Kapitel 2

Aktueller Stand und Tendenzen der Kfz-Innenraumüberwachung

Inhaltsangabe

2.1 Motivation **5**

2.2 Innenraumschutz im Kfz-Innenraum **7**

2.2.1 Funk-Innenraumschutz (FIS) 11

2.2.2 Ultraschall-Innenraumschutz (USIS) 11

2.2.3 Tendenzen des Diebstahlschutzes 12

2.3 Präsenzsensorik im Kfz-Innenraum **12**

2.3.1 Die Sitzbelegungserkennung 13

2.3.1.1 Dehnungsmeßstreifen (DMS) 13

2.3.1.2 Piezoelektrische Kabel 16

2.3.1.3 Lichtwellenleiter 16

2.3.2 Die Kindersitzerkennung 16

2.3.2.1 Resonatoren 17

2.3.2.2 Transponder 17

2.3.3 Smart-Airbag Systeme 18

2.3.3.1 Smart-Airbag Systeme mittels kapazitiver Messung . . 19

2.3.3.2 Triangulationssensoren 19

2.3.3.3 Ultraschallsensoren 20

2.3.3.4 Multisensor-Systeme 21

2.3.4 Tendenzen der Sitzbelegungs- und Kindersitzerkennung 23

2.3.4.1 Elektronisch-Optische Bildverarbeitungssysteme . . . 23

2.3.4.2 *Adaptive Restraint Technologies* von Delphi 24

2.3.4.3 Lichtschnittverfahren 24

2.3.4.4 3D-Kamera 26

2.4 Zusammenfassung **28**

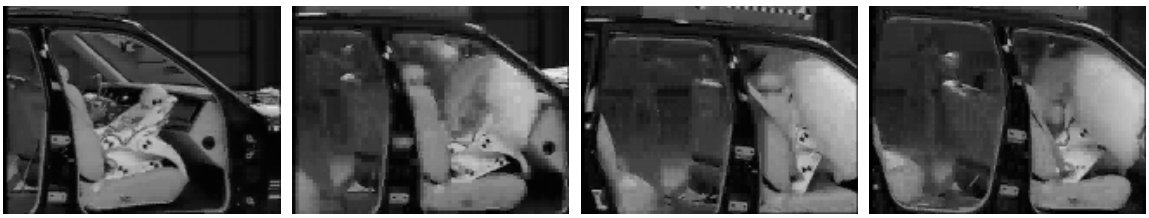

Abbildung 2.1: Crash-Sequenz mit Kindersitz

2.1 Motivation

Die Kfz-Innenraumüberwachung ist ein Oberbegriff für alle Anwendungen, die durch eine Überwachung des Innenraums den momentanen Zustand erkennen. Die Ziele dieser Arbeit sind die Anwendungen Innenraumschutz und Sitzbelegungserkennung mit Bildsensoren und Bildverarbeitung zu realisieren. Der Innenraumschutz ist Teil des Fahrzeugalarmsystems (FAS) und ist für die Erkennung von unbefugtem Eindringen zuständig. Hierzu wurden schon viele Prinzipien (Erschütterung, Luftdruck, Wärme, Glasbruch, Funkwellen, Ultraschall) zur Detektion eindringender Objekte untersucht, von denen sich die meisten als zu fehleranfällig erwiesen haben. Das große Interesse an FAS wird durch die hohe Diebstahlrate, besonders bei luxuriösen Fahrzeugen, erzeugt. 1996 wurden ca. 620.000 Fälle von schwerem Diebstahl registriert. In erster Linie sind es die Fahrzeughalter, doch schon an zweiter Stelle stehen die Versicherungen und die Gesetzgeber, die großes Interesse an FAS besitzen. Die Versicherungen und Gesetzgeber haben nicht nur eigene Richtlinien herausgegeben, in einigen europäischen Ländern sind FAS schon Pflicht (Abschnitt 2.2). Dieses Vorgehen wird nicht allein durch das Interesse an dem generellen Einbau von FAS motiviert, sondern besonders durch die hohe Fehlalarm-Rate verschiedener Systeme.

Der erste Teil dieses Kapitels soll einen Überblick über die im Moment eingesetzten Verfahren im Innenraumschutz geben. In Abschnitt 2.2 werden die Richtlinien der EU und verschiedener Versicherungsgesellschaften vorgestellt. Im Anschluß daran werden einige Verfahren, die im Moment eingesetzt werden, kurz erläutert. Abgeschlossen wird dieser Teil mit einem Ausblick über die Tendenzen im Innenraumschutz.

Die Präsenzsensorik im Kraftfahrzeug ist erst durch den massenhaften Einsatz der Airbags notwendig geworden. In erster Linie waren es die Versicherungsgesellschaften, die aus Kostengründen eine Sitzbelegungserkennung gefordert haben. In den letzten Jahren hat sich ein wichtigeres Problem aufgetan. Die Gefahr, die von einem Airbag ausgeht, besteht nur während der Phase der Zündung, wenn er durch Gase, die auf Natriumazid basieren, getrieben mit einer maximalen Geschwindigkeit von ungefähr 250-300 km/h, aus dem Lenkrad oder der Instrumenten-Tafel schießt. Ist der Abstand eines Objektes zum Airbag sehr gering, wird das Objekt durch den Airbag entgegen der Fahrtrichtung beschleunigt. Zur Verdeutlichung dieser Gefahr sind in Abb. 2.1 einige Bilder einer Sequenz abgebildet, in der ein Airbag bei Anwesenheit eines Reboard-Kindersitzes gezündet wird. In einem Fall, wie er in Abb. 2.1 dargestellt ist, wirkt auf das Kind nicht nur die Beschleunigung durch den Aufprall, sondern zusätzlich die des Airbags. Tragische Fälle entstehen, wenn ein Fahrzeug mit niedriger Geschwindigkeit gegen ein Hindernis fährt. Ein solcher Unfall würde ohne Beifahrer-Airbag keine schweren Verletzungen bei einem Kleinkind im

Kindersitz hervorrufen. Ist aber ein Beifahrer-Airbag eingebaut, wird das Kleinkind nicht durch die Folgen des Unfalls, sondern durch den Airbag ernsthaft verletzt. Ähnliche Risiken bestehen auch für kleinwüchsige Personen, besonders wenn sie zu nah am Airbag sitzen, wie eine Untersuchung der Medizinischen Hochschule Hannover gezeigt hat. Einerseits wirken sich die Körperproportionen und andererseits die Sitzposition negativ aus. Bei kleinwüchsigen Personen, wie auch besonders bei Kleinkindern, ist der Kopf im Verhältnis zum Rumpf schwerer als bei normalwüchsigen Personen. Zusätzlich müssen sich kleinwüchsige Personen näher an das Lenkrad und somit an den Airbag setzen, um alle Instrumente, wie z.B. die Pedale, erreichen zu können. Unter diesen Unfallbedingungen hat sich bei der Untersuchung gezeigt, daß Kopfverletzungen doppelt so häufig auftreten, als bei nicht ausgelöstem Airbag. Das Armverletzungsrisiko erhöhte sich sogar um mehr als das Dreifache. Weitere Risiken sind Augen-, Hand- und Schulterverletzungen, Verbrennungen, Brüche und Prellungen. In diesen Fällen wäre es für die Insassen von Vorteil, wenn die Auslösung des Airbags verhindert würde oder eine Zündung in mehreren Stufen möglich wäre.

Trotz der hier genannten Risiken ist der Airbag nach dem Sicherheitsgurt der „Lebensretter“ schlecht hin. Jedoch ist die Schutzwirkung des Airbags nur in Kombination mit dem Sicherheitsgurt gewährleistet. In der Abb. 2.2 sind die Bilder 8, 10, 15 und 24 einer Crash-Sequenz abgebildet. In der oberen Hälfte ist ein Fahrzeug mit Fahrer-Airbag und in der unteren ein Fahrzeug ohne Fahrer-Airbag zu sehen. Beide Fahrer sind angeschnallt.

Abbildung 2.2: Crash-Sequenz mit und ohne Fahrer-Airbag

Mittlerweile existieren in Europa Richtlinien, die die Mitnahme von Reboard-Kindersitzen auf Beifahrersitzen mit Airbag verbieten. Solch eine Regelung existiert in den Vereinigten Staaten schon seit einigen Jahren. Jedoch hat die amerikanische Behörde für Transportwesen *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) Verordnungen [32] angekündigt, die ab dem 1. September 2005 erweiterte Airbag Systeme für alle Neuwagen fordern. Die erweiterten Systeme sollen Personen unterschiedlicher Größe mit und ohne Gurt besser schützen. Denn in Amerika haben sich mittlerweile Initiativen [60] gebildet, die die manuelle Abschaltung des Airbags fordern. Diese Bewegung geht nicht ohne Grund von den USA aus, denn die Zahl der Opfer, die durch den Airbag verletzt oder getötet wurden, ist in den USA weltweit am höchsten. Dies liegt nicht nur an dem hohen Anteil an Airbags in Neuwagen, sondern auch an der niedrigen Anschnallrate von ca. 17 %. Um das Verletzungsrisiko bei nicht angeschnallten Personen zu senken, wurden zuerst

in den USA größere Airbags eingebaut, die wiederum eine größere Kraft bei der Auslösung ausüben. Nachdem erkannt wurde, daß diese Änderung fatal für Kleinkinder und Kleinwüchsige ist, wurde vorgeschlagen, die Kraft mit der ein Airbag aufgeblasen wird um 20-30 % zu reduzieren. Für die Automobil-Hersteller besteht zumindest in den USA der dringende Bedarf nach Systemen, die eine eindeutige Kindersitz-, Sitzbelegungs- und Out-of-Position-Erkennung durchführen können.

Im zweiten Teil des Kapitels werden Systeme vorgestellt, die in der Lage sind eine Sitzbelegungs- oder Kindersitzerkennung durchzuführen. Daran schließt ein Überblick an Systemen an, die in nächster Zeit zur Verfügung stehen werden.

2.2 Innenraumschutz im Kfz-Innenraum

Der Innenraumschutz ist Teil der Diebstahlwarnanlage und soll das unbefugte Eindringen von Personen erkennen. Die Diebstahlwarnanlage (DWA) bildet mit der elektronischen Wegfahrsperre das Fahrzeugalarmsystem (FAS). Die Aufgabe der DWA ist es, nicht nur unbefugtes Eindringen, sondern auch Manipulationen am Fahrzeug zu erkennen und anzuzeigen. Ein optimaler Schutz ist gewährleistet, wenn schon die Zerstörung einer Scheibe erkannt wird.

Die Mindestanforderungen an die DWA werden durch die jeweiligen Versicherungs- bzw. Zulassungsvorschriften festgelegt. In der Europäischen Union müssen Fahrzeugalarmsysteme die Richtlinien 74/61/EG [24] bzw. 95/56/EG [25] erfüllen ([24] und [25] können bei [23] nachgeschlagen werden).

Die Richtlinie 95/56/EG stützt sich auf die älteren Richtlinien 70/156/EWG, 74/61/EG und 93/81/EG und beschreibt die Zulassungs- und die Prüfungsvorschriften. Die wichtigsten Bedingungen, die den Innenraumschutz betreffen, wurden in den folgenden Absätzen zusammengefaßt. Unter dem Begriff Fahrzeugalarmsystem (FAS) faßt die Richtlinie 95/56/EG alle Sicherungseinrichtungen gegen unbefugte Benutzung von Kraftfahrzeugen wie die Schließanlage, die DWA und die Elektronische Wegfahrsperre (EWS) zusammen. Das FAS muß mindestens das Öffnen einer Fahrzeugtür, der Motorhaube oder des Kofferraums erkennen und anzeigen (Außenhautüberwachung). Zusätzliche Maßnahmen wie der Innenraumschutz sind zulässig. Das Alarmsignal muß entweder akustisch, optisch oder per Funkalarm angezeigt werden. Die FAS und ihre Komponenten müssen so ausgelegt und eingebaut sein, daß es möglichst schwierig ist, sie außer Betrieb zu setzen oder rasch und unauffällig zu zerstören.

Die Prüfung des Innenraumschutzes wird mit einer 0,2 m × 0,15 m großen Platte durchgeführt. Sie wird auf einer Schiene durch ein offenes vorderes Fenster in einem Winkel von 45° zur Längsachse 0,3 m in den Innenraum mit einer Geschwindigkeit von 0,4 m/s eingeführt. Eine FAS in ge- und entschärftem Zustand darf keinen Alarm auslösen bei:

- Schlagprüfung:
  Ein halb kugelförmiger Gegenstand mit einem Durchmesser von 165 mm und einer Härte von 70 ± 10 Shore A wird mit einer Energie von $4,5$ Joule auf eine beliebige Stelle des Fahrzeugaufbaus oder der Verglasung geschlagen.

- elektromagnetische Prüfung:
  Die FAS muß den einschlägigen technischen Vorschriften, insbesondere hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) entsprechen.

- Batteriespannungsprüfung:
  Die Batteriespannung wird kontinuierlich um 0,5 V pro Stunde bis auf 3 V gesenkt.

- Prüfung der Innenraumüberwachung:
  Die Schlagprüfung wird fünfmal in 0,5 s Abständen wiederholt.
  Eine Person bewegt sich um das Fahrzeug herum und berührt es bei geschlossenen Fenstern.

Eigene Anforderungen werden von den Versicherungsgesellschaften erhoben, die sich je nach Land leicht unterscheiden. Zur Vollständigkeit wurden auch hier die wichtigsten Prüfbedingungen für den Innenraumschutz zusammengefaßt.

- Belgien: UPEA (ANPI) [18]
  Jedes FAS besteht aus einer EWS, einer Außenhautüberwachung, einer Innenraumüberwachung und einer Sirene mit einer eigenen Energieversorgung. Jeder Einbruchversuch muß optisch und akustisch angezeigt werden. Eine Innenraumüberwachung über Ultraschall- bzw. Ultrahochfrequenz- oder Mikrofondetektoren ist vorgeschrieben. Der Innenraumschutz darf nicht auf äußere Faktoren, wie z.B. Sonnenlicht, Luftzug außerhalb des Fahrzeugs, Luftdruckunterschiede, Außengeräusche oder jeglicher Art von elektromagnetischen Quellen ansprechen.

- Großbritannien: Thatcham [94]
  Das Öffnen der Türen, des Kofferraums, der Motorhaube und optional des Schiebedachs muß erkannt werden. Das FAS muß über eine eigene Stromversorgung verfügen und muß mindestens zwei der folgenden Zustände erkennen:

  - Bruch oder Entfernung der Verglasung
  - Bewegung innerhalb des Fahrzeugs
  - Lageveränderung/Anhebung des Fahrzeugs

  Ein Alarm muß aktiviert werden, wenn eine Person durch ein offenes Fenster zur Mitte des Fensters mit einer Bewegungsgeschwindigkeit zwischen 0,15 m/s und 1,5 m/s greift. Die Prüfung auf die Fehlalarm-Sicherheit ist eng an die Vorschrift 95/56/EG angelehnt.

- Niederlande: SCM/TNO Directive AA 02 [88]
  In den Niederlanden werden die FAS in drei Klassen eingeteilt:

  - Klasse 1 besteht allein aus der EWS und hat keine Überwachung und kann keine Alarmsignale ausgeben.
  - Klasse 2 besteht aus der EWS, einer Außenhautüberwachung, dem Innenraumschutz, dem akustischen und dem optischen Alarm.

  - Klasse 3 beinhaltet neben den Komponenten der Klasse 2 eine eigene Stromversorgung für die akustische Alarmausgabe und einen Neigungsgeber.

  Der Innenraumschutz muß auf Bewegungen mit Geschwindigkeiten zwischen
  $0{,}15\,\mathrm{m/s} \pm 0{,}05\,\mathrm{m/s}$ und $1{,}5\,\mathrm{m/s} \pm 0{,}5\,\mathrm{m/s}$
  reagieren. Bei Geschwindigkeiten über $2\,\mathrm{m/s}$ und unter $0{,}1\,\mathrm{m/s}$ ist eine Alarmauslösung nicht vorgeschrieben. Bewegungen, die länger als $0{,}5\,\mathrm{s}$ andauern, müssen als Eingriff erkannt werden. Der Innenraumschutz darf nicht auf Bewegungen reagieren, die kürzer als $0{,}3\,\mathrm{s}$ dauern.

- Schweden: BKK 91049
  Die Alarmauslösung muß bei Öffnen einer Türe, des Kofferraums, der Motorhaube oder beim Einschlagen der Scheiben erfolgen und akustisch sowie optisch angezeigt werden.

Höchste Priorität hat die Vermeidung von Fehlalarmen, da die Kfz-Hersteller Reklamationen von Kunden aufgrund von Fehlalarmen verhindern wollen. Aus der Sicht der Versicherungen, besteht nur dann ein vollständiger Versicherungsschutz gegen Diebstahl, wenn alle Fenster geschlossen sind. Bei einem Cabrio muß somit auch bei geöffnetem Verdeck der Schutz gewährleistet sein. Die Funktion des Innenraumschutzes wird durch die Verkleidung nicht beeinflußt. Sie wird aber durch das Fehlen der mechanischen Abdeckung im Fehlalarmverhalten beeinträchtigt. Fehlalarme bei einem geschlossenem Fahrzeug dürfen nicht durch Witterungseinflüsse, wie z.B. Hagel, starkem Wind, Regen, Schneefall und starkem Temperaturanstieg, ausgelöst werden. Bei geöffnetem Verdeck und ständigem Regen darf ein Alarm ausgelöst werden. Kein Fehlalarm darf ausgelöst werden, wenn auf eine der Glasscheiben ein Druck von $400\,\mathrm{N}$ ausgeübt wird, bei Anregung des Fahrzeugs zum Schaukeln, bei Luftbewegung innerhalb des Fahrzeugs verursacht durch starken Wind oder Sturm oder durch die Standheizung bzw. Standlüftung. Ebenso vorbei fahrende Fahrzeuge auf Raststätten an Autobahnen oder anderen Verkehrswegen, die Druckwellen erzeugen und jegliche Quellen, die in dem selben Frequenzbereich arbeiten wie der Innenraumschutz, dürfen keinen Alarm auslösen.

Die Diebstahlwarnanlagen von BMW bestehen hauptsächlich aus den folgenden Komponenten:

- Elektronisches Steuergerät:
  Das Steuergerät überwacht die Zustände aller Komponenten. Es aktiviert den Innenraumschutz $30\,\mathrm{s}$ nachdem die DWA geschärft wurde. Diese Wartezeit wurde eingeführt, um das Komfortschliessen der Fenster und des Schiebedachs zu ermöglichen. Liefert ein Sensor im geschärften Zustand ein Alarmsignal, dann aktiviert das Steuergerät die Notstromsirene zur akustischen und das Lichtmodul zur optischen Ausgabe des Alarms.

- Anzeige LED:
  Im Innenraum befindet sich eine LED, die den Modus und den Status der DWA anzeigt. Wurde das Fahrzeug korrekt verschlossen und arbeiten alle Komponenten einwandfrei, dann blitzt die Diode mit einer Frequenz von $2\,\mathrm{Hz}$. Tritt ein Fehler bei der Aktivierung der DWA auf, dann blitzt die LED $10\,\mathrm{s}$ mit $0{,}5\,\mathrm{Hz}$ und dann

mit 2 Hz. Wird der Innenraumschutz absichtlich deaktiviert, zeigt dies die Diode mit einem Dauerleuchten von 10 s an. Wurde während der Abstellzeit ein Alarm aktiviert, dann blitzt die Diode nach dem Aufsperren 10 s lang mit 0,5 Hz. Wurde kein Alarm aktiviert, erlischt die LED sofort.

- Notstromsirene:
  Die Notstromsirene soll unabhängig von der serienmäßig eingebauten Sirene einen Alarm akustisch ausgeben. Zusätzlich hat sie die Aufgabe, die Batteriespannung zu überwachen und bei einer Manipulation an der Batterie dies anzuzeigen. Hierzu werden in die Notstromsirene wiederaufladbare Batterien eingebaut, die die Energieversorgung unabhängig von der Fahrzeugbatterie machen.

- Neigungsgeber:
  Mit Hilfe des Neigungsgebers soll der Diebstahl der Reifen bzw. Räder und das Abschleppen des gesamten Fahrzeugs erkannt werden. Der Längs- und der Querwinkel werden bei der Aktivierung gespeichert und mit den aktuellen Winkeln ständig verglichen. Überschreitet die Winkeländerung einen Schwellwert, wird an das Steuergerät ein Alarm gemeldet. Der Schwellwert verhindert einen vorzeitigen Alarm bei kleinen Winkeländerungen, die auch durch Schaukeln des Fahrzeugs zustande kommen.

- externe Schalter:
  Alle Türen und Hauben sind mit Schalterkontakten versehen, mit denen die korrekte Schließung ermittelt werden kann. Ist bei Aktivierung der DWA mindestens eine der Türen oder Hauben geöffnet, wird dieser Zustand dem Steuergerät übermittelt, welches über die Anzeige LED den Fahrer informiert. Wird bei aktiver DWA eine Tür oder Haube geöffnet, dann wird ein Alarm an das Steuergerät gemeldet.

- Innenraumschutz:
  Der Innenraumschutz soll den Innenraum volumetrisch überwachen und ein Eindringen eines Objektes detektieren. Die Hauptprinzipien, die zur Detektion eingesetzt werden, sind der Dopplereffekt beim Funk-Innenraumschutz, das Puls-Echo- und das Stehwellen-Verfahren beim Ultraschall-Innenraumschutz.

Der Überwachungsbereich der Innenraumüberwachung ist bei den meisten Fahrzeugklassen ähnlich. Bei Limousinen und Cabrios müssen die Sitzflächen, die Mittelkonsole und der Amaturenbereich mit Handschuhfach überwacht werden. Beim Touring und Off-Roader erweitert sich der Bereich um den Gepäckraum.

Da die DWA nur im Zustand des abgestellten Fahrzeugs zum Einsatz kommt, ist die Anforderung an den Energieverbrauch sehr kritisch. Bei einer Betriebsspannung von 12 V wird – neben kurzzeitigen Erhöhungen des Stromverbrauchs – ein maximaler Strom von 0,1 mA gefordert.

Die Prinzipien des Funk- und des Ultraschall-Innenraumschutzes werden in den zwei folgenden Unterabschnitten etwas genauer vorgestellt. Daneben werden noch weitere Prinzipien angewendet, die aber nicht sehr verbreitet sind. Unter anderem werden Infrarot-Quellen verwendet,die Impulse aussenden, und Infrarot-Empfänger, die eine Veränderung der empfangenen Impulse messen. Andere Systeme verwenden Luftdruck-Sensoren, die

eine Änderung des Luftdrucks messen, wenn z.B. eine Scheibe eingeschlagen wird oder eine Person in das Fahrzeug eindringt. Es werden auch Sensoren eingesetzt, die die Erschütterungen bei solchen Ereignissen messen. Alle drei genannten Verfahren und andere, die nicht so verbreitet sind, neigen zu Fehlalarmen, da viele natürliche Quellen in den Bereichen der Sensoren existieren.

2.2.1 Funk-Innenraumschutz (FIS)

Der FIS baut im Innenraum mit planaren Antennen ein elektromagnetisches Feld auf. Die Sender arbeiten bei einer Frequenz von 2,45 GHz, wobei sie völlig verdeckt eingebaut werden können. Das Prinzip der Überwachung beruht auf dem Dopplereffekt. Das gesendete und das empfangene Signal werden ständig verglichen. Ein Eingriff einer Person in den Innenraum führt zu einer Verschiebung der Frequenz des empfangenen Signals. Aus dieser Verschiebung kann bei einer Überschreitung einer Alarmschwelle ein Alarmsignal abgeleitet werden.
Der FIS wird zur Zeit nur noch in wenigen Fahrzeugen serienmäßig eingesetzt, da die Einstellung der Empfindlichkeit sehr kritisch ist. Stellt man den FIS empfindlich ein, häufen sich die Fehlalarme, die durch Reflexionen an vorbei fahrenden Fahrzeugen, wie z.B. Lkws oder Straßenbahnen, erzeugt wurden. Da Glas für die Funkwellen bei dieser Frequenz kein Hindernis darstellt, funktioniert dieser Innenraumschutz sowohl bei geöffneten als auch bei geschlossenen Fenstern. In offenen Fahrzeugen überwacht der FIS nur den Fußraum, da durch das Verdeck zu viele Störungen in das Fahrzeug gelangen können.

2.2.2 Ultraschall-Innenraumschutz (USIS)

Der USIS sitzt mittig am Dachhimmel und überwacht mit jeweils zwei Sensorpaaren den vorderen und hinteren Innenraum (siehe Abb. 3.1 Position Nr. 5). Ein akustisches Signal mit einer Frequenz von ca. 40 kHz wird von einem oder mehreren Sendern in den Innenraum ausgestrahlt. Die Empfänger nehmen das reflektierte Signal auf und führen diese der Auswertung zu.
Der USIS benutzt zwei Stufen, um den Energieverbrauch niedrig zu halten. In der ersten Stufe wird ein Puls-Echo-Verfahren eingesetzt, in dem ein Puls ausgestrahlt und das reflektierte Signal auf Veränderungen ausgewertet wird. Wird ein definierter Schwellwert überschritten, schaltet das Steuermodul des USIS auf ein Stehwellen-Verfahren. Hierzu wird eine stehende Welle im Innenraum erzeugt, die durch eine Bewegung im Überwachungsraum verändert wird. Wird bei der zweiten Stufe ebenfalls ein Schwellwert überschritten, dann wird ein Alarm ausgeben.

Der USIS kann nicht in offenen Fahrzeugen eingesetzt werden. Ebenso komplett geöffnete Fenster, andere Ultraschall-Quellen, wie Fahrzeuge mit gleichartigen Systemen, LKW-Verkehr (Druckluftbremsen) und Schienenfahrzeuge, können Störungen verursachen, die zu Fehlalarmen führen. Teilweise geöffnete Fenster stellen für den USIS kein Problem dar.

2.2.3 Tendenzen des Diebstahlschutzes

Wie die vorhergehenden Abschnitte gezeigt haben, existieren für die bestehenden Systeme viele Einschränkungen. Durch den Druck die Fehlalarm-Rate so niedrig wie möglich zu halten, konnten sich letztendlich nur zwei Systeme für den Innenraumschutz durchsetzen.

Tendenzen sind in der Verbesserung der bestehenden Verfahren zu erkennen. Eigentlich existiert nur ein Verfahren zur volumetrischen Überwachung. Diese basiert auf die Aussendung und dem Empfang von Wellen. Ein Eingriff führt zu einer Änderung der empfangenen Wellen. Die Systeme unterscheiden sich durch den Bereich, in dem die Wellen ausgesandt und empfangen werden. Bei dem USIS ist es der Ultraschall-Bereich und bei dem FIS der Funkwellen-Bereich (Ultrahochfrequenz). Weitere Entwicklungen gehen in den Radar-Bereich, in dem Entfernungsmessungen möglich sind. Hier zeigen sich aber Nachteile in der Verteilung des Überwachungsbereichs, da diese immer kugelförmig sind.

Neue Systeme zum Innenraumschutz sollten grundsätzlich in allen Fahrzeugen einsetzbar sein (offene Fahrzeuge), die Größe von Objekten berücksichtigen und die Möglichkeit besitzen, den Ort und die Richtung des eindringenden Objekts zu bestimmen. Die Innenraumüberwachung auf Basis eines optischen Sensors bietet einige Möglichkeiten, die über die der bestehenden Systeme hinausgehen [91, 93]. Da sie im sichtbaren Bereich arbeiten, existieren viele Störquellen, wie z.B. Scheinwerfer von anderen Fahrzeugen, Lichtquellen in Tiefgaragen, Sonnenlicht und Schatten von Personen oder anderen Objekten. Die Bildakquisition und die Auswertung hinsichtlich eines optischen Innenraumschutzes werden in Kapitel 3 und Kapitel 4 vorgestellt.

2.3 Präsenzsensorik im Kfz-Innenraum

Die Präsenzsensorik im Allgemeinen befaßt sich mit der Detektion der Anwesenheit von Objekten. Die allgemein bekannten Präsenzsensoren sind passive Infrarotsensoren, die durch Messung von Temperaturänderungen die Präsenz von Personen feststellen. Leider reagieren diese Sensoren auch auf Temperaturänderungen, die durch andere Objekte erzeugt werden, wie z.B. Haustieren oder Luftströmen.

Die Präsenzsensorik im Kraftfahrzeug, die in der letzten Zeit zunehmend wichtiger wird, beinhaltet die Detektion der Anwesenheit von Objekten, des Ortes und der Bewegung im Kfz. Darunter fällt die Sitzbelegungserkennung (SBE), die Kindersitzerkennung (KSE), die *Out-of-Position* (OOP) Erkennung und die *Keep-out-Zone* (KOZ) Erkennung. Systeme, die mehrere Zustände erkennen können, werden auch Smart-Airbag Systeme genannt.

Die folgenden Kapitel sollen einen Überblick über die im Moment verwendeten Systeme zur Präsenzsensorik im Kfz geben. Daran anschließend folgt ein Kapitel, das sich mit Verfahren beschäftigt, die sich im Moment in der Forschung bzw. Entwicklung befinden.

2.3.1 Die Sitzbelegungserkennung

Die Sitzbelegungserkennung (SBE) dient momentan hauptsächlich zur Erfassung des Belegungszustandes auf dem Beifahrersitz. Eine Erweiterung des Überwachungsbereichs in den Fondbereich ist denkbar, sobald vermehrt Airbag-Systeme im Fondbereich angeboten werden. Die Belegung eines Sitzes besteht aus den zwei Zuständen:

- Sitz nicht belegt,
- Sitz belegt.

Die Entscheidungsschwelle, ob ein Sitz belegt oder nicht belegt ist, hängt vom jeweiligen Meßverfahren ab. Zur Entscheidung, ob ein Sitz belegt ist oder nicht, orientiert man sich an den Werten eines Kleinkindes (siehe Abschnitt 2.3.1.1). Nach dem Starten des Motors, wird die Belegung des Sitzes als belegt angenommen, solange von der SBE keine eindeutige Informationen vorliegen. Bei Auftreten eines Fehlerfalles, wird – im Moment – die Auslösung des Airbags freigegeben.

Die SBE wurde aus Kostengründen entwickelt, da durch die Zündung eines Beifahrer-Airbags die Windschutzscheibe und die Instrumententafel zerstört werden. Mit dem Airbag-Generator zusammen entstehen Kosten in Höhe von ca. 10.000 DM, die bei einem unbelegten Beifahrersitz nicht notwendig sind. Eine Hochrechnung des Allianz-Zentrum Technik GmbH [48] schätzt, daß die Reparaturkosten durch unnötige Auslösungen auf dem Beifahrersitz im Jahr 2000 bei ca. 70 Millionen Mark liegen.

Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Sitzbelegungserkennungen sind nach der Art der verwendeten Sensoren unterteilt.

2.3.1.1 Dehnungsmeßstreifen (DMS)

Von der Firma International Electronics and Engineering (IEE [38]) wird das System *Passenger Presence Detection* angeboten, das in der Lage ist, eine Sitzbelegungserkennung durchzuführen. Das System besteht aus einer Matte, in der Gewichtssensoren verteilt integriert sind und die Gewichtsverteilung des Objektes messen. In der Abb. 2.3 ist diese Matte abgebildet. Bei Objekten, deren Gewicht über 12 kg und der Durchmesser der Sitzfläche über 120 mm liegt, wird davon ausgegangen, daß der Airbag im Crash-Fall auslösen soll. Die festgelegten Grenzwerte repräsentieren ein drei Jahre altes Kind mit einem Durchmesser der Sitzfläche von 120 mm. Die Anordnung der einzelnen Sensoren in der Matte orientiert sich, wie in Abb. 2.4 zu sehen ist, an der Form der menschlichen Sitzfläche. Die Elektronik zur Auswertung des Gewichts kann mit der Matte im Sitz integriert werden. Von dieser Auswertung werden die entsprechenden Telegramme zum Airbag-Controller geschickt. Vorteilhaft für die Funktion wirkt sich der Einbauort der Sensormatte aus. Durch die Integration im Sitz ist es für die Benutzer unsichtbar und paßt sich jeder Sitzverstellung an.

Ein weiteres System, welches auf dem *Passenger Presence Detection* von IEE aufbaut, wurde in Kooperation von IEE und Siemens [84] entwickelt. Dieses System basiert auf

Abbildung 2.3: Sitzbelegungserkennung mit Sensormatte

der SBE mittels Dehnungsmeßstreifen (siehe Abb. 2.3 und Abb. 2.4). Nachdem die Präsenz eines Objektes detektiert wurde, bei dem eine Auslösung des Airbags im Crash-Fall sinnvoll ist, werden weitere Messungen, wie z.B. die Gewichtsverteilung (siehe Abb. 2.5 links), der Schwerpunkt und die Position des Objektes auf dem Sitz, dynamisch durchgeführt. Diese Meßwerte werden mit statistischen Daten verglichen und führen zu einer Klassifikation des Objekts in verschiedene Klassen. Je nach Klasse soll es möglich sein, die optimale Auslösegeschwindigkeit und Größe des Airbags zu bestimmen. In Abb. 2.5 sind einige Objektklassen beispielhaft dargestellt. Neben den geringen Kosten durch die günstige Integration, ist der Einbauort, wie bei der *Passenger Presence Detection*, ein großer Vorteil des Systems. Zusatzkosten entstehen durch die erweiterte Elektronik für die Auswertung.

Siemens Automotive hat eine SBE (*Weight Classification System*) entwickelt, die aus vier Dehnungsmeßstreifen besteht und eine Klassifikation bezüglich des Objektgewichts durchführt. Die DMS werden unter den vier Eckpunkten des Sitzes montiert, und aus den Meßwerten der vier Sensoren wird das Gewicht und der Schwerpunkt des Objekts auf dem Sitz berechnet. Der Aufbau des Systems und ein Sensor ist in Abb. 2.6 dargestellt. Nach

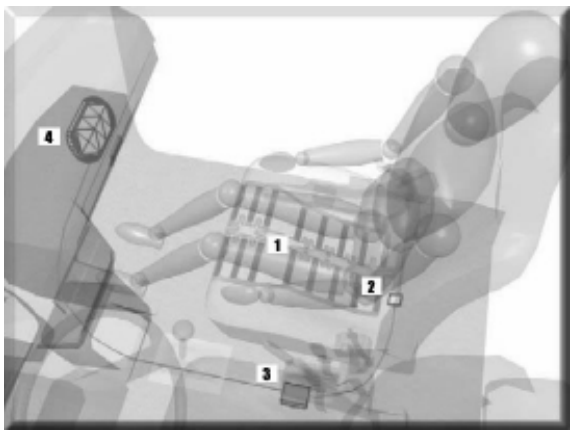

Abbildung 2.4: Sensormatte zur SBE

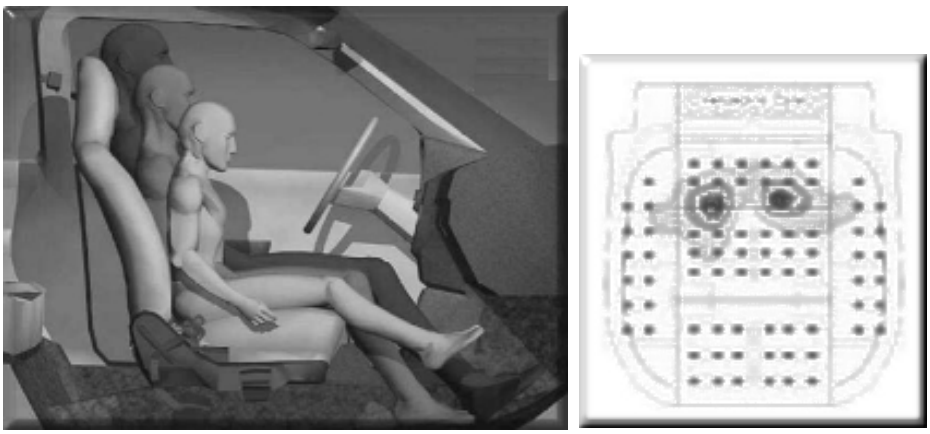

Abbildung 2.5: Klassifikation von Personen mit der Gewichtsverteilung

der Bestimmung des Gewichts werden die Objekte in vier Klassen eingeteilt:

- Leer
- Kind (sechs Jahre alt)
- kleine Person
- große Person

Durch die Bestimmung des Schwerpunktes werden drei Zonen (rot, gelb und grün) aufgespannt, die jeweils unterschiedliche Aktionen in einem Ernstfall auslösen. In der roten Zone, ist der Abstand zwischen Objekt und Airbag so nah, daß die Auslösung des Airbags unterdrückt wird. Die gelbe Zone kann bei einem zweistufigen Airbag die Auslösung der ersten Stufe freigeben. In der grünen Zone befindet sich das Objekt in der korrekten Position und der Airbag kann vollständig gezündet werden.

Wie alle Systeme, die auf der Messung des Objektgewichts basieren, ist die Klassifikation bezüglich Person, Kindersitz und anderen Objekten nicht eindeutig. Zusätzlich birgt der

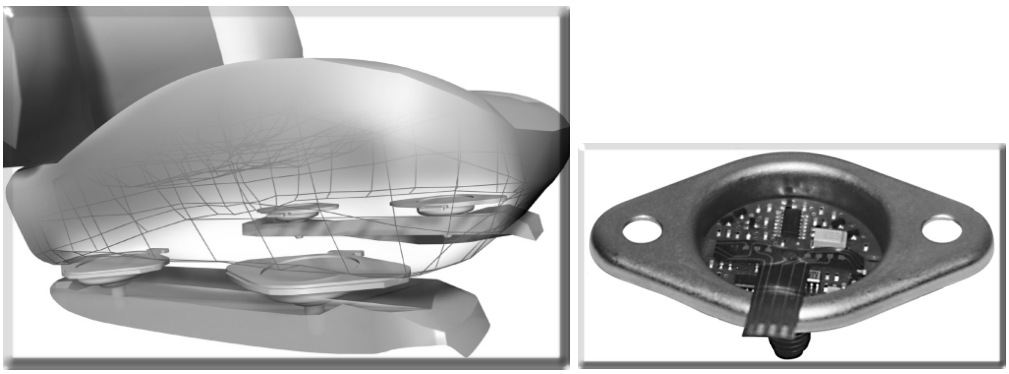

Abbildung 2.6: Gewichtsklassifikation

Eingriff in die Konstruktion vorhandener Sitzgestelle Risiken in Bezug auf die Crash-Sicherheit.

2.3.1.2 Piezoelektrische Kabel

Von BMW wurde ein System zur SBE entwickelt, welches auf dem piezoelektrischen Effekt basiert. Im Sitz wird ein Kabel, das aus einem piezoelektrischen Werkstoff besteht, mäanderförmig verlegt. Eine Person, die sich auf dem Sitz befindet, wird in der Regel nicht vollständig ruhen, so daß eine Auswertung der Spannungsänderungen zu einer SBE führt. Objekte, die sich auf dem Sitz befinden, werden während der Fahrt ebenfalls Bewegungen ausführen, welche auch zu Spannungsänderungen an den piezoelektrischen Kabeln führen. Sind diese Änderungen groß genug, kann es zu einer Fehleinschätzung des Systems kommen. Aus diesem Grund ist dieses Prinzip nicht zur Kindersitzerkennung (KSE) geeignet. Bei Personen, die sich wenig bewegen oder schlafen, besteht bei diesem Verfahren das Risiko, nicht richtig klassifiziert werden.

Ein weiter entwickeltes System von Autoliv [5] beruht auf dem gerade vorgestellten System von BMW. Dieses System überwacht nicht die Änderungen der Spannungen am Kabel, sondern die Frequenz der Änderungen und wertet diese aus. Grundlage ist hierbei die Tatsache, daß die Schwingungen eines unbelegten Sitzes mehr hochfrequente Spektralanteile besitzen, als die eines belegten Sitzes.

2.3.1.3 Lichtwellenleiter

Bei dem von TEMIC [90] entwickelten System werden unter den Schienen der Sitze Lichtwellenleiter (LWL) verlegt, die durch das Gewicht des Sitzes und der Objekte auf dem Sitz ihre Dämpfungseigenschaft verändern. Die Änderungen der Dämpfung werden gemessen und ausgewertet. Ein Problem stellt die Montage unter den Sitzschienen dar, da das Sitzgestell auch mit diesem System den Crash-Anforderungen entsprechen muß. Wie bei den SBE Systemen, die das Merkmal Gewicht benutzen, ist eine eindeutige Klassifikation der Objekte nicht möglich, wodurch die KSE für diese Systeme entfällt. Weiterhin existiert bei diesen Verfahren das Problem, daß sich die Gewichtsverteilung durch die Dynamik des Fahrzeugs während der Fahrt rapide verändern kann.

2.3.2 Die Kindersitzerkennung

Seit dem 1. September 1997 ist eine Änderung der Straßenverkehrsordnung (StVO) in Kraft getreten, die die Mitnahme eines rückwärtsgerichteten Kindersitzes (Reboard-Kindersitz) auf einem Beifahrersitz mit Airbag verbietet. In allen Fahrzeugen mit Beifahrer-Airbag muß eine gut sichtbare Plakette angebracht sein. Die Plakette muß mindestens 6 cm groß, auffällig gefärbt sein und die Lebensgefahr zeigen, die einem Kleinkind auf einem Beifahrersitz mit Airbag droht. Sie muß so angebracht sein, daß sie bei einem Einbau eines rückwärtigen Kindersitzes nicht übersehen werden kann. Diese Änderung der StVO stellt die Wichtigkeit dieses Problems dar, wobei sie nicht verhindern kann, daß es trotzdem zu weiteren tragischen Fällen kommen kann [13].

Abbildung 2.7: Reboard-Kindersitz

Wie schon in Abb. 2.1 gezeigt wurde, darf bei einem Beifahrer-Airbag ein Reboard-Kindersitz nicht auf dem Beifahrersitz befestigt werden. Da aber immer mehr Airbag-Systeme in den Fahrzeugen eingebaut werden, ist es – besonders bei Kfz mit nur zwei Sitzplätzen wie in Abb. 2.7 – unumgänglich, entweder eine Kindersitzerkennung zu realisieren oder eine manuelle Abschaltung zu ermöglichen. Die Aufgabe der Kindersitzerkennung ist es also, die Anwesenheit eines Kindersitzes von der Anwesenheit einer Person zu unterscheiden. Wird ein Kindersitz detektiert, müssen die entsprechenden Airbags deaktiviert werden.

2.3.2.1 Resonatoren

Siemens Automotive und IEE haben in Zusammenarbeit ein System zur KSE entwickelt. Bei diesem System werden zwei Resonatoren bei der Herstellung in jedem Kindersitz eingebaut. Im Sitz werden Antennen integriert, die abwechselnd senden und empfangen. Das von den Antennen ausgesandte Signal wird von den Resonatoren moduliert und von den Antennen wieder empfangen. Dieses System ist in der Lage, die Präsenz, den Typ und die Orientierung des Kindersitzes zu erkennen. Die Antennen können dabei leicht auf die Sensor-Matte gedruckt (siehe Abschnitt 2.3.3.4) und die Elektronik zur Auswertung im Sitz integriert werden. Auch hier wirkt sich der Einbauort, wie bei den anderen Systemen, positiv auf die Funktion aus. Ein großer Nachteil ist der Aspekt die Kindersitze mit Resonatoren auszustatten, da die Kindersitzerkennung Kindersitze ohne Resonatoren nicht erkennen kann. Um dies zu verhindern, müßte der jeweilige Kfz-Hersteller in allen Märkten Kindersitze mit Resonatoren anbieten und sicherstellen, daß Kindersitze ohne Resonatoren nicht eingesetzt werden. Dieses System wird von Daimler-Chrysler seit der Einführung im SLK-Roadsters serienmäßig eingebaut.

2.3.2.2 Transponder

Delphi Automotive Systems [16] bietet eine KSE an, der einen Transponder verwendet. Der Transponder, der auf eine ganz bestimmte Frequenz eingestellt ist, wird im Kindersitz

montiert. Bei diesen Transpondern, die auch Tag genannt werden, handelt es sich um einen auf diese Frequenz abgestimmten Schwingkreis. Diese Tags werden häufig in Kaufhäusern zu Sicherung der Ware eingesetzt. Stellt man nun einen mit diesem Tag ausgestatteten Kindersitz in ein vorbereitetes Fahrzeug, wird das von einem Sender aufgebaute Feld gedämpft. Eine Empfangsantenne registriert die Beeinflussung und wertet diese derart aus, daß die Airbags deaktiviert werden können. Dieses System ist der KSE mit Resonatoren von IEE ähnlich, jedoch werden keine zusätzlichen Informationen über den Kindersitz übertragen. Auch hier müssen die Kindersitze speziell ausgerüstet sein, um die Funktion der KSE nutzen zu können. Zusätzlich kann es zu einer Fehlfunktion kommen, wenn Objekte mit Tags behaftet sind, die keine Kindersitze sind. Durch den massenhaften Einsatz der Tags ist der Systempreis für diese KSE gering.

2.3.3 Smart-Airbag Systeme

In [32] werden Änderungen bezüglich der Crash-Sicherheit von der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) angekündigt. Seit geraumer Zeit beschäftigen sich die Automobilhersteller mit der Entwicklung von Smart-Airbag Systemen, die den neuen Anforderungen entsprechen [45]. Smart-Airbag Systeme wurden zunächst als Systeme konzipiert, die nicht nur eine intelligente Objektdetektion und Klassifikation beinhalten, sondern auch, dem Unfall angepaßt, die unterschiedlichen Airbags zünden. Im Moment werden schon Airbags, die in zwei Stufen zünden können, als Smart-Airbag angeboten. Ideal wären Generatoren, die eine stufenlose Zündung anbieten würden. Die in diesem Abschnitt vorgestellten Methoden sind Teile eines Smart-Airbag Systems, die neben der Sitzbelegungserkennung auch eine Kindersitzerkennung und optional eine OOP-Erkennung ermöglichen.

In Abschnitt 2.3.3.4 werden Systeme vorgestellt, die eine Kombination von Sensoren benutzen, um die unterschiedlichen Anforderungen an ein Smart-Airbag System erfüllen zu können.

Abbildung 2.8: Kindersitzerkennung mit Resonatoren

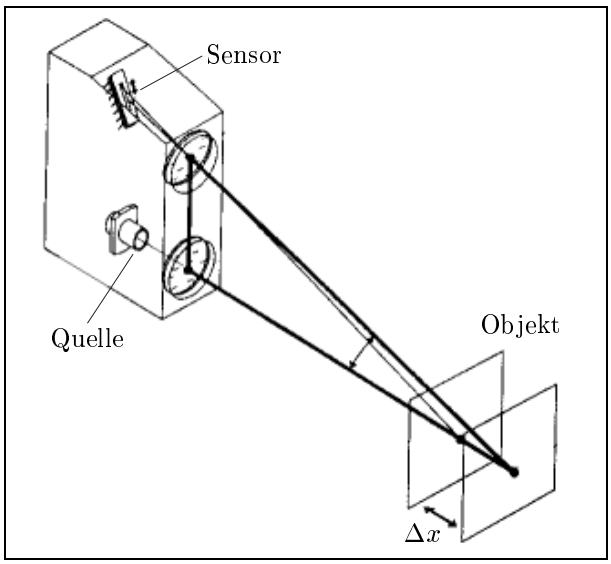

Abbildung 2.9: Schema eines Triangulationssystems

2.3.3.1 Smart-Airbag Systeme mittels kapazitiver Messung

Das *Passenger Sensing System* (PSS) kann mit flexiblen Antennen im Beifahrersitz spezifische Veränderungen elektrischer Felder messen und nach Sitzbelegung und Sitzposition des Passagiers die Auslösestrategie des Airbags bestimmen. Unter dem Sitzbezug sind in der Lehne und der Sitzfläche jeweils zwei Antennen untergebracht, die abwechselnd Sender und Empfänger sind. Dieses Verfahren nutzt die Zusammensetzung des menschlichen Körpers, das einen hohen Wasser- und Salzgehaltes besitzt, aus. Messungen haben ergeben, daß die Dielektrizitätskonstante ϵ_r des menschlichen Körpers bei etwa 80 liegt. Da die Dielektrizitätskonstanten der Materialien, die normalerweise auf dem Sitz eines Kfz gelangen, wesentlich niedriger sind, können die von der Matrix gemessen Werte zur SBE ausgewertet werden. Die Empfindlichkeit der Sensoren reicht aus, Kleinkinder in Reboard-Kindersitzen und sogar Personen, die Out-of-Position sind, zu erkennen. Probleme existieren bei Objekten, die eine ähnliche Dielektrizitätskonstante wie der menschliche Körper besitzen (z.B. nasse Kleidung).

2.3.3.2 Triangulationssensoren

Von der Daimler-Chrysler Tochter TEMIC [90] und vom Ingenieur Büro Spies (IBS) wird ein System angeboten, das mit dem Prinzip der Triangulation acht Entfernungen zum Beifahrersitz mißt. Der Einbauort ist in Höhe des Rückspiegels, von dem der Beifahrersitz vollständig einsehbar ist. Als Lichtquelle werden Infrarotdioden benutzt, die eine Wellenlänge im nahen Infrarot-Bereich besitzen. Ein Triangulationssystem ist in Abb. 2.9 schematisch dargestellt. Die Quelle projiziert über die Fokuslinse einen Punkt auf das Objekt, der durch Reflexion über die Abbildungslinse auf dem Sensor abgebildet wird. Wird das Objekt um die Strecke Δx bewegt wandert der Punkt auf dem Sensor ebenfalls. Der abgebildete Punkt auf dem Sensor korrespondiert also mit der Entfernung zwischen Triangulationssystem und Objekt.

Das von TEMIC vorgeschlagene Systeme projiziert acht Punkte, die die Kontur des Beifahrersitzes bzw. der darauf befindlichen Objekte darstellen sollen. Die Konturen sind ausreichend differenziert, um die SBE, KSE und die OOP-Erkennung zu realisieren. Nachteile des Systems sind die große Bauhöhe, da die Entfernungsauflösung – bei gleichbleibender Elektronik und Optik – von dem Abstand zwischen Sender und Empfänger abhängt und die Möglichkeit der Abschattung, sowie der Verschmutzung der Optik, welches die Funktion erheblich beeinträchtigen kann. Ein noch zu lösendes Problem stellt die große Dynamik der Beleuchtungsstärke im Außenbereich dar. Sie reicht von unter 100 $m$lx bis über 10 $k$lx bei starker Sonnenstrahlung. Um die von den Infrarot-Dioden auf dem Objekt projizierten Punkte zu detektieren, muß die Beleuchtungsstärke P_{Dioden} der Dioden, multipliziert mit dem minimalen Reflexionsfaktor $\rho_{niedrig}$, größer als die *Noise Equivalent Power* (NEP) des Sensors sein [91]. Die NEP ist die Strahlungsleistung, bei der die Ausgangsspannung gleich der Rauschspannung des Sensors ist.

$$\rho_{niedrig} P_{Dioden} > NEP_{Sensor} \tag{2.1}$$

Das von der Takata Corporation angebotene System kombiniert ein Triangulationssystem mit einer direkten Gewichtsbestimmung. Das Gewicht wird mit einer Art Ballon gemessen, das unter der Sitzfläche befestigt ist. Beide Meßwerte werden kombiniert und in einer Objektklassifikation ausgewertet. Die Auswertung berücksichtigt neben der Bewegung des Objekts und der Historie auch statistische Merkmale. Durch die Einpunktmessung ist es möglich, daß bei einer Verdeckung der Optik eine korrekte Aussage ausgeschlossen wird. Weiterhin ist es unklar, ob die Kombination der beiden Merkmale eine eindeutige Aussage überhaupt ermöglicht.

2.3.3.3 Ultraschallsensoren

TRW Automotive [98] benutzt zur SBE und KSE drei Ultraschallsender und -empfänger. Wie beim *Adaptive Airbag System* von Autoliv wird aus der Veränderung des Feldes die Belegungsart bestimmt. Eine Abdeckung aller Sender bzw. Empfänger gleichzeitig ist sehr unwahrscheinlich. Doch Fehlentscheidungen durch Störeinflüsse sind aufgrund des Wellenlängenbereichs von Ultraschall, wie schon von Diebstahlwarnanlagen bekannt, leicht möglich. Breed Technologies Inc. entwickelte ein System mit vier Ultraschallsendern und -empfänger, die im Beifahrersitzbereich verteilt angeordnet sind. Wie in Abb. 2.10 dargestellt ist messen die Sensoren die Entfernung zu dem Objekt auf dem Beifahrersitz. Diese Entfernungen werden in der Auswertung zu einem 2,5-D Bild zusammengesetzt und erlauben dem System unterschiedliche Situationen zu unterscheiden. Die Messungen werden in 50ms Schritten wiederholt, so daß eine dynamische OOP-Erkennung möglich ist. Da dieses Prinzip Ultraschallwellen benutzt, kann es durch fremde Quellen, wie z.B. Geräusche im Fahrzeug mit ähnlicher Frequenz oder bewegte Gegenstände im Innenraum, wie z.B. Fliegen, zu falschen Entscheidungen kommen. Die Montage der vier Sender und Empfänger ist sehr aufwendig und hat hohe Systemkosten zur Folge. Andererseits ist eine Abschattung aller Sensoren gleichzeitig nahezu unmöglich.

Das *Adaptive Airbag System* von Autoliv ist wie das Ultraschallsensor-System von Breed ausgestattet und benutzt darüber hinaus noch 4 Dehnungsmeßstreifen (DMS) in den Füßen des Sitzgestells, um das Gewicht des Objekts auf dem Sitz zu messen. Das Sitzgestell

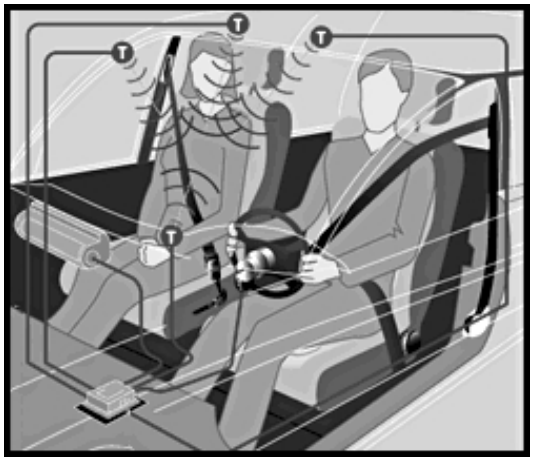

Abbildung 2.10: Adaptive Airbag System

muß trotz der DMS den Crash-Test-Anforderungen genügen, die nur durch große Änderungen an der Konstruktion des Sitzgestells erreicht werden können.

2.3.3.4 Multisensor-Systeme

Aufgrund der Kombination mehrerer Systeme, die mit verschiedenen Sensorprinzipien arbeiten, ist ein Multisensor-System erst in der Lage die Anforderungen eines Smart-Airbag Systems zu erfüllen und wird daher zu dieser Kategorie gezählt.

Siemens Automotive und IEE haben in Zusammenarbeit ein System zur KSE und SBE entwickelt. In diesem System werden je zwei Resonatoren bei der Herstellung in jedem Kindersitz verbaut. Im Sitz werden Antennen integriert, die abwechselnd senden und empfangen. Das von den Antennen ausgesandte Signal wird von den Resonatoren moduliert und von den Antennen wieder empfangen. Dieses System ist in der Lage, die Präsenz, den Typ und die Orientierung des Kindersitzes zu erkennen. Ein wesentlicher Vorteil dieses Systems ist, daß es mit dem *Passenger Presence Detection* System und dem *Occupant Classification* System kombiniert werden kann. Die Antennen können dabei leicht auf die Sensor-Matte gedruckt und die Elektronik zur Auswertung im Sitz integriert werden. Auch hier wirkt sich der Einbauort, wie bei den anderen Systemen, positiv auf die Funktion aus. Ein großer Nachteil ist der Einsatz der Resonatoren, da bei einem Kindersitz ohne Resonatoren die Funktion der Kindersitzerkennung nicht mehr erfüllt werden kann. Um dies zu verhindern, müßte der jeweilige Kfz-Hersteller in allen Märkten Kindersitze mit Resonatoren anbieten.

Breed Siemens Restraint Systems (BSRS [12]) ist ein Joint Venture der Unternehmen Breed Technology und Siemens Automotiv zur Entwicklung von Sicherheitssystemen im Automobilbereich. Das *Occupant Position Detection* besteht aus Infrarotsendern und -empfängern, die im Bereich des Innenspiegels angebracht sind und den Bereich eines Sitzes beobachten. Über diesen Bereich werden sog. Infrarot-Vorhänge gezogen Abb. 2.12. Mit dieser Anordnung ist es möglich die Position des Objekts (Person) zum Airbag zu bestimmen und eine OOP-Erkennung durchzuführen. Abb. 2.12 zeigt schematisch die

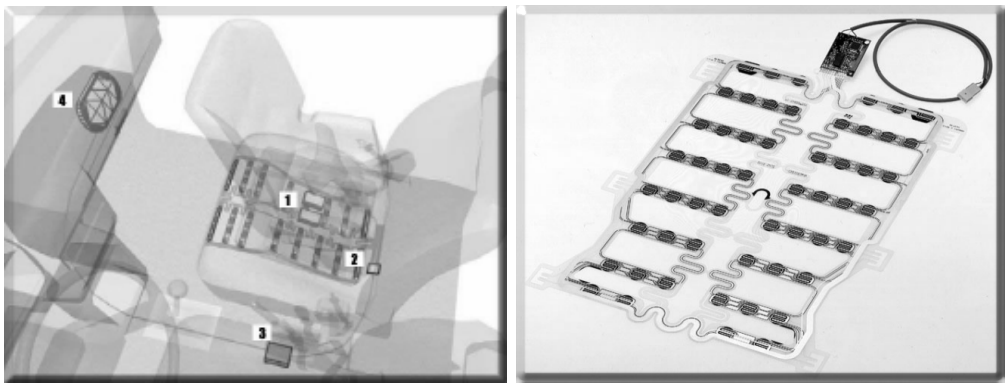

Abbildung 2.11: KSE mit Resonatoren

Funktionsweise dieses Systems, wobei von links nach rechts die Rückansicht, die Draufsicht und die Seitenansicht zu sehen ist.

Das *Automotive Occupancy Sensor* (AOS) von der Robert Bosch GmbH [72] ist ein Dachmodul, das Infrarot- und Ultraschallsensoren beinhaltet. Der infrarotempfindliche Teil besteht aus einer 4×7 Matrix von passiven Infrarotsensoren, die im Fern-Infrarot-Bereich empfindlich sind. Durch die Hinzunahme der Ultraschallsensoren, werden Fehlentscheidungen, die von passiven Infrarotsensoren bekannt sind, vermieden. Passive Infrarotsensoren reagieren auf jegliche Temperaturänderungen, die nicht nur von Personen verursacht sein müssen, sondern auch z.B. durch Sonnenstrahlung hervorgerufen werden können. Das AOS bietet die Möglichkeit die SBE, KSE und OOP-Erkennung durchzuführen. Es ist aber aufgrund der zwei Meßprinzipien grundsätzlich teuerer als andere Systeme mit nur einem Meßprinzip. Zusätzlich besteht durch die kompakte Integration in ein Modul die Gefahr der Abdeckung.

Von TEMIC wird eine intelligente Airbag-Elektronik „ADONIS“ (Adaptive Omni-Directional Intelligent Safety System) angeboten. ADONIS bietet eine OOP-Erkennung des Fahrers und Beifahrers, einen vorausschauenden Kollisionsschutz, eine der Intensität des Crashs angepaßte Zündung der Airbags in einzelnen Stufen und eine personenbezogene Aktivierung der Airbags. Eine genaue Beschreibung der Meßprinzipien wurde bislang von

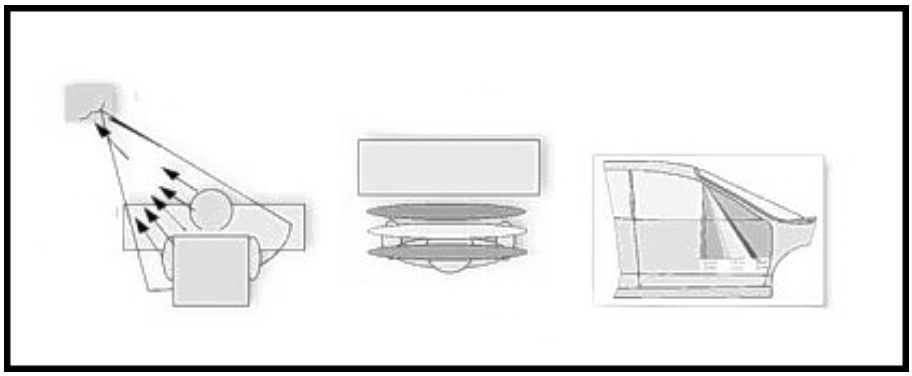

Abbildung 2.12: Occupant Position Detection von BSRS

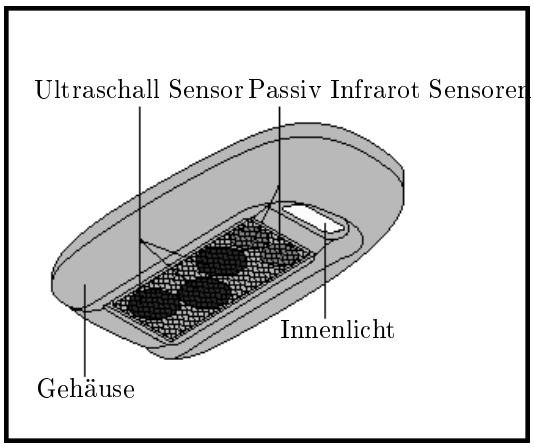

Abbildung 2.13: AOS von Bosch

TEMIC nicht veröffentlicht.

2.3.4 Tendenzen der Sitzbelegungs- und Kindersitzerkennung

Die Systeme, die in diesem Abschnitt vorgestellt werden, sind teilweise in der Forschung oder Entwicklung. Es handelt dabei um neue Meßprinzipien, die aus anderen Bereichen entliehen sind. Der Einsatz dieser Meßprinzipien wurde z.B. durch die rasante Entwicklung im Mikroelektronikbereich möglich (CMOS). Ob diese Systeme, die Vorhandenen ablösen können, muß noch in intensiven Test geprüft werden. Weiterhin muß die Frage beantwortet werden, wann die Systeme aufgrund der Entwicklung so preiswert werden, daß sie auch im Automobilbereich eingesetzt werden können.

2.3.4.1 Elektronisch-Optische Bildverarbeitungssysteme

Diese Systeme basieren auf vergleichbaren physikalischen Prinzipien, wie die in dieser Arbeit untersuchten Verfahren, die in den folgenden Kapiteln genauer beschrieben werden.

Das Robotic Vision Laboratory of Sandia National Laboratories in Albuquerque, New Mexico, entwickelt zur Zeit ein System, das die SBE und KSE mit Hilfe von CMOS-Kameras durchführen soll. Zunächst wurde eine Kamera zur SBE und KSE eingesetzt, die Grauwertbilder aufnahm und diese einer Bildverarbeitung zur Verfügung stellte. Wegen der extremen Beleuchtungsänderungen verwendet das Labor mittlerweile eine Stereokamera-Anordnung, die weniger anfällig gegen Beleuchtungsänderungen und anderen Einflüssen, wie z.B. Farbe der Objekte, sein soll. Da die Stereobilder zu Tiefenbildern umgerechnet werden, ist das System in der Lage, eine OOP-Situation zu erkennen. Neben den Problemen der Entwicklung einer geeigneten CMOS-Kamera existieren die extrem hohen Anforderungen an das Bildverarbeitungssystem nicht nur durch die Berechnung des Tiefenbildes, sondern insbesondere durch die Auswertung und Klassifizierung des Tiefenbildes. Dieses System ist besonders empfindlich gegenüber Verdeckung und Verschmutzung der Kameras.

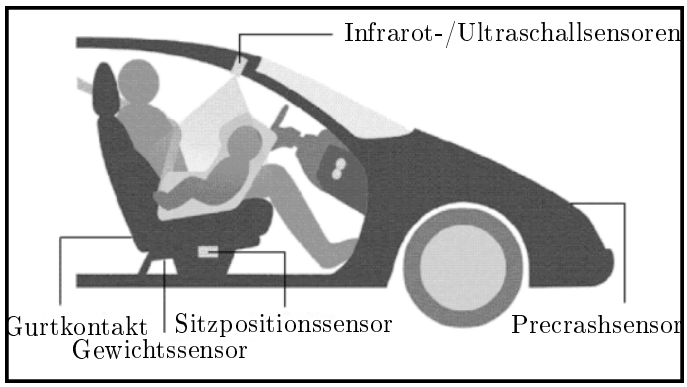

Abbildung 2.14: Adaptive Restraint Technologies von Delphi

2.3.4.2 *Adaptive Restraint Technologies* von Delphi

Dieses System, das unterschiedliche Methoden zu einer Smart-Airbag Lösung verbindet, wird zur Zeit von Delphi Automotive Systems entwickelt. Es beinhaltet einen Precrash-Sensor, Gewichtssensoren in den Sitzen, Sensoren zur Bestimmung der Position des Sitzes, Infrarot- und Ultraschallsensoren zur SBE, KSE und OOP-Erkennung, Gurtkontakte, zweistufige Airbags und eine elektronische Auswertung. Abb. 2.14 zeigt eine Skizze des Systems mit den Positionen der einzelnen Sensoren. Durch die große Anzahl der Meßprinzipien ist zwar sichergestellt, daß zumindest eines der Sensoren korrekte Meßwerte liefert, aber die Kosten für das System sind dadurch sehr hoch. Bei den Ultraschall- und Infrarotsensoren kann es durch Abschattung und Verschmutzung zu verfälschten Meßwerten kommen.

2.3.4.3 Lichtschnittverfahren

Das Lichtschnittverfahren ist die Erweiterung des Triangulationsverfahrens aus Abschnitt 2.3.3.2. Statt die Entfernung zu einem einzelnen Punkt oder mehreren Punkten zu messen, wird beim Lichtschnittverfahren die Entfernung auf einer Linie gemessen. Aus der Abstandsinformation auf der Linie und der Änderungsgeschwindigkeit (Bewegung des Objekts) wird der Airbag freigegeben oder gesperrt [39]. Das Prinzip des Lichtschnittverfahrens ist in Abb. 2.15 dargestellt. Die Entfernung zu einem Objekt kann mit der Gleichung

$$e = \frac{g}{\frac{c}{f} + \tan(\alpha)} \tag{2.2}$$

berechnet werden. Die Funktion des Verfahren ist leicht anhand der Abb. 2.16 zu erklären. Die linke Hälfte zeigt den Aufbau des Lichtschnitt-Systems mit dem Sensor, bestehend aus Laserdiode und Kamera, in der Instrumententafel und dem Fahrer- bzw. Beifahrersitz. Die rechte Hälfte stellt die von der Kamera aufgenommene und durch die Verarbeitung extrahierte Kontur des Sitzes dar. Durch die Einteilung des Sensorbildes in drei Zonen ist es möglich, verschiedene Belegungszustände zu unterscheiden [91] und [75]. Befindet sich die Kontur in der Zone 1, ist die Entfernung zum Airbag ausreichend. Reicht die Kontur

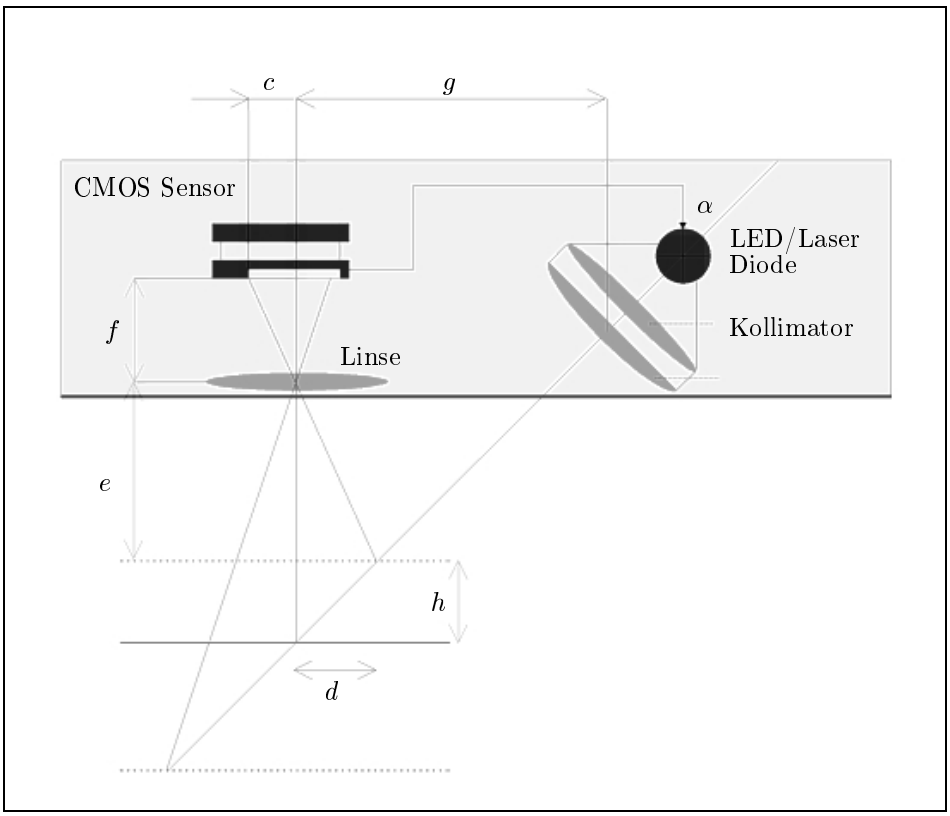

Abbildung 2.15: Prinzip: Lichtschnitt-Sensor

in die Zone 2 hinein, könnte bei einem zweistufigen Airbag nur die erste Stufe aktiviert werden. Wird die Zone 3 erreicht, ist der Abstand zum Airbag zu gering und eine Airbag Aktivierung zu riskant. Es folgen drei Messungen, die einen praktischen Eindruck der unterschiedlichen Belegungszustände geben sollen.

In der Abb. 2.17 sind in (a) und (b) zwei Aufnahmen eines Reboard-Kindersitzes aus unterschiedlichen Perspektiven abgebildet. Darunter in (e) und (f) die extrahierte Kontur des Kindersitzes. Da die Kontur des Kindersitzes in die Zone 3 hinein ragt, müßte ein dem Sensor angeschlossener Klassifikator den Airbag deaktivieren. Zwei weitere Belegungsarten sind noch in Abb. 2.17 (c) und (d) abgebildet, wobei in den Bildern (c) bzw. (g) eine Person auf einem Sitz eine korrekte Haltung eingenommen hat und in den Bildern (d) bzw. (h) der Abstand zwischen der Person und dem Airbag zu gering ist. Die Bilder (c) bis (e) sind die unbearbeiteten Bilder der Lichtschnitt-Kamera. In den Bildern (f) bis (h) wurde die Linie mittels Korrelationsverfahren extrahiert.

Da bei diesem Verfahren Bildsensoren mit extrem kurzen Belichtungszeiten benutzt werden müssen, wird der Einsatz erst durch die Entwicklung der CMOS-Bildsensoren ermöglicht. In Tests muß noch gezeigt werden, daß die Sensoren in der Lage sind, mit den Verhältnissen im Automobil zurecht zukommen. Weiterhin ist unklar, ob die Auswertung der Kontur und die Bewegung der Kontur ausreichen, um eine korrekte Unterscheidung der vielen Belegungszustände, wie z.B. einem Zeitung oder Karte lesenden Beifahrer, durchzuführen [74].

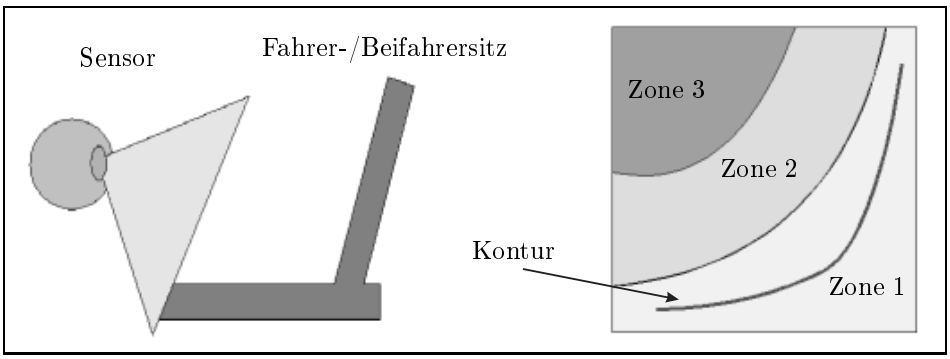

Abbildung 2.16: Funktion: Lichtschnitt-Sensor

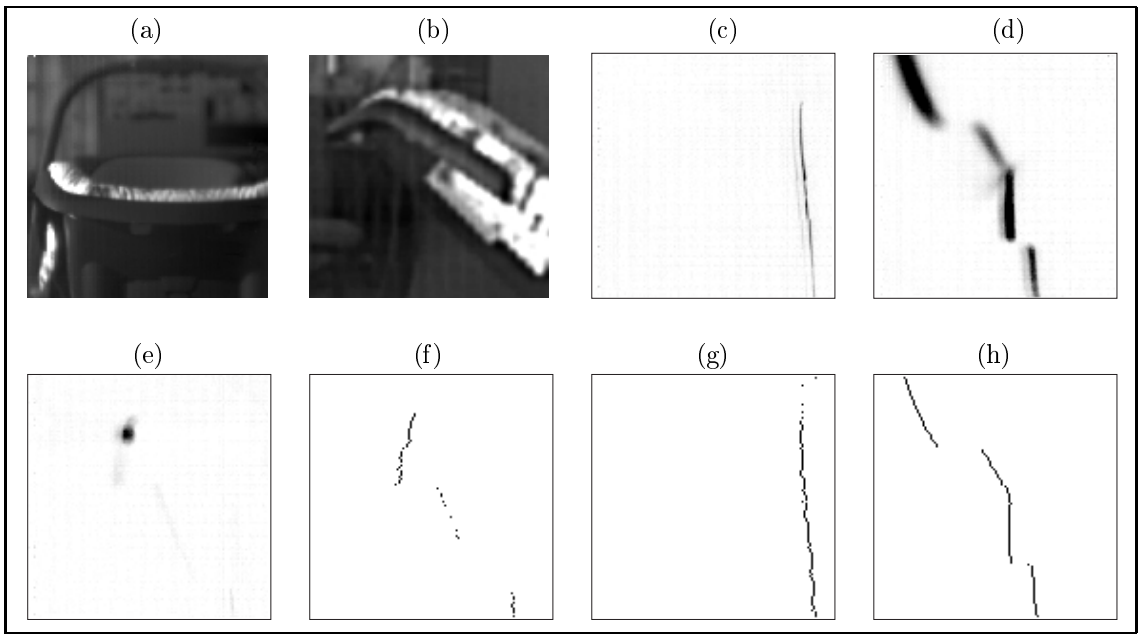

Abbildung 2.17: Messungen zum Lichtschnittverfahren zur KSE und SBE

2.3.4.4 3D-Kamera

Die 3D-Kamera ist die logische Fortführung der Triangulation und des Lichtschnittverfahrens. Es existieren dabei zwei Möglichkeiten, mit Hilfe einer Lichtquelle und einem Bildsensor aktiv ein 3D-Bild aufzunehmen. Die erste Variante sendet mit der Lichtquelle moduliertes Licht aus und mißt die Phasenverschiebung zwischen dem ausgesandten und dem empfangenen Signal. Schwarte präsentiert in [79, 80] einen optischen Korrelations-Photodetektor, der eine 3D-Erfassung mittels Phasenverschiebung vornimmt. In [46] wird diese Methode für Anwendungen im Fahrzeug vorgestellt.

Bei der zweiten Variante wird die Laufzeit eines Impulses durch die Intensität eines reflektierten Impulses gemessen. Dies bedeutet, daß eine Lichtquelle einen Impuls aussendet und gleichzeitig der Bildsensor die Bildakquisition startet. Nach einer festen Zeit, die Shutter-

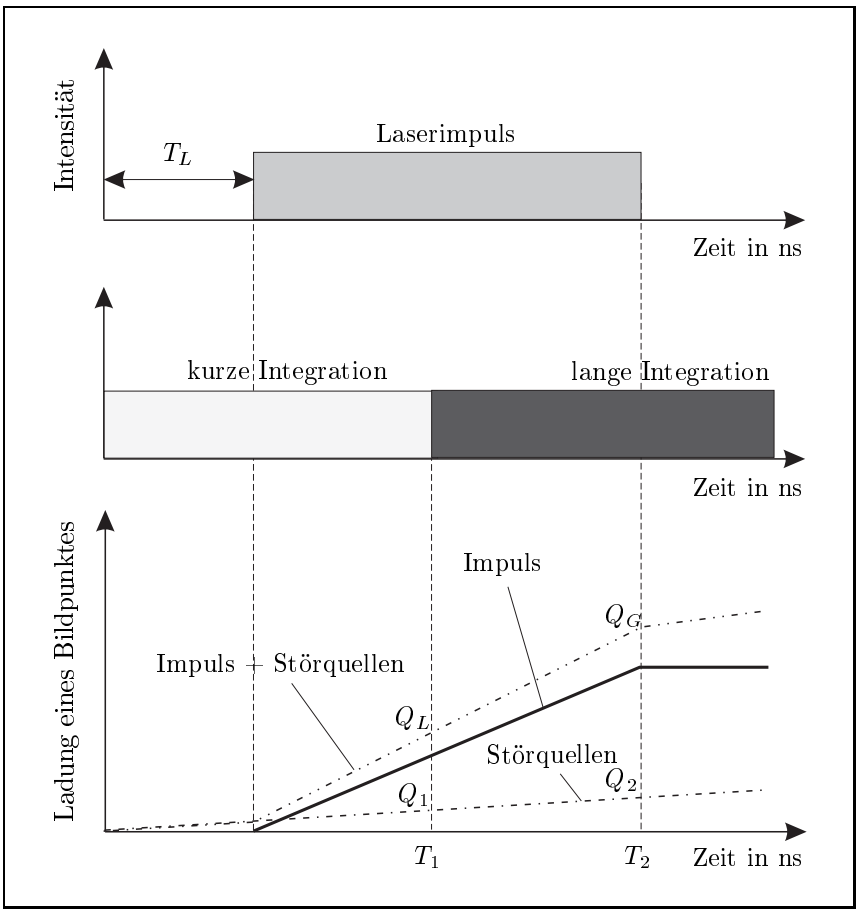

Abbildung 2.18: 3D-Kamera mittels Laufzeitmessung

oder auch Integrationszeit[1] genannt wird, wird die Bildakquisition beendet. Durch die zurückgelegte Wegstrecke trifft der Impuls um die Hin- und Rücklaufzeit verzögert auf den Sensor. Somit werden weniger Photonen absorbiert als ausgestrahlt wurden. Die Anzahl der in den Bildpunkten generierten und akkumulierten Ladungsträger ist daher proportional zur Entfernung zwischen Lichtquelle, Objekt und Bildsensor und der Reflektivität des Objektes. Da die Intensität bzw. der Grauwert bei einem linearen Bildsensor proportional zur elektrischen Ladung ist, kann über die Intensität eines jeden Bildpunktes auf die Entfernung zum korrespondierenden Punkt geschlossen werden.
Zu diesem Verfahren wurde in [51] eine Studie durchgeführt, die die Einsetzbarkeit unter dem Aspekt der KSE-, SBE- und OOP-Erkennung prüfen sollte. In [106] benutzt Mengel für die 3D-Kamera eine CMOS-Hochgeschwindigkeits-Kamera von [87], mit der es möglich ist eine Integrationszeit von 30 ns zu erzielen. In Abb. 2.18 ist das Prinzip der Laufzeitmessung dargestellt.

Ein Infrarot-Laser sendet einen Impuls aus, der vom Objekt reflektiert wird und mit der Verzögerung T_L auf den Bildsensor trifft. Nach Ablauf der kurzen Integrationszeit wird die gesammelte Ladung Q_L eines jeden Bildpunktes gemessen. In einer zweiten Messung, in der die Integrationszeit soweit ausgedehnt wird, daß der gesamte Impuls enthalten ist, wird die Ladung Q_G gemessen. In zwei weiteren Messungen werden die Werte Q_1

[1] Auf die Funktionsweise von Bildsensoren wird in Abschnitt 3.4 näher eingegangen.

und Q_2 zur Dunkelstromkompensation bzw. Störlichtunterdrückung gemessen, wobei kein Impuls ausgestrahlt wird. Diese Ladungen werden von Beleuchtungen erzeugt, die hier als Störquellen bezeichnet werden, da sie die Messungen verfälschen.
Die Strecke, die von dem Impuls zurückgelegt wird ist

$$s = \frac{1}{2} T_L \cdot \mathrm{c}, \tag{2.3}$$

da der Impuls die Strecke zum Objekt hin und zurücklegen muß. Die Laufzeit T_L kann über die gemessenen Ladungswerte bestimmt werden.

$$T_L = \frac{(Q_G - Q_2 - Q_L - Q_1) \cdot T_2}{Q_G - Q_2} \tag{2.4}$$

Durch ein Referenz- und aktuelles Tiefenbild werden durch Differenzbildung Volumen bestimmt, die durch eine Klassifikation einer Objekt-Klasse zugeordnet werden.
Die dreidimensionale Erfassung einer Szene hat Vorteile, da das Tiefenbild keine Abhängigkeit von den Reflektanzen der Objekte aufweist. Die mit den Tiefenbildern vorliegenden Daten müssen aber trotzdem einer Klassifikation – gegebenenfalls vorher noch einer Merkmalsextraktion – zugeführt werden. Ein weiteres Problem stellt die Laserbeleuchtung dar, da sie einerseits extrem leistungsfähig sein muß und andererseits auch im Fahrzeug die Laser-Klassen Bestimmung [17] einhalten muß. Ob unter den schwierigen Umständen, die im Fahrzeug herrschen, eine korrekte 3D-Erfassung möglich ist, wurde von Mengel bislang noch nicht untersucht. Hierzu müssen die Bildsensoren weiter entwickelt werden, um bei den extrem kurzen Integrationszeiten das Signal-zu-Rausch Verhältnis zu verbessern.

2.4 Zusammenfassung

Es hat sich gezeigt, daß durch den erhöhten Einsatz des Airbags Verletzungen am Kopf und im Gesicht bei schweren Unfällen drastisch reduziert werden konnten, aber Verletzungen an den Beinen in gleichem Maße angestiegen sind (siehe Abb. 2.19). Durch den Aufprall auf den Airbag rutschen die Insassen nach unten und verletzen sich im Bein bzw. Fußbereich.

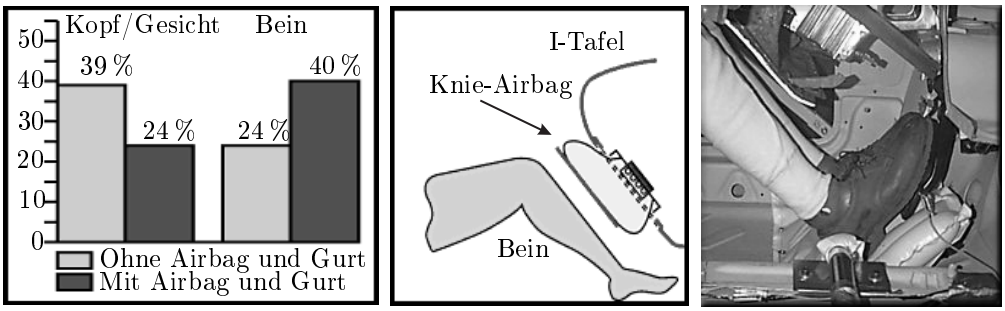

Abbildung 2.19: Knie-Airbag

Durch den Einsatz neuer Sicherheitstechniken verschieben sich also die relativen Risiken, so daß weiter neue Systeme entwickelt werden müssen, um die Restrisiken zu mindern.

Für die Situation eines Unfalles wird von den neuen intelligenten Systemen verlangt, aus der Vielzahl von Sicherheitsmaßnahmen die richtigen auszuwählen, so daß eine den Unfallumständen und an den Insassen angepaßte Schutz gewährleistet werden kann.

Hierzu wurde im vorangegangen Kapitel der aktuelle Stand der Technik für Diebstahlwarnanlagen und SBE, KSE und OOP-Erkennung im Kraftfahrzeug beschrieben. Darüber hinaus wurden Tendenzen in beiden Anwendungsgebieten angedeutet. Zusammenfassend kann man sagen, daß es für keine der genannten Systeme möglich ist, beide Anwendungen gleichzeitig zu erfüllen. Dieses Ziel wird mit dem Konzept dieser Arbeit verfolgt. Neben dem Effekt der Kosteneinsparung bieten sich Funktionen an, wie z.B. Diebstahlwarnanlagen für offene Kfz oder präzise Lokalisierung des Fahrers, die von den beschriebenen Systemen nicht geleistet werden können. Darüberhinaus könnten weitere Anwendungen entwickelt werden, die erst durch den Einsatz einer Kamera und einer Bildverarbeitung möglich sind (siehe dazu Abschnitt 6.1).