

# Einleitung

In der Kraftfahrzeugindustrie kommt dem Sicherheitsaspekt eine immer größere Bedeutung zu. Ziel ist es, den Insassen den größtmöglichen Schutz zu bieten. Aus diesem Grund gibt es viele verschiedene Sicherheitskonzepte, wie ABS, ESP, Müdigkeitswarner, Personendetektion, automatische Unfallmeldesysteme und komplexe Airbagsysteme, die je nach Fahr- oder Unfallsituation aktiviert werden. In Abbildung Ei.1 ist ein Konzept zur Erhöhung der Insassensicherheit dargestellt, das im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurde. Weitere Ansätze, die es für das Fahrzeugumfeld gibt, wie z.B. die Pre-Crash Sensorik, sollen hier nicht mitberücksichtigt werden. Die Systemkonzepte *Adaptives Airbagsystem* und *Fahrermonitoring* und die sich damit ergebenden Zusatzanwendungen (z.B. Innenraumüberwachung, Personenklassifizierung, Notrufsystem), die in dieser Arbeit auch von Bedeutung waren, werden in Kapitel 4 im Detail vorgestellt.

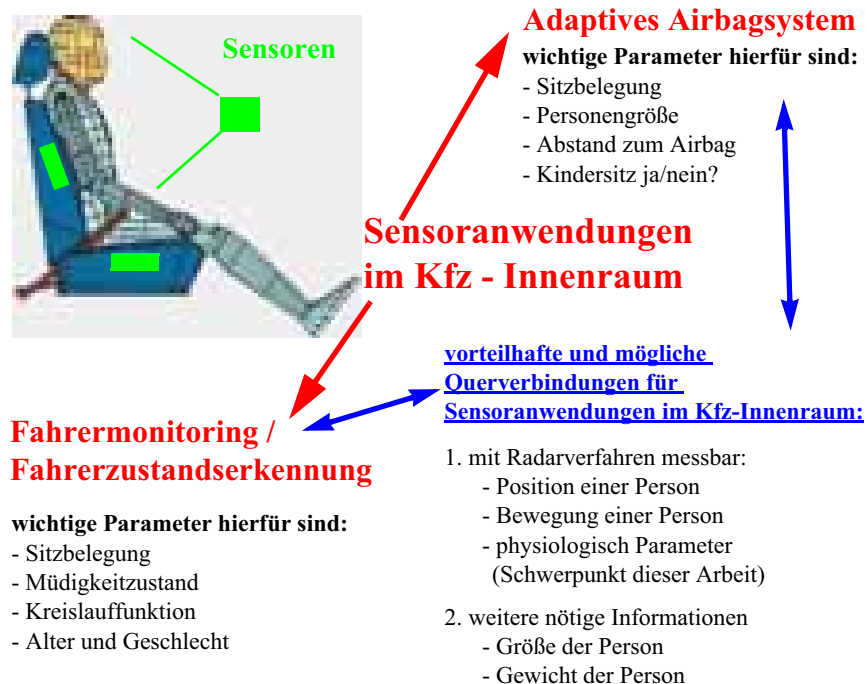


Abbildung Ei.1: Überblick über ein mögliches Konzept zur Erhöhung der Insassensicherheit im Kraftfahrzeug

Aus diesem Konzept (Abbildung Ei.1:) ergeben sich folgende Anforderungen und Ansätze:

Für die Kombination der Konzepte *Adaptives Airbagsystem* und *Fahrermonitoring* ist die Messung mehrere Parameter nötig. Diese sind die **Position** der Personen im Innenraum, die **Bewegungen** der Personen (Richtung und Geschwindigkeit), die **Größe** und das **Gewicht** sowie **physiologische Parameter**, wie z.B. Herzschlag, Atmung, Lidschlag.

Wichtig bei der Konzeptüberlegung sind die Randbedingungen der Umgebung „Fahrzeug“. Dies bedeutet für die Sensoren, dass sie berührungslos messen müssen und auch kein aktives Anlegen nötig ist. Ebenfalls müssen sie in der Kraftfahrzeugumgebung funktionieren, d.h. in einem Temperaturbereich von  $-40^{\circ}$  bis  $+80^{\circ}$  fehlerlos arbeiten und unempfindlich gegen Vibrationen und Erschütterungen sein.

Bei der Berücksichtigung all dieser Parameter wird ersichtlich, dass verschiedene Sensoren und Sensortechnologien nötig sind. Mögliche Technologien für die Realisierung der Sensoren sind: Video, Infrarot, Druck, Ultraschall und Radar.

In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Anwendung der Radartechnik für den Fahrzeuginnenraum für die beiden Konzepte *Adaptives Airbagsystem* und *Fahrermonitoring*. Dabei werden im Wesentlichen die Vorteile der Radarsensorik ausgenutzt: Die Möglichkeit einer kontaktlosen Messung, eine weitgehende Unempfindlichkeit der Radarsensorik gegenüber Vibrationen, sowie die simultane Messung von Geschwindigkeit und Abständen.

Ziel dieser Arbeit ist es, Sensoren und Auswerteverfahren zu erarbeiten, mit denen es möglich ist, Abstände und Bewegungen im Fahrzeuginnenraum zu messen. Als Abstand soll z.B. die Entfernung einer Person relativ zum Sensor bestimmt werden. Dies liefert einen wesentlichen Parameter, der zur Bestimmung der Position und Bewegung erforderlich ist. Für eine zuverlässige Realisierung des Gesamtkonzepts ist aber auch das Wissen über die Anwesenheit und die Bewegungen einer Person wichtig. Dies kann z.B. über die sogenannte Dopplerverschiebung, die bei einem Radarsensor auftritt, ausgewertet werden. Um die physiologischen Parameter Herzschlag und Atmung zu messen wird in dieser Arbeit ein neuartiger Ansatz verfolgt, der ebenfalls auf einer Dopplerauswertung basiert. Um eine Einführung in das Thema zu geben wird in Kapitel 1 ein kurzer Abriss über den Stand der Technik bei Sensoren im Kraftfahrzeuginnenraum gegeben. In den Kapitel 2 und 3 werden die für diese Arbeit notwendigen Grundlagen erläutert. In Kapitel 4 erfolgt eine Beschreibung der beiden oben schon erwähnten Konzepte zur Erhöhung der Sicherheit im Kraftfahrzeug. In den folgenden Kapiteln 5 bis 8 werden alle Schritte, die zur Realisierung der Radarsensoren nötig sind, vorgestellt. Das sind in Kapitel 5 die numerischen Berechnungen zur Übertragungswegbestimmung im Kraftfahrzeug sowie in Kapitel 6 die theoretische Dimensionierung der Radarsensoren. Die technische Sensorrealisierung wird in Kapitel 7 für den Frequenzbereich 2,45GHz und in Kapitel 8 für den Frequenzbereich 24GHz aufgezeigt. Die mit Hilfe der Sensoren gewonnenen Messergebnisse werden in Kapitel 9 vorgestellt.

# Kapitel 1

## Stand der Technik bei Sensoren im Kfz-Innenraum für die Insassensicherheit

### 1.1 Bestimmung von Abständen und Positionen

Die Notwendigkeit der Abstandsbestimmung resultiert aus der Anwendung der adaptiven Airbagauslösung und der dafür erforderlichen Personenklassifizierung [A11].

#### 1.1.1 Kapazitive Sensoren

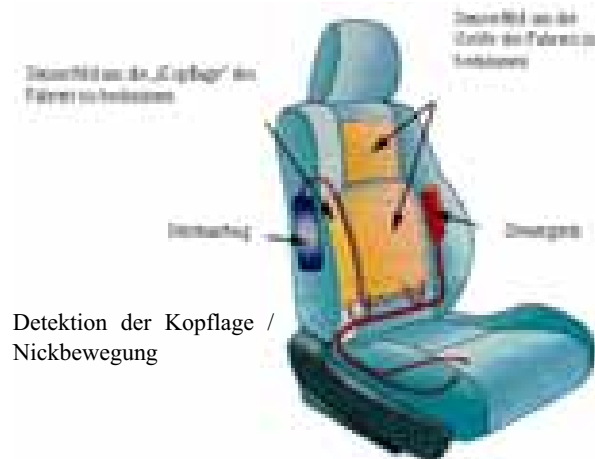
Bei diesen Sensoren handelt es sich um eine Kondensatoranordnung (z.B. zwischen Fahrzeugsitz und Karosserie) oder um eine spezielle Anordnung von metallischen Platten. Das dazwischenliegende Dielektrikum wird entweder durch die Luft, durch den Menschen oder durch einen Gegenstand (Kiste, Tüte) gebildet. Gemessen wird die Kapazitätsänderung, die z.B. durch den Menschen hervorgerufen wird. Mit diesen Sensoren kann die Position des Objektes (Person, Gegenstand) im „Kondensator“ bestimmt werden. Über die kapazitive Änderung des „Kondensators“ kann auch die Art des Objektes bestimmt werden. Anwendungsbeispiele und Realisierungsmöglichkeiten werden in den Literaturstellen [S1], [S12] und [S13] ausführlicher beschrieben. Diesen Literaturstellen sind auch die Abbildung 1.1, als ein Beispiel für eine Kondensatoranordnung in einem Fahrzeugsitz, und Abbildung 1.2, als Beispiel für eine Plattenanordnung, entnommen.

Die Nachteile der kapazitiven Sensoren sind:

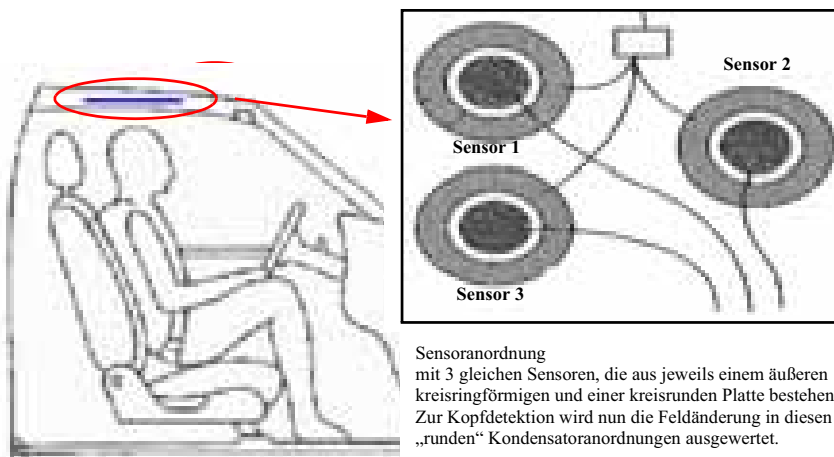
- Die Genauigkeit der Abstandsauflösung wird sehr stark durch die Anzahl der kapazitiven Elemente beeinflusst, d.h. bei dem Einsatz von mehreren Sensorelementen wird auch die Auflösung besser. Dies bedeutet aber einen hohen Materialaufwand, welcher den Sensor sehr teuer macht.
- Für eine komplette Innenraumüberwachung sind eine Vielzahl von Sensoren und Sensorelementen nötig.
- Der Sensor ist sehr störanfällig. Der Grund dafür ist, dass der Sensor selbst ein bestimmtes Feld erzeugt, mit dem er seine Messungen durchführt. Wird dieses Feld jetzt durch andere Strahlungsquellen oder schnelle Wechselfelder gestört, werden dadurch die Messergebnisse verfälscht.

Die Vorteile der kapazitiven Sensorik sind:

- Die gute Modellierbarkeit der Kondensatoranordnung in Form und Abmessungen.
- Die gute Integration der Anordnung im Innenraum (z.B. Sitz, Dach, Seitentür).
- Die Dielektrizitätskonstante des menschlichen Gewebes ist im Vergleich zu anderen Materialien sehr groß, was eine einfache Unterscheidung ermöglicht.



**Abbildung 1.1:** Kapazitive Sensorelemente im Fahrzeugsitz. Durch die Anordnung der Elemente ist man in der Lage, die Größe, die Position, und den seitlichen Versatz der Person auf dem Sitz zu ermitteln. Dieses Sitzsensorprinzip wurde in [S1] von der Firma Honda veröffentlicht. Bildquelle [S1]

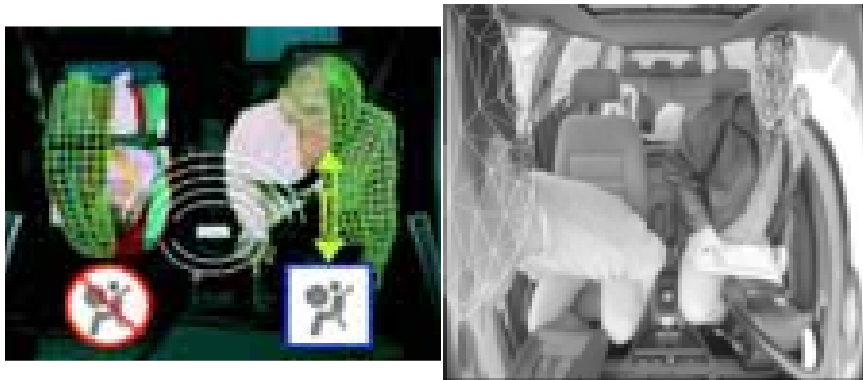


**Abbildung 1.2:** Das oben dargestellte Sensorsystem wurde von der Firma Advanced Safety Concepts Inc. veröffentlicht [S12]. Ziel dieser Anwendung ist die Detektion des Kopfes im Innenraum bezogen auf die Sensoranordnung. Die Daten sollen hauptsächlich zur Auswertung der Kopfbewegung herangezogen werden (Müdigkeitsdetektion). Bildquelle [S12]

### 1.1.2 Optische Sensoren

Im Bereich der optischen Sensoren gibt es mehrere Realisierungsmöglichkeiten und Ansätze für verschiedene spezielle Anwendungen. Als Grundlage werden unterschiedliche Techniken herangezogen, wie z.B. Infrarotsysteme, Stereo-Kamera-Systeme, 3D-Systeme mit Hilfe von Lasern sowie Kombinationen aus diesen. Bei den Kamerasystemen wird hauptsächlich die CMOS- und CCD-Technologie [S22], [S23] eingesetzt. Weitere Informationen zu optischen Sensoren sind bei den Automobilzulieferern (Siemens VDO [S23], Delphi, TRW, Temic [A13], [S20] und Robert Bosch [S19]) als auch bei den Automobilherstellern (Daimler-Chrysler, GM) zu bekommen. Als Referenz können hierzu die Veröffentlichungen der Hersteller auf ihren Internetseiten angegeben werden. Im Folgendem sollen hier nur zwei Beispiele dargestellt werden.

**1. Innenraumüberwachung:** Infrarotstereokamerasystem auf CMOS-Technologie, mit Hilfe dessen die Position einer Personen im Innenraum bestimmt und gleichzeitig eine Klassifizierung durchgeführt wird. Mit diesem Ansatz ist eine Unterscheidung zwischen Personen und Gegenständen (Kiste / Kindersitz) möglich. Ein Beispiel für diese Sensorrealisierung ist in Abbildung 1.3 aufgeführt. Weitere Literaturstellen zu diesem Sensorkonzept sind: [A10], [S7] und [S11].



**Abbildung 1.3:** Im linken Bild wird die Unterscheidung zwischen Person und Kindersitz dargestellt (Personenklassifikation). Im rechten Bild wird eine Entfernungsmessung über die Position des Kopfes durchgeführt. Diese Ergebnisse wurde mit einem System der Firma Robert-Bosch erzeugt und in [A10] veröffentlicht. Bildquelle [A10]

**2. Lidschlagerkennung:** Mit Infrarotkameras wird das Gesichtsfeld der Person gesucht und überwacht. Aus diesem Bild werden dann die Augen separiert und ausgewertet. Durch Änderungen der Reflexionseigenschaften (Augen auf / zu) kann dann das Lidschlußverhalten ausgewertet werden, siehe dazu [S14]. Aus dem Lidschlußverhalten können wiederum Rückschlüsse auf den Wachheitszustand der Person gezogen werden. Mehr Informationen dazu sind in der Literaturstelle [S7] nachzulesen.

Der wesentliche Nachteil eines solchen Sensors liegt vor allem in

- dem hohen Rechenaufwand. Dieser steht auch im Gegensatz zum schnell benötigten Ergebnis für den Abstand der Person zur Steuerung der Airbagauslösung, siehe dazu Kapitel 4 sowie [A10], [A11].

Die weiteren Nachteile sind:

- Die Verschmutzung der Linse, die eine Auswertung erschwert.
- Die Beeinflussung der Bildqualität durch Umwelteinflüsse (Sonne, aufgeheizte Innenräume, verschiedene Gewebefarben).
- Bei einem Infrarotansatz ist eine zusätzliche IR-Beleuchtung (Lichtquelle) notwendig.
- Bei einem Laseransatz bestehen Einschränkungen wegen einer möglichen Gefährdung des Auges.
- Ebenso sind es die hohen Kosten für einen hohen technischen Aufwand.
- Die Einbauorte sind begrenzt (guter und freier Blick auf Messbereich ist nötig).
- Je nach eingesetzter Technologie ist ein großer Platzbedarf notwendig

Ein solches Sensorsystem hat aber auch Vorteile. Der Hauptvorteil ist, dass mit nur einem Sensor schon sehr gute Ergebnisse erzielt werden können.

Die weiteren Vorteile sind

- die Möglichkeiten der Erkennung von komplexen Szenarien (z.B. Kind auf dem Schoß des Vaters, oder eine aufgeschlagene Landkarte vor einer Person).

Um die Nachteile der Lichtempfindlichkeit zu reduzieren, wird im Moment die Kombination zwischen CMOS-Technologie (konventioneller Aufbau) und der PMD (Photonic-Mixer-Device)-Technik verfolgt [S22]. Neue optische Sensoren werden auch nur in PMD-Technologie alleine aufgebaut [S20], [S21], [S27].

Vorteil der PMD-Technologie sind:

- dass schon mit einem Sensor 3D-Information zu bestimmen sind.
- und bei einem Sensor nur ein geringer Platzbedarf nötig ist.

### 1.1.3 Ultraschallsensoren

Diese Sensorsysteme werden ebenfalls zur Steuerung der Airbagauslösung eingesetzt. Die Ermittlung des Abstandes erfolgt über die Auswertung der Signallaufzeit. Ausgenutzt wird bei diesem System die Reflexion der Schallwellen am menschlichen Körper. Ebenso könnte dieses System auch zur lokalen Überwachung, z.B. des Kopfes, eingesetzt werden, um die Nickbewegung beim Einschlafen erkennen zu können, siehe dazu [S8]. Der Frequenzbereich der Ultraschallsensoren liegt zwischen 40kHz und 300kHz.

Die Nachteile von Ultraschallsensoren sind:

- Das im Moment geringe Auflösungsvermögen der Sensoren.
- Die Störanfälligkeit durch andere Schallquellen im Fahrzeuginnenraum (Interferenzen mit Umgebungsgeräuschen und Reflexionen).
- Die Beeinflussungen des menschlichen Körpers durch Ultraschall (entstehende Verträglichkeitsdiskussion). Zwar wird Ultraschall auch im medizinischen Bereich eingesetzt, aber auch hier wird angestrebt, möglichst wenige Untersuchungen durchzuführen (z.B. Schwangerschaft).
- Es sind mehrere Sensoren notwendig um den Innenraum komplett erfassen zu können.

Ein solches Sensorsystem hat aber den Vorteil

- dass das Prinzip und die Funktionsweise sehr gut bekannt sind (Sonar, Medizinbereich).

### 1.1.4 Radarsensoren

Im Moment wird Radar im zivilen Bereich noch relativ selten zur Bestimmung des Abstandes eingesetzt. Zu Beginn der Arbeit war noch kein Anwendungsprinzip zur Messung des Abstandes mit Hilfe von Radarsystemen im Fahrzeuginnenraum veröffentlicht.

Inzwischen werden mit Radar folgende Anwendungen untersucht:

- Die Detektion von Bewegungen im Innenraum. Diese Bewegungserkennung wird zur Diebstahlsicherung [R15] oder zur Überwachung von Kindersitzen (Trunk Motion Sensor) [R14],[R17] verwendet.
- Die Überwachung eines bestimmten Bereichs im Innenraum, z.B. für die Sitzbelegungserkennung auf den Frontsitzen im Fahrzeug [R5], [R6], [R16] & [R17].
- Die Messung des Abstandes im Innenraum (Veröffentlichung Mai 2000): Die Firma DaimlerChrysler stellte im Abschlußbericht des Projekts mit dem Titel **HMI<sup>2</sup>** (Hochzuverlässige Mikrosystemtechnologien für intelligenten Insassenschutz) einen Radarsensor zur Sitzbelegungserkennung mit gleichzeitiger Messung des Abstandes der Person relativ zum Airbag vor. Bei diesem Sensor handelt es sich um ein FMCW-Radar-System, siehe Kapitel 2, mit den Sendefrequenzen von 5,8 oder 24GHz. Im Rahmen dieser Veröffentlichung [A13] wurden auch erste Messergebnisse präsentiert. Eine Unterscheidung in verschiedenen Abstandszonen (wie bei der Airbagauslösung, Kapitel 4) ist darstellbar.

Eine Aussage über die generelle Verwendbarkeit zur Abstandmessung und Genauigkeit eines solchen Systems wurde dort nicht gemacht. Dies ist ein Schwerpunkt dieser Arbeit.

Die Nachteile von Radarsensoren sind

- die EMVU-Problematik, mehr dazu in Kapitel 2,
- die Vielzahl von Sensoren, die notwendig sind, um den Kfz-Innenraum komplett erfassen zu können, sowie
- die Interferenzen, die durch Mehrwegeausbreitungen der elektromagnetischen Welle entstehen.

Wesentliche Vorteile sind

- dass die Prinzipien und Funktionsweisen von Radarsensoren sehr gut bekannt sind,
- und dass die Realisierung bei höheren Frequenzen, und die dadurch resultierende Miniaturisierung (integrierte Bauelemente) durch die Verwendbarkeit von immer höheren Frequenzen möglich ist.

Auf vielfältigen Gebieten wird die Radartechnologie zur Bestimmung von Abständen eingesetzt. Diese sind z.B.

- die Abstandsbestimmung im Umfeld eines Kraftfahrzeugs, z.B. für die Funktion Automatischer Tempomat (ACC). Als Literaturstellen seien exemplarisch [R7], [R8], [R13] und [R19] angegeben.
- die Füllstandsmessung in Tanks und Siloanlagen [R10], [R22] und zur Abstandmessung bei der Prozeßüberwachung [R21].
- das Hindurchschauen durch Medien (z.B. Wände) oder Hineinschauen (z.B. Boden, Stichwort: „Ground Penetration Radar“) [R9], [R18],[R20] & [MR8].

Als aktuellste Literatur zu diesem Themengebiet der Radarsensoren möchte ich hier noch auf die Literaturstellen [MR28] bis [MR31] und [A17] hinweisen.

## 1.2 Stand der Technik zur Bestimmung physiologischer Parameter

Die Notwendigkeit, im Kfz physiologische Parameter zu messen, wird, wie in der Einleitung schon erwähnt, im Kapitel 4 erläutert. Als einfache Anwendung soll hier nur die Müdigkeitsdetektion erwähnt werden.

### 1.2.1 Drucksensorik auf Basis der Piezotechnologie

#### 1.2.1.1 Piezosensoren am Lenkrad

Piezosensoren am Lenkrad können z.B. für folgende Anwendungen eingesetzt werden:

**1. Bestimmung der Haltekraft:** Hierüber kann eine Aussage über den Wachheitszustand des Fahrers abgeleitet werden und es kann ein kompletter Fahrerausfall detektiert werden [D3], [D4].

**2. Messung des Herzschlags:** In der Handinnenfläche gibt es Stellen, die eine größere Durchblutung besitzen. Hier ist mit einer sehr genauen Drucksensorik die Messung des Pulses möglich [D4], [S15], [M9].

Die Nachteile bei der Piezotechnologie sind:

- Die Herzschlagmessung ist nur auf den Fahrer beschränkt.
- Die Sensoren besitzen eine starke Empfindlichkeit gegenüber Erschütterungen.
- Für eine dauerhafte Messung des Herzschlags müssen viele Sensoren komplett über das Lenkrad verteilt werden, die den Aufwand und die Kosten für ein solches System erhöhen.

Auf der anderen Seite besitzt die Piezotechnologie auch Vorteile.

- Ein solcher Sensor kann auf einer kleinen Sensorfläche realisiert werden.
- Die Sensoren sind günstig in ihrer Herstellung.
- Das Sensorprinzip ist in der Messtechnik sehr weit verbreitet.

#### 1.2.1.2 Piezotechnologie im Sitz

Mit diesem Sensorprinzip könnte ebenfalls der Herzschlag bestimmt werden. Dies ist möglich, da sich auf der Unterseite des Oberschenkels große Blutgefäße befinden. Ein solches System wurde von der Firma Med-Dev [S18] und in [S16], [S17], [S28] sowie in zwei Industriepromotionen [D3], [D4] untersucht. Die Funktion der Sitzbelegungserkennung und die Möglichkeit der Personenklassifikation über das Sitzmuster [A10] konnte nachgewiesen werden.

Die Nachteile eines solchen Systems sind:

- die starke Empfindlichkeit gegenüber Störungen durch die Erschütterungen des Fahrzeugs,
- die Einschränkung bezüglich des geometrischen Designs der Sensoren.

Dazu gibt es noch die Vorteile wie:

- die geringe Kosten für einfache geometrische Sensorelemente,
- und die weite Verbreitung des Sensorprinzips, wie z.B. in der Maschinenbauindustrie.