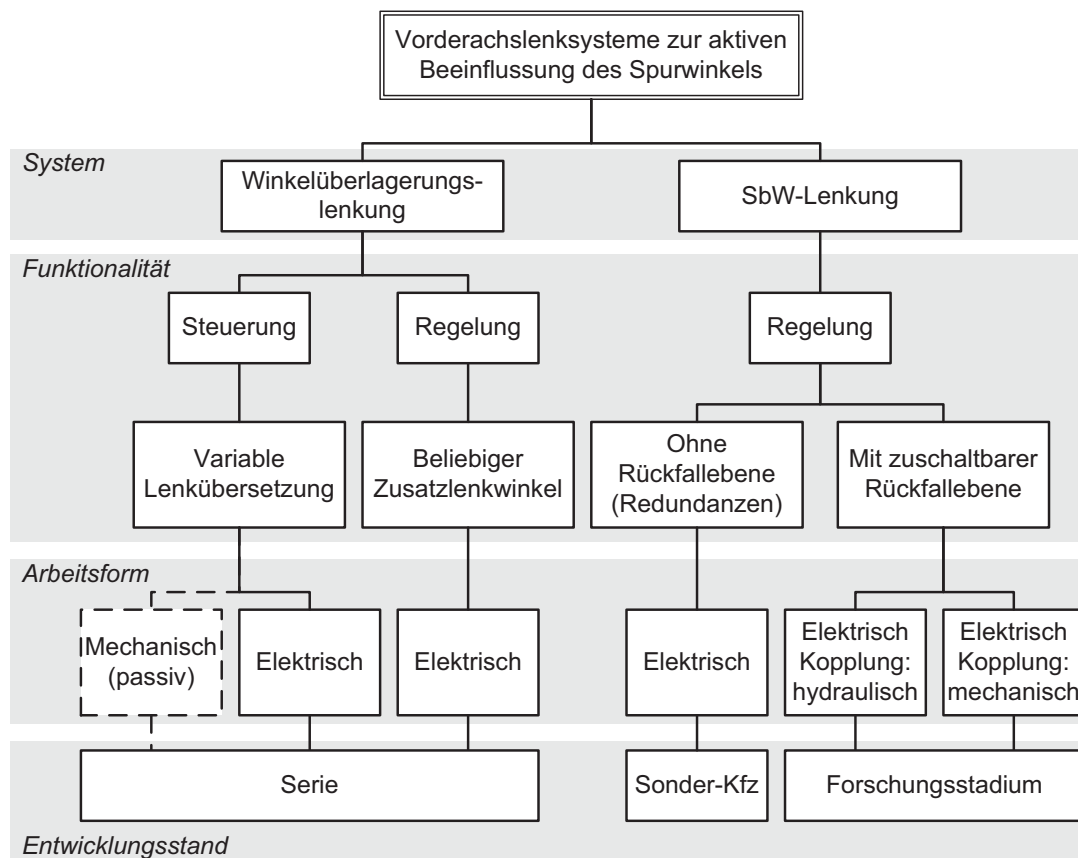


Bild 3.1: Übersicht aktiver Vorderachslensysteme zur Beeinflussung des Spurwinkels (abgeleitet aus [12])

konventionellen Lenkgetriebe (im Falle der SbW-Lenkung ist eine elektromechanische Lenkung als Basis von Vorteil). Das hat zur Folge, dass die Spurwinkel am linken und rechten Rad nicht unabhängig voneinander verstellt werden können, sondern mechanisch gekoppelt sind. Bei der Winkelüberlagerungslenkung wird der mechanische Durchtrieb zwischen Lenkrad und Lenkgetriebe beibehalten, so dass bei Systemausfall die herkömmliche, manuelle Lenkfunktion als Rückfallebene erhalten bleibt. Der Überlagerungswinkel kann über elektromechanische, hydraulische oder elektrohydraulische Aktoren gestellt werden. Aufgrund ihrer kompakten Bauweise haben sich in der Serienanwendung Elektromotoren in Verbindung mit Winkeladditionsgetrieben in zwei unterschiedlichen Ausführungsformen durchgesetzt. Der Hauptunterschied liegt dabei in der Ausführungsart des Additionsgetriebes, welches entweder als Planetengetriebe (siehe Abbildung 3.2(a)) oder als Harmonic-Drive-Getriebe (siehe Abbildung 3.2(b)) ausgeführt ist [18].

Bei der SbW-Lenkung wird (im Normalbetrieb) die mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und Lenkgetriebe durch eine elektrische ersetzt. Wie in Abbildung 3.1 dargestellt, kann aus Sicherheitsgründen eine mechanische Rückfallebene vorhanden sein. Der Fahrerwunsch wird elektronisch erfasst, der Lenkwinkel an den Rädern ausschließlich durch die Lenkaktuatorik eingestellt. Prinzipiell können bei einer SbW-Lenkung anstelle des Lenkrads auch andere Bedienelemente, z. B. ein Side Stick [12], zum Einsatz kommen. In Abbildung 3.3 ist beispielhaft ein rein elektronisches SbW-System mit Lenkrad als Bedienelement dargestellt.

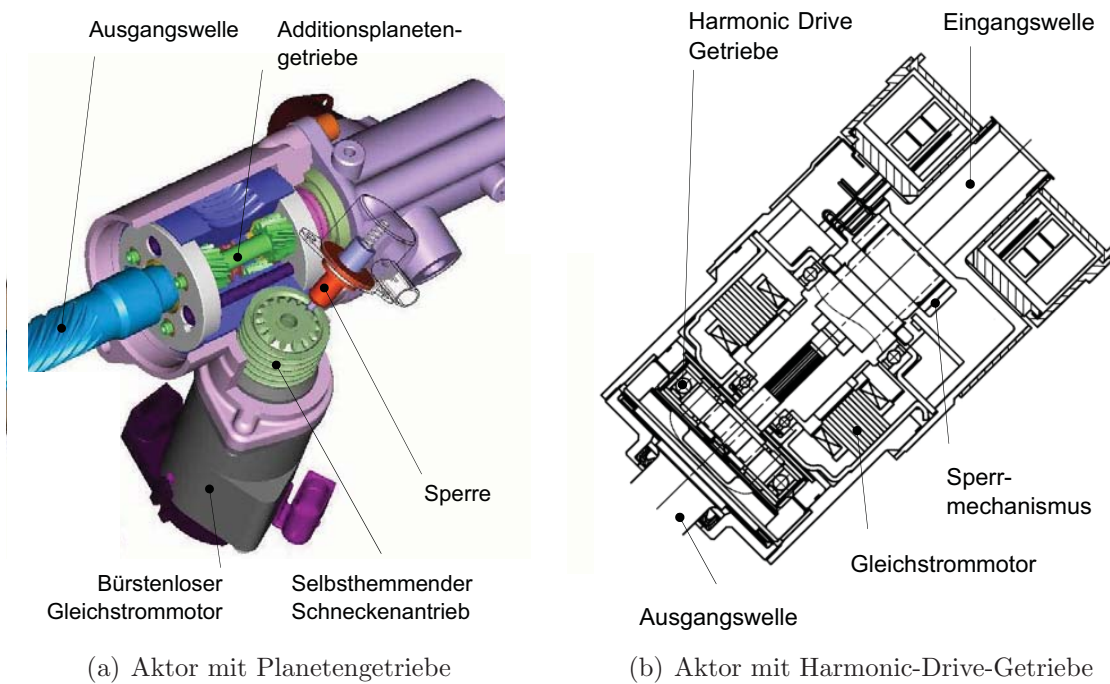
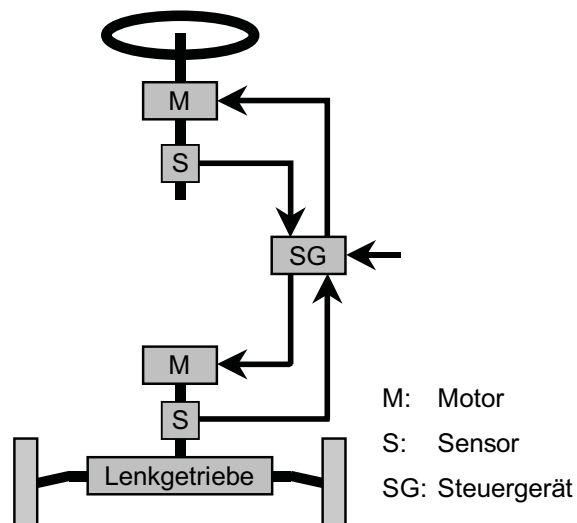


Bild 3.2: Ausführungsformen des Winkelüberlagerungsaktors aktiver Lenksysteme [18]

Bild 3.3: Schematische Darstellung einer Ausführungsform eines rein elektronischen Steer-by-Wire-Systems [19]



Aktive Lenksysteme an der Vorderachse beeinflussen im Gegensatz zu Hinterachslenksystemen (siehe unten) das Fahrzeugübertragungsverhalten nicht, sie ermöglichen nur fahrdynamische Eingriffe, die ein geübter Fahrer auch vornehmen kann [20]. Den Einfluss des Vorderachslenkwinkels auf die Fahrdynamik eines Fahrzeugs beschreibt die aus dem Einspurmodell abgeleitete Gleichung A18 mit $\delta_h = 0$. In den darstellbaren Funktionen unterscheiden sich deshalb Überlagerungslenkung und SbW-Lenkung aus fahrdynamischer Sicht im Grundsatz nicht, das Verhältnis zwischen Lenkradwinkel und Radeinschlagwinkel kann als Funktion

verschiedener Eingangsgrößen (Fahrzeuggeschwindigkeit, Lenkradwinkel etc.) eingestellt werden.¹ Damit lassen sich nach [12], [21] und [22] folgende Funktionen darstellen:

- Fahrerassistenz-Funktionen (dauerhaft aktiv):
 - Variable Lenkübersetzung:

Die Lenkübersetzung von konventionellen Lenksystemen stellt immer einen Kompromiss zwischen ausreichender Agilität bei geringen Fahrzeuggeschwindigkeiten und stabilem, nicht zu nervösen Lenkverhalten bei hohen Geschwindigkeiten dar. Durch die Entkoppelung von Lenkradwinkel und Radeinschlagwinkel kann dieser Kompromiss aufgelöst werden, indem bei geringen Fahrgeschwindigkeiten eine direkte und mit steigender Geschwindigkeit eine indirekter werdende Lenkübersetzung eingestellt wird. Damit wird eine Reduzierung der Lenkarbeit bei Fahrmanövern im unteren Geschwindigkeitsbereich und eine sichere Spurführung im Hochgeschwindigkeitsbereich realisiert.
 - Vorhaltelenkung/Agilitätsfunktion:

Wird der Überlagerungswinkel abhängig von der Lenkradwinkelgeschwindigkeit eingestellt, kann der Phasenverzug zwischen Lenkwinkelvorgabe und Fahrzeugreaktion verringert und damit die Agilität des Fahrzeugs weiter verbessert werden. Es sind dabei verschiedene Ansätze denkbar, die u. a. von der Auslegung der variablen Lenkübersetzung abhängen. Die einfachste Variante stellt einen direkt proportionalen Zusammenhang zwischen Lenkradwinkelgeschwindigkeit und Überlagerungswinkel her.
- Stabilisierungs-Funktionen (Eingriff nur im fahrdynamischen Grenzbereich):
 - Gierratenregelung:

Die Gierratenregelung führt zur Gierstabilisierung des Fahrzeugs bei Abweichung von einem berechneten Sollverhalten. Aktive Vorderachslenksysteme ermöglichen durch die aktive Beeinflussung der Spur- und damit Schräglaufwinkel an der Vorderachse einen stabilisierenden Regeleingriff bei unter- bzw. übersteuerndem Fahrverhalten. Als Regelgröße dient die Gierratendifferenz zwischen der Fahrzeugbewegung und dem Sollverhalten aus der Fahrereingabe (häufig berechnet aus dem Einspurmodell). Wird durch den Vergleich der Soll- mit der Istgierrate beispielsweise ein übersteuerndes Verhalten detektiert, wird ein Zusatzlenkwinkel gestellt, der dem Übersteuern entgegenwirkt.
 - Giermomentenkompensation (GMK):

Mit Hilfe der Überlagerungslenkung können durch äußere Störungen (z. B. μ -split-Bremmung) auftretende Giermomente abgeschwächt bzw. ausgeglichen werden. Bei Fahrzeugen ohne aktive Vorderachslenkung wird durch das Antiblockiersystem (ABS) eine Giermomentenabschwächung (GMA) umgesetzt, welche den Bremsdruck des Vorderrades auf der μ -high-Seite verzögert aufbaut, um dem Fahrer Zeit zu geben, auf das sich aufbauende Giermoment zu reagieren. Dies hat allerdings eine Verlängerung des Bremsweges zur Folge, welche durch die GMK vermieden werden kann. Dies stellt einen Sicherheitsgewinn dar.

¹Eine Performance auf dem Niveau eines SbW-Lenksystems ist mit dem Winkelüberlagerungsaktor dennoch nicht zu erreichen, da sich dynamische Regeleingriffe, bedingt durch die Massenträgheitsmomente des Lenkstranges und die abzustützensen Aktuatormomente, nicht ohne Rückwirkung auf das Fahrerhandmoment am Lenkrad darstellen lassen. Des Weiteren unterliegt die Übersetzungsbandbreite bei der Überlagerung zusätzlicher Spurbwinkel systembedingten und sicherheitsrelevanten Grenzen [18].