



**TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN**

**DIPLOMARBEIT**

**Untersuchungen zum Einfluss moderner Fahrerassistenzsysteme auf den  
Anhalteweg von Personenkraftwagen**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom – Ingenieurs unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr. Dipl.-Ing. Bernhard Geringer**

und

**Dr. Dipl.-Ing. Werner Tober**

**E315**

**Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik**

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Peter Bunyai**

**e0425213**

**Redtenbachergasse 59/25, 1160 Wien, Österreich**



## **DIPLOMAUFGABE**

Herrn Peter Bunyai, Matrikelnummer e0425213 wird folgende Diplomaufgabe gestellt:

### **Untersuchungen zum Einfluss moderner Fahrerassistenzsysteme auf den Anhalteweg von Personenkraftwagen**

Im Einzelnen sind folgende Punkte zu bearbeiten:

1. Literaturrecherche
2. Untersuchung moderner Fahrerassistenzsysteme mit Einfluss auf den Anhalteweg.
  - a. Ermittlung technisch realisierter und künftiger Umsetzungen
  - b. Bestimmung der Wirkbereiche
  - c. Analyse der Auswirkungen
3. Ziel ist die Analyse der potentiellen Anhaltewegverkürzung der einzelnen Fahrerassistenzsysteme im Vergleich zum konventionellen ABS-Fahrzeug, sowie die Zuordnung der Verkürzungspotentiale auf die jeweilige Phase des Anhalteweges.

Ein gebundenes Exemplar, das ungebundene Original und eine Version der Diplomarbeit auf Datenträger sind am Institut für Fahrzeugantriebe & Automobiltechnik der Technischen Universität Wien abzugeben.

Kennzahl: E 740



Einverstanden:

.....

Peter Bunyai

Betreuer am Institut:

.....

Dr. Werner Tober

.....

Prof. Dr. Bernhard Geringer



## Vorwort

Vorab möchte ich mich beim Institut für Fahrzeugantriebe & Automobiltechnik und stellvertretend natürlich in erster Linie beim Vorstand, Univ. Prof. Dr. techn. Bernhard Geringer, dafür bedanken, dass es mir ermöglicht wurde, eine Diplomarbeit zu diesem mir so nahen Thema zu schreiben, nämlich über Personenkraftwagen und deren Fahrerassistenzsysteme.

Während meiner langjährigen, das Studium begleitenden, Tätigkeit als Chauffeur war es mir in der Praxis bereits möglich, immer die neuesten Fahrzeuge der Oberklasse intensiv zu erproben. Ich konnte alle, bereits heute am Markt erhältlichen, Assistenzsystemen der führenden deutschen Fahrzeughersteller kennenlernen und diese in einer Unmenge an Realsituationen bis an die Grenzen ihrer und meiner Möglichkeiten ausreizen und auskosten. Diese in der Praxis gesammelten Eindrücke nun theoretisch zu durchleuchten, bereitete mir viel Freude.

Für die, in dieser für mich so langen Zeit, wenn nötig immer spontan erreichbare, rasche und geduldige Beratung, bedanke ich mich ganz besonders bei meinem Betreuer Projektassistent Dipl. Ing. Dr. techn. Werner Tober. Es würde mich freuen, wenn ihm diese Arbeit im Rahmen seiner weiteren Tätigkeit als Sachverständiger ein hilfreiches Zusatzwerkzeug wäre.

Abschließend gilt mein Dank natürlich auch meinen Eltern, welche mir mein gesamtes Studium finanziell ermöglichten und die mich, ebenso wie mein Bruder Dominik, welcher in dieser Zeit auch meistens an der TU-Wien zu finden war, immer unterstützt, gefördert und gefordert haben.

Durch mein nicht weniger intensives Engagement bei meinem Hobby Tischtennis blieb dann natürlich nur noch wenig Zeit für mein Privatleben und meine Freunde. All jenen, welche auch damit all die Jahre leben konnten, gilt ebenso mein Respekt und Dank.

Peter Bunyai



## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

### **Untersuchungen zum Einfluss moderner Fahrerassistenzsysteme auf den Anhalteweg von Personenkraftwagen**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin. Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Arbeiten selbständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, am 11.8.2014

---

Peter Bunyai

## Kurzfassung

Aktive Fahrerassistenzsysteme helfen Unfälle zu vermeiden, indem sie unter anderem den Anhalteweg verkürzen.

In dieser Arbeit werden unterschiedliche Systeme vorgestellt und deren **Wirkbereiche** und **Auswirkungen** analysiert. Dadurch kann das Potential der jeweiligen Systeme gezeigt werden.

Unter **Wirkbereich** ist die jeweilige Phase des Anhaltevorganges gemeint. Der Anhaltevorgang beginnt mit dem Erkennen einer Gefahr und somit mit der Reaktionsphase. Der Fahrer setzt in der folgenden Umsetzphase seinen Fuß auf das Bremspedal. Er will das Fahrzeug verzögern. Es vergeht aus technischen Gründen die Ansprechphase. In der folgenden Bremsenschwellphase wird die Verzögerung immer größer. Ist die maximale Verzögerung erreicht beginnt die Vollbremsphase und es vergeht die Bremszeit. Bis zum Beginn der Bremszeit wird von Verlustzeit gesprochen. Die Anhaltezeit ist die Summe von Bremszeit und Verlustzeit. Der Anhalteweg ist also wesentlich länger als der Bremsweg.

Die (positiven) **Auswirkungen** der Systeme sind umso größer, je früher diese wirken. Dies erklärt sich durch die hohe Geschwindigkeit am Beginn des Anhalteweges. Hier legt das Fahrzeug noch den meisten Weg pro Zeiteinheit zurück. Daher haben die in dieser Arbeit vorgestellten Abstandsregelanlagen mit automatischer Längsführung und Abstandswarnung, welche bereits vor der Reaktionsphase in der Gefahrenerkennungszeit beginnen Einfluss auf das Fahrgeschehen zu nehmen, die größten Auswirkungen. Je nach Ausführung haben diese Systeme die Fähigkeit, den Fahrer vor einer Gefahr zu warnen oder sogar eine autonome Notbremsung einzuleiten. Dadurch profitieren unaufmerksame Fahrer mit rund 25 % verkürzten Anhaltewegen durch dieses System besonders. Ein weiteres, in dieser Arbeit beleuchtetes Assistenzsystem, ist der Bremsassistent. Dieser erkennt aufgrund der Umsetzzeit, des Druckanstieges in der Bremsleitung und/oder der Geschwindigkeit mit der das Fahrpedal ausgelassen wird, die Gefahrensituation und erhöht den Druck in der Bremsleitung. Besonders ungeübte und schlechte Fahrer (rund 70 % der Autofahrer) sind Nutznießer solcher Systeme. Wie gezeigt wird, verkürzt der Bremsassistent den Anhalteweg je nach Geschwindigkeit um 15-20 %. Ein anderes System verkürzt die Ansprechzeit, indem es die Bremsbeläge bereits an die Bremsscheiben anlegt und die

Bremsleitungen vorbefüllt (Prefill). Da die Ansprechzeit aber nur kurz ist, sind auch die Auswirkungen mit 1-3 % verkürztem Anhalteweg nicht allzu groß. In der Vollbremsphase ist vor allem die Interaktion zwischen Reifen und Fahrbahn von entscheidender Bedeutung. Der Reifenzustand und die Wetterlage sind also sehr entscheidende Parameter für die Länge des Bremsweges von Personenkraftwagen. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass im Straßenverkehr nicht immer nur der kürzest mögliche Anhalteweg von Bedeutung ist, sondern auch, dass die Fahrzeugstabilität und Lenkbarkeit erhalten werden und dem Fahrer bis zum Schluss die Möglichkeit für ein Ausweichmanöver bleibt. Daher ist auch das Antiblockiersystem Teil dieser Arbeit.

Das Prefill-System sollte aufgrund der Tatsache, dass es jedem Fahrer bei jeder Fahrbahnbeschaffenheit hilft, in jedem Fahrzeug eingebaut sein. Der Bremsassistent hat mit 15-20 % Anhaltewegverkürzung großes Potential und ist daher bereits seit 2009 für neue PKW verpflichtend. Werden diese Systeme noch um eine Warnung ergänzt, so profitieren auch unaufmerksame Personen, die unter Umständen eine Gefahrensituation nicht bemerkt hätten und daher keine Gegenmaßnahmen getroffen hätten, von den beiden Systemen. Das Ziel in naher Zukunft muss sein, dass alle Fahrzeuge ein System an Bord haben, welches selbständig eine Notbremsung einleiten kann. Ebenso sollte in jedem Fahrzeug die Möglichkeit vorbereitet werden, die aktuelle Position und seine aktuelle Geschwindigkeit an andere Fahrzeuge oder Einrichtungen der Verkehrsüberwachung zu übermitteln.

Es werden die potentiellen Anhaltewegverkürzungen der einzelnen Fahrerassistenzsysteme im Vergleich zu konventionellen ABS-Fahrzeugen herausgearbeitet. Dafür ist es notwendig, die Funktion der einzelnen Systeme auszuarbeiten um deren Auswirkungen auf die einzelnen Phasen des Anhalteweges zuordnen zu können. Durch diese Zuordnung wird es möglich, das Potential der jeweiligen Assistenzsysteme in den einzelnen Phasen des Anhalteweges zu erörtern und daraus das Gesamtpotential dieser Assistenzsysteme zu ermitteln und mit dem Anhalteweg eines konventionellen ABS-Fahrzeuges zu vergleichen. Es wird aufgezeigt, dass zukünftig der Anhaltewegbeginn immer öfters vom Fahrzeug mitbestimmt wird und der Fahrer noch intensiver unterstützt wird, um mit dem Fahrzeug früher zum Stillstand zu gelangen.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Der Anhalteweg .....	6
2.1	Gefahrenerkennungszeit.....	9
2.2	Reaktionszeit .....	10
2.3	Umsetzzeit .....	12
2.4	Ansprechzeit .....	12
2.5	Schwellzeit .....	13
2.6	Vollbremszeit .....	14
2.7	Übersicht: Zahlenwerte des Anhalteweges .....	16
3	Einteilung und Beschreibung der Assistenzsysteme .....	20
3.1	Antiblockiersystem, ABS .....	20
3.2	Elektronische Bremskraftverteilung, EBV .....	23
3.3	Elektronisches Stabilitäts – Programm, ESP .....	24
3.4	Bremsassistent, (x)BA .....	25
3.5	Electronic Brake Prefill, EBP.....	32
3.6	Abstandsregelanlagen, ACC.....	32
3.6.1	Predictive Brake Assist, PBA.....	37
3.6.2	Predictive Collision Warning, PCW .....	38
3.6.3	Predictive Emergency Braking, PEB.....	40
3.7	Weitere, nicht zu bewertende Fahrerassistenzsysteme.....	43
3.7.1	Hydraulic Fading Compensation, HFC.....	44
3.8	Weitere Bemerkungen .....	44
3.9	Übersicht: Zahlenwerte Fahrerassistenzsysteme .....	45
4	Bewertung ausgewählter Assistenzsysteme.....	48
4.1	Berechnung des Anhalteweges – der Rechenweg .....	48
4.2	Vergleich 1: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug ohne Antiblockiersystem“ .....	54
4.3	Vergleich 2: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Bremsassistent“ .....	58
4.4	Vergleich 3: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Prefill“ .....	62
4.5	Vergleich 4: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Predictive Brake Assistent“ .....	65
4.6	Vergleich 5: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Predictive Collision Warning“ ....	68
4.7	Vergleich 6: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Predictive Emergency Braking“ ..	73
5	„Nutzen/ Bewertung“ aufgrund erwarteter Rückwirkungen auf die Unfallstatistiken	77
6	Zukunftsausblick/weitere Entwicklungsschritte .....	83
6.1	Autonomes/automatisiertes Fahren .....	83

6.2	C2x communication .....	85
7	Zusammenfassung .....	87



# 1 Einleitung

Mit Hilfe von Personenkraftwagen (PKW) können Personen mit geringem Aufwand in kurzer Zeit von A nach B gelangen. PKW werden seit mehr als 100 Jahren immer weiter entwickelt. Immer komfortabler und immer schneller soll der Personentransport möglich sein.

Durch die steigende Geschwindigkeit erhöht sich auch die Gefahr für den Menschen. Der menschliche Körper kann ohne technische Hilfsmittel 100 m in knapp 10 s zurücklegen. Seine maximale Fortbewegungsgeschwindigkeit liegt bei rund 40 km/h. [1] Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fußgänger bei einem Zusammenstoß mit einem PKW getötet wird, liegt bei einer Aufprallgeschwindigkeit von 30 km/h bei 8 %. Bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h (freiwerdende Energie entspricht einer Fallhöhe von 10 m) liegt die Wahrscheinlichkeit bereits bei 39 %. [2] Da PKW diese Geschwindigkeit um ein Vielfaches überschreiten, ist die Gesundheit der transportierten Personen, aber vor allem der Fußgänger, bei Unfällen in Gefahr.

Aufgrund der steigenden Anzahl der Fahrzeuge und Verkehrsteilnehmer stieg die Anzahl der Verletzten und getöteten Personen im Straßenverkehr in den ersten Jahrzehnten des Automobils rasch an. Die Zahl der produzierten Fahrzeuge stieg und die Technik der Fahrzeuge wurde zuverlässiger. Weltweit werden jährlich 1,2 Millionen Menschen bei Verkehrsunfällen getötet und rund 50 Millionen verletzt. [3] Aus diesen Zahlen ist die Wichtigkeit von Assistenzsystemen, welche Verkehrsunfälle verhindern oder mildern, erkennbar. Den Nutzen der einzelnen Systeme besser greifbar zu machen und damit einen Grund für deren Verbreitung zu liefern, ist Motivation für diese Arbeit. Denn eine hohe Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen rettet viele Menschenleben.

Der Hauptgrund, warum heute Unfälle im Straßenverkehr passieren, ist menschliches Versagen. Es wurden Sicherheitssysteme für den Personenkraftwagen entwickelt, welche dem Fahrer beim Steuern von Fahrzeugen assistieren und ihm zusätzliche Sicherheit bieten. Manche dieser Fahrerassistenzsysteme sind bereits weithin bekannt. Passive Sicherheitssysteme, wie zum Beispiel der Dreipunktgurt oder ein Airbag, schützen während eines Unfalles die Insassen und verringern so die Folgen des

Unfalles. Eine zusätzliche Möglichkeit die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen bieten so genannte aktive Fahrerassistenzsysteme. Diese unfallvermeidenden Systeme wirken bereits bevor ein Aufprall erfolgt und unterstützen in der Fahrsituation vor dem Unfall den Fahrer, den Unfall, wenn möglich, noch zu verhindern.

Die Entwicklung von aktiven Assistenzsystemen nahm mit dem ABS (Antiblockiersystem) Mitte der 1970er Jahre ihren Anfang. Darauf basierend entstand zunächst die Antriebsschlupfregelung (ASR, 1987), später kam dann ESP, das Elektronische Stabilitäts-Programm (1995), auf den Markt, welches ebenfalls ABS-Signale verwendet. Der Bremsassistent (xBA, 1996) baut direkt auf dem ESP-Funktionsumfang auf. [4] All diese Fahrerassistenzsysteme lassen sich in

- Komfortsysteme mit dem Fernziel „autonomes Autofahren“ und in
- Sicherheitssysteme mit dem Ziel „Unfallvermeidung“

unterteilen. [5]

Fahrerassistenzsysteme können in drei Gruppen unterteilt werden:

Als Grund für ein Drittel aller Unfälle können unbeabsichtigtes Verlassen der Fahrspur bzw. Spurwechselunfälle genannt werden [5]. Assistierende Systeme hierfür gibt es bereits, wenn auch noch nicht sehr verbreitet. Spurverlassenswarner (lane departure warning system, LDW) warnen optisch und akustisch, wenn der Fahrer den gekennzeichneten Fahrstreifen scheinbar unabsichtlich verlässt. Der Spurhalteassistent (lane assist) ist sogar in der Lage, das Fahrzeug mit Lenkeingriffen wieder zurück in den Fahrstreifen zu lenken. Spurwechselassistenten (side assist) zeigen zum Beispiel im Seitenspiegel an, wenn sich ein Fahrzeug im toten Winkel befindet und ein Spurwechsel nicht ratsam (gelb) oder gar zu unterlassen (rot) ist. Diese Systeme, welche in die Seitenführung der Fahrzeuge eingreifen oder den Fahrer dazu auffordern, dieses selbst zu tun, ermöglichen Einblicke in die toten Winkel und warnen bei Verlassen der Fahrspur. [5]

Als ein weiteres Drittel werden die sehr komplexen Kreuzungs- und Fußgängerunfälle in [5] genannt. Fußgängerassistent, Nachtsichtassistent, Kreuzungsassistent und Verkehrszeichenerkennung unterstützen den Fahrer bei diesen unübersichtlichen Verkehrssituationen. Diese Unfälle können durch vernetzte Sensorsysteme mit Video-Bildinterpretation bewertet werden. Die Verknüpfung dieser Systeme mit

Verkehrsmeldungen, Navigationssystemen, Verkehrsleitungen zur Stauumfahrung oder um Kraftstoff zu sparen ist aktuell Gegenstand der Forschung. [5]

Das letzte Drittel aller Unfälle wird durch Auffahrunfälle oder Frontalzusammenstöße ausgelöst. Im Falle eines solchen Unfalles gab es Fehler in der Längsführung des Fahrzeuges. Entweder bremste der Fahrer zu spät oder nicht ausreichend stark, fuhr zu schnell oder hielt den Sicherheitsabstand nicht ein. Auch für diese Kategorie gibt es bereits Assistenzsysteme. Das Antiblockiersystem (ABS) unterstützt den Fahrer bei Notbremsungen, die Fahrzeugstabilität weiterhin aufrecht zu erhalten. Der Bremskraftverstärker verstärkt die Fußkraft des Fahrers um große Bremsdrücke zu erzeugen. Der Bremsassistent baut den Bremsdruck schneller auf als der Fahrer das Bremspedal betätigt. Geschwindigkeitsregelanlagen wie Distronic oder adaptive cruise control (ACC) regeln aufgrund vorausfahrender Fahrzeuge die Fahrgeschwindigkeit und den Abstand zum Vordermann. [5]

Statistiken für Unfälle mit Todesfolge (Inner- & Außerorts), ergeben eben diese Struktur. Etwa ein Drittel aller Unfälle sind Kollisionsunfälle, ein Drittel Spurwechselunfälle und ein weiteres Drittel Kreuzungs- und Fußgängerunfälle. [6] Dies gilt ebenso wie in Deutschland auch für Japan und die USA. Die Zahlenwerte hierfür sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

**Tabelle 1 Unfälle mit Todesfolge im Jahr 2006 [6, eigene Darstellung]**

[%]	Spurwechselunfälle	Auffahr-/ Frontalunfälle	Fußgänger/Kreuzung
Deutschland	41	23	36
USA	33	32	35
Japan	16	35	49

Vor jedem Unfall (Aufprall) gibt es eine Zeitspanne, in der ein Unfall mit einer dementsprechenden Handlung des Fahrers noch verhindert werden könnte. Setzt der Fahrer eine Reaktion, welche einen drohenden Unfall abwenden soll, so wird das Fahrzeug verlangsamt bzw. ein Ausweichversuch wird gestartet. In dieser Fahrsituation unterstützen Fahrerassistenzsysteme den Fahrer bei seinem Vorhaben, den drohenden Unfall zu vermeiden.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Längsführung (Beschleunigen, Konstantfahrt und Bremsen) von Fahrzeugen. Auffahr- und Frontalunfälle könnten mit verbesserter Längsführung beeinflusst werden.

Diese Tatsache sowie die Feststellung, dass bei der Hälfte aller Unfälle keine Bremsung vor dem Aufprall erfolgt, zeigt die Notwendigkeit von Fahrerassistenzsystemen, welche in dieser Phase vor dem Unfall eingreifen und unterstützen (aktive Fahrerassistenzsysteme). Bei zwei Drittel aller Unfälle erfolgte vor dem Aufprall maximal eine Teilbremsung. Nur ein Drittel aller Fahrer ist in der Lage, eine Notbremsung zum richtigen und notwendigen Zeitpunkt einzuleiten, um die Unfallfolgen so gering als möglich zu gestalten. [7]

Für diese Arbeit wurde recherchiert, welche Systeme bereits in Fahrzeugen verbaut sind und in welcher Weise jedes einzelne Fahrerassistenzsystem den Anhalteweg von Personenkraftwagen beeinflusst. Als Anhalteweg bezeichnet man jenen Weg, welchen das Fahrzeug in der Zeit zurücklegt, nachdem der Fahrer eine Gefahrenquelle erkannt hat bis hin zum Stillstand oder der Kollision des Fahrzeuges.

Ziel dieser Arbeit ist es, das Verkürzungspotential auf den Anhalteweg der einzelnen Assistenzsysteme aufzuzeigen. Rückschlüsse, welche Systeme am Wichtigsten für die Sicherheit im Straßenverkehr sind werden ebenso möglich wie die Erkenntnisse, in welchen Situationen für welchen Fahrer ein System am Hilfreichsten einschreitet, um den Anhalteweg zu verkürzen. Während der Anhalteweg zurückgelegt wird vergeht die Anhaltezeit. In dieser Arbeit werden nur jene Fahrerassistenzsysteme bewertet, welche während dieser Anhaltezeit den Fahrer bei seinen Tätigkeiten unterstützen können.

Für die Bewertung der Systeme wird für eine theoretische Unfallsituation der Anhalteweg berechnet. Jede Berechnung erfolgte so, als hätte das Fahrzeug gerade nur ein Assistenzsystem zur Verfügung. Dadurch ist am Ende ein Vergleich der Assistenzsysteme möglich. Ebenso sollte eine Bewertung der Systeme hinsichtlich ihres Nutzens für verschiedene Fahrsituationen und verschiedene Fahrer erfolgen.

Der Nutzen eines Systems erfolgt durch die Angabe des Verkürzungspotentials auf den Anhalteweg. Eine andere Möglichkeit, den Nutzen der Systeme zu beschreiben, bietet die aktuelle Unfallstatistik. Abschätzungen, auf mögliche Auswirkungen der einzelnen

Systeme auf Zahlen der verunglückten Personen im Straßenverkehr beschreiben auf eine andere Weise den Nutzen und das Potential dieser Systeme.

Es wird beschrieben, welches System aus welchem Grund in welcher Fahrsituation am meisten Nutzen für einen Fahrer hat. Wenn ein Fahrzeug sich zu Beginn einer Notsituation in einer Kurve befindet sind andere Anforderungen an ein Assistenzsystem gestellt, als bei Geradeausfahrt des Fahrzeuges. Ebenso beeinflussen das Alter, die Aufmerksamkeit als auch die Erfahrung des Fahrers eine Unfallsituation und die Anforderungen an die jeweiligen Assistenzsysteme. Auch die Frage, welche Systeme am besten gemeinsam verbaut sein könnten, wurde beleuchtet. Es hat oberste Priorität, Rückschlüsse zu ermöglichen, welche Assistenzsysteme auf jeden Fall auch in billigeren Fahrzeugen und Kleinwagen verbaut bzw. angeboten werden oder in Zukunft gesetzlich verpflichtend vorhanden sein sollten.

## 2 Der Anhalteweg

Fahrerassistenzsysteme wirken zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Anhalteweges. Manche unterstützen den Fahrer bereits sehr früh. Sie warnen den Fahrer, bevor er selber noch eine Gefahr erkennt. Andere Assistenzsysteme unterstützen den Fahrer erst dann, wenn er bereits eine Handlung setzt und erhöhen die Wirkung seiner Handlung. Damit ihr Eingreifen besser verstanden werden kann, muss der Anhalteweg selbst verstanden werden. In der Fahrsituation direkt vor einem möglichen Unfall versucht der Fahrer gerade, einem Hindernis auszuweichen oder das Fahrzeug davor zum Stillstand zu bringen.

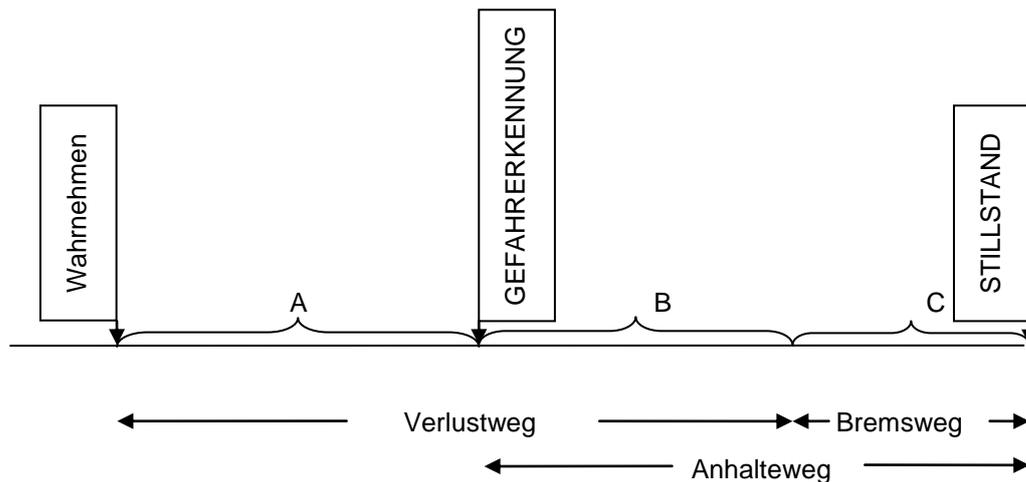
Der zurückgelegte Weg des Fahrzeuges, vom Zeitpunkt der Gefahrenerkennung bis hin zum Stillstand bzw. der Kollision des Fahrzeuges, wird Anhalteweg genannt.

Dieser sich aus einem Teil des Verlustweges und Bremsweg zusammensetzende Anhalteweg ist in Abb 1 vereinfacht dargestellt. Der Verlustweg wird während der Verlustzeit vom Fahrzeug zurückgelegt. Die Verlustzeit ist jene Zeit, in der sich das Fahrzeug noch ohne Reduktion der Fahrgeschwindigkeit fortbewegt und beginnt mit dem Wahrnehmen (Blickzuwendung). Der Bremsweg ist jener Teil des Anhalteweges, bei dem die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges bereits reduziert wird.

Während der Zeitspanne A, dargestellt in Abb 1, nimmt der Fahrer etwas wahr. Es passieren einige Denkvorgänge unterbewusst und zum Teil im Bewusstsein des Fahrers. Das Fahrzeug und somit auch die Fahrgeschwindigkeit bleiben unbeeinflusst.

Die darauf folgende Zeitspanne B ist jene Zeit, in der der Fahrer bereits Handlungen setzt, um das Fahrzeug zu verlangsamen. Nicht nur Augen des Fahrers, auch die Gliedmaßen beginnen sich bereits zu bewegen. Die Technik des Fahrzeuges wird angesteuert. Das Ende dieser Phase ist erreicht, wenn sich eine Fahrzeugverzögerung einstellt.

In Phase C befindet sich das Fahrzeug bereits in der vollen Verzögerung. Ende dieser Phase ist der Stillstand des Fahrzeuges. Dieser kann entweder mit oder ohne Aufprall erreicht werden.



**Abb 1 Der Anhalteweg, vereinfachte Darstellung [eigene Darstellung]**

Wie in Abb 1 und ebenso in der detaillierteren Darstellung von Abb 2 zu sehen ist, beginnt der Anhalteweg mit der Gefahrenerkennung. Während das Fahrzeug den Anhalteweg durchfährt vergeht die Anhaltezeit.

Phase A wird Gefahrenerkennungszeit genannt und ist kein Teil der Anhaltezeit. Dem Fahrer ist noch keine Gefahrensituation bewusst. Es erfolgt die Blickzuwendung und das Erkennen.

Phase B wird Vorbremszeit genannt. Die Vorbremszeit ist die Zeitspanne zwischen Gefahrenerkennung und Beginn der Fahrzeugverzögerung [8]. Die Vorbremszeit kann wie folgt unterteilt werden. Der Reaktionszeit folgt die Umsetzzeit. Während der Umsetzzeit setzt der Fahrer den Fuß auf das Bremspedal. Danach folgt die Ansprechzeit. Die Ansprechzeit ist jene Zeitspanne, die das technische System benötigt, um auf die Anforderungen des Fahrers zu reagieren und die Bremsbeläge an die Bremscheiben anzulegen. Danach steigt der Bremsdruck bis auf ein Maximum in der Schwellzeit an. Würde ein linearer Anstieg der Bremsverzögerung in der Schwellzeit angenommen werden, so könnte vereinfacht die erste Hälfte der Schwellzeit ohne Verzögerung, die zweite Hälfte der Schwellzeit mit Vollverzögerung angesehen werden. Die vereinfachte Berechnung des Anhalteweges wird in [9] der genaueren Integralberechnung gegenüber gestellt. Die Abweichungen der Berechnungsergebnisse werden in [9] erörtert.

Abgeschlossen wird der Anhalteweg durch die Vollbremszeit. Phase C wird Vollbremsphase genannt. In dieser Phase ist die Fahrzeugverzögerung maximal. Sie endet mit dem Fahrzeugstillstand oder durch den Anprall auf das Hindernis.

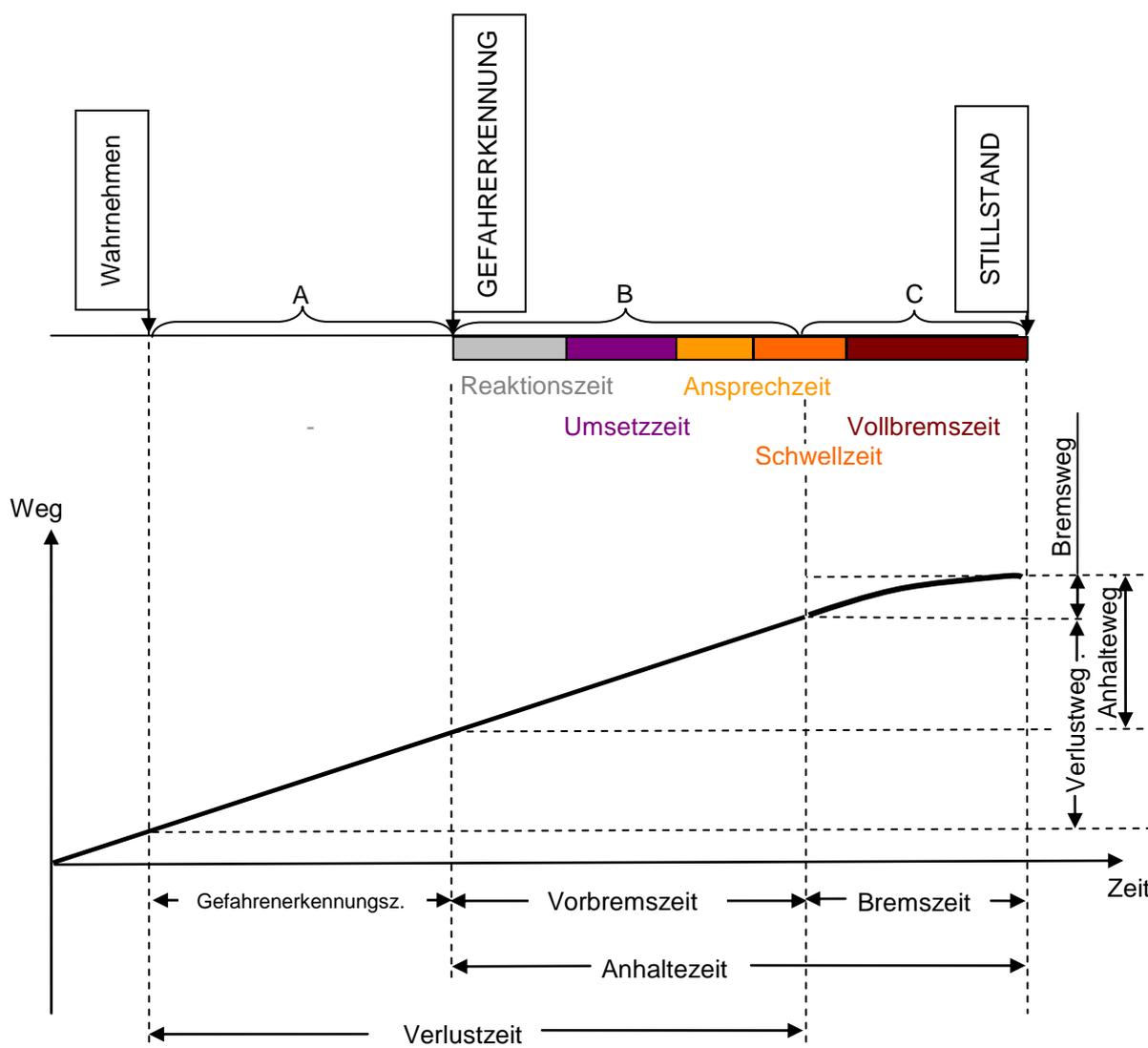


Abb 2 Phasen des Anhalteweges, vereinfachte Darstellung [eigene Darstellung]

Zu Beginn der Anhaltezeit legt das Fahrzeug noch mit unverminderter Geschwindigkeit Weg zurück. Systeme, welche am Beginn der Anhaltezeit bereits in das Geschehen eingreifen können, haben sehr große Auswirkungen auf den Anhalteweg. Unverzögerte Fahrzeuge haben noch die höchste Fahrgeschwindigkeit. Durch den physikalischen Zusammenhang „Geschwindigkeit ist Weg pro Zeiteinheit“ ergibt sich, dass ein Fahrzeug mit größerer Geschwindigkeit mehr Weg pro Zeiteinheit zurücklegt als ein Fahrzeug mit weniger Geschwindigkeit. Damit die Verbindung zwischen Fahrerassistenzsystem und Länge des Anhalteweges genau ausgearbeitet werden kann, ist es unerlässlich, in diesem Kapitel den Anhalteweg genau aufzuarbeiten.

## 2.1 Gefahrenerkennungszeit

Der Anhalteweg beginnt, wie in Abb 2 ersichtlich, mit der Gefahrenerkennung. Die Zeitspanne bevor die Anhaltezeit beginnt, wird Gefahrenerkennungszeit genannt. Verkürzt sich die Gefahrenerkennungszeit, so kann der Beginn der Anhaltezeit früher erfolgen. Dieser frühere Beginn der Anhaltezeit bzw. der Reaktionszeit bewirkt einen früheren Stillstand des Fahrzeuges ohne den Anhalteweg des Fahrzeuges zu verkürzen.

Abb 3 zeigt eine genaue Trennung der Gefahrenerkennungszeit und Reaktionszeit. Die Gefahrenerkennungszeit gliedert sich in Blickzuwendungszeit (Saccade) und Erkennungszeit. Eventuell ist nach der ersten Blickzuwendung noch eine weitere Korrektur-Blickzuwendung (Korrektursaccade) notwendig.

Während ein Fahrer fährt, schaut er aus dem Fahrzeug hinaus auf die kommende Strecke - „SEHEN“. Plötzlich eröffnet sich eine Gefahrenquelle, ein Hindernis. Dieses kann er im Gesichtsfeld „SEHEN“, „WAHRNEHMEN“. Wenn diese Gefahrenquelle nicht zufällig in seinem fovealen Sichtfeld erscheint, bewegt der Fahrer in der Blickzuwendungszeit seine Augen, um das im peripheren Gesichtsfeld befindliche Hindernis genau zu erfassen. Sollte mit der ersten Blickzuwendung das Hindernis nicht exakt erfasst worden sein, kann eine Korrektursaccade, also eine weitere Blickzuwendung, notwendig sein. [10] Die Gefahr wird in der Erkennungszeit erkannt - „GEFAHRENERKENNUNG“ - und die Reaktionszeit beginnt.

Während Blickzuwendungs- und Erkennungszeit passieren unterbewusste Vorgänge. Unzählige Male im Laufe einer Autofahrt gibt es diese Vorgänge, ohne dass sie zu einer Reaktion führen, da die möglichen Gefahrenquellen als ungefährlich eingestuft werden. Diese unzähligen Situationen können nach der Fahrt nicht mehr bewusst abgerufen werden, da sie als unwichtig eingestuft werden und somit im Unterbewusstsein bleiben.

Laut [8] dauert die Phase der Saccade, also der Blickzuwendung, rund 0,4 s.

[11] teilt die Blickzuwendung in eine Bewegung der Augen zum Objekt, welche 0,05 s dauert und gibt die Latenzzeit für diese Bewegung mit rund 0,2 s an. Die Erkennungszeit wird mit weiteren 0,05 s angegeben. Somit dauert nach [11] die

Blickzuwendungs- und Erkennungszeit rund 0,3 s. Ist zwischen der ersten groben Blickzuwendung und dem Erkennen noch eine weitere Korrekturblickzuwendung notwendig, so dauert diese laut [10] rund 0,13 s. Daher ist die gesamte Dauer von Phase A laut [11] rund 0,3 bis 0,43 s.

[10] liefert für diese Teilphasen (Blickzuwendung, eventuell notwendige Korrektursaccade, Erkennungszeit) Minimumwerte (nur 2 % sind schneller), Maximumwerte (nur 2 % sind langsamer) und wahrscheinlichste Werte. Diese sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Minimumwerte werden dem fiktiven Fahrer F2% zugeschrieben. Die Durchschnittswerte beschreiben den Durchschnittsfahrer Fx. Nur 2 % aller Fahrer sind schlechter als F98%. Mögliche absolute Minima und Maximalwerte werden im Kapitel 5 behandelt.

**Tabelle 2 Zusammenfassung Gefahrenerkennungszeit [10, eigene Darstellung]**

[Werte in s]	F2%	Fx	F98%
Blickzuwendung & Erkennungszeit	0,32	0,48	0,55
eventuell nötige Korrektursaccade	0,09	0,13	0,15

Die Gefahrenerkennungszeit ist kein Teil des Anhalteweges. Trotzdem ist es für die Bewertung der Assistenzsysteme in diese Arbeit unerlässlich, auch die Dauer der Gefahrenerkennungszeit und somit den Beginn der Reaktionszeit bei verschiedenen Assistenzsystemen zu erwähnen.

## 2.2 Reaktionszeit

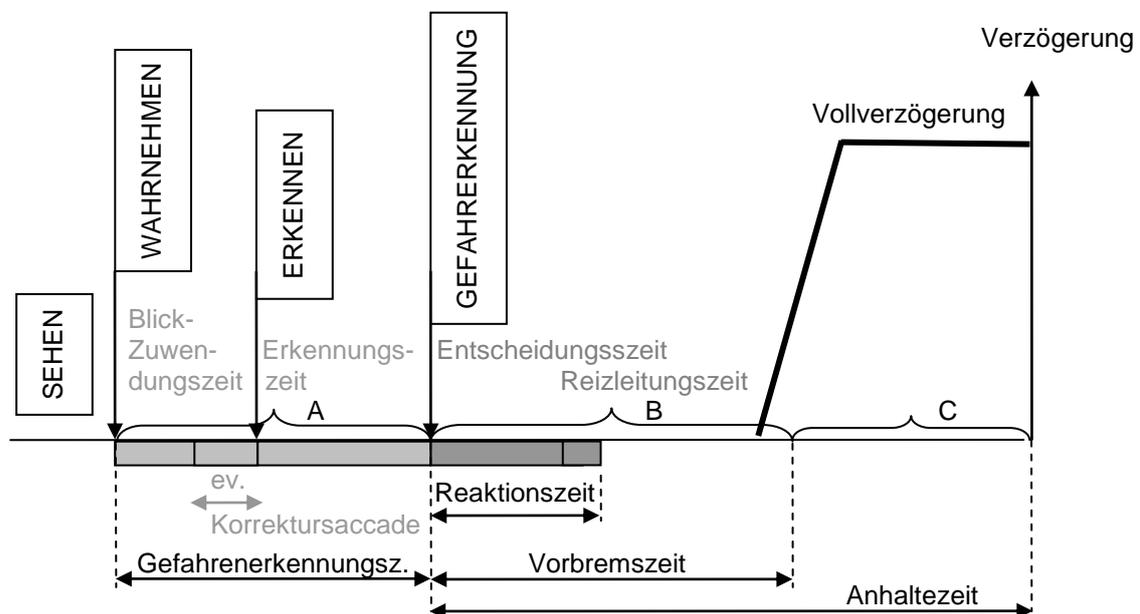
Nach der Gefahrenerkennungszeit beginnt mit der Reaktionszeit der Anhalteweg.

Der Fahrer wiegt seine Möglichkeiten ab - ausweichen oder bremsen - und entscheidet in der Entscheidungszeit, bereits ein Teil der bewussten Reaktionszeit, ob er bremsen muss.

[11] nimmt für die Entscheidungszeit 0,27 - 0,31 s an, für die darauf folgende Reizleitung 0,03 s. Die Addition dieser beiden Werte liefert für die Reaktionszeit Werte von 0,3 - 0,34 s.

Laut [8] können alleine für die Reaktionszeit für eine Spontanreaktion Werte von 0,16 - 0,25 s angenommen werden. Erfolgt allerdings eine nicht automatisierte Wahlreaktion, so dauert die Reaktionszeit 0,3 - 0,5 s.

[12] fasst bei der Angabe von Zahlenwerten alle Phasen vor der Vollbremsphase (inklusive Gefahrenerkennungszeit) zusammen und liefert so Zahlenwerte von 0,5 bis 2,0 Sekunden mit der Bezeichnung „Reaktionszeit“.



**Abb 3 Details Gefahrenerkennung und Reaktionszeit [8, eigene Darstellung]**

Bereits 1983 lieferte [13] Werte für die Reaktionszeit ohne Gefahrenerkennungszeit. Demnach reagieren Frauen wie Männer gleich schnell. Dabei unabhängig sind die Reaktionszeiten von der Wettersituation. Der schnellste Autofahrer wurde im Test mit 0,34 s, der langsamste mit 1,85 s gemessen. Hat der Fahrer die Gefahr nicht unmittelbar im Blickfeld, so benötigt der Fahrer laut [13] vor der Reaktionszeit weitere 0,4 s für die Blickzuwendung. Die meisten Reaktionen ohne Blickzuwendungszeit erfolgten in der Bandbreite von 0,6 bis 1,0 s. Der Mittelwert lag bei 0,7 s. Ebenso gibt [9] gemessene Mittelwerte von 0,7 bis 0,9 s an.

[10] liefert für die Reaktionszeit Minimumwerte (nur 2 % sind schneller), Maximumwerte (nur 2 % sind langsamer) und wahrscheinlichste Werte. Da die Werte sehr gut mit den meisten anderen Quellen übereinstimmen, werden sie für diese Arbeit auch übernommen und in Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3 Zusammenfassung Reaktionszeiten [10, eigene Darstellung]**

[Werte in s]	Min.	F2%	Fx	F98%	Max.
Reaktionszeit	0,16	0,22	0,45	0,58	1,85

## 2.3 Umsetzzeit

Definition: „Die Zeitspanne vom Beginn der Fußbewegung bis zum Erreichen des Bremspedals wird als Umsetzzeit bezeichnet.“ [12]

Die Umsetzzeit, siehe Abb 2, bewegt sich zwischen 0,15 und 0,3 s [12]. Laut einer Studie aus dem Jahre 1985 lag der Durchschnittswert bei 0,19 Sekunden. Auch [14] berichtet von Untersuchungen, bei denen die Durchschnittswerte 0,20 s betragen.

[10] liefert für die Umsetzzeit folgende, in Tabelle 4 zusammengefasste, Minimum-Maximum- und wahrscheinlichste Werte, welche im weiteren Verlauf der Arbeit auch verwendet werden.

**Tabelle 4 Zusammenfassung Umsetzzeiten [10, eigene Darstellung]**

[Werte in s]	Min.	F2%	Fx	F98%	Max.
Umsetzzeit	0,15	0,15	0,19	0,21	0,30

## 2.4 Ansprechzeit

Definition: „Die Ansprechdauer ist die Zeit, die vom Beginn der Kraftwirkung auf die Betätigungseinrichtung bis zum Einsetzen der Bremskraft vergeht“ [15], siehe Abb 4.

Für die Ansprechzeit wird 0,05 s als wahrscheinlichster Mittelwert bei Personenkraftwagen angegeben, eine Spanne von 0,03 s bis 0,06 s ist üblich. [9] Ebenso liefert [10] diese Werte. Sie werden in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 5 Zusammenfassung Ansprechzeiten [10, eigene Darstellung]**

[Werte in s]	Min.	F2%	Fx	F98%	Max.
Ansprechzeit	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06

## 2.5 Schwellzeit

Definition: „Die Schwelldauer ist jene Zeit, die vom Einsetzen der Bremskraft bis zum Erreichen des maximalen Leitungsdruckes vergeht“ (siehe Abb 4,  $t_5 - t_1$ ) [5].

Zusätzlich zu den Zeitangaben  $t_0 - t_7$  sind in diesem Weg-Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm (Abb 4) der Bremspedalweg, der Bremsleitungsdruckverlauf, die Fahrzeugverzögerung und die Fahrzeuggeschwindigkeit abgebildet. Die maximale Fahrzeugverzögerung setzt aufgrund der Dynamik des Fahrzeuges erst bei  $t_6$ , kurz nach Erreichen des maximalen Leitungsdruckes, ein.

Übliche Werte für die Schwellzeit betragen laut [9] 0,14 - 0,18 s, auch von Schwellzeiten von 0,15 s bei geübten und bis zu 0,3 s bei normalen Fahrern wird berichtet [12]. In [17] wird für Personenkraftwagen die Bremsschwellzeit mit einer Spanne von 0,2 - 0,4 s angegeben.

„Die Betätigungs- und Übertragungseinrichtung sowie die Bremse selbst und deren momentaner Zustand bestimmen die Bremsenansprech- und Bremsenschwelldauer. Die Dynamik von Pkw-Bremsanlagen zeigt hier üblicherweise Werte für  $t_a + t_s/2$  von 0,2 Sekunden; gesetzlich zulässig sind bis zu 0,36 Sekunden.“ [12]

Schwellzeiten von bis zu 0,6 s bei einer Ansprechzeit von 0,06 s sind gesetzlich noch zulässig ( $0,06 + 0,6/2 = 0,36$ ). Werte über 0,3 s für die Schwellzeit und Ansprechzeiten von über 0,06 s sind allerdings unüblich.

Ebenso liefert [10] Werte für die Schwellzeit. In Tabelle 6 sind die in der Literatur gesammelten Werte zusammengefasst.

**Tabelle 6 Zusammenfassung Schwellzeiten [10, eigene Darstellung]**

[Werte in s]	Min.	F2%	Fx	F98%	Max.
Schwellzeit	0,14	0,14	0,17	0,18	0,30

## 2.6 Vollbremszeit

Definition: „Wird der maximal mögliche Bremsdruck erreicht und ist das Fahrzeug bis dahin noch nicht zum Stillstand gekommen, beginnt in diesem Moment die Vollbremszeit, die mit dem Stillstand des Fahrzeugs endet.“ [12]

Laut ÖNORM V5006 bzw. DIN 70012 setzt sich die Bremsdauer aus Vollbremszeit, Schwellzeit und Ansprechzeit zusammen [18]. Es wird extra darauf hingewiesen, dass die Bremsdauer ( $t_7 - t_0$ ) nicht mit Vollbremszeit ( $t_7 - t_5$ ) zu verwechseln ist, siehe Abb 4.

Verzögerungswerte, welche hier für den Bremsweg verantwortlich sind, sind stark von Fahrbahnbeschaffenheit, Wetterbedingungen, Fahrwerk und Reifen abhängig.

Dabei wird davon ausgegangen, dass das Bremspedal vollständig betätigt wurde. Doch sogar in kritischen Situationen wird der Druck auf das Pedal von ungeübten Fahrern oft schon nach 0,1 - 0,2 s etwas verringert und erst, wenn das Hindernis näher kommt, nochmals erhöht [12].

Das kann zur Folge haben, dass die maximal mögliche Fahrzeugverzögerung gar nicht erzielt wird.

Die Dauer dieser Phase des Anhalteweges ist in erster Linie abhängig von der Anfangsgeschwindigkeit des Fahrzeuges. Die Bandbreiten der Verzögerungen werden in Kap 2.7 angeführt.

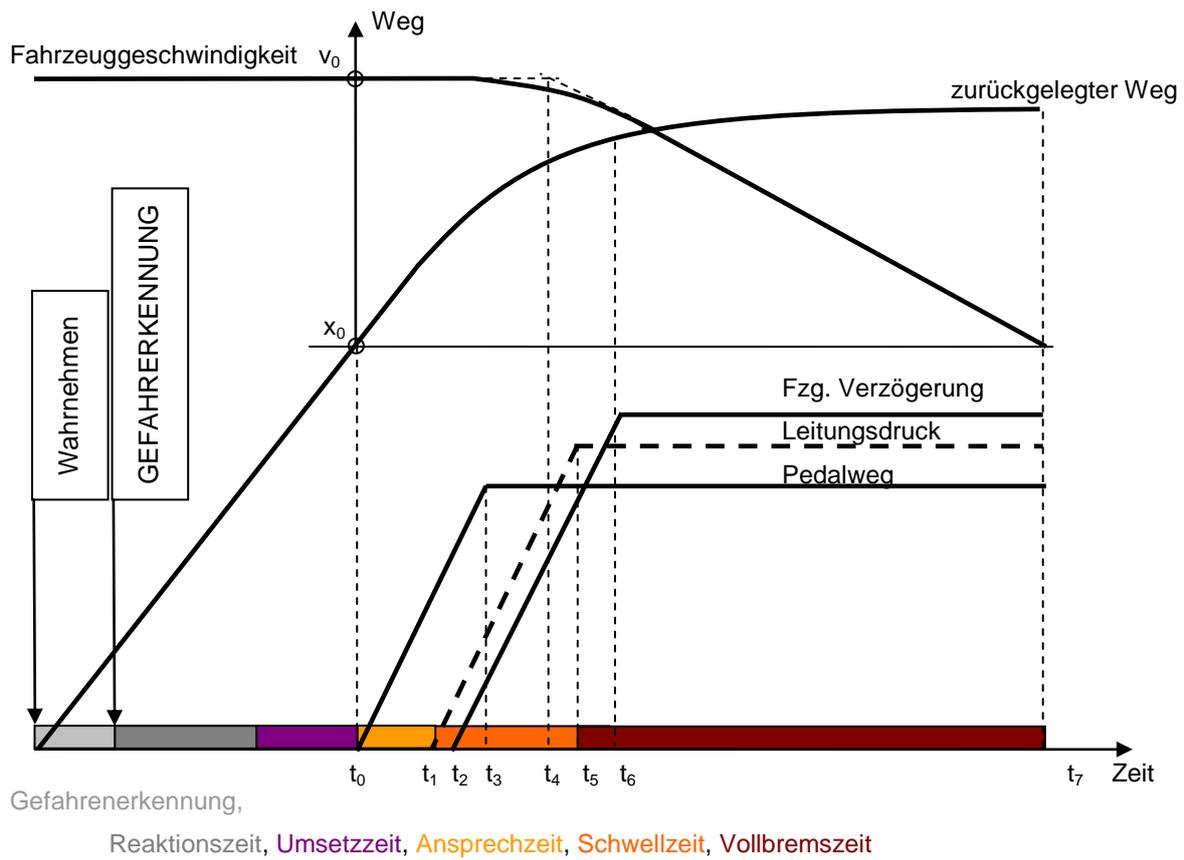


Abb 4 Gefahrenerkennung, Anhalteweg mit Details zur Bremsdauer [5, eigene Darstellung]

## 2.7 Übersicht: Zahlenwerte des Anhalteweges

Die graphische Aufbereitung in Abb 6 aller Zahlenwerte hebt nochmals die einzelnen Phasen des Anhalteweges hervor und vergleicht diese übersichtlich und vereinfacht miteinander. Die Breite des Rechteckes zeigt die mögliche Dauer einer Phase auf. So kann also die Reaktion im Idealfall (nur 2 % der Fahrer ist schneller) nach nur 0,22 s erfolgen. Die maximale Reaktionszeit beträgt 0,58 s (nur 2 % der Fahrer ist langsamer). Dies ist vom Menschen abhängig und somit sehr unterschiedlich.

Der starke Strich im Rechteck zeigt den Modalwert. Das ist jener Wert, den durchschnittliche Fahrer am Häufigsten liefern. Am Häufigsten erfolgt von den meisten Fahrern eine Reaktion nach 0,45 s. Dies ist an der Abbildung durch den fetten Strich im Rechteck bei 0,45 abzulesen. In der Zahlenwertetabelle sind zusätzlich auch die absoluten Minima und Maxima dargestellt.

Für die Umsetzphase benötigen die Fahrer im besten Fall nur 0,15 s.

Ein technisch sehr ausgereiftes Fahrzeug benötigt nur 0,02 s Ansprechzeit, um die gewünschte Vollbremsung einzuleiten. Maximal ist die Ansprechphase gesetzlich auf 0,06 s beschränkt.

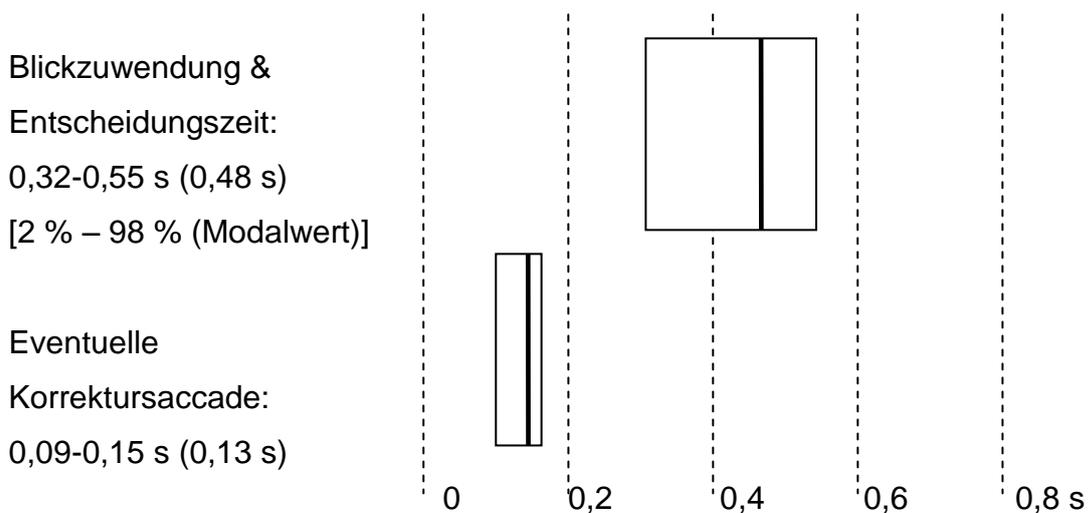
Um den maximalen Pedaldruck und somit Bremsdruck aufzubauen, werden im besten Fall nur 0,14 s in der Bremsschwellphase benötigt.

In Tabelle 8 sind die Zahlenwerte der Anhaltezeit zusammengefasst dargestellt.

Die Vollbremsphase ist neben der Fahrbahnbeschaffenheit und dem verwendeten Reifen, welche maßgeblich die Fahrzeugverzögerung beeinflussen, hauptsächlich von der Ausgangsgeschwindigkeit  $v$  des Fahrzeuges abhängig. Auch der Druckaufbau über das Bremspedal durch den Fahrer beeinflusst diese Phase maßgeblich. Zwei Drittel aller Fahrer leiten vor dem Anprall nur eine Teilbremsung des Fahrzeuges ein. [7]. Diese Fahrer werden von Bosch als „Normalfahrer“ bezeichnet.

Übliche Verzögerungswerte  $a$  liefern unter anderem [17], [19] und [20] für verschiedenste Fahrbahnbeschaffenheit und werden in Abb 7 gezeigt. Viele Fahrer nützen die maximal möglichen Verzögerungswerte allerdings nicht aus [3].

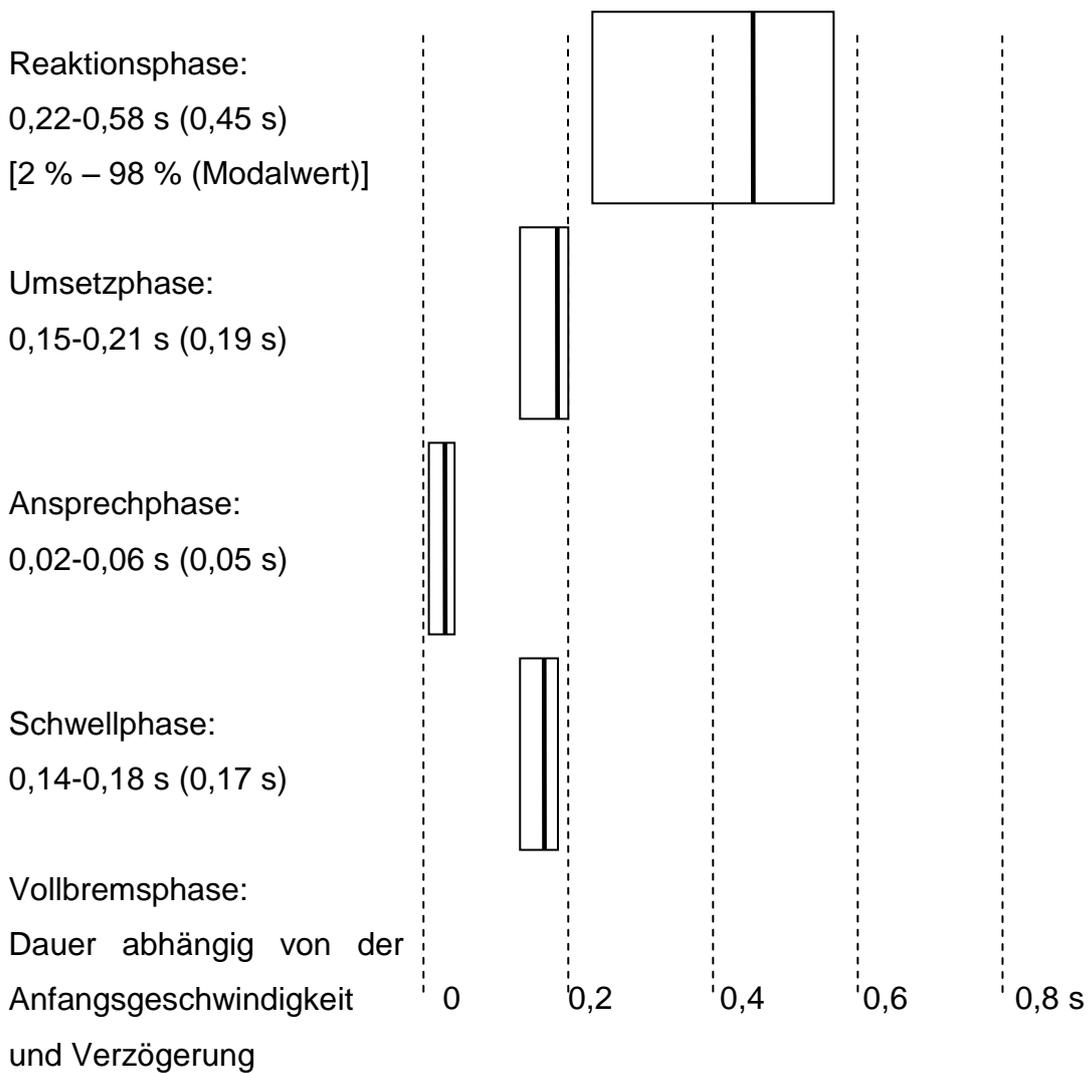
Abb 5 zeigt, in gleicher Weise wie Abb 6 die Phasen des Anhalteweges darstellt, die Phasen der Gefahrenerkennungszeit, welche nicht Teil des Anhalteweges ist. Nach der Gefahrenerkennungszeit beginnt mit der Reaktionszeit die Anhaltezeit. In Tabelle 7 sind die Zahlenwerte der Gefahrenerkennungszeit zusammengefasst.



**Abb 5** Intervall der Zahlenwerte der Gefahrenerkennungsphasen [10, eigene Darstellung]

**Tabelle 7** Zusammenfassung Gefahrenerkennungszeit [10, eigene Darstellung]

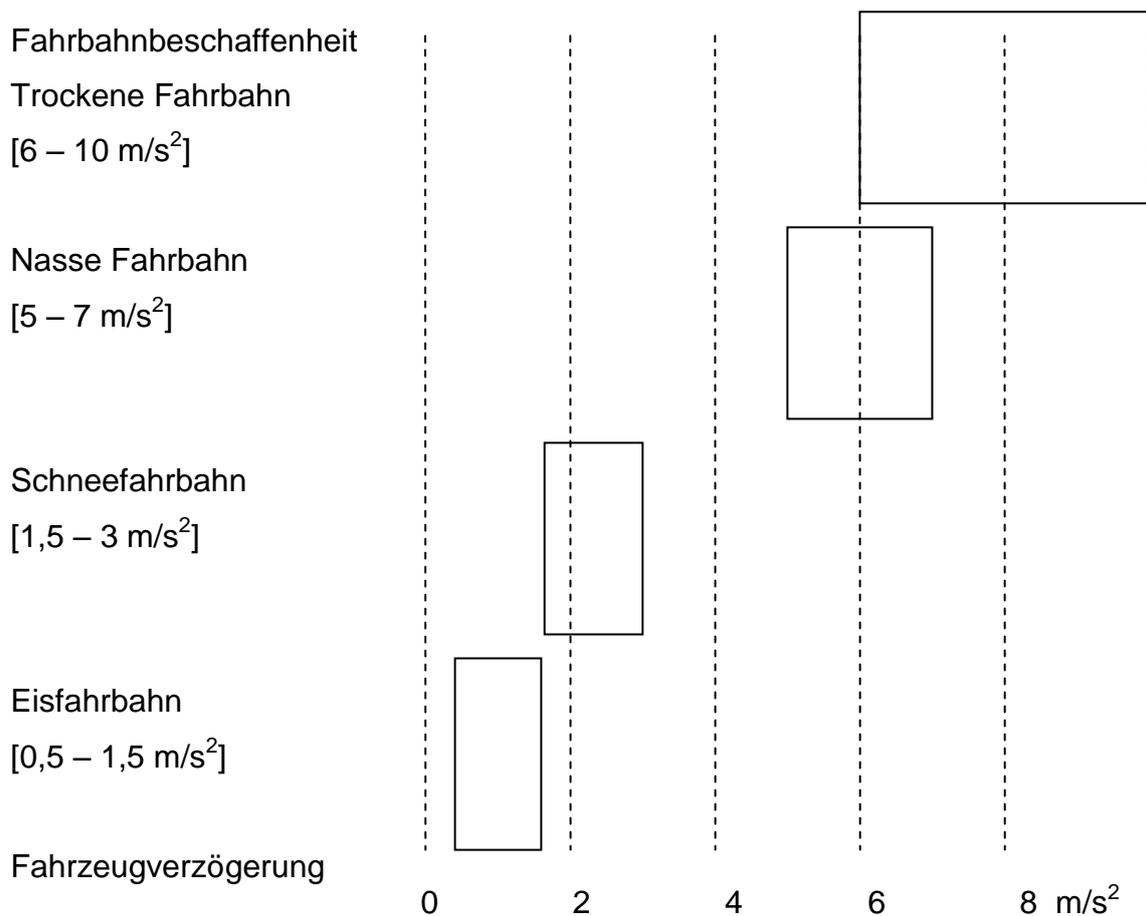
[Werte in s]	F2%	Fx	F98%
Blickzuwendung & Erkennungszeit	0,32	0,48	0,55
eventuell nötige Korrektursaccade	0,09	0,13	0,15



**Abb 6 Intervall der Zahlenwerte der Anhaltewegphasen [10, eigene Darstellung]**

**Tabelle 8 Zusammenfassung der Zahlenwerte der Anhaltewegphasen [10, eigene Darstellung]**

[Werte in s]	Min.	F2%	Fx	F98%	Max.
Reaktionszeit	0,16	0,22	0,45	0,58	1,85
Umsetzzeit	0,15	0,15	0,19	0,21	0,30
Ansprechzeit	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06
Schwellzeit	0,14	0,14	0,17	0,18	0,30



**Abb 7 Übliche Verzögerungswerte je Fahrbahnbeschaffenheit [17, eigene Darstellung]**

Im nächsten Schritt werden die verschiedenen Assistenzsysteme vorgestellt. Im Zuge dessen wird die technische Wirkweise der Systeme Aufschluss geben, in welchen Phasen sie aktiv werden können, wie sie wirken bzw. den Fahrer unterstützen. Ebenso werden der Grund, warum sie die Dauer der Phase verändern, sowie das Ausmaß der Veränderung ersichtlich.

### 3 Einteilung und Beschreibung der Assistenzsysteme

Fahrerassistenzsysteme, welche den Anhalteweg beeinflussen können, werden bereits vor der Kollision aktiv. Die Beeinflussung des Anhalteweges kann entweder durch die Verkürzung der Reaktionsphase erfolgen oder durch Eingreifen in das Bremssystem. Ursprünglich hatten Fahrzeuge ein Basisbremssystem, welches aus den Hauptbestandteilen Bremspedal, Bremsleitung, Bremstrommeln bzw. Bremsscheiben und Bremsbelägen bestand. Ein bereits sehr verbreitetes und daher weithin bekanntes System, das in den Bremsvorgang eingreift, ist das Antiblockiersystem, kurz ABS genannt.

Da die nun folgenden Systeme mit ihrem technischen Aufbau auf früher entwickelte Systeme aufbauen, erfolgt die Beschreibung der einzelnen Systeme in chronologischer Reihenfolge zu ihrer Markteinführung. Das ABS-System war bereits in den 1970er Jahren als Vorreiter der aktiven Fahrerassistenzsysteme serienreif. Daher ist das erste System, welches in diesem Kapitel beschrieben wird, das Antiblockiersystem.

#### 3.1 Antiblockiersystem, ABS

ABS ging als erstes Antiblockiersystem 1978 in Serie. Die Entwicklung in der Digitalelektronik machte es der Ausführung ABS 2S möglich, die komplexen Vorgänge beim Bremsen zu überwachen und bei Bedarf darauf zu reagieren. Dieses System konnte ohne Änderungen am Basisbremssystem in die Bremsanlage integriert werden. [15]

Heute werden nur noch ABS-Systeme verbaut, bei denen jedes Rad einzeln angesteuert wird (4 Kanal-ABS-System) [15]. Drehzahlsensoren messen an allen vier Rädern die Radgeschwindigkeiten. Diese Sensoren stehen im Kontakt mit dem Steuergerät, welches aus den empfangenen Sensorsignalen eine Blockiergefahr erkennt. Das ABS-System verhindert das Blockieren der Räder bei einer Notbremsung. Im gegebenen Fall steuert das Steuergerät das Hydroaggregat an, um die Magnetventile der betreffenden Räder anzusprechen. Der Bremsdruck kann so unabhängig vom Druck in der Bremsleitung über die Magnetventile vom Steuergerät

reguliert werden. Jedes Rad hat ein eigenes Magnetventil, wird also bestmöglich beeinflusst.

Je nach Fahrbahnbeschaffenheit und Aktualität der ABS-Version laufen 4-15 Regelzyklen pro Sekunde ab. Diese Reaktionsschnelligkeit wurde durch die elektronische Signalverarbeitung möglich. Bei jedem Fahrtbeginn und nach jedem Stillstand des Fahrzeugs wird durch das Steuergerät ein Testzyklus eingeleitet. [15]

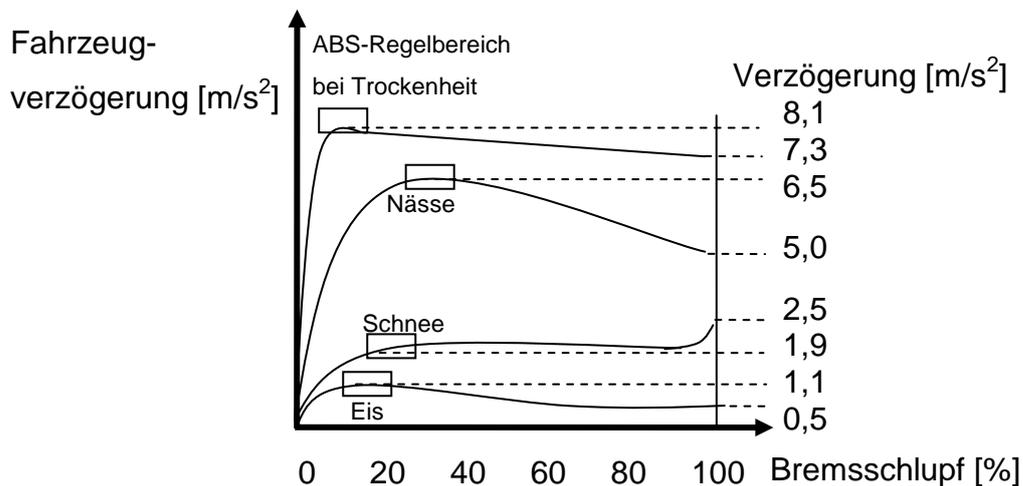
Es kann beim Bremsvorgang zum Blockieren der Räder kommen. Das Fahrzeug kann dadurch die Stabilität verlieren. Nur durch das Bedienen des Bremspedals ist die erforderliche individuelle Dosierung der optimalen Bremskraft an jedem einzelnen Rad nicht möglich. [7] Das System erkennt beim Bremsen frühzeitig die Blockiergrenze jedes Rades und sorgt dafür, dass der Bremsdruck konstant gehalten oder verringert wird. Es regelt jedes einzelne Rad in den optimalen Schlupfbereich. Dadurch blockieren die Räder nicht. Auf den meisten Bodenbelägen verbleibt nicht nur die Möglichkeit, mit Hilfe des Lenkrades weiterhin die gewünschte Richtung vorzugeben (die Lenkstabilität der Fahrzeuges bleibt erhalten), sondern es wird auch noch der Anhalteweg optimiert. Auf Schnee und Kies verlängert sich der Anhalteweg, da sich bei Blockierbremsungen Bremskeile vor den Rädern bilden und diese das Fahrzeug zusätzlich abbremsen. [5]

Um Unfälle vermeiden zu können ist es nicht immer wichtig, mit Hilfe eines kürzestmöglichen Anhalteweges das Fahrzeug zum Stillstand zu bringen, sondern manchmal auch von entscheidender Bedeutung, es am Hindernis vorbeilenken zu können. Diese weitere Möglichkeit Unfälle zu vermeiden ist ein enormer Zusatznutzen dieses Systems. Doch ist dieser Nutzen in dieser Arbeit nicht zu bewerten, da er keinen Einfluss auf den Anhalteweg hat.

ABS wirkt weder in der Reaktionsphase, in der Umsetzphase, noch in der Ansprechphase. Es beeinflusst frühestens in der Schwellphase die Fahrzeugstabilität. Doch auch in der Schwellphase kann ABS noch nicht aktiv werden. Erst wenn der maximale Bremsdruck erreicht ist, verhindert das System Blockierbremsungen. Es regelt den Bremsdruck an den einzelnen Rädern gezielt in den optimalen Schlupfbereich. ABS bewirkt in der Vollbremsphase, dass die Fahrzeugverzögerung durch Regelung der einzelnen Reifen in den optimalen Schlupfbereich maximal wird.

In Abb 8 wird gezeigt, dass bei ABS-Regelung in den optimalen Bremsschlupfbereich der einzelnen Räder bei Trockenheit, Nässe und Eis eine optimale Verzögerung erzielt wird. Der Bereich der ABS-Regelung ist als Rechteck in der Abbildung dargestellt.

Am rechten Ende des Diagramms, also bei 100 % Bremsschlupf bzw. Haftreibungszahl 1, stehen die Räder still und gleiten mit Gleitreibung über die Fahrbahnoberfläche. Die Relativgeschwindigkeit der stehenden Reifenoberfläche zur Fahrbahn wird maximal, sie erreicht 100 % der Fahrzeuggeschwindigkeit. Das ist bei Notbremsungen mit Fahrzeugen ohne ABS der Fall. Ebenso sind auf der Hochachse des Diagramms grundlegende Verzögerungswerte für Fahrzeuge mit und ohne ABS eingetragen. Ein Fahrzeug ohne ABS verzögert bei einer Blockierbremsung im Trockenen mit rund  $7,3 \text{ m/s}^2$ . Im Gegensatz dazu erhöht sich die Verzögerung im Trockenen aufgrund von ABS auf rund  $8 \text{ m/s}^2$  während einer Notbremsung [20].



**Abb 8 Haftreibungszahl in Abhängigkeit vom Bremsschlupf [5, eigene Darstellung]**

Die Regelung in den optimalen Schlupfbereich verändert die Verzögerungswerte im Vergleich zu Fahrzeugen ohne ABS. Im späteren Verlauf der Arbeit wird auf Grund der großen Marktdurchdringung ein ABS-Fahrzeug das Referenzfahrzeug zu den anderen Assistenzsystemen sein. Die Berechnungsparameter für dieses Bremssystem werden in Tabelle 9 nochmals zusammengefasst dargestellt:

**Tabelle 9 Berechnungsparameter ABS**

Die Fahrzeugverzögerung  $a$  erreicht im ABS-Regelbereich folgende Werte, siehe Abb 8 und Kap 3.9:

Trocken – Nass – Schnee – Eis  $a$ :  $8,1 - 6,5 - 1,9 - 1,1 \text{ m/s}^2$

Reaktions-, Umsetz-, Ansprech-, & Schwellzeit bleiben vom ABS-System unbeeinflusst.

### 3.2 Elektronische Bremskraftverteilung, EBV

Die elektronische Bremskraftverteilung ersetzt den hydraulischen Bremskraftverteiler. Er wird durch einen zusätzlichen Softwarealgorithmus in der ABS-Software realisiert. Dieser Algorithmus ermöglicht eine optimierte Bremskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse bei Bremsungen. Damit wird an der Hinterachse die Kraftschlussausnutzung optimiert und gleichzeitig die Fahrstabilität erhalten. Wird eine Überbremsung der Hinterachse erkannt, so werden die Hinterrad-Einlassventile geschlossen. So kann der weitere Druckaufbau verhindert werden. EBV-Bremsanlagen nutzen die Komponenten, die beim ABS vorhanden sind und erfordern keine zusätzlichen Bauteile. [7]

Laut [12] ist bei einer installierten Bremskraftverteilung mit festem Verhältnis zwischen Bremskraft an der Vorderachse zu Bremskraft an der Hinterachse das Verhältnis so zu wählen, dass die Vorderachse vor der Hinterachse blockiert. Nach der ECE13-Richtlinie ist dies bis zu einer Verzögerung von  $0,85\text{ g}$  ( $=8,34\text{ m/s}^2$ ) zu gewährleisten. Das entspricht einem Bremsweg von 46 m bei einer Vollbremsung von 100 km/h auf 0 km/h. Im Jahr 2000 war der durchschnittliche Wert für diese Bremsung 40 m. [12]

Bei Fahrzeugen mit einer festen Bremskraftverteilung wird keine Rücksicht auf die Verzögerungswerte des Bremsvorganges oder auf die aktuelle Gewichtsverteilung des Fahrzeuges genommen. Es muss einfach immer gewährleistet sein, dass die Vorderachse vor der Hinterachse blockiert. Dadurch kann eine mögliche Hinterachsbremskraft durch eine feste Bremskraftverteilung nicht ausgenutzt werden. Bei der elektronischen Bremskraftverteilung ist dies möglich. Daraus ergeben sich folgende Vorteile [5]:

- Verbesserte Fahrzeugstabilität bei allen Beladungszuständen.
- Entfall des Druckminderers.
- Thermische Belastung der Vorderradbremse wird verringert.
- Gleichmäßige Abnutzung vorderer und hinterer Bremsbeläge.
- Bei gleichen Pedalkräften höhere Fahrzeugverzögerungen.
- Nur geringfügige Änderungen an der ABS-Bremsanlage erforderlich.

Die elektronische Bremskraftverteilung ist für Fahrzeuge mit ABS lediglich eine Software-Erweiterung. Es erfordert keine zusätzliche Hardware, sie zu installieren. Seit Anfang der 1990er Jahre ist sie, ebenso wie ABS, in nahezu allen Fahrzeugen verbaut. Daher wird in dieser Arbeit auf dieses System nicht eingegangen – es ist sozusagen Teil des ABS-Systems, welches im Referenzfahrzeug vorhanden ist.

### **3.3 Elektronisches Stabilitäts – Programm, ESP**

Aufgrund der Wichtigkeit dieses Fahrdynamiksystems werden zur Vervollständigung dieser Arbeit einige zusätzliche Worte zu diesem System erwähnt. Es ist jedoch kein Fahrerassistenzsystem zur Längsregelung der Fahrzeugführung. Es hat keinen Einfluss auf den Anhalteweg von Personenkraftwagen. Es liefert jedoch Messgrößen an andere Fahrerassistenzsysteme. Zum Beispiel greift die adaptive cruise control (ACC), welche später in diesem Kapitel noch vorgestellt wird, auf Werte von ESP zurück. In Kombination mit den aktiven Fahrerassistenzsystemen der Längsführung minimiert dieses System bei einem Großteil aller Fahrsituationen das Risiko eines Unfalles.

Das Europäische Parlament hat am 10.03.2009 einer ESP-Pflicht zugestimmt. Seit November 2011 müssen alle neuen Pkw- und Nutzfahrzeug-Modelle, die in der Europäischen Union zugelassen werden, mit dem aktiven Sicherheitssystem ausgerüstet sein. Eine Übergangsfrist gilt bis November 2014 für bereits erteilte Zulassungen von Neufahrzeugen. [21]

Als Gesamtsystem verhindert ESP „Schieben“ oder „Schleudern“ beim Lenken bzw., dass das Fahrzeug instabil wird und seitlich ausbricht, solange sich das Fahrzeug in den physikalischen Grenzen bewegt [5].

Um für ein Standardniveau an Lenkfähigkeit und Stabilität des Fahrzeuges zu sorgen, halten ABS und ASR (siehe Kapitel sonstige Fahrerassistenzsysteme) die Räder am Rollen. In ganz kritischen querdynamischen Fahrsituationen reichen manchmal die erzielbaren Seitenkräfte der Reifen jedoch nicht aus, um das Fahrzeug lenkfähig und stabil zu halten. Am Fahrzeug werden durch gezielten Bremseneingriff eines Rades, mit Hilfe von ESP einseitig wirkende Längskräfte aufgebaut. Diese erzeugen

Drehmomente, um das Fahrzeug in die vom Fahrer vorgegebene Richtung zu steuern.  
[12]

Um einem instabilen Fahrzeug das passende Gegendrehmoment zu versetzen, wird bei

- Untersteuern durch Einbremsen des kurveninneren Hinterrades korrigiert, bei
- Übersteuern durch Einbremsen des kurvenäußeren Vorderrades eingegriffen.

ESP vergleicht bis zu 150-mal pro Sekunde den Fahrerwunsch mit dem Ist-Zustand der Fahrsituation.

### 3.4 Bremsassistent, (x)BA

Der Bremsassistent kann heute Bestandteil eines jeden ESP-Systems sein. Das ESP-System wurde 1995 eingeführt. Direkt auf diesem System baut der Bremsassistent auf. Ab 1997 wurde bei Mercedes der BA im ESP 1.3 mit eingebaut. [22] Seit 24.11.2009 ist der Bremsassistent in allen neuen PKW's nach einer Verordnung der EU zum Fußgängerschutz Pflicht [23].

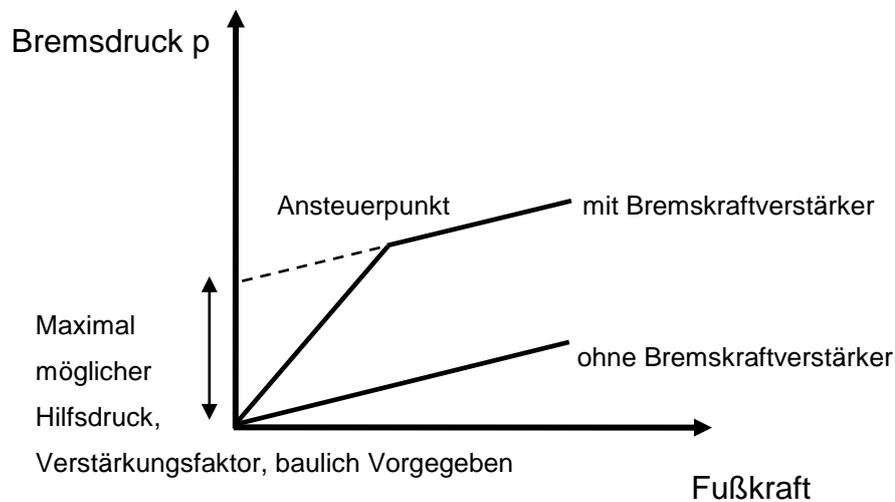
Nicht zu verwechseln mit dem Bremsassistenten ist der Bremskraftverstärker (BKV).

#### Exkurs:

Der Bremskraftverstärker ist seit Mitte der 1980er Jahre in allen PKWs verbaut. Schon in den 1960er-Jahren, als die ersten Fahrzeuge bereits Scheibenbremsen an der Vorderachse bekamen, wurde er in pneumatischer Bauweise angeboten. Ohne ihn musste man früher allein nur durch Muskelkraft über den Hebelarm des Pedalsweges die nötige Bremskraft aufbringen.

Der Bremskraftverstärker unterstützt also die Fußkraft beim Betätigen der Bremse und verringert damit den erforderlichen Kraftaufwand [5] bzw. erhöht bei gleichem Kraftaufwand den Bremsdruck, wie in Abb 9 ersichtlich ist. Der Bremskraftverstärker hat einen Ansteuerungspunkt seiner maximalen Verstärkung. Der Verstärkungsfaktor des Bremskraftverstärkers ist durch das Verhältnis der Querschnittsflächen der beiden Druckseiten im Verstärker baulich vorgegeben. Bei einer Vollbremsung wird die maximal mögliche Hilfskraft erreicht. Ab dem Erreichen des Aussteuerpunktes hat eine

weitere Erhöhung der Fußkraft nur noch eine Erhöhung der Bremskraft ohne weiteren Verstärkungsfaktor zur Folge. [12]



**Abb 9 Bremsdruckaufbau durch Bremskraftverstärker (BKV) [15, eigene Darstellung]**

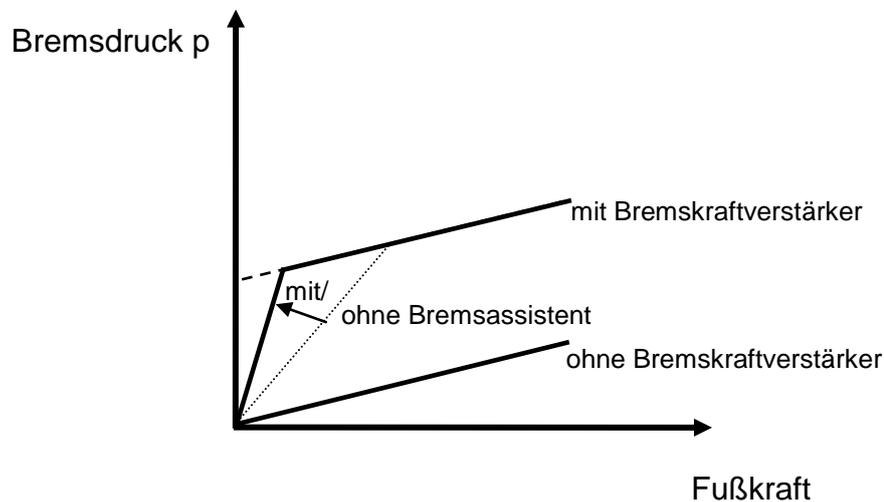
Der Bremskraftverstärker (BKV) ist mit dem Hauptzylinder kombiniert und Bestandteil der PKW-Bremsanlagen. Es ist also grundsätzlich die technische Aufgabe des Bremskraftverstärkers, die benötigte Fußkraft zum Bremsen zu verringern und dabei das feinfühliges Abstufen der Bremskraft bzw. das Gefühl für das Maß der Bremsung nicht zu beeinträchtigen. Es gibt zwei gebräuchliche Ausführungen von Bremskraftverstärkern. Beide, der Unterdruck- und der Hydraulik- Bremskraftverstärker, nutzen die bei einem Kraftfahrzeug bereits vorhandenen Energiequellen: Erstgenannter den Unterdruck im Saugrohr, Zweiter den durch eine Hydraulikpumpe erzeugten hydraulischen Druck. [5]

#### Exkurs Ende

Der Bremsassistent ist ein System, das den Fahrer bei „Panikbremsungen“ (Panikreaktionen, Vollbremsungen) unterstützt. [15]

Wie Abb 10 zeigt, erhöht der Bremsassistent im Falle einer Notbremsung den Druckanstieg und baut schneller den maximalen Bremsdruck im Bremssystem des Fahrzeuges auf.

Er erkennt Gefahrensituationen mit Hilfe von im Folgenden näher erläuterten Auslösekriterien und erhöht den Bremsdruck sofort über das vom Fahrer vorgegebene Maß hinaus, bis zum Erreichen der maximal möglichen Fahrzeugverzögerung. [12]



**Abb 10 Bremsdruckaufbau durch Bremsassistent (xBA) [15, eigene Darstellung]**

Die Bildung von Auslösekriterien auf der Basis der Fahrerreaktionen ist Kernaufgabe dieses Systems. Diese Kriterien hängen von der Bauform des Bremsassistenten ab. Es gibt drei unterschiedliche Konzepte [12]:

- Pneumatisch mechanischer Bremsassistent (Emergency Valve Assistant. EVA/MBA)
- Pneumatisch elektronischer Bremsassistent (Pneumatischer Bremsassistent. PBA)
- Hydraulisch elektronischer Bremsassistent (Hydraulischer Bremsassistent. HBA).

EVA bzw. MBA, PBA, HBA, allesamt als (x)BA bezeichnet.

Beim Emergency Valve Assistant (EVA) wird durch konstruktive Maßnahmen der Bremskraftverstärker modifiziert, sodass er abhängig von der Antrittsgeschwindigkeit des Bremspedals auf eine höhere Verstärkung umschaltet. Der EVA ermöglicht so bei gleicher Pedalkraft höhere Bremsdrücke und damit höhere Fahrzeugverzögerungen. [12]

Beim pneumatischen Bremsassistent (PBA) wird der Bremskraftverstärker um ein digital schaltendes Magnetventil zwischen Umgebungsdruck und der Arbeitskammer erweitert.

Wird dieses aktiviert, steuert es den Bremskraftverstärker voll an. Der Membranweg des Bremskraftverstärkers wird gemessen und die Membranweggeschwindigkeit (Geschwindigkeit mit der der Fahrer das Pedal betätigt) wird als Auslösekriterium verwendet. Wird die Pedalkraft um 20 N verringert, so wird der PBA vom Bremskraftverstärker wieder deaktiviert. [12]

Der dritte BA, auch als HBA bezeichnet, nützt das vorhandene ESP-Hydroaggregat, um den Bremsdruck aktiv zu erhöhen. Mit einem eingebauten Drucksensor wird die Bremspedalbetätigung des Fahrers zur Situationserkennung analysiert. Die Notbremssituation wird durch die Auswertung des Hauptbremszylinder-Drucksignals erkannt bzw. durch dessen Gradient. Durch die Schwellen für Druck und Druckgradient lässt sich der Hydraulische Bremsassistent HBA an die Gegebenheiten des Fahrzeugs und der Bremsanlage leicht anpassen. Dabei werden die Schwellen dynamisch der aktuellen Situation unter Berücksichtigung von Fahrzeuggeschwindigkeit, Hauptbremszylinderdruck, Zustandsgrößen der Raddruckregelung und einer Bremsverlaufsanalyse angepasst. Auch das Überschreiten einer Mindestgeschwindigkeit ist eine Auslösebedingung. [12]

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Änderung der Bremsverstärkungskennlinie aus verschiedenen Gründen erfolgen kann. Etwa die Geschwindigkeit mit der das Bremspedal betätigt wird, oder die Zeitspanne zwischen dem letzten Gasimpuls und der Betätigung des Bremspedals. Die Schaltschwellen für den Bremsassistenten sind auch abhängig von der aktuellen Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges [14].

Ist die Auslösungsbedingung erfüllt, wird der Bremsassistent aktiviert. Der Bremsassistent (x)BA erhöht den Druck über das vom Fahrer vorgegebene Niveau bis zur Blockiergrenze an jedem Rad. Überschreitet der Bremsdruck die Blockiergrenze, so übernimmt das Antiblockiersystem und regelt den Radschlupf, um die Bremskraft optimal auszunutzen.

Wird der Druck am Bremspedal verringert und unterschreitet der Pedalweg einen vorgegebenen Wert, so erkennt das System den Fahrerwunsch und reduziert die Bremskraft. Hier ändert sich die Regelstrategie. Nun wird ein komfortabler Übergang zu einer Standardbremsung eingeleitet. Der Bremsassistent wird abgeschaltet, sobald der erhöhte Bremsdruck den notwendigen Wert für eine Vollverzögerung erreicht hat oder

das Drucksignal einen definierten Wert unterschritten hat. Nun kann der Fahrer ohne Unterstützung des Bremsassistenten weiterbremsen. [12]

(x)BA wirkt also weder in der Reaktionsphase noch in der Umsetzphase. Auch die Ansprechphase bleibt unverändert. Doch in der Schwellphase steigen der Gradient des Bremsdruckes und der Bremsdruck auf ein Maximum, unabhängig von der exakten Pedalstellung. Die Vollbremsphase wird durch dieses System dahingehend beeinflusst, dass die maximalen technischen Möglichkeiten des ABS-Systems, unabhängig vom Fahrkönnen des Fahrers, genutzt werden. Viele Fahrer verringern bereits nach dem Erreichen des maximalen Bremsdruckes, aber lange vor dem Stillstand oder Aufprall, wieder den Druck auf das Bremspedal. Dies hat eine verringerte durchschnittliche Verzögerung in der Vollbremsphase zur Folge. Das grundsätzliche Prinzip ist bei jedem Bremsassistenten das Selbe. Der Bremsassistent erhöht die Geschwindigkeit des Bremsdruckanstieges und hält diesen auch aufrecht, wenn die Pedalkraft kurzfristig etwas verringert wird. Daher werden alle drei Bauarten gleich bewertet.

Bosch gibt für das Potential dieses Systems vier Beispiele an. Bei einer typischen Bremsung aus 50 km/h wird das Fahrzeug mit Bremsassistent bereits um 0,7 m früher zum Stillstand gelangen als ein Fahrzeug ohne Bremsassistent. [24] Dies entspricht einer Verkürzung des Anhalteweges um 3 %.

Das zweite Beispiel beschreibt eine typische Bremsung mit der Anfangsgeschwindigkeit von 100 km/h. Hier kommt das Fahrzeug mit Bremsassistent laut Bosch sogar um 7,6 m früher zum Stillstand. [24] Das entspricht einer Verkürzung des Anhalteweges um knapp 11 %.

In den weiteren Geschwindigkeitsbereichen gibt Bosch an, dass bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 150 km/h ein um bis zu 14,6 m kürzerer Bremsweg möglich ist. Bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 200 km/h ist ein 21,5 m kürzerer Bremsweg zu erwarten. [26]

Mit einem elektrohydraulischen Bremsassistent erreicht ein Normalfahrer laut Continental [25] bereits um 200-250 ms früher den ABS-Regelbereich als ohne diesem Assistenzsystem. Dies entspricht laut Continental einer Verkürzung des Anhalteweges

von knapp 12 %. Laut Continental benötigen Normalfahrer für eine Bremsung von 100 km/h auf Null rund 80 m.

Daimler begründet den Anhalteweg von rund 73 m aus Tempo 100 bis zum Stillstand für die meisten Fahrer damit, dass diese zu zaghaft auf das Bremspedal treten. [27]

Bosch berechnet daher den Bremsvorgang des Normalfahrers mit einer anfänglichen durchschnittlichen Bremsverzögerung von  $5 \text{ m/s}^2$  und erst gegen Ende mit der maximal möglichen Bremsverzögerung von  $10 \text{ m/s}^2$ . [26]

Der Bremsassistent übernimmt an Stelle der Fahrer und behält die maximale durchschnittliche Bremsverzögerung über die gesamte Dauer der Notbremssituation bei. Erst wenn der Pedalweg um 60 % zurückgenommen wird, schaltet der Bremsassistent ab und der Fahrer setzt eine Komfortbremsung fort.

Bosch gibt in [28] das Potential des mechanischen Bremsassistenten mit bis zu 30 % Bremswegverkürzungspotential für manche Fahrer an.

Zur Berechnung dieses Assistenzsystems werden folgende Annahmen getroffen. Laut Continental wird der ABS-Regelbereich um 200-250 ms früher erreicht. Damit das Potential dieses Fahrerassistenzsystem keinesfalls überbewertet wird, wird der Parameter Schwellzeit vom Maximum von rund 0,3 s [17] angenommen und nur um 200 ms auf einen Wert von 0,1 s für jeden Fahrer beim Fahrzeug mit Bremsassistent gesetzt. Bosch berechnet den Normalfahrer mit Bremsverzögerungswerten von anfänglich  $5 \text{ m/s}^2$  und maximal mit  $10 \text{ m/s}^2$ . Als durchschnittlichen Wert über die gesamte Bremsdauer wurde, um eine Nachrechnung dieser Angaben zu ermöglichen,  $7 \text{ m/s}^2$  angenommen. Diese Annahmen ergeben aus 100 km/h 76,6 m Anhalteweg und entsprechen den Angaben von Continental von knapp 80 m [25] bzw von Daimler mit 73 m. [27] Für das Fahrzeug mit Bremsassistent wurde bei der Nachrechnung dieser angegebenen Werte eine maximale durchschnittliche Bremsverzögerung von  $8,2 \text{ m/s}^2$  ermittelt, da das Fahrzeug über die gesamte Dauer der Notbremsung, unabhängig vom Pedaldruck des Fahrers, den maximal möglichen Bremsdruck aufrecht erhält. Das Assistenzsystem ermöglicht das Maximum an Verzögerung, dennoch wurde die Fahrzeugverzögerung gegenüber einem guten Fahrer im ABS-Fahrzeug nur marginal um  $0,1 \text{ m/s}^2$  erhöht (vgl. Abb 8).

Diese Annahmen brachten folgende Ergebnisse:

Beim Fahrzeug mit 50 km/h Ausgangsgeschwindigkeit verkürzte sich ebenso wie von Bosch angegeben der Bremsweg um 0,7 m. Aus Tempo 100 ergibt sich eine Verbesserung des Bremsweges von 5,36 m. Beim Fahrzeug mit 150 km/h Ausgangsgeschwindigkeit verkürzte sich der Bremsweg um 14,05 m. Diese Ergebnisse entsprechen bei diesen Annahmen bei langsamen Geschwindigkeiten einer Bremswegverkürzung von 6 %, bei hohen Geschwindigkeiten einer Verkürzung von bis zu 12 %. Der Anhalteweg verkürzt sich bei diesen Berechnungen um 12 - 14 % je Ausgangsgeschwindigkeit und deckt sich mit den Angaben von Continental. Wie auch Bosch in [26] erwähnt, sind mit Hilfe dieses Systems keine Unterschiede zwischen normalen und guten Fahrern mehr zu erwarten.

Bei einem ADAC Test [29] mit zehn Personen erreichte eine Testperson mit Bremsassistent Bremswege, welche durchschnittlich um 6 m kürzer waren aus Tempo 100 als ohne Bremsassistent. Drei Personen erreichten rund 3 m bessere Bremswege. Fünf Testpersonen erreichten nur wenig verbesserte Bremswege und eine Testperson war sogar ohne Bremsassistent gleich gut wie mit Bremsassistent.

Bei der Berechnung des Einflusses dieses Systems auf den Anhalteweg müssen im folgenden Kapitel 4 also die Berechnungsparameter „Schwellzeit“ bzw. „Verzögerung“ verbesserte Eingangsgrößen sein. Jedoch verändert sich der Parameter „Verzögerung“ verhältnismäßig bei schlechten Fahrern wesentlich mehr, da diese ohne Assistenzsystem den Druck auf das Bremspedal nicht über die gesamte Dauer der Notbremssituation aufrecht erhalten. Die zu verändernden Berechnungsparameter für dieses Bremssystem nochmals zusammengefasst in Tabelle 10:

**Tabelle 10 Berechnungsparameter (x)BA**

Die Fahrzeugverzögerung  $a$  wird für alle Fahrer gleich, je nach Fahrbahnverhältnis:

Trocken – Nass – Schnee - Eis  $a$ : 8,2 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s<sup>2</sup>

Die Bremsschwellzeit verkürzt sich für alle Fahrer auf 0,10 s.

### 3.5 Electronic Brake Prefill, EBP

Ein Closing-Velocity-Sensorsystem (CV) überwacht den Raum weit vor (200 Meter) bis etwa zehn Meter Entfernung zum Fahrzeug [30]. Der Infrarotsensor erfasst auch Motorräder, Fahrräder und Fußgänger [31]. Wird ein Objekt registriert, errechnet die Sende- und Empfangseinheit im Bereich des Innenspiegels aus den reflektierten Signalen den Abstand und die Annäherungsgeschwindigkeit.

Droht ein Unfall aufgrund der raschen Abstandsverringerung, so werden die Bremsen in Alarmbereitschaft versetzt. Würde der Fahrer das Bremspedal betätigen, wären aufgrund der Bremsdruckerhöhung des Systems und aufgrund des Anlegens der Beläge an die Scheiben die Bremsen bereits vorbereitet und würden sofort eine Bremsung einleiten - Continental nennt dies „Prefill“ (Vorbefüllen). Durch dieses System wird die Ansprechzeit der Bremsanlagen laut [16] um bis zu 60% verkürzt, was einer Reduktion von 50 ms auf 20 ms entspricht. Die zu verändernden Berechnungsparameter für dieses Bremssystem nochmals in Tabelle 11 zusammengefasst:

**Tabelle 11 Berechnungsparameter EBP**

Nur die Ansprechzeit wird für alle Fahrer auf 0,02 s herabgesetzt.  
Alle anderen Berechnungsparameter bleiben gleich wie beim Fahrzeug mit ABS.

### 3.6 Abstandsregelanlagen, ACC

Von Mercedes als Distronic, von vielen anderen Herstellern als adaptive cruise control [32] - kurz ACC genannt, wird die Abstandsregelanlage bzw. Geschwindigkeitsregelanlage (Tempomat) mit Abstandsregelung in dieser Arbeit als ACC bezeichnet. Von der Entwicklung von ACC der ersten Generation (aktiv von 30 bis 180 km/h) um die Jahrtausendwende, unter anderem bei Mercedes über die vierte Generation (aktiv von 0 bis 200 km/h), welche bereits Warnung durch „Umfeldbeobachtung“ vor einer Gefahrensituation durch mehrere kurze, autonome Bremsrucke ab 2006 im Audi Q7 und VW Touareg lieferte, bis hin zur 5. und neuesten Generation (aktiv von 0 bis 250 km/h) ab 2010 im Audi A8 mit ACC mit Stop&Go-Funktion, gab es einige

Evolutionsstufen dieses Systems. Als Stop&Go Funktion wird in diesem Zusammenhang der Assistent bei Staufahrten im niedrigen Geschwindigkeitsbereich verstanden. Zurzeit sind ACC-Systeme jeder Generation in den Fahrzeugen der Mittel- und Oberklasse verbreitet. Der Entwicklungsprozess dieser Systeme ist in den nächsten Seiten als Vorwort zu Abstandsregelanlagen beschrieben, um die genauen Adaptionen zu verstehen und die daraus resultierenden verschiedenen Auswirkungen auf den Anhalteweg nachvollziehen zu können.

Da ACC-Systeme mittlerweile auch ohne Betätigung des Bremspedals das Fahrzeug verzögern können, werden sie, wie auch in Abb 11 gezeigt, als brake-by-wire Systeme bezeichnet. Diese Abbildung zeigt ebenso die Entwicklung der Bremssysteme. Systeme jeder „Generation“ wurden in diesem Kapitel bereits vorgestellt.

#### Evolution der Bremsanlage



**Abb 11 Evolution der Bremsanlage [5, eigene Darstellung]**

Ursprünglich wurden Personenkraftwagen nur durch die Fußkraft verzögert. Mit Hilfe des Bremskraftverstärkers BKV wurde diese Fußkraft verstärkt und das Abbremsen des Fahrzeugs erleichtert. Als ABS in den Fahrzeugen Einzug hielt, begannen elektronische Regelungen die Bremsvorgänge zu verfeinern und zu überwachen. Im letzten Jahrzehnt wurden die Funktionalitäten von ABS, ESP und weiteren elektronischen Bremsregelsystemen in so genannten brake-by-wire-Systemen zusammengefasst und z.B. von Mercedes zur SBC (Sensoronic Brake Control) vereint. Die Betätigung des Bremspedals wird bei dieser elektrohydraulischen Bremse von elektronischen Sensoren erfasst und an das Steuergerät gesendet. Hier werden Steuerbefehle errechnet, die von der Hydraulikeinheit in Arbeitsdruck für die Radbremsen umgewandelt werden. [5] Somit kann Bremsdruck vom Fahrzeug selbst ohne Pedaldruck des Fahrers erzeugt

werden. Bei Ausfall der Elektronik muss das System dennoch rein mechanisch betätigt werden können, um einen Notbetrieb zu gewährleisten.

Der Vorteil ist, dass unabhängig vom Fahrerdruck auf das Bremspedal, das System Bremsdrücke generieren und somit Sonderfunktionen regeln kann. Ein Beispiel dafür ist der Bremseneingriff für ACC (Adaptive Cruise Control), aber auch weitere Funktionen können implementiert werden, wie z.B.:

- Berganfahrassistent (HHC)
- Erweiterte Bremsassistentenfunktionen (xBA, BASR, MASR)
- Chauffeurbremse (soft-stop)
- Stauassistent (ACC Stop&Go)
- Trockenbremsen (BDW)

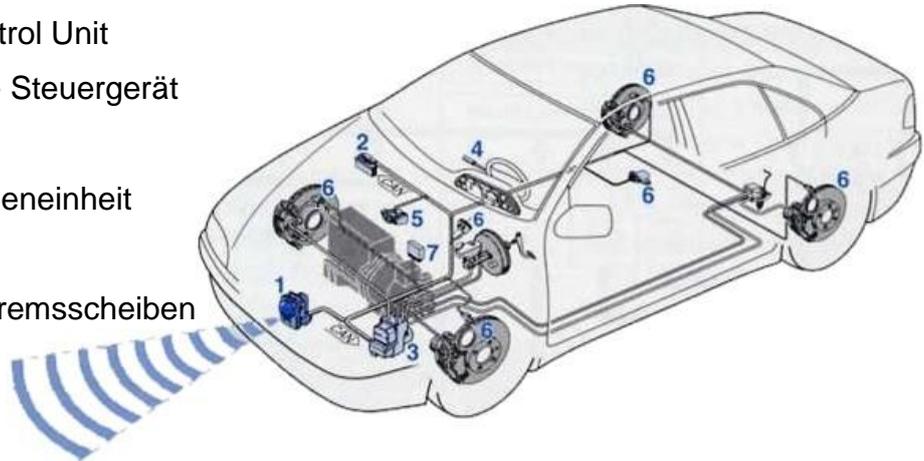
Aus Sicherheitsgründen ist, wie bereits erwähnt, das SBC-System so ausgelegt, dass bei eventuellen gravierenden Fehlern (z.B. Ausfall der Stromversorgung) das Fahrzeug auch ohne aktive Bremskraftunterstützung abgebremst werden kann. Die Trennventile sind im stromlosen Zustand eine direkte Verbindung zur Betätigung und ermöglichen somit einen direkten Bremsdruck vom Pedal zu den Radzylindern. [5]

Der genaue technische Aufbau derartiger Hydroaggregate kann weiterführender Literatur wie [5] entnommen werden. Diese Aggregate sind mittlerweile in der achten Generation und für diverse Assistenzsysteme immer weiterentwickelt worden. Vor allem für die Systeme ASR, ACC und ESP mussten diese Module weiterentwickelt werden, da sie selbständig Bremsdruck erzeugen müssen.

Um nun ACC-Systeme einführen zu können, mussten neben der Bremsanlage Sensoren an den Bremsscheiben sowie noch weitere Module in das Fahrzeug integriert werden. Abb 12 zeigt diese zusätzlichen Elemente, welche ein ACC Systems benötigt. Die Bedien- und Anzeigeneinheit des Fahrzeuges muss erweitert werden. Die gewünschte Geschwindigkeit muss ebenso angezeigt und eingestellt werden können wie der gewünschte Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug. Ebenso ist das Motormanagement-Steuergerät zu verändern. Sensoren, ein Hydroaggregat und die ACC Sensor & Control Unit werden benötigt. Dieses Fahrerassistenzsystem dient dazu, den Autofahrer während des Fahrens zu entlasten, etwa, um die als ermüdend empfundene Geschwindigkeitskontrolle abzugeben und eine entspannte und sichere

Fahrt hinter langsameren Fahrzeugen als „Passagier eines ACC gesteuerten Fahrzeuges“ zu genießen. [5]

1. ACC Sensor & Control Unit
2. Motormanagement- Steuergerät
3. Hydroaggregate
4. Bedien- und Anzeigeneinheit
5. Motoreingriff
6. Sensoren an den Bremsscheiben
7. Getriebeeingriff



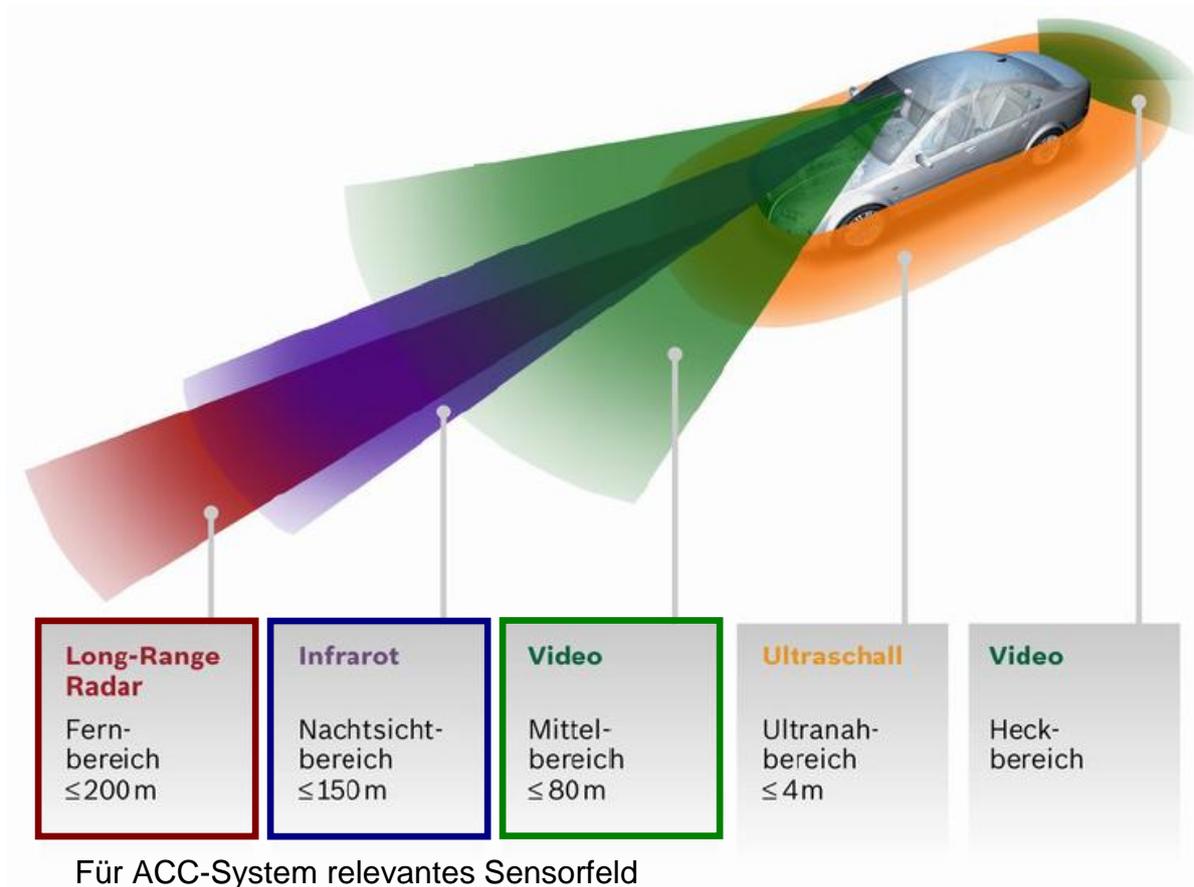
**Abb 12 Adaptive Cruise Control [5]**

Für die Regelung der Geschwindigkeit wird auf bestehende, für ACC modifizierte, Subsysteme zurückgegriffen:

- Motorsteuerung mit elektronischer Momentsteuerung [7] und
- Elektronische Bremsmodulation mit aktivem Druckaufbau (im Allgemeinen auf Basis des Elektronischen Stabilitäts-Programms, ESP).

In Europa kommt für das Abstandsmessen der ACC Sensor & Control Unit ein Millimeterwellen-Radar (oft auch Mikrowellen-Radar genannt) zum Einsatz. [5]

In Abb 13 wird das gesamte Sensorfeld, welches in heutigen Fahrzeugen aktiv ist, dargestellt. Auch Sensoren, welche für die Längsführung weniger oder nicht von Bedeutung sind, also jene für Parkassistenten, Spurwechsel- und Spurhalteassistenten, sind in dieser Abbildung abgebildet.



**Abb 13 Sensorenfeld um ACC-Fahrzeug [16]**

Fahrzeuge mit diesen Sensoren haben, wie aus Abb 13 ersichtlich, die Möglichkeit, auf geraden Strecken bis zu 200 Meter vorausschauend zu agieren. Fahrzeuge, die mit 120 km/h Fahrgeschwindigkeit unterwegs sind, legen pro Sekunde 33,33 m zurück. Sogar bei einer Fahrgeschwindigkeit von 120 km/h sind die Fahrzeuge also noch in der Lage, bis zu 6 Sekunden vor einem Hindernis auf diese Gefahrenquelle zu reagieren. 80 Meter, also knapp 2,5 Sekunden vor einer möglichen Kollision können bereits drei unabhängige Systeme (Radar, Infrarot, Video) Informationen liefern, welche eine Beurteilung eines Objektes in der aktuellen geplanten Fahrtrichtung ermöglichen.

Der Fahrer kann im Kombiinstrument nicht nur die Wahl der Geschwindigkeit wie beim Tempomaten (Begriff der Daimler AG), sondern auch den Sicherheitsabstand (auch Zeitlücke genannt) zum vorderen Fahrzeug beeinflussen. Die Variation der Zeitlücke dient nur dem Fahrkomfort des Fahrers. Bereits jene Variante mit der kleinsten Zeitlücke bietet ausreichend Zeit, rechtzeitig hinter dem vorausfahrenden Fahrzeug anzuhalten.

In dieser Arbeit wird auf drei verschiedenen wirkende ACC-Generationen eingegangen. Diese werden auf den nächsten Seiten vorgestellt und voneinander abgegrenzt.

ACC-Systeme sind primär auf Komfort ausgelegt. Sie entlasten den Fahrer und werden seit 2005 als Bestandteil des „Predictive Safety Systems“ (PSS) zum Sicherheitssystem erweitert [7]. So können Daten der ACC-Sensoren, wie zum Beispiel erwarteter Aufprallzeitpunkt und erwartete Anprallgeschwindigkeit, herangezogen werden, um die Auslösegeschwindigkeit von Airbags zu verbessern.

Dieses zum Sicherheitssystem erweiterte System der ersten Stufe wird von Bosch Predictive Brake Assist (PBA) genannt. Die Vorstufe zu diesem System, Electronic Brake Prefill (EBP), wurde bereits vorgestellt und gehört auch zu diesem Sicherheitsprojekt von Bosch (PSS). Die Weiterentwicklung wird von Bosch Predictive Collision Warning genannt, da es den Fahrer zusätzlich auch noch vor einer Kollision warnt. Predictive Emergency Brake nennt Bosch in seiner Predictive Safety Systems (PSS) jene Version, welche bereits eigenständige Bremsungen vornehmen kann. [24] Diese Arbeit baut im Weiteren auf folgender Unterteilung der ACC-Funktionen auf.

- PBA, (Predictive Brake Assist)
- PCW, (Predictive Collision Warning)
- PEB, (Predictive Emergency Brake)

Daher wird nun auf diese Varianten näher eingegangen.

### **3.6.1 Predictive Brake Assist, PBA**

Die Bremsanlage agiert vorausschauend und bereitet sich so auf eine Notbremsung vor. Für den Fahrer unbemerkt, baut PBA präventiv Bremsdruck auf, legt die Bremsbeläge an die Scheiben an und versetzt den hydraulischen Bremsassistenten in Bereitschaft. *„Bremst der Fahrer, erhält er die schnellstmögliche Bremsreaktion bei optimalen Verzögerungswerten und damit den kürzestmöglichen Anhalteweg“* [33].

Aus den Daten des Radarsensors erkennt PBA unfallkritische Situationen, in denen eine Notbremsung wahrscheinlich bevorsteht. PBA reagiert in der Gefahrensituation wie folgt: Die Bremsbeläge werden, für den Fahrer unbemerkt, an die Bremsscheiben angelegt. Zusätzlich senkt PBA in drei Stufen die Auslöseschwelle des hydraulischen Bremsassistenten. [34]

Selbst in kritischen Fahrsituationen reagieren laut [7] und [34] nur rund ein Drittel der Fahrer angemessen. Die meisten Fahrer bremsen so zaghaft, dass nicht einmal der hydraulische Bremsassistent anspricht. Sobald der Fahrer reagiert und auf die Bremse tritt, erreicht er in einer vom Fahrzeug erkannten Notbremssituation (Annäherungsgeschwindigkeit auf das vorausfahrende Fahrzeug – Auslöseschwelle des Bremsassistenten abgesenkt) durch PBA aber volle Bremswirkung durch die Prefill-Funktion des Systems und durch den Bremsassistenten.

Aus diesem Grund wird in der Berechnung im nächsten Kapitel das PBA-System als Kombination der Prefill Funktion und der (x)BA Funktion berechnet.

Die Ansprechzeit des Bremssystems wird in der Berechnung aufgrund des Vorbefüllens der Bremsanlage von 50 ms auf 20 ms verkürzt, siehe Kapitel 3.5. Die Schwellzeit wird sich für alle Fahrer mit Hilfe des Bremsassistenten auf ein Minimum von rund 0,10 s reduzieren, siehe Kapitel 3.4.

Dieses System wird also in der Berechnung Ergebnisse liefern, welche durch gemeinsames Wirken, also der Kombination von EBP und (x)BA erreicht werden. Das Erreichen der maximal möglichen durchschnittlichen Fahrzeugverzögerung wird durch dieses System ebenso sichergestellt. Die zu verändernden Berechnungsparameter für dieses Bremssystem nochmals in Tabelle 12 zusammengefasst:

**Tabelle 12 Berechnungsparameter PBA**

Die Ansprechzeit wird für alle Fahrer auf 0,02 s herabgesetzt.

Die Bremsschwellzeit verkürzt sich für alle Fahrer auf 0,10 s.

Die Fahrzeugverzögerung  $a$  wird für alle Fahrer gleich, je nach Fahrbahnverhältnis:

Trocken – Nass – Schnee - Eis  $a$ : 8,2 - 6,5 - 1,9 - 1,1  $\text{m/s}^2$

### 3.6.2 Predictive Collision Warning, PCW

Die zweite Generation erweitert den PBA-Funktionsumfang um die Predictive Collision Warning PCW Funktion. Diese warnt den Fahrer rechtzeitig vor kritischen Situationen,

sodass er schneller bzw. früher reagiert. In vielen Fällen kann so der Unfall vermieden werden. [34]

Die Warnung durch das PCW System kann markenbedingt unterschiedlich ausgeprägt sein. Entweder leuchtet eine Lampe im Kombiinstrument auf oder es ertönt ein Warnsignal. Bei manchen Fahrzeugen kann ein kurzer Bremsengriff den Fahrer „wachrütteln“. Bei wieder anderen Fahrzeugen kann der Gurtstraffer den Sicherheitsgurt kurz und ruckartig straffen und somit die Aufmerksamkeit des Fahrers erlangen. Auch Kombinationen der aufgezählten Möglichkeiten sind verbreitet.

Durch die Warnung kann der Fahrer früher auf die kritische Situation reagieren, da seine Aufmerksamkeit bereits in der Gefahrenerkennungszeit erhöht wurde. Die Reaktionszeit wird früher stattfinden und somit kann der Unfall durch PCW vermieden oder zumindest die Aufprallgeschwindigkeit und somit die Unfallfolgen wesentlich vermindert werden, wenn der Fahrer auf das Signal reagiert. [34] Laut Continental [25] erreicht der Fahrer mit solchen Systemen bereits um 300-350 ms früher den ABS-Regelbereich als ohne diesem Assistenzsystem. Bei der folgenden Berechnung wird die Verlustzeit (siehe Abb 2) in Summe um 300-350 ms verkürzt. Wie im Fall des Bremsassistenten (siehe Kapitel 3.4) werden davon 200 ms der Bremsschwellphase zugerechnet. Weitere 30 ms werden der Ansprechzeit (analog zu Kapitel 3.5) aufgrund der vorbefüllten Bremsanlage zugeordnet. Die verbleibenden 70-120 ms werden der Gefahrenerkennungszeit (nicht Teil der Anhaltezeit) zugeordnet, da der Fahrer durch das Assistenzsystem vor einer möglichen Gefahr gewarnt wird.

Die Reaktion des unaufmerksamen Fahrers F98% erfolgt aufgrund der Warnung früher als ohne Warnung. Zur Bewertung dieses Systems wird die Annahme getroffen, dass die Reaktionszeit unverändert bleibt, jedoch erfolgt die Reaktion unaufmerksamer Fahrer F98% um rund 100 ms früher als ohne diesem System. Auch für die meisten anderen Fahrer ist eine Verbesserung um mindestens 0,1 s in Richtung F2% (0,22 s) zu erwarten, da in 68 % der Unfälle Unaufmerksamkeit die Unfallursache ist [7].

Laut [7] ist dieses Predictive Safety System der zweiten Generation Ende 2006 erstmals in Serie gegangen. Es lassen sich durch diese Systemausprägung zusätzlich zu den Unfallsituationen, in denen die erste ACC-Stufe wirkt, auch die durch Unaufmerksamkeit bedingten Unfälle vermeiden oder mildern. Für die Berechnung bedeutet das, dass auch bei unaufmerksamen Fahrern, welche gerade nicht auf die

Fahrbahn schauen und Hindernisse nicht wahrnehmen, die Reaktionsphase früher beginnt. Ist ein Fahrer unaufmerksam, so ist es nun nicht mehr möglich, dass ein Fahrer ein Hindernis in der Gefahrenerkennungszeit nicht bemerkt. Bei unaufmerksamen Fahrern, welche gar nicht oder erst nach weit über 1 s auf ein Hindernis reagieren, kann durch dieses System die Gefahrenerkennung und somit der Reaktionsbeginn auch wesentlich mehr als um 0,1 s vorverlegt werden. Da dieses Potential aber der Gefahrenerkennung und somit nicht der Anhaltewegverkürzung zuzurechnen ist, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen. Die Bewertung des Nutzens eines verfrühten Reaktionsbeginns um mehr als 0,1 s wird in Kapitel 5 näher betrachtet. Die Berechnungsgrundlage für dieses System ist die Kombination aus EBP, (x)BA und einem vorgezogenen Reaktionsbeginn unaufmerksamer Fahrer von 0,1 s, siehe Tabelle 13.

#### **Tabelle 13 Berechnungsparameter PCW**

Die Ansprechzeit wird für alle Fahrer auf 0,02 s herabgesetzt.

Die Bremsschwellzeit verkürzt sich für alle Fahrer auf 0,10 s.

Die Fahrzeugverzögerung  $a$  wird für alle Fahrer gleich, je nach Fahrbahnverhältnis:

Trocken – Nass – Schnee - Eis  $a$ : 8,2 - 6,5 - 1,9 - 1,1  $m/s^2$

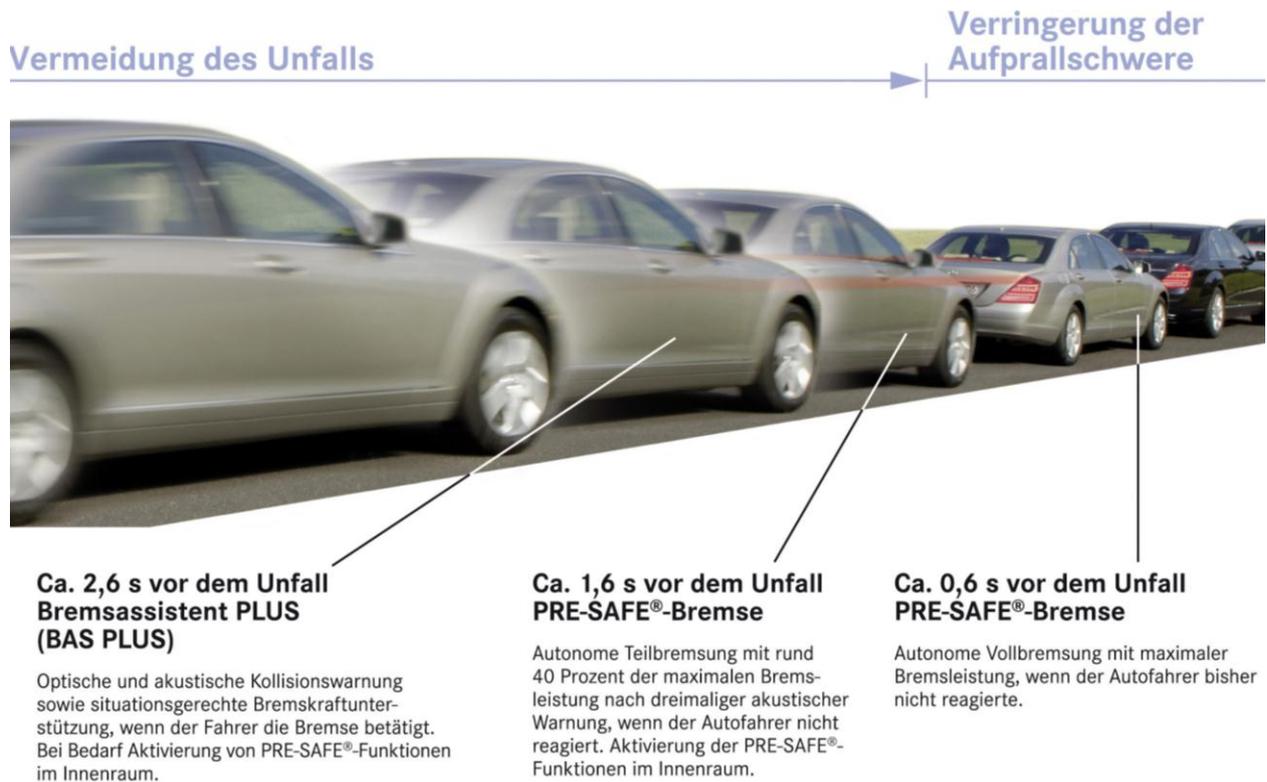
Zusätzlich wird die Gefahrenerkennungszeit für unaufmerksame Fahrer um mindestens 0,1 s verkürzt bzw. der Beginn der Reaktionszeit vorverlegt. Bemerkungen zum maximalen Potential in der Gefahrenerkennung siehe Kapitel 5.

### **3.6.3 Predictive Emergency Braking, PEB**

Dieses System ermöglicht den Eingriff durch das Fahrzeug bei unvermeidbaren Kollisionen. PEB steht als Abkürzung für Predictive Emergency Braking. Es ist die dritte Ausbaustufe der Predictive Safety Systems und bietet die Funktionen von PBA und PCW. Weiters kann PEB im Notfall eine automatische Notbremsung auslösen. Diese wird allerdings vom Fahrzeug selber erst dann ausgelöst, wenn der Fahrer nicht reagiert und die Kollision nicht mehr zu vermeiden ist. Die Fahrzeugverzögerung liegt dann bei manchen Herstellern bei 40 % der maximalen Bremsverzögerung, bei

manchen Herstellern ist sie maximal, bei anderen rund  $5 \text{ m/s}^2$  [35] und hat als Ziel, die Verletzungen und Schäden so gering als möglich zu halten [34].

In Abb 14 wird der zeitliche Ablauf eines Herstellers dieses Assistenzsystems dargestellt.



**Abb 14 Reaktion ACC-Fahrzeug vor Aufprall [36], [37]**

Auch als Komfortsystem wird dieses System ständig weiterentwickelt. Die nächste ACC-Erweiterung ist das sogenannte ACC-Stop&Go. Auch diese Funktion ist bereits in Fahrzeugen verbaut. Dabei wurde der Geschwindigkeitsbereich nach unten bereits bis in den Stillstand erweitert. Dieser sogenannte Stauassistent bleibt selbstständig hinter vorausfahrenden und ebenfalls anhaltenden Fahrzeugen stehen. [3]

Die Serieneinführung erfolgte im Jahr 2010 in der Mercedes-S-Klasse und beim Audi A8.

Damit dieses System keine Fehler in der Erkennung der Unfallsituation macht und die Notbremsung niemals unnötigerweise eingeleitet wird, müssen hier mehrere Sensoren (Radar, Infrarot, Video) gleichzeitig, siehe Abb 13, einen Unfall vorhersehen. Nur dann darf das System einen Notbremsvorgang einleiten.

Auswirkungen auf die Aufmerksamkeit des Fahrers und eine Ableitung auf die Größenordnung der Veränderung der Reaktionszeit des Fahrers können nicht hergestellt werden. Jedoch ist dies für die Berechnung nicht relevant, da bei eingeschaltetem System und funktionierender Technik keine Reaktion des Fahrers mehr nötig ist, um das Fahrzeug abzubremesen. Ohne Zutun des Fahrers verlangsamt das Fahrzeug vor einem Hindernis. Nicht jedes Fahrzeug ist heutzutage schon in der Lage, auch bei stillstehenden Hindernissen diese zu erkennen.

Ebenso konnte Querverkehr von diesen Systemen nicht bzw. nicht vollständig erkannt werden. Erst seit 2013 wird zum Beispiel in der neuen S-Klasse von Mercedes Querverkehr mitberücksichtigt. [4] Einige Herausforderungen sind in Zukunft noch zu lösen. Wie bei diesem System die Berechnung zu erfolgen hat, ist nicht eindeutig zu beantworten. Wie bereits erwähnt, ist jedes System mit individuellen Zeitpunkten und dazu passenden Verzögerungswerten programmiert. In den meisten Fällen, bei denen dem System eine eindeutige Erkennung der Hindernisse möglich ist, kann der Parameter Reaktionszeit bei der Berechnung auf Null gesetzt werden. Dies ist bei allen Systemen gleich. Denn bei dichtem Verkehr, in dem das vorausfahrende Fahrzeug immer im Sensorfeld des eigenen Fahrzeuges ist, wird keine Reaktionszeit mehr benötigt. Das Fahrzeug kommt selbstständig hinter dem vorausfahrenden Fahrzeug zum Stillstand und eine Kollision wird unmöglich. Bei den meisten Systemen erfolgt im Geschwindigkeitsbereich von 250 – 30 km/h eine Teilbremsung von 3,5 – 6 m/s<sup>2</sup>, in einem Geschwindigkeitsbereich von 30 – 0 km/h kann die Bremsverzögerung auf 5 – 8 m/s<sup>2</sup> ansteigen. Für die Berechnung wird auf trockener und nasser Fahrbahn eine durchschnittliche Verzögerung über den gesamten Bremsvorgang von 5,5 m/s<sup>2</sup> angenommen. Es muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass für den Fall, dass das Fahrzeug kein Hindernis erkennt, weiterhin der Fahrer einschreiten muss, um einen Unfall zu verhindern. Es wird der Vergleich zwischen den angenommenen Parametern wenn das System reagiert zu einem guten bzw. einem Normalfahrer in den weiteren Kapiteln dargestellt. Die Berechnungsgrundlage für dieses System ist die Kombination aus EBP, (x)BA und einer Reaktionszeit des Fahrzeuges von 0 s ab Beginn des Anhalteweges. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass während des gesamten Bremsvorganges des Fahrzeuges der Fahrer keine weiteren Maßnahmen einleitet, um noch in den Bremsvorgang einzugreifen.

In Tabelle 14 werden alle Berechnungsparameter zusammengefasst.

**Tabelle 14 Berechnungsparameter PEB**

Es wird davon ausgegangen, dass keine Reaktion des Fahrers erfolgt und keine nachträglichen Eingriffe des Fahrers erfolgen.

Die Reaktionszeit wird für alle Fahrer auf 0 s durch das Fahrzeug ersetzt und bereits in der Gefahrenerkennung abgehandelt.

Die Umsetzphase wird für alle Fahrer 0 s betragen, da die Bremsung durch das Fahrzeug eingeleitet wird.

Die Ansprechzeit wird für alle Fahrer auf 0,02 s herabgesetzt.

Die Bremsschwellzeit verkürzt sich für alle Fahrer auf 0,10 s.

Die Fahrzeugverzögerung  $a$  wird für alle Fahrer gleich, je nach Fahrbahnverhältnis wie folgt angenommen:

Trocken – Nass – Schnee - Eis  $a$ : 5,5 – 5,5 - 1,9 - 1,1 m/s<sup>2</sup>

Würde im Gegensatz zu diesen Annahmen ein nachträgliches Eingreifen des Fahrers im Verlauf der Notbremssituation erfolgen und der Fahrer das Bremspedal aktivieren, so würde das Fahrzeug die Fahrzeugverzögerung sofort auf ein Maximum anheben und die durchschnittliche Fahrzeugverzögerung würde erhöht werden.

### **3.7 Weitere, nicht zu bewertende Fahrerassistenzsysteme**

Es folgt eine Vorstellung weiterer Assistenzsysteme. Manche dieser Systeme beeinflussen den Anhalteweg von Personenkraftwagen, obwohl sie nicht als Sicherheitssystem sondern als Komfortsystem im Fahrzeug integriert wurden. Sie werden jedoch nicht weiter untersucht werden. Die Gründe dafür sollen auf der folgenden Seite erörtert werden.

Ursprüngliche Bremssysteme hatten die Aufgabe, das Fahrzeug zum Stillstand zu bringen. ABS hatte ursprünglich nur das Ziel, während des Bremsvorganges auch die Lenkbarkeit aufrecht zu erhalten. Doch mit den elektronischen Bremssystemen und dem Einzug von ESP in Fahrzeuge bekamen die Ingenieure unzählige Möglichkeiten, den Fahrer auch mit Komfortsystemen zu unterstützen. Auch mit zusätzlichen Maßnahmen und Funktionen des ESP-Systems kann nun die Bremspedalstellung auf unterschiedliche Bremsdrücke pro Rad verteilt werden und somit können noch kürzere

Bremswege realisiert werden. Im folgenden Abschnitt werden einige dieser zusätzlichen Sicherheits- und vor allem Komfortsysteme, welche vor allem im ESP-System implementiert wurden, kurz erwähnt und deren Funktionen erklärt. [5]

### **3.7.1 Hydraulic Fading Compensation, HFC**

Wenn ein Fahrer die Bremsanlage seines Fahrzeuges zu sehr strapaziert kann es vorkommen, dass seine Bremsscheiben überhitzen. Durch dieses System kann bei Bremsanlagen der durch Überhitzung kurzfristig reduzierte Reibwert kompensiert werden.

Die Funktion Hydraulic Fading Compensation (HFC) ist eine Unterfunktion des (x)BA (meist des hydraulischen Bremsassistenten). Durch eine Erhöhung der Bremskraftunterstützung werden die Bremsbeläge noch stärker an die Scheiben gepresst. Wenn trotz starker Bremspedalbetätigung, mit der das Blockierdruckniveau normalerweise erreicht wird (Vordruck normalerweise etwas über 80 bar), die maximal mögliche Fahrzeugverzögerung nicht eintritt, dann erhöht der xBA den Radbremsdruck so weit, dass dies wieder der Fall ist. [5]

Dieses System gewährleistet also, dass das System nach einigen Vollbremsungen immer noch dieselben kurzen Anhaltewege realisieren kann wie bei der ersten Bremsung. Dieser Effekt liegt außerhalb des Betrachtungsfokus dieser Arbeit.

## **3.8 Weitere Bemerkungen**

Adaptive Lenkung, Verkehrszeichen- Spurwechselassistenten, Spurverlassenswarner, Nachtsichtassistenten, Fußgängererkennung und Einparkhilfe sind einige weitere Fahrerassistenzsysteme (FAS), die zur Zeit in immer mehr Fahrzeugen – nicht nur der Ober- und Mittelklasse – verbaut werden und zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen. Auf diese FAS wird im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen. Unbestritten ist jedoch ihr positiver Einfluss auf die zukünftigen Unfallstatistiken. Bedenkt man, dass etwa ein Drittel aller Unfälle Spurhalte- bzw. Spurwechselunfälle sind, so kann man die positiven Auswirkungen dieser Systeme bereits erahnen.

### 3.9 Übersicht: Zahlenwerte Fahrerassistenzsysteme

Bevor im Jahr 1978 ABS als erstes aktives Fahrerassistenzsystem eingeführt wurde, gab es in Personenkraftwagen nur passive Sicherheitssysteme. Bei einem Fahrzeug ohne ABS wurden bei einer Notbremssituation durch den Fahrer im optimalen Fall alle vier Räder zum Blockieren gebracht.

Ein ABS-Fahrzeug im ABS-Regelbereich kann mit bis zu  $8 - 10 \text{ m/s}^2$  auf trockener Fahrbahn verzögern [17]. Im Nassen sind Verzögerungswerte zwischen  $4,5$  und  $5,5 \text{ m/s}^2$ , auf nassem Glatteis von  $0,5 \text{ m/s}^2$  üblich [38]. Auf Schneefahrbahn sind Werte zwischen  $1,5$  und  $2,5 \text{ m/s}^2$  üblich. [39] Auf Grund dieser Angaben und den in Abb 8 dargestellten Bremsschlupfkurven bei den verschiedenen Fahrbahnverhältnissen werden folgende Fahrzeugverzögerungen für die Berechnung angenommen. Für ein Fahrzeug ohne ABS werden die Verzögerungswerte mit  $7,3 - 5 - 2,5 - 0,5 \text{ m/s}^2$  angenommen. Im Vergleich dazu werden die Verzögerungswerte beim ABS-Fahrzeug mit  $8,1 - 6,5 - 1,9 - 1,1 \text{ m/s}^2$  angenommen.

Obwohl heute schon Verzögerungen von  $8-10 \text{ m/s}^2$  möglich sind, erreichen viele Normalfahrer selbst in Notbremssituationen teilweise nur Verzögerungen von rund  $5 \text{ m/s}^2$ . [26] Daher wird bei Berechnung schlechter Fahrer die Durchschnittsverzögerung im Trockenen auf  $6 \text{ m/s}^2$  und im Nassen auf  $4,5 \text{ m/s}^2$  herabgesetzt angenommen. Der Bremsassistent unterstützt beim Aufbau des Bremsdruckes und damit gelingt es schneller in den ABS-Regelbereich zu gelangen. Sollte der Druck auf das Bremspedal nicht ausreichend lange bzw. ausreichend stark aufrecht erhalten werden, kann der Bremsassistent den Bremsdruck selbständig aufrecht erhalten. Dadurch verbessert sich die Schwellzeit um bis zu  $0,2 \text{ s}$  auf  $0,1 \text{ s}$ . Auch der Verzögerungswert im Trockenen wird bei der Berechnung mit  $8,2 \text{ m/s}^2$  im Vergleich zum ABS-Fahrzeug leicht angehoben angenommen.

Durch die Vorbefüllung der Bremsanlage kann die Ansprechzeit mit Hilfe des Electronic Brake Prefill-Systems um  $60 \%$  auf  $0,02 \text{ s}$  verkürzt werden. Mit den vorausschauend agierenden Abstandsregelsystemen werden die Funktion des Prefill Systems und des Bremsassistenten kombiniert. Bei weiterentwickelten Systemen wird der Reaktionsbeginn unaufmerksamer Fahrer um rund  $0,1 \text{ s}$  vorverlegt.

Bei noch weiter entwickelten Systemen kann das Fahrzeug selbständig eine Verzögerung einleiten. Eine Reaktion des Fahrers ist oft nicht mehr notwendig. Daher wird die Reaktionszeit durch das Fahrzeug übernommen und für die Berechnung auf 0 s gesetzt. Herstellerbedingte Verzögerungen von rund  $3,5 - 8 \text{ m/s}^2$  werden einleiten und so die Unfallfolgen reduzieren. Für die Berechnung des Systems wird eine Durchschnittsverzögerung von  $5,5 \text{ m/s}^2$  angenommen.

Die wahrscheinlichsten Werte (Modalwerte) der einzelnen Systeme in den jeweiligen Phasen werden zusammengefasst in nachstehender Tabelle 15. Für  $F_x$  werden arithmetische Mittelwerte der Verzögerungswerte von F2% und F98% angenommen.

**Tabelle 15 Zusammenfassung Zahlenwerte Kapitel 3**

System	Reaktionszeit	Umsetzzeit	Ansprechzeit	Schwellzeit	Verzögerungswerte [ $\text{m/s}^2$ ]	
					F2%	F98%
Ohne ABS	0,45 s	0,19 s	0,05 s	0,17 s	7,3 – 5,0 - 2,5 – 0,5	6,0 – 4,5 - 2,5 – 0,5
Mit ABS	0,45 s	0,19 s	0,05 s	0,17 s	8,1 – 6,5 - 1,9 – 1,1	6,0 – 4,5 - 1,9 – 1,1
BA	0,45 s	0,19 s	0,05 s	0,10 s	8,2 – 6,5 - 1,9 – 1,1	8,2 – 6,5 - 1,9 – 1,1
EBP	0,45 s	0,19 s	0,02 s	0,17 s	8,1 – 6,5 - 1,9 – 1,1	6,0 – 4,5 - 1,9 – 1,1
PBA	0,45 s	0,19 s	0,02 s	0,10 s	8,2 – 6,5 - 1,9 – 1,1	8,2 – 6,5 - 1,9 – 1,1
PCW	0,45 s (- 0,1 s)	0,19 s	0,02 s	0,10 s	8,2 – 6,5 - 1,9 – 1,1	8,2 – 6,5 - 1,9 – 1,1
PEB	0 s	0 s	0,02 s	0,10 s	5,5 – 5,5 - 1,9 – 1,1	5,5 – 5,5 - 1,9 – 1,1

Studien zur Verbesserung der Umsetzzeit gibt es. Es gibt keine aktiven Assistenzsysteme zur Verbesserung zur Umsetzzeit. Es wurde allerdings nachgewiesen, dass die Anordnung der Pedale einen Einfluss auf die Umsetzzeit hat

und auch die Geometrie bzw. Konstruktion der Bedienelemente Einfluss auf die Umsetzzeit haben.

Im folgenden Kapitel werden für diese Assistenzsysteme nun mit Hilfe der Zahlenwerte die Anhaltewege berechnet und mit dem Anhalteweg des ABS-Fahrzeuges verglichen.

## 4 Bewertung ausgewählter Assistenzsysteme

Auf den folgenden Seiten wird der Nutzen der einzelnen Fahrerassistenzsysteme durch einen mathematischen Vergleich der Potentiale herausgearbeitet.

Der Anhalteweg der einzelnen Fahrerassistenzsysteme wird immer für einen sehr guten Fahrer und für einen schlechten Fahrer berechnet. Daraus ergibt sich ein Intervall des Anhalteweges für das jeweilige Fahrerassistenzsystem. Verglichen wird dieses Anhaltewegintervall der verschiedenen Assistenzsysteme mit einem Referenzfahrzeug. Das Referenzfahrzeug ist ein Fahrzeug, welches als einziges Fahrerassistenzsystem ein ABS-System verbaut hat. Auch für dieses Referenzfahrzeug wird ein Anhaltewegintervall berechnet.

Die Intervalle werden für drei verschiedene Geschwindigkeitsbereiche bestimmt. Daraus kann das Verkürzungspotential der einzelnen Fahrerassistenzsysteme abgelesen werden und der Nutzen bewertet werden.

Der erste Vergleich soll ein Fahrzeug aus dem Jahr 1970 ohne Fahrerassistenzsystem mit dem ABS-Fahrzeug vergleichen.

Vorab wird die Wahl der Inputwerte der Berechnung sowie die Berechnung erläutert. Der allgemeinen Erklärung des Rechenweges folgt ein Beispiel. Bei diesem Beispiel wird der Anhalteweg für ein Fahrzeug ohne ABS im Trockenen berechnet.

### 4.1 Berechnung des Anhalteweges – der Rechenweg

Wie im Kapitel 2 beschrieben, kann der Anhalteweg aus verschiedenen Phasen zusammengesetzt werden. Die Dauer der einzelnen Phasen ist nicht durch einen Zahlenwert fix beschrieben. Die Dauer der Reaktionsphase wird durch die Reaktionsgeschwindigkeit des Fahrers beeinflusst. Sie kann jedoch auf ein Intervall zwischen einem Minimum (nur 2 % sind schneller) von 0,22 s und Maximum (nur 2 % sind langsamer) von 0,58 s eingeschränkt werden. Der Modalwert eines durchschnittlichen Fahrers liegt bei 0,45 s.

Unterschiedliches Fahrkönnen hat Auswirkungen auf die durchschnittliche Fahrzeugverzögerung in der Vollbremsphase. Die Fahrzeugverzögerung variiert auch aufgrund der Fahrbahnsituation, des Reifens und des verbauten Bremssystems (mit oder ohne ABS). Aus dem Verlauf der Kurven der Abb 8 ist zu erkennen, dass bei ABS-Regelung in den optimalen Bremsschlupfbereich der einzelnen Räder bei Trockenheit, Nässe und Eis eine optimale Verzögerung erzielt wird. Der Bereich der ABS-Regelung ist als Rechteck in der Abbildung dargestellt. 100 % Bremsschlupf bedeutet 100 % Gleitreibung, also Blockieren der Räder. Dies geschieht bei einer Notbremsung ohne ABS.

Die Berechnung, dargestellt in Abb. 15, wurde gemäß [18] durchgeführt. Dieser Berechnungsweg lautet wie folgt:

Mit den gegebenen Anfangswerten:

- Anfangsfahrgeschwindigkeit ( $v_a$ ),
- Fahrzeugverzögerung während der Vollbremszeit ( $\ddot{x}_v$ ), (als positiver Wert),
- Reaktionszeit des Fahrers ( $t_r$ ),
- Umsetzzeit des Fahrers ( $t_u$ ),
- Ansprechzeit des Bremssystems des Fahrzeuges ( $t_a$ )
- und der Dauer der Schwellzeit ( $t_s$ )

kann direkt der Anhalteweg berechnet werden.

Der Anhalteweg setzt sich aus drei Teilwegen zusammen.

Im ersten Teilweg, dargestellt in Glg 1, fährt das Fahrzeug mit unveränderter Fahrgeschwindigkeit. Dies geschieht, während die Reaktionszeit, die Umsetzzeit und die Ansprechzeit verstreichen (siehe Abb 2). Der zurückgelegte Weg in dieser Zeit ergibt sich aus der Multiplikation der Fahrzeuggeschwindigkeit mit der Summe der verstrichenen Zeitspanne.

$$s_1 = v_a(t_r + t_u + t_a)$$

**Glg 1**

$s_1$ ...Ungebremster Teilweg 1 [m],  $v_a$ ...Anfangsfahrgeschwindigkeit [m/s],  $t_r$ ...Reaktionszeit des Fahrers [s],  $t_u$ ...Umsetzzeit des Fahrers [s],  $t_a$ ...Ansprechzeit des Bremssystems des Fahrzeuges [s]

Der zweite Teilweg (Schwellweg) ist jener Weg, den das Fahrzeug während der Schwellzeit zurücklegt. Ausgehend von der Fahrzeugverzögerung (Glg 2), welche sich über die Schwellzeit ändert, wird die Fahrgeschwindigkeit innerhalb der Schwellzeit berechnet (Glg 3). Ein bestimmtes Integral nach der Zeit, welches über das Intervall der Schwellzeit berechnet wird, liefert den zurückgelegten Weg während der Schwellphase (Glg 4). Glg 2 und Glg 3 führen zu Glg 4.

$$\ddot{x} = \frac{\ddot{x}_v}{t_s} t$$

**Glg 2**

$$v = v_a - \int \frac{\ddot{x}_v}{t_s} t dt = v_a - \frac{\ddot{x}_v}{2t_s} t^2$$

**Glg 3**

$\ddot{x}$  ...ändernde Fahrzeugverzögerung während Schwellzeit [ $\text{m/s}^2$ ],  $\ddot{x}_v$  ...Fahrzeugverzögerung Vollbremszeit [ $\text{m/s}^2$ ],  $t_s$ ... Dauer der Schwellzeit [s],  $v$ ...ändernde Fahrgeschwindigkeit [ $\text{m/s}$ ],  $v_a$ ...Ausgangsfahrgeschwindigkeit [ $\text{m/s}$ ]

$$s_s = \int_0^{t_s} v dt = v_a t_s - \frac{\ddot{x}_v}{6} t_s^2$$

**Glg 4**

$s_s$ ...Schwellweg [m],  $v_a$ ...Fahrgeschwindigkeit [ $\text{m/s}$ ],  $\ddot{x}_v$ ...Fahrzeugverzögerung Vollbremszeit [ $\text{m/s}^2$ ],  $t_s$ ... Dauer der Schwellzeit [s],

Am Ende des Schwellweges hat das Fahrzeug bereits eine geringere Geschwindigkeit als zu Beginn des Anhalteweges.

Um den dritten Teilweg (Vollbremsweg) zu berechnen, wird die Geschwindigkeit  $v_2$  des Fahrzeuges am Ende des Schwellwegs benötigt. Sie errechnet sich über einen Zusammenhang der Anfangsgeschwindigkeit, der Fahrzeugverzögerung und der Schwellzeit, dargestellt in Glg 5.

$$v_2 = v_a - \frac{\ddot{x}_v}{2} t_s$$

**Glg 5**

$v_2$ ...Geschwindigkeit des Fahrzeuges am Ende des zweiten Teilweges [ $\text{m/s}$ ],  $v_a$ ...Anfangsfahrgeschwindigkeit [ $\text{m/s}$ ],  $\ddot{x}_v$ ...Fahrzeugverzögerung Vollbremszeit [ $\text{m/s}^2$ ],  $t_s$ ... Dauer der Schwellzeit [s]

Weiters wird die Dauer der Vollbremszeit  $t_v$  benötigt (siehe Kapitel 2.6). Diese errechnet sich in Glg 6 mit Hilfe der Ausgangsgeschwindigkeit, der Fahrzeugverzögerung und der Schwellzeit.

$$t_v = \frac{v_a}{\ddot{x}_v} - \frac{t_s}{2}$$

**Glg 6**

$t_v$ ...Dauer der Vollbremszeit [s],  $v_a$ ...Anfangsfahrgeschwindigkeit [m/s],  $\ddot{x}_v$ ...Fahrzeugverzögerung Vollbremszeit [m/s<sup>2</sup>],  $t_s$ ...Dauer der Schwellzeit [s]

Am Ende der Vollbremszeit ist die Fahrzeuggeschwindigkeit auf Null abgesunken. Der Vollbremsweg errechnet sich in Glg 7 durch ein Integral der Fahrzeuggeschwindigkeit über die Vollbremsdauer.

$$s_3 = \int_0^{t_v} v dt = v_2 t_v + \frac{\ddot{x}_v}{2} t_v^2 = \frac{v_2^2}{2\ddot{x}_v} = \frac{1}{2\ddot{x}_v} \left( v_a^2 + \frac{\ddot{x}_v^2}{4} t_s^2 - v_a \ddot{x}_v t_s \right)$$

**Glg 7**

$s_3$ ...Vollbremsweg [m],  $\ddot{x}_v$ ...Fahrzeugverzögerung Vollbremszeit [m/s<sup>2</sup>],  $v_a$ ...Fahrgeschwindigkeit [m/s],  $t_s$ ...Dauer der Schwellzeit [s]

Werden alle drei Teilwege addiert, so erhält man für den Anhalteweg  $s_{ges}$  Glg 8

$$s_{ges} = v_a (t_r + t_u + t_a + \frac{t_s}{2}) + \frac{v_a^2}{2\ddot{x}_v} - \frac{t_s^2 \ddot{x}_v}{24}$$

**Glg 8**

$s_{ges}$ ...Anhalteweg [m],  $t_r$ ...Reaktionszeit des Fahrers [s],  $t_u$ ...Umsetzzeit des Fahrers [s],  $t_a$ ...Ansprechzeit des Bremssystems des Fahrzeuges [s],  $\ddot{x}_v$ ...Fahrzeugverzögerung Vollbremszeit [m/s<sup>2</sup>],  $v_a$ ...Fahrgeschwindigkeit [m/s],  $t_s$ ...Dauer der Schwellzeit [s]

Es folgt nun ein Berechnungsbeispiel für einen durchschnittlichen Fahrer  $F_x$  eines Fahrzeuges ohne ABS im Trockenen. Die Anfangsgeschwindigkeit wird mit  $G = 100 \text{ km/h} = 27,77 \text{ m/s}$  gewählt. Für die Verzögerung auf trockener Fahrbahn wird für ein Fahrzeug ohne ABS ein Wert von  $a=6,6 \text{ m/s}^2$  angenommen. Übliche Verzögerungswerte für Personenkraftwagen liefern unter anderem [39] und [40].

Die durchschnittlichen Reaktions- Umsetz- Ansprech- und Schwellzeiten liegen zwischen den Minimal- und Maximalwerten aus der Literatur. Der am häufigsten gemessene Wert der Reaktionszeit liegt bei 0,45 s, der Modalwert der Umsetzzeit liegt bei 0,19 s, die Ansprechzeit bei 0,05 s und die Schwellzeit bei 0,17 s. Daraus resultiert laut Berechnung ein Anhalteweg von 80 m von 100 auf 0 km/h.

Die gewählten Anfangsparameter der Berechnung für das Fahrzeug ohne ABS können aus nachstehender Tabelle 16 entnommen werden (siehe auch Tabelle 15).

**Tabelle 16 Berechnungsparameter für Fahrzeug ohne ABS**

Reaktionsphase:	Fx: $t_r = 0,45$ s	G: 100 km/h (27,78 m/s)
Umsetzphase:	Fx: $t_u = 0,19$ s	
Ansprechphase:	Fx: $t_a = 0,05$ s	$\ddot{x}_v = a$ trocken: $a: 6,6$ m/s <sup>2</sup>
Schwellphase:	Fx: $t_s = 0,17$ s	

**Abkürzung Wert Einheit**

**Gegeben:**

Fahrzeuggeschwindigkeit:	$v$	100 km/h = 27,78 m/s
Fahrzeugverzögerung:	$a$	6,6 m/s <sup>2</sup>
Reaktionszeit:	$t_r$	0,45 s
Umsetzzeit:	$t_u$	0,19 s
Summe $t_r + t_u$		0,64 s
Ansprechzeit:	$t_a$	0,05 s
Schwellzeit:	$t_s$	0,17 s

**daraus folgt:**

erster Teilweg, ungebremst	$s_1$	19,2 m
zweiter Teilweg, Schwellweg	$s_2$	4,7 m
dritter Teilweg, Vollbremsweg	$s_3$	56,1 m
<b>Anhalteweg:</b>	<b><math>s_{ges}</math></b>	<b>80,0 m</b>

**Abb 15 Berechnung des Anhalteweges für ein Fahrzeug ohne ABS**

Diese Werte repräsentieren die am häufigsten zu erwartenden Werte für Fahrzeuge ohne ABS im Trockenen für durchschnittliche Fahrer  $F_x$ . Bessere Fahrer wären aber im Stande, den Anhalteweg zu minimieren. Schlechtere Fahrer, mit einer Reaktionsphase von über 0,45 s und einer Umsetzphase von über 0,19 s, würden allerdings auch nach 80 m ihr Fahrzeug noch nicht zum Stillstand gebracht haben. Um nicht von Minimum- und Maximumwerten zu sprechen, wird an dieser Stelle ein Fahrer 1 (F1, F2%) und ein Fahrer 2 (F2, F98%) eingeführt.

**Fahrer 1** ist ein guter Fahrer, zumeist jung und aufmerksam. Nur in 2 % aller Notbremssituationen können Fahrer das Fahrzeug früher, ohne Kollision zum Stillstand bringen. F1 soll optimale Umstände im täglichen Straßenverkehr repräsentieren. Dieser Fahrer stellt das optimale Ende des Anhaltewegintervalls in den folgenden Abbildungen dar.

**Fahrer 2** ist ein unaufmerksamer und unerfahrener Fahrzeuglenker. Neben der Reaktionsphase sind auch Umsetzphase und Schwellphase vom Fahrer des Fahrzeuges abhängig. Doch seine Bremsanlage hat dieselben Möglichkeiten wie jene von Fahrer 1. Daher ist der Wert der Ansprechzeit gleich jenem von Fahrer 1.

Fahrer 2 ist nicht in der Lage, das Bremspedal rasch zu erreichen, es schnell und vollständig durchzutreten. Da Fahrer F2 auch nicht in Notbremssituationen in der Lage ist das Bremspedal vollständig durchzudrücken und eine bestmögliche Verzögerung einzuleiten, werden sowohl beim Fahrzeug ohne/mit ABS als auch bei einigen anderen Systemen nicht immer die maximal möglichen Verzögerungswerte erreicht. In der Realität variieren die Verzögerungswerte von Normalfahrern rund um  $5 \text{ m/s}^2$ . [26] Die Schwankungsbreite ist je Fahrer und je Bremsmanöver sehr hoch. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei nasser Fahrbahn der Normalfahrer sich noch weniger traut, stark auf das Bremspedal zu steigen als auf trockenen Fahrbahnen. [7] analysiert die Daten des Bremsverhaltens von Fahrern bei Unfällen. In 49 % der Unfälle wurde keine Bremsung vorgenommen. In weiteren 20 % der Unfälle wurde nur eine Teilbremsung vorgenommen. Bei nur 31 % der Unfälle gegen ein festes Hindernis wurde eine Notbremsung gemacht. 69% der Fahrer leiten vor einem Unfall also keine oder nur eine Teilbremsung ein. Diese Fahrer (Fahrer  $F_x$  bis F2) wurden in Anlehnung an Normalfahrer von Bosch [26] mit Verzögerungswerten von rund  $5 \text{ m/s}^2$  berechnet,

wobei auch diese Werte von vielen Fahrern stark unterschritten werden:  
a trocken 6,0 – nass 4,5 – Schnee 1,9 – Eis 1,1 [m/s<sup>2</sup>]

Durch diese Annahmen wird auch dem schlechten Fahrer F2 nahezu das Erreichen von Verzögerungswerten wie Fahrer Fx zugesprochen. Es soll damit gewährleistet sein, dass das Potential der Assistenzsysteme keinesfalls überbewertet wird.

Bei dieser Annahme wird davon ausgegangen, dass es dem Fahrer F2 nur auf verschneiter und vereister Fahrbahn möglich ist, das Fahrzeug in den ABS-Regelbereich zu bringen. Im Trockenen bzw. Nassen ist sein aufgebrachter Pedaldruck zu gering, um mit dem Fahrzeug in den ABS-Regelbereich zu gelangen.

Die Berechnungsparameter für Fahrer F1 und F2 können aus der Abb 5 und Abb 6 sowie Tabelle 7 und Tabelle 8 des Kapitels 2.7 aus der Spalte F2% und F98% entnommen werden.

Im weiteren Verlauf wird der Rechenweg für jedes Fahrerassistenzsystem immer für Fahrer F1 und Fahrer F2 mit den Anfangsgeschwindigkeiten G1=30 km/h, G2=50 km/h, G3=100 km/h und den verschiedenen Verzögerungswerten bei trockener, nasser, verschneiter und eisiger Fahrbahn durchgerechnet. Es folgt der Vergleich des Referenzfahrzeuges mit ABS mit einem Fahrzeug ohne ABS.

## **4.2 Vergleich 1: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug ohne Antiblockiersystem“**

Es folgt nun die Berechnung des Fahrzeuges mit Antiblockiersystem und die Berechnung für das Fahrzeug ohne Antiblockiersystem. Die Werte für die Reaktionszeit, Umsetzzeit, Ansprechzeit und Schwellzeit werden durch Fahrer F1 und F2 in ein Intervall beschränkt. Ebenso wurden die Geschwindigkeiten G1=30 km/h, G2=50 km/h, G3=100 km/h festgelegt.

Die Verzögerungswerte für ein Fahrzeug mit ABS und für ein Fahrzeug ohne ABS wurden bereits im Kapitel 3.9 und im obigen erörtert. Auch die Werte der einzelnen Phasen des Anhalteweges für Fahrer 1 (nur 2 % der Fahrer sind besser) und Fahrer 2

(nur 2 % der Fahrer sind schlechter) wurden im Kapitel 2 und 3 bereits erklärt und im Kapitel 2.7 in Abb 5 und Abb 6 sowie in Kapitel 3.9 in Tabelle 15 zusammengefasst. Gewählte Anfangsparameter der Berechnung für das ABS-Fahrzeug werden in folgender Tabelle 17 zusammengefasst:

**Tabelle 17 Anfangsparameter der Berechnung für das ABS-Fahrzeug**

Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a= 0,05$ s	F2: $t_a= 0,05$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,14$ s	F2: $t_s=0,18$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: a: 8,1 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: a: 6,0 - 4,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	

Gewählte Anfangsparameter der Berechnung für das Fahrzeug ohne ABS, siehe Tabelle 18:

**Tabelle 18 Anfangsparameter der Berechnung für das Fahrzeug ohne ABS**

Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a= 0,05$ s	F2: $t_a= 0,05$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,14$ s	F2: $t_s=0,18$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: a: 7,3 - 5,0 - 2,5 - 0,5 m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: a: 6,0 - 4,5 - 2,5 - 0,5 m/s <sup>2</sup>	

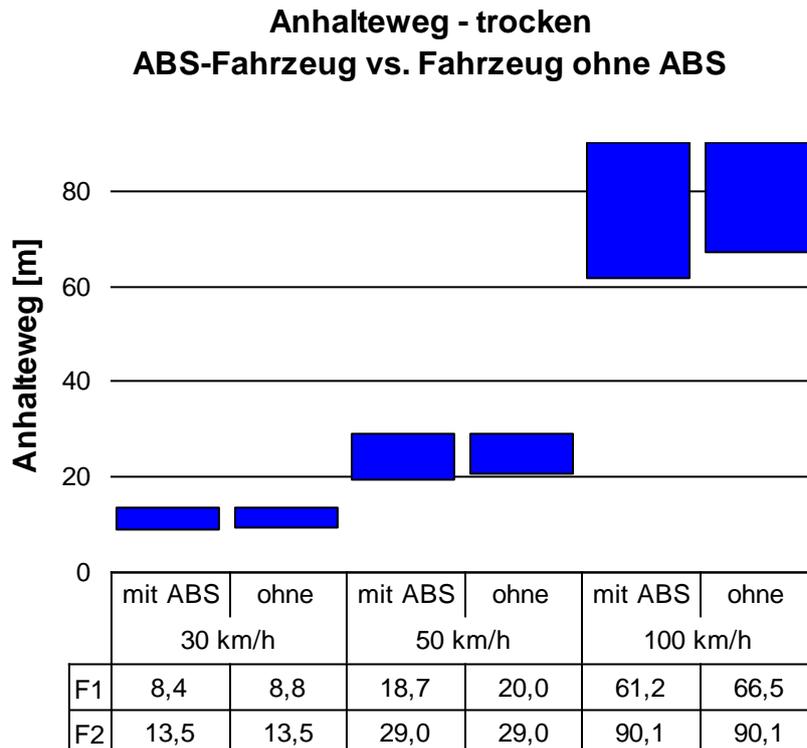
In Abb 16 werden die Berechnungsergebnisse des Anhalteweges auf trockener Fahrbahn für ein ABS-Fahrzeug und ein Fahrzeug ohne ABS präsentiert. Das ABS-Fahrzeug stellt auch in den weiteren Vergleichen immer das Referenzfahrzeug dar. Es wurde davon ausgegangen, dass diese Fahrzeuge keine weiteren Assistenzsysteme verbaut haben.

Der Anhalteweg ist in Meter auf der y – Achse aufgetragen. Auf der x – Achse werden 3 verschiedene Geschwindigkeiten nebeneinander dargestellt. Die langsamste Geschwindigkeit G1 mit 30 km/h (8,33 m/s), G2 mit 50 km/h (13,89 m/s) und die schnellste Ausgangsgeschwindigkeit G3 mit 100 km/h (27,78 m/s).

Fahrer F2 benötigt, egal ob mit oder ohne ABS, in beiden Fällen von G3 rund 90 m, um das Fahrzeug abzubremesen. Der Grund dafür ist, dass dieser Fahrer im Trockenen bei einer Notbremssituation das Fahrzeug nicht in den ABS-Regelbereich bringt (Anmerkung: Bei zwei Drittel aller Unfälle erfolgte vor dem Aufprall maximal eine Teilbremsung [7]). Daher hat ABS keinen Einfluss auf den Anhalteweg eines Fahrers F2.

Wie aus Abb 16 zu entnehmen ist, ist die Abweichung der Länge des Anhalteweges durch die verschiedenen Fähigkeiten der Fahrer umso größer, je größer die Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeuges ist. Kommt ein guter Fahrer bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von G1 (30 km/h) unter Umständen bereits bei 8,4 m zum Stillstand, beträgt der Anhalteweg für Fahrer F2 5,1 m mehr und endet bei 13,5 m. Doch bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 100 km/h (G3) kommt Fahrer F2 erst knapp 30 m nach Fahrer F1 bei 90,1 m mit seinem ABS-Fahrzeug zum Stillstand.

Auf trockener Fahrbahn verkürzt sich der Anhalteweg mit ABS bei einem geradeaus fahrenden Fahrzeug um lediglich 5 % gegenüber einem Fahrzeug ohne ABS. Der weitere Sicherheitsgewinn des ABS-Fahrzeuges aufgrund der zusätzlichen Bremsstabilität ist rein aus den erreichbaren Anhaltewegen nicht erkennbar. Weiters zu erwähnen ist, dass Fahrer, welche nicht stark genug auf das Bremspedal steigen, gar nicht in den ABS-Regelbereich vordringen bzw. bei einem ABS-losem Fahrzeug gar nicht das Rad zum Blockieren bringen. Sind die Verzögerungen so gering, dann spielt es keine Rolle, ob ein ABS-System verbaut ist oder nicht. Dann wird der Anhalteweg durch das ABS-System nicht beeinflusst – ebenfalls nicht die Fahrzeugstabilität. Daher ist für Fahrer F2, sowohl im ABS-Fahrzeug als auch im Fahrzeug ohne ABS, auf trockener und nasser Fahrbahn der Anhalteweg ident.



**Abb 16 Vergleich mit ABS (Pkw: Fahrer F1-G3)/ohne ABS (Pkw: Fahrer F2-G3), trocken**

In Abb 17 folgt der Vergleich auf verschiedenen Fahrbahnverhältnissen zwischen einem ABS-Fahrzeug und einem Fahrzeug ohne ABS. Wie aus Literatur bekannt ist, bildet sich vor einem blockierenden Rad auf Schnee und Kies ein Bremskeil. Dieser ermöglicht es dem Fahrzeug ohne ABS, bei Schnee früher zum Stillstand zu gelangen als das ABS-Fahrzeug. Im Trockenen, Nassen und auf Eis ist es das ABS-Fahrzeug, welches früher zum Stillstand gelangt. Wieder ist mit Nachdruck darauf hinzuweisen, dass der Mehrwert der zusätzlichen Fahrzeugstabilität in Notbremssituationen und die Möglichkeit auszuweichen ohne vom Bremspedal zu steigen in Abb 17 nicht ersichtlich ist. Während Fahrzeuge ohne ABS bei trockener Fahrbahnoberfläche einen um rund 5 % längeren Anhalteweg haben als Fahrzeuge mit ABS, beträgt dieser Unterschied auf nasser Fahrbahn bereits 15 %. Auf vereisten Fahrbahnen benötigt ein Fahrzeug ohne ABS sogar den doppelten Anhalteweg des ABS-Fahrzeuges. Auf verschneiten Fahrbahnen kommt, aufgrund des Keils vor dem blockierenden Rad, das Fahrzeug ohne ABS um 20 % früher zum Stillstand als mit.

### Anhalteweg - 30 km/h ABS-Fahrzeug vs. Fahrzeug ohne ABS

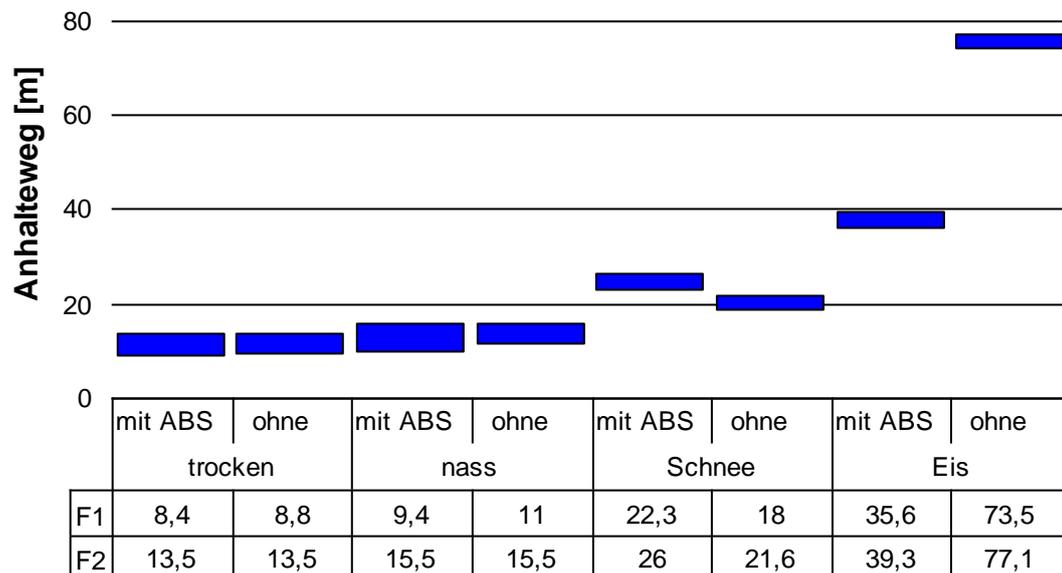


Abb 17 Vergleich mit/ohne ABS bei G1 bei verschiedenen Fahrbahnverhältnissen

Da heutzutage nahezu alle Fahrzeuge ABS-Fahrzeuge sind, werden die weiteren Systeme immer mit den Werten des ABS-Fahrzeuges verglichen.

#### 4.3 Vergleich 2: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Bremsassistent“

Es folgt nun der Vergleich des Fahrzeuges mit ABS versus ABS-Fahrzeug mit Bremsassistent (BA-Fahrzeug).

Tabelle 19 zeigt die gewählten Anfangsparameter der Berechnung für das ABS-Fahrzeug (siehe Abb 5, Abb 6 und Tabelle 15):

**Tabelle 19** gewählte Anfangsparameter für das ABS-Fahrzeug

Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a= 0,05$ s	F2: $t_a= 0,05$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,14$ s	F2: $t_s=0,18$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: a: 8,1 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: a: 6,0 - 4,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	

Da der Bremsassistent, wie bereits in Kapitel 3.4 erörtert, bei Erfüllung der Auslösekriterien bei Betätigung des Bremspedals den Bremsdruck schnell auf den optimalen Bremsdruck im optimalen Schlupfbereich erhöht, erzielt nun auch der Fahrer F2 jene Schwellwerte von Fahrer F1. Obwohl Fahrer F2 das Bremspedal nicht vollständig durchdrückt, wird durch das Fahrzeug mit Bremsassistent die maximal mögliche Verzögerung aufrecht erhalten. Da der Bremsdruck mit Hilfe des Bremsassistenten ein absolutes Maximum annimmt, wird auch der maximale - mögliche Verzögerungswert im Trockenen und auf nassen Fahrbahnen für Fahrer F2 auf ein Optimum erhöht. Bremsassistent und das ABS-System arbeiten optimal zusammen. Auf verschneiten oder eisigen Fahrbahnen gelingt es auch Fahrer F2 ohne Bremsassistent den ABS-Regelbereich zu erreichen. Daher bleiben diese Verzögerungswerte unverändert. Ebenfalls bleiben die Reaktionsphase, Umsetzphase und Ansprechphase sowohl bei Fahrer F1 als auch bei Fahrer F2 unverändert. Die Bremsschwellphase verkürzt sich auf 0,10 s.

Tabelle 20 zeigt gewählte Parameter für ein (x)BA-Fahrzeug (aus Abb 5, 6, Tabelle 15):

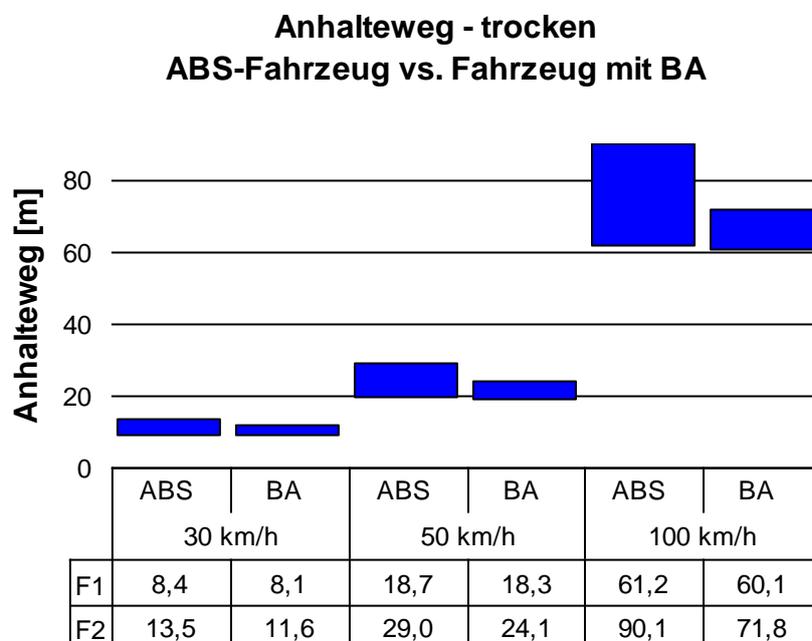
**Tabelle 20** gewählte Berechnungsparameter für ein (x)BA-Fahrzeug

Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a= 0,05$ s	F2: $t_a= 0,05$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,10$ s	F2: $t_s=0,10$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: a: 8,2 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: a: 8,2 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	

Die längeren Anhaltewege von Fahrer F2 im Fahrzeug mit Bremsassistent resultieren nur noch aus der längeren Reaktionszeit und der schlechteren Umsetzzeit. In Abb 18 wird der Anhalteweg zwischen einem ABS-Fahrzeug mit Bremsassistenten mit dem Referenzfahrzeug verglichen. Das Referenzfahrzeug ist ein Fahrzeug ausschließlich mit ABS-System. Ein Fahrer eines Fahrzeuges kommt seinem Fahrkönnen entsprechend früher im Anhaltewegintervall (von Fahrer F1 bis Fahrer F2) der jeweiligen Fahrbahnbeschaffenheit (dargestellt durch blaue Balken in Abb 18) zum Stillstand als ein schlechterer Fahrer.

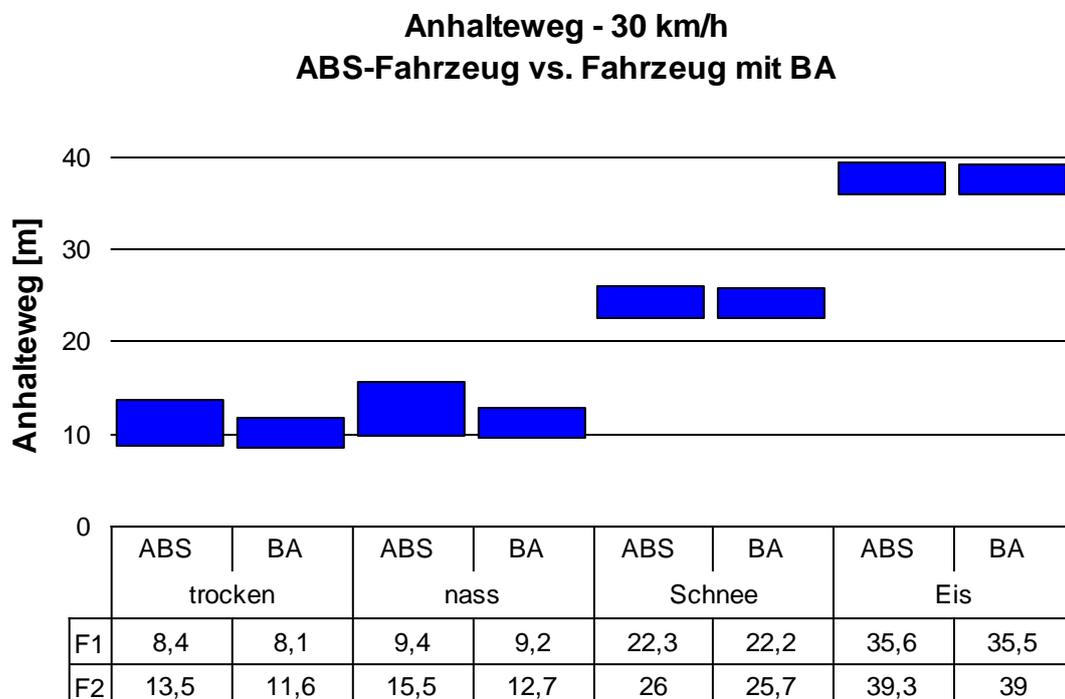
Abb 18 zeigt den Vergleich zwischen ABS und (x)BA auf trockener Fahrbahn. Je größer die Geschwindigkeit des Fahrzeuges ist, desto größer ist der positive Effekt für schlechte Fahrer (Fahrer F2).

Liegt die Verkürzung des maximalen Anhalteweges bei Geschwindigkeit G1 (30 km/h) bei knapp 15 % (also von 13,5 m auf maximal 11,6 m), so beträgt das Potential der Verkürzung des Anhalteweges für schlechte Fahrer (Fahrer F2) bei einer hohen Ausgangsgeschwindigkeit von 100 km/h rund 21% (statt 90,1 m nur noch 71,8 m). Wie aus Abb 18 ebenfalls ersichtlich ist, wäre der bestmögliche Wert aus einer Geschwindigkeit von 100km/h 60,1 m Anhalteweg.



**Abb 18 Vergleich ABS/(x)BA, trocken**

Abb 19 zeigt den Vergleich der beiden Systeme bei unterschiedlichen Fahrbahnverhältnissen bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 30 km/h. Der größte Vorteil dieses Systems ((x)BA) ist für schlechtere Fahrer (Fahrer F2) auf trockener und besonders auf nasser Fahrbahn zu erkennen. Hier verkürzen sich die Anhaltewege um bis zu 15 % (bei G1, 30 km/h) im Vergleich zu ABS-Fahrzeugen. Bei höheren Geschwindigkeiten verstärkt sich dieser Effekt auf rund 20 % Verkürzung des Anhalteweges bei G3 (100 km/h). Für sehr gute Fahrer (Fahrer F1) verkürzt sich der Anhalteweg um lediglich 1-3 % auf trockener und nasser Fahrbahn. Auf Schnee und Eis ist der positive Einfluss dieses Assistenzsystem für alle Fahrer nahezu vernachlässigbar.



**Abb 19 Vergleich ABS/(x)BA bei G1 bei verschiedenen Fahrbahnverhältnissen**

Analog zu den hier beschriebenen 15-21 % Verkürzungspotential des Bremsassistenten auf den Anhalteweg berichtet [14] von Bremswegverkürzungen von 8 m bei Notbremsungen aus 100 km/h und beziffert das erreichbare Potential von Bremsassistenten mit bis zu 20 % Bremswegverkürzung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass dieses Fahrerassistenzsystem besonders schlechten Fahrern (F2) auf trockener oder nassen Fahrbahn zugute kommt. Es bringt diese näher an die Werte der guten Fahrer F1 heran. Ebenso bringt es laut

[41] ältere Fahrer (65+) auf ein Bremswegniveau von jüngeren Fahrern (35-50). Diese Ergebnisse sind wenig verwunderlich, da dieses System den raschen Druckaufbau in der Bremsleitung forciert. Diesen raschen Druckaufbau sind gute Fahrer immer in der Lage auch selber aufzubauen – wenn auch nicht ganz so gut wie mit technischer Unterstützung. Schlechtere Fahrer, welche unter Umständen das Bremspedal gar nicht genug betätigen um eine Notbremsung selber auszulösen, sind nun allerdings auch in der Lage in den ABS-Regelbereich der maximalen Verzögerung vorzudringen.

#### 4.4 Vergleich 3: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Prefill“

Es folgt nun der Vergleich des ABS-Fahrzeuges versus dem ABS-Fahrzeug mit Prefill-Funktion (EBP).

Tabelle 21 zeigt unveränderte Berechnungsparameter für das ABS-Fahrzeug, siehe Abb 5, Abb 6 und Tabelle 15:

**Tabelle 21 Berechnungsparameter für das ABS-Fahrzeug**

Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a= 0,05$ s	F2: $t_a= 0,05$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,14$ s	F2: $t_s=0,18$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: a: 8,1 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: a: 6,0 - 4,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	

Bei den Anfangsparametern der Berechnung für das Fahrzeug mit Electronic Brake Prefill (EBP) ist zu erwähnen, dass die Ansprechzeit des Systems positiv beeinflusst wird [16]. Alle anderen Parameter bleiben unverändert zum ABS-Fahrzeug.

In Tabelle 22 sind die Anfangsparameter der Berechnung für das EBP-Fahrzeug dargestellt, Herleitung siehe Kapitel 2 und 3, Abb 5, Abb 6 und Tabelle 15:

**Tabelle 22 gewählte Anfangsparameter der Berechnung für das Fahrzeug mit Electronic Brake Prefill (EBP)**

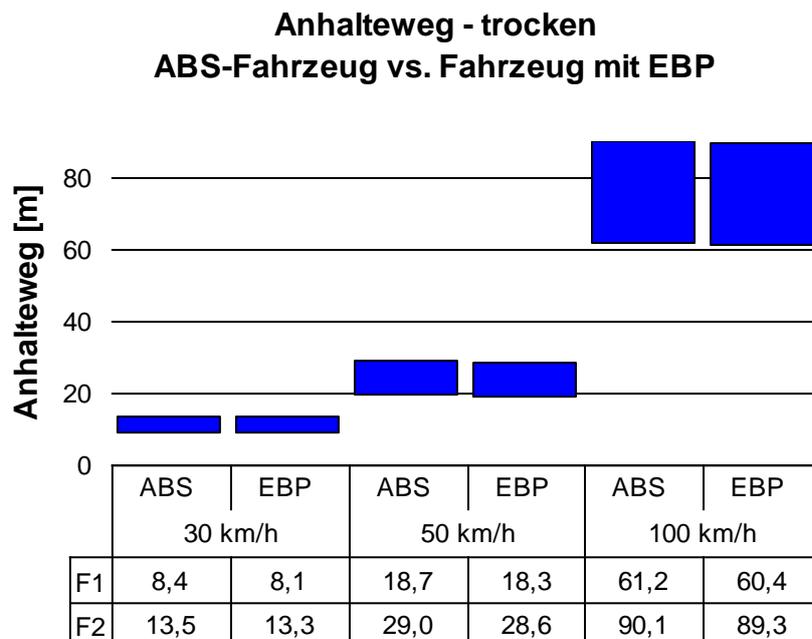
Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a=0,02$ s	F2: $t_a=0,02$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,14$ s	F2: $t_s=0,18$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: $a: 8,1 - 6,5 - 1,9 - 1,1$ m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: $a: 6,0 - 4,5 - 1,9 - 1,1$ m/s <sup>2</sup>	

Mit den hier gewählten Anfangsparametern wird nur rein die Verkürzung des Anhalteweges aufgrund der um 30 Millisekunden verkürzten Ansprechzeit bewertet.

Die Prefill-Funktion befüllt die Bremsleitungen vor und legt die Bremsbeläge bereits an die Bremsscheibe an. Dadurch wird die Ansprechzeit des Systems auf ein Minimum reduziert.

In Abb 20 ist zu erkennen, dass der Unterschied des Anhalteweges zwischen einem ABS-Fahrzeug und einem EBP-Fahrzeug nahezu vernachlässigbar gering ist. Die prozentuellen Verbesserungen dieses EBP-Systems sind naturgemäß wesentlich geringer als bei einem System, dessen Wirkdauer über Sekunden das Bremsmanöver beeinflusst. Die prozentuell größten Verbesserungen ergeben sich bei langsamen Geschwindigkeiten für gute, aufmerksame Fahrer (Fahrer F1). Aber auch diese Verbesserungen betragen maximal 2,5 %. Besonders hervorzuheben ist aber, dass dieses System allen Fahrern auf allen Bodenbelägen, egal ob aufmerksam oder nicht, ein wenig hilft, den Anhalteweg zu verkürzen.

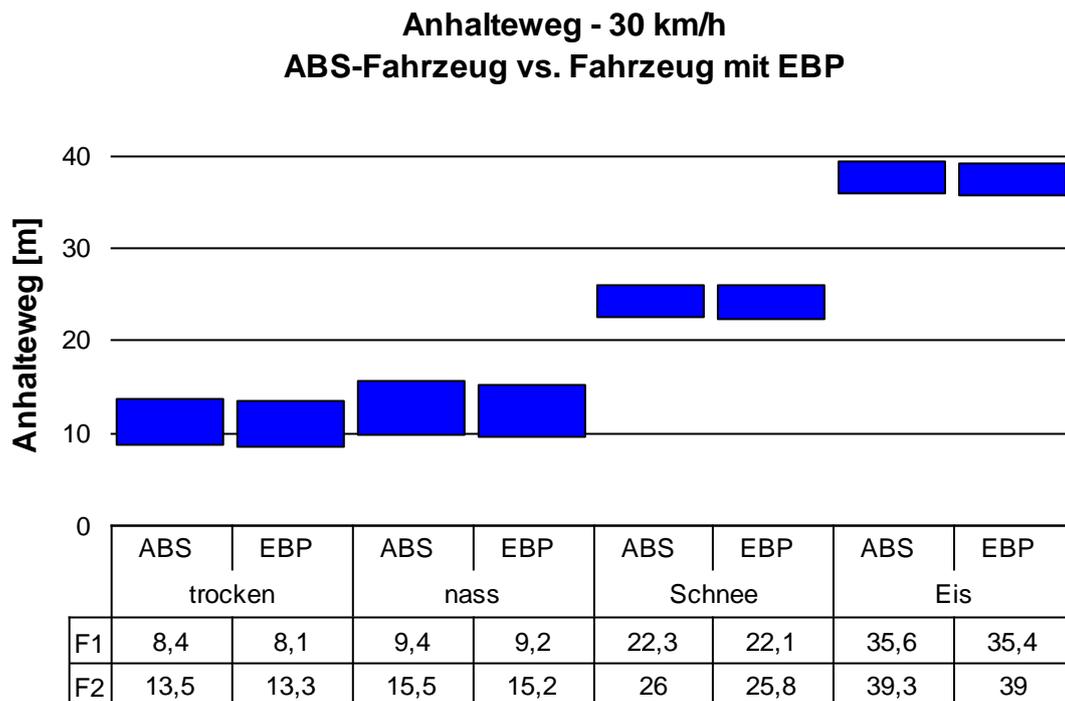
Bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h wird der Anhalteweg um rund 0,2 m verkürzt. Bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h wird der Anhalteweg um 0,4 m verkürzt und bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h wird der Anhalteweg um 0,8 m verkürzt, falls wie in diesem Rechenbeispiel die Ansprechzeit durch das Prefill-System um 30 ms verkürzt wird.



**Abb 20 Vergleich ABS/EBP, trocken**

In Abb 21 wird der Anhalteweg bei 30 km/h auf den verschiedenen Fahrbahnverhältnissen dargestellt. Auch hier wird wieder ersichtlich, dass das Verkürzungspotential dieses Systems von der Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges abhängig ist und für jeden Fahrer auf jedem Fahrbahnbelag gleichermaßen von Vorteil ist.

Auch auf eisiger Fahrbahn betragen die Abweichungen (Verbesserungen) mit dem Electronic Brake Prefill-System Fahrzeug je nach Geschwindigkeit lediglich 0,25 m, 0,42 m oder 0,83 m bei einer sehr optimistisch angenommenen Verkürzung der Ansprechzeit des Bremssystems um 30 ms.



**Abb 21 Vergleich ABS/EBP, 30 kmh**

[41] erwähnt 2 m Verkürzungspotential bei einer Bremsung aus 100km/h. Mehr Verkürzungspotential steckt, wie auch diese Arbeit zeigt, keinesfalls in diesem Assistenzsystem. Prozentuell werden im Trockenen bei G1 rund 2 %, im höheren Geschwindigkeitsbereich knapp 1% des Anhalteweges eingespart.

Da diese Prefill-Funktion immer nur in Kombination mit xBA verfügbar gewesen ist, wird nun PBA berechnet: (Prefill & (x)BA)

#### **4.5 Vergleich 4: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Predictive Brake Assistent“**

Diese Abstandsregelanlage der ersten Generation agiert vorausschauend und bereitet sich und den Fahrer so auf eine Notbremsung vor. Für den Fahrer unmerklich baut es präventiv Bremsdruck auf, legt die Bremsbeläge an die Scheiben an und versetzt den hydraulischen Bremsassistenten in „Alarmbereitschaft“. *„Bremst der Fahrer, erhält er die schnellstmögliche Bremsreaktion bei optimalen Verzögerungswerten und damit den kürzestmöglichen Anhalteweg“* [33].

PBA vereint also die Vorteile der Systeme (x)BA und Prefill (Kapitel 4.3 und Kapitel 4.4). Die Wahl der Anfangsparameter kann auch in diesen Kapiteln nachvollzogen werden.

Aufgrund des Bremsassistenten sind Schwellzeiten und Verzögerungswerte für alle Fahrer (begrenzt durch den bestmöglichen Fahrer F1 und den schlechtmöglichen Fahrer F2) im Vergleich zum ABS-Fahrzeug verbessert. Aufgrund der Prefill-Funktion sind auch die Werte der Ansprechphase um 30 ms verbessert.

Folgende Berechnungsparameter, dargestellt in Tabelle 23, wurden für das Fahrzeug mit einem Predictive Brake Assistent System (PBA-System), ebenso in Abb 5, Abb 6 und Tabelle 15 zusammengefasst, herangezogen:

**Tabelle 23** gewählte Berechnungsparameter für ein Fahrzeug mit Predictive Brake Assistent System (PBA-System)

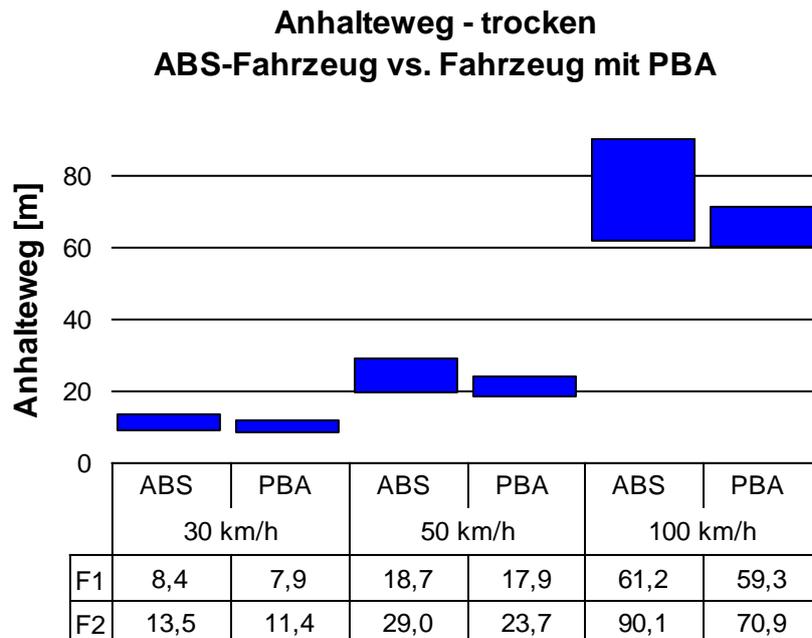
Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a=0,02$ s	F2: $t_a=0,02$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,10$ s	F2: $t_s=0,10$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: a: 8,2 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: a: 8,2 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	

Die gewählten Anfangsparameter der Berechnung für das Vergleichs- ABS-Fahrzeug, dargestellt in Tabelle 24, bleiben wiederum gleich, Herleitung siehe Kapitel 2 und 3, Abb 5, Abb 6 und Tabelle 15:

**Tabelle 24** Berechnungsparameter ABS-Fahrzeug

Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a=0,05$ s	F2: $t_a=0,05$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,14$ s	F2: $t_s=0,18$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: a: 8,1 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: a: 6,0 - 4,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	

Schon in [Abb 22](#) ist zu erkennen, dass ein Fahrzeug mit PBA vor allem bei höheren Geschwindigkeiten gegenüber ABS-Fahrzeugen früher zum Stillstand gelangt. Der Vergleich in den verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen wird für trockene Fahrbahn dargestellt. Die Eigenschaften des Fahrerassistenzsystems „Bremsassistent“ sind beim Fahrzeug mit PBA eindeutig dominant. Dies ist einleuchtend, da dieses System über einen wesentlich längeren Zeitraum des Bremsvorganges die Verzögerung beeinflusst als das Prefill-System.

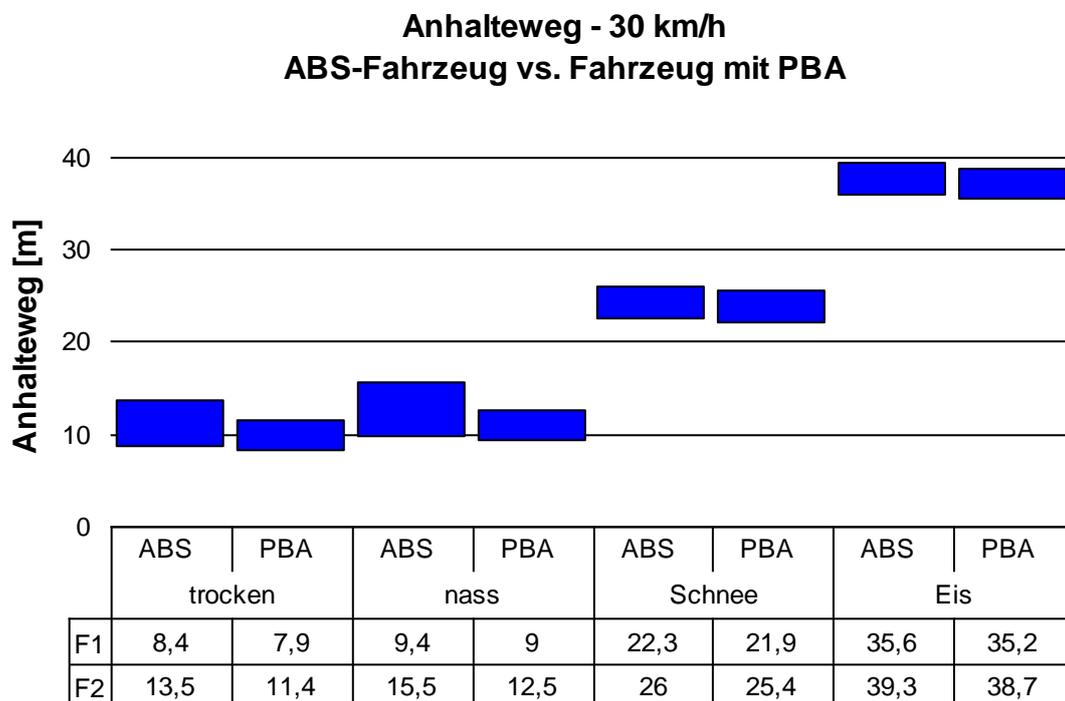


**Abb 22 Vergleich ABS/PBA, trocken**

Auch aus [Abb 23](#) wird ersichtlich, dass der Anhalteweg bei einer Fahrzeug-Ausgangsgeschwindigkeit von 30 km/h auf trockener Fahrbahn für F1 um 0,5 m, geringer ist, wenn das Fahrzeug mit PBA ausgestattet ist. Dies ist ein Verkürzungspotential von rund 5 %. Für schlechtere Fahrer bewirkt dieses System im Trockenen sogar Verkürzungen des Anhalteweges von über 2 m bzw. bis zu 20 %. Auf nasser Fahrbahn verhält es sich zwischen einem Fahrzeug mit PBA und dem ABS-Fahrzeug ähnlich. Auf Schnee und Eis ist das Potential dieses Systems geringer. Hier verkürzt sich der Anhalteweg für einen guten Fahrer von 22,3 m in einem ABS-Fahrzeug auf 21,9 m in einem PBA-Fahrzeug. Fahrer F2 benötigt 25,4 m, um mit dem PBA-Fahrzeug zum Stillstand zu gelangen.

Während schlechte Fahrer (F2, nur 2 % der Fahrer sind schlechter) im ABS-Fahrzeug durchschnittlich noch rund 5 m längere Anhaltewege haben als gute Fahrer, benötigen

sie im PBA-Fahrzeug nur noch 3,5 m länger als sehr gute Fahrer (F1, nur 2 % aller Fahrer sind besser).



**Abb 23 Ausnahme: Vergleich (x)BA-Fahrzeug zu PBA-Fahrzeug, nass**

Es kann zusammenfassend gesagt werden, dass das Fahrerassistenzsystem PBA den ungeübten, aufmerksamen Fahrern am meisten zugute kommt, besonders dann, wenn die Geschwindigkeiten hoch sind und der Fahrbahnbelag griffig ist.

Das Potential der Verkürzung des Anhalteweges für schlechte Fahrer (Fahrer F2) liegt im Nassen bei einer hohen Ausgangsgeschwindigkeit von G3 bereits über 20 %. Auch für gute Fahrer bringt das System auf nassen Fahrbahnen Verkürzungspotentiale des Anhalteweges von bis zu 5 % gegenüber reinen ABS-Fahrzeugen.

#### **4.6 Vergleich 5: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Predictive Collision Warning“**

Hier wird der Fahrer bereits auf eine drohende Kollision vom System hingewiesen/vorgewarnt. Daher nimmt dieses System, beginnend in der Gefahrenerkennung, Einfluss auf den Beginn der Reaktionsphase. Fahrer, welche vom

Verkehrsgeschehen abgelenkt sind, können mit Hilfe dieses Systems vom Fahrzeug zur Aufmerksamkeit gemahnt werden. Um nur diesen Vorteil des Gewinns aufgrund der früher beginnenden Reaktionsphase herauszuarbeiten, hier vorerst nur der Vergleich zu ABS ohne den natürlich auch verbauten Prefill und (x)BA Systemen (Es wird also nur das Verbesserungspotential aufgrund der früher beginnenden Reaktionszeit berechnet). Das zusätzliche Potential ergibt sich aufgrund des akustischen und/oder optischen Warnhinweises des Systems, PCW, predictive collision warning. Wie im Kapitel 3.6.2 ausgearbeitet wurde, kann durch die Warnung des Fahrzeuges die Reaktion des unaufmerksamen Fahrers um mindestens 0,1 s früher erfolgen. Sowohl in der Gefahrenerkennungszeit als auch in der Reaktionszeit ist das Fahrzeug noch mit der unverminderten Ausgangsgeschwindigkeit unterwegs. Daher könnte in der Berechnung diese um 0,1 s früher beginnende Reaktion auch einfach so berücksichtigt werden, dass die Reaktionszeit anstelle von 0,58 s (F98%) bereits nach 0,48 s nach Beginn des Anhalteweges für Fahrer F2 abgeschlossen ist.

Dieser frühere Reaktionsbeginn aufgrund der Verkürzung der Gefahrenerkennungszeit stellt allerdings keine Verkürzung der Anhaltezeit dar, sondern lediglich einen früheren Beginn der Anhaltezeit. Das Potential dieses Systems kann daher nicht über den Anhalteweg dargestellt werden. In Tabelle 25 wird daher nur das Potential eines früheren Beginns der Anhaltezeit um 0,1 s, bei den unterschiedlichen Geschwindigkeiten von 30 km/h, 50 km/h und 100 km/h dargestellt. Dieses Potential stellt keine Anhaltewegverkürzung, sondern eine Gefahrenerkennungsverkürzung dar. Bemerkungen zum maximalen Potential in der Gefahrenerkennung siehe Kapitel 5.

**Tabelle 25 Früherer Fahrzeugstillstand aufgrund früheren Reaktionsbeginns in Meter**

	0,1 s früher
30 km/h	0,8 m
50 km/h	1,4 m
100 km/h	2,8 m

Addiert man dieses Potential des früheren Beginns der Anhaltezeit zur Verkürzung des Anhalteweges eines Fahrzeuges mit Predictive Brake Assistent System (PBA-System), so erhält man das Gesamtpotential des Fahrzeuges mit PCW, predictive collision warning.

Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass die Anhaltewegverkürzung ident zum Fahrzeug mit PBA-System ist. Das Gesamtpotential für einen früheren Stillstand des Fahrzeuges ist größer und in den folgenden Abbildungen dargestellt im Vergleich zum ABS-Fahrzeug

Die gewählten Anfangsparameter der Berechnung, dargestellt in Tabelle 26, für das ABS-Fahrzeug bleiben weiterhin (wie bisher):

**Tabelle 26 Berechnungsparameter ABS-Fahrzeug**

Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a= 0,05$ s	F2: $t_a= 0,05$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,14$ s	F2: $t_s=0,18$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: a: 8,1 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: a: 6,0 - 4,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	

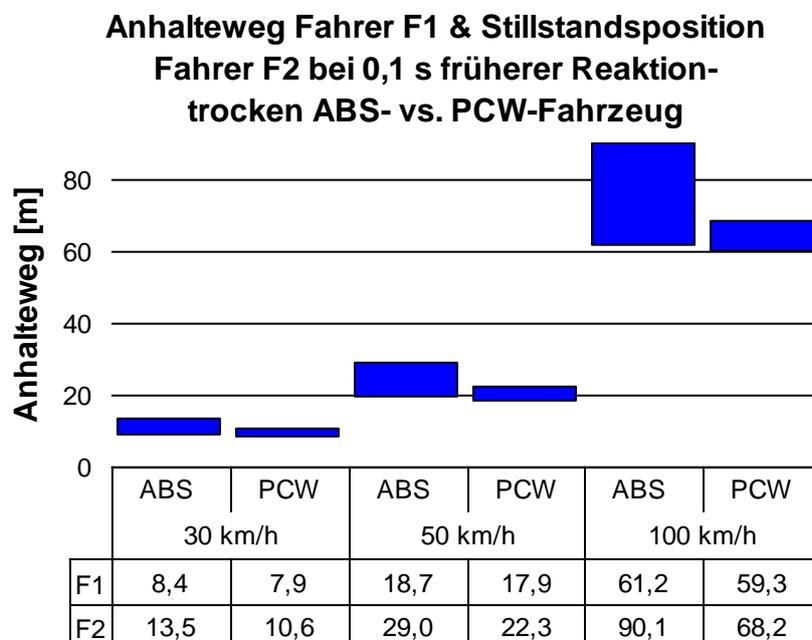
Das Fahrzeug mit Predictive Collision Warning, Parameter gemäß Prefill und Bremsassistent-Fahrzeug, siehe Abb 5, Abb 6 und Tabelle 15 wird folgendermaßen berechnet (siehe Tabelle 27):

**Tabelle 27 Berechnungsparameter PCW-Fahrzeug**

Reaktionsphase:	F1: $t_r=0,22$ s	F2: $t_r=0,58$ s, aber um 0,1 s früher
Umsetzphase:	F1: $t_u=0,15$ s	F2: $t_u=0,21$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a= 0,02$ s	F2: $t_a= 0,02$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,10$ s	F2: $t_s=0,10$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: a: 8,2 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: a: 8,2 - 6,5 - 1,9 - 1,1 m/s <sup>2</sup>	

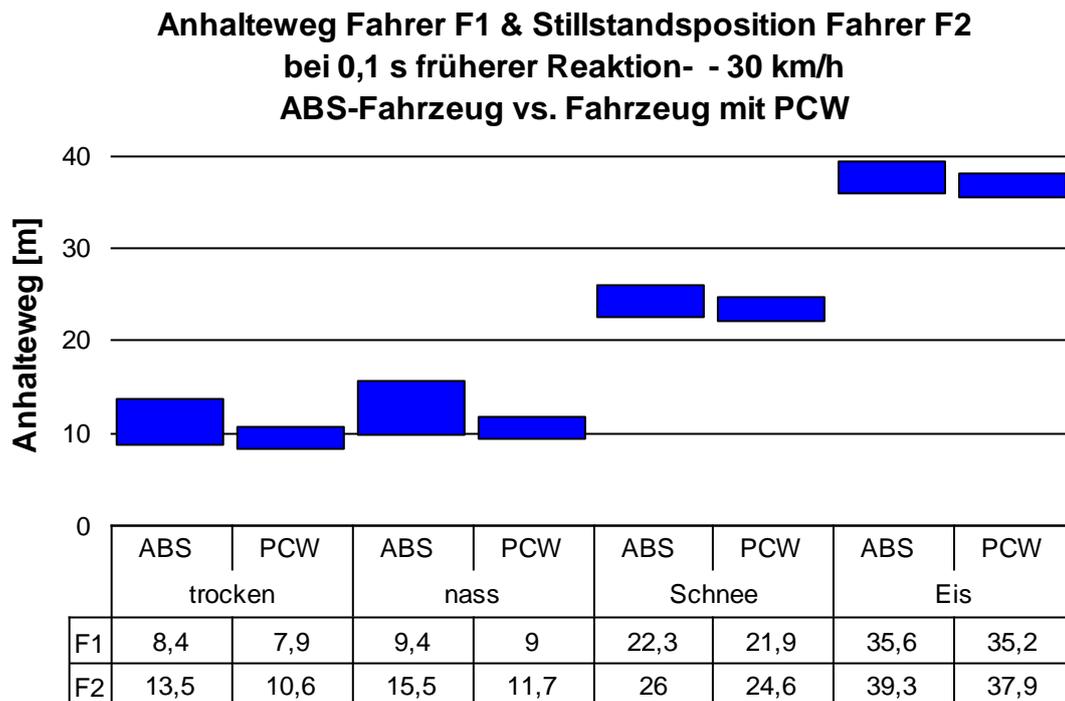
Wie [Abb 24](#) zeigt, bringt dieses System schlechte und/oder unaufmerksame Fahrer (F2) bereits sehr nahe an die zu erreichenden Stillstandspositionen von guten/aufmerksamen Fahrern (F1) heran.

Die prozentuellen Abweichungen der Position des Stillstandes des Fahrzeuges zwischen Fahrer F1 und Fahrer F2 beträgt nur noch rund 10-20 % je nach Geschwindigkeit und Fahrbahnbedingung. Im Trockenen kommen schlechte Fahrer bei 100 km/h statt nach 90,1 m bereits knapp 22 m früher zum Stillstand. Dies entspricht einem Potential von rund 25 %. Aufmerksame Fahrer, bei denen die Warnung des PCW-Fahrzeuges nicht tragend wird, benötigen mit einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h 59,3 m mit PCW, im ABS-Fahrzeug 61,2 m. Dies ist einzig dem verbauten Prefill- sowie Bremsassistentensystem zuzuschreiben.



**Abb 24 Vergleich ABS/PCW, trocken**

Auch bei diesem PCW-System werden überdurchschnittlich gute Fahrer, welche gerade aufmerksam bei der Sache sind, auf verschneiten oder eisigen Fahrbahnen nicht wesentlich zusätzlich unterstützt/verbessert, wie [Abb 25](#) verdeutlicht. Auf verschneiten bzw. eisigen Fahrbahnen beträgt die Verkürzung des Anhalteweges für Fahrer F1 ebenso wie beim PBA-System nur knapp 1 % im PCW-Fahrzeug im Vergleich zu einem ABS-Fahrzeug.



**Abb 25 Vergleich ABS/PCW-Fahrzeug, 30 kmh**

Für unaufmerksame und schlechte Fahrer, wie Fahrer F2, sind auf eisigen Fahrbahnen je nach Fahrgeschwindigkeit rund 3-10 % Verkürzungspotential aufgrund der technischen Erweiterung des Fahrzeuges möglich. Bei langsamen Geschwindigkeiten ist der prozentuelle Gewinn größer. Dieses System bringt schlechte Fahrer schon sehr nahe an die Ergebnisse von aufmerksamen guten Fahrern wie F1 heran. Auf eisiger Fahrbahn, bei Geschwindigkeit G3 (100 km/h), kommt Fahrer F1 nur noch um 2,2 % früher zum Stillstand als Fahrer F2. In einem ABS-Fahrzeug war die Differenz des Anhalteweges noch 3,2 %. Im Trockenen bei G1 (30 km/h) war der Anhalteweg von F1 im ABS-Fahrzeug noch um 37,8 % kürzer, im PCW-Fahrzeug ist der Unterschied der Stillstandsposition nur noch um 25,5 % kürzer als jener von Fahrer F2. Daran ist sehr gut zu erkennen, wie nahe die technischen Systeme eines Fahrzeuges imstande sind, unaufmerksame und/oder schlechte Fahrer an die Stillstandspositionen von guten/aufmerksamen Fahrern heran zu bringen.

Für unaufmerksame Fahrer ist dieses System prozentuell gesehen bei geringen Geschwindigkeiten besonders relevant, auch wenn der absolute Gewinn natürlich bei hohen Geschwindigkeiten größer ist. In Summe ist dieses System für alle Fahrer ein Gewinn. Besonders viel Nutzen haben die Fahrer aber bei trockenen und nassen Bedingungen wenn sie unaufmerksam sind.

## 4.7 Vergleich 6: „ABS-Fahrzeug“- „Fahrzeug mit Predictive Emergency Braking“

Dieses Fahrerassistenzsystem ist von Hersteller zu Hersteller sehr unterschiedlich zu berechnen. Im äußersten Notfall kann es sogar selbsttätig eine Notbremsung einleiten. Jeder Hersteller realisiert dies mit einer unterschiedlichen Bremsverzögerung. Derzeit wird meist erst zu einem Zeitpunkt, bei dem ein Anprall bereits sicher ist, das Fahrzeug voll verzögert. In vielen Situationen kann (seit 2010) aber bereits so gebremst werden, dass kein Aufprall mehr zustande kommt. Die Gründe für diese Wahl der Berechnungsparameter wurden im Kapitel 3.6.3 ausführlich beschrieben. Es sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass davon ausgegangen wurde, dass der Fahrer bis zum Ende des Bremsvorganges nicht in die Regelung des PEB-Fahrzeuges eingreift.

In Tabelle 28 nochmals zusammengefasst die Parameter der Berechnung für PEB, siehe dazu auch Kapitel 3.6.3:

**Tabelle 28 Parameter der Berechnung für PEB-Fahrzeuge**

Reaktionsphase:	F1: $t_r=0$ s	F2: $t_r=0$ s
Umsetzphase:	F1: $t_u=0$ s	F2: $t_u=0$ s
Ansprechphase:	F1: $t_a=0,02$ s	F2: $t_a=0,02$ s
Schwellphase:	F1: $t_s=0,10$ s	F2: $t_s=0,10$ s
Geschwindigkeiten:	G1 - G2 - G3: 30 - 50 - 100 km/h	
Fahrzeugverzögerungswerte:	trocken - nass - Schnee - Eis	
	Fahrer F1: $a: 5,5 - 5,5 - 1,9 - 1,1$ m/s <sup>2</sup>	
	Fahrer F2: $a: 5,5 - 5,5 - 1,9 - 1,1$ m/s <sup>2</sup>	

Die menschliche Reaktion fällt weg, das Fahrzeug bremst im Notfall früh genug selbsttätig.

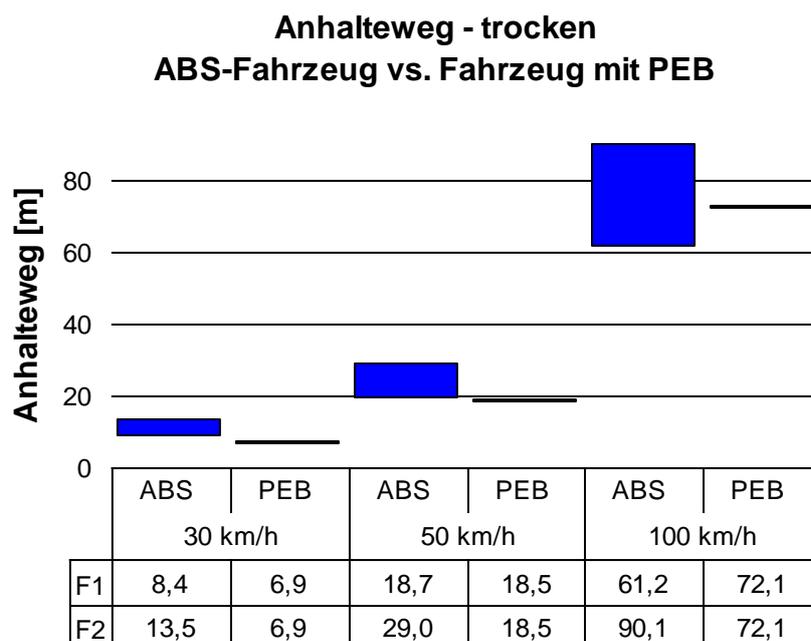
Die Umsetzzeit des Menschen fällt weg, das Fahrzeug bremst im Notfall früh genug selbsttätig.

Ansprechzeit der Bremsanlage: 0,02 Sekunden (ein um 30 ms früheren Ansprechen der Bremsen)

Schwellzeit: für das System (nicht für den Fahrer) 0,1 Sekunden.

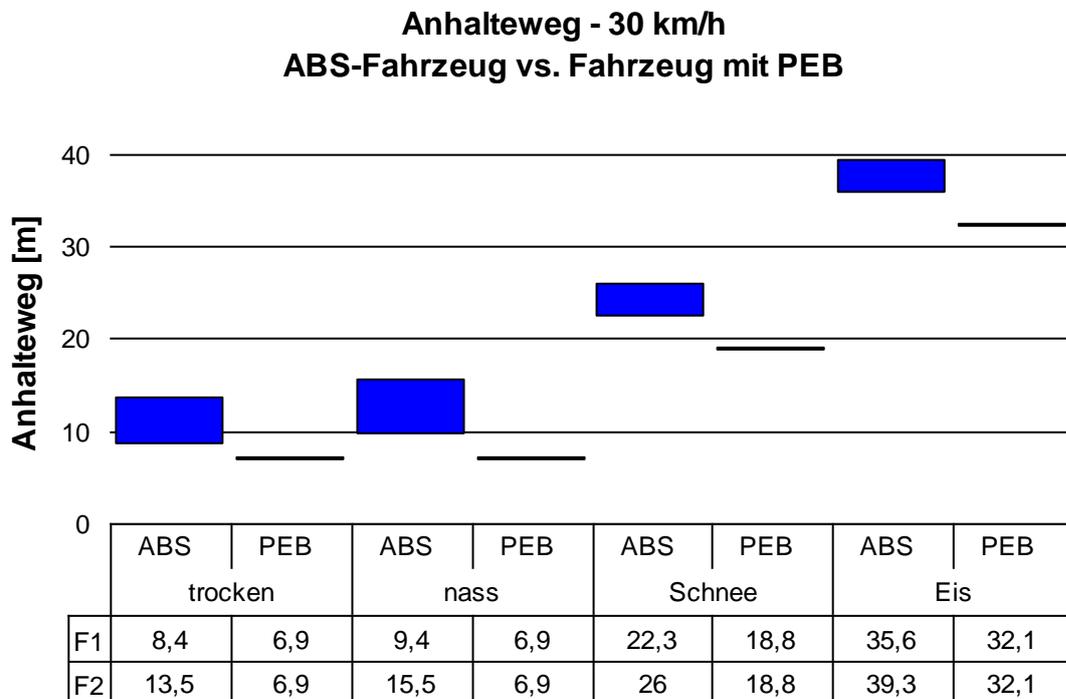
Wie aufmerksam und wie geübt der Fahrer ist, spielt hier keine Rolle mehr.

In Abb 26 wird wieder der Vergleich der Anhaltewege im Trockenen bei verschiedenen Geschwindigkeiten G1, G2, G3 (30, 50, 100 km/h) präsentiert. Bei Fahrzeugen, welche mit PEB-Systemen ausgestattet sind, erreichen alle Fahrer, sofern sie nicht in die Fahrsituation eingreifen, denselben Anhalteweg. Ein Eingreifen des Fahrers, also eine Betätigung des Bremspedals als Reaktion auf eine eingeleitete Bremsung des Fahrzeuges, würde eine sofortige Notbremsung des Fahrzeuges zur Folge haben und der Anhalteweg des PEB-Fahrzeuges würde noch kürzer ausfallen. Bei Fahrzeugen, welche nur mit ABS ausgestattet sind, ergibt sich die Länge des Anhalteweges je nach Fahrer zwischen den Werten von Fahrer F1 und Fahrer F2. In langsamen Geschwindigkeitsbereichen ist der Anhalteweg des PEB-Systems für den Fall, dass es ein Hindernis erkennt, immer kürzer als jener von Menschen. Bei hohen Geschwindigkeiten kann es aufgrund von Komfortgründen sein, dass der Anhalteweg theoretisch sogar etwas länger ist als jener von Fahrer F1. Dies ergibt sich durch die verhältnismäßig niedrige durchschnittliche Fahrzeugverzögerung über eine Zeitdauer von mehr als 3 s „Vollbremszeit“ bei 100 km/h. Jedoch würde ein modernes Fahrzeug, welches ein Hindernis erkannt hat, falls es notwendig ist, die Fahrzeugverzögerung soweit anheben, dass das Fahrzeug rechtzeitig vor dem Hindernis zum Stillstand gelangt bzw. eine Vollverzögerung einleiten, sobald der Fahrer während der bereits begonnenen Fahrzeugverzögerung das Bremspedal betätigt.



**Abb 26 Anhalteweg im Trockenen ABS-Fahrzeug / PEB-Fahrzeug**

In Abb 27 werden die Anhaltewege bei Fahrzeugen mit PEB-Systemen je nach Fahrbahnverhältnissen bei der Geschwindigkeit G1 dargestellt. Durch diese Systeme werden alle Fahrer gleichermaßen unterstützt. Alle Fahrer, von F1 bis F2, kommen nach derselben Wegstrecke zum Stillstand, da das Fahrzeug eigenständig einen Bremsvorgang einleitet.



**Abb 27 Anhalteweg PEB-Fahrzeug, aus 30 km/h, unterschiedliche Fahrbahnbeläge**

Natürlich kann dieses Fahrerassistenzsystem den Fahrer nicht komplett aus der Pflicht nehmen. Bei dieser Berechnung wird ersichtlich, dass dieses System allen Fahrern in allen Situationen eine wesentliche Hilfe ist und erheblich zur Verbesserung der Fahrsicherheit auf den Straßen sorgt. Doch in der Praxis ist dies nicht immer so. Besonders auf stehende Hindernisse wird von manchen dieser Systeme noch keine Rücksicht genommen. Somit sind einparkende Fahrzeuge ein sehr großer Risikofaktor. Auf unübersichtlichen Kreuzungen und bei Querverkehr wird die Fahrregelung eines Menschen noch lange besser sein als jene der Maschine. Trotz der zusätzlichen Assistenzsysteme wie Fußgängererkennung, Verkehrszeichenerkennung Car2Car oder Car2X Kommunikation wird der Mensch noch lange Entscheidungsträger in letzter Instanz sein.

Es ist nicht geklärt, ob dieses System einige Chauffeure nicht doch dazu verleitet, unaufmerksamer zu fahren als ohne technischer Hilfe.

Weiters muss erwähnt werden, dass heutige Systeme noch sehr unterschiedlich agieren. Die meisten Systeme leiten eine Vollverzögerung erst dann ein, wenn ein Aufprall bereits unumgänglich ist. Aber auch das bedeutet bereits einen sehr großen Nutzen für alle Verkehrsteilnehmer. Die Schwere der Verletzungen und der Unfallfolgen wird somit nämlich erheblich gemindert. Der Nutzen der bewerteten Assistenzsysteme wird im folgenden Kapitel noch ausführlich diskutiert.

## 5 “Nutzen/ Bewertung” aufgrund erwarteter Rückwirkungen auf die Unfallstatistiken

Im Gegensatz zu Kapitel 4 wird ab jetzt nicht mehr das Intervall zwischen Fahrer F1 und Fahrer F2 betrachtet, sondern der durchschnittlich zu erwartende Anhalteweg für Fahrer Fx. Dieser durchschnittlich gute, aufmerksame Fahrer Fx (siehe Kapitel 2.7) bei guten Wetterverhältnissen (trocken) repräsentiert die Ergebnisse am besten für die meisten Menschen. Die Fahrzeugverzögerung für Fahrer Fx wurde, wie in Kapitel 3.4 und 3.9 erklärt, für Assistenzsysteme ohne Bremsassistent mit  $7 \text{ m/s}^2$  angenommen.

Welche Anhaltewege und Aufprallgeschwindigkeiten hätte Fahrer Fx in den verschiedenen ausgestatteten Fahrzeugen, wenn er mit 30, 50 bzw. 100 km/h unterwegs ist?

Sogar bei einer geringen Geschwindigkeit von 30 km/h würde ein eingebautes Fahrerassistenzsystem wie PBA oder PCW, in Abb 28 ersichtlich, einem aufmerksamen Lenker eine Anhaltewegeinsparung von 1,3 m gegenüber einem ABS Fahrzeug bringen (10,1 m anstelle von 11,4 m). Das bedeutet, dort wo das Fahrzeug mit Assistenzsystem bereits steht, hätte das ABS-Fahrzeug noch eine Aufprallgeschwindigkeit von rund 10 km/h zu überstehen. (Berechnung nach [42]) An die Folgen eines Fußgänger-zusammenstoßes sei gedacht. Nur 77 % der Fußgänger bleiben unverletzt [7].

Da Fahrer Fx aufmerksam ist wurde angenommen, dass bereits eine Reaktion von Fahrer Fx stattfindet, bevor die mögliche Warnung des PCW-Systems (noch in der Gefahrenerkennungszeit des unaufmerksamen Fahrers) seinen Reaktionsbeginn verfrüht beginnen lassen würde. Daher ist in dieser Auswertung kein zusätzlicher Nutzen des PCW-Systems im Vergleich zum PBA-System ausgewiesen. Der Mehrwert für unaufmerksame Fahrer F2 (F98%) wurde bereits in Kapitel 4.6 aufgezeigt. In Tabelle 29 wird gezeigt, um wie viele Meter früher ein Fahrzeug zum Stillstand kommt, wenn die Reaktion des Fahrers um 0,1 s, 0,2 s, 0,5 s oder um 1 s früher erfolgt aufgrund einer Warnung in der Gefahrenerkennungszeit bei den unterschiedlichen Geschwindigkeiten 30 km/h, 50 km/h und 100 km/h.

Laut [43] warnen Fußgängererkennungssysteme bereits 3 Sekunden vor einem möglichen Aufprall den Fahrer vor einer möglichen Kollision. [44] nennt bei Nacht außerhalb von Ortschaften eine durchschnittliche Erkennung von Fußgängern durch

den Fahrer erst 29 m vor dem Fahrzeug. Audi beschreibt in [45] eine mögliche Fußgängererkennung durch den Nachtassistenten bereits 90 m vor dem Fahrzeug, [16] nennt den dafür den Bereich bis 80 m vor dem Fahrzeug, siehe Abb 13. Daraus folgt, dass bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h ein Fahrerassistenzsystem einen Fußgänger bereits um bis zu 2,2 s früher erkennen kann als ein Fahrer und ermöglicht so einen deutlich früheren Reaktionsbeginn des Fahrers. Das maximal mögliche Potential heutiger PCW-Systeme in Kombination mit Nachtsichtassistenten und Fußgänger-erkennungssystemen liegt also bei rund 2 s früheren Reaktionsbeginnzeitpunkten.

Da das Potential der Verkürzung der Gefahrenerkennungszeit nicht dem Anhalteweg zuzuordnen ist, wird auch in den folgenden Abbildungen kein zusätzliches Potential des PCW-Systems im Vergleich zum PBA-System ausgewiesen.

**Tabelle 29 Früherer Fahrzeugstillstand aufgrund früheren Reaktionsbeginns in Meter**

	0,1 s früher	0,2 s früher	0,5 s früher	1 s früher
30 km/h	0,8 m	1,7 m	4,2 m	8,3 m
50 km/h	1,4 m	2,8 m	6,9 m	13,9 m
100 km/h	2,8 m	5,6 m	13,9 m	27,8 m

In Abb 28 ist zu erkennen, dass ein guter Fahrer F2% (nur 2 % aller Fahrer sind besser) in einem ABS-Fahrzeug bei 30 km/h 8,4 m Anhalteweg hat. Im Gegensatz dazu benötigt ein schlechter Fahrer F98% (nur 2 % aller Fahrer sind schlechter) im ABS-Fahrzeug 13,5 m um in Stillstand zu gelangen. Somit ist der Anhalteweg des schlechteren Fahrers um 5,1 m länger. Bei einem Fahrzeug mit einem moderneren Fahrerassistenzsystem, wie zum Beispiel dem PCW-Fahrzeug, ist diese Spanne wesentlich geringer. Fahrer F2% benötigt im PCW-Fahrzeug 7,9 m, Fahrer F98% mit PCW kommt lediglich 2,7 m später zum Stillstand. Ebenso ist auffallend, dass das PCW-Fahrzeug schlechte Fahrer sehr nahe an Werte des Fx Fahrers heran bringt (F98% benötigt nur 0,5 m länger als Fx um in Stillstand zu gelangen), während schlechte Fahrer im ABS-Fahrzeug 2,8 m längere Anhaltewege haben als durchschnittliche Fahrer. Durchschnittliche Fahrer bringen das ABS-Fahrzeug nicht in den ABS-Regelbereich. Daher ist der Anhalteweg ebenso wie ohne ABS über 11 m. Ein PEB-Fahrzeug, welches ohne Fahrerreaktion selbständig das Fahrzeug zum Stillstand bringt, benötigt, gleich für alle Fahrer, 6,9 m Anhalteweg um das Fahrzeug ohne

Fahrerinteraktion von 30 km/h abzubremsen. Bei einem Eingriff des Fahrers würde sich die Bremsverzögerung erhöhen und damit der Anhalteweg weiter verkürzen.

### Vergleich der Assistenzsysteme bei 30 km/h

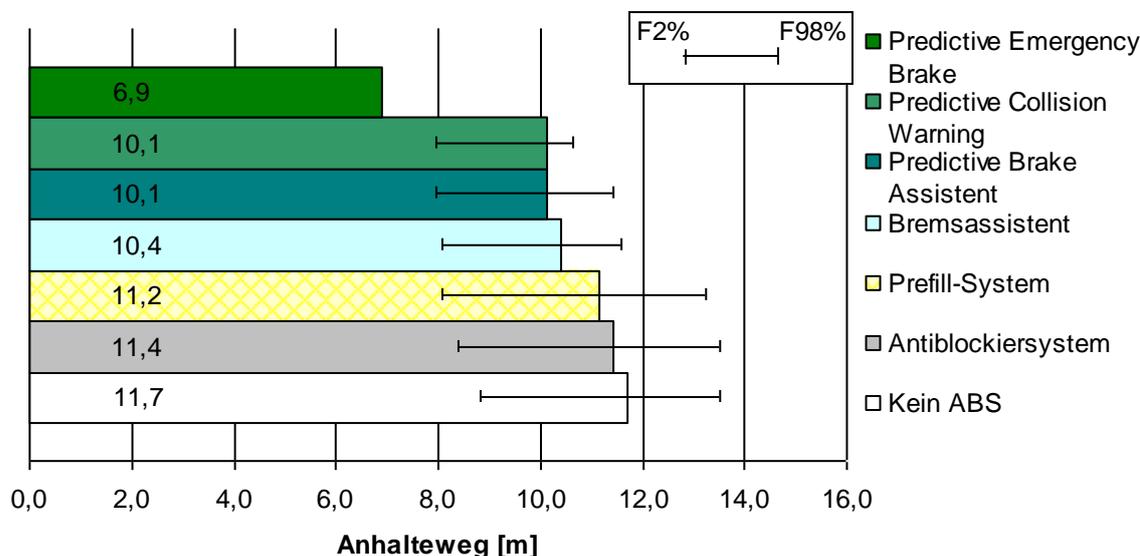


Abb 28 Vergleich Anhalteweg der verschiedenen Assistenzsysteme bei 30km/h

Bei 50km/h Ausgangsgeschwindigkeit ist der Anhalteweg eines Fahrzeuges mit zusätzlichen aktiven Fahrerassistenzsystemen wie PBA um 2,9 m kürzer als jener eines ABS-Fahrzeuges, dargestellt in Abb 29. Dies bedeutet, dass das ABS-Fahrzeug mit einer Restgeschwindigkeit von rund 25 km/h gegen das Hindernis stößt, vor dem das Fahrzeug mit FAS bereits zum Stillstand kommt. Die Wahrscheinlichkeit, als Fußgänger schwer verletzt zu werden, liegt nach [2] bereits bei 10 %.

### Vergleich der Assistenzsysteme bei 50 km/h

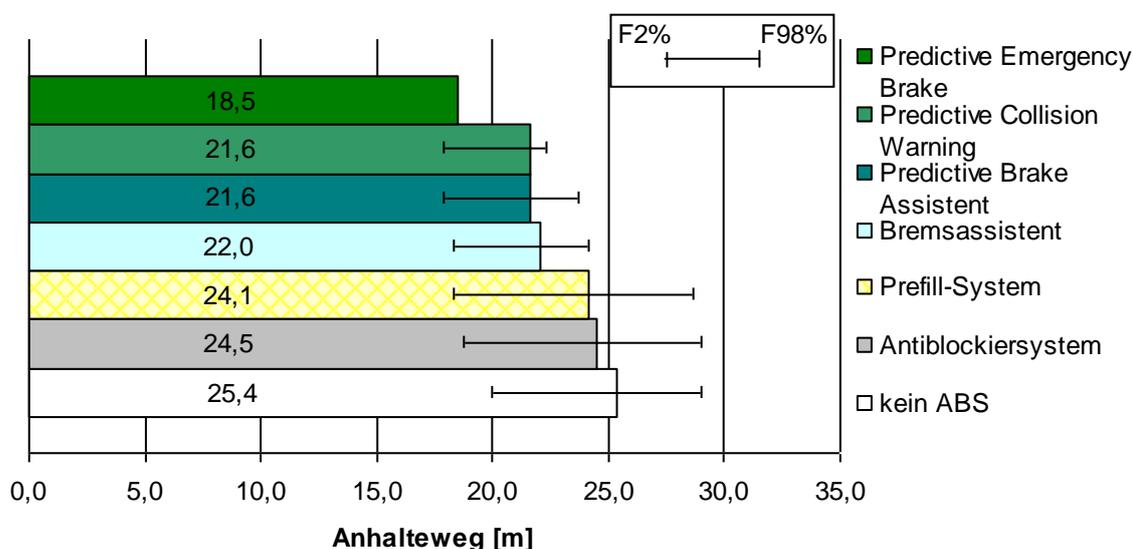
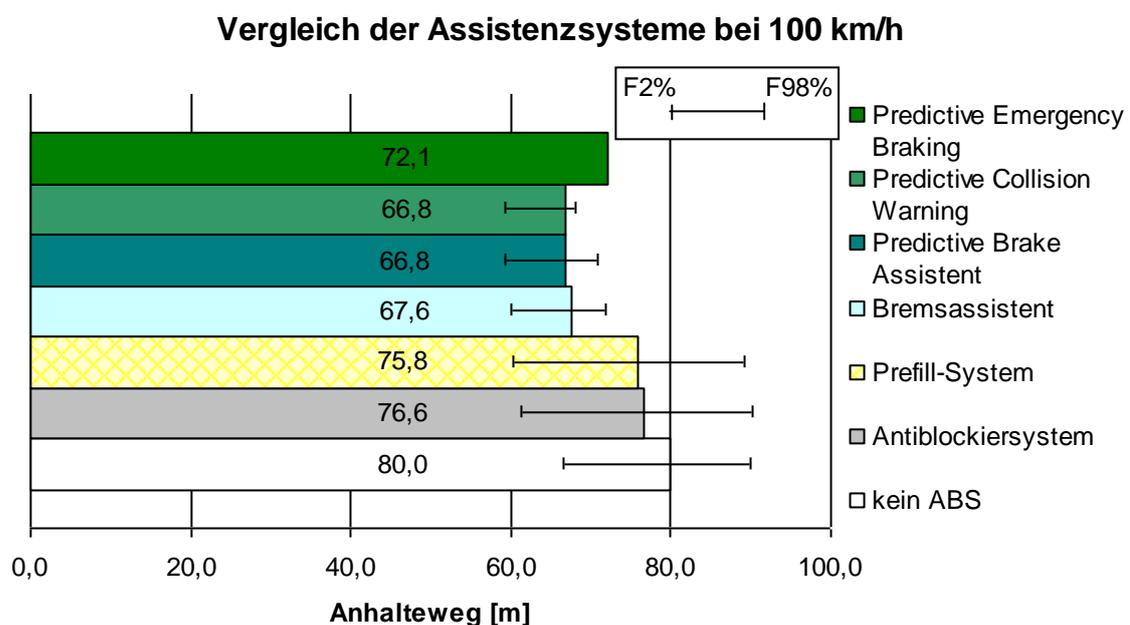


Abb 29 Vergleich Anhalteweg der verschiedenen Assistenzsysteme bei 50 km/h

Abb 30 zeigt nun die Sachlage bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 100km/h. Der um über 9 m bzw. rund 13 % kürzere Anhalteweg des Fahrzeuges mit PBA bewirkt, dass das Fahrzeug mit ABS noch mit knapp über 45 km/h durch das Hindernis fährt, vor dem das Fahrzeug mit PBA zum Stillstand kommt [42]. Bei derart hohen Aufprallgeschwindigkeiten werden bereits 80 % der betroffenen Fußgänger schwer, rund 50 % sogar tödlich verletzt [2] und [7]. Das zusätzliche Potential von 2,8 m früherem Stillstand durch die Warnung bei PCW ist in Abb 30 nur bei Fahrer F98% berücksichtigt. Wie bereits in Kapitel 4.7 erwähnt, sei nochmals darauf hingewiesen, dass bei hohen Geschwindigkeiten es aufgrund von Komfortgründen sein kann, dass der Anhalteweg bei PEB-Fahrzeugen theoretisch sogar etwas länger sein kann als bei Fahrzeugen mit ABS-System. Dies ergibt sich durch die verhältnismäßig niedrige durchschnittliche Fahrzeugverzögerung ( $5,5 \text{ m/s}^2$ ) über eine Zeitdauer von mehr als 3 s „Vollbremszeit“ bei 100 km/h. Jedoch würde ein modernes Fahrzeug, welches ein Hindernis erkannt hat, falls es notwendig ist, die Fahrzeugverzögerung soweit anheben, dass das Fahrzeug rechtzeitig vor dem Hindernis zum Stillstand gelangt bzw. eine Vollverzögerung einleiten, sobald der Fahrer während der bereits begonnenen Fahrzeugverzögerung das Bremspedal betätigt. Bei 100 km/h wird besonders deutlich ersichtlich, dass höher entwickelte Fahrerassistenzsysteme schlechte Fahrer besonders nahe an Durchschnittsfahrer und gute Fahrer heran bringen während bei zum Beispiel ABS-Fahrzeugen schlechte Fahrer um knapp 30 m später zum Stillstand gelangen als gute Fahrer (Anhalteweg F2% im ABS-Fahrzeug 61,2 m, F98% 90,1 m). Schlechte Fahrer sind im ABS-Fahrzeug wesentlich schlechter als durchschnittliche Fahrer.



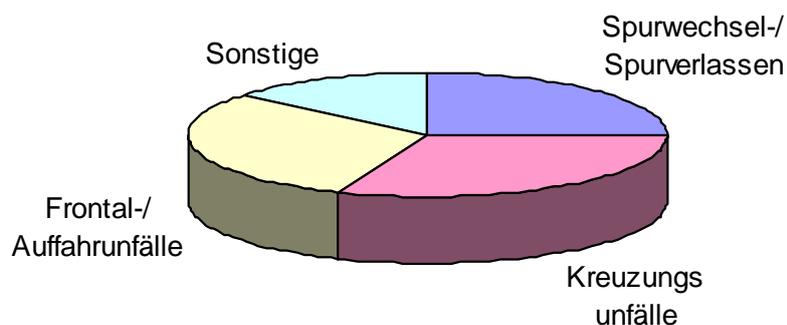
**Abb 30 Vergleich Anhalteweg der verschiedenen Assistenzsysteme bei 100km/h**

Besonders hervorgehoben werden kann die Tatsache, dass ein PEB-Fahrzeug bei 30 km/h bereits zum Stillstand kommen kann, bevor bei einem ABS-Fahrzeug der Anhalteweg beginnt. Sollte ein PEB-Fahrzeug die Gefahr bei 30 km/h bereits 1 s früher erkennen als ein Mensch diese erkennen würde, so würde der Anhalteweg des PEB-Fahrzeuges bereits 8,3 m früher beginnen (siehe Tabelle 29). Da der Anhalteweg des PEB-Fahrzeuges bei 30 km/h 6,9 m lang ist (siehe Abb 28), würde das PEB-Fahrzeug bereits 1,4 m vor Beginn des Anhalteweges für das ABS-Fahrzeug zum Stillstand gelangen.

### Unfallvermeidung:

Wenn in Deutschland, den USA und Japan nur die Unfälle mit Todesfolge berücksichtigt (Inner- & Außerorts) werden, ergibt sich laut einer Statistik der GIDAS Datenbank in all diesen Ländern ein ähnliches Bild. Etwa 23% der Unfälle mit Todesfolge in Deutschland, rund 32% der Unfälle mit Todesfolge in den USA und sogar 35% der Unfälle mit Todesfolge in Japan waren im Jahr 2006 [24] Auffahrunfälle und Frontalzusammenstöße. Ebenso wie in der Statistik der GIDAS Datenbank wird auch in [7] eine Statistik der Bundesanstalt für Straßenwesen präsentiert, die eine ähnliche Aufteilung an Unfällen zeigt. Demnach waren es im Jahre 2004 29% aller Unfälle, welche auf Frontalzusammenstöße (8 %) und Auffahren (21 %) zurückzuführen waren.

(Abb 31)



**Abb 31 Unfälle in Deutschland nach Art [8, eigene Darstellung]**

Mit dem bereits verfügbaren Längsassistenzsystem PEB wären einige dieser Unfälle bzw. Todesopfer verhindert worden, da dieses System in vielen Fällen den Frontalaufprall als Unfallursache verhindern kann bzw. die Aufprallgeschwindigkeit minimieren kann.

Der Nutzen des PEB und des PCW-Systems wurde auch in einer Bosch Analyse der Gidas-Datenbank bewertet. 38% aller Auffahrunfälle könnten alleine nur durch das

PCW-System verhindert werden. Sogar 72% aller Auffahrunfälle mit Personenschaden könnten durch PEB – Systeme verhindert werden. [46]

2008 lebten in den 27 EU-Staaten 501,4 Millionen Menschen [47]. Davon wurden mindestens 38.643 laut [48] im Jahr 2008 bei Verkehrsunfällen getötet. Laut einer EU-Untersuchung würden sich alleine durch den Bremsassistenten pro Jahr 1.100 tödliche Fußgängerunfälle verhindern lassen [49]. Rund 3 % der getöteten Verkehrsteilnehmer könnten laut dieser Studie nur mit dem Bremsassistenten verhindert werden.

In [14] werden Daten des Statistischen Bundesamtes gezeigt, welche ebenso den Nutzen des Bremsassistenten belegen. Der Anteil an Fahrzeugen mit Bremsassistent bei Frontalzusammenstößen liegt 8 % unter jener von Fahrzeugen ohne diesem Assistenzsystem. Ebenso liegt der Anteil bei schwerverletzten und getöteten Fußgängerunfällen von Fahrzeugen mit BA 13 % unter jener von Fahrzeugen ohne Bremsassistent.

Um den Nutzen von Fahrerassistenzsystemen zu bewerten, können verschiedene Ansätze gewählt werden. Wie viele Todesopfer verhindert werden könnten, ist ein Ansatzpunkt. Andererseits kann der Nutzen als „Entgang des volkswirtschaftlichen Schadens“ gesehen werden. Der volkswirtschaftliche Schaden in Europa, der USA und Japan betrug im Jahr 2001 400 Mrd. Euro aufgrund von Unfällen mit Todesfolge. [5] Verhindern Fahrerassistenzsysteme einen gewissen Prozentsatz an Unfällen mit Todesopfern, so könnte man so den Nutzen in Mrd. Euro definieren.

Während passive Sicherheitssysteme im Falle eines Unfalles das Leben der Insassen bestmöglich schützen und damit in den letzten Jahren die Zahl der Unfalltoten trotz erhöhtem Verkehrsaufkommen nicht weiter steigen ließen, werden aktive Sicherheitssysteme dafür sorgen, dass es in Zukunft erst gar nicht zu Unfällen kommen wird. Mögliche zukünftige Entwicklungen, um die Sicherheit im Straßenverkehr weiter zu erhöhen, werden im nächsten Kapitel beleuchtet.

## 6 Zukunftsausblick/weitere Entwicklungsschritte

In Zukunft werden bei immer mehr Fahrzeugen Aufgaben der Fahrzeugführung über immer längere Zeit hinweg von dem Fahrer, der Maschine, übernommen werden. Die Zusammenarbeit Mensch – Maschine (HMI, Human – Maschine – Interfaces) wird in Zukunft immer mehr in Richtung „Entlastung des Fahrers“, hin zur nahezu autonomen Lenkung/Führung der Maschine führen. Um Komfort und Sicherheit weiter zu steigern, müssen die Assistenzsysteme weiterentwickelt werden. [5] Angedacht sind bereits so genannte Brems-Bags für Notbremssituationen unter den Vorderrädern zur Erhöhung der Reibung zwischen Fahrbahn und Reifen. Dadurch wären kurzzeitige Verzögerungswerte von bis zu  $20 \text{ m/s}^2$  zu erreichen [3].

Sehr viel ungenutztes Potential liegt noch im Zusammenspiel Fahrbahn-Reifen-Bremse. Diese Interaktion darf nicht einfach zufällig passieren. Dies wird zukünftig bereits in der Entwicklungsphase simuliert und erforscht werden. In diesem Zusammenhang brachte die Continental AG einen Ausblick mit einem Prototypen eines „30-Meter Autos“ (Bremsweg mit 100 km/h Ausgangsgeschwindigkeit) [12] und [25].

Durch dieses zusätzliche Verständnis des Fahrbahn-Reifen-Bremse-Zusammenspiels können in Zukunft der Bremsweg, und somit auch der Anhalteweg, weiter verkürzt werden. Sowohl die zukünftige Bremse wird „lernfähig“ sein und sich auf die jeweilige Situation (Fahrbahnbeschaffenheit, Temperatur,...) einstellen können, aber auch die Reifen werden als Datenträger oder Datengeber fungieren und durch Verbesserungen im Material zur Verkürzung des Bremsweges ihren Teil beitragen. Nicht zuletzt wird natürlich auch in der Entwicklung und im Aufbau der neuen Fahrbahnen Potential zur Bremswegverkürzung realisiert werden können mit Nebeneffekten von Geräuschminimierung und Rollwiderstandsverminderung. [12]

### 6.1 Autonomes/automatisiertes Fahren

Automatisiertes Fahren ist bereits Realität. Eine Vielzahl von Assistenzsystemen unterstützen den Fahrer und können in den meisten Situationen helfend eingreifen und den Fahrer unterstützen. Für kurze Zeit können sie auch die Aufgabe des Fahrers

übernehmen (Längsführung PEB mit Stop&Go, Seitenführung durch den Spurhalteassistenten). Der Fahrer und die Assistenzsysteme steuern gemeinsam das Fahrzeug. Doch im Gegensatz zum autonomen Fahren bleibt der Fahrer immer Teil des Geschehens und muss immer aufmerksam bei der Aufgabe der Fahrzeugführung bleiben. Autonome Fahrzeuge können selbstständig ihren Weg bestimmen, zurücklegen und auf alle Situationen reagieren. Der Fahrer wird nicht mehr benötigt. Er gibt nur noch den Wunsch des Fahrziels bekannt, danach ist er nicht mehr für die Fahrzeugführung zuständig. Es gibt keinen Fahrer mehr, nur noch Passagiere. [41]

Heutige Assistenzsysteme lassen sich in folgende zwei Gruppen unterteilen [7]:

- Komfortsysteme, mit dem Ziel „Semiautonomes Autofahren“ und in
- Sicherheitssysteme mit dem Ziel „Unfallvermeidung“.

Längsführungssysteme der neuesten Generation (PEB) sind bereits (seit 2010) bei Geschwindigkeiten von 0-250km/h, also auch in urbanen Bereichen und bei hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten, einsatzbereit. Dies ist nur mit einer komplexen Datenfusion von Radar- und Videodaten möglich [7]. Ergänzt man diese Systeme um das ebenfalls videobasierte Querführungssystem „Spurhalteassistent“ (welcher auch schon am Markt erhältlich ist), so ist die scheinbar autonome Fahrzeugführung im Prinzip nicht mehr Zukunftsmusik sondern in gewisser Weise bereits heute möglich. Derzeit ist dies allerdings noch zweckentfremdendes Verwenden von Sicherheitssystemen in Richtung angehendes Komfortsystem. Um dieses Fahren wirklich autonom nennen zu können, fehlt allerdings noch die vom Fahrzeug selber getroffene Entscheidung über die gesamte zu wählende Fahrstrecke. Ein heutiges Serienfahrzeug würde noch nicht selbst die richtige Autobahnabfahrt ansteuern. Daher kann dieses Fahren noch nicht als autonomes Fahren bezeichnet werden, sondern als hochautomatisiertes Fahren. [3] und [41]

Zukünftig autonom fahrende Fahrzeuge wissen über den Fahrweg und noch bevorstehenden Weg stets Bescheid, da ihn das Fahrzeug selbst gewählt hat. Vorausfahrende Fahrzeuge werden ebenso mit den Fahrzeugen interagieren wie Infrastruktur entlang der Strecke. Diese Zusatzinformationen werden dann auch noch zur Wahl der Fahrstrecke und zu weiterem Sicherheitsgewinn für diese autonomen oder teilautonomen Fahrzeuge genutzt werden. Dieses Wissen fehlt heutigen Fahrerassistenzsystemen weitgehend, da der Fahrweg vom Fahrer geplant wird. Doch ist der zukünftige Fahrweg jedoch für Assistenzsysteme oft von fundamentaler

Bedeutung. [50] Rückschlüsse sind mittels Videokamera oder Auswertung anderer Sensorendaten möglich, allerdings noch nicht wirklich umgesetzt. Wählt ein zukünftiges Fahrzeug seinen Fahrweg wirklich selbst, dann sind die Möglichkeiten für Komfort, Umweltschonung und Wirtschaftlichkeit wesentlich erweitert und deren Erweiterungsausmaß und Mehrwert von unglaublichen Ausmaß, aber heute noch nicht abschätzbar.

## 6.2 C2x communication

C2x steht als Abkürzung entweder für Car to Car (C2C, V2V – Vehicle to Vehicle) oder für Car to Server (C2S) Kommunikation. Darunter versteht man die Kommunikation eines Fahrzeuges mit einem oder mehreren anderen Fahrzeugen bzw. mit anderen intelligenten Einrichtungen zur Verkehrsüberwachung.

Welches dieser Konzepte sich in Zukunft durchsetzen wird, ist noch nicht geklärt. Sicher ist, dass bei einer C2S Infrastruktur bereits das erste Fahrzeug am Markt, welches mit dieser Einrichtung kommunizieren kann, einen Vorteil aus seinem Assistenzsystem hat. Im Gegensatz dazu ist es schwierig, Kunden davon zu überzeugen, C2C Systeme mit ihrem Fahrzeug mit zu kaufen, wenn es noch keine anderen Fahrzeuge gibt, welche dieses System ebenfalls verbaut haben. Denn dann hätten diese Kunden noch keinen Nutzen aus ihrem gekauften Assistenzsystem. Auch die Kombination dieser beiden Systeme ist denkbar. Neueste Entwicklungen gehen auch soweit, dass Sensoren der Mobiltelefone dazu verwendet werden, die aktuelle Fußgängerposition an Fahrzeuge weiterzuleiten und Fahrzeuge vor kreuzenden bzw. verdeckten Fußgängern zu warnen. So können Fußgängerunfälle verhindert werden [51].

Als Kreuzungsassistent könnte die C2S Version dienen. Sie könnte zusätzlich für nachkommende Fahrzeuge zur Stauumfahrung Informationen liefern, oder um Auffahrunfälle in unübersichtlichen Kurven zu verhindern, vor den jeweiligen Problemstellen, in denen bereits andere Fahrzeuge verwickelt sind, rechtzeitig nachkommende Fahrzeuge durch Kommunikation warnen. Durch diese frühzeitige Verständigung über voraus liegende Verkehrssituationen können Bremsassistenten früher eingreifen, ACC-Systeme früher einen Bremsvorgang einleiten und somit Unfälle noch besser vermieden werden. Der Anhalteweg könnte zur Nebensache werden.

Informationen über Problemstellen werden den Personenkraftwagen oft früher erreichen, als Menschen dies jemals sehen könnten. Das Potential dieser Systeme ist noch nicht abschätzbar und deren Einführung, welche auch in Kombination mit dem Navigationssystem eingesetzt und verkauft werden können, steht kurz bevor. [41]

## 7 Zusammenfassung

Sicherheitssysteme werden entwickelt, um Leben zu schützen. Im Falle eines Unfalles gibt es dafür passive Sicherheitssysteme, wie zum Beispiel den Sicherheitsgurt, welche die Folgen des Aufpralls verringern sollen. Aktive Sicherheitssysteme helfen bzw. assistieren dem Fahrer bereits vor dem Aufprall, zum Beispiel die Geschwindigkeit bestmöglich abzubauen und sorgen auf diese Weise dafür, dass die Unfallfolgen geringer werden. Die Entwicklung dieser aktiven Fahrerassistenzsysteme hat erst Ende der 1990er Jahre, also fast 30 Jahre nach den passiven Systemen, begonnen und befindet sich somit noch im Anfangsstadium. Daher sind diese Systeme noch nicht weit verbreitet, einem Großteil der Öffentlichkeit nahezu unbekannt und ihr Entwicklungspotential ist noch sehr hoch. Die hier betrachteten aktiven Systeme helfen, den Anhalteweg zu verkürzen.

Der Anhalteweg beginnt mit dem Erkennen einer Gefahr und somit mit der Reaktionsphase. Dieser Phase vorgelagert, nicht dem Anhalteweg anzurechnen, ist die Zeit der Gefahrenerkennung (Blickzuwendungs- und Entscheidungszeit). Die Reaktionsphase dauert zumeist 0,22-0,58 s, selten kann diese Phase auch über 1 s andauern. Der Fahrer beginnt in der Umsetzphase zu handeln und benötigt dafür in der Regel 0,15 bis 0,21 s. Das Fahrzeug braucht aus technischen Gründen allerdings Zeit, um auf den Fahrerwunsch einzugehen. In dieser Ansprechphase vergehen weitere 0,02-0,06 s. In der folgenden Bremsenschwellphase, welche 0,14-0,3 s dauert, wird die Fahrzeugverzögerung immer größer. In der Vollbremsphase beendet das Fahrzeug den Bremsvorgang.

Die (positiven) Auswirkungen der Systeme sind umso größer, je früher diese wirken. Dies erklärt sich durch die hohe Geschwindigkeit zu Beginn des Zyklus. Hier legt das Fahrzeug noch den meisten Weg pro Zeiteinheit zurück. In dieser Arbeit werden Anhaltewege immer für drei verschiedene Geschwindigkeiten, 30 – 50 – 100 km/h, berechnet. Um ein repräsentatives Intervall des Anhalteweges für das breite Spektrum aller Fahrer zu bekommen, wurden zwei Fahrer definiert.

**Fahrer 1 (F1)** ist ein aufmerksamer, guter Fahrer. Nur 2 % der Fahrer sind besser als er.

**Fahrer 2 (F2)** ist ein unaufmerksamer und unerfahrener Fahrzeuglenker, nicht in der Lage, das Bremspedal rasch zu erreichen, es schnell und vollständig durchzutreten.

Über 50 % aller Autofahrer treten im Fall eines Unfalls das Bremspedal nicht bzw. weitere 30 % nur zu schwach durch, um im Notfall eine Notbremsung einzuleiten.

In dieser Arbeit wurden die ABS-Fahrzeuge mit einem zusätzlichen Assistenzsystem mit einem Referenzfahrzeug (ABS-Fahrzeug ohne weiterem Assistenzsystem) verglichen. Als erstes zusätzliches Assistenzsystem wurde der Bremsassistent bewertet. Da der Bremsassistent bei Erfüllung der Auslösekriterien bei Betätigung des Bremspedals den Bremsdruck schnell auf den optimalen Bremsdruck im optimalen Schlupfbereich erhöht, erzielt auch ein schlechter Fahrer (Fahrer F2) Schwellwerte von guten Fahrern (Fahrer F1). Doch auch die Werte eines guten Fahrers werden um 1-3 % verbessert, da durch den Bremsassistenten der Gradient des Bremsdruckes erhöht wird. Das Verkürzungspotential des Bremsassistenten auf den Anhalteweg beträgt für Fahrer, welche ohne Assistenzsystem nur eine Teilbremsung einleiten können, zwischen 15 % bei 30 km/h und bis zu 21 % bei 100 km/h gegenüber einem ABS-Fahrzeug ohne Bremsassistenten. Dieses Fahrerassistenzsystem kommt besonders schlechten Fahrern auf trockener oder nasser Fahrbahn zugute. Es bringt diese näher an die Werte der guten Fahrer heran. Laut einer Studie der EU könnten durch dieses Assistenzsystem rund 3 % der Verkehrstoten pro Jahr in der EU27 verhindert werden.

Weiters wurde die Prefill-Funktion, welche die Bremsleitungen vorbefüllt und die Bremsbeläge bereits an die Bremsscheibe anlegt, bewertet. Durch dieses System wird die Ansprechzeit des Systems um bis zu 0,03 s verkürzt und auf ein Minimum reduziert. Das Verkürzungspotential dieses Systems auf den Anhalteweg liegt abhängig von der Geschwindigkeit zwischen 0,3-1 m. Dies entspricht einem Verkürzungspotential von maximal 3 % Anhalteweg. Diese technische Verbesserung kommt allen Fahrern gleichermaßen zugute.

Abstandsregelungssysteme werden in dieser Arbeit als ACC bezeichnet. ACC-Systeme sind primär auf Komfort ausgelegt. Sie entlasten den Fahrer. Seit 2005 sind sie Bestandteil des „Predictive Safety Systems“ und wurden zum Sicherheitssystem erweitert. Je nach Erweiterung können diese Systeme nur warnen, autonome

Teilbremsungen oder sogar selbstständige Notbremsungen bis zum Stillstand einleiten. Ein System, welches nur eine Warnung abgibt, kommt besonders den gerade unaufmerksamen Lenkern zu Hilfe. Aufmerksame Fahrer erkennen von selbst rechtzeitig die Gefahrensituation und greifen früh genug in die Fahrsituation ein. In Summe kann dieses System 0,3 s - 0,35 s ungebremste Fahrt verhindern. [25] Davon entfallen 0,03 s auf die Prefill Funktion. 0,2 s werden durch den Bremsassistent eingespart. 0,1 s können der vorgezogenen Gefahrenerkennung zugeordnet werden. Der Fahrer wird in der Gefahrenerkennungszeit durch das System gewarnt und kann um diese 0,1 s früher reagieren. Dadurch beginnt die Anhaltezeit und somit der Anhalteweg früher. Der Anhalteweg wird nicht zusätzlich verkürzt, aber der Bremsvorgang findet um 0,1 s früher statt. Dieses zusätzliche Potential bewirkt, dass bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h das Fahrzeug um 0,8 m früher zum Stillstand kommt aufgrund der Verschiebung der Anhaltezeit um 0,1 s bei unverändertem Anhalteweg. Es wird gezeigt, dass bei einer durch die Warnung um 0,1 s früheren Reaktion, das Fahrzeug um rund 10 % früher zum Stillstand kommt. In Summe bewirkt das komplette System für gute Fahrer bis zu 5 %, für schlechte Fahrer sogar rund 25 % früheren Fahrzeugstillstand als mit dem ABS-Fahrzeug. Ist der Anhalteweg von guten Fahrern im ABS-Fahrzeug im Vergleich zu schlechteren Fahrern noch um knapp 40 % kürzer, so beträgt der Unterschied zwischen guten und schlechten Fahrern im Fahrzeug mit Predictive Collision Warning (PCW) nur noch rund 25 %.

Laut einer Bosch Analyse der Gidas-Datenbank könnten 38 % aller Auffahrunfälle alleine durch das PCW-System verhindert werden [46]. Die Weiterentwicklung dieser PCW-Fahrzeuge, welche den Fahrer vor einer Kollision warnen, sind Predictiv Emergency Braking-Fahrzeuge, die eigenständig das Bremsmanöver einleiten können. Zuzolge der Bosch Analyse könnten sogar 72 % aller Auffahrunfälle mit Personenschaden durch solche Notbremssysteme verhindert werden [46]. Bei diesen Systemen erreichen alle Fahrer dieselben Anhaltewege, falls das Fahrzeug eine Notbremssituation erkennt und die automatische Notbremsung einleitet. Bei der Berechnung dieser PEB-Systeme wurde nachgewiesen, dass diese Systeme der neuesten ACC-Generation allen Fahrern auf allen Fahrbahnverhältnissen eine wesentliche Hilfe sind und erheblich zur Verbesserung der Fahrsicherheit auf den Straßen sorgen. Auch Fahrerassistenzsysteme, welche in der Lage sind, eine Notbremsung durchzuführen, können den Fahrer nicht komplett aus der Pflicht nehmen. Besonders auf stehende Hindernisse wird von manchen dieser Systeme noch keine

Rücksicht genommen. Somit sind einparkende Fahrzeuge ein sehr großer Risikofaktor. Auf unübersichtlichen Kreuzungen und bei Querverkehr wird die Fahrregelung eines Menschen noch lange besser sein als jene der Maschine - trotz der zusätzlichen Assistenzsysteme wie Fußgängererkennung, Verkehrszeichenerkennung C2X-Communication.

Auch ist nicht geklärt, ob dieses System einige Chauffeure nicht doch dazu verleitet, unaufmerksamer zu fahren oder mehr Risiko einzugehen, als ohne technische Hilfe. In solchen Fällen ist dieses System dann nicht in der Lage, den optimalen Anhalteweg zu erreichen, da ein Übersteuern eines jeden Assistenzsystems durch den Fahrer gesetzlich immer möglich sein muss.

Es muss ebenfalls erwähnt werden, dass heutige Systeme noch sehr unterschiedlich agieren. Die meisten Systeme leiten eine Vollverzögerung erst dann ein, wenn ein Aufprall bereits unumgänglich ist. Aber auch das bedeutet bereits einen sehr großen Nutzen für alle Verkehrsteilnehmer. Die Schwere der Verletzungen und der Unfallfolgen wird dadurch erheblich gemindert.

Die Zusammenarbeit Mensch – Maschine (HMI, Human– Machine– Interfaces) wird in Zukunft immer mehr in Richtung „Entlastung des Fahrers“, hin zur nahezu autonomen Lenkung/Führung der Maschine, führen. Um Komfort und Sicherheit weiter zu steigern, müssen die Assistenzsysteme weiterentwickelt werden. Die bereits erwähnte C2X Abkürzung steht entweder für Car to Car (C2C, V2V– Vehicle to Vehicle) oder für Car to Server (C2S) Kommunikation. Darunter versteht man die Kommunikation eines Fahrzeuges mit einem oder mehreren anderen Fahrzeugen bzw. mit anderen intelligenten Einrichtungen zur Verkehrsüberwachung. Welches dieser Konzepte sich in Zukunft durchsetzen wird, ist noch nicht restlos geklärt. Auch die Kommunikation des Fahrzeuges mit Mobiltelefonen der Fußgänger ist in der Zukunft eine Möglichkeit, um den Fußgängerschutz zu erhöhen und Notbremsungen des Fahrzeuges einzuleiten. Es steht fest, dass diese Systeme die Möglichkeiten heutiger Assistenzsysteme weit übertreffen. Die Vernetzung der verschiedenen Assistenzsysteme und der Fahrzeuge mit den Assistenzsystemen hat positive Auswirkungen für die Umwelt, da die Topographie und das Verkehrsaufkommen der geplanten Route bei der Routenwahl und Fahrgeschwindigkeitwahl mitberücksichtigt werden kann. Ebenso werden das nahezu autonome Fahren und die Verkehrssicherheit durch die Vernetzung der zukünftigen und bereits verfügbaren Assistenzsysteme positiv beeinflusst.

Ziel dieser Arbeit ist die Analyse der potentiellen Anhaltewegverkürzungen der einzelnen Fahrerassistenzsysteme, im Vergleich zu einem konventionellen ABS-Fahrzeug, herauszuarbeiten. Dafür ist es notwendig, die Funktion der einzelnen Systeme auszuarbeiten um deren Auswirkungen auf die einzelnen Phasen des Anhalteweges zuordnen zu können. Durch diese Zuordnung wird es möglich, das Potential der jeweiligen Assistenzsysteme in den einzelnen Phasen des Anhalteweges zu ermitteln und daraus das Gesamtpotential dieser Assistenzsysteme zu erörtern und mit dem Anhalteweg eines konventionellen ABS-Fahrzeuges zu vergleichen.

Wie diese Arbeit zeigt, hat der Bremsassistent mit 15-20 % Anhaltewegverkürzung gegenüber einem ABS-Fahrzeug großes Potential. Dieses System ist daher bereits seit 2009 für neue PKW verpflichtend. Auch das Prefill-System sollte, aufgrund der Tatsache, dass es jedem Fahrer bei jeder Fahrbahnbeschaffenheit hilft, in jedem Fahrzeug eingebaut sein. Je nach Fahrzeuggeschwindigkeit wird der Anhalteweg bis zu 3 % verkürzt. Werden diese Systeme zusammengefasst und noch um eine Warnung ergänzt, so profitieren auch unaufmerksame Personen von den beiden Systemen und der Anhalteweg wird um bis zu 25 % im Vergleich zum ABS-Fahrzeug verkürzt. Kommen schlechte Fahrer im ABS-Fahrzeug bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 50 km/h erst 5,1 m später zum Stillstand als gute Fahrer, so beträgt diese Differenz in einem PBA-Fahrzeug nur noch knapp 50 % davon. Ebenso wird aufgezeigt, dass zukünftig der Anhaltewegbeginn immer öfters vom Fahrzeug mitbestimmt wird und der Fahrer noch intensiver unterstützt wird, um mit dem Fahrzeug früher zum Stillstand zu gelangen. Predictive Emergency Braking-Systeme (PEB) können bereits selbstständig einen Bremsvorgang einleiten.

Das Ziel in naher Zukunft muss sein, dass alle Fahrzeuge ein System an Bord haben, das selbstständig eine Notbremsung einleiten kann. Ebenso sollte in jedem Fahrzeug die Möglichkeit vorbereitet werden, seine aktuelle Position und seine aktuelle Geschwindigkeit an andere Fahrzeuge oder Einrichtungen der Verkehrsüberwachung zu übermitteln. Eine Einigung der Fahrzeughersteller auf die Norm der Datenübertragung ist dafür allerdings im Vorfeld notwendig.

## Literaturverzeichnis

- [1] TopTens, Top Ten Fastest 100 m Sprinters, <http://www.toptens.com/sports-track-sprinters/> , aufgerufen am Di, 16.4.2013, 17:52 Uhr
- [2] D. Schwab, M. Strasser, et al., Fußverkehr in Zahlen, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie - BMVIT, 1. Auflage, Wien, 2012
- [3] ÖAMTC Expertenforum 2011 "Fahrer-Assistenzsysteme - Gegenwart und Zukunft", TU- Wien am 30.11.2011
- [4] B. Heißing, m. Ersoy, Gies S, Fahrwerkhandbuch, Springer DE, 978-3-658-01992-1, Berlin, 2013
- [5] Robert Bosch GmbH, Sicherheits- und Komfortsysteme, Vieweg+Teubner Verlag, 978-3-528-13875-2, Wiesbaden, 2004
- [6] GIDAS (German In Depth Accident Study) Datenbank, "Unfälle mit Todesfolge im Jahr 2006, Deutschland, USA, Japan"
- [7] H. Braess, U. Seiffert, Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Vieweg Verlag, 978-3834802224, Wiesbaden, 2007
- [8] Bürger, Pfeffer, Rauchecker, Sacher, Wielke, Handbuch des Verkehrsunfalls, 978-3-214-12904-0, Manz-Verlag, 2008,
- [9] Manfred Mitschke, Wallentowitz Henning, Dynamik der Kraftfahrzeuge, Springer, 978-3-540-42011-8, Berlin, Heidelberg, 2004
- [10] Manfred Burckhardt, Jörnßen Reimpell, Fahrwerktechnik: Bremsdynamik und Pkw-Bremsanlagen, Vogel, 978-3-802-30184-1, Würzburg, 1991
- [11] Adam Zomotor, Jörnßen Reimpell, Fahrwerktechnik: Fahrverhalten, Vogel, 978-3-802-30774-4, Würzburg, 1987
- [12] B. Breuer, K. Bill, Bremsenhandbuch, 1. Auflage, vieweg Verlag, entstand mit Unterstützung der Continental Teves AG, 978-3528039523, Wiesbaden, 2003
- [13] Automobiltechnische Zeitschrift, März 1983
- [14] Hermann Winner, Stephan Hakuli, Gabriele Wolf, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Springer, Berlin, 978-3-834-80287-3, Heidelberg, 2009,
- [15] H. Bauer, Fahrsicherheitssysteme, Vieweg, 978-3-528-03875-5, Wiesbaden, 1998
- [16] TU Dresden, Tagung Juni 2007 in Berlin, [http://tudresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/vkw/iwv/kom/alcatel\\_sel/veranstaltungen/tagung\\_berlin\\_juni\\_2007/Knoll\\_Alcatel\\_Berlin\\_260607.pdf](http://tudresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/iwv/kom/alcatel_sel/veranstaltungen/tagung_berlin_juni_2007/Knoll_Alcatel_Berlin_260607.pdf), aufgerufen am Sa, 19.2.2011, 12:47 Uhr

- [17] Heinz Burg, Andreas Moser, Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion, Springer, 978-3-834-80546-1, Berlin, Heidelberg, 2009,
- [18] Manfred Mitschke, Multivariate Dynamik der Kraftfahrzeuge Band A: Antrieb und Bremsung, Springer, 3-540-56164-1, Berlin, 1995
- [19] Andreas Stietzel, Anhalteweg berechnen, <http://www.kfz.de/sicherheit/anhalteweg/> , aufgerufen am Fr 27.1.2012, 14:34 Uhr
- [20] Jens Petersen, Listen und Tabellen, <http://www.unfallaufnahme.info/uebersichten-listen-und-tabellen/geschwindigkeiten-und-bremswege/index.html> , aufgerufen am Fr 27.1.2012, 13:34 Uhr
- [21] Ulrike Borst, ESP-Pflicht, <http://www.kfz-auskunft.de/news/5438.html> , aufgerufen am Fr, 18.2.2011, um 23:12 Uhr
- [22] eur-http, [http://eur-http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/638/pdf/\\_6\\_Breitling.pdf](http://eur-http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/638/pdf/_6_Breitling.pdf) , aufgerufen am Fr, 7.2.2014, 14:00 Uhr
- [23] lex.europa.eu, [lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009R0078:de:NOT](http://lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009R0078:de:NOT) , aufgerufen am Fr, 7.2.2014, 13:40 Uhr
- [24] Robert Bosch GmbH, Bosch Media Service, [http://www.bosch-presse.de/presseforum/presseInformation.htm?tk\\_id=197&type=informations](http://www.bosch-presse.de/presseforum/presseInformation.htm?tk_id=197&type=informations) Robert Bosch GmbH (2005-2009). Pressemitteilungen – Geschäftsbereich Chassis Systems Control, im Jänner 2010
- [25] Continental Reifen Deutschland GmbH, [http://www.continental-reifen.de/www/download/reifen\\_de\\_de/themen/hidden/reifengeschichten/pressearchive/2001conti/download/works\\_2\\_de.doc](http://www.continental-reifen.de/www/download/reifen_de_de/themen/hidden/reifengeschichten/pressearchive/2001conti/download/works_2_de.doc) , aufgerufen am So, 12.12.2010, 21:10 Uhr
- [26] Robert Bosch GmbH, Geschäftsbereich Kraftfahrzeugausrüstung, <http://aa.bosch.de/aa/de/Berufsschulinfo/media/hydra2b-rgb.pdf>
- [27] Birgit Pillkahn, Der Bremsassistent, <http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-657486-49-825904-1-0-0-0-0-11701-614318-0-1-0-0-0-0.html> , aufgerufen am Fr, 7.2.2014, 15:45 Uhr
- [28] Robert Bosch GmbH, Chassis Systems Brake, [http://www.bosch-automotivetechology.com/media/db\\_application/pdf\\_2/de/sicherundgefhlvollbremsenmitbremskraftverstrkernvonbosch.pdf](http://www.bosch-automotivetechology.com/media/db_application/pdf_2/de/sicherundgefhlvollbremsenmitbremskraftverstrkernvonbosch.pdf) , aufgerufen am Di, 15.7.2010, 22:30 Uhr

- [29] Klaus Brieter, Der Bremsassistent: ADAC Test,  
[http://www.adac.de/mmm/pdf/tuz\\_fas\\_iftk\\_bremsassistent\\_23946\\_51202.pdf](http://www.adac.de/mmm/pdf/tuz_fas_iftk_bremsassistent_23946_51202.pdf),  
aufgerufen am So, 23.2.2012, 11:25 Uhr
- [30] Christian Lechner, Sabine Volk, VolkS-Medien & Marketing  
<http://www.autosieger.de/article12168.html> , aufgerufen am So, 23.2.2012, 11:05  
Uhr
- [31] Ansgar Heise, Heise Zeitschriften Verlag & Co. KG,  
<http://www.heise.de/autos/artikel/Preocrash-Sensor-soll-Unfaelle-im-Stadtverkehr-verhindern-452734.html> , aufgerufen am So, 12.12.2010, 21:21Uhr
- [32] bester-beifahrer.de, <http://www.bester-beifahrer.de/glossar.html> , aufgerufen am  
Di, 15.7.2010, 22:58 Uhr
- [33] Michael Schoetter, Robert Bosch GmbH, <http://it-material.de/2009/05/weniger-unflle-mit-dem-predictive-brake-assist-von-bosch/> , aufgerufen am Sa, 19.2.2011  
um 17:49 Uhr
- [34] Bosch Krafftfahrzeug Technik, Robert Bosch GmbH, <http://rb-kwin.bosch.com/at/de/sicherheitkomfort/fahrsicherheit/predictivesafetysystemspss/pba.html> , aufgerufen am Sa, 19.2.2011 um 17:56 Uhr
- [35] Volker Breid, Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG, <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/notbremsassistent-der-assistent-bremst-am-schnellsten-1784310.html> , aufgerufen am So, 23.2.2012, 11:38 Uhr
- [36] Ralf Bogenrieder, <http://blog.daimler.de/2011/10/18/mercedes-sicherheit-presafe-ab-wann-ist-gefahr-eigentlich-gefaehrlich> , aufgerufen am So, 23.2.2012, 11:26 Uhr
- [37] Pressemitteilung Daimler, Tec Day Safety 2009, Pre-Safe Bremse
- [38] Volker Nilgens, <http://nilgens.com/>, aufgerufen am Di, 13.7.2010, 12:46 Uhr
- [39] Berechnung Bremsweg und Anhalteweg, <http://www.internetratgeber-recht.de/Verkehrsrecht/frameset.htm?http://www.internetratgeber-recht.de/Verkehrsrecht/Rechner/rechner-bremsweg.htm>, aufgerufen am Do  
26.1.2012, 12:31 Uhr
- [40] bense-jessen.de, <http://www.bense-jessen.de/Infos/Page10430/page10430.html>, Fr  
27.1.2012, 13:37
- [41] Klingender, Stolzmann, Waldmann, TÜV Süd, 4. Tagung "Sicherheit durch Fahrerassistenz" 15.-16.4.2010, München
- [42] Alain Kronshagen, Centre de Formation pour Conducteurs,  
[http://www.msr.lu/mmp/online/website/content/fiches\\_pedagogiques/physique/104/index\\_FR.html](http://www.msr.lu/mmp/online/website/content/fiches_pedagogiques/physique/104/index_FR.html) , aufgerufen am Mi, 19.2.2014, 21:15 Uhr

- [43] Oliver Schmerold, Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touringclub  
<http://www.oeamtc.at/portal/die-testergebnisse-im-detail+2500+1583414>,  
aufgerufen am Fr, 19.2.2014, 20:15 Uhr
- [44] Hendrik Dieckmann, Autobild, <http://www.autobild.de/artikel/der-grosse-licht-test-2006-58035.html> , aufgerufen am Mi, 19.2.2014, 20:30 Uhr
- [45] Audi AG, Betriebsanleitung Audi A8, Redaktionsschluss 5.5.2010
- [46] Michael Meyer, Robert Bosch GmbH, Chassis System Control  
<http://www.oeamtc.at/media.php?id=%2C%2C%2C%2CzmlsZW5hbWU9ZG93bmxvYWQIM0QIMkYyMDEyLjA5LjI3JTJGMTM0ODc1NTQwNTc4Ni5wZGYmcm49Qm9zY2gIMjAtJTlwTWV5ZXIucGRm> , aufgerufen am Mi, 19.2.2014, 20:35 Uhr
- [47] Friedrich Schwandt, Statista GmbH, Das Statistik-Portal  
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/14035/umfrage/europaeische-union-bevoelkerung-einwohner/> , aufgerufen am Mi, 19.2.2014, 18:30 Uhr
- [48] EU Commission, DG Energy and Transport – CARE Database  
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdtr420> , aufgerufen am Mi, 19.2.2014, 19:07 Uhr
- [49] Thomas Kuther, Neue EU-Verordnung für verbesserten Fußgängerschutz,  
<http://www.elektronikpraxis.vogel.de/embedded-computing/articles/240547/> ,  
aufgerufen am Mi, 19.2.2014, 21:10 Uhr
- [50] VDI Wissensforum, Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Verlag, 978-3180920481, Düsseldorf, 2008
- [51] Harald Frater, Das Handy als Lebensretter, <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-17118-2014-01-22.html> , aufgerufen am Mi, 19.2.2014, 20:00 Uhr

## Anhang

### Abkürzungsverzeichnis

Hier ein Auszug der wichtigsten Abkürzungen zum Thema Fahrerassistenzsysteme (~120 Abkürzungen). Bei Unklarheiten bezüglich Abkürzungen im Bereich Kfz– Technik eignen sich Webseiten wie z.B. <http://mitglied.multimania.de/Autoelektrik/Zha.htm> zur weiteren Recherche (über 3200 Abkürzungen). Alle Abkürzungen bei denen nicht extra auf ihre Quelle hingewiesen wird, stammen von [32].

**AAGR** Adaptive Abstands- und Geschwindigkeitsregelung

Siehe ACC Quelle: [www.kfztech.de](http://www.kfztech.de) Rubrik: Geschwindigkeitsregler

**ANB** Active Brake Assistent = ANB = Automatische Notbremsung

**ABA** ist eine Erweiterung des Abstandsregeltempomats (Adaptive Cruise Control, abgekürzt ACC)

**ABS** Anti-Blockier-System (Anti-Lock Braking System)

Das Anti-Blockier-System soll beim Bremsen übergroßen Schlupf zwischen Reifen und Fahrbahn vermeiden und damit die Lenkfähigkeit und die Seitenführung erhalten.

Quelle: [www.bosch.de](http://www.bosch.de) Rubrik: Fahrwerk, Dämpfer, Bereifung

**ACC** Adaptive Cruise Control, Geschwindigkeitsregelanlage

**ACC-Stop&Go** Stauassistent, Adaptive Cruise Control mit erweitertem Geschwindigkeitsbereich bis zum Stillstand

**ACDIS** Aktive Abstandsführung, von Continental zur abstandabhängigen Geschwindigkeitsregelung und zur Einhaltung vorgegebener oder frei gewählter Tempolimits.

**ACN** Automatic Collision Notification

Bei einem Unfall wird über die Kollisions-Sensorik Alarm und auch Standort per Telematik an Notfallzentrale weitergeleitet. [32 von [www.kfztech.de](http://www.kfztech.de)]

**ADAS** Fahrerassistenzsysteme (Eng.: Advanced Driver Assistance Systems (ADAS))

**ADB** Automatic Differential Brake

Von BMW, erhöht die Traktion z.B. bei Fahrten auf Schnee, hat Sperrdifferential-Wirkung

**AEA** Einparkassistent, Quelle: Hella

**AFL** Adaptive Forward Lighting =Adaptives Kurvenlicht [32 von www.opel.de]

**AHC** Ad-Hoc Communication

Die direkte wireless Verbindung vom Fahrzeug zu einem Verkehrsschild, zu Stadtportalen oder zu einem anderen Fahrzeug nennt man Ad-Hoc Communication. Dieser quasi online Informationsaustausch kann eine detaillierte realtime Übersicht zum aktuellen Verkehrsgeschehen geben.

**AHL** Adaptive Head Lights - Kurvenlicht. [32 von VDI-Berichte Nr. 1789, 2003]

**ALC** Adaptive Light Control für BMW. [32 von BMW]

**ANB** Automatische Not Bremse

**APS** Acoustic Parking System

Ein Warnton signalisiert dem Fahrer welcher Abstand zum Hindernis verbleibt.

**ARP** Active Rollover Prevention, ist eine Zusatzfunktion im ESP-System zum Schutz vor Überschlägen durch gezielte Brems Eingriffe.

**ART** Abstandsregeltempomat

**ASC** Automatische Stabilitäts Control (Anti-Skid Control System), ähnlich ASR.

**ASL** Automatic speed limiter, Geschwindigkeitsbegrenzer, ESP- Zusatzfunktion.

**ASR** Antriebsschlupfregelung, ASR verhindert das Durchdrehen der Räder

**ASS** Anti-Schlupfsystem, verhindern ein Durchdrehen der Antriebsräder.

**ATTS** Active Torque Transfer System

**BA** Bremsassistent, auch als (x)BA bezeichnet (damit sind alle technischen Varianten des BA gemeint)

**BAS** Bremsassistent, Erhöht den Bremsdruck im Fall einer Notbremsung auf ein Maximum.

**BAS Plus** Bremsassistent, Markennahme von Mercedes,

Weiterentwicklung vom BAS, welcher im Notfall nicht nur den Bremsdruck erhöht sondern auch den Fahrer vor einer drohenden Kollision warnt.

**BFD** Brake Force Display, Das Brake Force Display ist eine dynamische Bremsstärkenanzeige, die abhängig von der tatsächlichen Fahrzeugverzögerung Fläche und Lichtstärke der Bremsleuchten verändert.

**BSD** Blind Spot Detection, Überwachung des Toten Winkels von Fahrzeugspiegeln z.B. bei einem Spurwechsel

**C2C** Car to Car, siehe auch V2V

**C2X** Car to Car oder Car to Server

**CAS** Collision Avoidance System, Kollisionsvermeidungssystem bei Opel

**CBC** Cornering Brake Control - Kurvenbremsmanagement

**CMBS** Collision Mitigation Brake System, ein Kollisionswarn- und Schutzsystem des Automobilherstellers Honda (3 Stufen)

**CRC** Cruise Control, Geschwindigkeitsregler

**CST** Controllo Stabilità e Trazione von Ferrari, siehe ESP

**CW** Collision Warning

**DAC** Downhill Assist Control

**DBC** Dynamic Brake Control

**DCS** Dynamic Stability Control, BMW, Jaguar, Land Rover, Mazda, Mini, siehe ESP

**DDDS** driver drowsiness detection = Fahrerzustandserkennung

**DDS** Deflation Detection System

**Distronic** Aktive Geschwindigkeitsregelung, Kunstwort aus distance (Abstand) und electronic: Hält das Auto per Radar und Geschwindigkeitsregelung (Tempomat) im richtigen Sicherheitsabstand zum Vordermann.

**DRC** Dynamic Ride Control, Dämpfersystem, das die Nick- und Wankbewegungen regelt.

**DSC** Dynamic Stability Control, siehe ESP

**DSP** Dynamisches Schaltprogramm

**DSR** Downhill Speed Regulation

**DSR** Dynamic Steering Response

**DSTC** Dynamic Stability and Traction Control, siehe ESP

**DTC** Dynamic Traction Control

**E-Call** Emergency Call, System, das nach einem Unfall einen Notruf automatisch durchführt

**EB, EBA** Electronic Brake Assistant von Continental

**EBC** Electronic Brakeforce Control, elektronische Bremskraftverteilung

**EBM** Elektronisches Brems Management, Steuergerät das alle Bremsfunktionen von ABS, ASC+T, CBC und DSC regelt.

**EBP** Electronic Brake Prefill

**EBV** Elektronische Bremskraftverteilung

**EDC** Engine Drag Control = MSR = Motor-Schleppmoment-Regelung

Die Motor-Schleppmoment-Regelung (Abkürzung: MSR) verhindert ein Rutschen der Antriebsräder auf glatter Fahrbahn, wenn der Fahrer abrupt vom Gas geht oder zu schnell herunterschaltet. Die MSR ist Bestandteil des ESP und des ASR.

**EDL** Electronic Differential Lock, siehe EDS

**EDS** Elektronische Differentialsperre

**EMF** Elektromechanische Feststellbremse

**ERS** Elektronisches Rückfahr System

**ESC** Electronic Stability Control

**ESP** Elektronisches Stabilitäts-Programm

Das Elektronische Stabilitäts-Programm erkennt in Millisekunden eine drohende Instabilität des Fahrzeugs. Mit einem aktiven Eingriff in den Antriebsstrang oder in das Bremssystem beeinflusst ESP den Gierwinkel des Fahrzeuges. Zum ESP gehören bspw.: EBV, CBC, ASR, ABS, EDS, MSR und HBA. Bei den verschiedenen Automobilherstellern gibt es zahlreiche unterschiedliche Benennungen, da ESP ein markenrechtlich geschützter Begriff der Daimler-AG ist:

CST (Controllo Stabilità e Trazione) Ferrari

DCS (Dynamic Stability Control) BMW, Jaguar, Land Rover, Mazda, Mini

DSTC (Dynamic Stability & Traction Control) Volvo

ESP (Elektronisches Stabilitäts Programm) Daimler-AG

MASC (Mitsubishi Active Stability Control System) Mitsubishi ESP 2

MSP (Maserati Stability Control Programme) Maserati

PSM (Porsche Stability Management) Porsche

VDC (Vehicle Dynamic Control) Alfa Romeo, Subaru

VSA (Vehicle Stability Assist) Honda

VSC (Vehicle Stability Control) Daihatsu, Lexus, Toyota)

**ESP 2** Elektronisches Stabilitäts -Programm 2, Das System nutzt aktive Lenkeingriffe

**ESP Plus** Elektronisches Stabilitäts-Programm

**EVA** Emergency Valve Assistent, siehe MBA und HBA

**FAS** Fahrerassistenzsystem

Überbegriff für Komponenten, die den Fahrer unterstützen.

Fahrerassistenzsysteme (Eng.: Advanced Driver Assistance Systems (ADAS))

**FDC** Fahr Dynamic Control

**FIR** Ferninfrarot Technologie, Die Ferninfrarot Technologie ermöglicht, dass Menschen, Tiere und Objekte bereits sehr früh mit Hilfe einer Wärmebild-Kamera bei Dunkelheit erkannt werden können.

**GMR** Gier Moment Regelung, ein Teil des ESP - System

**GPS** Global Positioning System

**GRA** Geschwindigkeitsregelanlage, Cruise Control

auch Tempomat (Markenname der Daimler AG) genannt, ist eine Vorrichtung in Kraftfahrzeugen, die die Kraftstoffzufuhr automatisch so regelt, dass das Fahrzeug eine vom Fahrer vorgegebene Geschwindigkeit nach Möglichkeit einhält.

**HBA** Hydraulische Bremsassistent

Der Hydraulische Bremsassistent ermöglicht den optimalen Druckanstieg bei Panikbremsungen in den Bremsleitungen. Ebenso gibt es Pneumatisch mechanische (EVA, MBA) und Pneumatisch elektronische (PBA) Ausführungen dieses Assistenzsystems.

**HDC** Hill Desent Control, hilft, wenn es steil Bergab geht, das Fahrzeug besser zu kontrollieren. Dies ist eine Zusatzfunktion von ESP

**HHC** Hill Hold Control, unter einer Berganfahrhilfe oder einem Berganfahrassistent (engl. Hill Holder, Hill Hold Control, Hill Start Assist oder Hill Start Aid) versteht man eine automatisierte Unterstützung für Kraftfahrzeuge beim Anfahren an Steigungen, durch die ein Zurückrollen verhindert wird. Dabei muss durch den Fahrer selbst kein Betätigen und Lösen der Betriebs- oder Feststellbremsanlage des Fahrzeuges erfolgen.

**HUD** Head-Up-Display, ein Anzeigefeld in Blickrichtung, bei dem die für den Fahrer wichtigen Informationen in sein Sichtfeld projiziert werden.

**IBA** Intelligent Brake Assistant, aus der Differenzgeschwindigkeit zwischen einem vorherfahrenden Fahrzeug (oder einem sich vor dem Fahrzeug befindenden Hindernis) wird laufend der in der Bremsanlage aufzubauende Druck berechnet, welcher erforderlich ist, um im Notfall das Fahrzeug vor einem Aufprall zu bewahren. Aktiviert wird der vorkonditionierte Bremsdruck aber erst dann, wenn der Fahrer das Bremspedal betätigt.

**IDS** Interactive Driving System**ISA** Intelligent Speed Adaption

**LCA** Lane Change Assistant, der Fahrer wird durch Vibration im Lenkrad gewarnt, falls er eine Lenkbewegung durchführen will, die zu einer Gefahrensituation führen würde.

**LDW** Lane Departure Warning, eine Funktion die den Fahrer vor unbeabsichtigtem Verlassen der eigenen Fahrspur warnt.

**LKA** Lane Keeping Assistant, der Spurassistent gibt beim Abweichen von der Fahrspur ohne Blinkzeichen entweder ein akustisches oder optisches Signal an den Fahrer oder greift automatisch korrigierend ein (Steer-by-wire).

**MASC** Mitsubishi Active Stability Control System, Mitsubishi ESP 2, siehe ESP

**MBA** Mechanischer Bremsassistent, siehe EVA und HBA

**MMI** Mensch Maschine Interface, haptische, akustische oder visuelle Schnittstelle einer Funktion, um den Fahrer zu informieren oder zu warnen. Engl. auch als HMI (Human Machine Interface) bezeichnet.

**MSP** Maserati Stability Control Programme, von Maserati, siehe ESP

**MSR** Motor-Schleppmoment-Regelung, siehe EDC

**NIR** Nahinfrarot Technologie, die Nahinfrarot Technologie macht mit Hilfe einer Wärmebild-Kamera Menschen, Tiere und Objekte bei entsprechender Nähe in der Nacht erkennbar

**NV, NVA** Night Vision, Night View Assistant, Technologie zur Umgebungsdarstellung bei Dunkelheit, (Nachtsichtgeräte)

**PA** Einparkhilfe (Parking Assistant), der Parkassistent lenkt automatisch in die Parklücke. Bremsen und Gas geben muss der Fahrer allerdings selbst

**PAS** Parkassistent, System zum assistierten (nur Querführung) oder automatischen (Quer- und Längsführung) Einparken

**PDC** Park-Distance-Control

**PBA** Predictive Brake Assistent, aber auch Pneumatischer Bremsassistent, siehe HBA

**PCW** Predictive Collision Warning

**PEB** Predictive Emergency Brake

**PPA** Pedestrian Protection Airbag

**Pre-Safe-Brake** Notbremsassistent von Mercedes, [3]

**PSM** Porsche Stability Management, Porsche, siehe ESP

**PSS** Predictive Safety Systems von Bosch

**PWS** proximity warning system = Abstandswarner, ein System, das den Fahrer auf ein zu dichtes Auffahren, auf das vorrausfahrende Kfz durch einen akustischen Warnton ein optisches Signal oder durch Vibration aufmerksam macht.

**RBC** Rain Brake Control, bei Regen werden in regelmäßigen Abständen vom Fahrer unbemerkt die Bremsbeläge an die Bremsscheibe angelegt, um den Wasserfilm zu entfernen;

**RPA** Reifen Pannen Anzeige

**RVD** Remote Vehicle Diagnostic, Fahrzeug Ferndiagnose bietet den Autoherstellern Einsparpotenziale bei Garantieleistungen, Produktentwicklung und Marketing sowie Wettbewerbsvorteile durch Produktdifferenzierung und verbesserten Service.

**STA** Stauassistent (Traffic Jam Assistent), ACC S&G- System evtl. kombiniert mit automatischer Spurführung, situationsadaptiv für den Verkehrszustand Stau. Siehe auch TJA.

**STC** Stability Traction Control

**SWT** Seitenwandtorsion

**TCS** Traction Control System

**TEC** Transmission Electronic Control

**TJA** Traffic Jam Assist, der Traffic Jam Assist unterstützt den Fahrer sowohl im Stau als auch bei zähfließendem Verkehr und kann bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h eingesetzt werden. Traffic Jam Assist ermöglicht durch die Bestimmung eines Richtfahrzeuges und die Regelung von Motor- und Bremsfunktionen stressfreies Staufen. Damit ist er die ideale Ergänzung zur Adaptive Cruise Control. Quelle: Siemens VDO

**TMC** Traffic Message Channel, im Traffic Message Channel (TMC) werden über RDS-Radiosender kostenlose Stauinformationen digital und geräuschlos in das Fahrzeug übertragen. Über das Display des Navigationssystems können diese in Textform dargestellt und im Navigationssystem für eine dynamische Zielführung verwendet werden.

**TSA** Trailer Stability Assist, eine Zusatzfunktion des Elektronischen Stabilitäts-Programms ESP und sorgt für mehr Sicherheit bei Fahrten mit Anhänger.

**TSC** Trailer Stability Control, ESP mit Erweiterung um eine Anhängerstabilisierung

**TSR** Traffic Sign Recognition = Verkehrszeichenerkennung

**USK** Untersteuerungskontrolle

Verhindert

**V2V** Vehicle to Vehicle (V2V) Communication oder Car to Car Communication (C2C)

**VDC** Vehicle Dynamic Control, Alfa Romeo, Subaru; siehe ESP

**VSA** Vehicle Stability Assist, von Honda, siehe ESP

**VSC** Vehicle Stability Control, Daihatsu, Lexus, Toyota, siehe ESP

**WIL** Whiplash Injury Lessening, Schleudertrauma-Schutzsystem.

