

Kapitel 1

Einleitung

Von den Anfängen der Radartechnik im Jahr 1904 bis heute hat die Radarsensorik einen beachtlichen Wandel vollzogen, sowohl was die Leistungsfähigkeit als auch die Integration der Geräte betrifft. Begonnen hat alles mit der Idee von Christian Hülsmeier, mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen den Schiffsverkehr, besonders bei schlechten Sichtverhältnissen, sicherer zu machen. Damals fand die von Hülsmeier „Telemobiloskop“ genannte Erfindung noch nicht viel Beachtung bei den „Anwendern“, so dass die Idee etwas in Vergessenheit geriet. In den 30er Jahren entdeckte das Militär die Vorzüge der Radartechnik für sich, was 1938 zum ersten großen praktischen Einsatz, sowohl von Bodenradaren, wie der FREYA Anlage, eines Pulsradars zur Küstenüberwachung, als auch von Schiffsradaren, wie dem FuMG 38 G auf dem Panzerschiff Graf Spee, führte. Nach dem Zweiten Weltkrieg profitierten die zivile Schiff- und Luftfahrt von den gewonnenen Erkenntnissen und Weiterentwicklungen, so dass heutzutage Radargeräte zur Sicherung des Luftraumes und der Schifffahrtswege ein unverzichtbares Mittel darstellen.

Gerade in den letzten 15 Jahren verstärkte sich das Interesse, die Radarsensorik auch im Automobilbereich einzusetzen, um den Automobilverkehr zum einen komfortabler, aber hauptsächlich auch sicherer zu machen. Bereits seit 1998 sind sogenannte automatische Abstands- und Geschwindigkeitsregelgeräte bei verschiedenen Automobilanbietern für den Einsatz auf der Autobahn als Zubehör erhältlich. Bei diesen Systemen handelt es sich um erweiterte Tempomaten, bei denen nicht nur eine Wunschgeschwindigkeit vorgeben werden kann, sondern die Eigengeschwindigkeit auf der Basis von Radarmessdaten gegebenenfalls angepasst wird, so dass ein vorgegebener Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug nicht unterschritten wird. Diesem Komfortsystem folgten die Entwicklung und die teilweise Umsetzung von Sicherheitssystemen. So sind zum Beispiel Spurwechselassistenten, die mit Hilfe von Radarsensorik den „toten“ Winkel bei Spurwechselvorgängen überwachen und den Fahrer durch akustische oder optische Signale

bei Gefahr einer Kollision warnen, unter anderem bei Audi unter dem Namen „Audi side assist“, seit 2006 als Zusatzausstattung erhältlich.

Diese sicherheitsrelevanten Systeme stellen hohe Anforderungen an die verwendete Radarsensorik. Zum einen müssen die verwendeten Radargeräte präzise die Entfernungen und Geschwindigkeiten der anderen Verkehrsteilnehmer messen. Um eine schnelle Reaktionszeit gewährleisten zu können, müssen diese beiden Größen möglichst gleichzeitig und auch in Mehrzielsituationen zuverlässig gemessen werden [BRMR09]. Zum anderen muss die Bauform der verwendeten Radarsensoren so klein wie möglich sein, da sie sonst nicht in die Fahrzeuge integrierbar wären. Aus diesen Gründen hat der vermehrte Einsatz von Radarsensorik im Automobilbereich dazu geführt, dass leistungsfähige, aber gleichzeitig auch kompakte Radarsensoren für ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis zur Verfügung stehen, vgl. [MBM⁺03]. Da liegt die Idee nahe, zu untersuchen, inwieweit sich diese bereits vorhandene Technik für den Einsatz in anderen Anwendungsbereichen eignet und in welcher Form die Signalverarbeitung, falls nötig, an die neuen Gegebenheiten angepasst werden muss.

Wie der geschichtliche Rückblick zeigt, wurde die Radartechnik ursprünglich erdacht, um öffentliche Verkehrsmittel, in diesem Fall den Schiffsverkehr, sicherer zu machen. Aber im weiteren Verlauf der Entwicklung entdeckte das Militär auch die Möglichkeiten, mit Hilfe der neuen Technik, unerwünschte Eindringlinge in bestimmten Gebieten aufzuspüren. Diese beiden Ideen spiegeln sich auch in den in dieser Dissertation untersuchten Anwendungsvorschlägen wider. In beiden Szenarien geht es um eine Überwachung von großen Arealen, allerdings in verschiedenen Einsatzgebieten und mit verschiedenen Zielsetzungen.

Im ersten Fall handelt es sich um die Überwachung eines beliebigen Außenbereiches, in dem sich keine unbefugten Personen aufhalten sollen, zum Beispiel dem eines Gefängnisses, vgl. [MRM07]. Die Herausforderung ist hierbei, ein System zu entwickeln, das eine hohe Entdeckungsrate für Personen, aber gleichzeitig eine geringe Wahrscheinlichkeit für Fehlmeldungen aufweist. Heutzutage werden für diese Überwachungsaufgabe verschiedenste Systeme eingesetzt. Diese herkömmlichen Überwachungssysteme haben oft den Nachteil, dass sie anfällig für Fehlalarme sind, da sie keine Möglichkeit haben, die Ziele, die sie detektieren, zu klassifizieren. Das bedeutet, dass sie nicht zwischen den für den Anwender uninteressanten Störsignalen und den für ihn relevanten Nutzsignalen unterscheiden können. Das kann dazu führen, dass alle bewegten Ziele, wie zum Beispiel Bäume und Sträucher im Wind, zu einer Alarmmeldung führen. Zusätzlich kann die Leistungsfähigkeit stark von den bestehenden Licht- und Wetterverhältnissen abhängen, so dass sich die Entdeckungsrate bei Dunkelheit, Regen oder Nebel extrem verschlechtert.

Ein Radarsensor weist diese beschriebenen Nachteile nicht auf. Zum einen werden Radarsensoren kaum oder gar nicht von Licht- und Wetterverhältnissen be-

einflusst, wodurch sich ein zuverlässiges Detektionsverhalten ergibt. Zum anderen können an Hand der vielen und detaillierten Messdaten, die die Radarsensoren liefern, verschiedene Objektklassen, wie schwankende Äste, Tiere oder Personen, voneinander unterschieden werden. Um jedoch eine automatisierte Trennung der verschiedenen Objektklassen zu garantieren, müssen die charakteristischen physikalischen Eigenschaften der auftretenden Objektklassen untersucht werden, um herauszufinden, wie sich diese in unterschiedlichen Reflektionssignalen niederschlagen. Da nicht nur eine einfache Detektionsmeldung, sondern zusätzlich eine genaue Bestimmung der Position und Bewegungsrichtung einer Person in dem überwachten Bereich wünschenswert ist, müssen geeignete Techniken entwickelt werden, um die Bewegung der erkannten Person zu verfolgen.

Bei einem Menschen handelt es sich im Vergleich zu anderen Beobachtungsobjekten aus dem Bereich der Radartechnik, wie Schiffen, Flugzeugen oder Autos, nicht um ein starres Objekt, sondern seine Extremitäten und sein Rumpf bewegen sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Die Schwierigkeit, die sich daraus ergibt, liegt in der Tatsache, dass es sich bei dem Menschen nicht mehr, wie in der klassischen Radartechnik, um ein Punktziel handelt. Eine Person besteht aus mehreren Reflektionszentren und wird auf Grund des sehr guten Geschwindigkeitsauflösungsvermögens der verwendeten Radarsensoren durch mehrere Radarziele repräsentiert. Somit müssen die bereits bekannten Signalverarbeitungsschritte an diese besondere Begebenheit angepasst werden.

Das zweite in dieser Dissertation betrachtete Szenario untersucht die Möglichkeit, den Rollverkehr auf Flughafenvorfeldern mit Hilfe von Radarsensoren zu überwachen und zu sichern. Mit einem solchen System werden Zusammenstöße von auf dem Rollfeld rollenden Flugzeuge und fahrenden Servicefahrzeugen verhindert und somit die Sicherheit im öffentlichen Verkehr gesteigert, womit der ursprüngliche Gedanke von Christian Hülsmeier aufgegriffen wird. Zu diesem Zweck werden die Position und Geschwindigkeit aller Flugzeuge und Fahrzeuge in den gefährdeten Bereichen bestimmt und diese Nachrichten dann an die Fluglotsen weiter gemeldet. In besonders kritischen Situation ist es außerdem vorstellbar, den Fluglotsen durch ein Signal eine Gefährdungssituation mitzuteilen.

Bei vielen großen Flughäfen sind zwar bereits Flugfeldüberwachungsradare (SMR = Surface Movement Radar) vorhanden, aber diese Systeme überwachen große Bereiche. Das hat zur Folge, dass einerseits die Fluglotsen eine große Menge an Nachrichten verarbeiten müssen und andererseits durch Abschattungseffekte der Flughafenbebauung bestimmte Bereiche des Rollfeldes gar nicht abgedeckt werden können. Eine Alternative hierzu bieten mehrere auf dem Rollfeld verteilte Radarsensoren, die zwar eine geringere Reichweite aufweisen, aber mit denen gezielt Gefahrenbereiche, zum Beispiel Taxiwegkreuzungen, überwacht werden können. Wie bereits erwähnt, ist es hier wünschenswert, nicht nur die Position sowie Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit der Fahr- und Flugzeuge zu bestimmen,

sondern auch eine automatische Warnung im Falle einer Gefahrensituation zu erzeugen. Die Aufgabe der Klassifikation verschiedener Objekte steht hier nicht so stark im Vordergrund wie im ersten Szenario, da die auftretenden Radarreflektionen in dem interessanten Bereich zum größten Teil nur von den zu beobachtenden Objekten selbst stammen können. Aber auch hier kann es nötig sein, die Nutzsensignale der zu beobachtenden Fahrzeuge von Störsignalen durch Bebauung oder Wetterphänomene zu trennen.

Wie Personen, so werden auch Flugzeuge in diesem Anwendungsfall durch mehrere Radarziele repräsentiert. Das kommt daher, dass im Vergleich zu gebräuchlichen Flugüberwachungsradaren die Radarsensoren aus dem Automobilbereich eine viel höhere Entfernungsauflösung haben, so dass sich so große Objekte wie Flugzeuge über mehrere Entfernungszellen erstrecken.

Auf den ersten Blick sind dies zwei völlig verschiedene mögliche Anwendungsgebiete von 24 GHz-Radarsensoren. Aber bei genauerem Hinsehen beinhalten beide ähnliche technische Herausforderungen. In beiden Fällen müssen Strategien entwickelt werden, die herkömmliche Signalverarbeitung so abzuändern, dass eine sinnvolle Verarbeitung von Zielen möglich ist, die in der Entfernung und möglicherweise auch in der Geschwindigkeit ausgedehnt sind. Das angestrebte Ergebnis ist dabei immer, die Position und Geschwindigkeit der beobachteten Objekte genau zu bestimmen. Zusätzlich müssen Objektklassen und ihre radartechnischen Eigenschaften definiert werden, um Nutz- von Störsignalen zu trennen.

Gegenstand dieser Arbeit ist es, geeignete Techniken zur Lösung der beiden vorgestellten Problemstellungen zu entwickeln und zu beschreiben, sie an die speziellen Situationen der zwei Anwendungsbeispiele anzupassen und ihre Leistungsfähigkeit zu beurteilen. Für die Erfüllung der verschiedenen Aufgaben wird hierbei auf vorhandene Sensortechnik zurückgegriffen. Da diese Sensorik sich bereits in vielen Anwendungen im Automobilbereich bei der Erfassung verschiedenster Objekttypen bewährt hat, soll der Schwerpunkt dieser Arbeit nicht darauf liegen, einen neuen Radarsensor mit neuer Signalform zu entwickeln, sondern einen geeigneten Sensortyp für die jeweilige Aufgabe auszuwählen und die weitere Signalverarbeitung an die neuen Gegebenheiten anzupassen.

Das zweite Kapitel beschreibt im Detail die beiden Aufgabengebiete. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf einer genauen Beschreibung der Zielsetzung und wie sich die neu zu entwickelnden Systeme von bereits bestehenden abgrenzen. Die sich daraus ergebenden Anforderungen zum einen an die Sensorik, aber auch an die weitere Signalverarbeitung, werden herausgearbeitet. Im Speziellen wird der Vorschlag in Betracht gezogen, anstatt mehrerer isolierter Radarsensoren ein Sensornetzwerk zur Überwachung größerer Bereiche zu nutzen. Neben diesem Aspekt werden auch weitere Gemeinsamkeiten der beiden Systeme hervorgehoben.

Das dritte Kapitel gibt einen Überblick über die im Automobilbereich vorhande-

nen Radarsensoren. Der Fokus soll hier auf den frequenzmodulierten Signalen liegen, da diese, wie sich zeigen wird, gegenüber den Pulsradaren besser für die beschriebenen Aufgaben geeignet sind. Es werden die unterschiedlichen Messtechniken zur Erfassung von Entfernung, Geschwindigkeit und azimuthalem Winkel vorgestellt. Um die Eigenschaften der verschiedenen Signalformen vergleichen zu können, werden die Begriffe Genauigkeit, Auflösung und eindeutige Reichweite eingeführt und diskutiert.

Das vierte Kapitel beschäftigt sich mit den einzelnen Schritten einer typischen Radarsignalverarbeitung. Hierbei soll die komplette Signalverarbeitungskette von der Detektion über das Tracking bis zur finalen Alarmentscheidung betrachtet werden. Jeder einzelne Block der Verarbeitungskette wird beschrieben, wobei bekannte Techniken erklärt und gegebenenfalls ihre Limitierungen in Hinsicht auf die neuen Aufgabengebiete aufgezeigt werden.

Das fünfte Kapitel teilt die möglichen Zieltypen in verschiedene Objektklassen ein. Zuerst werden die physikalischen Eigenschaften dieser Objektklassen betrachtet und danach die daraus resultierenden Eigenschaften der jeweils empfangenen Radarsignale. Hierbei werden die auftretenden Objekte der beiden Aufgabengebiete getrennt betrachtet. Für die Geländeüberwachung werden diese in zwei Hauptgruppen unterteilt. Die erste Gruppe umfasst Objekte, die sich nicht durch den Beobachtungsbereich bewegen, wie zum Beispiel Bebauung oder Bewuchs. Dies sind die sogenannten stationären Objekte. Die zweite Gruppe umfasst diejenigen Objekte, die sich durch den Beobachtungsbereich bewegen. Diese werden als bewegte Objekte bezeichnet. Bei der Rollfeldüberwachung ist nur eine Objektklasse von Interesse und zwar die der Flugzeuge. In beiden Fällen werden die theoretischen Betrachtungen an Hand von Messdaten untermauert. Die Messdaten stammen im Fall der Geländeüberwachung aus einem fest in einem Hamburger Gefängnis installierten Versuchssystem. Die Messdaten der Flugzeuge wurden mit Hilfe eines mobilen Aufbaus auf dem Vorfeld des Hamburger Flughafens Fuhlsbüttel aufgezeichnet.

Das sechste Kapitel beschäftigt sich mit der Signalverarbeitung eines einzelnen Radarsensors. Hierbei sollen Alternativen zu der in Kapitel 4 beschriebenen klassischen Radarsignalverarbeitung entwickelt werden, um zum einen die ausgedehnten Ziele verarbeiten zu können und zum anderen die Nutzziele effektiv von den Störsignalen zu trennen. Zur Realisierung dieser Aufgabe wird die Idee vorgestellt, schon zu einem frühen Zeitpunkt der Signalverarbeitung die Radarziele, die von stationären Zielen verursacht werden, gezielt auszusortieren, um damit eine Entlastung der weiteren Signalverarbeitung zu erreichen. Da die in Kapitel 4 erläuterten Verfahren nicht auf die bereits beschriebenen ausgedehnten Ziele ausgelegt sind, werden Strategien entwickelt, um eine sinnvolle Weiterverarbeitung dieser Echosignale zu erreichen. Hierfür können zwei verschiedene Ansätze gewählt werden. Entweder werden aus den Objekten neue künstliche Punktziele

generiert, ohne dass wichtige Informationen verloren gehen, oder die bestehenden Verfahren werden so modifiziert, dass eine sinnvolle Weiterverarbeitung von mehreren Detektionen als ein Objekt möglich ist. Die unterschiedlichen Vorgehensweisen werden vorgestellt und ihre Eignung für die verschiedenen Zieltypen beurteilt.

Im siebten Kapitel wird die Erweiterung der Verarbeitung für einen Radarsensor zu einer Netzwerklösung beschrieben. Schon alleine um größere Bereiche überwachen zu können, ist der Einsatz von mehreren Radarsensoren unumgänglich. Natürlich bestünde auch die Möglichkeit, jeden dieser Radarsensoren einzeln auszuwerten. Aber eine geschickte gemeinsame Auswertung, sprich eine Zusammenfassung der Radarsensoren zu einem Netzwerk, kann die Entdeckungswahrscheinlichkeit entscheidend erhöhen. Zusätzlich ist es möglich, die Gesamtsituation im Netzwerk auszuwerten. Dieser Zugewinn an Informationen kann dazu genutzt werden, den Entscheidungsprozess, ob es sich bei dem erkannten Signal um ein Stör- oder Nutzsignal handelt, maßgeblich zu unterstützen. Allerdings bringt die Zusammenschaltung zu einem Netzwerk nicht nur Vorteile. Es müssen gleichzeitig Techniken entwickelt werden, wie die Ziellisten der einzelnen Radarsensoren zu einer gemeinsamen Verarbeitung zusammen geführt werden können. Auch hier werden verschiedene Ansätze vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen. Zu diesem Zweck wird erneut die gesamte Signalverarbeitungskette betrachtet, wobei einzelne Verarbeitungsschritte erhalten bleiben können, andere angepasst werden oder, wie im Fall der Analyse der Gesamtsituation im Netzwerk, sogar komplett neu hinzugefügt werden müssen.

Das letzte Kapitel gibt eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse und einen Ausblick auf weiterführende Aufgaben- und Fragestellungen.

Kapitel 2

Überwachung sicherheitsrelevanter Bereiche

In diesem Kapitel werden die beiden in dieser Arbeit behandelten Aufgabenstellungen beschrieben. Insbesondere sollen die Anforderungen an die zu entwickelnden Systeme, die Gelände- und Rollfeldüberwachung, vorgestellt werden.

Bereits 1904 erkannte Christian Hülsmeier die Möglichkeit elektro-magnetische Wellen zu nutzen, um die Sicherheit in Gefahrensituationen, damals speziell im Schiffsverkehr, zu erhöhen. Er entwickelte die Idee, Signale auszusenden und deren Reflektionen wieder zu empfangen, um somit auch bei schlechten Sichtverhältnissen zu erkennen, ob sich metallische Objekte, wie eben Schiffe, in der Nähe befinden. Auf Grund dieser Information sollte gegebenenfalls ein Warnsignal ausgegeben werden, um eine mögliche Kollision zu vermeiden. Das von ihm entwickelte „Telemobiloskop“ gab eine reine Detektionsmeldung. Nur an Hand der Richtwirkung der Antennen und indem die gesamte Apparatur gedreht wurde, konnte die Richtung, in der sich das beobachtete Objekt befand, bestimmt werden. Diese Erfindung wurde von Christian Hülsmeier am 30. April 1904 beim Deutschen Patentamt in Berlin unter dem Titel „Verfahren, um entfernte metallische Gegenstände mittels elektrischer Wellen einem Beobachter zu melden“ zum Patent angemeldet, vgl. [Hül04a]. Aber schon damals hatte Hülsmeier die Idee, zusätzlich zu einer reinen Detektion an Hand der Laufzeit der Signale auch noch die Entfernung zu den entdeckten Objekten zu bestimmen. Auch dieses Verfahren meldete er zum Patent an und erhielt am 11. November 1904 unter dem Titel „Verfahren zur Bestimmung der Entfernung von metallischen Gegenstände (Schiffe o.dgl.), deren Gegenwart durch das Verfahren in Patent 165546 festgestellt wird“ ein Zusatzpatent, vgl. [Hül04b]. Allerdings entwickelte Hülsmeier diese Ideen etwa ein Vierteljahrhundert zu früh. Erst während des Zweiten Weltkriegs wurde durch die militärische Nutzung das große Potential dieser Verfahren bei der Überwachung des Luft- und Seeraumes entdeckt. Ab den 50er Jahren wurde die

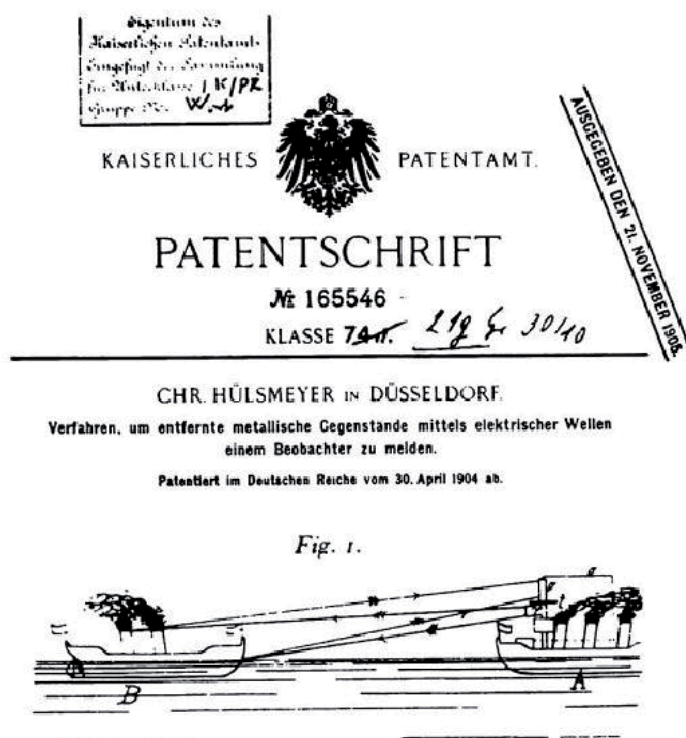


Abbildung 2.1: Deckblatt des von Christian Hülsmeier angemeldeten Patents



Abbildung 2.2: 24 GHz-Radarsensor aus dem Automobilbereich

Technik dann endlich dem ursprünglich angedachten Anwendungsgebiet, der Erhöhung der Sicherheit im zivilen See- und Flugverkehr, verfügbar gemacht und auch eingesetzt. Durch die Weiterentwicklung der Technik in den 90er Jahren und den Einsatz zur Erhöhung der Sicherheit im Automobilbereich wurde dieser Gedanken mit der Ausweitung auf weitere Bereiche des Verkehrs konsequent fortgeführt. Der entscheidende Unterschied der Radarsensoren aus dem Automobilbereich zu früheren Radarsystemen ist zum einen der Wechsel zu Nahbereichsanwendungen sowie die hohe Stückzahl, in der diese Radarsensoren produziert werden. Durch die gleichzeitig hohen Ansprüche in Sachen Zuverlässigkeit und Genauigkeit der verwendeten Radarsensoren, stehen mittlerweile leistungsfähige Systeme in einem guten Preis-Leistungs-Verhältnis zur Verfügung. Um den innovativen Geist der Radartechnik weiterzuführen, ist es nur logisch, die Eignung dieser Technik für andere Anwendungsgebiete zu untersuchen und sie dementsprechend weiter zu entwickeln. Zwei der möglichen zukünftigen Anwendungsgebiete und die daraus resultierenden Aufgabenstellungen sollen in diesem Kapitel vorgestellt werden.

2.1 Geländeüberwachung

Es gibt viele Situationen, in denen besondere Geländebereiche nur einem begrenzten Kreis von Personen zugänglich sein sollen, so zum Beispiel die Außenbereiche bestimmter Industrieanlagen oder Justizvollzugsanstalten.

Diese Bereiche werden im Normalfall durch Kameras beobachtet, deren Bilder an einer zentralen Stelle von Wachleuten kontrolliert werden. Um das Wachpersonal zu entlasten, werden zusätzliche Überwachungstechniken eingesetzt, um die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Bereich zu lenken, falls sich dort eine Person

aufhält. Ein solches modernes Überwachungssystem sollte automatisch und zuverlässig aus den gesammelten Messdaten Alarmmeldungen generieren, falls Objekte von Interesse detektiert werden. Gleichzeitig müssen diese Alarmmeldungen eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen, sprich: Es dürfen nur geringe Falschalarmraten zugelassen werden. Andernfalls würde das Wachpersonal auf Dauer das Vertrauen in ein solches System verlieren und den Alarmmeldungen nur noch geringe Beachtung zukommen lassen, so dass der ganze Sinn des Systems unterwandert würde.

Bisher werden sicherheitsrelevante Bereiche zum Beispiel zusätzlich durch Zaunüberwachung oder Mikrowellenstrecken gesichert. Bei der Zaunüberwachung wird der sogenannte Mikrofonieeffekt ausgenutzt. Mikrofonie beschreibt die Eigenschaft von einigen elektronischen Bauteilen, auf Grund von mechanischer Anregung ihre elektrischen Parameter zu ändern. Im Fall der Zaunüberwachung wird diese Tatsache ausgenutzt, indem ein spezielles Sensorkabel an einem Maschendraht- oder Gitterzaun befestigt wird. Die durch Bewegungen des Zauns verursachte kapazitive Veränderung innerhalb des Kabels kann gemessen werden und führt zu einer Alarmmeldung. Die Entdeckungsrate bei einem solchen System ist zwar hoch, aber durch Windbewegungen kann es vermehrt zu Fehlalarmen kommen. Zusätzlich wird erst der Versuch den Zaun zu überwinden registriert, so dass ein frühzeitiges, vorausseilendes Eingreifen des Wachpersonals nicht möglich ist. Bei dem zweiten Beispiel, einer Mikrowellenstrecke, werden um das zu überwachende Objekt herum getrennte Mikrowellensender und -empfänger aufgestellt. Durch die Paarungen von Sendern und Empfängern wird eine unterbrechungsfreie Funkstrecke aufgebaut. Das empfangene Mikrowellensignal wird permanent vermessen und der Empfangspegel mit dem Ruheempfangspegel verglichen. Wenn sich der Empfangspegel auf Grund von Objekten innerhalb der Funkstrecke ändert, führt dies zu einer Alarmmeldung. Im Gegensatz zu dem ersten System ist dieses nicht örtlich gebunden, aber auch hier können Wetterphänomene wie Niederschlag oder auch Vegetation innerhalb des Überwachungsbereiches zu einer Störung der Funkstrecke führen und somit einen Fehlalarm auslösen. Wie sich zeigt, ist somit die Fehlalarmrate der Schwachpunkt der bisher verbreitet eingesetzten Techniken. Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein messtechnisches Prinzip vorzustellen, das eine hohe Detektionsrate bei gleichzeitig niedriger Falschalarmrate bietet.

2.2 Rollfeldüberwachung

Auch bei dem zweiten Anwendungsgebiet geht es im Prinzip darum, dass sich Objekte nicht in bestimmten Bereichen aufhalten sollen. Vereinfacht gesagt, handelt es sich um einen „Blitzer“ für Flugzeuge.

2. Überwachung sicherheitsrelevanter Bereiche

In den letzten Jahren hat der kommerzielle Flugverkehr stark zugenommen. Gleichzeitig wird der Preisdruck auf die Luftfahrtgesellschaften durch das erhöhte Aufkommen von „Billigfliegern“ immer größer. Das führt dazu, dass die Bodenstandzeiten der Flugzeuge minimiert werden müssen, denn jede ungenutzte Minute auf dem Boden bedeutet für das Unternehmen einen Verlust. Daraus resultiert aber auch, dass die Flugpläne exakt durchgeplant werden müssen, damit die benötigten Flugzeuge genau zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Flughafen sind. Verzögerungen im Flugbetrieb führen zu einer Fehlerfortpflanzung, da bei Verspätungen wiederum auf neue Startfenster gewartet werden muss. Dieser Leistungsdruck wird sowohl an die Flugkapitäne, als auch an das Bodenpersonal weitergegeben. Wie jeder Flugpassagier beobachten kann, herrscht dadurch hektischer Verkehr auf den Rollfeldern. Zum einen pendeln verschiedene Servicefahrzeuge, wie Tanklaster, Reinigungsfahrzeuge oder Gepäckwagen, zwischen den, auf gegebenenfalls mehrere Vorfelder verteilten, Flugzeugstellplätzen und den Terminals. Zum anderen natürlich die Flugzeuge selber, die, größtenteils von ortsfremden Flugkapitänen, von der Landebahn zu ihrem richtigen Stellplatz und später zurück zur Startbahn gefahren werden müssen. Dieses gesamte Verkehrsaufkommen muss von den Lotsen im Tower im Blick behalten und koordiniert werden. Durch die großen Menge an Verkehrsteilnehmern und dem permanenten Zeitdruck können, insbesondere bei schlechten Sichtverhältnissen, auf allen Seiten schnell Fehler passieren.

Die meisten Unfälle, die auf den Vorfeldern der internationalen Flughäfen passieren, sind so genannte „runway incursions“, sprich: Zwei Fahrzeuge stoßen an der Kreuzung zweier Rollwege zusammen. Diese Kreuzungen sind meist mindestens auf einem der beiden Rollwege durch sogenannte „Stopbars“, im Prinzip eine in den Boden eingelassene Ampel, abgesichert. Wenn aber ein Pilot die optische Warnung übersieht, kommt es zu den beschriebenen Unfällen.

Das Fehlverhalten des Piloten muss somit vor dem Zusammenstoß von einem der Lotsen im Tower bemerkt werden. Nur dann kann er den Piloten auf seinen Fehler aufmerksam machen oder im Notfall den anderen betroffenen Flugzeugkapitän zum Anhalten oder gar Abbrechen des Startvorgangs veranlassen und somit den Zusammenstoß verhindern. Die meisten Flughäfen verfügen über ein Bodenradar (SMR), mit dem die Überwachung des Rollverkehrs auch bei schlechten Sichtverhältnissen möglich ist. Aber genauso wie bei einer optischen Überwachung vom Tower aus, muss das Fehlverhalten des Flugkapitäns durch eine Analyse der Situation vom Lotsen selbst entdeckt werden. Bei großem Verkehrsaufkommen kann eine Gefahrensituation somit leicht übersehen werden. Aus diesem Grund werden die Stopbars als Unfallschwerpunkte zusätzlich überwacht, zum Beispiel durch Induktionsschleifen oder Mikrowellensender und -empfänger. Wenn ein unerlaubtes Überqueren der Stopbars detektiert wird, können der Lotse oder der Pilot durch die zusätzliche Aktivierung von Lichtsignalen alarmiert werden.

2.2. ROLLFELDÜBERWACHUNG

Bei Induktionsschleifen handelt es sich um Spulen, die im Asphalt der Rollwege verlegt werden. Sie sind parallel zu einem Kondensator geschaltet, so dass sich ein Schwingkreis mit bekannter Resonanzfrequenz ergibt. Wenn sich ein metallischer Gegenstand, wie ein Fahrzeug, im Bereich der Induktionsschleife befindet, ändert sich dadurch die Induktivität der Spule und somit auch die Resonanzfrequenz, wodurch eine Detektionsmeldung möglich ist. Da die Induktionsschleifen unter dem Asphalt der Taxiways verlegt werden müssen, ist diese Überwachungstechnik vergleichsweise teuer. Bei der Überwachung durch Mikrowellensendern werden permanent elektromagnetische Wellen im Mikrowellenbereich ausgesendet und von einem Empfänger auf der anderen Seite des Taxiways empfangen. Wenn sich ein Objekt zwischen Sender und Empfänger befindet, wird die elektromagnetische Strahlung durch dieses Objekt zum Teil absorbiert, so dass am Empfänger nur noch ein Bruchteil der vorher empfangenen Leistung messbar ist. Somit ist auch in diesem Fall eine reine Detektionsmeldung möglich. Durch dieses simple Überwachungsprinzip tritt aber auch hier das zuvor beschriebene Problem der Fehlalarme auf, da auf Grund der begrenzten vorhandenen Informationen nicht zwischen verschiedenen Objekten unterschieden werden kann.

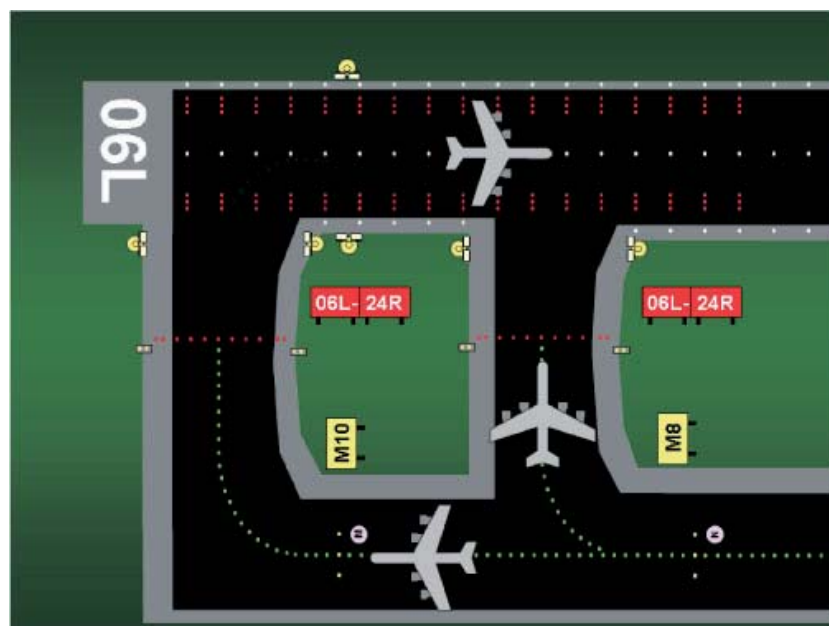


Abbildung 2.3: Stopbars auf einem Flughafenvorfeld