

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
17. Dezember 2015 (17.12.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/188904 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B60W 30/09 (2012.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/000812

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. April 2015 (17.04.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 008 662.3 13. Juni 2014 (13.06.2014) DE

(71) Anmelder: **DAIMLER AG** [DE/DE]; Mercedesstrasse
137, 70327 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **FRITZ, Johannes Albert**; Im Hegnach 20,
73061 Ebersbach (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,

GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR AT LEAST REDUCING THE CONSEQUENCES OF A COLLISION OF A VEHICLE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUMINDEST ZUR MINDERUNG DER FOLGEN EINER
KOLLISION EINES FAHRZEUGS

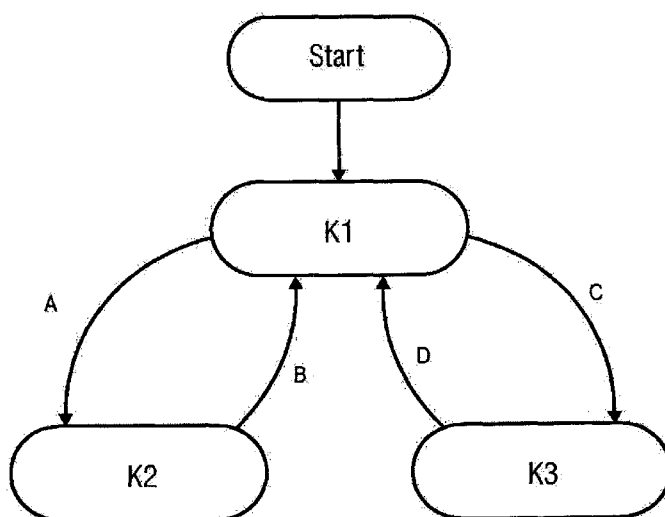


FIG 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for at least reducing the consequences of a collision of a vehicle (F). According to the invention, at least one collision avoidance operating mode (K1 to K3) from a set of at least three different collision avoidance operating modes (K1 to K3) is activated. A braking maneuver is executed on activation of a first collision avoidance operating mode (K1), an evasion maneuver is executed on activation of a second collision avoidance operating mode (K2), and a braking maneuver and an evasion maneuver are simultaneously executed on activation of a third collision avoidance operating mode (K3). The respective collision avoidance operating mode (K1 to K3) is activated depending on a vehicle speed (v_{ego}) of the vehicle (F), a traffic situation, and/or an available free space in a vehicle environment. The invention further relates to a device (V) for at least reducing the consequences of a collision of a vehicle (F).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs (F). Erfindungsgemäß wird aus einer Menge von zumindest drei verschiedenen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/188904 A1



Kollisionsvermeidungs-Betriebsarten (K1 bis K3) zumindest eine Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1 bis K3) aktiviert, wobei bei Aktivierung einer ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1) ein Bremsmanöver durchgeführt wird, wobei bei Aktivierung einer zweiten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K2) ein Ausweichmanöver durchgeführt wird, und wobei bei Aktivierung einer dritten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K3) gleichzeitig ein Bremsmanöver und ein Ausweichmanöver durchgeführt werden, und wobei die jeweilige Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1 bis K3) in Abhängigkeit einer eigenen Fahrgeschwindigkeit (v_{ego}) des Fahrzeugs (F), einer Verkehrssituation und/oder eines verfügbaren Freiraums in einer Fahrzeugumgebung aktiviert wird. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung (V) zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs (F).

Verfahren und Vorrichtung zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs.

In der DE 10 2012 001 405 A1 ist ein Verfahren zur Durchführung eines Fahrspurwechsels eines Fahrzeugs von einer Momentanfahrs pur auf eine benachbarte Zielfahrs pur beschrieben. Dabei wird eine Übergangstrajektorie von der Momentanfahrs pur in die Zielfahrs pur unter Berücksichtigung von vorgegebenen Grenzwerten für Fahrdynamikparameter ermittelt.

Weiterhin sind in der DE 10 2005 003 274 A1 ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Vermeidung und/oder Minderung der Folgen von Kollisionen beim Ausweichen eines Fahrzeugs vor Hindernissen vorgeschlagen, wobei mittels wenigstens eines Umfeldsensors wenigstens ein Hindernis erkannt wird und Daten des Hindernisses ermittelt werden. Ferner wird auf der Basis der Daten des Hindernisses sowie der Daten des Fahrzeugs eine zur Unterstützung eines Ausweichvorgangs günstige Fahrzeugverzögerung ermittelt und das Fahrzeug entsprechend verzögert.

Darüber hinaus ist aus der DE 10 2011 106 520 A1 ein Verfahren zur Verhinderung einer Kollision eines Fahrzeuges bekannt. Dabei wird laufend eine Betätigung eines Bremspedals des Fahrzeugs erfasst und es wird auf eine Kollisionsgefahr geschlossen, wenn das Bremspedal schnell betätigt wird. Ferner werden eine Lage und eine Bewegung von Objekten in einem Fahrzeugumfeld relativ zum Fahrzeug erfasst und hinsichtlich der Kollisionsgefahr bewertet. Bei erkannter Kollisionsgefahr wird automatisch ein Ausweichmanöver des Fahrzeuges durchgeführt, wenn die Bewertung der Kollisionsgefahr ergibt, dass eine Kollision durch ein Ausweichmanöver, aber nicht durch ein Bremsmanöver verhindert werden kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Verfahren sowie eine verbesserte Vorrichtung zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs anzugeben.

Hinsichtlich des Verfahrens wird die Aufgabe erfindungsgemäß mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen und hinsichtlich der Vorrichtung mit den in Anspruch 10 angegebenen Merkmalen gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Bei einem Verfahren zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass aus einer Menge von zumindest drei verschiedenen Kollisionsvermeidungs-Betriebsarten zumindest eine Kollisionsvermeidungs-Betriebsart aktiviert wird, wobei bei Aktivierung einer ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart ein Bremsmanöver durchgeführt wird, wobei bei Aktivierung einer zweiten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart ein Ausweichmanöver durchgeführt wird, und wobei bei Aktivierung einer dritten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart gleichzeitig ein Bremsmanöver und ein Ausweichmanöver durchgeführt wird. Die jeweilige Kollisionsvermeidungs-Betriebsart wird dabei in Abhängigkeit einer eigenen Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs, einer Verkehrssituation und eines verfügbaren Freiraums in einer Fahrzeugumgebung aktiviert.

Das Verfahren ermöglicht eine Kollisionsvermeidung oder zumindest eine Minderung von Folgen einer drohenden Kollision für ein teil- oder hochautomatisiertes Fahren. Damit kann die Kollision, falls durch ein alleiniges Bremsmanöver eine drohende Kollision nicht mehr verhindert werden kann, gegebenenfalls durch das Ausweichmanöver verhindert werden, sofern ein kollisionsfreier Freiraum in einer Nachbarspur zur Verfügung steht.

Die erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart, d. h. die Einleitung eines Bremsmanövers, wird dabei dann aktiviert, wenn die eigene Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs unterhalb einer vorgebbaren Grenzgeschwindigkeit ist, so dass eine drohende Kollision mittels eines Bremsmanövers als noch vermeidbar gilt.

Für die erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart wird eine Bremstrajektorie mit einer minimal zugelassenen negativen Längsbeschleunigung bzw. mit einer maximal

zugelassenen Längsverzögerung bestimmt, mittels welcher durch das Bremsmanöver eine Kollision noch vermeidbar ist.

Übersteigt die eigene Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs die Grenzggeschwindigkeit, wird in Abhängigkeit der Verkehrssituation und des Freiraums die zweite Kollisionsvermeidungs-Betriebsart oder die dritte Kollisionsvermeidungs-Betriebsart aktiviert. Damit kann eine drohende Kollision möglicherweise durch ein alternatives oder zusätzliches Ausweichmanöver verhindert werden.

Die dritte Kollisionsvermeidungs-Betriebsart, d. h. die Einleitung eines Brems- und Ausweichmanövers, wird dann aktiviert, wenn mittels der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart eine Kollision unvermeidbar ist und ein verfügbarer Freiraum vorhanden ist. Damit kann mittels Bremsen und Ausweichen eine drohende Kollision möglicherweise verhindert werden, ohne dass dabei andere Fahrzeuge möglicherweise beschädigt werden.

Nach Beendigung des Ausweichmanövers wird die erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart aktiviert, so dass das Fahrzeug in dem verfügbaren Freiraum zum Stehen kommt und somit in diesem verbleibt.

Bei dem Verfahren wird die Fahrzeugumgebung in Umfeldbereiche eingeteilt, wobei innerhalb jedes Umfeldbereichs eine Objekterkennung und einer Erfassung verfügbarer Freiräume durchgeführt wird. Die Detektion der Umfeldbereiche erfolgt mittels einer Umgebungserfassungseinheit, welche beispielsweise auf an und/oder in dem Fahrzeug angeordneten Sensoren, z. B. einer Kamera, basiert.

Des Weiteren wird bei dem Verfahren für jeden Freiraum eine Kollisionsprüfung durchgeführt, mittels welcher eine Freiraum-Status-Information bestimmt wird. Die Freiraum-Status-Information gibt dabei an, ob der jeweils betrachtete Freiraum aufgrund einer ständig durchgeführten Bewegungsprädiktion kollisionsfrei ist oder nicht.

Die Kollisionsprüfung wird hierbei unter Berücksichtigung einer Bewegungsprädiktion durchgeführt, wobei bei der Bewegungsprädiktion Bewegungen von weiteren Fahrzeugen und Hindernisobjekten auf einer Momentan-Spur des eigenen Fahrzeugs sowie auf mindestens einer benachbarten Fahrspur präzidiert werden. Dies ermöglicht eine präzise,

auf die momentane Verkehrssituation abgestimmte Ermittlung der entsprechenden Kollisionsvermeidungs-Betriebsart.

Die Erfindung sieht weiterhin eine Vorrichtung zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs vor, bei welcher erfindungsgemäß aus einer Menge von zumindest drei verschiedenen Kollisionsvermeidungs-Betriebsarten zumindest eine Kollisionsvermeidungs-Betriebsart aktivierbar ist, wobei bei Aktivierung einer ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart ein Bremsmanöver durchführbar ist, bei Aktivierung einer zweiten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart ein Ausweichmanöver durchführbar ist und bei Aktivierung einer dritten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart gleichzeitig ein Bremsmanöver und ein Ausweichmanöver durchführbar ist. Die jeweilige Kollisionsvermeidungs-Betriebsart ist dabei in Abhängigkeit einer eigenen Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs, einer Verkehrssituation und eines verfügbaren Freiraums in einer Fahrzeugumgebung aktivierbar.

Die Vorrichtung verbessert die Sicherheit des Fahrzeugs gegenüber dem Stand der Technik, da mittels der Vorrichtung eine Kollision vermeidbar und/oder zumindest Folgen einer Kollision verminderbar sind.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Dabei zeigen:

- Fig. 1 schematisch eine Vorrichtung zumindest zur Minderung von Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs,
- Fig. 2 ein Ablaufdiagramm zur Durchführung eines Verfahrens zur Minderung von Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs,
- Fig. 3 schematisch eine erste beispielhafte Fahrsituation mit vier Fahrzeugen und drei Fahrspuren einer Fahrbahn,
- Fig. 4 ein Weg-Zeit-Diagramm für prädizierte Fahrzeugbewegungen der in Figur 3 dargestellten ersten beispielhaften Fahrsituation,

- Fig. 5 schematisch eine zweite beispielhafte Fahrsituation mit vier Fahrzeugen und zwei Fahrspuren einer Fahrbahn,
- Fig. 6 ein Weg-Zeit-Diagramm für prädizierte Fahrzeugbewegungen der in Figur 5 dargestellten zweiten beispielhaften Fahrsituation,
- Fig. 7 schematisch eine dritte beispielhafte Fahrsituation mit vier Fahrzeugen und zwei Fahrspuren einer Fahrbahn,
- Fig. 8 ein Weg-Zeit-Diagramm für prädizierte Fahrzeugbewegungen der in Figur 7 dargestellten dritten beispielhaften Fahrsituation,
- Fig. 9 schematisch eine vierte beispielhafte Fahrsituation mit weiteren Fahrzeugen und drei Fahrspuren einer Fahrbahn, wobei kein kollisionsfreier Freiraum zur Verfügung steht,
- Fig. 10 schematisch eine fünfte beispielhafte Fahrsituation mit weiteren Fahrzeugen und drei Fahrspuren einer Fahrbahn und
- Fig. 11 schematisch ein Ablaufdiagramm für eine Suchstrategie zur Ermittlung einer komfortablen Querbeschleunigung.

Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Die Figur 1 zeigt eine Vorrichtung V zumindest zur Minderung von Folgen einer Kollision eines in den Figuren 3, 5, 7 9, und 10 dargestellten Fahrzeugs F in schematischer Darstellung.

Die Vorrichtung V umfasst eine Vielzahl von Komponenten, die im Folgenden näher beschrieben werden.

Zur Erfassung einer Lage einer aktuellen Fahrspur und einer Position des Fahrzeugs F ist eine bordautonome Lokalisierungseinrichtung 1 vorgesehen. Die

Lokalisierungseinrichtung 1 ist beispielsweise ein videobasiertes Lokalisierungssystem, bei dem mittels im Fahrzeug F angebrachter Kameras einer Fahrbahnmarkierungen auf der Fahrbahn und/oder Landmarken gesucht werden. Ein Ausgangssignal der Lokalisierungseinrichtung 1 ist ein erster Ausgangsvektor Y_L .

Die Vorrichtung V umfasst weiterhin eine Lokalisierungs- und Navigationseinrichtung 2 mit detaillierter Karteninformation zur Bestimmung einer Eigenposition des Fahrzeugs F sowie zur Bestimmung von Ortspositionen und einer Art von Verkehrszeichen, Lichtsignalanlagen, Haltelinien, Kreisverkehre, welche sich in einer vorgebbaren Voraussentfernung auf einer geplanten Fahrstrecke vor der aktuellen eigenen Position des Fahrzeugs F befinden. Dies ist z. B. mittels eines globalen Positionsbestimmungssystems, kurz: GPS, und einer hochgenauen elektronischen Karte mit detaillierten Informationen über Verkehrszeichen, Lichtsignalanlagen, Haltelinien etc. möglich. Ein Ausgangssignal der Lokalisierungs- und Navigationseinrichtung 2 ist ein zweiter Ausgangsvektor Y_N .

Des Weiteren umfasst die Vorrichtung V eine Fahrbahn-Fahrzeug und Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikationseinrichtung 3 zur Bestimmung eines Fahrbahnzustandes, z. B. Glatteis auf der Fahrbahn, in einer Voraussentfernung auf der geplanten Fahrstrecke, zur Bestimmung der Ortspositionen von Verkehrshindernissen, z. B. liegengebliebene Fahrzeuge oder einer Stauende-Ortsposition, welche sich in einer Voraussentfernung auf der geplanten Fahrstrecke vor der aktuellen eigenen Position des Fahrzeugs F befinden. Ein Ausgangssignal der Fahrbahn-Fahrzeug und Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikationseinrichtung 3 ist ein dritter Ausgangsvektor Y_K .

Zudem umfasst die Vorrichtung 1 eine Verkehrszeichen- und Lichtsignalanlagenzustandserkennungseinheit 4, welche auf einem Stereovideokamerasystem mit nachgeschalteter Bildauswertung basiert und welche mindestens die Ortspositionen und die Art von Verkehrszeichen, die Ortspositionen von Halte- und Wartelinien sowie die Ortspositionen und den aktuellen Zustand von Lichtsignalanlagen in einer Voraussentfernung auf der geplanten Fahrstrecke vor dem eigenen Fahrzeug F bestimmt. Das Ausgangssignal der Verkehrszeichen- und Lichtsignalanlagenzustandserkennungseinheit 4 ist ein vierter Ausgangsvektor Y_S .

Des Weiteren ist eine Umgebungserfassungseinheit 5 angeordnet, die auf einer Detektion einer Reflexion ausgesandter elektromagnetischer Strahlen, z. B. Radar, Lidar, zur Erfassung eines befahrbaren Freiraums um das eigene Fahrzeug F basiert. Das Ausgangssignal der Umgebungserfassungseinheit 5 ist ein fünfter Ausgangsvektor Y_U .

Darüber hinaus umfasst die Vorrichtung V eine Objekterkennungseinheit 6, die auf Radarsystemen und/oder Stereovideokamerasystemen mit nachgeschalteter Bildauswertung basiert, welche mindestens eine longitudinale und eine laterale Position von das Fahrzeug F umgebenden Hindernisobjekten und Personen relativ zum eigenen Fahrzeug F und/oder zur Fahrspur bestimmt. Das Ausgangssignal der Objekterkennungseinheit 6 ist ein sechster Ausgangsvektor Y_O .

Weiterhin ist eine Fahrzustandserkennungseinheit 7 angeordnet, welche einen Ist-Fahrzustand bestehend aus fahrdynamischen Größen, wie z. B. eigene Fahrgeschwindigkeit v_{ego} , eine Beschleunigung a , eine Querbesehleunigung a_y , eine Giergeschwindigkeit ψ_{sp} , einen Lenkwinkel δ , sowie einen Reibwert μ , ermittelt. Das Ausgangssignal der Fahrzustandserkennungseinheit 7 ist ein siebter Ausgangsvektor Y_F .

Die Ausgangssignale der zuvor beschriebenen Komponenten der Vorrichtung V werden an eine Situationsbewertung- und Entscheidungseinheit 8 übermittelt, welche eine Längskollisionsbewertungseinheit 8.1, eine Querkollisionsbewertungseinheit 8.2, eine Verkehrssituationsbestimmungseinheit 8.3 sowie eine Kollisionsvermeidungs-Betriebsartbestimmungseinheit 8.4 beinhaltet

Die Situationsbewertung- und Entscheidungseinheit 8 bewertet in Abhängigkeit der ihr übermittelten Ausgangssignale aufgrund der Information über Lage und Ortsposition des eigenen Fahrzeugs F auf der Fahrbahn, der Ortspositionen, bzw. Abstände, und der Art von Verkehrszeichen, der Ortspositionen, bzw. Abstände, von Halte- und Wartelinien sowie der Ortspositionen, bzw. Abstände, und der aktuellen Zustände von Lichtsignalanlagen, der Umgebungsinformation über den freien Verkehrsraum um das eigene Fahrzeug F herum und der Information des Fahrzustands sowie der Information über die das eigene Fahrzeug F umgebende Verkehrshindernisse und der Information des Fahrzustands.

Weiterhin bestimmt die Situationsbewertung- und Entscheidungseinheit 8 für eine Längsdynamik-Trajektorienplanungseinheit 9 die zum Bremsen oder Beschleunigen des eigenen Fahrzeugs F erforderlichen Eingangsgrößen, d. h. die das fahrdynamische Verhalten kennzeichnenden Grenzwerte, z. B. während eines Fahrmanövers beim Antrieb eine maximal zugelassene positive Längsbeschleunigung a_{x_max} und beim Bremsen des Fahrzeugs F eine minimal zugelassene negative Längsbeschleunigung a_{x_min} bzw. eine maximal zugelassene Längsverzögerung und abhängig vom Verkehrshindernis die Zielfahrgeschwindigkeit $v_{_ziel}$, welche beispielsweise bei stehenden Verkehrshindernissen gleich Null ist und bei bewegten Verkehrshindernisobjekten gleich einer Hindernisobjektgeschwindigkeit v_{obj} .

Zudem bestimmt die Situationsbewertung- und Entscheidungseinheit 8 gegebenenfalls die zum Ausweichen für eine Querdynamik-Trajektorienplanungseinheit 10 notwendigen Eingangsgrößen, d. h. das fahrdynamische Verhalten kennzeichnende Grenzwerte, z. B. eine maximal zugelassene Querbeschleunigung a_{y_max} oder eine maximal zugelassenen Gierwinkelgeschwindigkeit und einen Ausweich-Zielquerversatz $yAW_{_ziel}$.

Die Längsdynamik-Trajektorienplanungseinheit 9 generiert Zustandsgrößen, wie z. B. eine Trajektorien-Längsbeschleunigung a_{trj} , eine Trajektorien-Fahrgeschwindigkeit v_{trj} und gegebenenfalls eine Trajektorien-Wegposition bzw. ein Trajektorien-Längsabstand s_{trj} als Sollgrößen für eine Längsregelungseinheit 11.

Die Querdynamik-Trajektorienplanungseinheit 10 generiert Zustandsgrößen, wie z. B. eine Trajektorien-Krümmung c_{trj} , einen Trajektorien-Kurswinkel ψ_{trj} und eine Trajektorien-Lateralposition y_{trj} zum Erreichen des Ausweich-Zielquerversatzes $yAW_{_ziel}$ als Sollgrößen für eine Querregelungseinheit 12.

Die Längsregelungseinheit 11 regelt die von der Längsdynamik-Trajektorienplanungseinheit 9 vorgegebene Längsdynamiktrajektorie ein und gibt als Ausgangssignale ein Antriebsstellsignal u_m und ein Bremsstellsignal u_{br} an eine Fahrsicherheitseinrichtung 13 aus.

Die Querregelungseinheit 12 regelt die von der Querdynamik-Trajektorienplanungseinheit 10 vorgegebene Querdynamiktrajektorie ein und gibt als Ausgangssignal ein Lenkstellsignal u_{lenk} an die Fahrsicherheitseinrichtung 13 aus.

Die Fahrsicherheitseinrichtung 13 dient einer Fahrstabilisierung und ist beispielsweise ein Antiblockiersystem, kurz: ABS, ein elektronisches Stabilisierungsprogramm, kurz: ESP, eine Antischlupfregelung, kurz: ASR, und/oder eine Pre-Safe-Bremse. Die Fahrsicherheitseinrichtung 13 führt drei Stellglieder 14 bis 16 der Vorrichtung V abhängig von der Fahrsituation fahrdynamisch abgesicherte Stellsignale zu und übermittelt bei einer Vollbremsung mit ABS eine minimal mögliche negative Längsbeschleunigung ax_{min_ABS} , eine bei einer Vollbremsung mit ABS maximal mögliche Querb beschleunigung ay_{max_ABS} sowie eine bei vollem Antrieb mit ASR maximal mögliche Längsbeschleunigung ax_{max_ASR} an die Situationsbewertung- und Entscheidungseinheit 8.

Die Stellsignale der Fahrsicherheitseinrichtung 13 sind ein weiteres Antriebsstellsignal u_{m_ABS} , ein weiteres Bremsstellsignal u_{br_ABS} und ein weiteres Lenkstellsignal u_{lenk_ESP} . Rückführungsgrößen an die Situationsbewertung- und Entscheidungseinheit 8 sind die minimal zugelassene negative Längsbeschleunigung bei Vollbremsung mit ABS ax_{min_ABS} , die maximal mögliche Querb beschleunigung bei Vollbremsung mit ABS ay_{max_ABS} und die maximal mögliche Längsbeschleunigung bei voller Beschleunigung mit ASR ax_{max_ASR} .

Zudem umfasst die Vorrichtung V drei Stellglieder 14 bis 16, insbesondere ein erstes Stellglied 14, welches der Ansteuerung eines Antriebs des Fahrzeugs F dient, ein zweites Stellglied 15, welches der Ansteuerung einer Bremse des Fahrzeugs F dient, und ein drittes Stellglied 16, welches zur Ansteuerung einer Lenkung des Fahrzeugs F vorgesehen ist.

Darüber hinaus umfasst die Vorrichtung V eine Bedien- und Anzeigeeinheit 17, welche den Fahrer bei einer drohenden Kollision informiert und welche für den Fahrer Bedieninstrumente zum Ein- und Ausschalten einer teil- oder hochautomatisierten Fahrfunktion vorsieht. Das Ausgangssignal der Bedien- und Anzeigeeinheit 17 ist ein Bediensignal x_b , welches an die Situationsbewertung- und Entscheidungseinheit 8 übermittelt wird. Das Eingangssignal der Bedien- und Anzeigeeinheit 17 ist ein Anzeigesignal x_a , welches von der Situationsbewertung- und Entscheidungseinheit 8 an die Bedien- und Anzeigeeinheit 17 übermittelt wird.

Wie bereits zuvor beschrieben, umfasst die Situationsbewertung- und Entscheidungseinheit 8 die Längskollisionsbewertungseinheit 8.1, die Querkollisionsbewertungseinheit 8.2, die Verkehrssituationsbestimmungseinheit 8.3 sowie die Kollisionsvermeidungs-Betriebsartbestimmungseinheit 8.4.

Die Längskollisionsbewertungseinheit 8.1 bewertet und überprüft auf Kollisionsfreiheit in Fahrzeuginnenrichtung mittels Prädiktion der Fahrzeugbewegungen insbesondere für Hindernisobjekte, z. B. langsamer fahrende, verzögernde oder stehende Vorfahrzeuge, in der aktuellen Fahrspur, z. B. in Fahrsituationen mit einem Stauende.

Die Querkollisionsbewertungseinheit 8.2 überwacht, bewertet und überprüft das Umfeld um das eigene Fahrzeug F herum auf Kollisionsfreiheit, insbesondere für Hindernisobjekte bzw. langsamer fahrende, verzögernde oder stehende Vorfahrzeuge und schneller fahrende Nachfahrzeuge auf einer linken und rechten Nachbar-Spur und wählt bei Kollisionsfreiheit die zur Kollisionsvermeidung geeignete Ziel-Spur aus, wie es später näher beschrieben wird.

Die Verkehrssituationsbestimmungseinheit 8.3 wertet die von der Lokalisierungs- und Navigationseinrichtung 2, von der Umgebungserfassungseinheit 5 und von der Objekterkennungseinheit 6 sowie von der Fahrbahn-Fahrzeug und Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikationseinrichtung 3 zur Verfügung gestellten Informationen aus und ordnet die aktuelle Fahrsituation einer vorbestimmten Klasse bzw. einem Typ von Verkehrssituationen, z. B. ein Stauende auf einer Autobahn, eine Nachfahrt auf einer Autobahn, eine Nachfahrt auf einer Landstraße, eine Kreuzung auf einer Landstraße, eine Nachfahrt in einer Ortschaft und/oder eine Kreuzung in einer Ortschaft, etc. zu.

In der Kollisionsvermeidungs-Betriebsartbestimmungseinheit 8.4 wird abhängig von der eigenen Fahrgeschwindigkeit und abhängig von den Ergebnissen der Kollisionsfreiheitüberprüfungen der Längskollisionsbewertungseinheit 8.1 und der Querkollisionsbewertungseinheit 8.2 sowie abhängig von dem in der Verkehrssituationsbestimmungseinheit 8.3 bestimmten Verkehrssituationstyp die Kollisionsvermeidungs-Betriebsart bestimmt, wie es später näher beschrieben wird.

Die Figur 2 zeigt ein Ablaufdiagramm zur Durchführung eines Verfahrens zur Minderung von Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs F, welches in der Kollisionsvermeidungs-Betriebsartbestimmungseinheit 8.4 realisiert ist.

Das Ablaufdiagramm ist dabei ein Zustands-Automat, bei dem drei Kollisionsvermeidungs-Betriebsarten zur Kollisionsvermeidung als erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1, als zweite Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K2 und als dritte Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K3 und mit einem zusätzlichen Initialisierungszustand „Start“ dargestellt sind. Bei der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 wird ein Bremsmanöver eingeleitet. Bei der zweiten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K2 wird ein Ausweichmanöver eingeleitet und bei der dritten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K3 wird gleichzeitig ein Brems- und Ausweichmanöver eingeleitet.

Nach dem Start bzw. der Initialisierung wird stets die erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 eingenommen. Der Übergang von einer der Kollisionsvermeidungs-Betriebsarten K1 bis K3 in eine andere der Kollisionsvermeidungs-Betriebsarten K1 bis K3 erfolgt abhängig von einer Anzahl von Transitionsbedingungen A, B, C, D. Die Transitionsbedingungen A, B, C, D sind abhängig von der aktuellen eigenen Fahrgeschwindigkeit v_{ego} , vom Typ der aktuellen Verkehrssituation, vom Vorhandensein von Freiräumen und davon, ob vorhandene Freiräume aufgrund der in der Längskollisionsbewertungseinheit 8.1 und in der Querkollisionsbewertungseinheit 8.2 durchgeführten Bewegungsprädiktion kollisionsfrei sind. Insbesondere wird unterhalb einer Grenzfahrgeschwindigkeit zur Kollisionsvermeidung nur die erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 festgelegt.

Oberhalb dieser Grenzfahrgeschwindigkeit wird abhängig von der Fahrsituation nur in die zweite oder dritte Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K2, K3 gewechselt, wenn ein kollisionsfreier Freiraum zum Ausweichen vorhanden ist. Für eine erste Transitionsbedingung A und eine dritte Transitionsbedingung C muss somit prinzipiell die Bedingung erfüllt sein, dass die eigene Fahrgeschwindigkeit größer als die Grenzfahrgeschwindigkeit ist. Daher gilt:

$$v_{ego} > v_{ego_grenz}$$

wobei v_{ego} die eigene Fahrgeschwindigkeit und v_{ego_grenz} die Grenzggeschwindigkeit beschreibt.

Für eine zweite Transitionsbedingung B und eine vierte Transitionsbedingung D, d. h. für Übergänge zurück in die erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1, muss ein bereits aktivierter Ausweichvorgang in eine Ziel-Spur bzw. in einen Ziel-Korridor abgeschlossen sein. Dies ist der Fall, wenn sich nach einem Ausweichvorgang das eigene Fahrzeug F vollständig in der Ziel-Spur bzw. in einem Ziel-Korridor befindet. Dann wird die ursprüngliche Ziel-Spur zur aktuellen Momentan-Spur.

Für die in Figur 2 dargestellte erste Transitionsbedingung A kann für den Übergang in die dritte Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K3 beispielweise folgende Bedingung festgelegt werden:

$(v_{ego} > v_{ego_grenz})$

UND ($Status_{FR_V}$ = Nicht Kollisionsfrei bei EGO-Vollbremsung (NKF))

UND $((FR_{ziel} = FR_{V_re}) \text{ ODER } (FR_{ziel} = FR_{V_re}))$

UND ($Status_{FR_ziel}$ = Kollisionsfrei KF)

UND ($Typ_Verkehrssituation$ = Stauende auf Autobahn),

wobei FR_V einen vorderen Freiraum, d. h. einen vor dem eigenen Fahrzeug befindlichen Freiraum, und FR_{ziel} einen zu befahrenden Zielfreiraum zur Vermeidung einer Kollision beschreibt.

Für die dritte Transitionsbedingung C kann für den Übergang in die zweite Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K2 beispielweise folgende Bedingung festgelegt werden:

$(v_{ego} > v_{ego_grenz})$

UND ($Status_{FR_V}$ = Kollisionsfrei bei EGO-Vollbremsung (KF))

UND $((FR_{ziel} = FR_{V_re}) \text{ ODER } (FR_{ziel} = FR_{V_re}))$

UND $Status_{FR_ziel}$ = Kollisionsfrei KF)

UND ($Typ_Verkehrssituation$ = Folgefahrt auf Autobahn),

wobei Typ_Verkehrssituation einen Typ einer aktuellen Verkehrssituation beschreibt.

Die erste und dritte Transitionsbedingung A, C können somit für jeden neu hinzukommenden Typ von Verkehrssituation bzw. für Elemente der Klasse von Verkehrssituationen in einfacher Weise erweitert werden.

Figur 3 zeigt schematisch eine beispielhafte Fahrsituation mit dem Fahrzeug F und drei weiteren Fahrzeugen F1 bis F3 und drei Fahrspuren.

Hierbei befindet sich das eigene Fahrzeug F auf einer mittleren Fahrspur, die eine aktuelle Fahrspur des eigenen Fahrzeugs F ist. Vor dem eigenen Fahrzeug F befinden sich auf der mittleren Fahrspur ein erstes weiteres Fahrzeug F1, auf einer linken Fahrspur ein zweites weiteres Fahrzeug F2 und auf einer rechten Fahrspur ein drittes weiteres Fahrzeug F3.

Abhängig von den Fahrgeschwindigkeiten der drei weiteren Fahrzeuge F1 bis F3 sowie der eigenen Fahrgeschwindigkeit v_{ego} ist die dargestellte Fahrsituation entweder vom Verkehrssituationstyp „Stauende auf Autobahn“ oder vom Verkehrssituationstyp „Folgefahrt auf Autobahn“ abhängig.

Zur Situationsbewertung und Entscheidung werden die von der Umgebungserfassungseinheit 5 erfassten Bereiche im vorliegenden Ausführungsbeispiel als Umfeld-Bereiche entsprechend in vordere Umfeld-Bereiche UB_V, UB_V_li, UB_V_re und in hintere Umfeld-Bereiche UB_H, UB_H_li, UB_H_re eingeteilt, welche der Einfachheit halber rechteckförmig dargestellt sind.

Zu jedem dieser Umfeld-Bereiche UB_H, UB_V wird aufgrund der Informationen der Umgebungserfassungseinheit 5 eine Umfeld Status-Information, im Folgenden auch als Status_UB abgekürzt, bestimmt, dessen Inhalt angibt, ob sich Objekte innerhalb dieses Bereiches befinden. Somit gibt es als Information entweder Status_UB = Objektfrei, kurz: OF, oder Status_UB = Nicht Objektfrei, kurz: NOF. Innerhalb jedes Umfeld-Bereiches UB_H, UB_V wird ständig überprüft, ob Objekte vorhanden sind und ob es Freiräume gibt.

Die Freiräume werden entsprechend in vordere Freiräume FR_V, FR_V_li, FR_V_re und in hintere Freiräume FR_H, FR_H_li, FR_H_re eingeteilt. Sofern sich in einem Umfeld-Bereich kein Objekt befindet ist der Freiraum in Längsrichtung gleich lang wie der Umfeld-Bereich. Die Größe eines Freiraumes in Querrichtung sollte mindestens die Größe der Breite des eigenen Fahrzeugs B_ego umfassen. Sofern im Umfeld-Bereich Fahrspuren mit Fahrspurbreiten vorhanden sind, die größer oder gleich der Breite des eigenen Fahrzeugs F sind, kann der Freiraum in Querrichtung durch die jeweilige Nachbar-Fahrspurbreite begrenzt werden.

Für jeden der vorderen Freiräume FR_V, FR_V_li, FR_V_re und der hinteren Freiräume FR_H, FR_H_li, FR_H_re wird unter Berücksichtigung der in der Längskollisionsbewertungseinheit 8.1 und in der Querkollisionsbewertungseinheit 8.2 ständig durchgeführten Bewegungsprädiktion eine Kollisionsprüfung gemacht und dabei eine Freiraum-Status-Information, kurz: Status_FR, bestimmt, dessen Inhalt angibt, ob der jeweils betrachtete Freiraum aufgrund der ständig durchgeführten Bewegungsprädiktion kollisionsfrei ist oder nicht. Somit gibt es zu jedem Freiraum eine Freiraum-Status-Information, welche entweder den Status „Status_FR = Kollisionsfrei, kurz: KF“ oder den Status „Status_FR = Nicht Kollisionsfrei, kurz: NKF“ zur Verfügung stellt.

Bei der in Figur 3 gezeigten Fahrsituation sind die hinteren Freiräume FR_H, FR_H_li, FR_H_re gleich lang wie die hinteren Umfeld-Bereiche UB_H, UB_H_li, UB_H_re. In dieser beispielhaft dargestellten Fahrsituation sind drei vordere Freiräume FR_V, FR_V_li, FR_V_re vorhanden, wobei das eigene Fahrzeug F in der Momentan-Spur den vorderen Freiraum FR_V, das auf der linken Fahrspur befindliche zweite weitere Fahrzeug F2 den linken vorderen Freiraum FR_V_li und das auf der rechten Fahrspur befindliche dritte weitere Fahrzeug F3 den rechten vorderen Freiraum FR_V_re begrenzen. Für jeden der begrenzten Freiräume, hierbei die vorderen Freiräume FR_V, FR_V_li, FR_V_re, wird in der Längskollisionsbewertungseinheit 8.1 auf Kollisionsfreiheit geprüft.

Für die in Figur 3 beispielhaft dargestellte Fahrsituation ermittelt die Verkehrssituationsbestimmungseinheit 8.3 abhängig von den Fahrgeschwindigkeiten der drei weiteren Fahrzeuge F1 bis F3, der eigenen Fahrgeschwindigkeit v_ego sowie gegebenenfalls von Informationen der Fahrbahn-Fahrzeug und Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikationseinrichtung 3 den Verkehrssituationstyp entweder zu „Stauende auf Autobahn“ oder zu „Folgefahrt auf Autobahn“.

Die Längskollisionsbewertungseinheit 8.1 bewertet und überprüft auf Kollisionsfreiheit in Fahrzeuginnenrichtung prinzipiell mittels Prädiktion der Fahrzeugbewegungen. Hierbei werden die Bewegungen der weiteren Fahrzeuge F1 bis F3 und Hindernisobjekte in der Momentan-Spur und in mindestens beiden Nachbar-Spuren prädiziert, z.B. langsamer fahrende, verzögernde oder stehende Vorfahrzeuge sowie schneller fahrende Nachfolgefahrzeuge insbesondere in Fahrsituationen mit Stauende.

Für die Längsdynamik-Prädiktion der Bewegungen bzw. Relativbewegungen eines Vorfahrzeuges (i) und eines nachfolgenden Fahrzeuges (j) werden im Folgenden die Bezeichnungen für die zurückgelegte Wegstrecken s_i , s_j und für den Abstand vom Vorfahrzeug (i) zu Folgefahrzeug (j) d_{ij} eingeführt. Mit dem Anfangsabstand $d0_{ij}$ ergibt sich somit für den Abstand $d_{ij} = d0_{ij} + s_i - s_j$.

Die Kollisionsbewertung ist abhängig vom für einen bestimmten Zeithorizont prognostizierten Fahrverhalten von Folgefahrzeug (j) und vom Vorfahrzeug (i).

Für ein ungebremstes, mit konstanter Fahrgeschwindigkeit v_j fahrendes Folgefahrzeug (j) ergeben sich bekanntermaßen bei der Fahrzeugfolgeaufgabe folgende Fälle:

Für den Fall eines ungebremst langsamer mit konstanter Fahrgeschwindigkeit ($v_i < v_j$) fahrendes Vorfahrzeug (i) ergeben sich ein Berühr-Zeitabstand bzw. Kollisions-Zeitabstand, auch Time to Collision, kurz: TC, genannt, zu

$$T_{C_{ij}} = T_{C_{FF_{ij}}} = \left[\frac{d_{ij}}{v_j - v_i} \right]$$

und der für eine Folgefahrt üblicherweise zugrunde gelegte Folge-Zeitabstand zu

$$T_{j_i} = \left[\frac{d_{ij}}{v_j} \right].$$

Für den Fall, dass das ungebremste Vorfahrzeug (i) mit stationär gleicher konstanter Fahrgeschwindigkeit wie das Folgefahrzeug (j), d. h. ($v_i = v_j$), fährt, droht keine Kollisionsgefahr und der Kollisions-Zeitabstand $T_{C_{ij}}$ geht gegen unendlich. Der für eine Folgefahrt üblicherweise zugrunde gelegte Folge-Zeitabstand ergibt sich dann zu

$$T_{j-i} = \left\lceil \frac{d_{i,j}}{v_j} \right\rceil = \left\lceil \frac{d_{i,j}}{v_j} \right\rceil$$

Für den Fall eines stillstehenden Voraufahrzeugs (i) ergeben sich der Berühr-Zeitabstand bzw. Kollisions-Zeitabstand und auch der für eine Folgefahrt üblicherweise zugrunde gelegte Folge-Zeitabstand zu

$$T_{C-j-i} = T_{C-SS-j-i} = \left\lceil \frac{d_{i,j}}{v_j} \right\rceil$$

Nachfolgend werden für ein gebremstes Folgefahrzeug (j) unterschiedliche Fahrverhaltensfälle vom Voraufahrzeug (i) betrachtet, wie sie insbesondere bei Stauende-Fahrsituationen auftreten können.

Für die zu einem realen Zeitpunkt $t = t_k$ durchgeführte Längsdynamik-Prädiktion eines Voraufahrzeugs (i) und eines nachfolgenden Fahrzeuges (j) werden als Anfangswerte der Anfangsabstand $d0_{i,j} = d0_{i,j}(t_k)$ und die Anfangs-Fahrgeschwindigkeiten $v0_i, v0_j$ zugrunde gelegt. Hierbei kann das eigene Fahrzeug F je nach Objektsituation das Folgefahrzeug (j) oder auch das Voraufahrzeug (i) sein.

Bei der nachfolgend aufgeführten Bewegungsprädiktion zur Bestimmung der für die Längskollision relevanten Kenngrößen, z. B. Kollisions-Zeitabstand, Stillstands-Bremswegstrecken, werden die Modellgleichungen beispielhaft für den Fall vorgestellt, dass das eigene Fahrzeug F das Folgefahrzeug (j) ist.

Hierbei werden die eigene Anfangs-Fahrgeschwindigkeit $v0_{ego} = v0_{ego}(t_k)$, die eigene negative Längsbeschleunigung mit der gebremst werden soll ist $a_{ego} = a_{ego}(t_k)$, der Zeitverzug T_R mit dem das eigene Fahrzeug F bremst, die Anfangs-Fahrgeschwindigkeit $v0_j = v0_j(t_k)$ und die negative Längsbeschleunigung mit der das betrachtete Voraufahrzeug (i) bremst a_i verwendet.

Für einen beliebigen realen Zeitpunkt $t = t_k$ werden die Bewegungen der Fahrzeuge F, F1 bis F3 mit einer Prädiktionszeit τ für einen Prädiktionshorizont $[0, \tau_{max}]$ prädiziert.

Allgemein ergibt sich für einen beliebigen realen Zeitpunkt $t = t_k$ mit einer Bremstrajektorie f_{br_ego} für das eigene Fahrzeug F und einer angenommenen Bremstrajektorie f_{br_i} für das betrachtete Vorfahrzeug (i) die prädizierte Wegstrecken bzw. Bremswegstrecken zu

$$s_{ego}(t_k, \tau) = s_{br_ego}(t_k, \tau) = f_{br_ego}(\tau, v0_{ego}, a_{ego}, T_R) \text{ und } s_i(t_k, \tau) = s_{br_i}(t_k, \tau) = f_{br_i}(\tau, v0_i, a_i).$$

Die folgenden beispielhaft aufgeführten Modellgleichungen bilden die Grundlage für die in der Längskollisionsbewertungseinheit 8.1 durchgeführte Bewegungsprädiktion. Hierbei wird angenommen, dass sich das betrachtete Vorfahrzeug (i) entweder mit konstanter Fahrgeschwindigkeit bewegt oder mit konstanter negativer Beschleunigung bremst oder bei Detektion bereits still steht. Des Weiteren wird als Bremstrajektorie für das eigene Fahrzeug F vereinfachend eine konstante negative Längsbeschleunigung $a_{ego} = \text{konstant}$ angenommen.

Die prädizierte relative Bremswegstrecke des gebremsten Fahrzeugs F zu einem bewegten, z. B. bremsenden oder langsamer fahrenden, Vorfahrzeug (i) ergibt sich für das Prädiktionsintervall $[0, T_{ss_i}]$, d. h. solange das Vorfahrzeug (i) in der Prädiktion noch nicht zum Stillstand gekommen ist, zu

(1a)

$$s_{br_ego_i}(t_k, \tau) = s_{br_ego}(t_k, \tau) - s_{br_i}(t_k, \tau) = \left\{ [v0_{ego} - v0_i] \cdot \tau - a_{ego} \cdot T_R \cdot \tau + \frac{1}{2} [a_{ego} - a_i] \cdot \tau^2 + \frac{1}{2} a_{ego} \cdot T_R^2 \right\}$$

und für das Prädiktionsintervall $[T_{ss_i}, T_{ss_ego}]$, d. h. nachdem das Vorfahrzeug (i) in der Prädiktion bereits zum Stillstand gekommen ist, zu

(1b)

$$s_{br_ego_i}(t_k, \tau) = s_{br_ego}(t_k, \tau) - s_{br_i}(t_k, \tau) = \left\{ v0_{ego} \cdot \tau - \frac{1}{2} \left[\frac{v0_i^2}{-a_i} \right] + -a_{ego} \cdot T_R \cdot \tau + \frac{1}{2} a_{ego} \cdot \tau^2 + \frac{1}{2} a_{ego} \cdot T_R^2 \right\}$$

Die prädizierte relative Bremswegstrecke des gebremsten Fahrzeugs F, hierbei das Folgefahrzeug, zu einem bereits zu Prädiktionsbeginn stillstehenden Vorfahrzeug (i) ergibt sich für das Prädiktionsintervall $[0, T_{ss_ego}]$, d.h. solange das eigene Fahrzeug F in der Prädiktion noch nicht zum Stillstand gekommen ist, zu

$$(1c) \quad s_{br_ego_i}(t_k, \tau) = s_{br_ego}(t_k, \tau) = \left\{ v0_{ego} \cdot \tau - a_{ego} \cdot T_R \cdot \tau + \frac{1}{2} [a_{ego}] \cdot \tau^2 + \frac{1}{2} a_{ego} \cdot T_R^2 \right\}.$$

In diesem Fall entspricht die relative Bremswegstrecke auch der absoluten Bremswegstrecke bzw. der sich aus der Bremstrajektorie des eigenen Fahrzeugs F ergebenden absoluten Bremswegstrecke $s_{br_ego} = f_{br_ego}$.

Der prädizierte dynamische Ist-Abstand ergibt sich mit dem Anfangsabstand $d0_i_ego = d0_i_ego(t_k)$ vom Vorfahrzeug (i) zum eigenen Fahrzeug F zu

$$(2) \quad d_{i_ego}(t_k, \tau) = d0_i_ego(t_k) - s_{br_ego}(t_k, \tau) + s_{br_i}(t_k, \tau) = d0_i_ego(t_k) - s_{br_ego_i}(t_k, \tau).$$

Der prädizierte Stillstands-Zeitabstand beträgt für das mit Zeitverzug T_R gebremste eigene Fahrzeug F:

$$(3) \quad T_{ss_ego}(t_k) = \left\{ \left[\frac{v0_{ego} - a_{ego} \cdot T_R}{-a_{ego}} \right] = \left[\frac{v0_{R_ego}}{-a_{ego}} \right] \right\}.$$

Für ein gebremstes Vorfahrzeug (i) ergibt sich der der prädizierter Stillstands-Zeitabstand zu:

$$(4) \quad T_{ss_i}(t_k) = \left\{ \left[\frac{v0_i}{-a_i} \right] \right\}.$$

Die prädizierte relative Bremswegstrecke des gebremsten eigenen Fahrzeugs F zu einem gebremsten Vorfahrzeug (i) bei Stillstand des Fahrzeugs F, auch relative Stillstands-Bremswegstrecke genannt, ist:

$$(5a) \quad s_{br_ss_ego_i}(t_k) = s_{br_ego_i}(t_k, \tau = T_{ss_ego}) = \left\{ v0_{ego} \cdot T_R + \frac{1}{2} \left[\frac{v0_{ego}^2}{-a_{ego}} \right] - \frac{1}{2} \left[\frac{v0_i^2}{-a_i} \right] \right\}.$$

Die prädizierte relative Bremswegstrecke des gebremsten Fahrzeugs F zu einem bereits zu Prädiktionsbeginn stillstehenden Vorfahrzeug (i) bei Stillstand des Fahrzeugs F ist:

$$(5b) \quad s_{br_ss_ego_i}(t_k) = s_{br_ego_i}(t_k, \tau = T_{ss_ego}) = \left\{ v0_{ego} \cdot T_R + \frac{1}{2} \left[\frac{v0_{ego}^2}{-a_{ego}} \right] \right\}.$$

In diesem Fall entspricht die relative Stillstands-Bremswegstrecke auch der absoluten Stillstands-Bremswegstrecke.

Der prädizierte Stillstands-Abstand vom Vorausfahrzeug (i) zum Fahrzeug F ist

$$(6) \quad d_{ss_i_ego}(t_k) = d_{i_ego}(t_k, \tau = T_{ss_ego}) = d0_{i_ego}(t_k) - s_{br_ss_ego_i}(t_k).$$

Dabei ist zu beachten, dass der Stillstands-Abstand $d_{ss_i_ego}$ nicht immer der geringste Abstand ist, der während eines Bremsmanövers auftritt. Aus der Ableitung des prädizierten dynamischen Ist-Abstands $d(\tau) = d_{i_ego}(t_k, \tau)$ wird das Abstandsminimum ermittelt. Das Abstandsminimum bzw. der kritische Abstand zum bewegten Vorausfahrzeug (i) wird zum kritischen Zeitpunkt (t_{kr}) bzw. beim kritischen-Zeitabstand T_{kr} erreicht.

Der prädizierte Dynamisch-Kritische-Zeitabstand des gebremsten Fahrzeugs F zu einem bewegten Vorausfahrzeug (i) ergibt sich zu

$$(7a) \quad T_{kr}(t_k) = \left\{ \left[\frac{v0_{ego} - a_{ego} \cdot T_R - v0_i}{(-1) \cdot [a_{ego} - a_i]} \right] \right\}.$$

Der prädizierte Dynamisch-Kritische-Zeitabstand des gebremsten Fahrzeugs F zu einem bereits zu Prädiktionsbeginn stillstehenden Vorausfahrzeug (i) ergibt sich zu

$$(7b) \quad T_{kr}(t_k) = \left\{ \left[\frac{v0_{ego} - a_{ego} \cdot T_R}{(-1) \cdot [a_{ego}]} \right] = T_{ss_ego}(t_k) \right\}.$$

In diesem Fall entspricht der Dynamisch-Kritische-Zeitabstand dem Stillstands-Zeitabstand für das Fahrzeug F, d. h. das Folgefahrzeug.

Die prädizierte relative Bremswegstrecke des gebremsten Fahrzeugs F zu einem bewegten Vorausfahrzeug (i) zum dynamisch kritischen Zeitpunkt, auch Dynamisch-Kritische-Bremswegstrecke genannt, bei dem das bewegte Vorausfahrzeug (i) und das

bewegte Fahrzeug F in der Prädiktion noch nicht zum Stillstand gekommen sind, ergibt sich zu:

$$(8a) \quad s_{br_kr_ego_i}(t_k) = s_{br_ego_i}(t_k, \tau = T_{kr}) = \left\{ \left[\frac{\frac{1}{2} v_{0_rel}^2 + a_{ego} \cdot v_{0_rel} \cdot T_R + a_{ego} \cdot a_{-i} \cdot T_R^2}{(-1) \cdot [a_{ego} - a_{-i}]} \right] \right\} .$$

mit $v_{0_rel} = v_{0_i} - v_{0_ego}$

Die prädizierte relative Bremswegstrecke des Fahrzeugs F zu einem bereits zu Prädiktionsbeginn stillstehenden Vorfahrzeug (i) zum dynamisch kritischen Zeitpunkt, d. h. die Dynamisch-Kritische-Bremswegstrecke, ergibt sich zu:

$$(8b) \quad s_{br_kr_ego_i}(t_k) = s_{br_ego_i}(t_k, \tau = T_{kr}) = s_{br_ego_i}(t_k, \tau = T_{ss_ego}) = s_{br_ss_ego_i}(t_k) .$$

In diesem Fall ist die Dynamisch-Kritische-Bremswegstrecke gleich der relativen Stillstands-Bremswegstrecke.

Der prädizierte Dynamisch-Kritische Abstand ergibt sich mit dem Anfangsabstand $d_{0_i_ego}$ vom Vorfahrzeug (i) zum Fahrzeug F zu

$$(9) \quad d_{kr_i_ego}(t_k) = d_{i_ego}(t_k, \tau = T_{kr}) = d_{0_i_ego}(t_k) - s_{br_kr_ego_i}(t_k) .$$

Der prädizierte Berühr-Zeitabstand bzw. Kollisions-Zeitabstand des gebremsten Fahrzeugs F zu einem gebremsten Vorfahrzeug (i) bzw. zu einem bereits zu Prädiktionsbeginn stillstehenden Vorfahrzeug (i) ergibt sich, für den Fall, dass der Anfangsabstand kleiner als die relative Stillstands-Bremswegstrecke ist, d. h. für $d_{0_i_ego}(t_k) < s_{br_ss_ego_i}(t_k)$, zu

$$(10) \quad T_{C_ss_ego_i}(t_k) = T_{ss_ego}(t_k) \cdot \left\{ 1 - \sqrt{1 + \frac{2 \cdot \bar{d}0 \cdot a_{ego} - a_{ego}^2 \cdot T_R^2}{[v_{0_ego} - a_{ego} \cdot T_R]^2}} \right\}$$

mit $\bar{d}0 = d_{0_i_ego} + \frac{1}{2} \left[\frac{v_{0_i}^2}{-a_{-i}} \right]$ bei einem gebremsten Voraus - Fahrzeug (i)

und $\bar{d}0 = d_{0_i_ego}$ bei einem zum Prädiktionsbeginn stillstehenden Fahrzeug (i)

Der prädizierte Berühr-Zeitabstand bzw. Kollisions-Zeitabstand des gebremsten Fahrzeugs F zu einem bewegten, insbesondere bremsenden oder langsamer fahrenden, Vorausfahrzeug (i) ergibt sich, für den Fall, dass der Anfangsabstand kleiner als die Dynamisch-Kritische-Bremswegstrecke ist, d. h. für $d0_{i_ego}(t_k) < s_{br_kr_ego_i}(t_k)$, zu:

$$(11) \quad T_{C_kr_ego_i}(t_k) = T_{kr}(t_k) \cdot \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot d0 \cdot a_{rel} - a_{rel} \cdot a_{ego} \cdot T_R^2}{[-v0_{rel} - a_{ego} \cdot T_R]^2}} \right\}$$

mit $v0_{rel} = v0_i - v0_{ego}$ und $d0 = d0_{i_ego}$
mit $a_{rel} = a_i - a_{ego}$ bei einem gebremsten Voraus - Fahrzeug (i)
mit $a_{rel} = -a_{ego}$ bei einem ungebremsten langsameren Voraus - Fahrzeug (i)

Der Maximalwert der prädizierten relativen Bremswegstrecke ergibt sich aus dem Maximum von Stillstands-Bremswegstrecke und Dynamisch-Kritischer-Bremswegstrecke zu:

$$(12) \quad s_{br_rel_max}(t_k) = MAX(s_{br_rel_ss}, s_{br_rel_kr}) .$$

In ähnlicher Weise ergeben sich die entsprechenden prädizierten relativen Bremswegstrecken und die für die Längskollision relevanten Kenngrößen für den Fall, dass das für die Kollision betrachtete Fahrzeug ein von hinten kommendes gebremsten Folgefahrzeug (j) und das eigene Fahrzeug F ein gebremstes Vorausfahrzeug (i) ist.

Prinzipiell können die für die Längskollisionsbewertung relevanten fahrsituationsabhängigen Kenngrößen aus den Gleichungen (1) bis (12) auch durch Prädiktion mittels numerischer Voraussimulation bestimmt werden. Dies kann bei komplizierteren Bremstrajektorien vorteilhaft sein, da eine analytische Lösung für die Bestimmung der relevanten Kenngrößen schwieriger als eine numerische Voraussimulation sein kann.

Das Verfahren sieht vor, dass bei erstmaliger sicherer Detektion eines Vorausfahrzeuges (i) zum Zeitpunkt $t_k = t_{Det}$, wobei t_{Det} der Detektionszeitpunkt ist, die Anfangswerte aus den Messgrößen wie folgt festgelegt werden:

Für den Anfangsabstand $d0_{i_ego}$ wird der gemessene Ist-Abstand ($d0_{i_ego}(t_k) = d_{mess_i}(t_k = t_{Det})$), für die eigene Anfangs-Fahrgeschwindigkeit wird die gemessene Ist-

Fahrgeschwindigkeit ($v0_{ego} = v_{ego_mess}(t_k = t_{Det})$), für die eigene negative Beschleunigung wird die bei ABS-Vollbremsung realisierbare negative Beschleunigung ($a_{ego} = ax_min_ABS$), für die Anfangs-Fahrgeschwindigkeit vom betrachteten Voraufahrzeug (i) wird die Summe aus der gemessenen Relativgeschwindigkeit und der gemessenen Ist-Fahrgeschwindigkeit ($v0_i = v_{rel_mess_i}(t_k = t_{Det}) + v_{ego_mess}(t_k = t_{Det})$) und für die negative Beschleunigung vom betrachteten Voraufahrzeug (i) wird die Summe aus der gemessenen Relativbeschleunigung und der gemessenen Ist-Beschleunigung ($a_i = a_{rel_mess_i}(t_k = t_{Det}) + a_{ego_mess}(t_k = t_{Det})$) verwendet.

Falls das betrachtete Voraufahrzeug (i) nicht bereits bei zum betrachteten Zeitpunkt t_k stillsteht, kann sofern keine Messgrößen verfügbar sind, alternativ die als konstant angesetzte negative Beschleunigung vom Voraufahrzeug (i) auch aus einer best-case und worst-case Betrachtung, welche die Art des Fahrzeuges, z.B. Personenkraftwagen oder Lastkraftwagen, und somit das maximale Bremsvermögen des betrachteten Voraufahrzeugs (i) berücksichtigt, festgelegt werden.

Außerdem kann prinzipiell bei der Festlegung des Anfangsabstandes $d0_{i_ego}$ ein zusätzlicher Sicherheits- bzw. Reserveabstand d_{res} berücksichtigt werden. Damit ergibt sich ein reduzierter Abstand. Der reduzierte Anfangsabstand bzw. Detektionsabstand ergibt sich dann zu $d0_{i_ego}(t_k = t_{Det}) = d_{mess_i}(t_k = t_{Det}) - d_{res}$.

Die Bewegungsprädiktion und die Bestimmung der für die Längskollisionsbewertung relevanten Kenngrößen werden für alle in den Umfeld-Bereichen vorhandenen Fahrzeuge durchgeführt. Die Auswertung der Modellgleichungen und die Überprüfung auf Kollisionsfreiheit erfolgt zuerst für den vorderen Freiraum FR_V , welcher durch das in der Momentan-Spur vorhandene erste weitere Fahrzeug F1 nach vorne begrenzt wird, um zu klären, ob eine drohende Kollision mit der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 verhindert werden kann. Ob eine drohende Kollision durch sofortige Vollbremsung mit der bei ABS-Vollbremsung realisierbaren negativen Beschleunigung ($a_{ego} = ax_min_ABS$) verhindert werden kann ist abhängig vom Anfangsabstand bzw. vom reduzierten Anfangsabstand und der während der ABS-Vollbremsung relativ zum Voraufahrzeug (i), hierbei das erste weitere Fahrzeug F1, benötigten Bremswegstrecke.

Damit es nach dem zum Zeitpunkt t_k erfolgten Start einer Bremsung sowohl am Ende der Bremsung als auch zu keinem prädizierten Zeitpunkt während der Bremsung keine

Kollision gibt, darf der prädizierte dynamische Ist-Abstand $d_{1_ego}(t_k, \tau)$ vom Fahrzeug F zum ersten weiteren Fahrzeug F1 nicht negativ werden. Dies bedeutet für den Fall, bei dem sich das erste weitere Fahrzeug F1 noch bewegt, dass der Anfangsabstand bei der Bremsung $d0_{1_ego}(t_k)$ größer als die prädizierte relative Stillstands-Bremswegstrecke $s_{br_ss_ego_1}(t_k)$ und gleichzeitig auch größer als die prädizierte Dynamisch-Kritische-Bremswegstrecke $s_{br_kr_ego_1}(t_k)$ sein muss.

Das Verfahren sieht weiterhin vor, dass bei erstmaliger sicherer Detektion eines Vorausfahrzeuges (i), hierbei das erste weitere Fahrzeug F1, zum Zeitpunkt $t_k = t_{Det}$ die Bewegungsprädiktion des eigenen Fahrzeuges F mit ABS-Vollbremsung ($a_{ego} = ax_min_ABS$) durchgeführt wird und folgende Bedingung für eine Längs-Kollisionsfreiheit.

$$(13) \quad (d0_{1_ego}(t_k) > s_{br_ss_ego_1}(t_k)) \quad \text{UND} \quad (d0_{1_ego}(t_k) > s_{br_kr_ego_1}(t_k)) \text{ ausgewertet wird.}$$

Fazit: Liefert die Auswertung der Bewegungsprädiktion mit ABS-Vollbremsung des eigenen Fahrzeuges F, hierbei ein Folgefahrzeug, dass die Bedingung (13) für eine Längs-Kollisionsfreiheit mit dem weiteren ersten Fahrzeug F1 erfüllt ist, kann eine drohende Kollision mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 mit der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 verhindert werden.

Wenn hingegen die Auswertung der Prädiktion ergibt, dass die Bedingung (13) für eine Längs-Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 nicht erfüllt ist, kann eine drohende Kollision mit der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 auch mit ABS-Vollbremsung nicht verhindert werden. Für diesen Fall ergibt sich für den betrachteten vorderen Freiraum FR_V in der Momentan-Spur als Freiraum-Status-Information „Status_ FR_V = Nicht Kollisionsfrei bei EGO-Vollbremsung (NKF)“. Es wird augenblicklich mit der ABS-Vollbremsung gestartet um Kollisionsschäden zu mindern und es wird zusätzlich überprüft, ob es eine Ziel-Spur bzw. einen Ziel-Korridor gibt, in die bzw. in den ein Ausweichen bei gleichzeitiger Vollbremsung kollisionsfrei möglich ist.

Damit es während eines Ausweichens in einen kollisionsfreien Freiraum FR einer Ziel-Spur nicht doch noch zu einer Kollision mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur kommt, muss der Ausweichvorgang vor Erreichen des ersten weiteren Fahrzeuges F1 abgeschlossen sein. Dies ist insbesondere bei Fahrsituationen, in denen das erste weitere Fahrzeug 1, insbesondere ein Vorausfahrzeug (i), in der Momentan-

Spur erst sehr spät erkannt werden kann, z. B. witterungsbedingt, straßengeometriebedingt, begrenzte Sensorreichweite, usw., nicht immer gegeben.

Die verbleibende Zeit bzw. der Zeitabstand bis das eigene mit negativer Beschleunigung (a_{ego}) bremsende Fahrzeug F während einer Bremsung das erste weitere Fahrzeug F1 gemäß den Gleichungen (10) und (11) berührt, hängt vom Anfangsabstand, der prädierten relativen Stillstands-Bremswegstrecke und der prädierten Dynamisch-Kritischen-Bremswegstrecke ab.

Zur Überprüfung, ob es nach dem zum Zeitpunkt t_k erfolgten Start einer ABS-Vollbremsung bei zusätzlichem Ausweichen noch zu einer Ausweich-Kollision mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur kommt, wird im Folgenden der sogenannte relevante Berühr-Zeitabstand bzw. Kollisions-Zeitabstand ($T_{C_ego_1}(t_k)$) bestimmt und mit der benötigten Ausweichzeit verglichen. Der fürs Ausweichen prädierte relevante Berühr-Zeitabstand ist vom Ergebnis der Auswertung der Bewegungsprädiktion abhängig und wird für jede Fahrsituation bestimmt.

Für den Fall, dass bei der Auswertung der Bewegungsprädiktion die beiden Ungleichungen:

$$(14) \quad (d0_1_ego(t_k) < s_{br_ss_ego_1}(t_k)) \text{ UND } (d0_1_ego(t_k) > s_{br_kr_ego_1}(t_k))$$

erfüllt sind, d. h. dass der zum betrachteten Zeitpunkt $t_k = t_{Det}$ vorhandene Anfangsabstand kleiner als die relative Stillstands-Bremswegstrecke ist, ergibt sich der relevante Berühr-Zeitabstand zum betrachteten Vorfahrzeug aus dem Stillstands-Bremswegbedingten Zeitabstand zu: $T_{C_ego_1}(t_k) = T_{C_ss_ego_1}(t_k)$.

Für den Fall, dass sich bei der Auswertung der Bewegungsprädiktion für die beiden Ungleichungen:

$$(15) \quad (d0_1_ego(t_k) > s_{br_ss_ego_1}(t_k)) \text{ UND } (d0_1_ego(t_k) < s_{br_kr_ego_1}(t_k))$$

erfüllt, d. h. dass der Anfangsabstand kleiner als die Dynamisch-Kritische-Bremswegstrecke ist, ergibt sich der relevante Berühr-Zeitabstand zum betrachteten

Vorausfahrzeug aus dem Dynamisch-Kritischen Bremswegbedingten Zeitabstand zu:

$$T_{C_ego_1}(t_k) = T_{C_kr_ego_1}(t_k).$$

Für den Fall, dass sich bei der Auswertung der Bewegungsprädiktion für die beiden Ungleichungen:

$$(16) \quad (d0_1_ego(t_k) < s_{br_ss_ego_1}(t_k)) \quad \text{UND} \quad (d0_1_ego(t_k) < s_{br_kr_ego_1}(t_k))$$

ergibt, d. h. dass der Anfangsabstand sowohl kleiner als die relative Stillstands-Bremswegstrecke als auch kleiner als die Dynamisch-Kritische-Bremswegstrecke ist, ergibt sich der relevante Berühr-Zeitabstand zum betrachteten ersten weiteren Fahrzeug F1 aus dem Minimum der beiden Zeitabstände zu:

$$T_{C_ego_1}(t_k) = \text{MIN}(T_{C_ss_ego_1}(t_k), T_{C_kr_ego_1}(t_k)).$$

Das Verfahren sieht zudem vor, dass bei erstmaliger sicherer Detektion eines Vorausfahrzeuges (i), hierbei das erste weitere Fahrzeug F1, zum Zeitpunkt $t_k = t_{\text{Det}}$ die Bewegungsprädiktion des eigenen Fahrzeuges F mit ABS-Vollbremsung durchgeführt wird und für den Fall, dass die Auswertung der Bewegungsprädiktion ergibt, dass die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit mit dem Vorausfahrzeug (i) nicht erfüllt ist und somit eine drohende Kollision mit der ersten Kollisionsvermeidungsbetriebsart K1 mit ABS-Vollbremsung des eigenen Fahrzeuges F nicht verhindert werden kann, der relevante Kollisions-Zeitabstand $T_{C_ego_1}(t_{\text{Det}})$ zum betrachteten Vorausfahrzeug (i) in der Momentan-Spur durch Auswertung der Ungleichungen (14), (15) und (16) mit dem Anfangsabstand $(d0_1_ego(t_k = t_{\text{Det}}) = d_{\text{mess_1}}(t_k = t_{\text{Det}}) - d_{\text{res}})$ bestimmt wird.

In der Querkollisionsbewertungseinheit 8.2 wird für einen betrachteten Zeitpunkt t_k entsprechend der vorgesehenen Ausweich-Trajektorie f_{AW} die für das Ausweichen in eine potentielle Ziel-Spur erforderliche Ausweichzeit T_{AW_Ziel} abhängig vom erforderlichen Ausweich-Zielquerversatz y_{AW_Ziel} und abhängig von einer während des Ausweichens maximal zugelassenen Querbeschleunigung ay_{max} zu

$$(17) \quad T_{AW_Ziel}(t_k) = K_{irj} \cdot \sqrt{\frac{y_{AW_Ziel}}{ay_{\text{max}}}} + T_{R_Lenk} + T_{AW_sav} \text{ bestimmt.}$$

Hierbei bezeichnet K_{trj} einen die Bahnform der Ausweich-Trajektorie bestimmenden Bewertungsfaktor, T_{R_Lenk} einen Zeitverzug mit dem das eigene Fahrzeug F lenkt bzw. ausweicht und T_{AW_sav} einen Sicherheits-Zeitabstand, z.B. zur Berücksichtigung von Messungenauigkeiten.

Der für das Ausweichen notwendige Ausweichquerversatz y_{AW} kann zu:

$$(18) \quad y_{AW}(t_k) = 0.5 \cdot B_{EGO} + y_{i_AK}(t_k) + y_{sav}$$

festgelegt werden.

Hierbei ist $y_{i_AK}(t_k)$ der zum Zeitpunkt t_k vorhandene Abstand einer Außenkante des Vorauszfahrzeuges (i) in Ausweichrichtung bezogen zur Mittelposition M des eigenen Fahrzeugs F und y_{sav} ein lateraler Sicherheitsabstand.

Mit dem zum Zeitpunkt t_k gemessenen lateralen Abstand $y_{1_AK_li_mess}(t_k)$ zur linken Außenkante des ersten weiteren Fahrzeugs F1 ergibt sich mit ($y_{1_AK} = y_{1_AK_li_mess}(t_k)$) aus Gleichung (18) ein notwendiger linker Ausweichquerversatz y_{AW_li} für das Ausweichen in den linken vorderen Freiraum FR_V_li und aus Gleichung (17) eine hierfür erforderliche linke Ausweichzeit T_{AW_li} .

Entsprechend ergibt sich mit dem gemessenen lateralen Abstand ($y_{1_AK_re_mess}(t_k)$) zur rechten Außenkante des ersten weiteren Fahrzeugs F1 aus Gleichung (18) ein notwendiger rechter Ausweichquerversatz y_{AW_re} für das Ausweichen in den vorderen rechten Freiraum FR_V_re und aus Gleichung (17) eine hierfür erforderliche rechte Ausweichzeit T_{AW_re} . Es wird für jede potentielle Ziel-Spur der erforderliche Ausweich-Zielquerversatz y_{AW_Ziel} bestimmt. Die Festlegung der Ausweichrichtung und des endgültigen Ziel-Ausweichquerversatzes y_{AW_Ziel} erfolgt fahrsituationsabhängig vom Vorhandensein kollisionsfreier Freiräume FR.

Für den Fall, dass bereits zum Detektionszeitpunkt $t_k = t_{Det}$ eine drohende Kollision mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 auch mit ABS-Vollbremsung des eigenen Fahrzeugs F nicht verhindert werden kann, wird zur Bestimmung der Ausweichzeit die bei ABS-Vollbremsung noch physikalisch realisierbar die Querschleunigung ($ay_{max} = ay_{max_ABS}$), welche entweder vom

Fahrsicherheitssystem, insbesondere vom ABS, von der Fahrsicherheitseinrichtung 13 zur Verfügung gestellt wird oder in der Querkollisionsbewertungseinheit 8.2 selbst ermittelt wird, verwendet.

Damit es nach dem zum Zeitpunkt t_k erfolgten Start des Ausweichvorganges in einen kollisionsfreien Freiraum FR einer Ziel-Spur nicht noch zu einer Ausweich-Kollision mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur kommt, muss der verfügbare relevante Berühr-Zeitabstand ($T_{C_ego_1}(t_k)$) größer als die zum Ausweichen erforderliche Ausweichzeit ($T_{AW_Ziel}(t_k)$) sein.

Das Verfahren sieht vor, dass bei erstmaliger sicherer Detektion eines Vorfahrzeuges (i) zum Zeitpunkt $t_k = t_{Det}$ die Bewegungsprädiktion des eigenen Fahrzeuges F mit ABS-Vollbremsung ($a_{ego} = a_{x_min_ABS}$) durchgeführt wird, die Ausweichzeit T_{AW_Ziel} abhängig vom erforderlichen Ziel-Ausweichquerversatz y_{AW_Ziel} und abhängig von der bei einer Vollbremsung mit ABS maximal möglichen Querbeschleunigung ($a_{y_max} = a_{y_max_ABS}$) für jede potentielle Ziel-Spur bestimmt wird und für den Fall, dass die Auswertung der Bewegungsprädiktion ergibt, dass die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit mit einem Vorfahrzeug (i) nicht erfüllt ist und somit eine drohende Kollision mit einem Vorfahrzeug (i) mit der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 mit ABS-Vollbremsung nicht verhindert werden kann, folgende Bedingung für die Ausweichzeit:

$$(19) \quad (T_{C_ego_1}(t_k) > T_{AW_Ziel}(t_k)) \text{ ausgewertet wird.}$$

D. h.: Liefert die Auswertung des relevanten Berühr-Zeitabstandes und der Ausweichzeit, dass die Bedingung (19) für Ausweich-Längs-Kollisionsfreiheit mit dem Vorfahrzeug (i) in der Momentan-Spur bei ABS-Vollbremsung und Ausweichen in eine Ziel-Spur erfüllt ist, kann eine drohende Kollision mit dem Vorfahrzeug (i), die mit der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 mit ABS-Vollbremsung nicht mehr verhindert werden kann, mit der dritten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K3 verhindert werden.

Bevor ein Ausweichvorgang zum betrachteten Zeitpunkt t_k gestartet wird, wird jedoch prinzipiell überprüft, ob es während und nach dem Ausweichvorgang in eine Ziel-Spur zu einer Kollision mit einem bereits in der Ziel-Spur vorhanden oder in die Ziel-Spur eindringenden Fahrzeug kommen kann.

Das Verfahren sieht vor, dass bei erstmaliger sicherer Detektion eines Voraufahrzeuges (i) in der Momentan-Spur und weiterer Voraufahrzeuge (p) in potentiellen Ziel-Spuren zum Zeitpunkt $t_k = t_{Det}$ Bewegungsprädiktionen für das eigene Fahrzeug F mit ABS-Vollbremsung ($a_{ego} = ax_{min_ABS}$) und für jedes der Voraufahrzeuge (p) in potentiellen Ziel-Spuren durchgeführt werden und jeweils die Bedingungen für Längs-Kollisionsfreiheit mit Voraufahrzeugen gemäß Gleichung (13) ($d0_{p_ego}(t_k) < s_{br_ss_ego_p}(t_k)$) und ($d0_{p_ego}(t_k) < s_{br_kr_ego_p}(t_k)$) ausgewertet werden.

Die Überprüfung einer potentiellen Ziel-Spur und die Entscheidung, ob in die potentielle linke oder potentielle rechte Ziel-Spur ausgewichen wird, wird an dem in Figur 3 dargestellten Beispiel erläutert.

In der gezeigten Fahrsituation ist sowohl die linke als auch die rechte Nachbar-Spur eine potentielle Ziel-Spur. Die in den potentiellen Ziel-Spuren vorhandenen weiteren Fahrzeuge F2, F3 befinden sich in den vorderen Umfeld-Bereichen UB_V_li , UB_V_re . Da in den hinteren Umfeld-Bereichen UB_H , UB_H_li , UB_H_re keine Objekte vorhanden sind, reicht es in diesem Fall aus zu überprüfen, ob es nach dem Ausweichvorgang in eine Ziel-Spur eine Längs-Kollision mit einem bereits in der Ziel-Spur vorhandenen Voraufahrzeug (i) kommt.

Es werden in der Längskollisionsbewertungseinheit 8.1 zusätzlich zu den Bewegungsprädiktionen für das eigene Fahrzeug F mit ABS Vollbremsung und für das Voraufahrzeug (i) in der Momentan-Spur, hierbei das erste weitere Fahrzeug F1, auch Bewegungsprädiktionen für das zweite weitere Fahrzeug F2 mit dem Anfangsabstand $d0_li$ und für das dritte weitere Fahrzeug F3 mit dem rechten Anfangsabstand $d0_re$ durchgeführt und abhängig vom Ergebnis der Auswertungen eine Ziel-Spur festgelegt. Die Anfangsabstände ergeben sich mit gemessenen Abständen für das erste weitere Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur zu $d0(t_{Det}) = d_{mess_1}(t_k = t_{Det}) - d_{res_1}$ und für das zweite und dritte weitere Fahrzeug F2, F3 zu $d0_li(t_{Det}) = d_{mess_2}(t_k = t_{Det}) - d_{res_2}$ und $d0_re(t_{Det}) = d_{mess_3}(t_k = t_{Det}) - d_{res_3}$.

Liefert die Auswertung für die betrachtete linke bzw. rechte potentielle Ziel-Spur, dass die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit mit dem zweiten weiteren Fahrzeug F2 bzw. dem dritten weiteren Fahrzeug F3 und auch die Bedingung (19) für Ausweich-Längs-Kollisionsfreiheit mit dem Voraufahrzeug (1) in der Momentan-Spur bei ABS-

Vollbremsung des eigenen Fahrzeuges F und ausweichen in die betrachtete linke bzw. rechte potentielle Ziel-Spur erfüllt sind, ergibt sich für den betrachteten linken bzw. rechten Freiraum FR_V_ziel der potentiellen Ziel-Spur als Freiraum-Status-Information „Status_ FR_V_ziel = Kollisionsfrei (KF)“.

Liefern die Auswertungen der Bedingungen für Kollisionsfreiheit (13) und (19), dass nur der linke vordere Freiraum FR_V_li alleine kollisionsfrei ist, d. h. Status_ FR_V_li = Kollisionsfrei (KF), so wird als Ziel-Freiraum der linke vordere Freiraum FR_V_li festgelegt ($FR_ziel = FR_V_li$, Status_ FR_ziel = Kollisionsfrei (KF)).

Liefern die Auswertungen der Bedingungen (13) und (19), dass nur der rechte vordere Freiraum FR_V_re alleine kollisionsfrei ist, d. h. Status_ FR_V_re = Kollisionsfrei (KF), so wird als Ziel-Freiraum der rechte vordere Freiraum FR_V_re festgelegt ($FR_ziel = FR_V_re$, Status_ FR_ziel = Kollisionsfrei (KF)).

Liefern die Auswertungen der Bedingungen (13) und (19), dass sowohl der linke vordere Freiraum FR_V_li als auch der rechte vordere Freiraum FR_V_re kollisionsfrei ist (d. h. Status_ FR_V_li = Kollisionsfrei (KF) UND Status_ FR_V_re = Kollisionsfrei (KF)), so wird als Ziel-Freiraum derjenige Freiraum ausgewählt, bei dem der relevante Berühr-Zeitabstand bzw. Kollisions-Zeitabstand: ($T_{C_ego_li}$, $T_{C_ego_re}$) bzw. der dynamisch kleinste Abstand ($d_{kr_li_ego}$, $d_{kr_re_ego}$) am größten ist.

Somit wird der rechte vordere Freiraum FR_V_re als Ziel-Freiraum gewählt, wobei gilt: $FR_ziel = FR_V_re$, wenn ($d_{kr_re_ego} > d_{kr_li_ego}$) ist und es wird der linke vordere Freiraum FR_V_li als Ziel-Freiraum gewählt, wobei gilt: $FR_ziel = FR_V_li$, wenn ($d_{kr_re_ego} < d_{kr_li_ego}$) ist.

Liefern die Auswertungen der Bedingungen (13) und (19), dass sowohl der linke vordere Freiraum FR_V_li als auch der rechte vordere Freiraum FR_V_re nicht kollisionsfrei ist (d. h. Status_ FR_V_li = Nicht Kollisionsfrei (NKF) UND Status_ FR_V_re = Nicht Kollisionsfrei (NKF)), so gibt es keinen kollisionsfreien Ziel-Freiraum ($FR_ziel = 0$, Status_ FR_ziel = Nicht Kollisionsfrei (NKF)).

Nur wenn die die Auswertungen der Bedingungen für Kollisionsfreiheit nach den Bedingungen (13) und (19) einen kollisionsfreien Freiraum liefern, erfolgt zur

Verhinderung einer drohenden Kollision ein Wechsel von der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 in die dritte Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K3.

Das Verfahren sieht vor, dass auch nach der erstmaligen Detektion eines Vorausfahrzeugs (i) ständig zu jedem realen Zeitpunkt $t_k > t_{Det}$ eine Bewegungsprädiktion des eigenen Fahrzeuges F mit ABS-Vollbremsung ($a_{ego} = a_{x_min_ABS}$) durchgeführt wird und die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit sowie die Bedingung (19) für Ausweich-Längs-Kollisionsfreiheit mit einem Vorausfahrzeug (i) überprüft wird, um eine drohende Kollision, welche durch verändertes Fahrverhalten des Vorausfahrzeugs (i) oder durch neu eingetretene Ereignisse entstehen können, zu verhindern.

Figur 4 zeigt ein Weg-Zeitdiagramm für die prädizierten Fahrzeugbewegungen der in Figur 3 vorgestellten Fahrsituation für den speziellen Fall, dass das erste weitere Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur des eigenen Fahrzeuges F, das zweite weitere Fahrzeug F2 in der linken Nachbar-Spur und das dritte weitere Fahrzeug F3 in der rechten Nachbar-Spur bereits zum Detektionszeitpunkt $t_k = t_{Det}$ stillstehen und das eigene Fahrzeug F mit einer Fahrgeschwindigkeit v_{ego} oberhalb der Grenzfahrgeschwindigkeit ($v_{ego} > v_{ego_grenz}$) sich dem stehenden ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur nähert.

Die Abszisse des Weg-Zeit-Diagramms ist die Prädiktionszeit τ und die Ordinate ist der Weg X.

Zum Detektionszeitpunkt ($t_k = t_{Det}$) ergeben sich mit den gemessenen Abständen $d_{mess_1}(t_k = t_{Det})$, $d_{mess_2}(t_k = t_{Det})$ und $d_{mess_3}(t_k = t_{Det})$ der Anfangsabstand zum ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur $d0_m$ und die spurbezogenen Anfangsabstände zu dem zweiten und dritten weiteren Fahrzeugen F2, F3 in den Nachbar-Spuren $d0_re$ und $d0_li$ mit der Relation $d0_re > d0_li > d0_m$.

Die von Fahrzeugen F, F1 bis F3 zurückgelegten Wege sind mit X_F , X_1 , X_2 und X_3 bezeichnet. Bei dem in Figur 4 gezeigten Beispiel wird die Bremstrajektorie gemäß der Gleichung (1c) verwendet. Die Wegposition des eigenen Fahrzeuges F ergibt sich aus der in der Prädiktionszeit τ zurückgelegten Wegstrecke zu $X_F(\tau) = s_{br_ego}(t_k, \tau)$. Die Wegposition X_{SS_EGO} ist die Position an dem das eigene Fahrzeuges F zum Stillstand gekommen ist. Sie ergibt sich aus der absoluten Stillstands-Bremswegstrecke.

Mit der Anfangsfahrgeschwindigkeit $v0_ego$ und der ABS-Vollbremsung ergibt sich hier näherungsweise ein parabelförmiger Verlauf der Eigenlängsbewegung. Die zum Vergleich ebenfalls gestrichelt dargestellte ungebremste Eigenlängsbewegung besitzt einen annähernden linearen Verlauf. Zu Beginn einer Weg-Zeit Betrachtung ergibt sich der zurückgelegte Weg X_1 des ersten weiteren Fahrzeugs F1 in der Momentan-Spur aus dem Anfangsabstand $d0_m$. Der zurückgelegte Weg X_2 des zweiten weiteren Fahrzeugs F2 in der linken-Spur ergibt sich aus dem gemessenen Anfangsabstand $d0_li$ und der zurückgelegte Weg X_3 des dritten weiteren Fahrzeugs F3 in der rechten-Spur ergibt sich aus dem gemessenen Anfangsabstand $d0_re$. Die in der Verkehrssituationsbestimmungseinheit 8.3 durchgeführte Auswertung liefert als Verkehrssituationstyp „Stauende auf Autobahn“, da die weiteren Fahrzeuge F1 bis F3 bereits bei der Detektion stillstehen.

Die Auswertung der Bewegungsprädiktion mit ABS-Vollbremsung des eigenen Fahrzeuges F, welches hierbei ein Folgefahrzeug darstellt, in der dargestellten Fahrsituation ergibt, dass sowohl die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur und auch die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit mit dem zweiten weiteren Fahrzeug F2 in der linken Nachbar-Spur nicht erfüllt sind, da $(d0_m(t_k) < s_{br_ss_ego_1}(t_k))$ und auch $(d0_li(t_k) < s_{br_ss_ego_2}(t_k))$ ist.

Die prädizierten Kollisionszeiten bzw. Zeitabstände bis zur Kollision sind $T_{C_ego_1}(t_k)$ und $T_{C_ego_2}(t_k)$. Die parallel zur Zeitachse verlaufenden Bewegungslinien $X_1(\tau)$, $X_2(\tau)$ kreuzen die Bewegungslinie $X_F(\tau)$ des eigenen Fahrzeugs F zu den jeweiligen Kollisionszeiten.

Für den vorderen Freiraum FR_V in der Momentan-Spur ergibt sich als Freiraum-Status-Information $Status_FR_V = \text{„Nicht Kollisionsfrei bei Vollbremsung des eigenen Fahrzeugs F (NKF)“}$. Für den linken vorderen Freiraum FR_V_li in der linken Nachbar-Spur ergibt sich als Freiraum-Status-Information „Nicht Kollisionsfrei (NKF)“.

Die Auswertung für die rechte potentielle Ziel-Spur liefert, dass die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit mit dem dritten weiteren Fahrzeug F3 in der rechten Nachbar-Spur und auch die Bedingung (19) für Ausweich-Längs-Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur bei Ausweichen in die rechte Nachbar-Spur erfüllt sind.

Der rechte vordere Freiraum FR_V_re in der rechten Nachbar-Spur ist daher Kollisionsfrei. Somit ergibt sich als Ziel-Freiraum der rechte Freiraum (FR_ziel = FR_V_re, Status_FR_ziel = Kollisionsfrei (KF)). Da die erste Transitionsbedingung A erfüllt ist, erfolgt zur Kollisionsvermeidung ein Übergang von der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 in die dritte Kollisionsvermeidung-Betriebsart K3.

Die Auslösung des Ausweichvorganges kann sofort zum Detektionszeitpunkt ($t_k = t_{Det}$) erfolgen, da nach Gleichung (10) der Berühr-Zeitabstand $T_{C_ego_1}(t_{Det})$ zum ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur größer als die zum Ausweichen benötigte Zeit $T_{AW_Ziel}(t_{Det})$ ist. Die Zeitreserve bis zur zuletzt möglichen Aktivierung des Ausweichvorganges ergibt sich aus der Differenz des Berühr-Zeitabstands $T_{C_ego_1}(t_{Det})$ und der benötigten Zeit $T_{AW_Ziel}(t_{Det})$. Die Auslösung des Ausweichvorganges zu einem Zeitpunkt (t_j) nach dem Detektionszeitpunkt muss also im Zeitintervall in der

$$\left[T_{C_ego_1}(t_{Det}) - T_{AW_Ziel}(t_{Det}) \right] \geq (t_j - t_{Det}) \geq 0 \text{ erfolgen, also spätestens zu einem realen}$$

Zeitpunkt, bei dem nach Gleichung (10) der ständig berechnete Berühr-Zeitabstand $T_{C_ego_1}(t_j)$ zum ersten weiteren Fahrzeug F1 die zum Ausweichen benötigte Zeit $T_{AW_Ziel}(t_j)$ erreicht hat bzw. zu unterschreiten beginnt d.h. bei ($T_{C_ego_1}(t_j) = T_{AW_Ziel}(t_j)$) ist.

In Figur 5 ist eine weitere Fahrsituation beispielhaft mit 4 Fahrzeugen F, F1 bis F3 und 2 Fahrspuren und in Figur 6 das zugehörige Weg-Zeit-Diagramm dargestellt.

Hierbei befindet sich das eigene Fahrzeug F in der rechten Fahrspur, welche hierbei die Momentan-Spur darstellt. Das erste weitere Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur und auch das weiter entfernte zweite weitere Fahrzeug F2 und das nähere dritte weitere Fahrzeug F3 in der linken Nachbar-Spur stehen bereits zum Detektionszeitpunkt $t_k = t_{Det}$ still. Das eigene Fahrzeug F mit einer Fahrgeschwindigkeit v_{ego} oberhalb der Grenzfahrgeschwindigkeit ($v_{ego} > v_{ego_grenz}$) nähert sich dem stehenden ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur.

Mit den zum Detektionszeitpunkt ($t_k = t_{Det}$) gemessenen Abständen $d_{mess_1}(t_k = t_{Det})$, $d_{mess_2}(t_k = t_{Det})$, $d_{mess_3}(t_k = t_{Det})$ zu den weiteren Fahrzeugen F1 bis F3 und dem Abstand zur Vorderkante des nahen dritten weiteren Fahrzeugs F3 $d_{mess_3VK}(t_k = t_{Det})$ ergeben sich die Anfangsabstände mit der Relation $d0_2_ego > d0_1_ego > d0_3_ego > d0_3VK_ego$. Die von allen Fahrzeugen F, F1 bis F3 zurückgelegten Wege sind mit X_F , X_1 , X_2 und X_3 und der

von der Vorderkante des nahen dritten weiteren Fahrzeugs F3 zurückgelegte Weg ist mit X_{3VK} bezeichnet.

Die in der Verkehrssituationsbestimmungseinheit 8.3 durchgeführte Auswertung ergibt als Verkehrssituationstyp „Stauende auf Autobahn“, da die weiteren Fahrzeuge F1 bis F3 bereits bei der Detektion stillstehen. Zwischen dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur und der Vorderkante (VK) des nahen dritten weiteren Fahrzeugs F3 ist eine Ortslücke der Länge $(d0_{1_ego} - d0_{3VK_ego})$.

Die Auswertung der Bewegungsprädiktion des eigenen Fahrzeuges F, hierbei das Folgefahrzeug, mit ABS-Vollbremsung ergibt, dass die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur nicht erfüllt ist. Die prädiizierte Kollisionszeit bis zur Kollision mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur ist $T_{C_ego_1}(t_k)$. Die parallel zur Zeitachse verlaufende Bewegungslinie $X_1(\tau)$ kreuzt die Bewegungslinie $X_F(\tau)$ des eigenen Fahrzeuges F zu dieser Kollisionszeit in einem ersten Punkt P1.

Für den vorderen Freiraum FR_V in der Momentan-Spur ergibt sich als Freiraum-Status-Information $Status_FR_V = \text{„Nicht Kollisionsfrei bei Vollbremsung des eigenen Fahrzeuges F (NKF)“}$. Der einzige Freiraum in der linken Nachbar-Spur, insbesondere der linke vordere Freiraum FR_V_li ist nach vorne durch das weiter entfernte zweite weitere Fahrzeug F2 und nach hinten durch die Vorderkante des nahen dritten weiteren Fahrzeugs F3 eingeschränkt. Die Bedingung (19) für Ausweich-Längs-Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur bei ausweichen in die linke Nachbar-Spur wird aufgrund dieser örtlichen Einschränkung erweitert. Für die Ausweich-Längs-Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur und dem den Ausweichraum einschränkenden dritten weiteren Fahrzeug F3 in der Ziel-Spur ergibt sich die Bedingung für die Ausweichzeit zu

$$(20) \quad (T_{C_ego_1}(t_{Det}) - T_{C_ego_3VK}(t_{Det})) > T_{AW_Ziel}(t_{Det}).$$

Da im vorliegenden Beispiel die Bedingung nach Gleichung (20) erfüllt ist, kann eine drohende Kollision mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1, die mit der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 mit ABS-Vollbremsung nicht mehr verhindert werden kann, mit der dritten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K3 verhindert werden.

Allerdings darf der Ausweichvorgang nicht sofort zum Detektionszeitpunkt ($t_k = t_{Det}$) ausgelöst werden, da es eine Kollision mit dem nahen dritten weiteren Fahrzeug F3 auf der linken Ziel-Spur geben würde.

Die prädizierte Kollisionszeit bis zur Kollision mit der Vorderkante des dritten weiteren Fahrzeugs F3 in der Ziel-Spur ist $T_{C_ego_3VK}(t_k)$. Die Auslösung des Ausweichvorganges zu einem Zeitpunkt (t_j) nach dem Detektionszeitpunkt muss also im Zeitintervall in der

$$\left[T_{C_ego_1}(t_{Det}) - T_{AW_Ziel}(t_{Det}) \right] \geq (t_j - t_{Det}) \geq T_{C_ego_3VK}(t_{Det}) \text{ erfolgen, also}$$

frühestens zum realen Zeitpunkt, bei dem der nach Gleichung (10) ständig berechnete Berühr-Zeitabstand zur Vorderkante des dritten weiteren Fahrzeugs F3 in der linken Ziel-Spur $T_{C_ego_3VK}(t_j)$ den Wert Null erreicht hat und spätestens zu einem realen Zeitpunkt, bei dem nach Gleichung (10) der ständig berechnete Berühr-Zeitabstand $T_{C_ego_1}(t_j)$ zum ersten weiteren Fahrzeug F1 die zum Ausweichen benötigte Zeit $T_{AW_Ziel}(t_j)$ erreicht hat bzw. zu unterschreiten beginnt d.h. bei $(T_{C_ego_1}(t_j) = T_{AW_Ziel}(t_j))$ ist. Unter diesen einschränkenden Bedingungen ist der linke vordere Freiraum FR_V_li in der linken Nachbar-Spur Kollisionsfrei.

In Figur 7 ist eine weitere Fahrsituation vom Verkehrssituationstyp „Stauende auf Autobahn“ beispielhaft mit 4 Fahrzeugen und 2 Fahrspuren dargestellt.

Hierbei befindet sich das eigene Fahrzeug F in der rechten Fahrspur, welche die Momentan-Spur darstellt. Vor dem eigenen Fahrzeug F befindet sich in der Momentan-Spur ein erstes weiteres Fahrzeug F1. In der linken Spur befindet sich ein weiter entferntes, sich mit langsamerer Geschwindigkeit bewegendes zweites weiteres Fahrzeug F2 sowie ein von hinten kommendes drittes weiteres Fahrzeug F3, welches ein Folgefahrzeug darstellt.

Das eigene Fahrzeug F nähert sich einer Fahrgeschwindigkeit v_{ego} oberhalb der Grenzfahrgeschwindigkeit ($v_{ego} > v_{ego_grenz}$) dem stehenden ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur und führt einen Ausweichvorgang durch, dessen Verlauf über die Zeitpunkte t_1 bis t_4 andeutungsweise dargestellt sind ist. Ein erster Zeitpunkt t_1 und ein zweiter Zeitpunkt t_2 sind Zeitpunkte vor dem Auslösen des Ausweichvorganges, ein dritter

Zeitpunkt t_3 ist ein Zeitpunkt während des Ausweichens und ein vierter Zeitpunkt t_4 stellt einen Zeitpunkt nach dem Ausweichen dar.

In Figur 8 ist ein Weg-Zeitdiagramm für die prädizierten Fahrzeugbewegungen der in Figur 7 dargestellten Fahrsituation, im Folgenden auch als Fall 1 und Fall 2 bezeichnet, und auch für zwei weitere Fahrsituationen, im Folgenden auch als Fall 3 und Fall 4 bezeichnet, dargestellt, welche sich durch verschiedene gemessene Anfangsabstände, Anfangsfahrgeschwindigkeiten und Anfangsverzögerungen des auf dem Ziel-Spur vorhandenen dritten weiteren Fahrzeug F3 unterscheiden.

Im Fall 1 und Fall 2 kommt das dritte weitere Fahrzeug F3 jeweils von hinten und ist somit ein Folgefahrzeug für das eigene Fahrzeug F. Im Fall 3 und Fall 4 ist das dritte weitere Fahrzeug F3 jeweils vor dem eigenen Fahrzeug F und damit ein Vorausfahrzeug.

Die Auswertung der Bewegungsprädiktion des eigenen Fahrzeugs F, hierbei als Folgefahrzeug, mit ABS-Vollbremsung ergibt, dass die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur nicht erfüllt ist. Für den vorderen Freiraum FR_V in der Momentan-Spur ergibt sich als Freiraum-Status-Information $Status_FR_V = \text{„Nicht Kollisionsfrei bei Vollbremsung mit dem eigenen Fahrzeug F (NKF)“}$.

Im Fall 1 ergibt die Prädiktion, dass sich das dritte weitere Fahrzeug F3 während der Abbremsung und des Ausweichens sowie beim Stillstand stets hinter dem eigenen Fahrzeug F befindet und es für die Auslösung des Ausweichvorganges keine Einschränkungen gibt ($T_{C_ego_3}(t_k) > T_{C_ego_1}(t_k) > T_{AW_Ziel}(t_k)$). Somit droht in diesem Fall keine Kollision.

Im Fall 2 ergibt die Prädiktion, dass sich das dritte weitere Fahrzeug zu Beginn hinter dem eigenen Fahrzeug F und bei Stillstand vor dem eigenen Fahrzeug F befindet. Die Bewegungslinie $X_3(\tau)$ kreuzt die Bewegungslinie $X_F(\tau)$ des eigenen Fahrzeugs F zur prädizierten Kollisionszeit $T_{C_ego_3}(t_{Det})$ in einem zweiten Punkt P2. Zur Bestimmung dieser Kollisionszeit wird der gemessene Abstand von der Vorderkante des eigenen Fahrzeugs F zum Heck des von hinten auf der Ziel-Spur nahenden dritten weiteren Fahrzeugs F3 $d_{mess_3HK}(t_k = t_{Det})$ zugrunde gelegt.

Für die Ausweich-Längs-Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur und dem den Ausweichraum einschränkenden dritten weiteren Fahrzeug F3 in der Ziel-Spur ergibt sich die Bedingung für die Ausweichzeit zum betrachteten Detektionszeitpunkt ($t_k = t_{Det}$) zu

$$(21) \quad [(T_{C_ego_1}(t_{Det}) - T_{C_ego_3}(t_{Det})) > T_{AW_Ziel}(t_{Det})].$$

Da im vorliegenden Beispiel die Bedingung nach Gleichung (21) erfüllt ist, kann eine drohende Kollision mit dem dritten weiteren Fahrzeug F1, die mit der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 mit ABS-Vollbremsung nicht mehr verhindert werden kann, mit der dritten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K3 verhindert werden, sofern der Ausweichvorgang nicht sofort zum betrachteten Detektionszeitpunkt ($t_k = t_{Det}$) ausgelöst wird, sondern zu einem Zeitpunkt (t_j) nach dem Detektionszeitpunkt im Zeitintervall $[T_{C_ego_1}(t_{Det}) - T_{AW_Ziel}(t_{Det})] \geq (t_j - t_{Det}) \geq T_{C_ego_3}(t_{Det})$.

Unter dieser einschränkenden Bedingung ist der linke vordere Freiraum FR_V_Li in der linken Nachbar-Spur Kollisionsfrei und als Ziel-Freiraum verwendbar.

Im Fall 3 ergibt die Prädiktion, dass sich das dritte weitere Fahrzeug F3 zu Beginn vor dem eigenen Fahrzeug F und bei Stillstand hinter dem eigenen Fahrzeug F befindet. Die Bewegungslinie $X_3(\tau)$ kreuzt die Bewegungslinie $X_F(\tau)$ des eigenen Fahrzeugs F zur prädizierten Kollisionszeit $T_{C_3_ego}(t_{Det})$ in einem dritten Punkt P3. Die drohende Kollision kann in diesem Fall auch durch zusätzliches Ausweichen nicht verhindert werden, da die zum Ausweichen verbleibende Zeit kleiner als die benötigte Ausweichzeit ist $[(T_{C_ego_1}(t_{Det}) - T_{C_3_ego}(t_{Det})) < T_{AW_Ziel}(t_{Det})]$, d. h. die Zeit-Lücke fürs Ausweichen ist zu klein.

Ein früheres Ausweichen auf die linke Ziel-Spur wäre möglich, führt aber nach dem Ausweichvorgang zu einem Auffahrunfall, bei dem das eigene Fahrzeug F dann in die Ziel-Spur zur prädizierten Kollisionszeit $T_{C_3_ego}(t_{Det})$ im dritten Punkt P3 auf das ebenfalls bremsende dritte weitere Fahrzeug F3 auffährt.

Im Fall 4 ergibt die Prädiktion, dass sich das dritte weitere Fahrzeug F3 zu Beginn der Prädiktionsbetrachtung vor dem eigenen Fahrzeug F und bei Stillstand hinter dem eigenen Fahrzeug F befindet. Die prädizierte Bewegungslinie $X_3(\tau)$ des dritten weiteren Fahrzeugs F3 kreuzt die Bewegungslinie $X_F(\tau)$ des eigenen Fahrzeugs F zur

Kollisionszeit $T_{C_3_ego}(t_{Det})$ in einem vierten Punkt P4. Eine Kollision vor und während des potentiell möglichen Ausweichens ist nicht zu befürchten, aber es kommt nach dem Ausweichen in die linke Ziel-Spur zu einer Kollision, bei der das eigene Fahrzeug F auf das dritte weitere Fahrzeug F3 auffährt.

Die in Figur 9 dargestellte Fahrsituation zeigt den Fall, bei dem sowohl in der linken als auch in der rechten Nachbar-Spur kein kollisionsfreier Freiraum zur Verfügung steht und gleichzeitig sich das eigene Fahrzeug F mit negativer Relativgeschwindigkeit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur nähert.

Die Freiraumüberprüfung der Nachbar-Spuren liefert mit den Auswertungen der Bedingungen (13) und (19), dass sowohl der linke vordere Freiraum FR_V_li als auch der rechte vordere Freiraum FR_V_re nicht kollisionsfrei sind, d. h. $Status_FR_V_li = \text{Nicht Kollisionsfrei (NKF)}$ UND $Status_FR_V_re = \text{Nicht Kollisionsfrei (NKF)}$, so gibt es keinen kollisionsfreien Ziel-Freiraum, d. h.: $FR_ziel = 0$, $Status_FR_ziel = \text{Nicht Kollisionsfrei (NKF)}$.

Da in dieser Fahrsituation keine kollisionsfreien Freiräume vorhanden sind, bleibt die erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 aktiviert. Für den Fall, dass die Auswertung der Bedingungen (13) zum Detektionszeitpunkt $t_k = t_{Det}$ ergibt, dass zumindest eine Kollision auf mit einer ABS-Vollbremsung verhindert werden kann, ergibt sich aus der Überprüfung auf Längs-Kollisionsfreiheit für den vorderen Freiraum FR_V in der Momentan-Spur als Freiraum-Status-Information $Status_FR_V = \text{Kollisionsfrei (KF)}$.

Es wird diejenige Bremstrajektorie bzw. negative Beschleunigung $ax_min_Komfort$ zur Kollisionsvermeidung ermittelt, mit der die Bremsung möglichst komfortabel durchgeführt werden kann. Die Bestimmung einer möglichst komfortablen Bremsung kann beispielweise mittels einer geeigneten Suchstrategie durchgeführt werden. Die komfortable negative Beschleunigung $a_{ego} = ax_min_Komfort$ wird innerhalb der Grenzen $[ax_min_ABS, ax_min_OG]$ gesucht. Hierbei stellt ax_min_OG mit $(ax_min_OG > ax_min_ABS)$ eine obere Grenze für die gesuchte negative Beschleunigung dar.

Auch nach erstmaliger Detektion ($t_k > t_{Det}$) erfolgt zu jedem zum Zeitpunkt t_k eine ständige Überprüfung auf Längskollision, wobei als Anfangswerte für die Bewegungsprädiktion die jeweils zum Zeitpunkt t_k gemessenen Werte für den Ist-Abstand $d_{mess}(t_k)$ und die

Fahrgeschwindigkeiten ($v_{ego_mess}(t_k)$, $v0_i = v_{rel_mess}(t_k) + v_{ego_mess}(t_k)$) verwendet werden, so dass bei veränderter Fahrsituation, z. B. bei einscherenden Fahrzeugen, in angemessener Weise reagiert werden kann und gegebenenfalls auf eine andere Bremstrajektorie gewechselt wird.

Die in Figur 10 dargestellte Fahrsituation zeigt den Fall, bei dem in der linken Nachbar-Spur ein kollisionsfreier Freiraum und in der rechten Nachbar-Spur kein kollisionsfreier Freiraum zur Verfügung steht und gleichzeitig sich das eigene Fahrzeug F mit sich einer Fahrgeschwindigkeit V_{ego} oberhalb der Grenzfahrgeschwindigkeit ($v_{ego} > v_{ego_grenz}$) dem langsamer, mit näherungsweise konstanter Fahrgeschwindigkeit, fahrenden ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur nähert.

Die Auswertung der Bewegungsprädiktion des eigenen Fahrzeuges F, hierbei ein Folgefahrzeug, mit ABS-Vollbremsung ergibt, dass die Bedingung (13) für Längs-Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur erfüllt ist.

Für den vorderen Freiraum FR_V in der Momentan-Spur ergibt sich als Freiraum-Status-Information $Status_FR_V = „Kollisionsfrei bei ABS-Vollbremsung (KF)“$. Die Freiraumüberprüfung der Nachbar-Spuren liefert mit den Auswertungen der Bedingungen (13) und sowie der Bedingung (19) für Ausweich-Längs-Kollisionsfreiheit, dass nur der linke vordere Freiraum FR_V_li der einzige kollisionsfreie Ziel-Freiraum ist ($FR_ziel = FR_V_li$, $Status_FR_ziel = Kollisionsfrei (KF)$).

Die in der Verkehrssituationsbestimmungseinheit 8.3 durchgeführte Auswertung ergibt als Verkehrssituationstyp „Folgefahrt auf Autobahn“, da das eigene Fahrzeug sich dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur mit geringer negativer Relativgeschwindigkeit nähert. Da die dritte Transitionsbedingung C erfüllt ist, erfolgt zur Kollisionsvermeidung ein Übergang von der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K1 in die zweite Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K2.

In der zweiten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart K2 wird nun diejenige Ausweichtrajektorie zur Kollisionsvermeidung bestimmt, mit der das Ausweichen möglichst komfortabel ist, d. h. das Ausweichen ist mit einer möglichst geringsten Querbeschleunigung $ay_max_Komfort$ durchführbar.

Die Bestimmung einer möglichst komfortablen Ausweichtrajektorie f_{AW} kann beispielweise mittels einer geeigneten Suchstrategie durchgeführt werden, wie es Figur 11 zeigt.

Figur 11 zeigt dabei ein Ablaufdiagramm für einen Suchalgorithmus für die komfortable Querbeschleunigung $ay_{max} = ay_{max_Komfort}$. Nach dem Start wird zuerst eine Abfrage (AF1) zur Validität der Objekte durchgeführt. Anschließend erfolgt eine Abfrage (AF2), ob der aktuelle Zeitpunkt ein Detektionszeitpunkt t_{Det} ist, d. h. $t_k = t_{Det}$.

Die komfortable Querbeschleunigung $ay_{max} = ay_{max_Komfort}$ wird innerhalb der Grenzen $[ay_{max_UG}, ay_{max_OG}]$ gesucht, ($ay_{max_OG} > ay_{max_UG}$) stellen hierbei ay_{max_UG} eine untere und ay_{max_OG} eine obere Grenze für die gesuchte komfortable Querbeschleunigung $ay_{max_Komfort}$ dar, wobei beispielsweise als obere Grenze auf einen Wert kleiner oder gleich der bei einer Vollbremsung mit ABS maximal möglichen Querbeschleunigung gelegt werden kann ($ay_{max_OG} \leq ay_{max_ABS}$).

Eine mögliche Suchstrategie besteht beispielsweise darin, zum Detektionszeitpunkt ($t_k = t_{Det}$) ausgehend von der oberen Grenze für die maximale Querbeschleunigung $ay_{max}(j) = ay_{max_OG}$ die maximale Querbeschleunigung iterativ in jedem Suchschritt (j) um eine Querbeschleunigungsdifferenz (Δay), d. h. $ay_{max}(j) = ay_{max}(j-1) - \Delta ay$, solange zu verringern, bis entweder die für eine vorgesehene Ausweich-Trajektorie f_{AW} zum Ausweichen erforderliche Ausweichzeit $T_{AW_Ziel}(t_{Det}, ay_{max}(j))$ den Berühr-Zeitabstand bzw. Kollisions-Zeitabstand bei ungebremselter Fahrgeschwindigkeit zum ersten weiteren

Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur $T_{C_FF_ego_1}(t_k = t_{Det}) = \left\lceil \frac{d_{moss_1}}{v_{ego} - v_{-1}} \right\rceil$ unterschreitet. D. h.:

$\{T_{AW_Ziel}(t_{Det}, ay_{max}(j)) < T_{C_FF_ego_1}(t_{Det})\}$ oder, dass die untere Grenze für die maximale Querbeschleunigung ($ay_{max}(j) \leq ay_{max_UG}$) erreicht wird. Diese Abfrage ist in Fig. 11 mit AF3 bezeichnet.

Als zu verwendende komfortable maximale Querbeschleunigung ergibt sich ($ay_{max} = ay_{max_Komfort} = ay_{max}(j-1)$). Die Auslösung des komfortablen Ausweichvorganges kann frühestens sofort zum Detektionszeitpunkt ($t_k = t_{Det}$) erfolgen. Die Zeitreserve bis zur zuletzt möglichen Aktivierung des Komfort-Ausweichvorganges ergibt sich aus der Differenz des Berühr-Zeitabstands $T_{C_FF_ego_1}(t_{Det})$ und der benötigten Zeit $T_{AW_Ziel}(t_{Det},$

ay_max_Komfort). Die Auslösung des Ausweichvorganges zu einem Zeitpunkt (t_j) nach dem Detektionszeitpunkt muss also im Zeitintervall in der

$$\left[T_{C_FF_ego_1}(t_{Det}) - T_{AW_Ziel}(t_{Det}, ay_max_komfort) \right] \geq (t_j - t_{Det}) \geq 0 \text{ erfolgen, also}$$

spätestens zu einem realen Zeitpunkt, bei dem der ständig berechnete Berühr-Zeitabstand $T_{C_FF_ego_1}(t_j)$ zum ersten weiteren Fahrzeug F1 die zum Komfort-Ausweichen benötigte Zeit $T_{AW_Ziel}(t_j, ay_max_Komfort)$ erreicht hat bzw. zu unterschreiten beginnt, d. h. bei $(T_{C_FF_ego_1}(t_j) = T_{AW_Ziel}(t_j, ay_max_Komfort))$.

Nach der Detektion wird in der Zeit bis zur Auslösung des Komfort-Ausweichvorganges ständig, d. h. für jeden Zeitpunkt ($t_j > t_{Det}$), das Verhalten des ersten weiteren Fahrzeugs F1 in der Momentan-Spur überwacht und mit aktuellen Messungen der Anfangsabstand $d0_1_ego(t_j) = d_{mess_1}(t_j)$, der Fahrgeschwindigkeiten $v0_ego = v_{ego_mess}(t_j)$ und $v0_1 = v_{rel_mess_1}(t_j) + v_{ego_mess}(t_j)$ sowie der Ist-Beschleunigung des ersten weiteren Fahrzeugs F1 $a_1 = a_{rel_mess_1}(t_j) + a_{ego_mess}(t_j)$ für die Prädiktion bestimmt. Dabei wird eine Prädiktion der Bewegungen durchgeführt und auf Kollisionsfreiheit mit dem ersten weiteren Fahrzeug F1 in der Momentan-Spur überprüft.

Des Weiteren wird sowohl die linke Nachbarspur (Ziel-Spur) als auch die rechte Nachbarspur zu jedem Zeitpunkt hinsichtlich neu auftretender Fahrzeuge, insbesondere einsicherender Fahrzeuge, und Hindernisse überwacht.

Ein Ausweichvorgang wird spätestens dann ausgelöst, wenn die Kollision durch ABS-Vollbremsung nicht mehr verhindert werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs (F), dadurch gekennzeichnet, dass
aus einer Menge von zumindest drei verschiedenen Kollisionsvermeidungs-Betriebsarten (K1 bis K3) zumindest eine Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1 bis K3) aktiviert wird, wobei
 - bei Aktivierung einer ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1) ein Bremsmanöver durchgeführt wird, wobei
 - bei Aktivierung einer zweiten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K2) ein Ausweichmanöver durchgeführt wird, und wobei
 - bei Aktivierung einer dritten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K3) gleichzeitig ein Bremsmanöver und ein Ausweichmanöver durchgeführt werden, und wobei
 - die jeweilige Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1 bis K3) in Abhängigkeit einer eigenen Fahrgeschwindigkeit (v_{ego}) des Fahrzeugs (F), einer Verkehrssituation und/oder eines verfügbaren Freiraums in einer Fahrzeugumgebung aktiviert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
die erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1) aktiviert wird, wenn die eigene Fahrgeschwindigkeit (v_{ego}) des Fahrzeugs (F) unterhalb einer vorgebbaren Grenzgeschwindigkeit ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
in Abhängigkeit der Verkehrssituation und des Freiraums die zweite Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K2) oder die dritte Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K3) aktiviert wird, wenn die eigene Fahrgeschwindigkeit (v_{ego}) des Fahrzeugs (F) eine Grenzgeschwindigkeit übersteigt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K3) aktiviert wird, wenn mittels der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1) eine Kollision unvermeidbar und ein verfügbarer Freiraum vorhanden sind.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach Beendigung des Ausweichmanövers die erste Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1) aktiviert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrzeugumgebung in Umfeldbereiche eingeteilt wird, wobei innerhalb jedes Umfeldbereiches eine Objekterkennung und eine Erfassung verfügbarer Freiräume durchgeführt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1) eine Bremstrajektorie mit einer minimal zugelassenen negativen Längsbeschleunigung (a_{x_min}) bestimmt wird, mittels welcher durch das Bremsmanöver eine Kollision vermeidbar ist.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Freiraum eine Kollisionsprüfung durchgeführt wird, mittels welcher eine Freiraum-Status-Information bestimmt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsprüfung unter Berücksichtigung einer Bewegungsprädiktion durchgeführt wird, wobei bei der Bewegungsprädiktion Bewegungen von weiteren Fahrzeugen (F1 bis F3) und Hindernisobjekten auf einer Momentan-Spur des eigenen Fahrzeugs (F) sowie auf mindestens einer benachbarten Fahrspur präzidiert werden.

10. Vorrichtung (V) zumindest zur Minderung der Folgen einer Kollision eines Fahrzeugs (F),
dadurch gekennzeichnet, dass
aus einer Menge von zumindest drei verschiedenen Kollisionsvermeidungs-Betriebsarten (K1 bis K3) zumindest eine Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1 bis K3) aktivierbar ist, wobei
- bei Aktivierung einer ersten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1) ein Bremsmanöver durchführbar ist, wobei
 - bei Aktivierung einer zweiten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K2) ein Ausweichmanöver durchführbar ist, und wobei
 - bei Aktivierung einer dritten Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K3) gleichzeitig ein Bremsmanöver und ein Ausweichmanöver durchführbar ist, und wobei
 - die jeweilige Kollisionsvermeidungs-Betriebsart (K1 bis K3) in Abhängigkeit einer eigenen Fahrgeschwindigkeit (v_{ego}) des Fahrzeugs (F), einer Verkehrssituation und eines verfügbaren Freiraums in einer Fahrzeugumgebung aktivierbar ist.

1/11

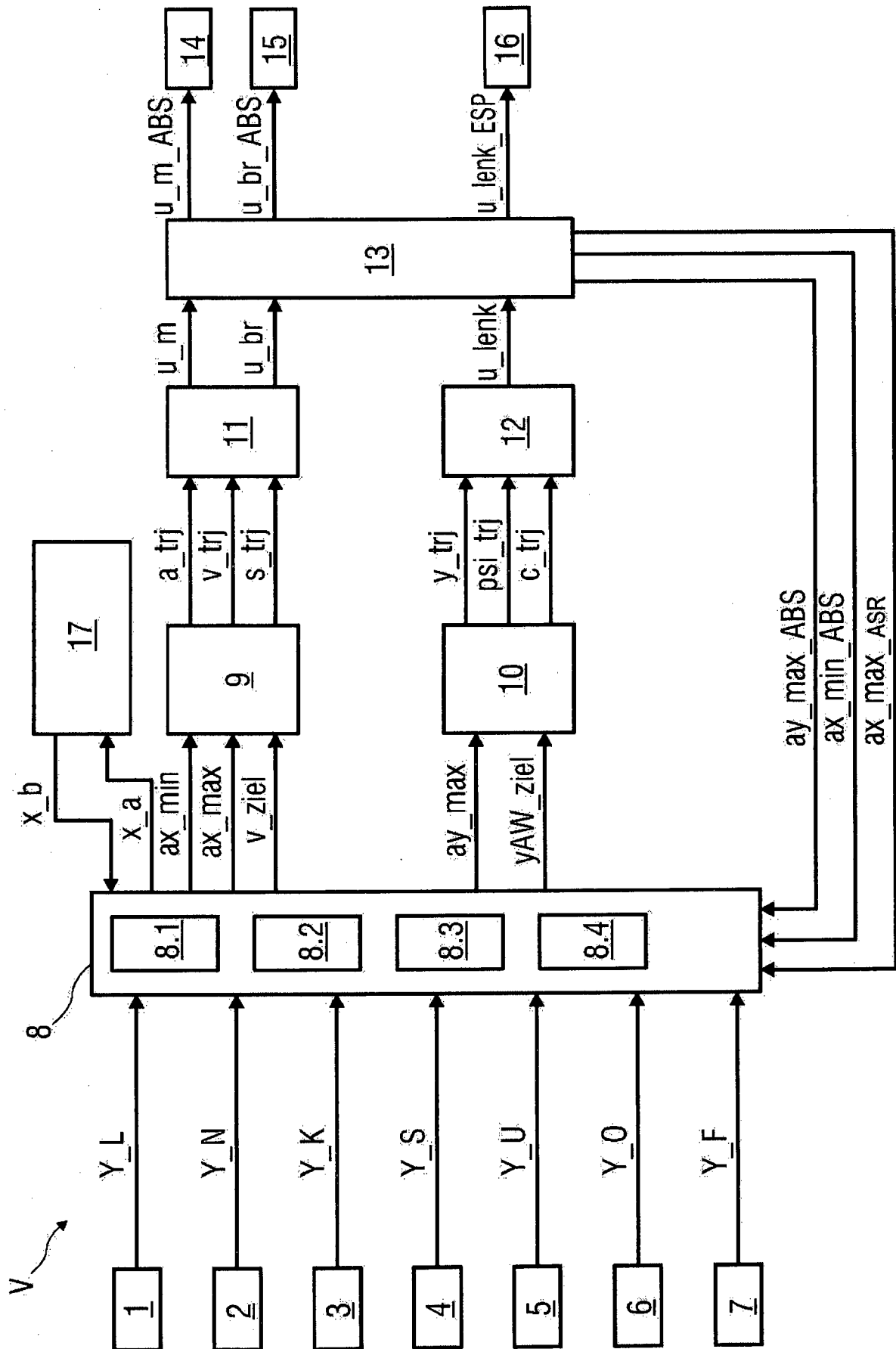


FIG 1

2/11

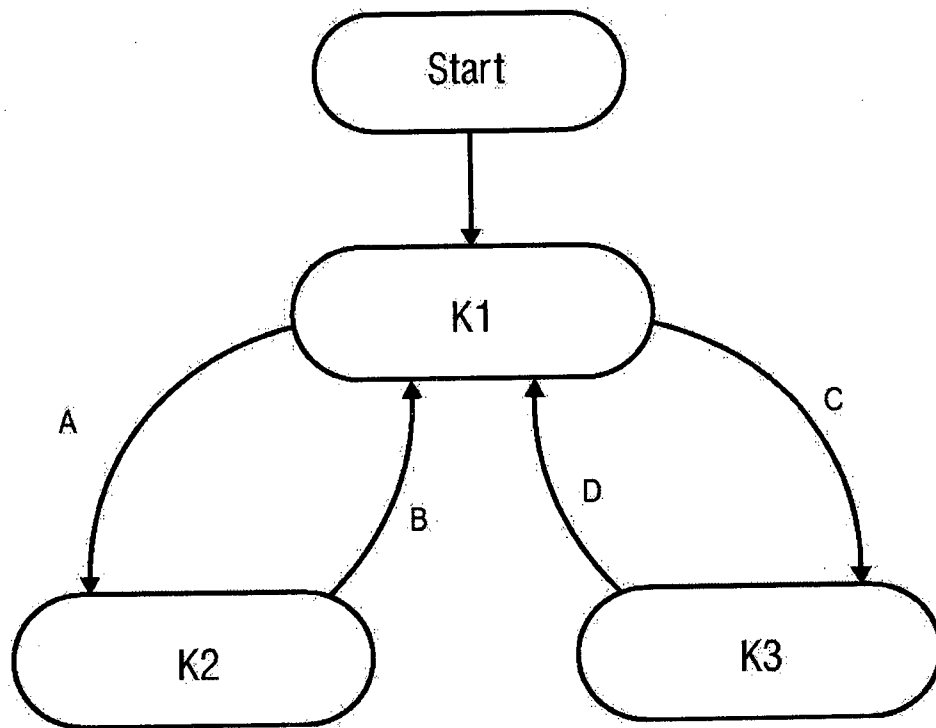


FIG 2

3/11

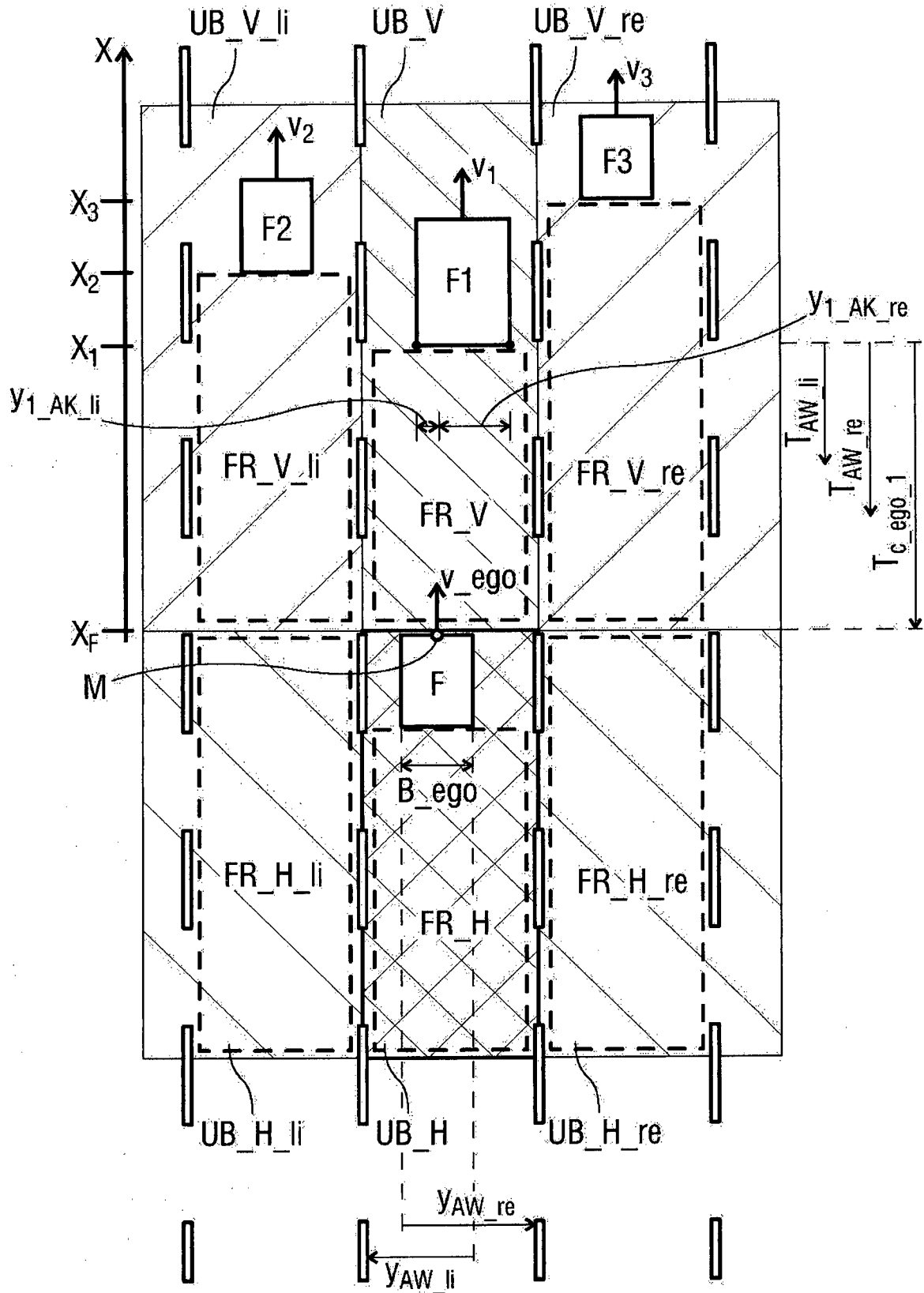


FIG 3

4/11

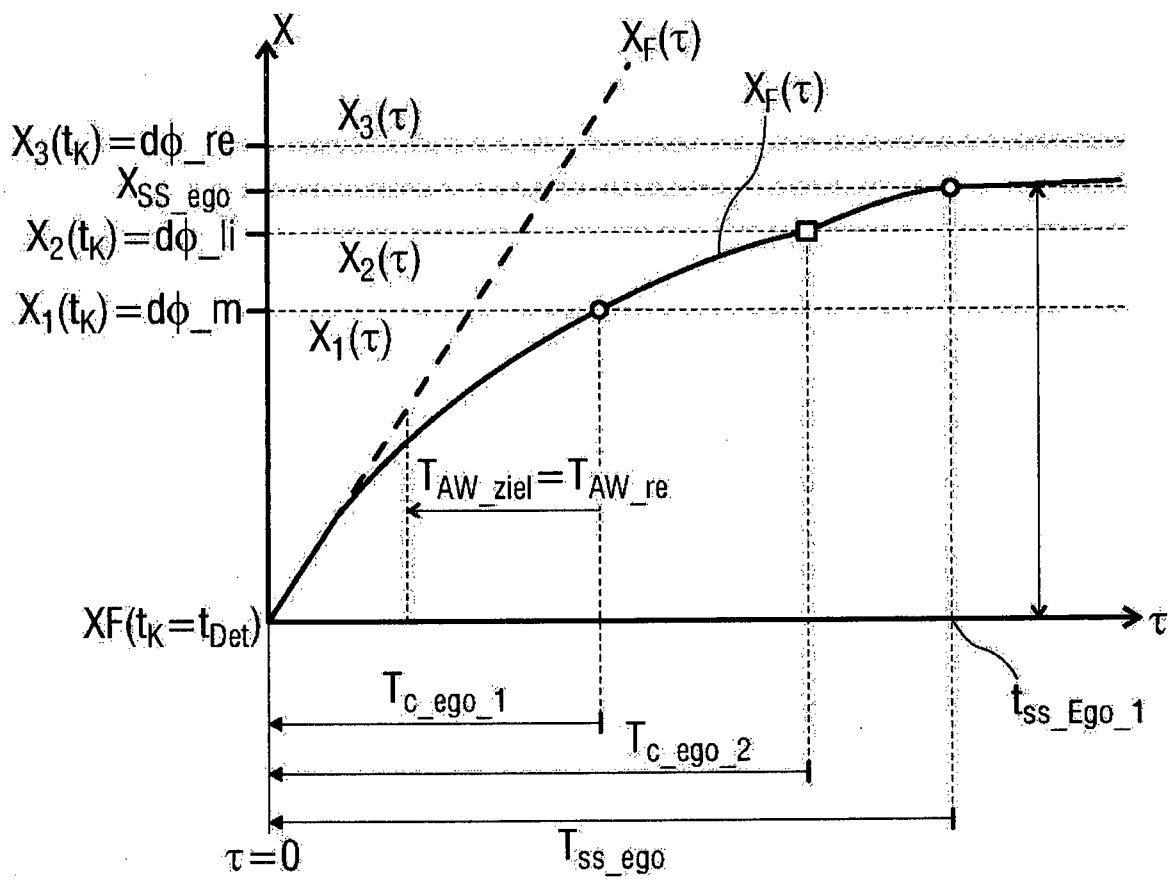


FIG 4

5/11

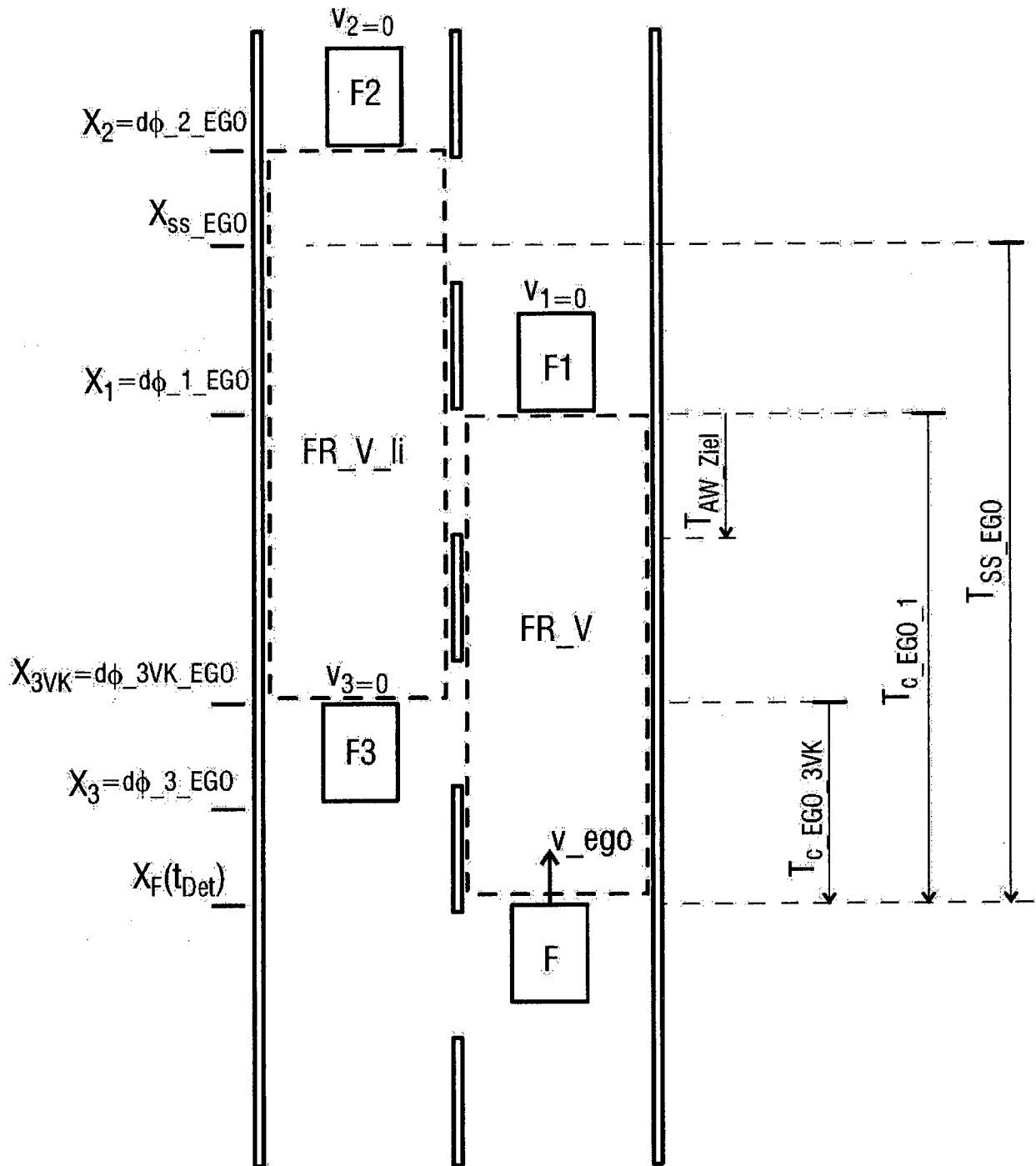


FIG 5

6/11

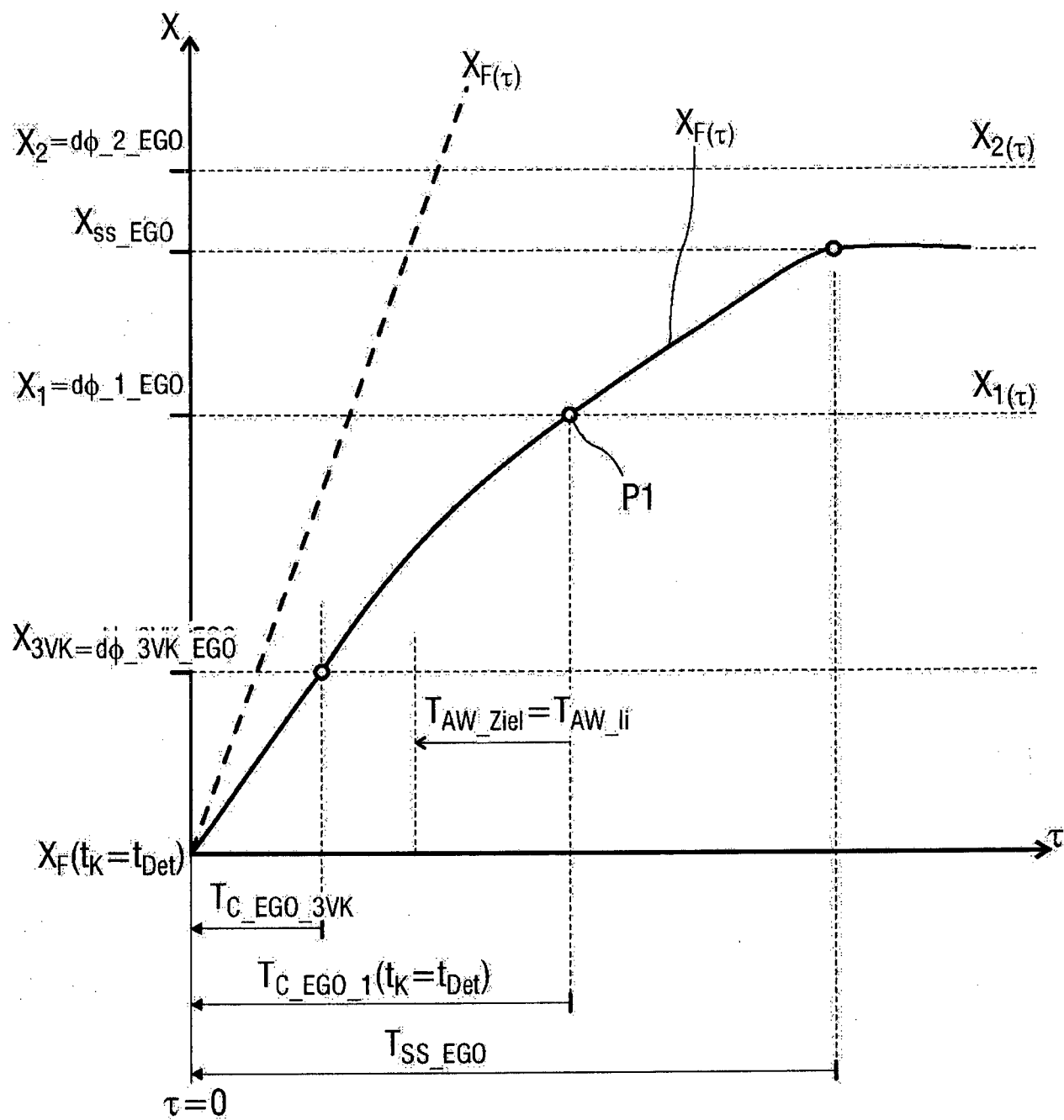


FIG 6

7/11

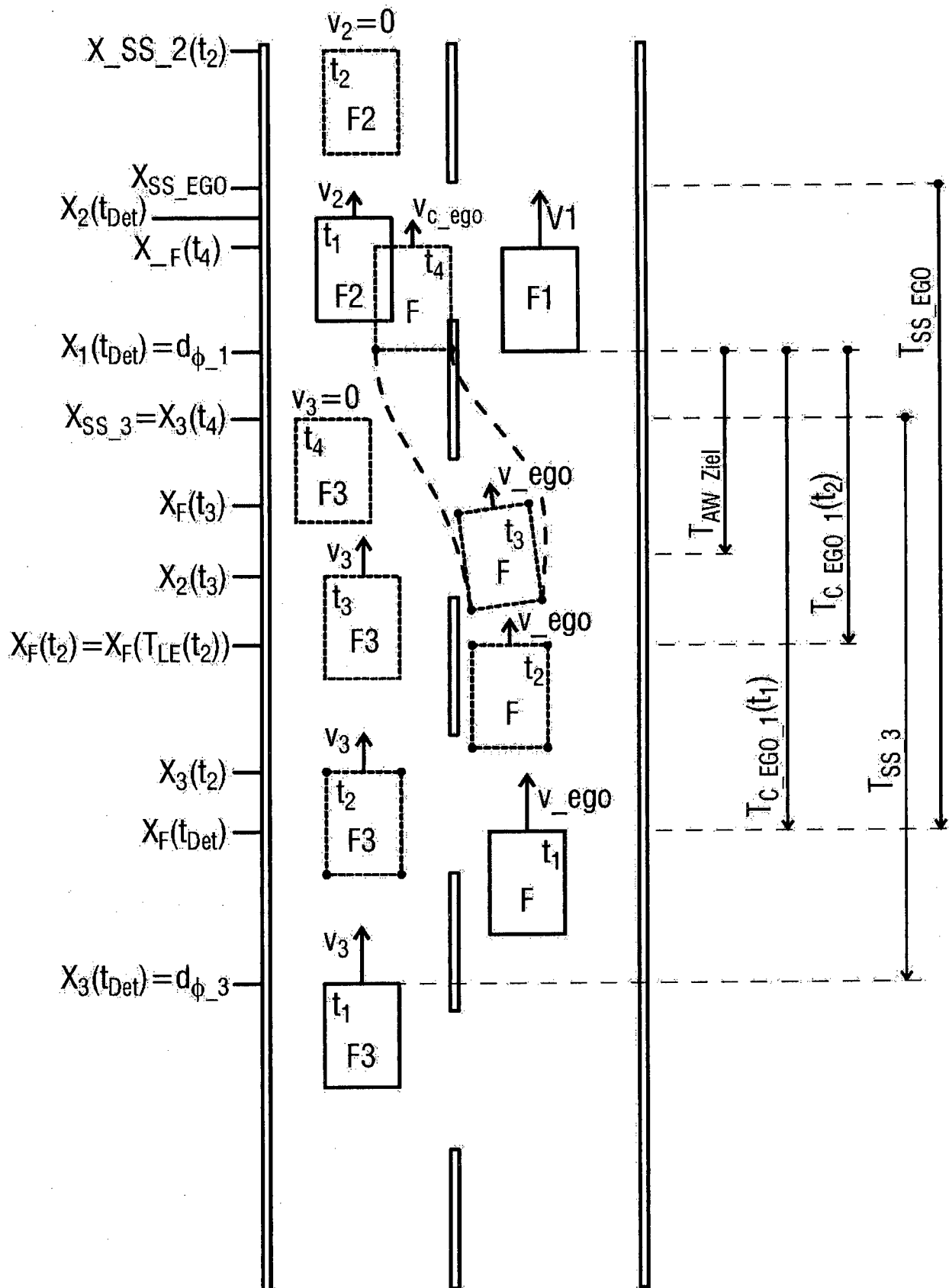


FIG 7

8/11

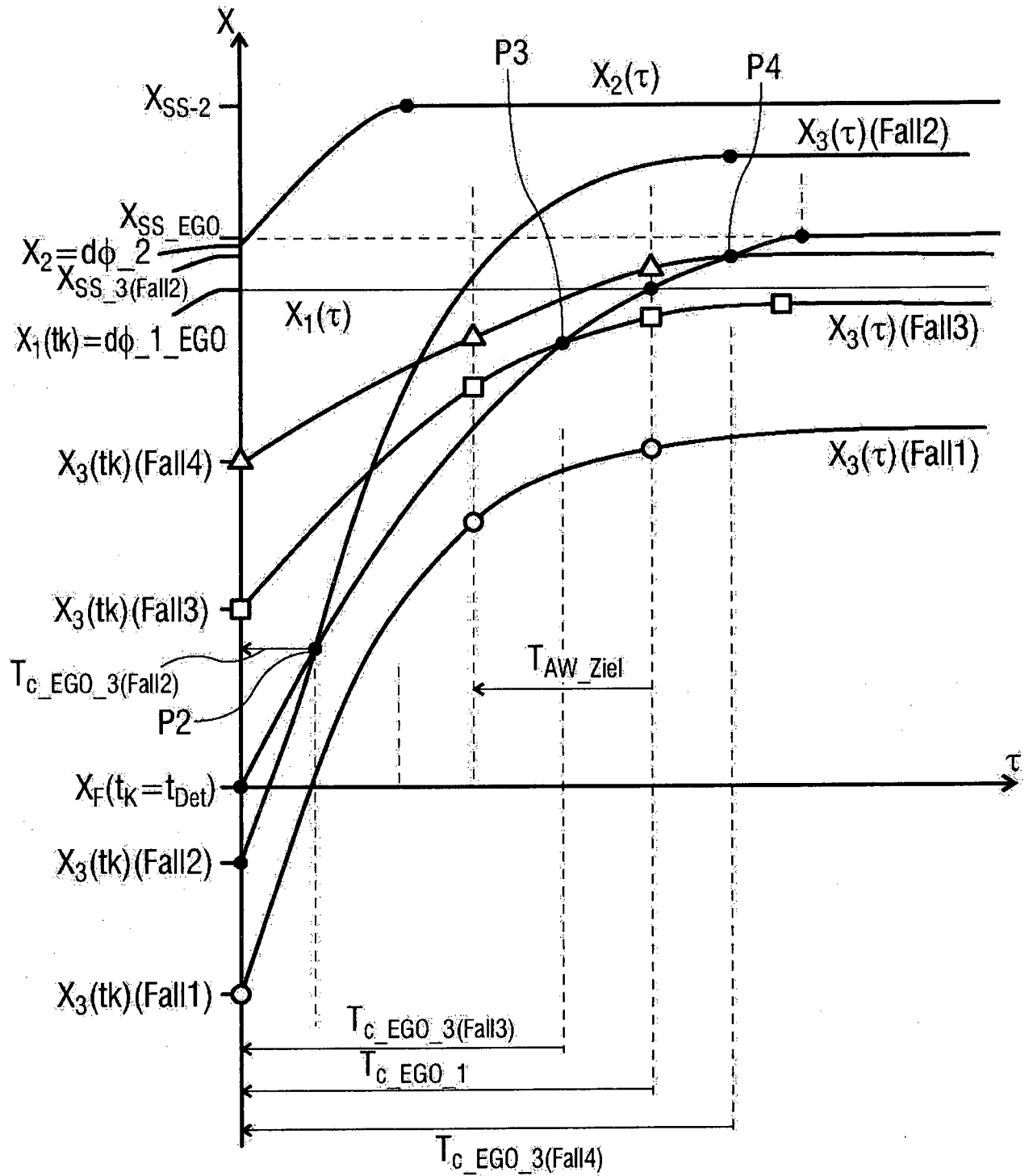


FIG 8

9/11

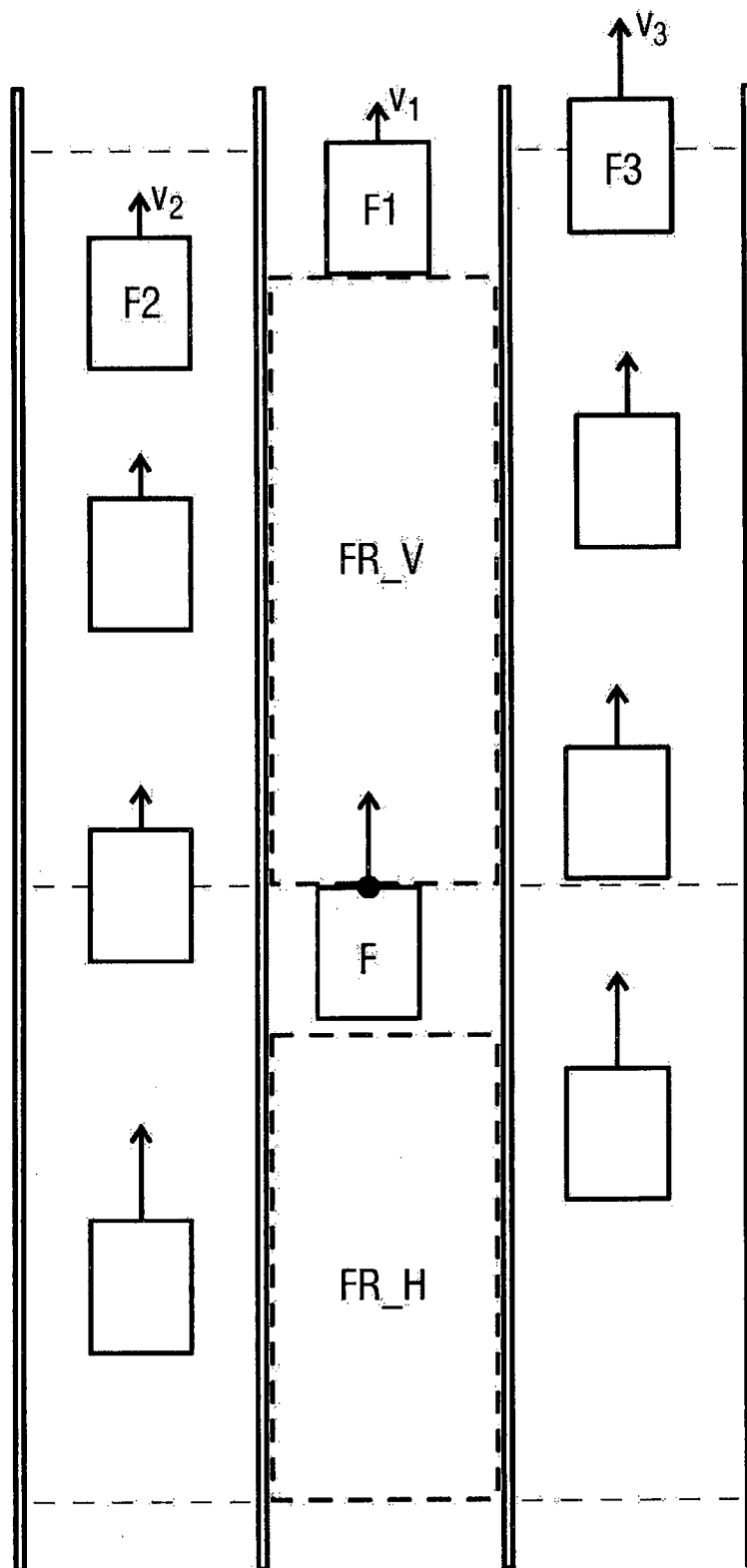


FIG 9

10/11

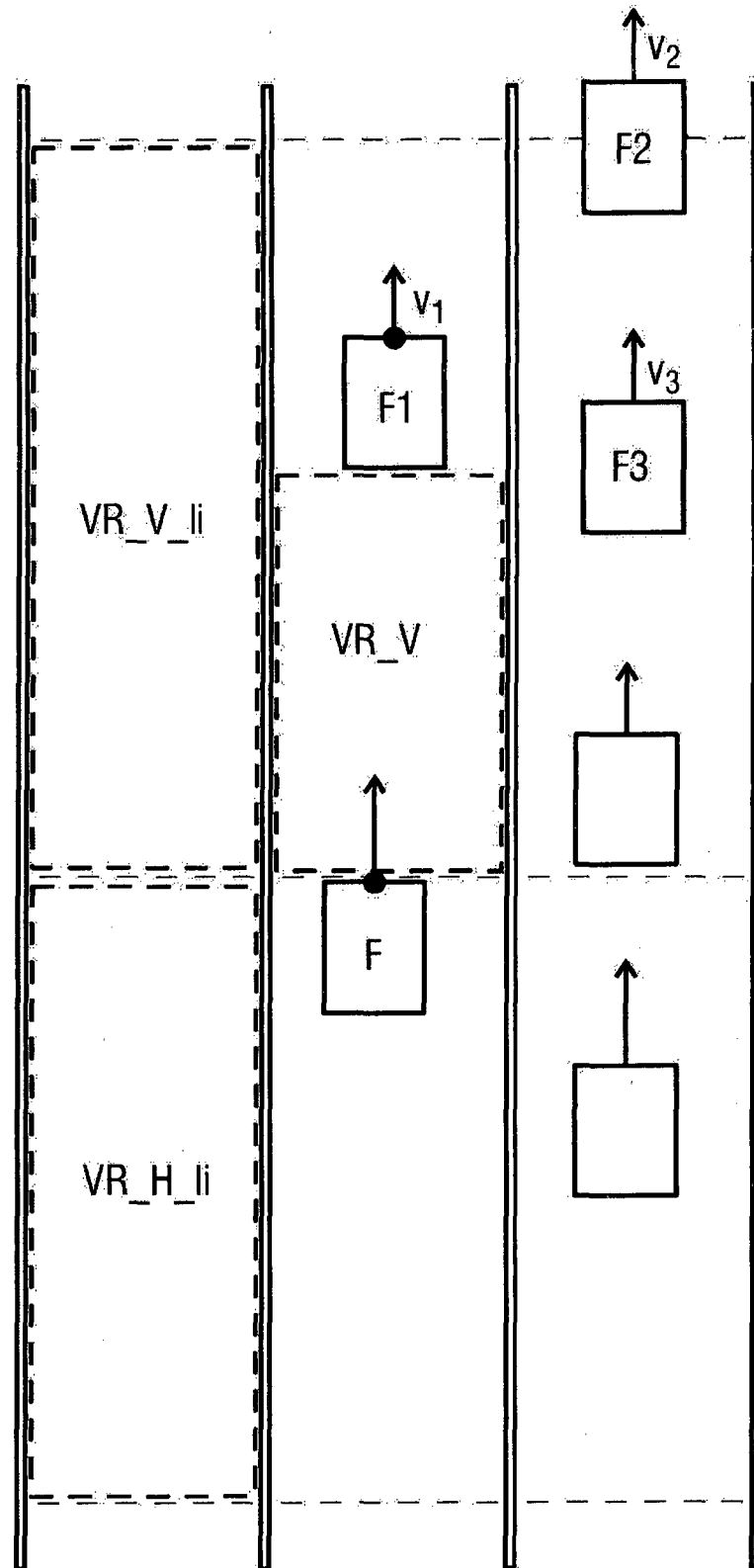


FIG 10

11/11

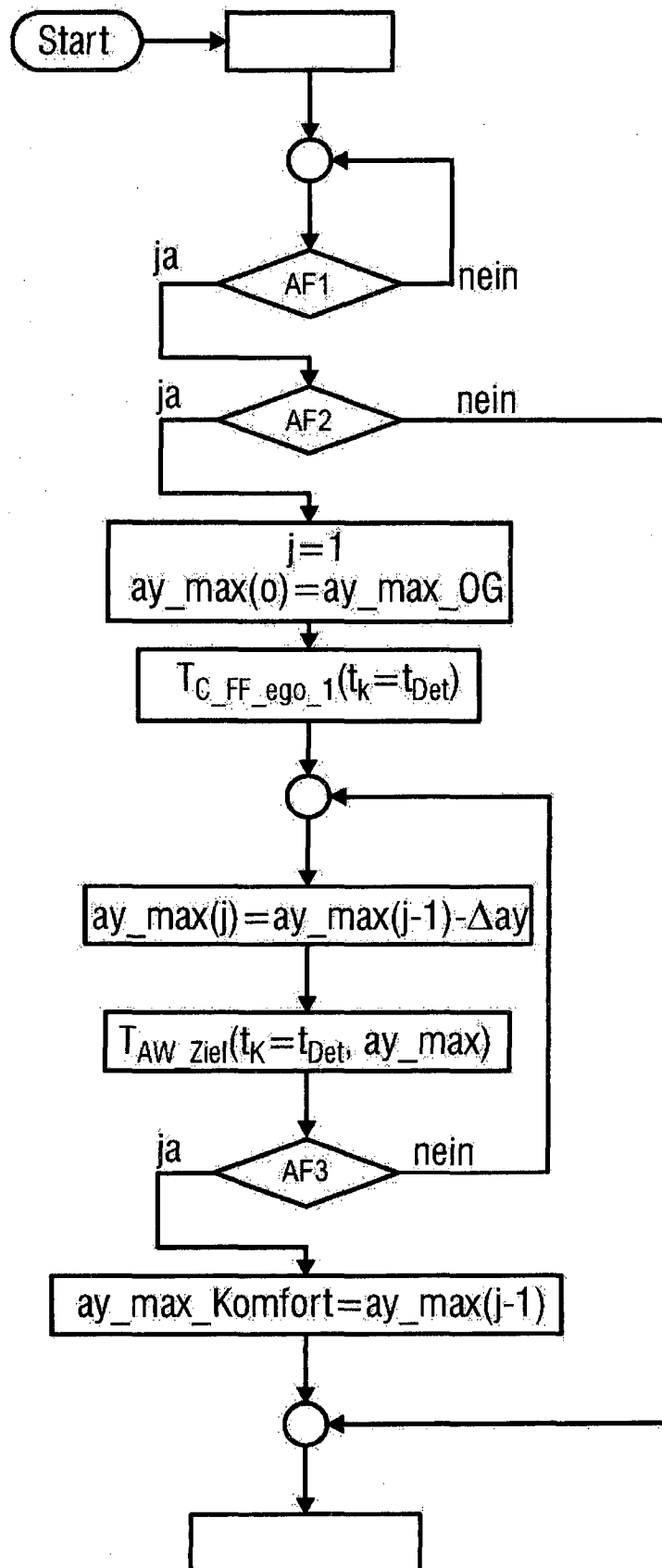


FIG 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/000812

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B60W30/09
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B60W

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2012/101701 A1 (MOSHCHUK NIKOLAI K [US] ET AL) 26 April 2012 (2012-04-26)	1-5,10
Y	paragraphs [0002], [0007], [0018] - [0035] claims 1, 3	6-9
Y	----- DE 10 2011 081740 A1 (DENSO CORP [JP]) 8 March 2012 (2012-03-08) paragraphs [0035], [0070], [0071], [0082], [0083]	6,8,9
Y	----- DE 10 2012 007389 A1 (GM GLOBAL TECH OPERATIONS INC [US]) 17 October 2013 (2013-10-17) claims 2, 3	7
	----- -/-	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 July 2015

Date of mailing of the international search report

30/07/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Müller-Nagy, Andrea

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/000812

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2011 012784 A1 (DAIMLER AG [DE]) 15 March 2012 (2012-03-15) paragraphs [0001], [0011], [0031] - [0035] -----	6,8,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/000812

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2012101701 A1	26-04-2012	CN 102452396 A	16-05-2012
		DE 102011054344 A1	26-04-2012
		US 2012101701 A1	26-04-2012

DE 102011081740 A1	08-03-2012	DE 102011081740 A1	08-03-2012
		JP 5206752 B2	12-06-2013
		JP 2012048642 A	08-03-2012
		US 2012053755 A1	01-03-2012

DE 102012007389 A1	17-10-2013	NONE	

DE 102011012784 A1	15-03-2012	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B60W30/09
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B60W

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2012/101701 A1 (MOSHCHUK NIKOLAI K [US] ET AL) 26. April 2012 (2012-04-26)	1-5,10
Y	Absätze [0002], [0007], [0018] - [0035] Ansprüche 1, 3	6-9
Y	----- DE 10 2011 081740 A1 (DENSO CORP [JP]) 8. März 2012 (2012-03-08)	6,8,9
	Absätze [0035], [0070], [0071], [0082], [0083]	
Y	----- DE 10 2012 007389 A1 (GM GLOBAL TECH OPERATIONS INC [US]) 17. Oktober 2013 (2013-10-17)	7
	Ansprüche 2, 3	
Y	----- DE 10 2011 012784 A1 (DAIMLER AG [DE]) 15. März 2012 (2012-03-15)	6,8,9
	Absätze [0001], [0011], [0031] - [0035] -----	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert,
aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach
dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft er-
scheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer
anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden
soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie
ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,
eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach
dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum
oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der
Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der
Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden
Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung
kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf
erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung
kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet
werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren
Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und
diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. Juli 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30/07/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Müller-Nagy, Andrea

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/000812

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2012101701 A1	26-04-2012	CN 102452396 A	16-05-2012
		DE 102011054344 A1	26-04-2012
		US 2012101701 A1	26-04-2012

DE 102011081740 A1	08-03-2012	DE 102011081740 A1	08-03-2012
		JP 5206752 B2	12-06-2013
		JP 2012048642 A	08-03-2012
		US 2012053755 A1	01-03-2012

DE 102012007389 A1	17-10-2013	KEINE	

DE 102011012784 A1	15-03-2012	KEINE	
