(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2021 132 711 A1** 2023.06.15

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2021 132 711.3**
(22) Anmeldetag: **10.12.2021**
(43) Offenlegungstag: **15.06.2023**

(51) Int Cl.: ***B60W 30/045*** (2012.01)

(71) Anmelder:
Valeo Schalter und Sensoren GmbH, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE

(72) Erfinder:
Nardelli, Graziano, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	**10 2020 216 470**	**A1**
DE	**11 2017 000 865**	**T5**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

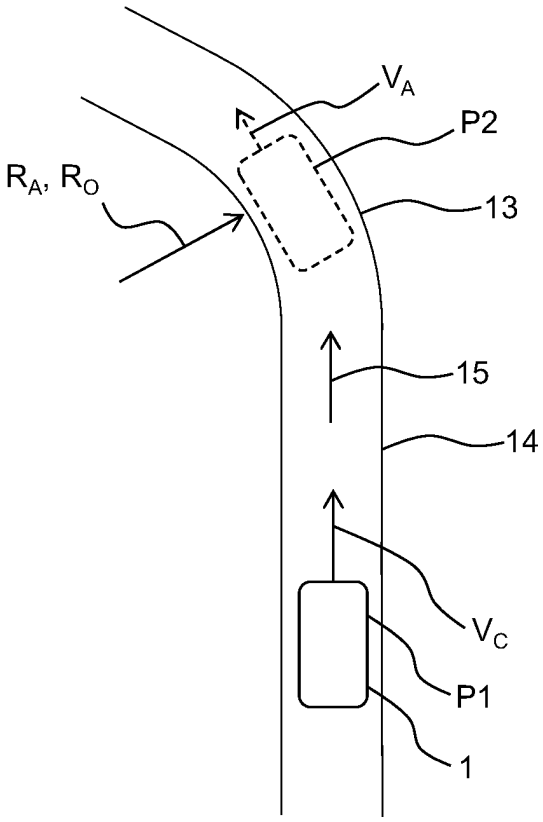
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES FAHRZEUGS, COMPUTERPROGRAMM, STEUERUNGSSYSTEM SOWIE FAHRZEUG**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs (1), umfassend:
Empfangen (S1) von Sensordaten (S) eines Sensorsystems (3) des Fahrzeugs (1), wobei die Sensordaten (S) einen aktuellen Lenkwinkel (δ) und eine aktuelle Lenkwinkelgeschwindigkeit (W) des auf einer Straße (14) mit einer Kurve (13) fahrenden Fahrzeugs (1) enthalten,
Bestimmen (S2) eines vorausliegenden Radius R_A der Kurve (13) an einer vorausliegenden Position (P2), die das Fahrzeug (1) in einer vorgegebenen Zeitspanne T erreichen wird, basierend auf einem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O durch die Gleichung:

$$R_O = RC - T\left[(L \cdot W)/\left(\sin^2(\delta)\right)\right],$$

wobei L ein Abstand zwischen Vorder- und Hinterrädern (17, 18) des Fahrzeugs (1) ist, und R_C ein Radius der Straße (14) an der aktuellen Position (P1) des Fahrzeugs (1) ist, und
Durchführen (S6) einer Krümmungssteuerungsfunktion basierend auf dem ermittelten vorausliegenden Radius R_A.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs, ein Computerprogramm, ein Steuerungssystem sowie ein Fahrzeug mit einem solchen Steuerungssystem.

[0002] Moderne Fahrzeuge, wie etwa Personenkraftwagen, sind heutzutage gewöhnlich mit mehreren Fahrerassistenzsystemen ausgestattet. Beispiele sind Systeme zur adaptiven Geschwindigkeitssteuerung (engl. „adapted cruise control“; ACC), der Spurhalteassistent (engl. „lane keeping assistance“, LKA), der Autobahnassistent (engl. „highway assistance“, HWA), der Stauassistent (engl. „traffic jam assistance“, TJA) und der Staupilot (engl. „traffic jam pilot“, TJP). Ein entscheidender Aspekt dieser Systeme ist eine Krümmungssteuerung. Diese beinhaltet eine Vorhersage einer Krümmung einer herannahenden Kurve und einer entsprechend angepassten Geschwindigkeit. Normalerweise wird die Krümmung einer Straße anhand von Fahrspurmarkierungen bestimmt, die von einer Kamera des Fahrzeugs erfasst werden. Sind keine Fahrspurmarkierungen auf der Straße vorhanden oder ist die Qualität der Bilddaten, die die Fahrspurmarkierungen darstellen, schlecht, wird stattdessen ein aus Odometriedaten ermittelter aktueller Weg verwendet. Die WO 2020 / 001346 A1 schlägt zum Beispiel vor, aktuelle Lenkradwinkelinformationen des Fahrzeugs zu erfassen, wenn keine Straßenoberflächenmarkierung aus einem Straßenoberflächenbild erkannt wird.

[0003] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs bereitzustellen.

[0004] Dementsprechend wird ein Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs bereitgestellt. Das Verfahren umfasst die Schritte:

Empfangen von Sensordaten eines Sensorsystems des Fahrzeugs, wobei die Sensordaten einen aktuellen Lenkwinkel δ und eine aktuelle Lenkwinkelgeschwindigkeit W des auf einer Straße mit einer Kurve fahrenden Fahrzeugs enthalten,

Bestimmen eines vorausliegenden Radius R_A der Kurve an einer vorausliegenden Position P2, die das Fahrzeug in einer vorgegebenen Zeitspanne T erreichen wird, basierend auf einem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O, der durch die Gleichung gegeben ist:

$$R_O = R_C - T\left[(L \cdot W)/\left(\sin^2(\delta)\right)\right],$$

wobei δ der Lenkwinkel ist, W die Lenkwinkelgeschwindigkeit ist, L ein Abstand zwischen den Vorder- und Hinterrädern des Fahrzeugs ist und R_C ein Radius der Straße an der aktuellen Position des Fahrzeugs ist, und
Durchführen einer Krümmungssteuerungsfunktion basierend auf dem ermittelten vorausliegenden Radius R_A.

[0005] Daher wird der Radius R_A einer Krümmung einer Kurve der Straße, auf der das Fahrzeug fährt, wobei der Radius R_A ein Radius an einer Position vor dem Fahrzeug ist, basierend auf Sensordaten eines Lenkwinkelsensors des Fahrzeugs bestimmt, insbesondere basierend auf dem gemessenen aktuellen Lenkwinkel und der aktuellen Lenkwinkelgeschwindigkeit des Fahrzeugs. Folglich wird die Krümmung der Straße, auf der das Fahrzeug fährt, basierend auf Odometriedaten bestimmt. Dies ermöglicht eine bessere Vorhersage der Krümmung. Darüber hinaus kann die Krümmung der Straße auch dann bestimmt werden, wenn keine Fahrspurmarkierungen auf der Straße vorhanden sind und/oder in Bilddaten einer Kamera des Fahrzeugs erfasst werden. Eine bessere Vorhersage der Krümmung der Straße ermöglicht eine bessere Krümmungssteuerung bzw. Kurvensteuerung des Fahrzeugs. Insbesondere kann eine Steuerung von vorausschauendem Bremsen vor und/oder während eines Einfahrens in eine Kurve verbessert sein, wodurch Sicherheit und Komfort für die Fahrzeuginsassen erhöht sind.

[0006] Durch Bestimmen des vorausliegenden Radius R_A der Krümmung der Kurve an der vorausliegenden Position P2, die das Fahrzeug in der vorgegebenen Zeitspanne T erreichen wird, können Fahrbedingungen, ein erwarteter Zustand und/oder ein Nennzustand des Fahrzeugs für einen Zeitpunkt vorhergesagt werden, wenn die vorgegebene Zeitspanne T verstrichen ist. Die vorgegebene Zeitspanne T kann zum Beispiel ein oder ein beliebiger Wert im Bereich von 0,5 bis 2,5 Sekunden sein. Insbesondere kann die vorgegebene Zeitspanne T zum Beispiel einen Wert von oder ungefähr von 0,5 Sekunden, 1 Sekunde, 1,5 Sekunden, 2 Sekunden oder 2,5 Sekunden haben.

[0007] Der Lenkwinkel ist zum Beispiel ein Drehwinkel einer Lenkwelle des Fahrzeugs. Der Lenkwinkel ist zum Beispiel ein Winkel eines oder mehrerer Antriebsräder des Fahrzeugs. Die Lenkwinkelgeschwindigkeit ist zum Beispiel eine erste Ableitung des Lenkwinkels nach der Zeit.

[0008] Der Odometrie-basierte Radius R_O wird zum Beispiel basierend auf dem Lenkwinkel δ und der Lenkwinkelgeschwindigkeit W = dδ/dt durch die folgenden Beziehungen berechnet:

$R_C = L/\tan(\delta)$ basierend auf einer trigonometrischen Beziehung in einem rechtwinkligen Dreieck,

$$dR_C/dt = L \cdot d/dt\left[1/\tan(\delta)\right],$$

$$dR_C/dt = -L \cdot d\delta/dt/\left(\sin^2(\delta)\right],$$

$$R_O = R_C + dR_C/dt,$$

und

$$R_O = R_C - T\left[(L \cdot W)/\left(\sin^2(\delta)\right)\right],$$

wobei W = dδ/dt.

[0009] Die Straße, auf der das Fahrzeug fährt, umfasst zum Beispiel aus eine oder mehrere Fahrspuren. Es kann Fahrspurmarkierungen geben, die die Fahrspur(en) begrenzen, also markierte Fahrspuren. In einem anderen Fall sind zum Beispiel keine Fahrspurmarkierungen für die eine oder mehreren Fahrspuren vorhanden, also unmarkierte Fahrspuren. Das Fahrzeug fährt zum Beispiel auf einer der (z. B. markierten oder unmarkierten) Fahrspuren der Straße. Die Kurve der Straße ist zum Beispiel eine Kurve einer (z. B. markierten oder unmarkierten) Fahrspur, auf der das Fahrzeug fährt. Der Radius einer Krümmung der Straße ist zum Beispiel ein Radius einer Krümmung der (z. B. markierten oder unmarkierten) Fahrspur, auf der das Fahrzeug fährt.

[0010] Das Sensorsystem umfasst insbesondere eine Lenkwinkelsensoreinheit. Die Lenkwinkelsensoreinheit basiert zum Beispiel auf einer Magnetowiderstand-Technologie, wie etwa einer Riesenmagnetowiderstand-Technologie (mit einem GMR-Element; Riesenmagnetowiderstand = engl. Giant Magnetoresistance bzw. GMR). Der Lenkwinkelsensor ist zum Beispiel an einer Lenkwelle des Fahrzeugs befestigt. Ein Nabenzahnrad des Sensors überträgt zum Beispiel die Drehbewegung der Welle an zwei Messzahnräder. In jedem Messzahnrad ist zum Beispiel ein Magnet montiert, dessen Feld entsprechend der Drehbewegung seine Richtung ändert. Unterhalb jedes Magneten kann ein GMR-Sensorelement angeordnet sein, um die Winkelstellung des darüber liegenden Magneten zu erfassen. Die analogen Werte der GMR-Elemente werden zum Beispiel in digitale Informationen umgewandelt. Der Lenkwinkelsensor liefert zum Beispiel einen absoluten Lenkwinkelwert über den gesamten Lenkwinkelbereich.

[0011] Das Sensorsystem des Fahrzeugs umfasst zum Beispiel weitere Sensoreinheiten, wie etwa eine oder mehrere Umfeldsensoreinheiten. Die Umfeldsensoreinheiten sind dazu ausgebildet, einen Fahrzustand des Fahrzeugs und/oder ein Umfeld des Fahrzeugs zu erfassen. Beispiele für solche Sensoreinheiten sind eine Kameraeinrichtung zur Erfassung von Bildern der Umgebung, eine Radareinrichtung („Radar“ = Abkürzung für engl. „radio detection and ranging“ = funkgestützte Richtungs- und Abstandsmessung) zur Gewinnung von Radardaten und eine Lidareinrichtung („Lidar“ = Abkürzung für „light detection and ranging“ = Lichterkennung und Abstandsmessung) zur Gewinnung von Lidardaten. Das Sensorsystem kann darüber hinaus Ultraschallsensoren, Ortungssensoren, Regensensoren, Temperatursensoren und/oder Lichtsensoren umfassen.

[0012] Die Sensoreinheiten des Fahrzeugs sind jeweils dazu ausgebildet, ein Sensorsignal auszugeben, zum Beispiel an ein Fahrassistenzsystem oder ein Einparkassistenzsystem, das in Abhängigkeit von den erfassten Sensorsignalen zum Beispiel ein assistiertes oder (teil-)autonomes Fahren durchführt. Insbesondere können die Sensoreinheiten dazu ausgebildet sein, jeweils ein Sensorsignal an das Steuerungssystem und/oder ein/e Krümmungssteuerungssystem/-einheit auszugeben, die in Abhängigkeit von den erfassten Sensorsignalen eine Krümmungssteuerung durchführt.

[0013] Die Verfahrensschritte werden insbesondere durch ein Steuerungssystem des Fahrzeugs durchgeführt.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform wird eine Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position basierend auf dem ermittelten Radius R_A und einer vorgegebenen maximalen Querbeschleunigung A_{MAX} durch die folgende Gleichung bestimmt:

$$V_A = (A_{MAX} \cdot R_A)^{1/2}.$$

[0015] Außerdem wird die Krümmungssteuerung basierend auf der ermittelten Nenngeschwindigkeit V_A durchgeführt.

[0016] Durch Berechnen der Nenngeschwindigkeit V_A an der vorausliegenden Position basierend auf dem ermittelten vorausliegenden Radius R_A und einer vorgegebenen maximalen Querbeschleunigung A_{MAX} kann die Krümmungssteuerung des Fahrzeugs so durchgeführt werden, dass die Geschwindigkeit des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position gleich (oder niedriger) als die berechnete Nenngeschwindigkeit ist. Dadurch kann vermieden werden, dass das Fahrzeug aus der Kurve herausgezogen und/oder gebremst wird.

[0017] Die maximale Querbeschleunigung A_{MAX} hat zum Beispiel einen oder einen beliebigen Wert zwischen 2,5 m/s² und 3,5 m/s². Die maximale Querbeschleunigung A_{MAX} kann zum Beispiel einen Wert von oder ungefähr von 2,5 m/s², 3 m/s² oder 3,5 m/s², 2 m/s² oder kleiner, 2,5 m/s² oder kleiner oder 3 m/s² oder kleiner aufweisen. Der Wert der maximalen Querbeschleunigung A_{MAX} hängt von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs ab.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine erwartete Beschleunigung des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position basierend auf einer aktuellen Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs und einer Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position bestimmt. Weiterhin wird ein Vorhandensein von Fahrspurmarkierungen auf der Straße erkannt und eine Spurqualität der erkannten Fahrspurmarkierungen basierend auf den Sensordaten bestimmt, wobei ein Fahrspur-basierter Radius R_L der Kurve an der vorausliegenden Position auf Basis der erkannten Fahrspurmarkierungen bestimmt wird. Darüber hinaus wird die Krümmungssteuerungsfunktion basierend auf dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O und dem Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L so gebildet, dass:

der vorausliegende Radius R_A gleich dem Minimum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt wird, wenn die ermittelte Spurqualität über einem vorgegebenen Spurqualitätsschwellenwert liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einem Bremsen des Fahrzeugs entspricht,

der vorausliegende Radius R_A gleich dem Maximum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt wird, wenn die ermittelte Spurqualität über dem vorgegebenen Spurqualitätsschwellenwert liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einer positiven Beschleunigung des Fahrzeugs entspricht, und

der vorausliegende Radius R_A gleich dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt wird, wenn die ermittelte Spurqualität bei oder unter dem vorgegebenen Spurqualitätsschwellenwert liegt.

[0019] Wenn also die Spurqualität der erfassten Fahrspurmarkierungen zu schlecht ist (d. h. gleich oder kleiner als der vorgegebene Spurqualität-Schwellenwert), kann der vorausliegende Radius R_A der Kurve der Straße, auf der das Fahrzeug fährt, vorteilhafterweise basierend auf dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O allein bestimmt werden.

[0020] Wenn weiterhin die Spurqualität der detektierten Fahrspurmarkierungen innerhalb eines gewünschten Bereichs liegt (d. h. über dem vorgegebenen Spurqualität-Schwellenwert), kann der vorausliegende Radius R_A der Kurve der Straße, auf der das Fahrzeug fährt, vorteilhafterweise entweder gleich dem Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L oder gleich dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O in Abhängigkeit vom Beschleunigungszustand (Bremsen oder positive Beschleunigung) des Fahrzeugs eingestellt werden.

[0021] Die aktuelle Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs ist die Geschwindigkeit des Fahrzeugs an der aktuellen Position.

[0022] Das Sensorsystem des Fahrzeugs enthält insbesondere eine oder mehrere Kameraeinrichtungen zum Erfassen von Bildern der Umgebung des Fahrzeugs. Weiterhin wird das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein von Fahrspurmarkierungen der Straße basierend auf Bilddaten (als ein Beispiel für Sensordaten) der einen oder mehreren Kameraeinrichtungen des Fahrzeugs detektiert. Die Kameraeinrichtung(en) enthält/enthalten zum Beispiel eine Frontkamera, die an der Frontscheibe des Fahrzeugs angeordnet und ausgebildet ist, um einen Bereich vor dem Fahrzeug zu überwachen. Die eine oder mehreren Kameraeinrichtungen können jedoch auch an einem anderen Fenster des Fahrzeugs angeordnet sein, z. B. an den Seiten, und/oder einen anderen Bereich überwachen, z. B. hinter dem Fahrzeug.

[0023] Ein Bestimmen der Spurqualität der erfassten Fahrspurmarkierungen umfasst zum Beispiel ein Bestimmen eines Niveaus der aktuellen Spurqualität der erfassten Fahrspurmarkierungen. Die Spurqualität (Niveau) der erfassten Fahrspurmarkierungen entspricht zum Beispiel einer Bildqualität der Bilddaten, die von der einen oder den mehreren Kameraeinrichtungen bereitgestellt werden. Ein Niveau der Spurqualität der detektierten Fahrspurmarkierungen und/oder ein Niveau der Bildqualität der von der einen oder den mehreren Kameraeinrichtungen bereitgestellten Bilddaten wird zum Beispiel von der einen oder den mehreren Kameraeinrichtungen bestimmt und bereitgestellt. Der vorgegebene Spurqualitätsschwellenwert ist zum Beispiel ein vorgegebener Schwellenwert des Spurqualitätsniveaus.

[0024] In Ausführungsformen umfasst das Verfahren den Schritt des Bestimmens eines Fehlers ΔR_L des ermittelten Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L. Der Fehler ΔR_L ist zum Beispiel ein Maß für die Spurqualität der detektierten Fahrspurmarkierungen. Weiterhin kann in diesem Fall die Krümmungssteuerungsfunktion basierend auf dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O und dem Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L so durchgeführt werden, dass:

der vorausliegende Radius R_A gleich dem Minimum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt wird, wenn der ermittelte Fehler ΔR_L unter einem vorgegebenen Schwellenwert liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einem Bremsen des Fahrzeugs entspricht,

der vorausliegende Radius R_A gleich dem Maximum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt wird, wenn der ermittelte Fehler ΔR_L unter dem vorgegebenen Schwellenwert liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einer positiven Beschleunigung entspricht, und

der vorausliegende Radius R_A gleich dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt wird, wenn der ermittelte Fehler ΔR_L gleich oder größer als der vorgegebene Schwellenwert ist.

[0025] Wenn also der Fehler ΔR_L des ermittelten Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L zu groß ist (d. h. gleich oder über dem vorgegebenen Schwellenwert), kann der vorausliegende Radius R_A der Kurve der Straße, auf der das Fahrzeug fährt, vorteilhaft basierend auf dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O allein bestimmt werden.

[0026] Wenn der Fehler ΔR_L des ermittelten Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L innerhalb eines gewünschten Bereichs liegt (d. h. unter dem vorgegebenen Schwellenwert), kann der vorausliegende Radius R_A der Kurve der Straße, auf der das Fahrzeug fährt, vorteilhafterweise entweder gleich dem Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L oder gleich dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O in Abhängigkeit vom Beschleunigungszustand (Bremsen oder positive Beschleunigung) des Fahrzeugs eingestellt werden.

[0027] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Fahrspur-basierte vorausliegende Radius R_L durch die folgende Gleichung bestimmt:

$$R_L = 1/\left[\left(6 \cdot a \cdot T\right) + \left(2 \cdot b\right)\right],$$

wobei a und b die ersten beiden Koeffizienten eines Polynoms sind, und T die vorgegebene Zeitspanne ist.

[0028] Bei dem Polynom handelt es sich insbesondere um eine Polynomfunktion. Das Polynom repräsentiert insbesondere mathematisch eine gedachte Fahrspur. Das Polynom ist zum Beispiel eine Polynomfunktion dritten Grades oder höherer Ordnung. Beispielsweise ist der Fahrspur-basierte vorausliegende Radius R_L basierend auf den ersten zwei Koeffizienten a und b des Polynoms dritten Grades bestimmt:

$$P(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d.$$

Weiterhin kann der vorausliegende Krümmung ausgedrückt werden als:

$$C_A = (6 \cdot a \cdot T) + (2 \cdot b).$$

[0029] Darüber hinaus ist der vorausliegende Radius R_L gegeben durch:

$$R_L = 1/C_A.$$

[0030] Gemäß einer weiteren Ausführungsform enthält ein Durchführen der Krümmungssteuerungsfunktion ein Steuern einer Beschleunigung und/oder eines Rucks des Fahrzeugs basierend auf einer aktuellen Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs an einer aktuellen Position und einer Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position.

[0031] Durch Steuern der Beschleunigung und/oder des Rucks des Fahrzeugs kann insbesondere ein Bremsvorgang (negative Beschleunigung) des Fahrzeugs nach der Zeit (zeitliche Entwicklung des Bremsvorgangs) von der aktuellen Geschwindigkeit V_C auf die Nenngeschwindigkeit V_A gesteuert werden. Dadurch können die Sicherheit und der Komfort für die Fahrgäste erhöht sein.

[0032] Der Ruck des Fahrzeugs beschreibt insbesondere die Veränderung der Beschleunigung des Fahrzeugs über der Zeit. Der Ruck des Fahrzeugs ist insbesondere die erste Ableitung nach der Zeit der Beschleunigung des Fahrzeugs und die zweite Ableitung nach der Zeit der Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

[0033] Der Ruck des Fahrzeugs enthält zum Beispiel einen Längsruck. In anderen Beispielen kann der Ruck des Fahrzeugs zum Beispiel auch einen Querruck enthalten.

[0034] Der Ruck des Fahrzeugs wird zum Beispiel basierend auf einer Differenz der aktuellen Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs und der Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position gesteuert.

[0035] Gemäß einer weiteren Ausführungsform enthält ein Steuern der Beschleunigung und/oder des Rucks des Fahrzeugs ein proportionales und/oder derivatives Steuern der Beschleunigung und/oder des Rucks, wobei die Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position ein Sollwert bei dem proportionalen und/oder derivativen Steuern ist und die aktuelle Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs eine Prozessvariable des proportionalen und/oder derivativen Steuerns ist.

[0036] Insbesondere wird der Ruck so gesteuert, dass die aktuelle Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs in Richtung der Nenngeschwindigkeit V_A gesteuert wird, wobei die Nenngeschwindigkeit V_A der Sollwert der Steuerung, d. h. der gewünschte Wert für die Geschwindigkeit des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position ist.

[0037] Das Steuerungssystem umfasst insbesondere eine Proportional-Steuerung, eine Derivativ-Steuerung und/oder einen Proportional-Derivativ-Steuerung. Eine Proportional-Derivativ-Steuerung (PD-Steuerung) ist eine kombinierte Proportional- und Derivativ-Steuerung, d. h. eine Proportional- plus eine Derivativ-Steuerung.

[0038] Eine Proportional-Steuerung ist eine Art von Steuerung, bei der ein Ausgang der Steuerung proportional zu einem Eingang (z. B. einem Fehlersignal) der Steuerung variiert. Eine Derivativ-Steuerung ist eine Art von Steuerung, bei der ein Ausgang der Steuerung proportional zu einer Rate ist, mit der sich ein Fehlersignal mit der Zeit ändert. Das Fehlersignal ist zum Beispiel der Fehler zwischen einem Sollwert (hier: die Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position) und einer Messung der Prozessvariablen (hier: die aktuelle Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs).

[0039] Gemäß einer weiteren Ausführungsform enthält ein Durchführen der Krümmungssteuerungsfunktion ein Bestimmen einer ersten Zeitphase mit negativem Ruck, einer zweiten Zeitphase mit Null-Ruck und einer dritten Zeitphase mit positivem Ruck basierend auf einer aktuellen Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs an einer aktuellen Position und einer Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs an der vorausliegenden Position, wobei die ersten, zweiten und dritten Zeitphasen kontinuierlich aneinander anschließen.

[0040] Durch Bestimmen der Zeitphasen von Beschleunigung und Ruck kann die Krümmungssteuerungsfunktion besser durchgeführt werden.

[0041] Die erste Zeitphase ist zum Beispiel eine Zeitphase vor und/oder während des Einfahrens des Fahrzeugs in die Kurve mit negativer Beschleunigung (Bremsen). Die zweite Zeitphase ist zum Beispiel eine Zeitphase des Fahrens innerhalb der Kurve mit konstanter Beschleunigung. Die dritte Zeitphase ist zum Beispiel eine Zeitphase mit immer noch negativer Beschleunigung, aber mit positivem Ruck (d. h. immer noch Bremsen, aber abnehmendem Bremsen).

[0042] Die erste, die zweite und die dritte Zeitphase (z. B. die Anfangs- und Endzeitpunkte jeder der ersten, der zweiten und der dritten Zeitphase) werden zum Beispiel mit Hilfe einer Zustandsmaschine des Steuerungssystems bestimmt.

[0043] In Ausführungsformen umfasst ein Durchführen der Krümmungssteuerungsfunktion das Bestimmen einer vierten Zeitphase mit Null-Ruck und Null-Beschleunigung (d. h. konstanter Geschwindigkeit) und/oder einer fünften Zeitphase mit positivem Ruck und positiver Beschleunigung. Die vierte und die fünfte Zeitphase schließen insbesondere kontinuierlich an die erste bis dritte Zeitphase an, so dass die vierte Zeitphase kontinuierlich an die dritte Zeitphase anschließt und die fünfte Zeitphase kontinuierlich an die vierte Zeitphase anschließt (oder, wenn keine vierte Zeitphase vorhanden ist, an die dritte Zeitphase).

[0044] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst ein Durchführen der Krümmungssteuerungsfunktion ein Steuern einer Beschleunigung des Fahrzeugs, um unter einem vorgegebenen Beschleunigungsschwellenwert zu liegen, und/oder ein Steuern eines Rucks des Fahrzeugs, um unter einem vorgegebenen Ruckschwellenwert zu liegen.

[0045] Dadurch wird das Fahrzeug so gesteuert, dass ein maximaler Ruck (z. B. ein maximaler Längsruck) des Fahrzeugs begrenzt ist. Dadurch können die Sicherheit und der Komfort für den Fahrer (und weitere Fahrgäste) erhöht sein.

[0046] Beispielsweise wird ein Längsruck des Fahrzeugs gesteuert, um unter einem vorgegebenen Längsruck-Schwellenwert zu liegen.

[0047] Gemäß einem zweiten Aspekt ist ein Computerprogramm bereitgestellt. Das Computerprogramm umfasst Anweisungen, die, wenn das Programm von einem Computer durchgeführt wird, den Computer veranlassen, das oben beschriebene Verfahren auszuführen.

[0048] Ein Computerprogramm (Computerprogrammprodukt), wie etwa ein Computerprogrammmittel, kann als Speicherkarte, USB-Stick, CD-ROM, DVD oder als Datei, die von einem Server in einem Netzwerk heruntergeladen werden kann, verkörpert sein. Eine solche Datei kann zum Beispiel durch Übertragen der Datei, die das Computerprogrammprodukt umfasst, von einem drahtlosen Kommunikationsnetz bereitgestellt werden.

[0049] Gemäß einem dritten Aspekt ist ein Steuerungssystem für ein Fahrzeug bereitgestellt. Das Steuerungssystem ist ausgebildet, um das oben beschriebene Verfahren durchzuführen.

[0050] Gemäß einem vierten Aspekt ist ein Fahrzeug mit einem oben beschriebenen Steuerungssystem bereitgestellt.

[0051] Die jeweils oben oder unten beschriebenen Entitäten, z. B. das Steuerungssystem, eine Empfangseinheit, eine erste, zweite, dritte und vierte Bestimmungseinheit, eine Entscheidungseinheit, eine Krümmungssteuerungseinheit, eine PD-Steuerungseinheit, können als Hardware und/oder als Software umgesetzt sein. Wenn die Entität als Hardware umgesetzt ist, kann sie als eine Einrichtung, z. B. als Computer oder als Prozessor oder als Teil eines Systems, z. B. eines Computersystems, verkörpert sein. Wenn die Entität als Software umgesetzt ist, kann sie als Computerprogrammprodukt, als Funktion, als Routine, als Algorithmus, als Programmcode, als Teil eines Programmcodes oder als ausführbares Objekt verkörpert sein. Darüber hinaus kann jede der oben genannten Entitäten auch als Teil eines übergeordneten Steuerungssystems des Fahrzeugs, wie z. B. einer zentralen elektronischen Steuerungseinheit (engl. electronic control unit; ECU), gestaltet sein.

[0052] Die unter Bezugnahme auf das Verfahren der vorliegenden Erfindung beschriebenen Ausführungsformen und Merkmale gelten sinngemäß auch für das Computerprogramm, das Steuerungssystem und das Fahrzeug der vorliegenden Erfindung.

[0053] Weitere mögliche Ausführungsformen oder alternative Lösungen der Erfindung umfassen auch Kombinationen - die hier nicht explizit genannt sind - von Merkmalen, die oben oder unten in Bezug auf die Ausführungsformen beschrieben sind. Der Fachmann kann auch einzelne oder isolierte Aspekte und Merkmale zu der einfachsten Grundform der Erfindung hinzufügen.

[0054] Weitere Ausführungsformen, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung und den abhängigen Ansprüchen.

[0055] Im Folgenden ist die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die folgenden Figuren näher beschrieben:

Fig. 1 zeigt eine Draufsicht auf ein Fahrzeug gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 2 zeigt das Fahrzeug von **Fig. 1** auf einer Straße;

Fig. 3 veranschaulicht einen Lenkwinkel des Fahrzeugs von **Fig. 1**;

Fig. 4 zeigt eine ähnliche Ansicht wie **Fig. 2**, wobei die Straße Fahrspurmarkierungen umfasst;

Fig. 5 zeigt einen Datenpunkt eines ermittelten Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius einer Kurve der Straße von **Fig. 4**;

Fig. 6 zeigt eine zeitliche Entwicklung einer Beschleunigung und eines Rucks des Fahrzeugs von **Fig. 1** beim Durchfahren einer Kurve der in **Fig. 2** oder **Fig. 4** gezeigten Straße;

Fig. 7 zeigt ein Steuerungssystem des Fahrzeugs von **Fig. 1**; und

Fig. 8 zeigt ein Flussdiagramm, das ein Verfahren zum Betreiben des Fahrzeugs von **Fig. 1** veranschaulicht.

[0056] In den Figuren kennzeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionell gleichwertige Elemente, sofern nichts anderes angegeben ist.

[0057] **Fig. 1** zeigt eine schematische Draufsicht auf ein Fahrzeug 1. Bei dem Fahrzeug 1 handelt es sich zum Beispiel um einen Personenkraftwagen. Das Fahrzeug 1 kann auch eine andere Art von Fahrzeug sein, z. B. ein Lieferwagen oder ein Lastwagen. Das Fahrzeug 1 umfasst ein Steuerungssystem 2 zur Steuerung des Fahrzeugs 1.

[0058] Wie in **Fig. 1** dargestellt, umfasst das Fahrzeug 1 ein Sensorsystem 3 mit mehreren am Fahrzeug 1 angeordneten Umfeldsensoreinheiten 4, 5, 6, 7. Das Sensorsystem 3 umfasst insbesondere eine oder mehrere Kameraeinrichtungen 4, wie etwa eine oder mehrere Frontkameraeinrichtungen. Die Kameraeinrichtungen 4 sind ausgebildet, Bilddaten I einer Umgebung 8 des Fahrzeugs 1 zu erhalten, und die Bilddaten oder Ergebnisse einer Bildanalyse der Bilddaten an das Steuerungssystem 2 zu senden. Die Frontkameraeinrichtung 4 ist an einer Frontscheibe 9 des Fahrzeugs 1 angebracht.

[0059] Das Sensorsystem 3 umfasst weiterhin zum Beispiel ein oder mehrere Radareinrichtungen 5 zum Erhalten von Radardaten der Umgebung 8 des Fahrzeugs 1. Das Sensorsystem 3 kann weiterhin zum Beispiel eine oder mehrere Lidareinrichtungen 6 zum Erhalten von Lidardaten der Umgebung 8 des Fahrzeugs 1 umfassen.

[0060] Das Sensorsystem 3 umfasst weiterhin einen Lenkwinkelsensor 10, der an einer Lenkwelle 11 des Fahrzeugs 1 angeordnet ist. Die Lenkwelle 11 ist mit einem Lenkrad 12 des Fahrzeugs 1 verbunden. Der Lenkwinkelsensor 10 ist ausgebildet, um einen Lenkwinkel δ (**Fig. 3**) und eine Lenkwinkelgeschwindigkeit W des Fahrzeugs 1 zu messen.

[0061] Das Sensorsystem 3 kann weitere Sensoren, wie etwa Ultraschallsensoren 7, einen oder mehrere Regensensoren und/oder einen oder mehrere Lichtsensoren (nicht dargestellt) umfassen.

[0062] Im Folgenden ist unter Bezugnahme auf die **Fig. 2** bis **Fig. 8** ein Verfahren zum Betreiben des Fahrzeugs 1 beschrieben. Bei dem Verfahren handelt es sich insbesondere um ein Verfahren zum Durchführen

einer Krümmungssteuerung des Fahrzeugs 1, um das Fahrzeug 1 sanft in eine Kurve 13 einer Straße 14 hinein- und herauszufahren (**Fig. 2**).

[0063] **Fig. 2** zeigt das Fahrzeug 1 aus **Fig. 1** auf der Straße 14, welche die Kurve 13 umfasst. Das Fahrzeug 1 ist in **Fig. 2** an einer ersten Position P1 (aktuelle Position) vor dem Einfahren in die Kurve 13 dargestellt. Das Fahrzeug 1 fährt an der aktuellen Position P1 mit einer aktuellen Geschwindigkeit V_C. Darüber hinaus ist das Fahrzeug 1 in **Fig. 2** gestrichelt an einer zweiten Position P2 dargestellt, an der das Fahrzeug 1 in die Kurve 13 eingefahren ist. Die zweite Position P2 liegt in Bezug auf eine Fahrtrichtung 15 des Fahrzeugs 1 vor der ersten Position P1.

[0064] In einem ersten Schritt S1 des Verfahrens empfängt das Steuerungssystem 2 des Fahrzeugs 1 Sensordaten S (**Fig. 7**) des Sensorsystems 3 (**Fig. 1**) des Fahrzeugs 1. Die Sensordaten S enthalten Odometriedaten des Lenkwinkelsensors 10 (**Fig. 1**), insbesondere einen aktuellen Lenkwinkel δ und eine aktuelle Lenkwinkelgeschwindigkeit W des Fahrzeugs 1. Weiterhin enthalten die Sensordaten S Bilddaten I der Kameraeinrichtung(en) 4 (**Fig. 1**) des Fahrzeugs 1. Das Steuerungssystem 2 umfasst zum Beispiel eine Empfangseinheit 16 (**Fig. 7**) zum Empfangen der Sensordaten S von dem Sensorsystem 3.

[0065] In einem zweiten Schritt S2 des Verfahrens ermittelt das Steuerungssystem 2 basierend auf den Odometriedaten (δ, w) einen vorausliegenden Radius R_O der Kurve 13 an der vorausliegenden Position P2. Die vorausliegende Position P2 ist insbesondere eine Position, die das Fahrzeug 1 in einer vorgegebenen Zeitspanne T (z. B. 1 Sekunde oder 2 Sekunden) erreichen wird. Das Steuerungssystem 2 umfasst zum Beispiel eine erste Bestimmungseinheit 20 (**Fig. 7**) zum Bestimmen des Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O. Der Odometrie-basierte vorausliegende Radius R_O wird basierend auf den folgenden Beziehungen bestimmt.

[0066] Ein aktueller Radius R_C (**Fig. 3**) des Fahrzeugs 1 an der Position P1 kann unter Verwendung der trigonometrischen Funktion für ein rechtwinkliges Dreieck ausgedrückt werden als:

$$R_C = L/\tan(\delta).$$

[0067] Dabei ist L ein Abstand zwischen den Vorderrädern 17 und den Hinterrädern 18 (**Fig. 3**) des Fahrzeugs 1.

[0068] Weiterhin ist dann die erste Ableitung des aktuellen Radius R_C nach der Zeit gegeben durch:

$$dR_C/dt = L \cdot d/dt\left[1/\tan(\delta)\right]$$

$$dR_C/dt = -L \cdot d\delta/dt/\left(\sin^2(\delta)\right].$$

[0069] Der Odometrie-basierte vorausliegende Radius R_O (**Fig. 2**) der Kurve 13 an der Position P2 kann daher geschrieben werden als:

$$R_O = R_C + dR_C/dt$$

$$R_O = R_C - T\left[(L \cdot w)/\left(\sin^2(\delta)\right)\right],$$

wobei W = dδ/dt.

[0070] In einem dritten Schritt S3 des Verfahrens ermittelt das Steuerungssystem 2 - für den Fall, dass in den Bilddaten I Fahrspurmarkierungen 19 (**Fig. 4**) der Straße 14', auf der das Fahrzeug 1 fährt, detektiert werden - einen Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L der Kurve 13' an der vorausliegenden Position P2. Das Steuerungssystem 2 umfasst zum Beispiel eine zweite Bestimmungseinheit 21 (**Fig. 7**) zum Bestimmen des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L.

[0071] Weiterhin wird eine Spurqualität (z. B. ein Niveau einer Spurqualität) der detektierten Fahrspurmarkierungen 19 ermittelt. Die Spurqualität (z. B. das Spurqualitätsniveau) entspricht insbesondere einer Bildqualität der Bilddaten I, die von der/den Kameraeinrichtung(en) 4 empfangen worden sind, und/oder einer Detektionsqualität der Fahrspurmarkierungen 19 in den Bilddaten I. Die Spurqualität (z. B. das

Spurqualitätsniveau) wird zum Beispiel von der/den Kameraeinrichtung(en) 4 ermittelt und/oder bereitgestellt. Alternativ oder zusätzlich kann die Spurqualität (z. B. das Spurqualitätsniveau) auch von der zweiten Bestimmungseinheit 21 (**Fig. 7**) des Steuerungssystems 2 ermittelt werden.

[0072] In einer Variante kann auch ein Fehler ΔR_L (**Fig. 5**) des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L basierend auf den detektierten Fahrspurmarkierungen 19 ermittelt werden. Der Fehler ΔR_L kann insbesondere als ein Maß für die Spurqualität (z. B. ein Maß für das Spurqualitätsniveau) der detektierten Fahrspurmarkierungen 19 verwendet werden.

[0073] Der Fahrspur-basierte vorausliegende Radius R_L wird durch die folgende Gleichung bestimmt:

$$R_L = 1/\left[\left(6 \cdot a \cdot T\right) + \left(2 \cdot b\right)\right].$$

[0074] Darin sind a und b die ersten zwei Koeffizienten eines Polynoms dritten Grades ($P(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$), das als Anpassung bzw. Fit (z. B. Best-Fit) an die Kurve 13' angenähert wird. Weiterhin ist T die vorgegebene Zeitspanne von Schritt S2.

[0075] In einem vierten Schritt S4 des Verfahrens bestimmt das Steuerungssystem 2 einen vorausliegenden Radius R_A, der in einer Krümmungssteuerungsfunktion zu verwenden ist. Der vorausliegende Radius R_A wird basierend auf dem in Schritt S2 ermittelten Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O und dem in Schritt S3 ermittelten Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L bestimmt.

[0076] Insbesondere wird eine Entscheidung zwischen dem ermittelten Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O und dem ermittelten Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L basierend auf der ermittelten Spurqualität der detektierten Fahrspurmarkierungen 19 (z. B. basierend auf dem ermittelten Spurqualität-Niveau des Detektierens der Fahrspurmarkierungen 19 und/oder basierend auf dem ermittelten Fehler ΔR_L des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L) und basierend auf einer erwarteten Beschleunigung A_A (**Fig. 4**) des Fahrzeugs 1 an der vorausliegenden Position P2 durchgeführt. Das Steuerungssystem 2 umfasst zum Beispiel eine Entscheidungseinheit 22 (**Fig. 7**) zum Bestimmen des vorausliegenden Radius R_A basierend auf dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O und auf dem Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L.

[0077] Wenn das ermittelte Niveau der Spurqualität gleich oder unter einem vorgegebenen Spurqualität-Schwellenwert liegt, wird der vorausliegende Radius R_A gleich dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt.

[0078] Wenn das ermittelte Niveau der Spurqualität über dem vorgegebenen Spurqualität-Schwellenwert liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einem Bremsen des Fahrzeugs 1 entspricht, wird der vorausliegende Radius R_A gleich dem Minimum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt.

[0079] Wenn das ermittelte Niveau der Spurqualität über dem vorgegebenen Spurqualität-Schwellenwert liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einer positiven Beschleunigung entspricht, wird der vorausliegende Radius R_A gleich dem Maximum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt.

[0080] In der Variante kann die Spurqualität auch basierend auf einem Bestimmen eines Fehlers ΔR_L des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L geschätzt werden, wie in **Fig. 5** dargestellt. **Fig. 5** zeigt einen Datenpunkt 23 des ermittelten Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L in einem Radius-Positions-Diagramm zusammen mit einem Fehlerbalken 24, der dem ermittelten Fehler ΔR_L entspricht. Ebenfalls in **Fig. 5** dargestellt ist ein vorgegebener Schwellenwert R_{th} für den Fehler ΔR_L des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L. In dem in **Fig. 5** gezeigten Beispiel ist der ermittelte Fehler ΔR_L kleiner als der vorgegebene Schwellenwert R_{th}. Wenn jedoch die Fahrspurmarkierungen 19 (**Fig. 4**) schlecht sichtbar sind und/oder die Bildqualität der Bilddaten I gering ist, kann der Fehler ΔR_L auch größer als der vorgegebene Schwellenwert R_{th} sein.

[0081] In dem Beispiel von **Fig. 5** wird, wenn der ermittelte Fehler ΔR_L gleich oder größer als der vorgegebene Schwellenwert R_{th} ist, der vorausliegende Radius R_A gleich dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt.

[0082] Wenn weiterhin, in dem Beispiel von **Fig. 5**, der ermittelte Fehler ΔR_L unter dem vorgegebenen Schwellenwert R_{th} liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einem Bremsen des Fahrzeugs 1 entspricht, wird der vorausliegende Radius R_A gleich dem Minimum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt.

[0083] Wenn darüber hinaus der ermittelte Fehler ΔR_L unter dem vorgegebenen Schwellenwert R_{th} liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einer positiven Beschleunigung entspricht, wird der vorausliegende Radius R_A gleich dem Maximum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt.

[0084] In einem fünften Schritt S5 des Verfahrens bestimmt das Steuerungssystem 2 eine Nenngeschwindigkeit V_A (**Fig. 2**) an der vorausliegenden Position P2 basierend auf dem ermittelten vorausliegenden Radius R_A und einer vorausberechneten maximalen Querbeschleunigung A_{MAX} nach der Gleichung:

$$V_A = \left(A_{MAX} \cdot R_A\right)^{1/2}.$$

[0085] Das Steuerungssystem 2 umfasst zum Beispiel eine dritte Bestimmungseinheit 25 (**Fig. 7**) zum Bestimmen der Nenngeschwindigkeit V_A.

[0086] In einem sechsten Schritt S6 des Verfahrens führt das Steuerungssystem 2 basierend auf der ermittelten Nenngeschwindigkeit V_A, die dem ermittelten vorausliegenden Radius R_A der Kurve 13, 13' an der vorausliegenden Position P2 entspricht, eine Krümmungssteuerungsfunktion durch.

[0087] Das Steuerungssystem 2 umfasst zum Beispiel eine Krümmungssteuerungseinheit 26 (**Fig. 7**) zum Durchführen der Krümmungssteuerungsfunktion. Insbesondere werden eine Beschleunigung A(t) und ein Ruck J(t) (**Fig. 6**) des Fahrzeugs 1 derart gesteuert, dass die aktuelle Geschwindigkeit V_C (**Fig. 2**) des Fahrzeugs 1 in geeigneter Weise in Richtung der Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs 1 verändert wird.

[0088] Die Krümmungssteuerungseinheit 26 umfasst eine Proportional-Differenzial-Steuerungseinheit 27 (PD-Steuerungseinheit 27). Die Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs 1 an der vorausliegenden Position P2 ist ein Sollwert 28 der PD-Steuerungseinheit 27. Weiterhin ist die aktuelle Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs 1 eine Prozessvariable 29 der PD-Steuerungseinheit 27. Die PD-Steuerungseinheit 27 führt insbesondere eine Steuerung basierend auf einer Differenz zwischen der aktuellen Geschwindigkeit V_C und der Nenngeschwindigkeit V_A durch.

[0089] Die Krümmungssteuerungseinheit 26 umfasst weiterhin eine vierte Bestimmungseinheit 28 zum Bestimmen von Zeitphasen T1 T2, T3, T4, T5 von Beschleunigung A(t) und Ruck J(t) (**Fig. 6**). Die vierte Bestimmungseinheit 28 umfasst zum Beispiel eine Zustandsmaschine oder eine andere Logikeinheit zum Bestimmen der Zeitphasen T1, T2, T3, T4, T5.

[0090] **Fig. 6** zeigt in einem oberen Bereich eine zeitliche Entwicklung einer Beschleunigung A(t) des durch die Kurve 13 fahrenden Fahrzeugs 1 (**Fig. 2**). Weiterhin ist in einem unteren Bereich von **Fig. 6** eine zeitliche Entwicklung eines Rucks J(t) des Fahrzeugs 1 dargestellt. Der Ruck J(t) ist die erste Ableitung der Beschleunigung A(t) nach der Zeit. Das heißt, der Ruck zeigt eine zeitliche Änderung der Beschleunigung A(t) an.

[0091] Wie in **Fig. 6** gezeigt, wird eine erste Zeitphase T1 mit negativer Beschleunigung (Bremsen) und negativem Ruck (zunehmendes Bremsen) ermittelt, wobei die erste Zeitphase T1 zum Beispiel einem Zustand entspricht, in dem und/oder bevor das Fahrzeug 1 in die Kurve 13 einfährt (**Fig. 2**). Weiterhin wird eine zweite Zeitphase T2 mit konstanter negativer Beschleunigung (konstantes Bremsen) und Null-Ruck ermittelt, wobei die zweite Zeitphase T2 zum Beispiel einem Zustand entspricht, in dem das Fahrzeug 1 in der Kurve 13 fährt. Weiterhin wird eine dritte Zeitphase T3 mit negativer Beschleunigung (noch Bremsen), aber positivem Ruck (abnehmendes Bremsen) ermittelt, wobei die dritte Zeitphase T3 z. B. eine Zeitphase des (vorbereitenden) Fahrens ist, in der Kurve 13, wobei sich die aktuelle Geschwindigkeit V_C der Nenngeschwindigkeit V_A annähert. Darüber hinaus wird eine vierte Zeitphase T4 mit Null-Ruck und Null-Beschleunigung (d. h. konstanter Geschwindigkeit) bestimmt. Die dritte und vierte Zeitphase T3, T4 können als „Freigabe- und Konstantgeschwindigkeit-Phasen“ bezeichnet werden. Weiterhin wird eine fünfte Zeitphase T5 mit positivem Ruck und positiver Beschleunigung bestimmt. Die Zeitphasen T1, T2, T3, T4 und T5 folgen kontinuierlich aufeinander, wie in **Fig. 5** dargestellt.

[0092] Die Krümmungssteuerungseinheit 26 umfasst weiterhin eine Begrenzungseinheit 29 (**Fig. 7**) zum Begrenzen der Beschleunigung A und/oder des Rucks J (**Fig. 6**) des Fahrzeugs 1. Insbesondere wird die Krümmungssteuerung so durchgeführt, dass die Beschleunigung A (d. h. ein Absolutwert der Beschleunigung A) des Fahrzeugs 1 unterhalb eines vorgegebenen Beschleunigungsschwellenwertes A_{th} liegt. Weiterhin wird die Krümmungssteuerungsfunktion so durchgeführt, dass der Ruck J (d. h. ein absoluter Wert des Rucks) des Fahrzeugs 1 unter einem vorgegebenen Ruckschwellenwert J_{th} liegt.

[0093] Somit wird der vorausliegende Radius R_A der Krümmung der Kurve 13 der Straße 14, auf der das Fahrzeug 1 fährt (**Fig. 2**), basierend auf Odometriedaten (δ, w, **Fig. 3**) und - falls Fahrspurmarkierungen 19 erkannt werden - basierend auf einer Krümmung der Fahrspurmarkierungen 19 vorhergesagt (**Fig. 4**). Basierend auf dem vorausliegenden Radius R_A wird eine Nenngeschwindigkeit V_A als gewünschte Geschwindigkeit an der vorausliegenden Position P2 berechnet. Weiterhin wird eine Krümmungssteuerung (**Fig. 7**) durchgeführt, so dass bei der Realisierung der Nenngeschwindigkeit V_A ein Bremsen und eine positive Beschleunigung sowie der Ruck (**Fig. 6**) auf Werte begrenzt werden, die die Sicherheit und den Komfort für den Fahrers und die anderen Insassen des Fahrzeugs 1 gewährleisten.

[0094] Obwohl die vorliegende Erfindung in Übereinstimmung mit bevorzugten Ausführungsformen beschrieben wurde, ist es für den Fachmann naheliegend, dass Änderungen in allen Ausführungsformen möglich sind.

Bezugszeichenliste

1	Fahrzeug
2	Steuerungssystem
3	Sensorsystem
4	Sensoreinheit
5	Sensoreinheit
6	Sensoreinheit
7	Sensoreinheit
8	Umgebung
9	Windschutzscheibe
10	Lenkwinkelsensor
11	Lenkwelle
12	Lenkrad
13,13'	Kurve
14,14'	Straße
15	Fahrtrichtung
16	Aufnahmeeinheit
17	Rad
18	Rad
19	Fahrspurmarkierungen
20	Bestimmungseinheit
21	Bestimmungseinheit
22	Entscheidungseinheit
23	Datenpunkt
24	Fehlerbalken
25	Bestimmungseinheit
26	Krümmungssteuerungseinheit

27	PD-Steuerungseinheit
28	Sollwert
29	Prozessvariable
δ	Lenkwinkel
ΔR_L	Fehler
A	Beschleunigung
A_A	Beschleunigung
A_{th}	Beschleunigungsschwellenwert
J	Ruck
J_{th}	Ruckschwellenwert
L	Abstand
P1	aktuelle Position
P2	vorausliegende Position
R_A	Radius
R_C	Radius
R_L	Radius
R_O	Radius
R_{th}	Radiusschwellenwert
S1-S6	Verfahrensschritte
T1	Zeitphase
T2	Zeitphase
T3	Zeitphase
T4	Zeitphase
T5	Zeitphase
V_A	Geschwindigkeit
V_C	Geschwindigkeit
W	Lenkwinkelgeschwindigkeit

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs (1), umfassend die Schritte:
Empfangen (S1) von Sensordaten (S) eines Sensorsystems (3) des Fahrzeugs (1), wobei die Sensordaten (S) einen aktuellen Lenkwinkel δ und eine aktuelle Lenkwinkelgeschwindigkeit W des auf einer Straße (14) mit einer Kurve (13) fahrenden Fahrzeugs (1) enthalten,
Bestimmen (S2) eines vorausliegenden Radius R_A der Kurve (13) an einer vorausliegenden Position (P2), die das Fahrzeug (1) in einer vorgegebenen Zeitspanne T erreichen wird, basierend auf einem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gegeben durch die Gleichung:

$$R_O = R_C - T\left[(L \cdot w)/\left(\sin^2(\delta)\right]\right.,$$

wobei δ der Lenkwinkel ist, W die Lenkwinkelgeschwindigkeit ist, L ein Abstand zwischen Vorder- und Hinterrädern (17, 18) des Fahrzeugs (1) ist und R_C ein Radius der Straße (14) an der aktuellen Position (P1) des Fahrzeugs (1) ist, und
Durchführen (S6) einer Krümmungssteuerungsfunktion basierend auf dem ermittelten vorausliegenden Radius R_A.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei
eine Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs (1) an der vorausliegenden Position (P2) basierend auf dem ermittelten vorausliegenden Radius R_A und einer vorgegebenen maximalen Querbeschleunigung A_{MAX} ermittelt wird durch die Gleichung (S5):

$$V_A = (A_{MAX} \cdot R_A)^{1/2},$$

und
wobei die Krümmungssteuerungsfunktion basierend auf der ermittelten Nenngeschwindigkeit V_A durchgeführt wird (S6).

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei
eine erwartete Beschleunigung (A_A) des Fahrzeugs (1) an der vorausliegenden Position (P2) basierend auf einer aktuellen Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs (1) und einer Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs (1) an der vorausliegenden Position (P2) ermittelt wird,
ein Vorhandensein von Fahrspurmarkierungen (19) der Straße (14') erfasst wird und eine Spurqualität der erfassten Fahrspurmarkierungen (19) basierend auf den Sensordaten (S) ermittelt wird,
ein Fahrspur-basierter vorausliegender Radius R_L der Kurve (13') an der vorausliegenden Position (P2) basierend auf den erfassten Fahrspurmarkierungen (19) ermittelt wird (S3), und
die Krümmungssteuerungsfunktion basierend auf dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O und dem Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L durchgeführt wird (S6), so dass
der vorausliegende Radius R_A gleich dem Minimum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt wird, wenn die ermittelte Spurqualität über einem vorgegebenen Spurqualitätsschwellenwert liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einem Bremsen des Fahrzeugs (1) entspricht,
der vorausliegende Radius R_A gleich dem Maximum des Fahrspur-basierten vorausliegenden Radius R_L und dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt wird, wenn die ermittelte Spurqualität über dem vorgegebenen Spurqualitätsschwellenwert liegt und die ermittelte erwartete Beschleunigung einer positiven Beschleunigung des Fahrzeugs (1) entspricht, und
der vorausliegende Radius R_A gleich dem Odometrie-basierten vorausliegenden Radius R_O gesetzt wird, wenn die ermittelte Spurqualität bei oder unter dem vorgegebenen Spurqualität-Schwellenwert liegt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Fahrspur-basierte vorausliegende Radius R_L durch die folgende Gleichung ermittelt wird:

$$R_L = 1/\left[(6 \cdot a \cdot T) + (2 \cdot b)\right],$$

wobei a und b die ersten zwei Koeffizienten eines Polynoms dritten Grades sind und T die vorgegebene Zeitspanne ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Durchführen (S6) der Krümmungssteuerungsfunktion ein Steuern einer Beschleunigung (A) und/oder eines Rucks (J) des Fahrzeugs (1) basierend auf einer aktuellen Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs (1) an einer aktuellen Position (P1) und einer Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs (1) an der vorausliegenden Position (P2) enthält.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei ein Steuern der Beschleunigung (A) und/oder des Rucks (J) des Fahrzeugs (1) ein proportionales und/oder derivatives Steuern der Beschleunigung (A) und/oder des Rucks (J) enthält, und die Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs (1) an der vorausliegenden Position (P2) ein Sollwert (28) beim proportionalen und/oder derivativen Steuern ist und die aktuelle Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs (1) eine Prozessvariable (29) des proportionalen und/oder derivativen Steuerns ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Durchführen (S6) der Krümmungssteuerungsfunktion ein Ermitteln einer ersten Zeitphase (T1) eines negativen Rucks (J), eine zweite Zeitphase (T2) eines Null-Rucks (J) und eine dritte Zeitphase (T3) eines positiven Rucks (J) basierend auf einer aktuellen Geschwindigkeit V_C des Fahrzeugs (1) an einer aktuellen Position (P1) und einer Nenngeschwindigkeit V_A des Fahrzeugs (1) an der vorausliegenden Position (P2) umfasst, wobei die erste, die zweite und die dritte Zeitphase (T1, T2, T3) kontinuierlich miteinander sind.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Durchführen (S6) der Krümmungssteuerungsfunktion ein Steuern einer Beschleunigung (A) des Fahrzeugs (1) umfasst, um unter einem vorge-

gebenen Beschleunigungsschwellenwert (A_{th}) zu liegen, und/oder ein Steuern eines Rucks (J) des Fahrzeugs (1), um unter einem vorgegebenen Ruckschwellenwert (J_{th}) zu liegen.

9. Computerprogramm, umfassend Anweisungen, die, wenn das Programm von einem Computer durchgeführt wird, den Computer veranlassen, das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.

10. Steuerungssystem (2) für ein Fahrzeug (1), das ausgebildet ist, um das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 durchzuführen.

11. Fahrzeug (1), umfassend ein Steuerungssystem (2) nach Anspruch 10.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

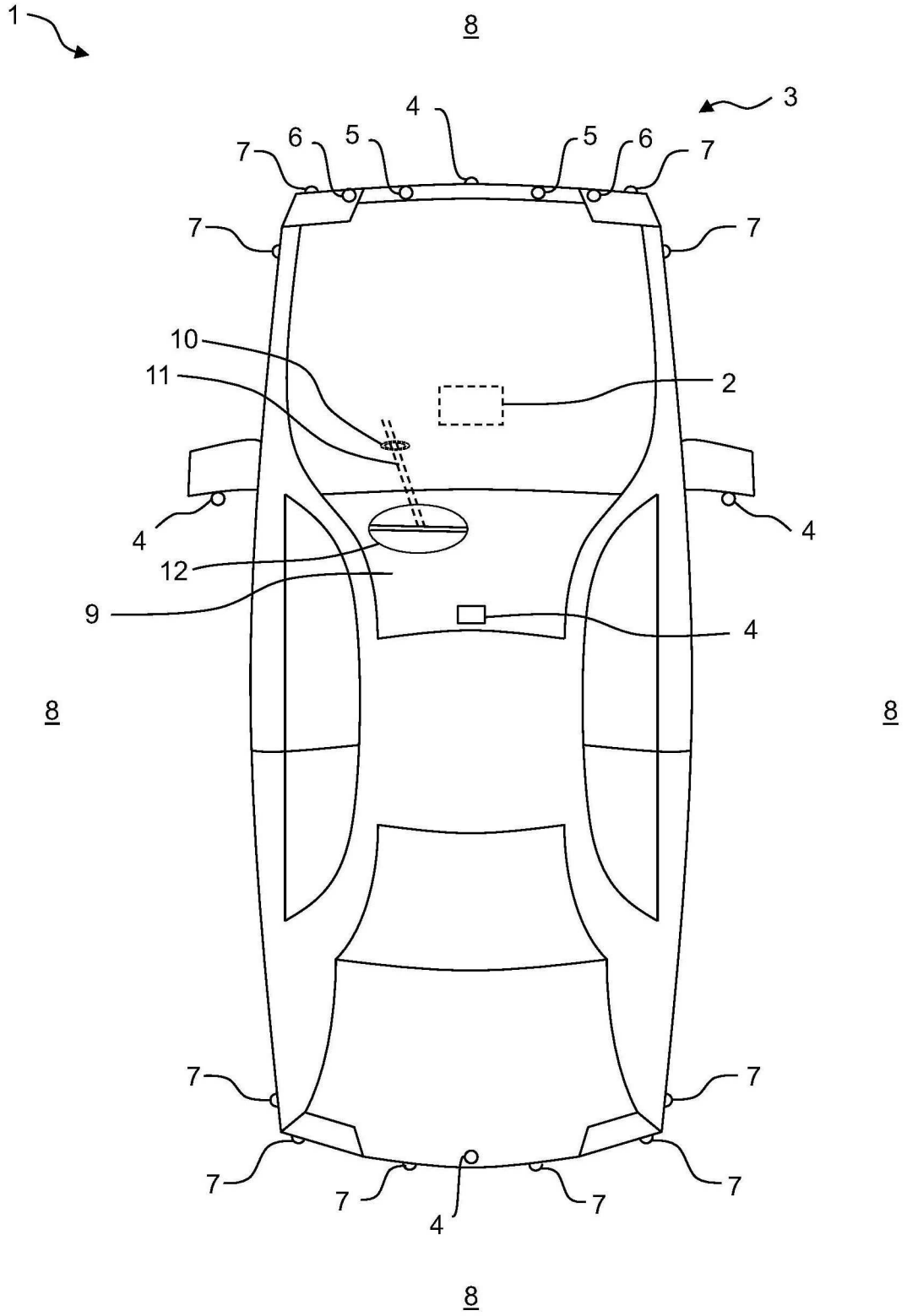


FIG. 1

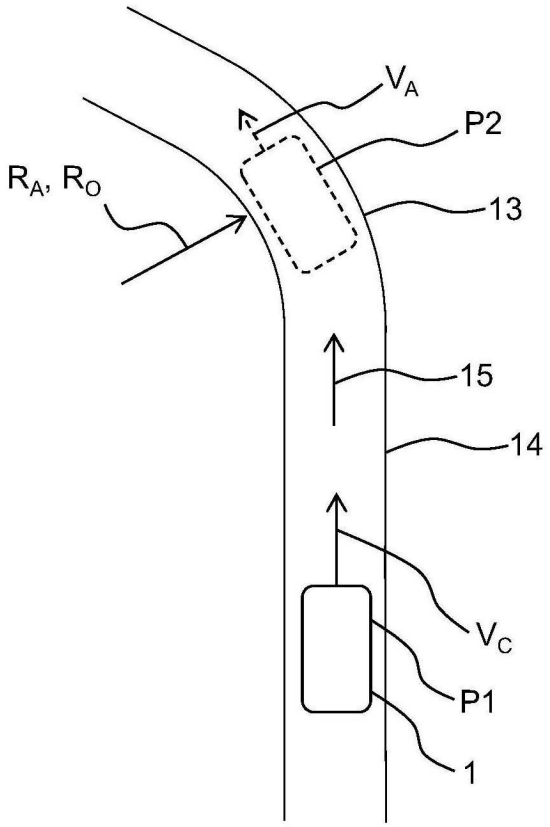


FIG. 2

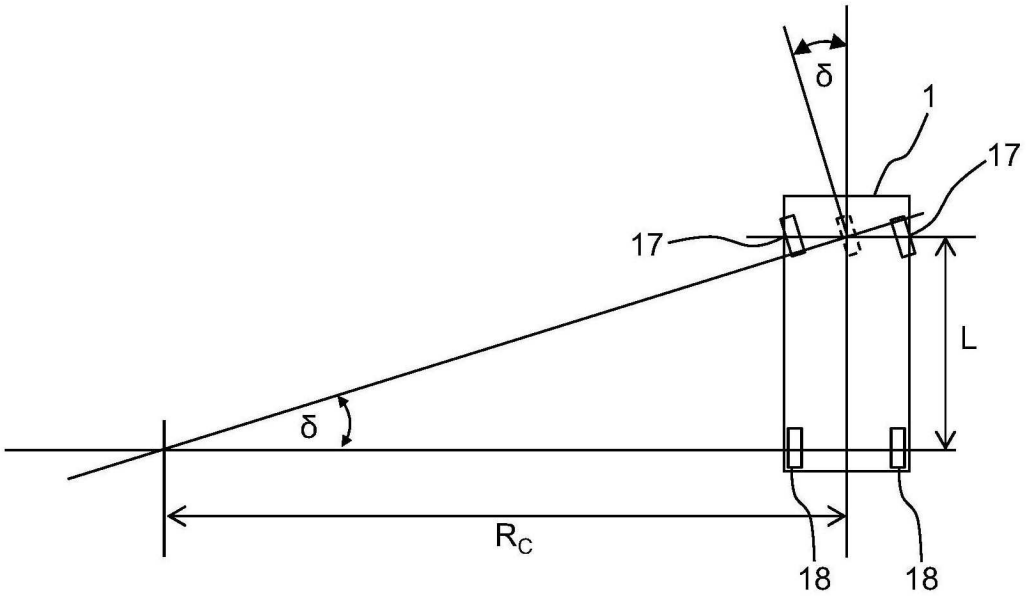


FIG. 3

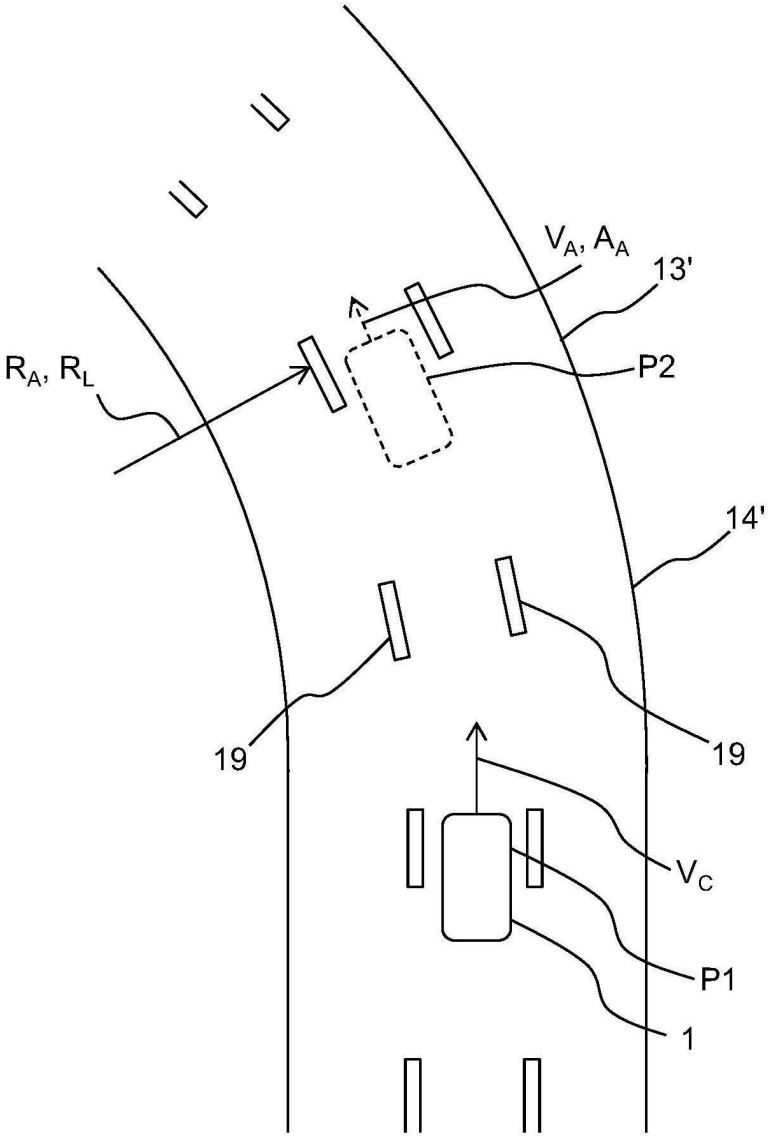


FIG. 4

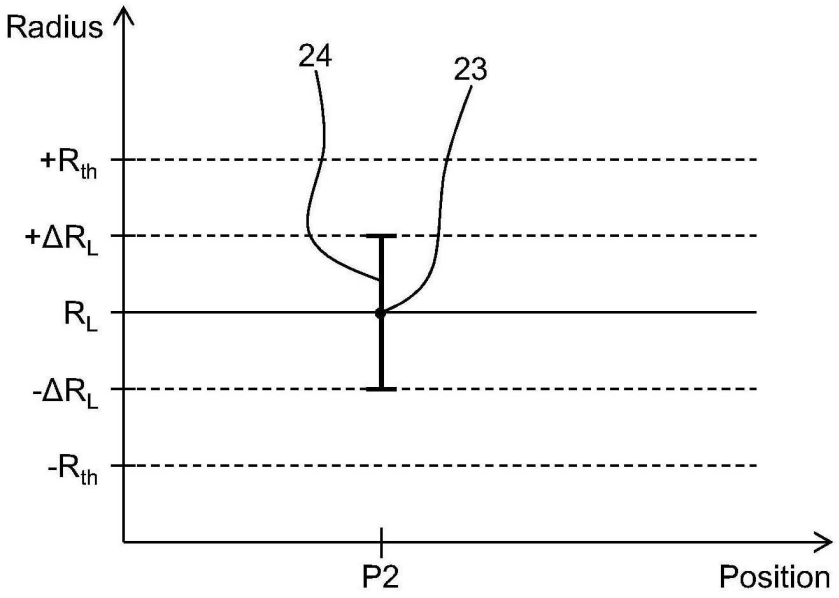

Radius
24
23
+Rth
+ΔRL
RL
-ΔRL
-Rth
P2
Position

FIG. 5

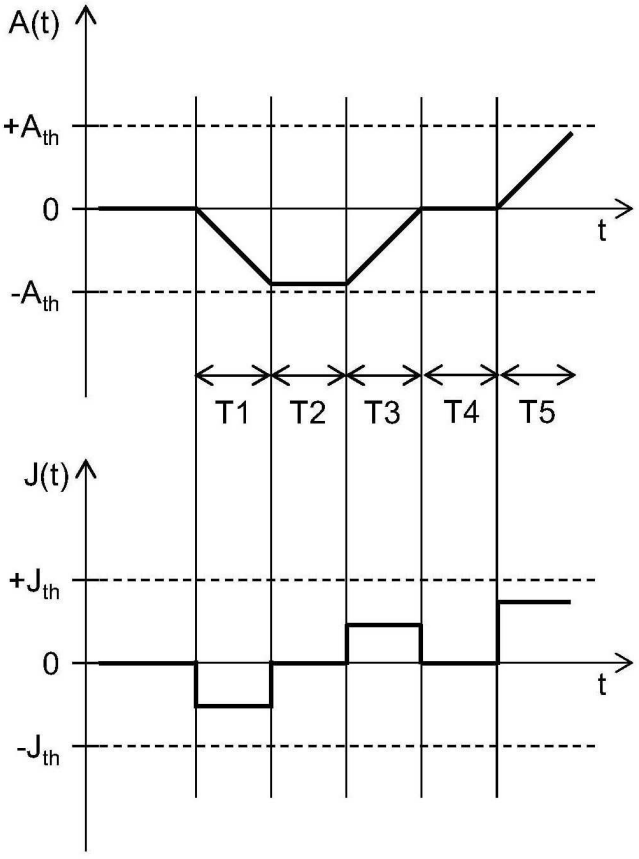

A(t)
+Ath
0
-Ath
t
T1
T2
T3
T4
T5
J(t)
+Jth
0
-Jth
t

FIG. 6

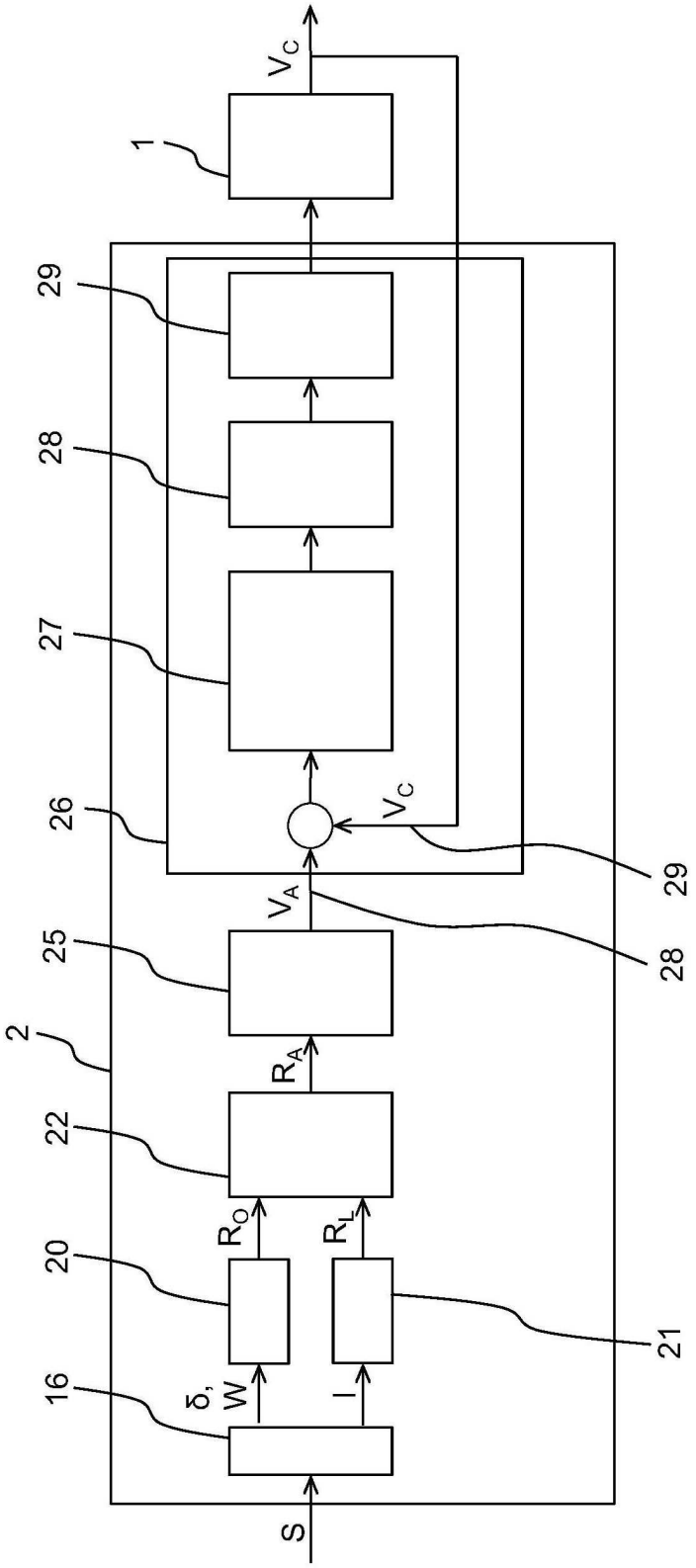


FIG. 7

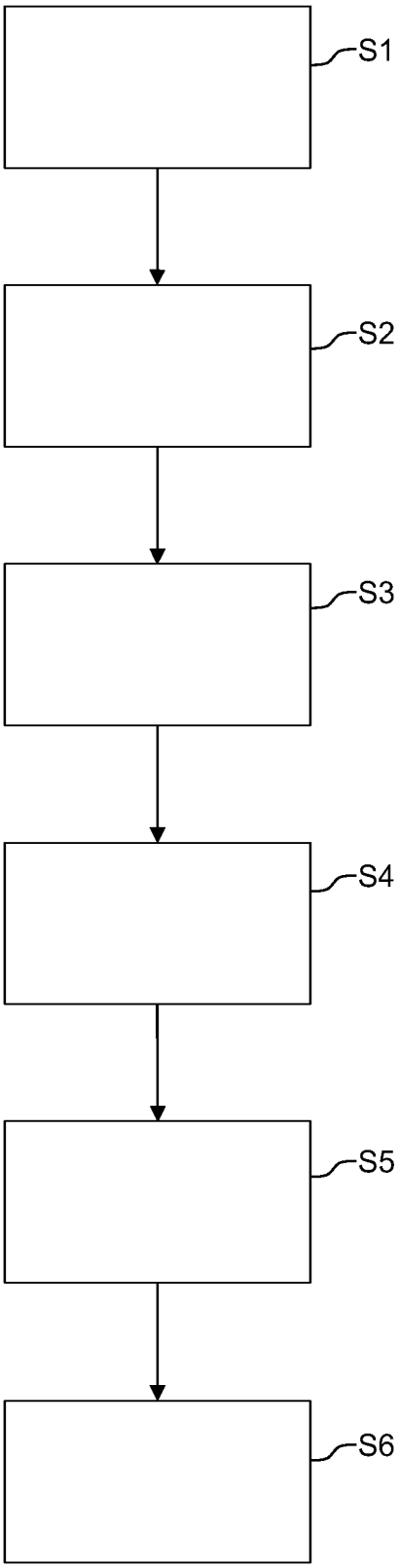


FIG. 8

 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.