

Verbesserung von FAS durch Fahrerabsichtserkennung mit Fuzzy Logic

Dipl.-Ing. **J. Schmitt**, Prof. Dr. **B. Färber**, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg;

Kurzfassung

Zur Verbesserung eines Bremsassistenten durch Fahrerabsichtserkennung wurden Fahrversuche in einem kontrollierten Feldexperiment durchgeführt. Die Fahrer mussten normale Bremsmanöver, abrupte Bremsmanöver (unvermittelte Aufforderung zum Abbiegen) sowie Notbremsmanöver vor einem plötzlich auftauchenden Hindernis ausführen.

Aus den Daten der Fahrpedal- und Bremspedalbewegung (erfasst über CAN-Bus-Daten) lassen sich der „Ruck“ beim Loslassen des Gaspedals und die Pedalwechselzeit berechnen. Mit Hilfe von Fuzzy Logic (Mamdani-Methode) werden 85 % richtige Vorhersagen einer Notbremsung getroffen. Beim Versuch bremsten die Versuchspersonen bei 32 % der richtig klassifizierten Notbremsungen selbst stark genug, um eine Kollision mit dem Hindernis zu vermeiden. Bei 59 % dagegen hätte das Eingreifen des intentionsgeregelten Notbremsystems die Unfallfolgen drastisch verringern können.

Die auf den Ergebnissen aufbauende verbesserte Auslegung des Notbremsassistenten vermeidet unerwünschte Fehlauflösungen weitgehend und greift trotzdem bei einer erheblichen Anzahl von „Normalfahrern“ unterstützend ein.

Generell zeigen die Ergebnisse, dass mit Fuzzy Logic auch ohne aufwändige Sensorik FAS effizient und erwartungskonform gestaltet werden können.

1. Fahrerassistenzsysteme der nächsten Generation

Zukünftige Fahrerassistenzsysteme werden nicht mehr auf die unterste Ebene der Fahrzeugführung, d. h. die Stabilisierungsebene (z.B. ABS und ESP) beschränkt sein, sondern werden auch auf der Bahnführungsebene eingreifen (z.B. Lane Keeping und Lane Changing Assistant).

Damit Systeme auf dieser höheren Ebene wirksam werden, gibt es 2 Ansätze:

- Die stetige Verbesserung der Sensorik, inklusive Sensorfusion, um den menschlichen Wahrnehmungen möglichst nahe zu kommen (vgl. [4]).

- Eine Verbesserung der Wissensbasis, in der Kenntnisse über den Fahrraum, den Fahrerzustand und vor allem die Fahrerabsicht vorliegen. Auch gute menschliche Beifahrer, die den Fahrer auf eine kritische Situation aufmerksam machen, beziehen Fahrerzustand und Fahrerabsicht in ihre „Warnstrategie“ mit ein. So wird ein aufmerksamer Beifahrer den Fahrer bei der Annäherung an ein vorausfahrendes Fahrzeug nicht vor einer drohenden Kollision warnen, wenn er aufgrund seines Fahrverhaltens annimmt, dass der Fahrer überholen will.

Assistenz-Systeme auf der Bahnführungsebene werden langfristig nur erfolgreich sein, wenn in beiden Bereichen Fortschritte erzielt werden.

Die zu entwickelnden Verfahren zur Erkennung von Fahrerabsicht und Fahrerzustand müssen sowohl ökonomisch als auch ökologisch sein. Ökonomisch heißt, die Algorithmen sollen möglichst auf Daten basieren, die bereits als Messwerte im Fahrzeug vorliegen und deren Entropie durch intelligente Datenfusion maximiert wurde.

Ökologisch heißt, es müssen die Wechselbeziehungen zwischen Fahrer und seiner Umwelt erkannt und erfasst werden.

Mit anderen Worten, der Fahrerzustand und die Fahrerabsicht müssen einer numerischen Interpretation durch die künftigen FAS zugänglich gemacht werden. Sie können somit die Handlungen des Fahrers antizipieren und erhalten damit eine scheinbare „Intelligenz“ [5].

Obwohl die Bedeutung von Fahrerabsichten und Fahrerzuständen für Assistenz-Systeme auf der Bahnführungsebene besonders wichtig sind, sind auch bei Systemen, die den Fahrer auf der Stabilisierungsebene unterstützen, Verbesserungen zu erwarten.

Neben der technischen Zuverlässigkeit stellen sich aufgrund der Möglichkeit von Fehlinterpretationen, d.h. die Häufigkeit mit der die Assistenz der Erwartungshaltung des Fahrers und der übrigen Verkehrsteilnehmer widerspricht, auch juristische Fragen.

2. Ein „intelligenter“ Bremsassistent

In Kooperation mit einem Automobilhersteller und einem Zulieferer für Bremssysteme wurde am Institut für Arbeitswissenschaft der UniBw München eine vergleichende Studie durchgeführt. Diese verfolgte das Ziel, einen Algorithmus für einen Bremsassistenten zu entwickeln, der erkennt, ob der Fahrer beabsichtigt, eine Notbremsung durchzuführen, noch bevor dieser den Bremsdruck aufbaut. Die bislang auf dem Markt verfügbaren Bremsassistenten nehmen die Pedalwechselzeit als Parameter für die Entscheidung, ob eine Notbremsung beabsichtigt ist. Wenn es gelingt, die Vorhersage der Fahrerabsicht noch früher zu treffen, kann wertvolle Zeit zum Aufbau des Bremsdrucks gewonnen und die

Wirkung der Notbremsung verbessert werden. Die experimentelle Validierung zweier alternativer Algorithmen zur Verbesserung der Notbremsung wird im Folgenden vorgestellt.

3. Fragestellung und Versuchsaufbau

Die generelle Zielsetzung führt zu 3 Einzelfragen:

- Kann mittels vorhandener Messwerte (CAN-Daten) präzisiert werden, ob der Fahrer eine Gefahrenbremsung machen wird, bevor ein Bremsdruckgradient vorliegt?
- Mit welcher Wahrscheinlichkeit kann der Algorithmus zwischen einer beabsichtigten „sehr starken“ Bremsung und einer Gefahrenbremsung unterscheiden?
- Wie sind Vorhersagen aufgrund von Fuzzy Logic im Vergleich zur klassischen Methode mit festen Grenzwerten zu bewerten?

Bei Auftreten einer Gefahrensituation, die zu einer Notbrems-Absicht führt, wird vereinfacht folgende Wirkungskette ablaufen: Der Fahrer nimmt (visuell) die Gefahr wahr und legt, je nach Stärke der Gefahr, eine Handlungsabsicht fest. Diese Handlungsintention wird in eine, der Gefahr adäquate, motorische Reaktion mit dem rechten Fuß umgesetzt. Die Reaktion wird sowohl durch die Ruckhaftigkeit beim Loslassen des Gaspedals, als auch in der Pedalwechselzeit messbar.

In einem kontrollierten Feldexperiment wurden 54 Versuchspersonen nach einer Eingewöhnungsfahrt zunächst zu zwei sehr starken Bremsungen und schließlich zu zwei Notbremsungen gezwungen. Die sehr starken Bremsungen wurden vom mitfahrenden Versuchsleiter hervorgerufen, der die Versuchsperson bei 60 km/h Geschwindigkeit plötzlich aufforderte, rechts abzubiegen. Die Situation war so gestaltet, dass der Fahrer mit einer beherzten Bremsung die Abzweigung nehmen konnte und entspricht der Situation im realen Straßenverkehr, bei der ein Fahrer sehr spät sieht, dass er abbiegen muss.

Zur Erzeugung der Notsituationen wurde ein Schaumstoffdummy etwa 35 Meter vor dem Versuchsfahrzeug auf die Fahrbahn geworfen (Bild 1).

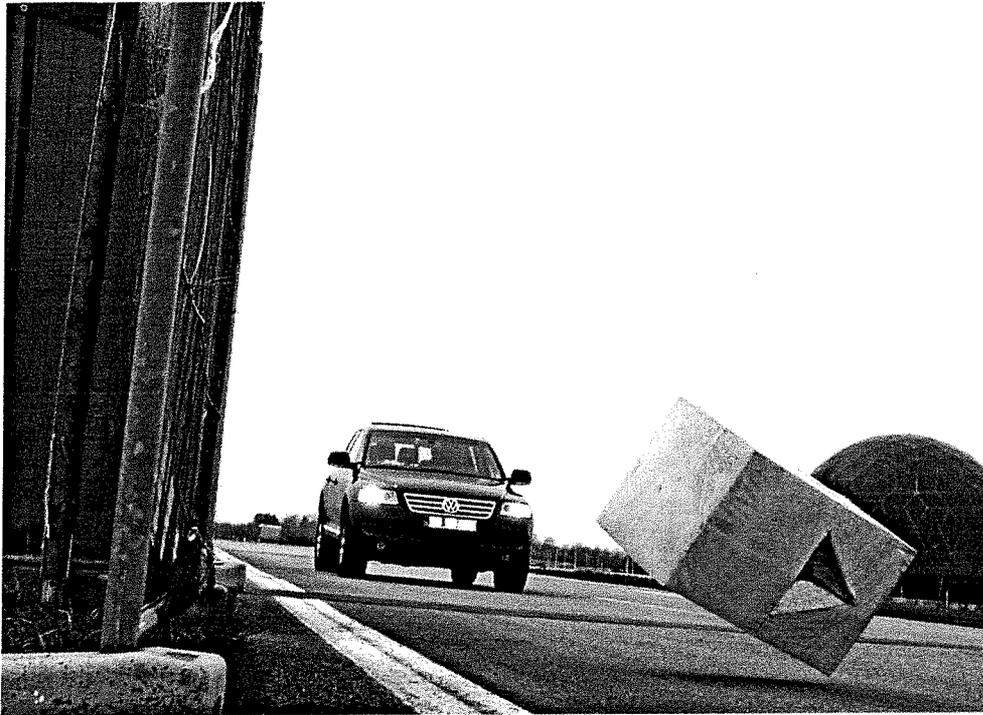


Bild 1: Situation „Notbremsung“

Die Fahrer wurden unmittelbar vor der Abbiege- und Notsituation gebeten zu beschleunigen, so dass zu Beginn der Messung der rechte Fuß auf dem Gaspedal stand. Die gefahrene Geschwindigkeit (ca. 60 km/h) und die Entfernung zum herabfallenden Hindernis waren so bemessen, dass ein aufmerksamer Fahrer mit einer mittleren Reaktionszeit durch eine Notbremsung vor dem Hindernis zum Stehen kommen konnte. Von 216 durchgeführten Messungen waren schließlich 192 auswertbar.

4. Versuchsdaten

Mit der Pedalwechselzeit wird im Allgemeinen die Zeit zwischen dem Nulldurchgang des Gaspedals und der ersten Berührung des Bremspedals bezeichnet. Für die erste Berührung mit dem Bremspedal wurde das CAN-Signal des Bremslichtschalters benutzt. Dem Ereignis „Bremslichtschalter AN“ folgt im Bremssystem eine Totzeit und eine Schwellzeit, nach welchen erst der hydraulische Bremsdruck aufgebaut wird. Das Ereignis „Bremslicht AN“ markiert den letzten Zeitpunkt für die Brems-Prädiktion.

Die Versuchshypothese zielte auf die Kontrolle der „Ruckhaftigkeit“ beim Loslassen des Gaspedals. Diese Ruckhaftigkeit zeigt sich im Übergangsradius des Gaspedalsignals im Moment des Loslassens (Bild 2, Position A) und dem mit „Ruck“ bezeichneten Gradienten der Beschleunigung dieses Signals unmittelbar vor dem Nulldurchgang (Bild 2, Position B).

Diese Werte liegen nicht unmittelbar als Messwerte auf dem CAN-Bus vor, sondern müssen in mitlaufenden mathematischen Verfahren aus den Rohsignalen berechnet werden [3].

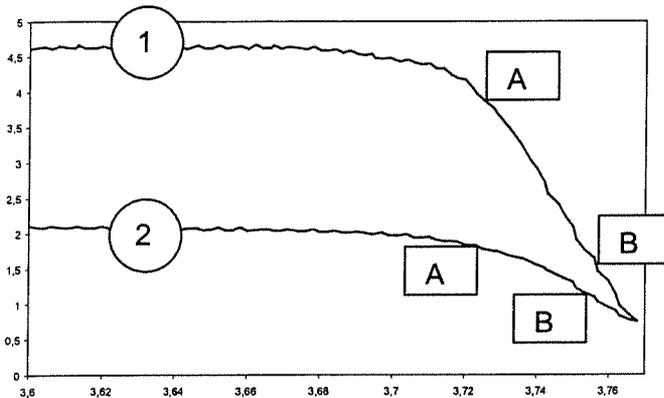


Bild 2: Gaspedalsignal (1: vor der Gefahrenbremsung, 2: vor der sehr starken Bremsung)

Die Analyse von Übergangsradius, Ruck und Pedalwechselzeit besteht zunächst darin, die Häufigkeitsverteilung dieser drei Größen daraufhin zu untersuchen, ob sich generell Unterschiede zwischen den beiden Brems-Arten feststellen lassen (Bilder 3 - 5).

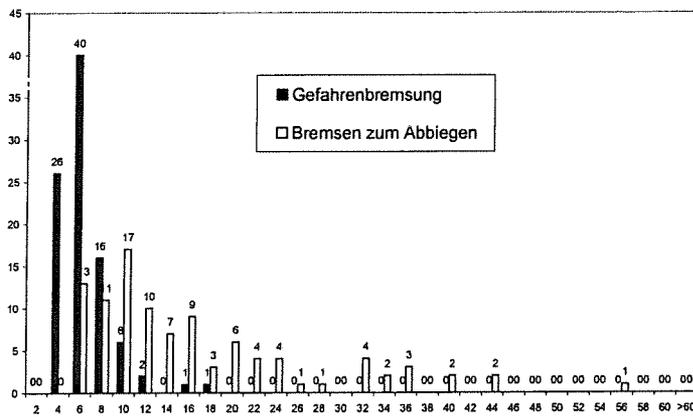


Bild 3: Häufigkeitsverteilung des Übergangsradius

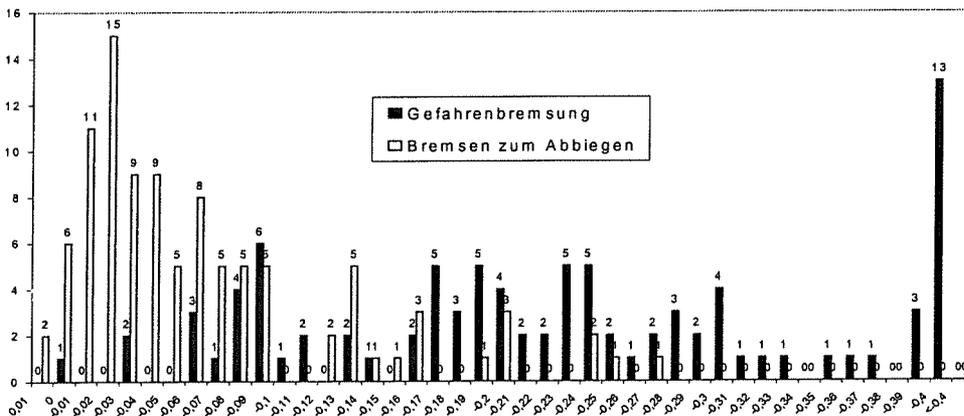


Bild 4: Häufigkeitsverteilung des Ruckes

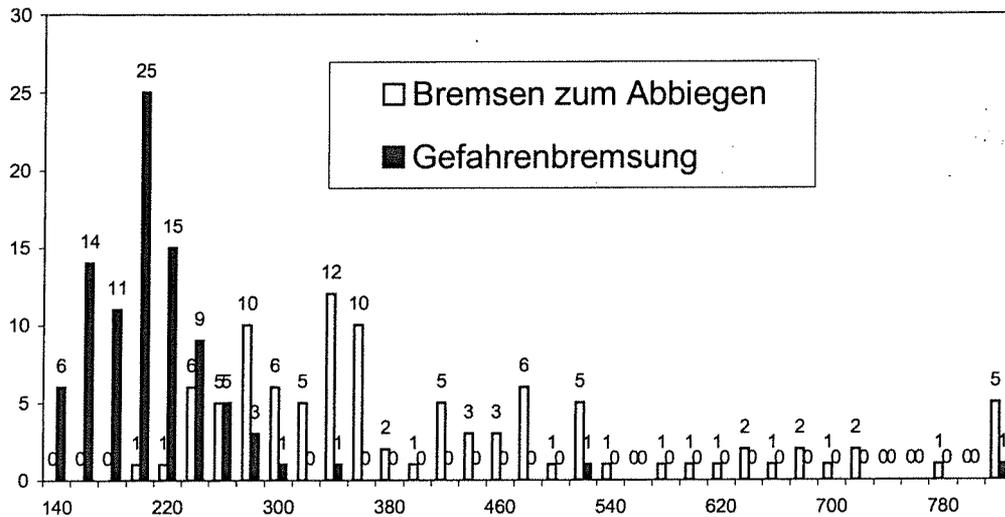


Bild 5: Häufigkeitsverteilung der Pedalwechselzeit

Aus den Häufigkeitsverteilungen ergeben sich keine eindeutigen Maximalbereiche, sondern es zeigt sich, dass es breite Überschneidungszonen zwischen der Gefahrenbremsung und der scharfen Bremsung zum Abbiegen gibt. Während wir also beispielsweise als Beifahrer intuitiv erfassen, ob der Fahrer gleich eine Notbremsung machen wird oder nicht, verfügen wir messtechnisch nur über ein vages, unpräzises Wissen über die Art der bevorstehenden Bremsung.

5. Fuzzy Logic

Zur Bearbeitung vagen Experten-Wissens hat sich die von Lotfi A. Zadeh in den 1960er Jahren entwickelte Fuzzy Logic bewährt [1]. Für die vorliegende Untersuchung wurde die Mamdani-Methode angewandt, die in der Fuzzy Logic Toolbox von MATLAB enthalten ist [2]. In der Fuzzy-Regelbasis wird das Expertenwissen über die Zusammenhänge zwischen Prämissen und Konklusionen in linguistischer Beschreibung festgehalten. Übergangsradius, Ruck und Pedalwechselzeit gehen als Prämissen in den Regelkreis ein, die Arten der Bremsung als Konklusionen. Für jede der Eingangs- und Ausgangsvariablen werden drei Zugehörigkeitsfunktionen definiert: klein, mittel und groß. Beispiele für zwei Regeln finden sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Fuzzy-Regeln zur Vorhersage der Brems-Art

Rule 4	If (radius is small) and (ruck is medium) and (dtime is short) then (decision is very strong).
Rule 5	If (radius is small) and (ruck is big) and (dtime is short) then (decision is emergency).

Mit "decision" wird die Entscheidung des Fahrers bezeichnet, mit welcher Art der Bremsung er das anstehende Manöver durchführen wird: mit einer starken, sehr starken oder mit einer Notbremsung (strong, very strong, emergency).

Durch Kombination der Prämissen entstehen 27 Regeln, die sich algebraisch vereinfachen lassen, so dass schließlich 18 redundanz- und widerspruchsfreie Regeln übrig bleiben. Alle Regeln haben alternativen Charakter, weshalb die Akkumulation der Regeln nach dem "Maximum-Prinzip" durchgeführt wird.

Mit der Defuzzifizierung erhalten wir unseren gewünschten Prognosewert. Der (zwischen 0 und 100 skalierte) Defuzzifizierungsfaktor (DFF) beschreibt also die Fahrerabsicht, d.h. mit welcher Stärke er die Bremsung durchzuführen beabsichtigt. Kleine Faktoren sagen eine starke oder sehr starke Bremsung voraus, große Faktoren deuten auf eine anstehende Notbremsung hin.

6. Ergebnisse

Die letzte noch zu beantwortende Frage lautet: Ab welcher Größe des DFF wird eine Notbremsung durchgeführt? Hierzu ist wiederum die Betrachtung der Häufigkeitsverteilung des DFF nützlich (Bild 6). Es liegt nahe, dass eine Zuordnung eines DFF kleiner als 50 zu

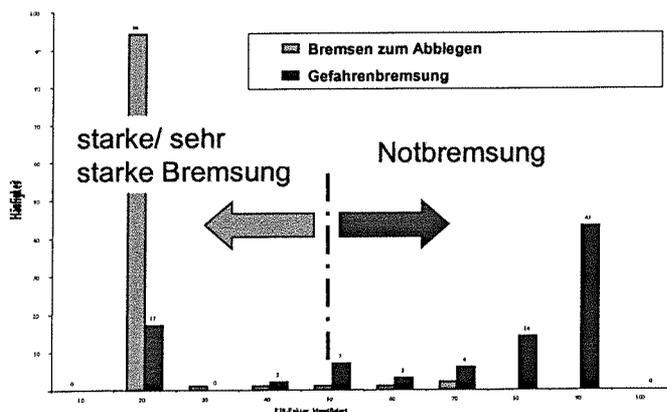


Bild 6: Häufigkeitsverteilung des Defuzzifizierungsfaktors

den starken und sehr starken Bremsungen vorgenommen werden kann und ein DFF größer und gleich 50 zu den Notbremsungen. Mit dieser Einteilung erhält man offensichtlich 22 falsche Zuordnungen bei 192 auswertbaren Messungen.

Diese Einteilung sagt aber nur, dass 22 Vorhersagen in den gestellten Bremssituationen falsch zugeordnet werden. Nicht jeder Fahrer hat eine Notbremsung durchgeführt, wenn vor ihm ein Hindernis auf die Fahrbahn gefallen war, denn einige haben nur leicht gebremst und das Hindernis überrollt. Andere wiederum haben durch rechtzeitiges, starkes Bremsen die Situation gemeistert. Ebenso hat nicht jeder Fahrer eine starke Bremsung zum Rechtsabbiegen durchgeführt, sondern eine Notbremsung.

Zur Validierung des Verfahrens muss also die Prädiktion mit der tatsächlichen Bremsung verglichen werden. Um die Wirksamkeit der Assistenz eines solchen Systems zu beurteilen, muss unterschieden werden, ob das Hindernis getroffen wurde oder nicht. Ein "intelligenter" Bremsassistent sollte helfen, einen Crash zu verhindern, aber nicht eingreifen, wenn der Fahrer durch rechtzeitiges, situationsgerechtes Handeln selbst diesen Crash vermeidet.

Alle auswertbaren Messungen wurden mit Hilfe der Messwerte von Bremsverzögerung, Bremsdruckgradient, maximalem Bremsdruck und ABS-Signal unterschieden und in Notbremsungen und "Nicht"-Notbremsungen eingeteilt. Ferner wurde den Versuchsprotokollen der Notbrems-Situationen entnommen, ob das Hindernis getroffen wurde oder nicht. Auf dieser Basis wurde nun verglichen, ob die Vorhersage der Fuzzy Logic richtig war oder nicht. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse dieser Validierung enthalten.

Tabelle 2: Vergleich der Fuzzy-Prädiktion mit den tatsächlich durchgeführten Bremsungen in der Testsituation "Gefahrenbremsung"

	Prädiktion Notbremsung	Prädiktion sehr starke Bremsung
tatsächliche Not- bremsung	getroffen: 37 nicht getroffen: 17	getroffen: 6 nicht getroffen: 4
tatsächliche sehr starke Bremsung	getroffen: 9 nicht getroffen: 8	getroffen: 7 nicht getroffen: 4

Eine Prädiktion ist richtig, wenn sie die tatsächliche Bremsung vorhersagt und auch dann, wenn bei einer scheinbar fehlerhaften Vorhersage das Ergebnis des assistiert durchgeführten Vorganges erwartungskonform ist. Im Falle einer vorhergesagten Notbremsung liegt auch bei einer tatsächlich "nur" sehr stark durchgeführten Bremsung das Ergebnis im Erwartungsbereich, wenn es zu einem Crash kommt. Dann hätte die von einem

Bremsassistenten durchgeführte Notbremsung zumindest die Aufprallenergie vermindert. Dies wäre bei unseren Versuchen 9 mal aufgetreten. Ähnlich verhält es sich bei der vorhergesagten sehr starken Bremsung. In den 4 Fällen, in welchen der Fahrer durch eine Notbremsung einen Zusammenstoß verhindert hat, hätte das System nicht eingegriffen. Dieses Verhalten des Systems liegt ebenfalls im Erwartungsbereich. Eine Zusammenfassung aller Vergleiche zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Vergleich der Fuzzy-Prädiktionen mit den tatsächlich durchgeführten Bremsungen

Test- bedingung	richtig	falsch
Gefahren- bremsung	85 %	15 %
Bremsen zum Abbiegen	97 %	3 %

7. Vergleich mit einem klassischen Ansatz und Fazit

In einem klassischen Ansatz zur Algorithmisierung der Bremsprädiktion wurde mit den gleichen Versuchsdaten ein Boole'sches Gleichungssystem erstellt, welches mit festen Bereichsgrenzen für die Variablen ausgestattet wurde [3]. Radius, Ruck und Pedalwechselzeit sind die Eingangsgrößen, die Bremsungsart die Ausgangsgröße (Tabelle 4).

Tabelle 4: Vergleich der Festwertprädiktion mit den tatsächlich durchgeführten Bremsungen

Test- bedingung	richtig	falsch
Gefahren- bremsung	77 %	23 %
Bremsen zum Abbiegen	99 %	1 %

Vergleicht man die Wirksamkeit der beiden Methoden, so kann man insbesondere für die Testsituation "Gefahrenbremsung" einen tendenziellen Vorteil der Fuzzy-Methode feststellen (Bild 7).

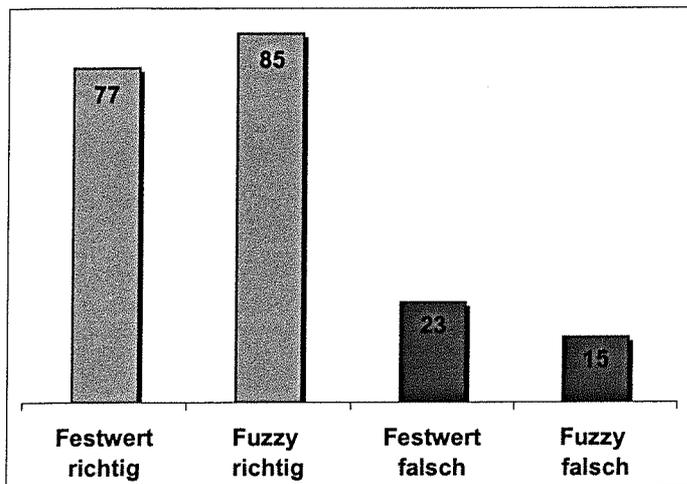


Bild 7: Prädiktion in Gefahrensituationen

Die Ergebnisse zeigen, dass mithilfe der Fuzzy Logic FAS auch ohne aufwändige Sensorik effizient und erwartungskonform gestaltet werden können. Der besondere Vorteil der Fuzzy Logic liegt dabei in der Anpassungsfähigkeit der Methode an sich änderndes und vor allem an sich erweiterndes Expertenwissen. Mit der Erweiterung durch die Daten einer Nahbereichssensorik kann der nächste Schritt in Richtung eines "intelligenten" Bremsassistenten getan werden.

Literatur

- [1] Heinsohn, J. und R. Socher-Ambrosius: Wissensverarbeitung – Eine Einführung. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verlag 1999
- [2] Fuzzy Logic Toolbox, User's Guide, The Math Works, Natick (USA) 2001
- [3] Taubmann, J.: Validierung alternativer mathematischer Verfahren zur Realisierung eines Pre-Crash-Systems. UniBw München, Diplomarbeit. Neubiberg 2005
- [4] Dietmayer, K., A. Kirchner und N. Kämpchen: Fusionsarchitekturen zur Umfeldwahrnehmung für zukünftige Fahrerassistenzsysteme; in Maurer, M. und C. Stiller (Hrsg.): Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 2005
- [5] Zimmer, A.: Wie intelligent darf/muss ein Auto sein? Anmerkungen aus ingenieurpsychologischer Sicht; in Jürgensohn, Th. und K.-P. Timpe (Hrsg.): Kraftfahrzeugführung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 2001