

Verbesserung der Fußgängerquerung an Hauptstraßen

elektronische Version
basierend auf der gleichnamigen

Diplomarbeit

an der Fachhochschule Hamburg
Fachbereich Bauingenieurwesen

-Textteil-



© Juni 1999
Gerhard Schirmacher
Bernstorffstr. 98a
22767 Hamburg

e-mail: hardy@mail.nadir.org

Inhaltsverzeichnis

Diplomarbeit

- Verbesserung der Fußgängerquerung an Hauptstraßen -	3
I. Teil.....	3
1.0 Fußgänger und Detektoren.....	3
1.1 Der Fußgängerverkehr	4
1.2 Komfort und Sicherheit.....	5
1.3 Einsatzmöglichkeiten.....	6
1.3.1 Automatische Anforderung.....	6
1.3.2 Konfliktflächenüberwachung.....	7
1.3.3 Weitergehende Verfahren.....	8
1.4 Die Eigenschaften der Fußgänger.....	8
1.4.1 Geschwindigkeit.....	9
1.4.2 Die Aufstellgewohnheiten	10
1.5 Die Geometrie der Fußgängeranlagen.....	10
2.0 Detektoren für den Fußgängerverkehr.....	14
2.1.0 Allgemeines.....	14
2.1.1 Anwendungsgebiete.....	15
2.1.2 Verkehrsarten.....	15
2.1.3 Verkehrskenngrößen.....	15
2.1.4 Technische und betriebliche Forderungen.....	16
2.1.5 Physikalisches Prinzip und Arbeitsweise.....	17
2.1.5.1 Passive Detektoren - aktive Detektoren.....	17
2.1.5.2 Statische Detektoren-dynamische Detektoren.....	17
2.1.5.3 Montagearten.....	18
2.1.5.4 Fehler.....	20
2.2.0 Typen von Detektoren	21
2.2.1 Taster.....	21
2.2.2 Aktive Infrarot-Detektoren (AIR).....	21
2.2.3 Passive Infrarot-Detektoren (PIR).....	22
2.2.4 Mikrowellen-Detektoren (RADAR).....	23
2.2.5 Ultraschall-Detektoren.....	25
2.2.6 Bildauswertung (Video-Kamera).....	25
2.2.7 Matten-Detektoren (piezoelektrisch, faseroptisch).....	27
2.2.8 Laser Scanner, RADAR-Scanner.....	29
2.3.0 Bewertung.....	30
2.3.1 Detektoren - Tabellarischer Vergleich.....	30
3.0 Einsatz und Erfahrungen.....	31
3.1. Einsatz in Deutschland.....	31
3.1.1 Velbert.....	32
3.1.2 Baden-Württemberg.....	33
3.2 Erfahrungen im Ausland.....	34
3.2.1 Die PUFFIN-Anlagen in Großbritannien.....	34
3.2.2 PUFFIN-Anlagen in anderen Ländern.....	36
3.2.2.1 Australien.....	36
3.2.2.2 Niederlande, Frankreich.....	37
3.2.3 USA.....	37
3.2.4 Schweden.....	39
3.2.5 England-Portugal-Griechenland (VRU-TOO).....	40
3.2.6 Schweiz.....	43
3.3 Fazit aus den Erfahrungen.....	45

II. Teil.....	46
4.0 Grundlagen der Untersuchung.....	46
4.1 Anforderungstaster und Fußgängerverhalten	46
4.2 Ziele der Untersuchung.....	48
4.2.1 Zählformular	48
4.2.2 Kriterien.....	49
4.2.3 Zählzeiten	50
5.0 Auswahl der Anlagen.....	51
5.1 Die Erhebungsstelle in Altona.....	52
5.2 Die Erhebungsstelle in Wedel.....	52
6.0 Ergebnisse.....	53
6.1 Gesamtbild.....	54
6.2 Zählstelle Altona.....	54
6.3 Zählstelle Wedel.....	56
6.4 Vergleich und Interpretation.....	58
6.5 Ergänzende Untersuchungen.....	59
6.5.1 Zusätzliche Betrachtung des ersten Fußgängers.....	59
6.5.2 Anlagen mit geringer Fußgängerfrequenz	60
6.5.2.1 Ergebnisse	61
7.0 Schlussfolgerung.....	62
8.0 Literatur- und Quellenangaben.....	64

Um sowohl die Übersichtlichkeit zu verbessern, als auch die Größe der Datei zu begrenzen, sind die Anlagen getrennt von diesem Textteil in einer eigenen Datei zusammengefasst

Diplomarbeit

- Verbesserung der Fußgängerquerung an Hauptstraßen -

Der Titel dieser Arbeit ist sehr allgemein gehalten, zur Verbesserung der Bedingungen für querende Fußgänger an Hauptstraßen gibt es einige Möglichkeiten, und viele davon werden hier nicht einmal angerissen.

Der erste Teil dieser Arbeit befasst sich mit der automatischen Erfassung von Fußgängern durch Detektoren an verkehrsabhängigen Lichtsignalanlagen. Schwerpunkte sind die Technik der automatischen Erfassung sowie die Behandlung dieser Informationen durch die Steuerung. Dazu werden Anwendungsbeispiele aus dem In- und Ausland vorgestellt. Der zweite Teil ist eine Untersuchung zum Fußgängerverhalten an konventionellen Lichtsignalanlagen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Frage, inwieweit die herkömmlichen Anforderungstaster durch die Fußgänger tatsächlich betätigt werden oder ob das Verhalten der Fußgänger zu Fehlern an bedarfsabhängigen Lichtsignalanlagen führt.

I. Teil

1.0 Fußgänger und Detektoren

„Die Einführung von Detektoren an Fußgängersignalen kann weder alle mit den Signalen verbundenen Probleme lösen, noch kann sie alle Konflikte oder Unfälle ausschliessen. [...] Aber die [automatische] Erfassung kann dabei helfen, das Gleichgewicht mehr zu Gunsten der Fußgänger zu verschieben. Der einfache Zwang einen Knopf zu drücken, um die eigene Anwesenheit zu melden, zeigt den jetzigen zweitklassigen Status der Fußgänger. Zusätzlich ist die Erfassung eine Voraussetzung, um [die Steuerung der] Signale intelligenter zu machen, denn solche Intelligenz benötigt Informationen über den laufenden Bedarf. [...] Die Tatsache, dass die hier vorgestellten vergleichsweise kleinen Änderungen an den Signalen wahrnehmbare Verbesserungen gebracht haben, sollte dazu ermutigen, diese allgemein einzuführen.“ (sinng.¹ Carstens u.a., 1998) siehe dazu auch Kap. 3.2.4.

¹ Die mit „sinngemäß“ gekennzeichneten Zitate sind vom Autor aus dem Englischen übertragen worden.

1.1 Der Fußgängerverkehr

„Die gesamte Entwicklung unserer Kultur war und ist eine des Fußgehers. Jahrtausende an Erfahrung liegen für diese Fortbewegungsart vor, der Fußgeher hat diese Siedlungsstrukturen geprägt“ (Knoflacher, 1995). Im menschlichen Leben spielt das Zufußgehen unter den Verkehrsarten immer noch eine überragende Rolle. Kinder lernen laufen und gehen dann zu Fuß. Erwachsene gehen, auch wenn sie sich dabei als Autofahrer begreifen, mindestens noch zu Fuß zu ihren Autos. Es werden aber immer noch knapp 30% aller Wege zu Fuß zurückgelegt (Schlabbach, 1994). In den letzten beiden Jahrzehnten begann sich die Aufmerksamkeit von Planern wie Öffentlichkeit wieder verstärkt auf den lange vernachlässigten Fußgängerverkehr zu richten. Der größte Teil des Verkehrsnetzes ist für Fußgänger immer noch ungeeignet. Nur die enorme Flexibilität der Fußgänger erhält dabei die Funktion aufrecht. Durch das große Gefährdungspotential, dass¹ Kraftfahrzeuge für Fußgänger darstellen, werden die Überlappungen der beiden Verkehrsarten für Fußgänger gefährlich. An den Hauptverkehrsstraßen sind daher vielfach signalgeregelte Übergänge für Fußgänger angeordnet. Die meisten Fußgänger-Furten sind Teil von Signalanlagen des Fahrzeugverkehrs an Knotenpunkten, sie sind also ursprünglich nicht für Fußgänger eingerichtet. Andere Anlagen sind extra für die Fußgänger errichtet worden. Trotzdem orientieren sich Steuerung wie Hardware der bestehenden Anlagen fast immer nur an den Bedürfnissen der Kraftfahrzeuge. In den neueren Richtlinien, z.B. den RiLSA (FGSV, 1991), sind schon deutliche Bestrebungen erkennbar, diese Situation im Sinne der schwächeren Verkehrsteilnehmer zu verbessern. Es wird dabei jedoch immer versucht, die Belange der Fußgänger mit starren Mindestanforderungen abzudecken: Mindestgrünzeiten, Räumzeiten und empfohlene Obergrenzen für die Wartezeiten. Die Räumzeiten werden auch immer eingehalten, aber Grünzeit und Wartezeiten fallen dann schon mal der Leistungsfähigkeit des Kraftfahrzeugverkehrs zum Opfer.

In modernen Verkehrssystemen wird ansonsten ein hoher Aufwand an Informationserfassung und Verarbeitung getrieben. Intelligente Verkehrssysteme sind Thema von Forschung und zahlreichen Veröffentlichungen im In- und Ausland. Häufig wird eine Vernetzung der Informationen angestrebt, um Nahverkehr und Kraftfahrzeugverkehr miteinander zu koordinieren. Diese Bestrebungen betreffen jedoch alle nur den motorisierten Verkehr. Obwohl häufig als Ziel der intelligenten Verkehrssysteme auch die Förderung umweltfreundlichen Verhaltens festgelegt ist, wird selten versucht, auch Fußgänger in die Entwicklung einzubeziehen.

Zum einen erscheint es aber widersinnig, in einer intelligenten Ampelsteuerung die starren Forderungen der Richtlinien immer einzuhalten, zum anderen ist es sehr schwer, die Zielkonflikte in der Steuerung verkehrsabhängiger Signalanlagen zu lösen, wenn man nur Informationen über eine Seite der Beteiligten erhält. Solange also keine Informationen über wartende Fußgänger zur Verfügung stehen, wird der Planer häufig den

¹ Dass das „dass“ nach der alten Rechtschreibung „daß“ geschrieben wurde, ist bekannt. Aber hier wird versucht die neuen Regeln anzuwenden.

eindeutigen Zahlen der Stau- und Zählstreifen höhere Priorität einräumen als der vagen Möglichkeit eines wartenden Fußgängers oder auch einer großen Gruppe derselben.

Herkömmlicherweise werden bedarfsabhängige Steuerungen von Fußgängersignalanlagen mittels Anforderungstastern realisiert. Die Fußgänger müssen dabei, als einzige^I der Verkehrsteilnehmer ihre Freigabe aktiv anfordern. Diese Ungleichbehandlung gegenüber dem Kraftfahrzeugverkehr begründet sich aus einer ganzen Reihe von Argumenten. Ein Hauptgrund ist aber die Tatsache, dass die automatische Erfassung von Fußgänger ungleich schwieriger ist als die von Fahrzeugen, und das Interesse daran sowie die Kenntnis der entsprechenden Versuche und Untersuchungen bei Planern und Ausführenden häufig sehr gering ist.

1.2 Komfort und Sicherheit

Die Sicherheit des Verkehrs ist schon immer eine wichtige Forderung, beim Fußgängerverkehr ist diese aber mehr als bei anderen Verkehrsarten mit dem Komfort der Lösungen verknüpft. Da Fußgänger immer dort potentiell gefährdet sind, wo ihr Verkehrsraum sich mit dem der Kraftfahrzeuge überschneidet, stellt das Verhalten der Fußgänger an Straßenüberquerungen einen wichtigen Faktor bei der Verkehrssicherheit dar. Wenn die Fußgänger den Signalschutz nicht annehmen, sondern bei Rot gehen, läuft die Schutzfunktion der Lichtsignalanlagen ins Leere. Daher können Fußgängersignale nur dann Verbesserungen der Sicherheit bieten, wenn sie von den Nutzern akzeptiert werden. Weeber beschreibt die Reaktion der Fußgänger auf „Erschwernisse“ so:

„Fußgänger reagieren sehr verschieden auf Erschwernisse:

-sie akzeptieren das Angebot und nehmen es an,

-sie halten das Angebot für ungeeignet, nehmen es aber trotzdem an, weil sie keine brauchbare Alternative sehen; das Ergebnis ist Verärgerung,

-sie schlagen ein Schutzangebot aus und queren eine Straße unter erhöhtem Risiko,

-sie wählen einen anderen angenehmeren Weg,

-oder sie verzichten auf den Gang überhaupt“

(Weeber u.a., 1980)^{II}

Querungen von Hauptstraßen stellen immer „Erschwernisse“ für Fußgänger dar, die Alternativen, die ihnen zu den beiden ersten Möglichkeiten (Akzeptanz) offenstehen, werden mit abnehmendem Komfort der Querung immer attraktiver. Im hier interessierenden Fall der Fußgängerquerung an

I Abgesehen von mit Fußgängern gemeinsam geführten Radfahrern.

II Zitiert nach Schmitz, 1989

Lichtsignalanlagen heißt Akzeptanz des Signalschutzes durch die Fußgänger nach dem oben Gesagten auch Sicherheit^I. Nur komfortable Anlagen stoßen auf große Akzeptanz, akzeptierte Anlagen sind auch sicher.

An Lichtsignalanlagen heißt Komfort für Fußgänger in erster Linie angemessene Wartezeit. Damit die Wartezeit aber von der Steuerung bemessen werden kann, ist bei bedarfsabhängiger Steuerung eine sichere Erfassung der Fußgänger nötig. Daher ist die Benutzung der Anforderungstaster ein kritischer und sicherheitsrelevanter Punkt beim Betrieb von Signalanlagen mit herkömmlichen Tastern.

Die spärlichen Quellen in der Literatur nennen zum Teil relativ geringe Quoten von „Tasterbenutzern“: 69% (aber einmal auch 95,3%) (Dickinson u.a., 1995), 49% und 27% (Davies, 1992)^{II}, 18% (Levelt, 1992)^{III}, 32% (Ryley u.a., 1998). Hughes (1998) spricht auch von nur rund der Hälfte aller Fußgänger, die die Taster benutzen, und im zweiten Teil dieser Arbeit werden Zahlen vorgelegt, die diese Aussagen bestätigen. Es kann daher erwartet werden, dass das Verhalten der Fußgänger ihre Benachteiligung im Verkehr noch verstärkt. Ein Ausweg aus dieser Situation könnte die automatische Erfassung von Fußgängern mittels Detektoren sein.

1.3 Einsatzmöglichkeiten

Unterscheiden lassen sich hauptsächlich zwei Einsatzgebiete für die automatische Erfassung von Fußgängern: Die automatische Anforderung und die Konfliktflächenüberwachung.

1.3.1 Automatische Anforderung

Bei der automatischen Anforderung ersetzen die Detektoren den herkömmlichen Anforderungstaster. Sie können dabei ankommende Fußgänger erfassen, wartende Fußgänger erfassen oder Beides leisten. Wegen der Schwierigkeiten vieler (dynamischer) Detektoren bei der sicheren Erfassung von stillstehenden Fußgängern, bietet die Messung von ankommenden Fußgängern und Speicherung dieser Anforderung eine einfache Lösung. Dabei kann die Anwesenheit der Fußgänger aber nicht verifiziert werden, und daher eine einmal ergangene Anforderung auch nicht mehr abgemeldet werden. Solche Konfigurationen reagieren daher auf

I Die Bedingung, dass eine moderne LSA für Fußgänger Sicherheit bietet, wird hier vorausgesetzt.

II Zitiert nach Carsten u.a. 1998

III Zitiert nach Carsten u.a. 1998

positive Fehler besonders empfindlich mit Leistungsfähigkeitseinbußen für den Kraftfahrzeugverkehr oder mit schwer nachvollziehbaren Sperrzeiten. Einen fast gegenteiligen Ansatz verfolgen die Briten mit den sogenannten PUFFIN-Anlagen. Dabei wird für die Anforderung weiterhin ein Taster verwendet, aber der wartende Fußgänger wird laufend mit automatischen Detektoren auf Anwesenheit überwacht, und die Anmeldung wird wieder gelöscht sobald er sich nicht mehr im Bereich des Detektors befindet (vergl. Kap. 3.2.1).

Teilen sich wartende Personen die Aufstellfläche mit parallel zur Fahrbahn gehenden Fußgängern, muß die Steuerung also zwischen beiden unterscheiden, so bietet sich die Einführung einer Verzögerung an: Hält sich eine Person eine bestimmte Zeit im Aufstellbereich auf, wird die Anforderung geschaltet. Dabei verlängert sich die Wartezeit zwangsläufig um die eingestellte Verzögerung. Wenn in einem Beispiel der Erfassungsbereich des Detektors 5 m in Längsrichtung misst, hat ein sich mit 1,2 m/s bewegendes Fußgänger den Bereich in 4,2 Sekunden durchschritten. Die Verzögerung für die Anforderung müßte also 5 Sekunden betragen. Um diese 5 s verlängert sich damit auch die Wartezeit des Fußgängers¹.

Um die Wartezeit zu verkürzen, kann angestrebt werden die Erfassung von Fußgängern möglichst früh, noch bevor diese an der Furt ankommen, zu gewährleisten. In solchen Fällen kann dann auch eine Verlängerungsmöglichkeit für ankommende Fußgänger realisiert werden.

Die automatische Anforderung bietet einmal mehr Komfort für Fußgänger als die herkömmlichen Anforderungstaster und zusätzlich einen Sicherheitsvorteil gegenüber diesen. Fußgänger müssen nicht mehr explizit auf den Taster drücken, dafür wird jeder Fußgänger unabhängig von seinem Verhalten erfasst.

1.3.2 Konfliktflächenüberwachung

Bei der Konfliktflächenüberwachung liegt der Erfassungsbereich auf der Furt. Solange Fußgänger erkannt werden, wird entweder die Grünzeit oder die Räumzeit verlängert. Im Ausland ist zum Teil auch eine Verkürzung der Räumzeit bei Freimeldung der Furt zulässig (siehe Kapitel 3.2.6). Die Konfliktflächenüberwachung löst den weiter unten im Kapitel über die Fußgänger-Geschwindigkeit (Kapitel 1.4.1) gezeigten Zielkonflikt bei dem Ansatz einer rechnerischen Räumgeschwindigkeit.

Während auf der einen Seite das Interesse besteht, die Räumzeiten und damit auch die Wartezeiten für andere Verkehrsteilnehmer gering zu halten, steht auf der anderen Seite das berechnete Interesse der ohnehin benachteiligten, besonders langsamen Fußgänger auf eine sichere und stressfreie Überquerung der Fahrbahn. Die Konfliktflächenüberwachung mit

¹ Ob sich diese Verlängerung tatsächlich auswirkt, hängt von der Steuerung der Anlage und dem Zeitpunkt der Anforderung ab.

Verlängerung von Grün- und Räumzeit stellt erstens einen Gewinn für den Komfort und die Sicherheit der Fußgänger dar, während sie zweitens durch Verkürzung nicht genutzter Freigabezeiten die Verhältnisse für den Fahrzeugverkehr verbessert.

1.3.3 Weitergehende Verfahren

Weitergehende Verfahren, z.B. Zählung und bedarfsabhängige Signalprogrammauswahl sind denkbar und in speziellen Fällen, vor allem an Bahnhöfen oder Schulen, also Stellen stark intermitierenden Fußgängerverkehrs sicher auch sinnvoll. Die heutige Detektortechnik läßt die Zählung von Fußgängern innerhalb von Gruppen jedoch noch nicht zu. Die laufende Entwicklung muß daher abgewartet werden (siehe auch Kapitel 2.2.6 und 2.2.8).

1.4 Die Eigenschaften der Fußgänger

Bevor die technischen Aspekte bei der Erfassung von Fußgängern erläutert werden, soll hier kurz auf die Eigenarten des Fußgängerverkehrs eingegangen werden, soweit sie Bedeutung für die automatische Erfassung haben.

Der geringe Platzbedarf, die große Wendigkeit bei der Bewegung und die gute Verträglichkeit unterschiedlicher Verkehrsrichtungen auf kleinem Raum sind Zeichen der hohen Qualität des Fußgängerverkehrs als Verkehrsmittel. Gleichzeitig erschweren sie die automatische Erfassung durch Detektoren sehr. Von den Verkehrsarten ist der Fußgängerverkehr derjenige, der sich am schwersten mit technischen Mitteln erfassen läßt. Als Objekt der Meßtechnik betrachtet, sind Fußgänger also ein schwieriger Fall. Während der Fahrzeugverkehr nach Richtungen getrennt auf unterschiedlichen Spuren geführt und durch entsprechende Detektoren getrennt erfasst wird, hat der Fußgänger bei der Wahl seines Weges eine viel größere Freiheit, und die Daten, die die Detektoren liefern, sind daher weniger spezifisch. Zusätzliche Erschwernisse stellen Kinderwagen, Regenschirme, und Hunde dar. Für die meisten Detektoren ist es z.B. unmöglich Hunde und andere Tiere von Menschen zu unterscheiden. Für volumetrische Detektoren, also Detektoren die die Fußgänger zählen können sind Menschen mit Regenschirmen und Kinderwagen besonders schwierig zu behandeln¹.

¹ Gerechterweise kann man erwähnen, dass auch viele Induktionsschleifen nicht zwischen z.B. einem Einkaufswagen und einem Taxi unterscheiden können.

Manche Fehlerquellen bei der Erfassung sind mit vertretbarem Aufwand nicht zu vermeiden. Diese müssen akzeptiert werden und es ist gegebenenfalls zu untersuchen, wie groß die Auswirkungen der dadurch bedingten Fehler sind und wie die Grenzen dafür gesetzt werden sollen.

1.4.1 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit der Fußgänger ist (nach Weidmann,1993) von drei Gruppen von Einflüssen abhängig: Erstens von den Eigenarten des individuellen Gehers, so Alter, Geschlecht und Gesundheit, Einflüssen aus dem Erholungsgrad und aus Belastung durch Gepäck. Zweitens von Begleitumständen der Bewegung wie der Witterung oder dem Zweck und dem Zeitpunkt des Weges, z.B. schnelles morgendliches Eilen zur Arbeit gegenüber dem langsamem Schlendern beim Flanieren. Drittens von den Charakteristiken der Anlage: der Steigung, der Qualität der Wegstrecke, der eventuellen Glätte, der Attraktivität der Umgebung. Die unterschiedlichen Einflüsse überlagern sich und sind zusätzlich von der Dichte des Verkehrs abhängig. Im hier interessierenden Fall der Überquerung von Hauptstraßen an Lichtsignalanlagen sind zwei Gesichtspunkte von Bedeutung: Zum einen die Mindesträumgeschwindigkeit der Fußgänger, als dem bestimmenden Faktor für die Räumzeit. Weiterhin die Durchschnittsgeschwindigkeit von Einzelpersonen und Personengruppen für die komfortable Bemessung von Grünzeiten und für allgemeine Aspekte der Erfassung von Fußgängern.

Die deutschen Richtlinien RiLSA (FGSV,1992) nennen 1,2-1,5 m/s, in Ausnahmen auch 1,0 m/s, als Rechenwert für die Räumgeschwindigkeit der Fußgänger. Diese Werte entsprechen gut dem Durchschnitt: *„In der untersuchten Literatur fanden sich 52 Angaben zur Durchschnittsgeschwindigkeit des Menschen, welche stark streuen. Der Durchschnitt liegt bei 1,34 m/s bei einer Spannweite von 0,97 bis 1,65 m/s [...] Die überwiegende Zahl der Angaben bewegt sich zwischen 1,25 und 1,45 m/s. Der Sonderfall der Straßenüberquerung zeigte bei 17 Angaben im Mittel eine leicht tiefere Durchschnittsgeschwindigkeit von 1,28 m/s“* (Weidmann,1993). Allerdings kommen auch deutlich geringere Geschwindigkeiten vor, und diese vor allem bei besonders schutzwürdigen Personen wie z.B. Senioren: *„Eine 70-jährige Person erreicht lediglich noch etwa 72% und eine 80-jährige Person sogar nur 50% der durchschnittlichen Geschwindigkeit.“* (ebenda) Es können also deutlich geringere Geschwindigkeiten auftreten als die Rechenwerte angeben, gleichzeitig sei es aber nicht sinnvoll, geringere rechnerische Räumgeschwindigkeiten anzuwenden, weil dies *„zu Räumzeiten führt, die von den übrigen Verkehrsteilnehmern deutlich als zu lang empfunden werden“* (FGSV,1992). Gleue führt weiter aus: *„Eine Räumgeschwindigkeit von $v_r = 1,2$ m/s erscheint auch im Hinblick auf ältere Personen angemessen. Von gehbehinderten Personen muß erwartet werden, dass sie die Fußgängerfurt möglichst nur bei Beginn der Grünzeit*

betreten.“ (Gleue, 1974)¹. Im zweiten Teil dieser Arbeit, in den Untersuchungen zum Verhalten der Fußgänger, wird unter anderem darauf hingewiesen, dass das von Gleue geforderte „vernünftige“ Verhalten mehrfach gerade nicht beobachtet wurde. Statt dessen betraten besonders langsame Personen, sei es aus mangelnder Einsicht, sei es weil sie auch in ihrer Reaktionsfähigkeit auf die Umwelt verlangsamt waren, die Furt noch am Ende der Grünzeit oder sogar schon bei Rot. Vergl. Kapitel 6.2 und 6.3.

1.4.2 Die Aufstellgewohnheiten

Der Platzbedarf der Fußgänger ist im Zusammenhang dieser Arbeit insoweit von Bedeutung, als dass sich die Aufstellgewohnheiten der Fußgänger an Lichtsignalanlagen danach richten. *„Die Fußgänger verteilen sich nicht gleichmäßig über die Aufstellfläche, sondern die Aufstelldichte nimmt mit der Entfernung von der Bordsteinkante etwa linear ab. [...] Auf dem ersten Meter, unmittelbar an der Fahrbahn, ist eine auffallend gesteigerte Flächenausnutzung zu verzeichnen.“*(Oeding,1963) Daraus darf aber nicht darauf geschlossen werden, dass einzelne Fußgänger immer direkt am vorderen Rand der Aufstellfläche warten würden. Vielmehr spielen andere Einflüsse wie z.B. starker KFZ-Verkehr auf der Fahrbahn eine Rolle: *„Ein großer Anteil (56%) der wartenden Fußgänger [...] befand sich außerhalb des Detektorbereichs, da sie nach dem Drücken des Tasters zurücktraten [...]. Dies vermutlich wegen des großen Platzangebotes hinter der Zone und starken [KFZ-]Verkehrstroms.“* (sinng. Ryley u.a.,1998) Auch für nordeuropäische Verhältnisse ungewöhnliche Einflüsse können da eine Rolle spielen, so in Phönix, Arizona: *„Eine andere Hürde war, dass einige Fußgänger während des Wartens [...] eher im Schatten des Signal(-masts) stehen wollten. Dies ist besonders [wesentlich] während der heißen Sommermonate [...]“* (sinng. Hughes u.a. ,1998).

1.5 Die Geometrie der Fußgängeranlagen

Die örtlichen Verhältnisse, so die Anordnung der Fußgängerfurt, der Gehwege und der Aufstellflächen, haben einen großen Einfluß auf die automatische Erfassung der Fußgänger an Lichtsignalanlagen. Fußgänger sind schwerer richtig zu erfassen als andere Verkehrsarten, daher müssen die Möglichkeiten der Detektoren gut auf die Verhältnisse vor Ort abgestimmt werden. Beim Fahrzeugverkehr lassen sich, wenn getrennte Fahrspuren angeordnet sind, Verkehrsströme leicht messtechnisch auseinanderhalten,

¹ Zitiert nach Schmitz, 1989

z.B. wird eine in einer Linksabbiegerspur eingebaute Zählschleife in der Regel genau die Fahrzeuge melden, die dann auch links abbiegen. Beim Fußgängerverkehr dagegen sind die Verhältnisse nicht so eindeutig. Trotzdem müssen die Personen, die die Fahrbahn queren wollen, richtig erkannt werden, wogegen Personen die dem straßenbegleitenden Gehweg folgen, ignoriert werden sollen. Sind der durchlaufende Gehweg und die Aufstellflächen der Fußgängerfurt nicht räumlich voneinander getrennt, z.B. wie in Abbildung 1 dargestellt, so kann nur das Verhalten der Fußgänger ausgewertet werden.

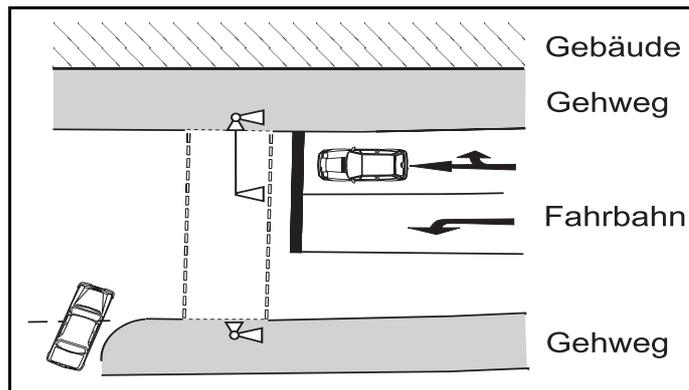


Abbildung 1

Gehwege durch Aufstellflächen durchlaufend

Eine einfache Lösung bietet die Einführung einer Verzögerungszeit. Es kann in manchen Fällen durch die geschickte Wahl der Standorte der Detektoren und des Erfassungsbereiches versucht werden, diese Verzögerung geringzuhalten. Natürlich sind Fehlanforderungen durch langsame Personen oder zufällig stehenbleibende Menschen möglich (vergl. Kap. 1.3.1, Beispiele finden sich in Kap. 3.2.2).

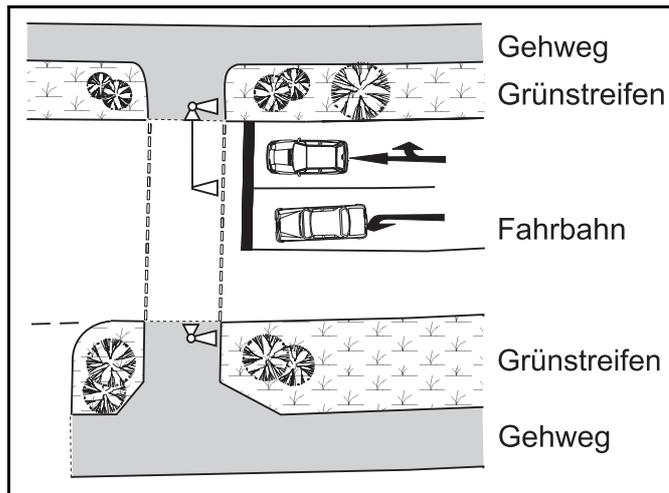


Abbildung 2
Aufstellflächen von Gehweg abgesetzt

In Abbildung 2 dagegen ist eine räumliche Situation dargestellt, wo die Fußgänger aufstellflächen deutlich vom Gehweg abgesetzt sind. Hier kann daher die Erfassung einer Person auf dem Aufstellbereich die sofortige Anforderung auslösen. Es kann natürlich genau wie bei dem ersten Beispiel auch durch Personen, die sich in dem Bereich lediglich aufhalten zu Fehlanforderungen kommen.

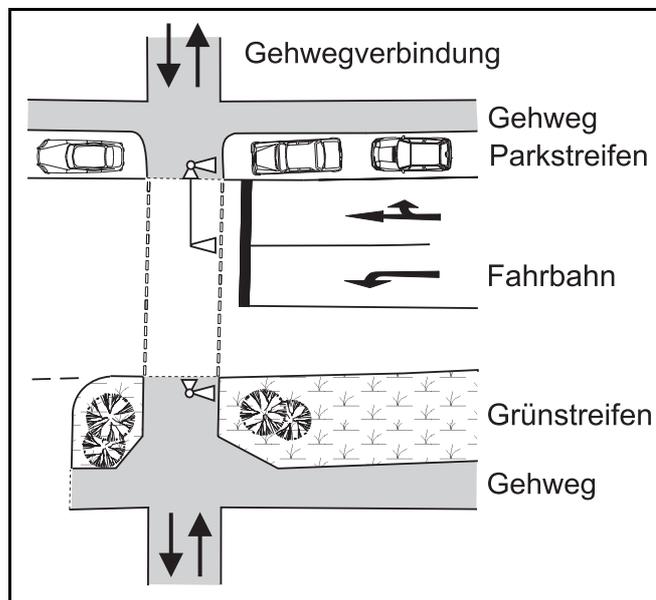


Abbildung 3
Fußwegverbindung kreuzt Straße

Kreuzt ein Fußweg mit starken Fußgängerströmen die Straße an der Lichtsignalanlage oder sind in der Umgebung starke Quellen des Fußgängerverkehrs vorhanden wie z.B. Schulen (vergl. Porto in Kap.3.2.4), so können die auf die Furt zukommenden Fußgänger mit richtungsselektiven Detektoren, also in der Regel Mikrowellen-Detektoren, erfasst werden. Dabei lässt sich auch eine frühzeitige Erfassung vor der Ankunft an der Signalanlage realisieren, um die Anforderung entsprechend früh zu schalten oder um eine Verlängerung der Grünzeit für spät ankommende Fußgänger zu ermöglichen (Abbildung 3).

Für Detektoren, die auf vorhandenen Signalmasten montiert werden sollen, spielt die Position des Mastes eine Rolle. In ungünstigen Fällen kann es geboten sein, für den Detektor andere geeignete Befestigungsmöglichkeiten zu suchen oder zu schaffen. Nach Schweizer Erfahrungen (vergl. Kapitel 3.2.6) ist die Anordnung von Infrarot-Detektoren zur Furtüberwachung auf Signalmasten dann problematisch, wenn der Signalmast so weit von der Fahrbahn entfernt steht, dass Fußgänger zwischen Mast und Fahrbahn hindurch gehen oder dort stehen können. Die Problematik zeigen die Abbildungen 4 und 5.

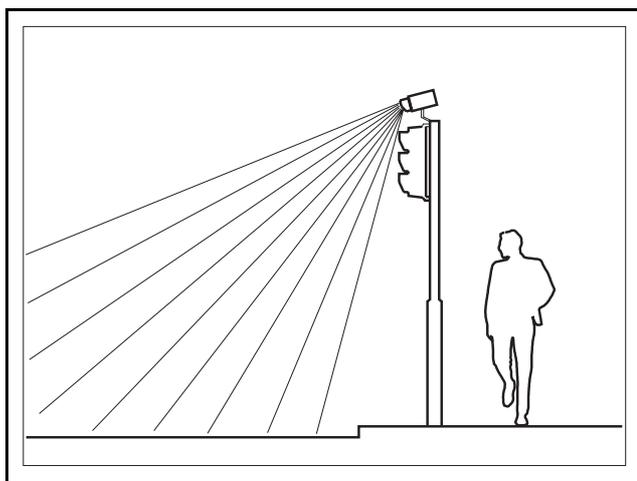


Abbildung 4
Signalmast mit Detektor dicht am
Fahrbahnrand

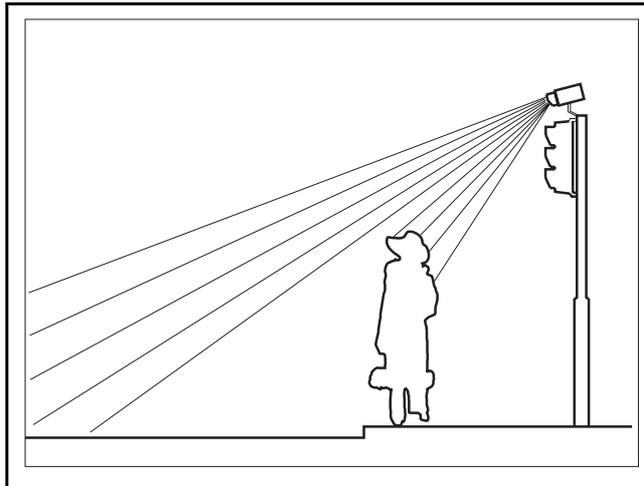


Abbildung 5

Detektor auf Signalmast entfernt vom Fahrbahnrand.

Wenn der Detektor die ganze Fläche der Furt abdecken soll, können Fußgänger auf dem Gehweg in dessen Bereich geraten.

2.0 Detektoren für den Fußgängerverkehr

In diesem Abschnitt werden die Detektoren, deren Einsatz für die Erfassung von Fußgängern möglich ist, vorgestellt.

2.1.0 Allgemeines

„Verkehrsdetektoren wurden anfänglich nur zu Verkehrszählungen und einfachen Fahrzeug- und Fußgängeranforderungen verwendet“ (FGSV, 1991). Während die steigenden Anforderungen aus der Verkehrstechnik für den motorisierten Verkehr zu einem Einsatz von hochentwickelten Detektoren geführt haben, ist dies für den Fußgängerverkehr im wesentlichen so geblieben.

2.1.1 Anwendungsgebiete

Die in diesem Abschnitt dargestellten Detektoren können bei Anwendungen an Lichtsignalanlagen eingesetzt werden. Weiterhin sind auch Anwendungen bei der Lenkung von Fußgängerströmen z.B. bei Messen oder die Anwendung bei Verkehrszählungen und Untersuchungen denkbar.

2.1.2 Verkehrsarten

Diese Arbeit befasst sich mit dem Fußgängerverkehr als Untergruppe des Individualverkehrs. Eine weitere Untergruppe des Fußgängerverkehrs bilden Personen mit besonderer Behinderung, so Sehbehinderte und besonders langsame Personen. Obwohl die automatische Erfassung für diese eine besondere Bedeutung hat, werden die besonderen Belange der Behinderten in dieser Arbeit noch ausgespart. Als zweite Untergruppe treten Radfahrer dort in Erscheinung wo sie mit den Fußgängern gemeinsam oder auf gesonderten Radwegen, aber mit paralleler Führung zum Gehweg, geführt werden. Auch die Radfahrer werden in diesem Text noch nicht besonders behandelt.

2.1.3 Verkehrskenngrößen

„Als Kriterien für die verkehrsabhängige Steuerung werden Kenngrößen benötigt, die als Grundinformation der Detektoren direkt zur Verfügung stehen oder aus ihnen ableitbar sind. Verkehrskenngrößen sind Beschreibungsgrößen für die Anwesenheit und das Bewegungsverhalten der Verkehrsteilnehmer“ (FGSV,1991). Detektoren können unterschiedliche Messwerte erfassen: In der Regel ist das die Anwesenheit von Objekten im Erfassungsbereich; es kann aber die Bewegungsrichtung, die Größe, die Höhe, die Entfernung, die Zahl oder die Geschwindigkeit der Objekte dazukommen. Aus diesen Messwerten werden die Kenngrößen abgeleitet, die von der Steuerungslogik ausgewertet werden.

Als Verkehrskenngrößen im Fußgängerverkehr kommen im wesentlichen in Frage:

Anwesenheit	Anwesenheit von Personen in einer definierten räumlichen Zone, z.B. auf der Aufstellfläche oder der Furt
--------------------	--

Abwesenheit	Fehlen der Anwesenheit
Anforderung	Meldung des Beginns der Anwesenheit, abhängig von der Entscheidungslogik. Bei Tastern das bewusste Anfordern der Freigabe durch den Fußgänger
Abmeldung	Meldung des Beginns der Abwesenheit, abhängig von der Entscheidungslogik
Anwesenheitszeit	
(Wartezeit)	Zeitdauer der Anwesenheit, auch Zeitdauer seit der Anforderung
Abwesenheitszeit	Zeitdauer der Abwesenheit
Zeitlücke	Zeitdauer zwischen zwei Zuständen, z.B. zwischen den Anwesenheiten zweier Verkehrsteilnehmer
Belegungsgrad	Summe der Anwesenheitszeiten pro Zeitintervall
Stau	Überschreitung einer Anzahl Personen, auf eine räumliche Zone bezogen, oder räumliche Überschreitung einer definierten Zone durch einen Pulk
Gehrichtung	Richtung, in die der Verkehrsteilnehmer geht
Anzahl	Zahl der Personen in einer definierten räumlichen Zone
Verkehrsstärke	Anzahl bezogen auf die Zeit

Von diesen Verkehrskenngrößen des Fußgängerverkehrs kann mit den herkömmlichen Tastern nur die Anforderung, und davon abgeleitet, die Wartezeit erfasst werden.

Verkehrskenngrößen, die eine Aussage über die Anzahl der Personen im Verkehrsraum beinhalten, sind darüber hinaus auch mit automatisch wirkenden Detektoren sehr schwer zu ermitteln.

2.1.4 Technische und betriebliche Forderungen

An Detektoren für den Fußgängerverkehr sind keine anderen Anforderungen zu stellen als an andere Detektoren im Verkehrswesen. Durch ihre oft gegebene bauartbedingte Nähe zu den Anlagen des Fußgängerverkehrs ist auf eine hohe Beständigkeit gegen Vandalismus zu achten. Dabei hilft eine besonders unzugängliche Anordnung (FGSV, 1991).

2.1.5 Physikalisches Prinzip und Arbeitsweise

2.1.5.1 Passive Detektoren - aktive Detektoren

Detektoren können nach passiven und aktiven Detektoren unterschieden werden. Im Gegensatz zu dem manchmal verwendeten Begriff der „passiven Erfassung“ von Fußgängern ist hier die physikalische Wirkungsweise des Detektors gemeint. Die Unterscheidung betrifft besonders Strahlungsfeld-Detektoren, also Detektoren, die mit irgendeiner Art von Strahlung und deren Wechselwirkung mit der Umgebung arbeiten. Strahlungen oder Wellen kommen in diesem Fall vor im Bereich vom sichtbaren Licht bis zur Mikrowellenstrahlung. Ein Sonderfall ist der Ultraschall, der zwar eine Welle, aber keine elektromagnetische, sondern eine Luftdruckwelle darstellt.

Aktive Detektoren senden die verwendete Art von Strahlung aktiv aus und empfangen das Echo, oder sie reagieren auf das Ausbleiben der Strahlung (Lichtschranke).

Sie sind unabhängig von der natürlichen Strahlung der Umgebung, wirken aber auf ihre Umwelt ein. Gesundheitsgefahren sind dabei nicht von vornherein ausgeschlossen. Geräte, die gleichzeitig an einem Ort dasselbe Frequenzband verwenden, können sich gegenseitig beeinflussen. Durch Laufzeitmessung ermöglichen aktive Detektoren oft die Messung der Entfernung zum Ziel. Für den Betrieb können (Sende-) Genehmigungen nötig sein.

Aktive Detektoren sind: Mikrowellendetektoren, Aktive Infrarotdetektoren (AIR), Lichtschranken, Ultraschalldetektoren, Laser-Scanner.

Passive Detektoren nutzen die vorhandene Strahlung der Umgebung.

Sie sind vom vorhandenen Strahlungsfeld abhängig, beeinflussen sich aber dafür nicht gegenseitig und wirken nicht auf die Umwelt ein.

Passive Detektoren sind: Passive Infrarotdetektoren (PIR), Videokameras.

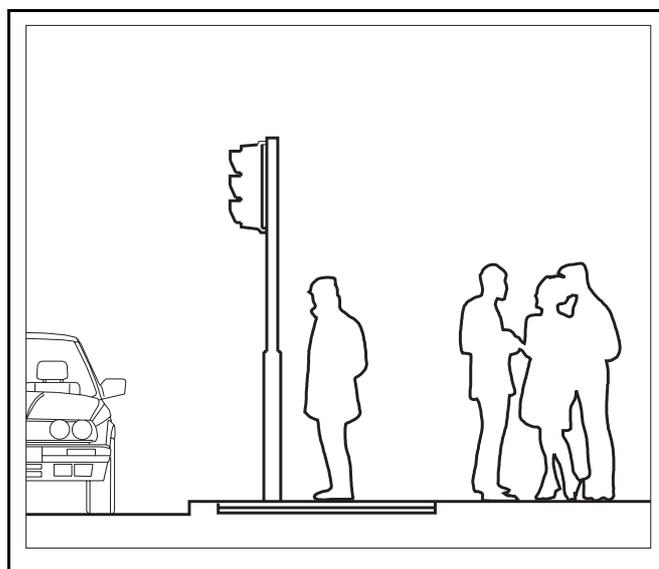
2.1.5.2 Statische Detektoren-dynamische Detektoren

Detektoren können in statische und dynamische Detektoren unterschieden werden. Diese Unterscheidung betrifft den Verwendungszweck, für den die Geräte entwickelt wurden. Dynamische Detektoren sind nur in der Lage, sich bewegende Objekte sicher zu erfassen. Statische Detektoren eignen sich auch zur Präsenzmessung unbeweglicher Objekte. Mikrowellen- und PIR-

Detektoren sind in erster Linie dynamische Detektoren. Durch besondere Maßnahmen können bestimmte Geräte aber auch für den statischen Einsatz ausgelegt sein.

2.1.5.3 Montagearten

Je nach Meßprinzip und Einsatzbereich können bestimmte Detektoren besondere Arten der Montage erfordern oder auch unterschiedliche Montagearten gestatten.



*Abbildung 6
Mattendetektor
als Anforderungs-Detektor*

Matten-Detektoren werden im oder auf dem Boden eingebaut (Abb. 6), Infrarot und Mikrowellendetektoren in der Regel auf einem Mast, schräg auf den Boden gerichtet (Abb.7).

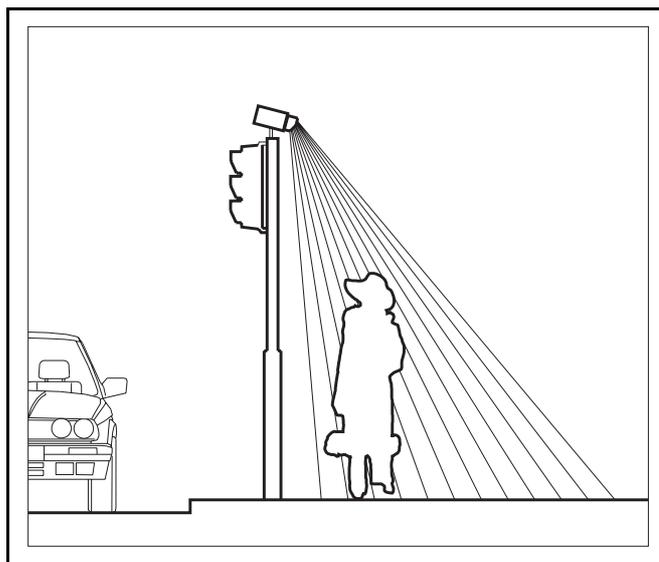


Abbildung 7

PIR-, oder Mikrowellen-Detektor als Anforderungs-Detektor

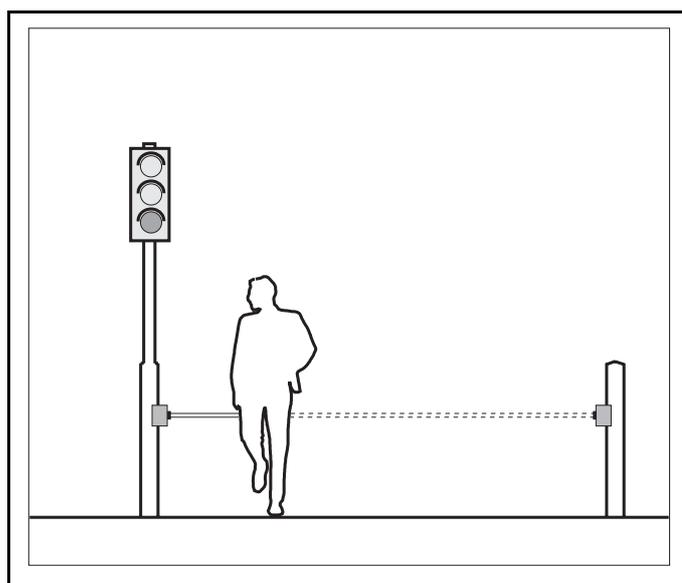


Abbildung 8

Lichtschranke zwischen zwei Masten

Lichtschranken müssen seitlich wirken. Ähnlich können auch Ultraschall-Detektoren oder Laser-Scanner angeordnet werden. Dabei ist allerdings das Risiko, dass Gegenstände, z.B. Mülltonnen oder Wahlplakate, den Meßbereich verdecken, besonders hoch (Abb.8). Bei Ultraschall-Detektoren ist es wichtig, dass der Schall senkrecht auf eine Fläche fällt, von wo aus er reflektiert werden kann. Außer der seitlichen Montage kommt auch die Überkopf- Montage in Frage.

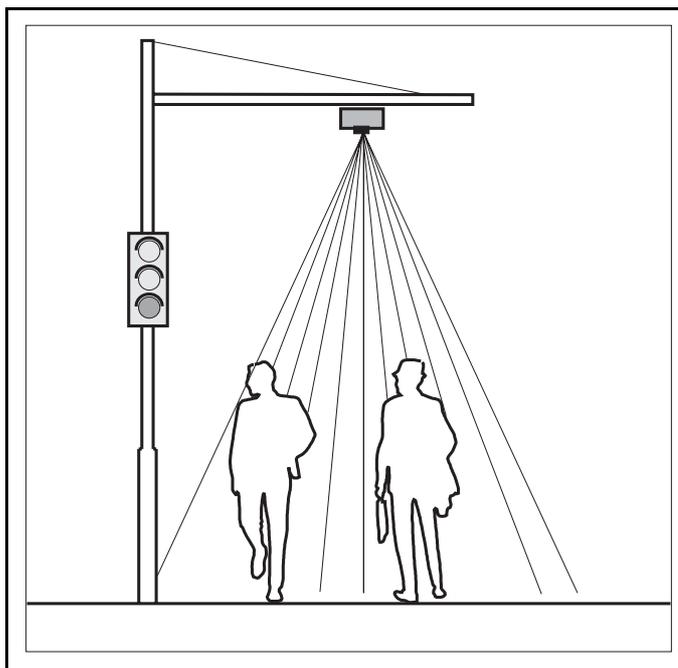


Abbildung 9

Scanner über Fußgängerstrom

Laser-Scanner können gleichfalls über Kopf angeordnet werden, z.B. an einem Ausleger oder einer Brücke, so dass der Verkehrsstrom unter ihnen durchläuft (Abb.9).

2.1.5.4 Fehler

Bei dem Einsatz von technischen Hilfsmitteln ist immer auch die Möglichkeit von Fehlern zu berücksichtigen. Gerade bei Detektoren im Verkehrswesen ist eine Fehlerbehandlung immer einzuplanen: „Auch bei den heute verwendeten elektronisch arbeitenden Detektoren kann es zu Funktionsstörungen oder Ausfällen kommen. Detektorstörungen müssen deshalb erkannt, gemeldet und verkehrstechnisch berücksichtigt werden.“ (FGSV,1991)

Unterschiedliche Fehler sind beim Betrieb von Detektoren für Fußgänger möglich, so der komplette Geräteausfall durch Hardwareschaden oder Messfehler durch besonders ungünstige Umfeldbedingungen. Der Totalausfall ist in der Regel in der Steuerungslogik zu berücksichtigen. Trifft eine Ausfallmeldung ein, werden Maßnahmen getroffen, um einen sicheren und nach Möglichkeit auch leistungsfähigen Betrieb zu gewährleisten, z.B. durch Anwendung von Festzeitprogrammen. Messfehler können dagegen

zeitlich begrenzt auftreten und zeigen sich als positive oder negative Fehler. Eine Plausibilitätsprüfung der Messdaten auf Fehler ist häufig möglich und angeraten, und nur bei manchen Anwendungen verzichtbar.

Positive Fehler (positive falsche Meldungen) werden Fehler genannt, bei denen ein Objekt gemeldet wird, ohne dass tatsächlich eines im Erfassungsbereich vorhanden ist. Positive Fehler wirken sich in diesem Zusammenhang in erster Linie auf die Leistungsfähigkeit der Anlage aus.

Negative Fehler (negative falsche Meldungen) dagegen sind Fehler, bei denen kein Objekt gemeldet wird, obwohl sich eines im Erfassungsbereich befindet. Negative Fehler sind oft in hohem Maße sicherheitsrelevant und bedürfen daher einer besonders sorgfältigen Behandlung.

Zu den typischen Fehlern einzelner Detektortypen siehe unten, zur Fehlerbehandlung auch Kap. 3.2.5 .

2.2.0 Typen von Detektoren

2.2.1 Taster

Anforderungstaster als die herkömmlichen Erfassungsmittel für Fußgänger werden hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Sie erfordern die aktive Teilnahme des Fußgängers und können eine einmal gemeldete Anforderung nicht löschen. Ihre Vorteile sind die geringen Kosten und die Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigungen. Neben den einfachen Tastern gibt es auch solche mit optischer Rückmeldung, z.B. mittels einer Leuchte mit dem Schriftzug: „Signal kommt“. Obwohl Taster robust sind und Gerätefehler daher selten auftreten, entstehen durch die nötige aktive Betätigung durch die Fußgänger fehlerhafte Meldungen. Dazu siehe Teil II.

2.2.2 Aktive Infrarot-Detektoren (AIR)

Aktive Infrarot-Detektoren senden Infrarotlicht aus und empfangen den zurückgeworfenen oder durchgehenden Anteil. Eingestellt auf einen bestimmten Erfassungsbereich, können sie auch unbeweglich verharrende Objekte wahrnehmen. Die Einstellung kann jedoch in einem stark gegliederten Straßenraum schwierig sein (FGSV,1991).

AIR-Detektoren arbeiten mit „nahem“ Infrarot, das „nah“ bezieht sich dabei auf das sichtbare Licht, dessen Spektrum direkt neben dem „nahen“ Infrarot liegt. Diese Art von Strahlung durchdringt fallenden Regen, Schnee und Nebel nicht so gut wie das „ferne“ Infrarot, daher arbeiten die Detektoren auch bei ungünstigen Wetterverhältnissen schlechter als die PIR-Detektoren (ebenda). Ein Hersteller bietet AIR-Sensoren als Anwesenheitssensoren für die britischen PUFFIN-Überwege an (Microsense).

Ein Sonderfall des AIR-Detektors ist die Infrarot-Lichtschanke. Sie arbeitet mit unsichtbarem Infrarotlicht, das als Strahl zwischen einem Sender und Empfänger läuft. Bei einer Unterbrechung schaltet der Detektor. Die Sender oder Empfänger müssen sich jedoch bauartbedingt in Reichweite der Fußgänger befinden, so dass sie anfällig für Vandalismus sind und leicht von Gegenständen verdeckt werden können. Ein Hersteller (Lightguard) bietet ein System für unsignalisierte Fußgängerüberwege mit automatisch aktivierten Warnlampen in den USA an.

2.2.3 Passive Infrarot-Detektoren (PIR)

Passive Infrarotlicht Detektoren (PIR) sind als „Bewegungsmelder“ in Nicht-Verkehrsanwendungen sehr verbreitet. Sie steuern Außenbeleuchtungen, Alarmanlagen oder automatische Türen. Die Anforderungen an einen Detektor im Straßenverkehr sind weitaus höher als für die oben erwähnten Anwendungen, gleichwohl werden PIR-Detektoren für das Verkehrswesen von zahlreichen Herstellern angeboten.

Die Geräte bestehen aus pyro-elektrischen Elementen, die in Form einer Matrix angeordnet sind und auf die das Infrarotlicht durch eine Linsenoptik fällt. Pyro-elektrische Elemente sind Elemente, die bei Einwirkung von Wärme (-Strahlung) elektrischen Strom abgeben, ähnlich wie eine photovoltaische Zelle bei Einfall von sichtbarem Licht. Alle Körper, die eine Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunkts (-273°C) haben, senden Infrarotlicht aus. Die Intensität dieser Strahlung hängt von der Temperatur und von der Struktur der Oberfläche ab. Das Messprinzip der Detektoren beruht darauf, dass sie schnelle Temperaturänderungen in ihrem Erfassungsbereich über die damit zusammenhängende Änderung im Infrarotlichtfeld erkennen. Diese Temperaturänderungen resultieren in der Regel durch die Bewegung von Objekten im Erfassungsfeld, daher der Ausdruck „Bewegungsmelder“. Da nur Änderungen im IR-Spektrum gemessen werden, kann ein einfacher PIR-Detektor nur sich bewegende Objekte erfassen („dynamischer PIR-Detektor“). Bei Messungen von unbeweglich im Erfassungsbereich verharrenden Personen kann der Detektor versagen. Die Empfindlichkeit auf kleinste Bewegungen ist dann für die Anwendung als Anwesenheitsdetektor entscheidend. Die Hersteller

bieten aber auch PIR-Detektoren als statische Detektoren an, diese Geräte besitzen eine durch einen Mikroprozessor gesteuerte Auswertelogik, die die Erfassung von unbeweglichen Objekten sicherstellt (ASIM AG).

PIR-Detektoren arbeiten mit fernem Infrarot im Wellenlängenbereich über $10\mu\text{m}$. Diese Art von Strahlung durchdringt fallenden Regen, Schnee und Nebel sehr gut, daher arbeiten die Detektoren auch bei ungünstigen Wetterverhältnissen.

Da die Geräte passiv arbeiten, ist die Reichweite des Detektors theoretisch unbeschränkt, sie hängt nur von der Stärke des Infrarot-Senders und der Empfindlichkeit des Detektors ab. In der Praxis lässt sich jedoch der Erfassungsbereich dadurch begrenzen, dass das Sichtfeld des Detektors schräg von oben gegen den Boden gerichtet wird. Die Form des Erfassungsbereichs wird meist durch Fresnellinsen bestimmt, sie kann durch die Wahl der Linse beeinflusst werden. Für unterschiedliche Anwendungen stehen verschiedene Standartlinsen zur Verfügung. So gibt es sowohl Detektoren, die einen eng begrenzten Erfassungsbereich in Form eines „Strahls“ und eine große Reichweite haben, als auch solche, die eine Fläche von etwa der Größe einer Fußgängerfurt abdecken (vergl. Anlage D1).

Berichten aus der Schweiz zufolge neigen PIR-Detektoren auch bei starkem Regen, Schnee oder fallendem Laub kaum zu Fehlmeldungen (positiven Fehlern), statt dessen kämen aber bei großer Hitze sowie auch bei starkem Frost hin und wieder negative Fehler vor (Hr. Marti, Kanton Bern vergl. Kap. 3.2.5). Beckwith dagegen berichtet über den Test in Portland (vergl. Kap. 3.2.2) von keinen (0%) negativen Fehlern aber 4% positiven Fehlern.

Hersteller sind ASIM AG, Weiss, Microsense, Siemens AG, Stührenberg.

2.2.4 Mikrowellen-Detektoren (RADAR)

Mikrowellendetektoren verwenden kurzwellige elektromagnetische Strahlung, deren Frequenzbereich etwa in der Mitte zwischen den elektromagnetischen Frequenzen der Induktivschleifen und der Frequenz sichtbaren Lichts liegt (Wellenlänge etwa 1-10 cm). Mikrowellenstrahlung wird auch von Mikrowellenherden, tragbaren Telephonen (Handy) und von RADAR-Geräten der Schiffe und Flugzeuge verwendet. Mikrowellen werden von festen Körpern reflektiert, von metallischen besser als von weichen, leichten. Mikrowellen werden gerichtet ausgestrahlt und der von im Meßbereich befindlichen Objekten reflektierte Anteil wird wieder empfangen.

Durch Laufzeitmessung kann die Entfernung des Ziels festgestellt werden, durch Frequenzvergleich kann die Geschwindigkeit des Ziels relativ zum Sender gemessen werden. Mikrowellensensoren senden und empfangen in der Regel mit einer einzigen festen Antenne, die einen Messstrahl aussendet

und das gemischte Signal aller Echos empfängt. Daher bieten die Geräte keine „Bildauflösung“, wie Kameras oder auch PIR-Detektoren, ausgewertet wird nur das stärkste („dominante“) Echo.

Beim Einsatz als Detektor im Verkehrswesen kann häufig davon ausgegangen werden, dass sich die Umgebung nicht bewegt, während alle interessierenden Ziele (Verkehrsteilnehmer) in Bewegung befindlich sind. Daher wird meist das Frequenzvergleichsverfahren verwendet, das auf dem Dopplereffekt beruht.

Als Dopplereffekt¹ bezeichnet man den *„bei allen Wellenvorgängen beobachtbaren Effekt, wenn Quelle (Schall-, Lichtquelle u.a.) und Beobachter sich relativ zueinander bewegen [...] Bewegt sich die Quelle auf den Beobachter zu (von ihm weg), so treffen in der Zeiteinheit mehr (weniger) Wellenzüge bei ihm ein, die Frequenz wird höher (niedriger), als wenn die Quelle relativ zu ihm ruht; z.B. ist der Ton eines an einem Beobachter vorbeifahrenden Autos oder einer pfeifenden Lokomotive beim Herankommen höher als danach, wenn sich die Tonquelle entfernt.[...]“* (Brockhaus, 17. Aufl., 1981)

Bei der Erfassung von Verkehrsteilnehmern an LSA bewegen sich die auf ihre Freigabe wartenden Teilnehmer aber nicht oder fast nicht, daher ist der Einsatz von Mikrowellendetektoren (genauso wie der von dynamischen PIR-Detektoren) als Anwesenheitsdetektor problematisch. Die Hersteller bieten zum Teil besonders auf diese Anforderungen zugeschnittene Geräte an, die auf geringste Geschwindigkeiten reagieren sollen (Microwave). Eine Besonderheit der Mikrowellendetektoren ist, dass sie auch die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung des gemessenen Objektes erfassen. Zum Teil lassen sich die Geräte auf einen Geschwindigkeitsbereich und eine Richtung einstellen, so dass sie nur dann ein Objekt erkennen, wenn es beide Bedingungen erfüllt. Die Bewegungsrichtung lässt sich z.B. nutzen um zwischen Personen, die sich auf eine Fußgängerfurt zu bewegen, von Personen zu unterscheiden die sich zwar im selben Erfassungsbereich, aber von der Furt weg bewegen (vergl. Kap. 3.2.4). Auch Wasser reflektiert Mikrowellenstrahlen, daher können die Detektoren bei starkem Regen oder Schneefall mit positiven Fehlern reagieren. Nach Beckwith u.a., 1997 z.B. reagierten die in Portland eingesetzten Mikrowellendetektoren bei sehr starkem Regen mit Dauerbelegung. Eine weitere Fehlerquelle kann auftreten, wenn sich gleichzeitig mehrere Objekte im Messbereich befinden die sich in unterschiedliche Richtungen bewegen, und die richtungsselektive Erfassung eingeschaltet ist: Wenn das Objekt mit der Bewegungsrichtung, die von der richtungsselektiven Logik ausgeblendet wird, für den Detektor dominant ist, kann dies dazu führen, dass gar kein Objekt erkannt wird (VIA GmbH).

Die Reichweite wird durch die Sendeleistung sowie die Empfindlichkeit der Empfänger begrenzt, ist aber vergleichsweise hoch (Beckwith u.a., 1997). Sie kann wie bei den PIR Detektoren dadurch begrenzt werden, dass der Detektor schräg von oben gegen den Boden gerichtet wird. Die Form des

¹ Nach dem österreichischen Physiker C. Doppler

Erfassungsbereichs wird durch die Art der Antenne mitbestimmt, lässt sich jedoch nicht so variabel steuern wie die der PIR-Detektoren, in der Regel lässt sich mindestens der Öffnungswinkel des Meßstrahles damit verändern.

Hersteller: Feig, Microwave, VIA GmbH, AGD

2.2.5 Ultraschall-Detektoren

Bereits das „Merkblatt“ von 1991 bemerkt: *„Der Ultraschall-Detektor wird nur noch selten eingesetzt, da die Erfassungsgenauigkeit im Vergleich zu anderen Detektorarten für viele Anwendungen unbefriedigend ist“* (FGSV,1991). Ultraschalldetektoren sind aktive Sensoren, sie senden unhörbare Schallimpulse aus und empfangen das Echo, das von im Messbereich vorhandenen Objekten zurückgeworfen wird. Dieses Prinzip ist in der Marinetechnik als Echolot oder SONAR bekannt; im Tierreich wird es sowohl von Meeressäugern als auch von Fledermäusen angewandt.

Beim Einsatz als Detektor für Fußgänger beeinflusst die Kleidung der Personen die Stärke, und damit die Zuverlässigkeit des Echos. Weiterhin ist das Echo nur dann ausreichend stark, wenn der Messton senkrecht auf das Ziel trifft und ebenso zurückgeworfen wird, daher ist in der Regel eine besondere Montage erforderlich um dies sicherzustellen, zum Beispiel ähnlich wie bei Lichtschranken in einer „side fire“-Position (Beckwith u.a., 1997), vergl. Abb.8. Eine besondere Empfindlichkeit gegenüber der Temperatur und Wittereinflüssen und eine Anfälligkeit bei Umgebungslärm wird in der Literatur angeführt (FGSV 1991). Vorteile sind, dass Ultraschall-Detektoren zeitlich unbegrenzte Präsenzmessung von unbewegten Objekten zulassen, und dass sich der Entfernungsbereich per Einstellung reduzieren läßt. So können Echos des Bodens oder von Bauten ausgeblendet, und die Ziele nach der Höhe unterschieden werden.

Die Hersteller für Infrarotdetektoren wenden Ultraschalltechnik zum Teil in Dual-Technologie-Geräten an, um die Präsenzerkennung zu verbessern. z.B. die ASIM AG. Hersteller von reinen Ultraschall-Detektoren für den Fußgängerverkehr sind dem Autor nicht bekannt, gleichwohl aber schon getestet worden (Beckwith u.a., 1997).

2.2.6 Bildauswertung (Video-Kamera)

Die automatische Bildauswertung versucht aus dem Bild, das von einer Videokamera eingefangen wird, verkehrstechnische Kenngrößen abzuleiten. Dazu wird das Kamerabild digitalisiert und nach speziellen rechnerischen Verfahren ausgewertet. Die Technologie der automatischen Auswertung von

Kamerabildern ist zur Zeit ein sich sehr schnell entwickelndes, aber auch noch relativ neues Gebiet. Die immer schneller werdenden und immer günstiger zur Verfügung stehenden Microcomputer machen den hohen Rechenaufwand bei der Bildauswertung in Echtzeit erschwinglich und die modernen, leistungsfähigen CCD-Kameras (CCD: Closed-Circuit-Digitals, digitale Videokamera) liefern qualitativ gute Fernsehbilder zu einem immer geringeren Preis.

Für Anwendungen im Bereich der Fahrzeugerkennung sind seit einigen Jahren Geräte auf dem Markt und weltweit im Einsatz. „Diese „first generation“ Systeme sind alle von einem Typ, bekannt als Schleifen-Emulatoren, da sie konventionelle Induktivschleifen-Systeme nachbilden. Typische Daten die sie ausgeben beinhalten Durchschnittsgeschwindigkeit, Belegungsgrad und Fahrzeuglängenklassifizierung.“ (sinng. Rourke u.a., 1992) So die Systeme Autoscope der Image Sensing Systems, Vantage der OdeticsIST, Peek und Velec.

Diese Geräte nutzen die Technik der Grauwertanalyse in vordefinierten Fenstern im Bildausschnitt. Dadurch können sie im Bereich der Erkennung von Kraftfahrzeugen gute Ergebnisse mit relativ geringem Rechenaufwand erreichen, im Bereich der Erkennung von Fußgängern reicht dieses Verfahren jedoch nicht aus. Versuche mit dem Autoscope System in Hamburg durch die Baubehörde führten bei der Erfassung von Fußgängern zu keinem ausreichenden Ergebnis (Hr. Koch, Baubehörde Hamburg; Hr. Reinemuth, Bredar AG; Apr.99, telefonisch). Ursächlich dafür ist wahrscheinlich die Schwierigkeit, die Fenster so zu definieren dass sie mit dem wartenden Fußgänger übereinstimmen, während der Fußgänger sich irgendwo auf der Aufstellfläche befindet. Die mögliche Abhilfe, sehr viele kleine Detektorfenster auf der Aufstellfläche zu definieren und die Kameraposition für die Erfassung von Fußgängern zu optimieren, wäre noch zu untersuchen. Die Versuche in Hamburg wurden unternommen, während die Anlage im Betrieb war, um eine Lichtsignalanlage zu steuern. Die Kameras waren daher in erster Linie für eine gute Abdeckung der Kraftfahrzeugströme ausgerichtet.

Zur Zeit laufen mindestens zwei Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die speziell die Erfassung von Fußgängern an Lichtsignalanlagen mittels Bildverarbeitung zum Thema haben: Am britischen Transport Research Institute, durch Prof. Dickinson u.a, Napier University (TEC Nov.97), und am Artificial Intelligence, Robotics and Vision Lab., University of Minnesota (USA) durch Prof. Papanikolopoulos u.a. (Masoud u.a., 1997) Dabei werden Auswerteverfahren entwickelt, die es der Logik ermöglichen, über das ganze Kamerabild hinweg Fußgänger zu finden, zu zählen und ihren Weg zu verfolgen. Ausgabedaten sind dann Zahl, Ort und Bewegungsvektor der erfassten Fußgänger. Da dabei mehrere Fußgänger gleichzeitig in Echtzeit verfolgt werden müssen, ist der Aufwand an Rechenleistung enorm und bisher noch am ehesten im Labor zu realisieren. Das Projekt am TRI hat

dennoch das Ziel, einen volumetrischen^I Fußgängerdetektor für den Einsatz an (PUFFIN-)^{II} Fußgängersignalanlagen zu entwickeln. Einsatzfähige Systeme stehen noch nicht zur Verfügung.

2.2.7 Matten-Detektoren (piezoelektrisch, faseroptisch)

Matten-Detektoren sind Berührungssensoren, die im Fußboden eingebaut werden und auf das Gewicht der Fußgänger reagieren. Sie sind reine Anwesenheitsdetektoren. Es gibt sowohl fiber-optische, als auch piezoelektrische Matten-Detektoren.

Beide Arten von Sensoren wurden in Großbritannien speziell für den Einsatz bei Anwendungen im Fußgängerverkehr entwickelt. Piezoelektrische Elemente sind Elemente, die bei mechanischer Belastung elektrische Spannung abgeben. Quarze in Funkgeräten z.B. sind Piezoelemente, und auch die Funken in Gasanzündern werden oft durch Piezotechnik erzeugt. Die Fußgängerdetektoren bestehen aus einem piezoelektrischen Koaxialkabel, das in Gummimatten verlegt ist. Die Matten werden entweder anstelle der Gehwegplatten oder unter diesen im Bereich der Aufstellflächen für Fußgänger verlegt. Eine Auswerteelektronik wertet die Signale aus, laut dem Hersteller (Traffic 2000) lassen sich dadurch sogar Fußgänger von Fahrradfahrern unterscheiden^{III}.

Die faseroptischen Matten enthalten Lichtleiter in Form von Glasfasern, deren Veränderung bei Druck gemessen und ausgewertet wird. Der Einbau erfolgt ähnlich wie bei den piezoelektrischen Matten unter den Aufstellflächen.

Die Mattendetektoren eröffnen viele Möglichkeiten für die Anwesenheitsmessung von Personen auf Gehwegen und Aufstellflächen. Vom Prinzip her sind sie sehr sicher in der Erfassung und ermöglichen sogar die Zählung von wartenden Personen. Dazu müssen sie jedoch in kleinen Einheiten und entsprechend großer Anzahl verlegt werden. In den Veröffentlichungen zu den frühen Versuchen mit den Matten ist jedoch immer von technischen Schwierigkeiten und Fehlern die Rede; andere nennen einen hohen Aufwand und hohe Kosten bei der Installation, unter anderem weil die Matten in spezielle Aluminiumrahmen im Gehweg einzubauen seien (Reading, 1995). Es muss jedoch erwähnt werden, dass eine neue Generation zumindest der Piezoelektrischen Matten auf dem Markt ist, die nach Herstellerangaben problemlos funktioniert und im Sandbett unter den Gehwegplatten eingebaut wird. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Detektoren jetzt einen geringeren Aufwand beim Einbau erfordern (Traffic 2000, 1999).

I D.h. eine Detektor, der Aussagen über die Zahl der Fußgänger möglich macht.

II Siehe Kap. 3.2.1

III Weiterhin konnte im Testbetrieb sogar der Herzschlag eines Hundes, der sich auf die Matten gesetzt hatte, gemessen werden.

Die Montage erfolgt im oder auf dem Boden; vergleiche Abb. 10 und Abb. 11. Eine Reichweite im Sinne der Strahlungsfeld-Detektoren haben die Matten natürlich nicht, die neuen Matten von Traffic 2000 haben eine Größe von 1,6*0,8 m und von 2,4*0,8 m, aus diesen Einheiten wird der Detektionsbereich zusammengesetzt.

Hersteller: Traffic 2000 Ltd., Herga Ltd.

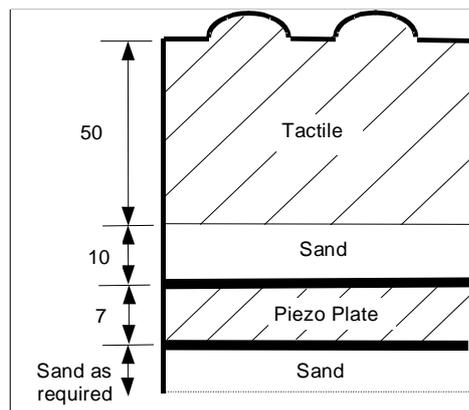


Abbildung 10

Einbau einer Detektormatte unter einem strukturierten Pflaster

(Abbildung: Traffic 2000 Ltd.)

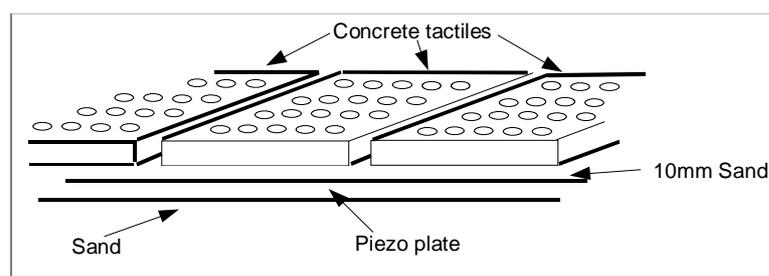


Abbildung 11

Einbau einer Detektormatte unter der Gehwegplatte

(Abbildung: Traffic 2000 Ltd.)

2.2.8 Laser Scanner, RADAR-Scanner

Die Scanner (*Scanner: von engl. to scan, absuchen, abtasten*) sind Geräte, die mit Infrarot-Laserlicht (Laser-Scanner) arbeiten, andere verwenden Strahlen im Mikrowellenbereich (RADAR-Scanner). Trotz einiger durch die physikalischen Charakteristika der Strahlung bedingten Unterschiede sind die Leistungen der Geräte sehr ähnlich^I. Das angewendete Messprinzip ist die Laufzeitmessung, dabei werden von einem beweglichen Sender nacheinander eng gebündelte Strahlen ausgesandt, die an einem Ziel reflektiert werden. Mittels Messung der Laufzeit oder der Phasenlage wird die Entfernung zum jeweiligen Ziel ermittelt und so ein fächerförmiges Gebiet abgetastet.

Scanner sind u.a. zur Unterscheidung und Zählung von Typen von Verkehrsteilnehmern entwickelt worden. Ihr typisches Einsatzgebiet ist innerhalb von Linienverkehrsbeeinflussungsmaßnahmen auf Schnellstraßen oder zur automatischen Klassifizierung von Fahrzeugen an elektronischen Mautstationen. Die Geräte sind noch recht neu und so ist ihr Einsatz zur Erfassung von Fußgängern noch nicht erprobt, aber prinzipiell möglich. Die Geräte werden meist über dem Verkehrsstrom montiert und tasten diesen mittels Messstrahlen von oben ab (Abbildung 9). Die Detektoren erfassen dabei laufend ein Profil der Verkehrsteilnehmer sowie deren Geschwindigkeit (Reich, 1998). Besonders der Einsatz zur Zählung von Fußgängern während einer Querung bietet sich dabei an. Ein anderes Einsatzgebiet für Laser-Scanner hat sich in den letzten Jahren mit automatischen Freimeldeanlagen für Bahnübergänge entwickelt. Dabei überwachen seitlich angeordnete Scanner den Gefahrenraum zwischen den Schranken eines Bahnübergangs und geben, wenn sich kein Objekt mehr darin befindet, eine Freimeldung ab. Auf Scannern basierende Freimeldeanlagen sind auf dem Markt und vom Eisenbahn-Bundesamt zugelassen. Die Freimeldung von Gefahrenräumen an Bahnübergängen ist in weit höherem Maße sicherheitsrelevant als die oben angesprochene Konfliktflächenüberwachung an Fußgänger-Signalanlagen, die Zulassung durch das EBA^{II} zeigt daher anschaulich die Zuverlässigkeit der zugrunde liegenden Technologie (Pickel, 1997).

Hersteller: SEO, MBBsenstech, Sick

I Darüber hinaus handelt es sich bei den Scannern um „Neulinge“ im Bereich unter den Detektoren, eine grundsätzliche Unterscheidung erscheint nicht sinnvoll.

II Das Eisenbahn-Bundesamt ist nicht dafür bekannt irgend etwas vorschnell zuzulassen.

2.3.0 Bewertung

In den Kapiteln über den Einsatz der Detektoren (3.0 ff) werden von den oben vorgestellten Detektorentypen im wesentlichen nur vier Typen erwähnt. Das sind die Matten-Detektoren, die passiven und aktiven Infrarot-Detektoren sowie die Mikrowellen-Detektoren. Dies sind die Geräte, die bei den dem Autor bekannten Anwendungen eingesetzt wurden.

Welcher Detektor für eine Anwendung technisch und wirtschaftlich am besten geeignet ist, kann jedoch nur im Einzelfall entschieden werden. Mit der unten wiedergegebenen Aufstellung wird versucht, die Vor- und Nachteile der verschiedenen Wirkungsweisen übersichtlich gegenüberzustellen. Allerdings weisen auch Detektoren eines Typs, wie zum Beispiel unterschiedliche PIR-Detektoren, unter Umständen große Unterschiede auf. Die ständige Weiterentwicklung der Detektoren durch die Hersteller führt zu Geräten bei denen die Nachteile durch technische Verbesserungen kompensiert werden.

2.3.1 Detektoren - Tabellarischer Vergleich

Die Bewertungen beziehen sich auf die oben oder in den folgenden Kapiteln wiedergegebenen Eigenschaften der Geräte, Einzelheiten sind dort zu finden. „++“ ist die beste, „--“ die schlechteste Bewertung, „o“ liegt bei der Bewertung in der Mitte, das heißt weder besondere Vor- noch Nachteile sind bekannt.

	Eignung für die automatische Anforderung	Eignung für die Konfliktflächenüberwachung	Witterungsunabhängigkeit	Richtungsselektivität	Kosten der Installation
Matten	++	--	++	o	-
PIR	o	++	+	--	o
AIR	++	(o)	o	--	o
RADAR	+	++	o	++	o

In der Anlage F1 sind wichtige Hersteller von Detektoren aufgeführt, die sich für die Erfassung von Fußgängern eignen. Angegeben ist, welche Typen von Detektoren sie vertreiben und in welchen Ländern diese bisher eingesetzt wurden. Manche der Hersteller bieten explizit Geräte für die Erfassung von

Fußgängern an, andere stellen Detektoren her, die sich ihrer Bauart und physikalischen Arbeitsweise her dafür eignen, Fußgänger zu erfassen. In Anlage F2 sind die Adressen dieser Hersteller zur weiteren Informationsbeschaffung angegeben.

3.0 Einsatz und Erfahrungen

In diesem Abschnitt wird versucht, den Stand der Forschung und des Einsatzes der oben besprochenen Detektoren wiederzugeben.

3.1. Einsatz in Deutschland

Der Einsatz von automatischen Detektoren für Fußgänger in Deutschland ist schwer zu beurteilen. Es gibt keine spezielle Literatur zum Thema und auch bei der Bundesanstalt für Straßenwesen ist nichts über bisher stattgefundenen Untersuchungen dazu bekannt. Am Rande erwähnt wird der Einsatz von Detektoren durch Draeger u.a. (1994): *„Infrarot-Detektoren sollten an LSA mit starken Nachfrageschwankungen angebracht werden, um die Freigabezeit bei auftretendem starkem Fußgängerverkehr adäquat verlängern zu können.“* Gemeint ist hier anscheinend eine Verlängerung der Grünzeit über eine Überwachung der Furt, die dazugehörige Abbildung zeigt allerdings die typische Konfiguration für die Erfassung der Fußgänger-Anforderung. Gleichfalls eher am Rande über PIR-Detektoren bemerkt das „Merkblatt“: *„Eine interessante Anwendung besteht in der Grünzeit-Bemessung für Fußgänger, z.B. bei Schulwegübergängen. Für den stoßweisen Andrang von Kindern, die zum Beginn und Ende der Schulstunden in Gruppen oder vereinzelt die Straße überqueren möchten, kann damit die Fußgängergrünzeit verlängert werden. Je nach örtlichen Gegebenheiten werden dafür 2 oder mehr Detektoren erforderlich, die schräg von oben angeordnet werden müssen, um die gesamte Furt zu erfassen. Über dieselben Detektoren kann auch phasenabhängig eine Verlängerung der Freigabezeiten der Fahrzeugströme erfolgen.“* (FGSV,1991)

In Deutschland regeln die „Richtlinien für Lichtsignalanlagen“ kurz RiLSA (FGSV,1992) die Steuerung und den Betrieb von Lichtsignalanlagen und gelten damit auch für intelligente Steuerungen von Fußgängersignalanlagen sowie die automatischen Detektoren. Obwohl die RiLSA als Richtlinienwerk nicht ganz bindend sind, stellen sie doch den Stand der Technik dar, von dem ohne Grund nicht abgewichen werden darf. Die in dieser Arbeit behandelten automatischen Detektoren sowie ihre Anwendung in der

Signalsteuerung werden in den RiLSA von '92 noch nicht gesondert angesprochen, und so sind manche Ansätze bei der Steuerung in Deutschland noch nicht ohne weiteres möglich (vergleiche Kapitel 3.2.6).

Telefonische Anfragen bei Herstellern und Signalbaufirmen haben indes gezeigt, dass in Deutschland Detektoren für Fußgänger im Einsatz sind. Geräte mehrerer Hersteller sind in Deutschland auf dem Markt, allein die Firma Weiss hat nach eigenen Angaben im Inland etwa 2000 PIR-Detektoren für Fußgänger verkauft, allerdings werden diese nicht alle an Lichtsignalanlagen eingesetzt. Die Äußerungen der Befragten bei Signalbaufirmen variierten von: „noch nie davon gehört“ bis hin zu: „Infrarot-Detektoren für Fußgänger sind längst Stand der Technik“. Der Einsatz der Detektoren beschränkt sich aber bisher (vermutlich) auf die Konfliktflächenüberwachung und die Verlängerung entweder der Grünzeit oder der Räumzeit für Fußgänger. Erfolgt die Freigabe bedarfsabhängig, sind die Anlagen zusätzlich mit Anforderungstastern ausgerüstet. Im folgenden Kapitel werden zwei Beispiele für den Einsatz von Fußgänger-Detektoren aus dem Inland vorgestellt. Quelle dieser Informationen ist im ersten Fall die Firma Signalbau Huber in Bochum, im anderen Fall das Straßenbauamt Bad Säckingen.

3.1.1 Velbert

Velbert ist eine Stadt mit knapp 90.000 Einwohnern und liegt in Nordrhein Westfalen im Dreieck zwischen Düsseldorf, Essen und Wuppertal. In Velbert gibt es 88 Lichtsignalanlagen, die überwiegend und schon seit längerem vollverkehrsabhängig gesteuert werden. Bei etwa zwei Dritteln von diesen sind für die Fußgänger Detektoren zur Konfliktflächenüberwachung im Einsatz. Die Anforderung für die Fußgängerfreigabe läuft dabei über Taster oder wird von der Steuerung entsprechend des Fahrzeugaufkommens automatisch geschaltet. Werden von den Detektoren Fußgänger auf der Furt erkannt, wird die geschaltete Mindestgrünzeit bis zu einem Höchstwert verlängert, die Räumzeit läuft danach unbeeinflusst ab. Im Einsatz sind sowohl Mikrowellen- (RADAR) als auch passive Infrarot-Detektoren. Nach Auskunft der Signalbaufirma¹ sind die neuen Infrarotgeräte den Mikrowellen-Detektoren insoweit überlegen, als sie weniger mit falschen Erkennungen (positiven Fehlern) bei schlechtem Wetter reagieren. Da das ganze System dem Fußgängerkomfort dient und die Detektoren keine sicherheitsrelevanten Aufgaben erfüllen, sind diese Fehler in Hinblick auf die Leistungsfähigkeit des Systems von Bedeutung, wohingegen negative Fehler, nämlich dass Nicht-Erkennen von Fußgängern „nur“ Komforteinbußen zur Folge haben. Bei einer Störung von Detektoren werden die Freigabezeiten auf feste Grünzeiten verlängert.

¹ Signalbau Huber, Bochum

Als Beispiel wird hier die LSA 6 vorgestellt. Die LSA 6 in Velbert Friedrich-Ebert-Str./Poststr. regelt einen vierarmigen Knotenpunkt. Alle Zufahrten sind mit einer Links-Abbiegespur, einer kombinierten Spur für den Rechts- und Geradeausverkehr sowie einer Fußgängerfurt versehen. Parallel zur Hauptrichtung - Friedrich-Ebert-Str. - verlaufen beidseitig Radwege, die mit über die Furten geführt werden.

Alle Fußgängerfreigaben werden auf Anforderung geschaltet. Die Anforderung wird allerdings von der Steuerungslogik automatisch gesetzt, wenn aufgrund der Verkehrssituation damit gerechnet wird, dass die Länge der nächsten Phase der Nebenrichtung für die Abwicklung der Fußgängerfreigabe ausreicht. Um den Fußgängern eine Rückmeldung zu geben, dass die Anforderung mittels Taster registriert wurde oder dass die Anforderung bereits gesetzt ist, werden dreifeldrige Fußgänger-Signalgeber eingesetzt. Das zusätzliche Signal ist weiß mit dem Schriftzug „Warte“ und blinkt ab dem Zeitpunkt der Anforderung bis zum Grünbeginn. Die Fußgängerfurten über die Hauptrichtung sind mit „Bewegungsdetektoren“ zur Grünzeitverlängerung ausgerüstet, jede Furt wird von zwei Detektoren an den Signalmasten überwacht. Im Normalfall werden die Fußgängersignale mit der Mindestzeit von 5 s freigegeben. Solange Fußgänger erkannt werden, wird diese bis zu einer Höchstdauer verlängert; ist diese erreicht, läuft die Räumzeit ab. Die Dauer der maximalen Verlängerung ist wiederum abhängig von der Verkehrssituation auf der Hauptrichtung, beträgt aber gleichfalls rund 5 s. Abbieger aus der Nebenrichtung werden genauso wie Fußgänger durch die Detektoren erfasst, eine Unterscheidung von diesen kann dabei nicht erfolgen.

3.1.2 Baden-Württemberg

Einzelne Fußgängersignalanlagen, die mit Detektoren für Fußgänger ausgerüstet sind, gibt es auch in Baden-Württemberg. Dort sind unter anderem im Bereich des Straßenbauamtes Bad Säckingen zwischen 5 und 10 Fußgänger-Lichtsignalanlagen mit Infrarot-Detektoren ausgerüstet. Vorgestellt wird hier als ein Beispiel die FLSA an der Ortsdurchfahrt der B34 durch Rheinfeldens-Warmbach. Die Furt über die B34 ist 7,5 m lang und 4,5 m breit (vergl. Lageplan, Anlage D1). Auf dem östlichen Signalmast ist ein Infrarot-Detektor des Herstellers ASIM AG montiert. Dieser Detektor deckt mit seinem Erfassungsbereich nicht die ganze Furt ab, aber immerhin einen großen Teil davon. Die Fußgängerfreigabe erfolgt auf Anforderung mittels Taster innerhalb eines Umlaufs von 45 s. Die minimale Grünzeit beträgt 7 s. Wird innerhalb dieser Zeit ein Objekt auf der Furt erfasst, wird die Grünzeit sekundenweise verlängert. Die maximale Grünzeit kann dann nach einer Verlängerung von 8 s bis zu 15 s erreichen; ihr folgt eine feste Räumzeit von 7 s. (vergl. Signalzeitenplan, Anlage D2). Bei Nacht wird die Anlage durch die Anforderungstaster aktiviert, sie zeigt sonst „dunkel“ für Fahrzeuge.

3.2 Erfahrungen im Ausland

Dieser Abschnitt über den Einsatz automatischer Detektoren für Fußgänger im Ausland ist ganz sicher noch nicht vollständig. Bei der Beschaffung der Informationen wurden deutsch- und englischsprachige Zeitschriften ausgewertet. Weitere Veröffentlichungen wurden einbezogen, soweit sie im Norddeutschen Bibliotheksverbund vorhanden waren, oder online veröffentlicht sind. Nur der freundlichen Unterstützung zahlreicher Forscher und Planer in mehreren Ländern ist es zu verdanken, dass zusätzliche und aktuelle Forschungsergebnisse mit einbezogen werden konnten.

3.2.1 Die PUFFIN-Anlagen in Großbritannien

Die ersten Erfahrungen und die bisher wohl auch am besten dokumentierten Versuche mit der automatischen Erfassung von Fußgängern wurden in Großbritannien gemacht. Dort wurden im Jahr 1991 die ersten PUFFIN-Crossing genannten Versuchsanlagen getestet. PUFFIN (engl. auch für Papageitaucher^I) steht dabei für Pedestrian User Friendly INtelligent^{II}. PUFFIN-Anlagen sind Fußgängerlichtsignalanlagen im Straßenverlauf, entsprechend unseren Fußgängerlichtsignalanlagen (FLSA), angeordnet an Stellen besonderen Bedarfs. Sie sind mit automatischen Fußgänger-Detektoren und zusätzlich mit Anforderungstastern ausgerüstet, die Detektoren sollen dabei zwei Dinge sicherstellen: die sogenannte „on-crossing-detection“ (etwa: „auf-der-Furt-Erfassung“) und die „call-cancel-facility“ (etwa: „Anforderungs-Abbruch-Einrichtung“). Die PUFFIN-Anlagen zeichnen sich durch noch andere Unterschiede zu den „normalen“ britischen Fußgängersignalanlagen aus. Die bisherigen Anlagen, PELICAN-Crossing (PEdestrian LIght Control)^{III} genannt, sind Bedarfs-Fußgängeranlagen, die während der Räumzeit der Fußgänger für die Fußgänger Grünblinken und für die KFZ Gelbblinken zeigen. In dieser Zeit soll der Fußgänger räumen, hat aber noch Vorrang, während gleichzeitig die Kraftfahrzeuge bereits vorsichtig anfahren dürfen. Konflikte sind dabei möglich, und nach Unfallstudien ereignete sich ein Prozentsatz von bis zu 51% aller Fußgängerunfälle an FLSA in dieser Periode (Fox, 1994)^{IV}. Im Unterschied zu

I Ein Seevogel.

II Wofür das zweite „F“ steht bleibt unklar.

III Auch die Herkunft des „AN“ bleibt unklar, aber auch der Pelican ist ein Seevogel.

IV Zitiert nach Austin u.a., 1997

diesen Anlagen zeigen PUFFIN-Anlagen während der Räumzeit Rot für alle Verkehrsteilnehmer; die Signale für Fußgänger sind außerdem vor der Konfliktfläche postiert, um das sonst nötige Gegen-Rot-Gehen zu vermeiden.

Bis 1995 waren mindestens 27 PUFFIN-Anlagen installiert (Tan u.a.,1995), inzwischen sind es mehr, da die Highways Agency die PUFFIN Anlage 1996 als Standard eingeführt hat (Ryley u.a., 1998). So ist zum Beispiel aus der Gemeinde Farnborough in Rushmoor aus 1998 eine neue Installation bekannt^I. In ergänzenden Untersuchungen wurde der Einsatzbereich der PUFFIN-Anlagen auch auf gemeinsame Überwege für Fußgänger und Radfahrer erweitert, in diesem Einsatz werden die Anlagen TOUCAN-Crossing genannt (in Anlehnung an: „Cyclist, you TOO CAN cross on a TOUCAN“-Crossing“ etwa: „Radfahrer, auch du darfst den TOUCAN-Überweg benutzen“). TOUCANs können die Detektoren und die Steuerung von PUFFINs, ergänzt um Induktivschleifen für Fahrräder, verwenden. Sie können im Design aber auch von einfachen PELICAN Anlagen abgeleitet sein.

Mit „**on-crossing-detection**“ an den PUFFIN Anlagen ist eine Überwachung der Konfliktflächen zur Bemessung der Freigabezeit gemeint (siehe auch Kapitel 1.3.2). Infrarot- oder Mikrowellen-Detektoren erfassen dabei die Fußgänger auf der Furt und verlängern sekundenweise die Grünzeit oder die anschließende Räumzeit (Alles-Rot), bis eine Höchstdauer erreicht ist oder die Konfliktfläche geräumt ist. Etwa 3s Mindestgrünzeit, die bei Bedarf bis auf etwa 15s verlängert wird, sowie 3s Alles-Rot sind als Standard vorgegeben; eine garantierte Räumzeit ist dabei nicht vorgesehen. Aus Sicherheitsgründen wird pro Umlauf eine Fehlerprüfung durchgeführt: Werden während der Fahrzeugphase keine Objekte, i.d.R. passierende KFZ, erfasst, wird für die nächste Grünzeit und die Räumzeit automatisch die maximale Verlängerung geschaltet (Microsense, MPC Controller Handbook).

Die „**call-cancel-facility**“ soll verhindern, dass der KFZ-Verkehr in den Fällen unnötig aufgehalten wird, in denen Fußgänger nicht auf ihre Freigabe warten, sondern eine Zeitlücke im Verkehrsstrom nutzen um vorher zu queren, oder ihren Weg anderweitig fortsetzen. In Großbritannien ist das Queren von Straßen gegen ein Fußgänger-Sperrsignal nicht prinzipiell verboten und wird daher in der Planung mitberücksichtigt. Nach der Anforderung der Freigabe mittels Druckknopf wird die Anwesenheit des Fußgängers laufend überprüft und die Anforderung gegebenenfalls gelöscht. Es ist also das aktive Anfordern durch die Fußgänger und die Meldung des Detektors nötig, um die Anforderung zu halten. Erfassungsfehler führen zu einer ungewollten Löschung der Anforderung mit entsprechend langen Wartezeiten. Ob immer eine Rückmelde-Einrichtung für die bestehende Anforderung vorgesehen ist, an der die Fußgänger erkennen können, ob diese gegebenenfalls gelöscht wurde, geht aus den Unterlagen nicht klar hervor. Die späteren (zumindest die TOUCAN-) Anlagen weisen eine Leuchte dafür auf. Die Detektoren werden als „kerbside detectors“ (etwa: Straßenrand-Detektor) bezeichnet. Eingesetzt werden entweder Matten-Detektoren oder passive und aktive Infrarot Detektoren zur

I Rushmoor Borough Council , UK

II Auch der Toucan ist ein Vogel.

Präsenzmessung. Um die Fußgänger in den Erfassungsbereich der Detektoren zu leiten, werden vielfach Absperrungen eingesetzt, die das schräge Queren der Straße verhindern sollen. Bei der Entwicklung der Anlagen scheint mehr die Verbesserung der Verkehrssicherheit und nicht unbedingt des Komforts der Fußgänger im Vordergrund gestanden zu haben. Zumindest bei den ersten Anlagen gab es dann auch Probleme durch den Verzicht auf die automatische Anforderung: *„Eine Studie von Davies (1992) über in West Sussex und London eingerichtete Puffin-Überwege, weist darauf hin, dass das Verständnis der Fußgänger, wie der Überweg arbeitet, nicht hoch war. Die Fußgänger standen entweder auf der Matte oder drückten den Taster, aber sehr wenige taten beides.“* (sinng. Ryley u.a., 1998)

Im Zusammenhang mit der Erweiterung des Einsatzgebietes der PUFFIN-Steuerung auf TOUCAN-Überwege wurde eine Befragung von Fußgängern und Radfahrern durchgeführt, um die Akzeptanz und das Verständnis der Nutzer bezüglich der Anlage zu ermitteln (Taylor u. a., 1997). Bei der Untersuchung ging es auch um die Bewertung von neuen Signalgebern, Tastern und allgemein um Konflikte zwischen den Nutzern. Von Interesse ist, dass nur etwa der Hälfte der Befragten die Funktion des Anforderungstasters klar war, während etwa zwei Dritteln die Bedeutung der Anwesenheitsdetektoren bekannt war. Eingesetzt waren in diesem Fall Matten-Detektoren der ersten Generation, die mit ihrer Gummi-Oberfläche recht auffällig sind. Leider lässt die Studie offen, wie sich diese „Wissenslücken“ in Bezug auf die Notwendigkeit der manuellen Anforderung trotz automatischer Erfassung auf das Verhalten der Nutzer auswirkten.

Im Anhang E1.1 ist ein Lageplan eines TOUCAN-Überwegs mit PUFFIN-Ausrüstung wiedergegeben, in Anhang E1.2 das Ablaufdiagramm des Prinzips der Steuerung als Beispiel.

3.2.2 PUFFIN-Anlagen in anderen Ländern

3.2.2.1 Australien

Im Zuge der Entwicklung der PUFFIN-Anlagen in Großbritannien wurden auch von der Straßenbaubehörde des Australischen Teilstates Victoria, VicRoads, in den Jahren 1994-1996 Versuche mit PUFFIN-Anlagen unternommen. Es soll dabei zu einer Reduzierung des Anteils von Rotläufern um 10 % gekommen sein. Näheres dazu in Catchpole, John. *Further Development of the Puffin Pedestrian Crossing*, VicRoads, Victoria, November 1996.¹

¹ Nach Hughes u.a., 1998

3.2.2.2 Niederlande, Frankreich

Gleichzeitig mit der Entwicklung der PUFFIN Anlagen in Großbritannien wurde eine niederländische Variante entwickelt, PUSSYCATS genannt (Pedestrian Urban Safety SYstem and Comfort At Traffic Signals, etwa: Städtisches Fußgängersystem für Sicherheit und Komfort an Lichtsignalen). Im Unterschied zu den PUFFIN Anlagen werden hier keine Anforderungstaster verwendet, die Anforderung wird statt dessen mit Matten-Detektoren automatisch erfasst, Eine Rückmeldeleuchte zeigt die erkannte Anforderung dem Fußgänger an, die Löschung einer Anforderung ist möglich. Infrarot-Detektoren ermöglichen die Verlängerung der Grünzeit für Gruppen und langsame Personen. Die Versuchsanlagen liefen erfolgreich. (Tan u.a. 1995). In Frankreich wurden gleichfalls Versuche mit modifizierten PUFFIN-Anlagen unternommen, u.a. in Toulouse. Diese wurden von Levelt in einer Studie zum Verhalten der Fußgänger zusammen mit den Niederländischen Anlagen positiv bewertet (ebenda).

3.2.3 USA

In den USA werden im Vergleich zu den Verhältnissen in Mitteleuropa relativ wenig Wege zu Fuß zurückgelegt. Die Zahl von 7,2 % aller Wege, die die National Personal Transportation Study nach Beckwith u.a., (1997) nennt, ist mit den noch knapp 30 % in Deutschland (Schlabbach, 1994) verglichen, recht wenig. Trotzdem wurde in den letzten Jahren versucht mit verschiedenen Mitteln, u.a. auch mit der automatischen Erfassung etwas für die Sicherheit und den Komfort der Fußgänger zu tun. Dies betraf sowohl unsignalisierte Überwege (entsprechen ungefähr unseren Zebrastreifen) als auch Fußgängerfurten an Lichtsignalanlagen. In einem Vergleichsversuch wurde in **Portland**, Oregon versucht, Detektoren für Fußgänger auf ihre Brauchbarkeit für den Einsatz an unsignalisierten Überwegen zu testen. An solchen Überwegen sollen gelb-blinkende Warnlampen die Autofahrer vor den querenden Fußgängern warnen. Betriebliche und ökonomische Gründe führten zu einer Vorauswahl mit anschließendem Kurztest, gefolgt von einer längeren Untersuchung eines Übergangs, der mit der Technik ausgerüstet wurde. Von den noch in der Vorauswahl zur Diskussion stehenden Techniken: Piezo-Matten, Bildauswertung, Ultraschall-, Mikrowellen- und Infrarot-Detektoren wurden Mikrowellen und passive Infrarot-Detektoren ausgewählt. Der untersuchte Überweg führt über eine zweibahnige Straße mit Mittelinsel, er wurde auf jeder Seite mit je einem Infrarot- und einem Mikrowellen-Detektor ausgerüstet. Die Infrarot-Detektoren wurden dabei auf die Aufstellflächen ausgerichtet und fungierten als Anforderungs-Detektoren, eine Verzögerung war dabei nicht geschaltet. Die Mikrowellen Geräte überwachten die ganze Breite der Furten und verlängerten die Aktivierung des Warnsignals nach den ersten 20 s. Diese Detektoren wurden nur aktiviert wenn vorher eine Meldung der PIR-Geräte vorlag; ein Zeitlücken-

Parameter von 6 s sollte dabei das Verlieren des Fußgänger-Signals verhindern. In Anlage E2.1 ist der Lageplan wiedergegeben, in Anlage E2.2 die Logik der Steuerung als Flußdiagramm¹.

Die Verhältnisse an so einem unsignalisierten Übergang sind für die automatische Erfassung sehr günstig, gelegentliche positive Fehler führen zu einer Aktivierung der Warneinrichtung, aber zu keiner Sperrung des Kraftfahrzeugstroms wie an einer Lichtsignalanlage. *„Während heftigen Regens blieben die Doppler-RADAR-Sensoren aktiv, wenn die Anlage durch einen Fußgänger aktiviert worden war und hielten die [Warn-] Baken am Leuchten. [...] Dies kann entweder als ein Vorteil des Systems, oder als Fehler gesehen werden. [...] Ein Vorteil, weil die Baken während der schlechtesten Wetterbedingungen aktiviert wären und vor einem Überweg mit möglicherweise anwesenden Fußgängern warnten.“* (sinng. Beckwith, 1997) Durch die Aufteilung der Fahrbahn in zwei getrennte Richtungsfahrbahnen erfassten die Detektoren auch die auf der einen Fahrbahn fahrenden Fahrzeuge, während Fußgänger auf der anderen Hälfte der Furt gingen. Dadurch kann es auch bei starkem Kraftfahrzeugverkehr zu einem mehr oder weniger langen Leuchten der Anlage kommen, nachdem die Fußgänger sie einmal aktiviert haben. Seit dieser Untersuchung, die die Konfiguration insgesamt als positiv bewertete, ist diese Anlage etwa drei Jahre in Betrieb, ohne dass Änderungen nötig gewesen wären. *„Im Sommer 1997 wurden PIR-Detektoren, die an diesem unsignalisierten Überweg [...] als effektiv bewertet wurden, an einem signalisierten Überweg in Portland installiert. Sie wurden benutzt, um die existierenden Taster zu ersetzen.“* (ebenda) Die Stadt Portland plant darüber hinaus die Einrichtung weiterer Anlagen nach dem obigen Muster. Angeregt von dem Versuch in Portland plant die Stadt Camas in Washington und das Washington State Department of Transportation die Einrichtung eines Überwegs mit automatischen Detektoren und Warnlichtern. Bei diesem Projekt, das noch nicht abgeschlossen ist (Mai 1999), wird eine Vorher-Nachher-Studie zum Fußgänger- sowie Fahrzeugführer-Verhalten erarbeitet (Beckwith, 1998).

Eine andere Untersuchung beschäftigte sich mit dem Einsatz automatischer Erfassung an Lichtsignalanlagen. Tests wurden dafür unternommen in **Los Angeles** (Kalifornien), **Rochester** (New York) und **Phönix** (Arizona). Bei dieser Untersuchung ging es um den Ersatz von Anforderungstastern durch automatische Detektoren. *„Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von automatischen Detektoren im Vergleich zu normalen Fußgänger-Tastern in einer signifikanten Verringerung sowohl der Fußgänger-Fahrzeug-Konflikte als auch der Anzahl der Fußgänger, die während der „DON'T WALK“-Phase losgehen, resultiert“* (sinng. Hughes u.a., 1998). Die untersuchten Anlagen befanden sich an Knotenpunkten, die Signalfolge ähnelt der hiesigen, aber statt farbigen Signalen werden Signale mit den Aufschriften „WALK“ und „DON'T WALK“ gezeigt, die Räumzeit wird dabei durch Blinken des „DON'T WALK“-Signals signalisiert. Eingesetzt wurden sowohl Mikrowellen-(RADAR) als auch Infrarot-Detektoren. Obwohl Hughes keine Aussage darüber macht, welche (passive oder aktive) Infrarot-Technologie zum Einsatz kam, kann man aus seiner Beschreibung schließen, dass die

¹ Die Darstellung des Zeitzählers T1 erscheint dem Autor widersprüchlich, die Darstellung oben folgt daher der Beschreibung im Text.

(üblichen) PIR-Detektoren installiert wurden. Zwischen den beiden Typen von Detektoren wurden Vergleiche angestellt, die Ergebnisse unterschieden sich aber nicht signifikant voneinander. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag bei der automatischen Anforderung, die Anlage in Los Angeles wurde darüber hinaus mit Detektoren zur Überwachung der Konfliktflächen ausgestattet. Diese ermöglichten die Verlängerung der Freigabezeit, solange noch Fußgänger auf der Furt befindlich waren um 6 s. Dadurch wurde die möglich, statt mit einer Geschwindigkeit von 1,2 m/s mit nur 0,9 m/s die ganze Fahrbahn innerhalb der Freigabezeit zu queren. Für alle Anlagen wurde eine Vorher-Nachher-Untersuchung in Form einer Videobeobachtung durchgeführt. Dabei wurden die Anteile an Rotläufern und die Konflikte zwischen Fußgängern und Fahrzeugen untersucht. Bei drei von vier untersuchten Anlagen war die Verringerung des Rotläuferanteils statistisch signifikant, bei der vierten war die Anzahl der beobachteten Rotlichtverstöße zu gering, um den beobachteten Rückgang eindeutig zu werten. Bei drei Anlagen wurden die Auswirkungen auf die Konflikte beobachtet. Bei allen gingen diese deutlich und signifikant zurück.

In Phoenix wurden zusätzlich die Mikrowellen-Detektoren der Fa. Microwave einem Test unterzogen. Diese Geräte sind zur sicheren Erfassung von Fußgängern mit einer besonders empfindlichen Auswerteeinheit ausgestattet, die auch auf sehr geringe Bewegungen reagieren kann. Damit soll die Eignung als Präsenzsensoren gewährleistet werden. Der Test dieser Geräte ergab die sehr hohe Quote von positiven Fehlern von nahezu 50%. Nachdem die Techniker der Herstellerfirma Änderungen an der Ausrichtung der Antenne vorgenommen haben, sank diese Rate stark, aber die Installationszeit reichte nicht mehr für eine neue Bewertung aus. Die Eignung als Präsenzsensoren bestätigte der Test jedoch: *„Es kam nicht vor, dass Fußgänger innerhalb des Erfassungsbereichs länger als 4 Sekunden standen und nicht erfasst wurden“* (ebenda). Die erwähnten „4 s“ entsprachen dabei der eingestellten Verzögerungszeit bei dieser Installation.

3.2.4 Schweden

In Schweden, in der Stadt Växjö, wurden bereits vor 1992 Versuche mit einem den PUFFIN-Anlagen ähnlichen System gemacht. Untersucht wurden dabei auch die Auswirkungen auf die Konflikte zwischen Fußgängern und Fahrzeugen. Festgestellt wurde ein deutlicher Rückgang. Näheres dazu bei Ekman und Draskoczy (1992).¹

Gleichfalls in Växjö, Schweden, wurde ähnlich wie in den USA ein Versuch mit automatischer Fußgänger-Erfassung an einem nicht signalisierten Übergang, einem Zebrastreifen, gemacht. Infrarot-Detektoren erkennen dabei die sich nähernden Fußgänger und aktivieren Warnlampen sowie faseroptische Warnschilder mit einer Beschriftung „Stanna För Gående“

¹ Nach Hughes u.a., 1998

(etwa: „Halt Fußgänger“), vergl. Abb. 12. Der untersuchte Zebrastreifen verlief über eine Zufahrt eines achtarmigen Kreisverkehrs. Der Versuch wurde von einer Untersuchung zu den Auswirkungen auf die Sicherheit und das Verhalten der Verkehrsteilnehmer begleitet. Das Ergebnis war positiv. Es kam zu einem Rückgang sowohl der Geschwindigkeit der Fahrzeuge, als auch der Konflikte zwischen Verkehrsteilnehmern. Allerdings sei es bei dem untersuchten Knoten möglicherweise einfacher gewesen, durch einen verkehrsberuhigenden Umbau das gleiche Ergebnis zu erreichen. In diesem Zusammenhang erschiene besonders die Ausrüstung des ganzen Kreisverkehrs mit der Warnanlage erstens als ökonomisch zu aufwendig und zweitens als unästhetisch (Towliat, 1999).



Abbildung 12

Warnanlage in Växjö, Schweden, Bild: M. Towliat

3.2.5 England-Portugal-Griechenland (VRU-TOO)

Das von den Zielen her ehrgeizigste der im Rahmen dieser Arbeit behandelten Projekten wurde im Rahmen des DRIVE II Programms der EU unter der Projektbezeichnung VRU-TOO (Vulnerable Road User Traffic Observation and Optimization, etwa: Verkehrsuntersuchung und

Verbesserung für schutzbedürftige Straßenbenutzer) unternommen (Carstens u.a.,1998). Dabei wurden in drei europäischen Ländern Versuche mit neu entwickelten intelligenten Signalanlagen für Fußgänger durchgeführt und deren Auswirkung in kurzer Form ausgewertet. Als Ziele waren festgelegt:

- Die Anforderung sollte automatisch erfolgen,
- die Anforderung sollte möglichst früh erfolgen,
- eine Verlängerungsmöglichkeit der Fußgängerphase für spät ankommende Fußgänger sollte vorgesehen sein und
- die Fußgängerfreigabezeit sollte abhängig von der Zahl der Fußgänger zu verlängern sein.

Versuchsanlagen wurden in **Leeds** (England), in **Porto** (Portugal) und in **Elefsina** (Griechenland) eingerichtet. Die Anlagen waren unterschiedlich konfiguriert und natürlich jeweils an die örtlichen Verhältnisse und nationalen Normen angepasst. Als Detektoren wurden Mikrowellen-Detektoren eingesetzt, da für die frühzeitige Erkennung von ankommenden Fußgängern die Unterscheidung der Bewegungsrichtung wichtig erschien. Präsenzerkennung war dagegen im Rahmen dieses Projektes nicht gefordert. In **Leeds** wurden drei Überwege, die vorher mit einem bedarfsabhängigen koordinierten Signalprogramm betrieben worden waren, mit Mikrowellen-Detektoren ausgerüstet. Diese erfassten ankommende Fußgänger, ergänzten die Anforderungstaster und erlaubten eine Verlängerung der Grünzeit um 4 s. Die Fußgängerphase wurde geschaltet, wenn entweder eine Anforderung vom Taster oder vom Mikrowellen-Detektor vorlag. Die Anforderung vom Detektor wird dazu bis zur Freigabe gespeichert, eine Abmeldung ist nicht möglich. Es wurden also nicht die in Leeds auch schon existierenden PUFFIN-Anlagen im Rahmen des VRU-TOO Projektes weiterentwickelt, sondern es wurde ein neuer isolierter Ansatz verfolgt.

In **Porto** wurden die Furten über eine zweibahnige Straße mit je zwei Fahrspuren ausgewählt, in der Mitte befanden sich zusätzlich Straßenbahngleise. Der Knoten, zu dem die Furten gehörten, wurde vorher in Festzeitsteuerung betrieben. Die vorhandenen Anforderungstaster hatten keine Funktion. In direkter Nachbarschaft zum Knoten befand sich eine Schule, daher war zu manchen Zeiten mit großen Fußgängergruppen zu rechnen. Die Furt wurde mit sieben (!) Mikrowellen-Detektoren ausgerüstet, die wie in Leeds zur Grünzeit-Verlängerung für „Spätankommer“ und darüber hinaus zur Überwachung der Konflikflächen genutzt wurden. Die Grünzeiten der einzelnen Signalgruppen wurden dabei richtungsabhängig gesteuert, um ein „Stranden“ der Fußgänger auf der Mittelinsel zu verhindern. Die Verlängerung für „Spätankommer“ betrug wie in Leeds 4 s. Die Detektoren, die die Furten überwachten, konnten eine weitere Verlängerung von 4 s für langsame Fußgänger auslösen. Um starken Fußgängerverkehr z.B. zur Zeit des Schulbeginns erkennen zu können, wurde der Belegungsgrad der Detektoren auf dem Gehweg ausgewertet. Ein Belegungsgrad von 30 % über 20 s in Richtung auf die Schule zu wird als Bedingung überprüft, um die Fahrzeugphase auf ihr Minimum zu setzen und das Fußgänger-Grün entsprechend zu verlängern.

In **Elefsina** war vor dem Versuch eine bedarfsabhängige zwei-phasige Steuerung installiert, Fußgänger und Fahrzeuge der Nebenrichtung wurden nur auf Anforderung freigegeben. Es wurden zwei Mikrowellen-Detektoren als Anforderungsdetektoren eingebaut, die Anforderung konnte damit schon erfolgen, bevor die Fußgänger an der Furt angekommen waren. Verlängerungsmöglichkeiten waren keine vorgesehen.

Über technische und steuerungstechnische Einzelheiten gibt Carstens wenig wieder, aber es scheint so, dass die Ausführung in einem Missverhältnis zu den hochgesteckten Zielen (s.o.) steht. Die Konfiguration in Elefsina kann zwar zwei der Ziele, nämlich die automatische sowie die frühere Erfassung leisten, die anderen Ziele aber sicher nicht erfüllen. Die Anlagen in Leeds bieten gleichfalls die automatische Anforderung, es bleibt aber unklar, wie die Anlage automatische, frühzeitige Erfassung von Fußgängern auswertet und zwischen querenden und sich parallel zur Straße bewegenden Fußgängern unterscheidet. Die Verlängerungsmöglichkeit der Grünzeit von 4 s scheint weiterhin als sehr gering, andererseits hätte eine größere Verlängerung die Koordinierung der Strecke gestört.

Ausgewertet wurden die Veränderungen von Sicherheit und Komfort durch die Maßnahmen, dabei wurden Vorher und Nachher Untersuchungen über Konflikte, Rotlichtverstöße und die Verteilung der Wartezeit durchgeführt. Angewandt wurden Videobeobachtungen und die schwedische Technik der Konflikt-Ermittlung. Wie Carstens in dem in Kapitel 1.0 wiedergegebenen Zitat auch selbst schreibt, waren die durch die Erfassung eines Fußgängers ausgelösten Änderungen im Ablauf der Signalsteuerung nur sehr gering. Entsprechend gering waren auch die Auswirkungen auf Komfort und Sicherheit des Fußgängerverkehrs. Messbare Verbesserungen ergaben sich besonders für die Wartezeiten in Leeds. Diese nahmen an allen drei Anlagen ab, während gleichzeitig auch die Reisezeiten der Fahrzeuge geringer wurden. An der Anlage in Porto nahm der Anteil an Rotläufern ab, während gleichzeitig der Anteil derjenigen Rotläufer, die Konflikte verursachten, zunahm. Dies ist möglicherweise eine Folge davon, dass sich der Anteil an risikobereiten Fußgängern nicht veränderte, während die anderen Rotläufer die Anlage nach der Umrüstung akzeptierten. Der Anteil Fußgänger, die bei Grün an der Furt ankamen stieg in Leeds bei der einen Anlage von 11% auf 22%, bei der anderen von 9% auf 17%, bei der dritten wurde keine Verbesserung beobachtet. Auch in Porto stiegen diese Anteile an, für die eine Furt von 9% auf 18%, bei der anderen von 22% auf 45%. Allgemein reduzierte sich die Anzahl der Konflikte in Leeds und in Elefsina, in Porto wurde dagegen keine Verringerung beobachtet.

3.2.6 Schweiz

In der Schweiz gibt es in einigen Kantonen und Städten Erfahrungen mit der automatischen Erfassung von Fußgängern. Telefonische Recherchen u.a. bei der ASIM AG, einem Hersteller von Infrarot-Detektoren, bei Planungsbüros und Kommunalen Behörden ergaben, dass besonders in den Kantonen Bern und Aargau sowie in der Stadt Winterthur viele Fußgängerfurten mit Detektoren ausgerüstet sind. Im Kanton Bern sind mittlerweile zwischen 15 und 20 von etwa 80 LSA mit Bewegungsmeldern^I ausgerüstet, und der Einsatz sei jetzt Standard für neue Anlagen (Hr.Marti, Strassenverkehrs- und Schifffahrtsamt, Kanton Bern)^{II}. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Praxis im Kanton Bern^{III}. Angewandt wird die Überwachung der Konfliktflächen entweder mit Mikrowellen- oder passiven Infrarot-Detektoren, die Anforderung für die Freigabe erfolgt dabei über Taster. Die Signalfolge an Fußgängersignalen ist Rot-Grün-Gelb-Rot. In der Schweiz erlauben die Richtlinien, die neue VSS-Norm SN640838, den Ansatz einer sehr kurzen Mindesträumzeit im Zusammenhang mit der automatischen Fußgängererfassung. Dadurch wird es möglich, nicht nur die Freigabe- oder Räumzeit der Fußgänger zu verlängern, sondern auch zu verkürzen, wenn die Detektoren keinen Fußgänger auf der Furt mehr erkennen:

„Bewegungsmelder werden im Kanton Bern bisher primär an Fußgängerlichtsignalanlagen mit Übergängen von 6-8 m eingesetzt. Sie dienen vor allem der Erhöhung der Sicherheit der Fußgänger (Gehbehinderte, Gruppen, ...), indem die Grün- und Gelbzeiten der Gehgeschwindigkeit der Personen entsprechend verlängert werden können. Bewegungsmelder reduzieren aber auch die Wartezeiten für Motorfahrzeuge, indem die Fußgängerphase unter Einhaltung von minimalen Zwischenzeiten (Räumgeschwindigkeit Fußgänger $v=2$ m/s) sofort abgebrochen wird, sobald sich kein Fußgänger mehr auf dem Streifen befindet.“ (Emch+Berger,1995) Der hier angesprochene Abbruch der Fußgängerfreigabe oder Räumzeit, setzt ein zuverlässiges Funktionieren der Detektoren voraus, das laufend geprüft werden muß. Dazu wird die Erfassung des KFZ-Verkehrs über Induktionsschleifen mit der Belegung des Bewegungsmelders während der Fahrzeugphase verglichen. Ergibt die Prüfung ein plausibles Ergebnis, wird während der nächsten Fußgängerphase die Freigabezeitbemessung aktiviert, ansonsten werden feste Zeiten geschaltet: *„Mit der heute üblichen Kontrolle der Funktionstauglichkeit der Bewegungsmelder über die Erfassung des feindlichen Motorfahrzeugverkehrs an Induktionsschleifen und Bewegungsmeldern kann das Szenario „Ausfall“ relativ gut abgedeckt werden. Werden die Fahrzeuge am Bewegungsmelder nicht mehr erfasst, wird der Fußgängerstreifen in der nächsten Phase mit fix eingestellten Grün- und Gelbzeiten gesteuert. Kritisch kann so einzig die Situation werden, wenn der Ausfall während der Fußgängerphase geschieht“* (ebenda). Der Einsatz

I In der Schweiz ist der Ausdruck „Bewegungsmelder“ für die Fußgängerdetektoren verbreitet und wird darum auch hier gebraucht.

II Diese Angaben beziehen sich auf telefonische Auskünfte im Mai '99.

III In der Stadt Bern ist diese Technik dagegen nicht im Einsatz.

von Bewegungsmeldern geht aber mittlerweile in der Schweiz über die beschriebene Konfiguration hinaus: *„Im Rahmen der Ueberarbeitung von Lichtsignalsteuerungen wurde [...] vorgeschlagen, Bewegungsmelder auch an langen lichtsignalgeregelten Fussgängerstreifen einzusetzen. Dabei soll [...] nicht wie bisher eine erhöhte Gehgeschwindigkeit der Fußgänger von $v=2,0$ m/s zugrunde gelegt werden, sondern eine gerätebedingte Minimalzeit.“* (ebenda) Im zitierten Papier wird also für längere Fußgängerüberwege vorgeschlagen, ganz auf rechnerische Räumzeiten zu verzichten, solange die Überwachung der ganzen Konfliktfläche mit Bewegungsmeldern sichergestellt ist. Bei der weiteren (bedarfsabhängigen) Verkürzung der Räumzeiten bekommt die Sicherheitsüberprüfung der Detektoren eine noch größere Bedeutung: *„[Bisher] Nicht unter Kontrolle ist hingegen das Szenario „falsche Meldung“, insbesondere Fall b [negativer Fehler]. Gründe für Falscherfassungen können Witterung, Größe und Kleidung der Fußgänger, mit der Alterung abnehmende „Schärfe“ der Bewegungsmelder, deren Verschmutzung oder Verstellung etc. sein.“* (ebenda) Um dabei die sicherheitsrelevanten negativen Fehler, also das Nicht-Erkennen von noch gehenden Fußgängern, auszuschließen, wird eine differenziertere Auswertung der Fußgängererfassung vorgeschlagen: *„Wird während der Fußgängergrünphase eine Person auf dem Streifen registriert, kann davon ausgegangen werden, dass der Bewegungsmelder voll funktionsfähig ist und die scharfen Abbruchkriterien für die Grün- und Gelbzeit angewendet werden können. Wird während der Grünphase kein Fußgänger registriert, wird der Bewegungsmelder als defekt angenommen und die an die minimale Grünzeit anschließende Gelbzeit wie bei einem Betrieb ohne Bewegungsmelder ($v_{Räum\ FG} = 1,2$ m/s) abgearbeitet.“* (ebenda) Wird darüber hinaus ein totaler Ausfall des Detektors erkannt, werden auch die Grünzeiten auf Vorgabewerte gesetzt und fest abgearbeitet. *„Bei Übergängen, die nicht im Konflikt mit abbiegenden Motorfahrzeugströmen geregelt sind und nur auf Anmeldung eines Fußgängers frei gegeben werden, führt der beschriebene Ablauf zu einer hohen Sicherheit bei gleichzeitig hoher Flexibilität der Steuerung. Streifen mit [bedingt verträglichen] Konfliktströmen können grundsätzlich gleich gehandhabt werden. Allerdings ist das Problem [...] noch näher zu untersuchen“*(ebenda). Nach diesem System wird auch die Fußgänger-Lichtsignalanlage „Bärlet“ in Brügg betrieben, deren Lage- und Signalzeitenplan in Anlage E3.1 und E3.2 wiedergegeben ist. Allerdings handelt es sich um eine Furt mit nur 8,2 m Länge, so dass die beschriebenen Vorteile der zusätzlichen Überprüfung hier nicht sehr deutlich zum Tragen kommen. Eingetragen ist auch die Rotlicht-Überwachungs-Schleife RLÜ 2.20, die direkt neben der Fußgängerfurt liegt, und in diesem Fall zur Kontrolle der Bewegungsmelder eingesetzt wird. Die Steuerung der Anlage erfolgt voll verkehrsabhängig. In der Fahrbahn der Hauptrichtung sind Induktivschleifen als Anforderungs- und Verlängerungs-Detektoren, Rotlichtüberwachungsschleifen sowie Detektoren für ein Bus-Beschleunigungssystem eingebaut. An den Masten der Fußgänger-Signale ist je ein IR-Detektor IR 207/8 der Fa. ASIM AG montiert, das sind passive Infrarot-Detektoren mit einem breiten aber nur etwa 6 m weit reichenden Erfassungsbereich, entsprechend dem in Anlage D1 eingezeichneten.

Im Kanton Bern werden in der Regel zwei Detektoren pro Furt, auf jeder Seite einer, angeordnet, um die ganze Furt abzudecken. Zum Einsatz kommen dabei Bewegungsmelder mit breitem Erfassungsbereich und geringer Reichweite, wie die Infrarot-Detektoren IR208 der Fa. ASIM AG. Da die Signalmasten in der Schweiz in aller Regel hinter dem Gehweg, entfernt von der Fahrbahn aufgestellt werden, seien die Detektoren am besten über der Fahrbahn anzubringen, an einem Auslegermast oder ähnlichem. Bei der normalen Anbringung auf dem Fußgängersignalmast sei es schwierig, die Köpfe von Passanten auf dem Gehweg auszublenden und gleichzeitig die ganze Furt abzudecken (Hr.Marti) vergl. Kapitel 2.1.5.3. Auslöser für die Entwicklung seien Schulklassen gewesen, die im geschlossenen Pulk die Straßen queren sollten und dafür eine Verlängerung der Grünzeit brauchten. Daher sei eine Alternative die Anordnung von nur einem Detektor mit schmalen Erfassungsbereich aber großer Reichweite gewesen. Dieser würde nicht die ganze Furt abdecken, aber Gruppen auf jeden Fall erfassen. Er dürfte natürlich nur für die Verlängerung und nicht für eine Verkürzung der Räumzeit eingesetzt werden. Zum Einsatz könnten dafür Detektoren wie IR241 der Fa. ASIM AG kommen (Hr. Steinbach, ASIM AG).

3.3 Fazit aus den Erfahrungen

Die Untersuchungen, die es im Ausland mit dem Ziel gegeben hat, auch mit dem Einsatz von Detektoren die Situation für Fußgänger an Lichtsignalanlagen zu verbessern, zeigen durchweg die Eignung dieser Maßnahmen. Weiterhin zeigen sowohl diese Untersuchungen, als auch die Anwendungen z.B. in der Schweiz, wie diese Detektoren sinnvoll eingesetzt werden können. Im Vergleich zu den hier vorgestellten Beispielen aus dem Ausland sind die inländischen Beispiele, in ihrem Anspruch wie in der Ausführung, relativ einfach. Es scheint so, als würde das Potential der Geräte und das der Steuerung in Deutschland noch lange nicht genutzt. Möglicherweise könnte ein Versuch begleitet von einer entsprechenden Untersuchung helfen, die Vorbehalte gegen die noch neue Technik abzubauen. Dabei könnte ermittelt werden inwieweit sich die im Ausland gemachten Erfahrungen auf die Verhältnisse in Deutschland übertragen lassen, und ob Methoden, wie z.B. die Räumzeitverkürzung in der Schweiz, Auswirkungen auf die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer haben.

Letztlich würden auch Leistungsfähigkeitsreserven für den Kraftfahrzeugverkehr frei, wenn nur bedarfsabhängig verlängerte Grünzeiten und die sichere Erkennung einer Fußgängeranforderung dafür sorgten, dass nicht genutzte Fußgängerphasen abgekürzt werden oder ausfallen. Daher und weil die Technik der Fußgängererfassung sich rasant weiterentwickelt, ist es gut möglich, dass sich das Interesse für diese Anwendungen in den nächsten Jahren stark vergrößert.

II. Teil

Untersuchung zum Fußgängerverhalten an Signalanlagen

4.0 Grundlagen der Untersuchung

Diese Untersuchung zum Verhalten von Fußgängern an Lichtsignalanlagen soll helfen den Bedarf für die automatischen Detektoren für Fußgänger an Lichtsignalanlagen einzuschätzen.

Im Rahmen dieser Erhebung sollen Daten über das Fußgängerverhalten gesammelt werden, u.a. um die Verhältnisse in Deutschland mit denen aus der Literatur des Auslands bekannten zu vergleichen. Dabei liegt die besondere Aufmerksamkeit auf den Fehlern die bei dem Einsatz von Anforderungstastern für die Erfassung von Fußgängern entstehen. Daher soll die Betätigung des Anforderungstasters besondere Beachtung finden.

Als Form der Erhebung wurde die direkte Beobachtung des Fußgängerverhaltens gewählt. *„Durch Beobachtungen werden äußere Merkmale und aktuelle, sichtbare Verhaltensweisen der Verkehrsteilnahme von Personen erfaßt. Dabei sind über Verhinderungshintergründe keine Informationen einzuholen.“* (EVE,FGSV,1991).

4.1 Anforderungstaster und Fußgängerverhalten

Das Verhalten der Fußgänger an konventionellen Fußgänger-Lichtsignalanlagen ist insofern für die Entwicklung von intelligenten Signalsteuerungen von Bedeutung, als es den Status Quo darstellt, der die jetzige Situation der Fußgänger an Lichtsignalanlagen widerspiegelt. Anstrengungen, den Komfort und die Sicherheit von Fußgängern an Lichtsignalanlagen zu verbessern, werden sich immer an der Situation vorher messen lassen müssen. Weiterhin können die Fehlerraten bei der automatischen Erfassung von Fußgängern nur bewertet werden, wenn sie mit den Fehlerraten der Anforderungstaster verglichen werden. Anforderungstaster - vorausgesetzt sie sind in gutem Zustand - sind technisch sehr zuverlässig. Aber das Verhalten der Anwender kann zu zahlreichen Fehlern führen. In Veröffentlichungen dazu, wieviele Fußgänger die Taster überhaupt benutzen, finden sich vielfach relativ geringe Quoten von „Tasterbenutzern“: 32% (Ryley u.a.,1998), 69% und 95,3% (Dickinson u.a. 1995), 49% und 27%, (Davies, 1992)^I und 18% (Levelt,1992)^{II}. Leider

I Zitiert nach Carsten u.a. 1998

II Zitiert nach Carsten u.a. 1998

sind für den Autor die meisten dieser Quellen nicht zugänglich¹ und nur die Ergebnisse, nicht die Kriterien der Erhebungen aus anderen Quellen bekannt. Die besten dieser Quoten, die 69% bzw. 95,3%, die Dickinson mittels einer Videobeobachtung ermittelt hat, stammen von Anlagen, die mit einer Rückmeldeeinrichtung ausgerüstet waren. Ein weißes mit „wait“ beschriftetes Signal zeigte die erfolgte Anforderung an. Von einem solchen Rückmeldesignal kann aber eine deutliche Steigerung der Akzeptanz eines Tasters erwartet werden. Dickinson gibt auch „*Prozentsätze von Phasen in denen erste ankommende Fußgänger den Taster drücken*“ an, diese liegen zwischen 72,0% und 96,1% , bei einem Mittel von etwa 88%. Mit Hinweis auf dieses Ergebnis hält Dickinson ein System für die automatische Anforderung für sinnvoll (Dickinson u.a. 1995).

Die Gründe, die die Akzeptanz so einer Anforderung mittels Taster beeinflussen können, sind vielfältig. Es handelt sich bei der Fragestellung um das Verhalten von Menschen und daher werden die Gründe, von denen sich das Klientel beeinflussen lässt, vielfältig sein wie die Fußgänger selbst.

Rational betrachtet sollte bei dem Anforderungsverhalten vor allem eine Rolle spielen, welche Vorteile der Fußgänger von der Anforderung erwartet. Andererseits spielen erfahrungsgemäss auch irrationale Gründe beim Verhalten eine deutliche Rolle. So werden sicherlich die einen die Anforderungstaster nur betätigen, wenn ihre Vorteile deutlich sind, andere werden wiederum prinzipiell immer auf den Taster drücken. Es wird also eine Mischung rationaler und irrationaler Gründe für das Verhalten der Fußgänger verantwortlich sein.

Relativ klare Bedingungen sind:

Ist der Taster leicht benutzbar?

Benötige ich die Freigabe um zu queren (oder komme ich auch so über die Straße)?

Wenn ich die Verhältnisse kenne: Nützt mir das Anfordern normalerweise?

Der erste Punkt, die leichte Benutzbarkeit des Tasters, mag etwas weit hergeholt erscheinen, aber wenn man die Hamburger „Ein-Finger-Druckknöpfe“ mit anderswo gebräuchlichen Großflächentastern vergleicht und Taylors (1997) Untersuchung in Betracht zieht, der sogar die Notwendigkeit von zwei Tastern je Seite der Furt bejaht, erscheint dieser Punkt gar nicht mehr so unwesentlich.

Der zweite Punkt: „Komm ich auch so über die Straße?“ betrifft natürlich ganz stark die Geometrie des Knotens sowie die Verkehrsbelastung auf der Fahrbahn. Gute Einsehbarkeit beider Richtungen, große Zeitlücken im Verkehrsstrom und ein rettendes Ufer in erreichbarer Nähe werden neben individuellen Gründen hier die große Rolle spielen.

¹ Aus zeitlichen und finanziellen Gründen konnte nur in Hamburg, im Norddeutschen Bibliotheksverbund, spez. In der TIB Hannover und in Online-Ressourcen recherchiert werden

Der dritte Punkt betrifft die Erfahrung der Fußgänger. Sehr viele Fußgänger sind in ihrem unmittelbar vertrauten Umfeld unterwegs, sei es in ihrer Wohngegend, sei es auf dem regelmäßigen Weg zur Arbeit. Gerade letztere werden sich die Reaktion der Steuerung „ihrer“ Lichtsignalanlage sehr genau merken. Ein regelkonformes Verhalten ist daher nur dann zu erwarten, wenn die Steuerung der Anlage ihre Interessen angemessen berücksichtigt. „Angemessen“ heißt in diesem Zusammenhang nicht unbedingt sofort, denn der Fußgänger kennt in der Regel die Realitäten im Verkehr, aber ewig warten will er auch nicht. Eine deutliche Reaktion der Anlage auf das Drücken des Tasters erhöht die Akzeptanz sicherlich. Besonders wenn sich regelmäßig Zeitlücken im Fahrzeugverkehr bilden und gleichzeitig nicht nachvollziehbare Wartezeiten entstehen, werden die Fußgänger von der Benutzung der Taster absehen. Ein weiterer wichtiger Punkt unter den Bedingungen, die den Anteil der „Tasterbenutzer“ beeinflussen, ist die Zusammensetzung des Benutzerkollektivs an der Anlage. So wird erwartet, dass Kinder und auch von ihren Kindern begleitete Eltern, eine viel höhere Akzeptanz für die Anforderungstaster zeigen als unbegleitete Erwachsene. Genauso wird nach dem oben gesagten der Anteil von ortsfremden Fußgängern eine Rolle spielen.

4.2 Ziele der Untersuchung

In Anlehnung an die vorgenannten Quellen, und entsprechend der Thematik dieser Untersuchung, wurden folgende Ziele formuliert. Für unterschiedliche Zeiten sind die Zahlen der Fußgänger zu ermitteln, die:

- Die Anforderungstaster benutzen
- Die Anforderungstaster nicht benutzen
- Bei Grün an der Anlage ankommen

Weiterhin soll der Anteil an Rotläufern aus den Ergebnissen hervorgehen, und die Anzahl der abgelaufenen Fußgängerphasen ermittelt werden.

4.2.1 Zählformular

Da neben den Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE, FGSV, 1991) weitere Quellen über die Methodik einer solchen Untersuchung nicht vorlagen, und im übrigen die Mittel auf eine direkte Beobachtung beschränkt waren, wurden eigene Kriterien aufgestellt und ein eigenes Zählformular (Abbildung 1) entworfen und getestet.

Fußgänger erkennbar darauf reagiert, dass ein anderer den Taster betätigt hat, z.B. durch eine Änderung seines Weges oder Zurückziehen der Hand, so war er auch hier einzutragen. Fußgänger, die bei Grün die Querung starten, erscheinen in der Unterspalte „bei Grün“, die anderen in der Unterspalte „bei Rot“.

In die Spalte „Keine Anforderung“ wurden analog die eingetragen, die den Anforderungstaster nicht gedrückt haben.

In die fünfte Spalte „Ankunft direkt bei Grün“ wurde eingetragen, wer während der Grünzeit der Anlage bei der Furt ankam, und für den daher kein Grund vorlag, Grün für sich anzufordern. Jeder Fußgänger wurde also durch genau einen Strich in einer von fünf Spalten repräsentiert.

Das Kriterium der „Gruppe“ ist erfüllt, wenn sich einzelne Fußgänger, die zusammen gehen, sichtlich bekannt sind. Wenn sie sich z.B. unterhalten oder an den Händen halten. Die Protokollierung aller Mitglieder einer Gruppe in einer Spalte soll berücksichtigen, dass zwischen den Personen der Gruppe auch nonverbale Kommunikation stattfindet, die zur „Arbeitsteilung“ führt. Zugegebenermaßen ist diese Festlegung etwas willkürlich und führt mit Sicherheit zu etwas mehr gezählten „Tasterbenutzern“, die Annahme liegt jedoch für diese Untersuchung auf der „sicheren Seite“ und wiegt vielleicht andere Fehler der Methodik auf, die nicht verhindert werden können (z.B.: „Ich hätte gedrückt, wenn ich nicht zufällig gesehen hätte, wie der andere...“).

An der Erhebungstelle in Altona, wo die Fahrbahn durch eine Mittelinsel in zwei Hälften aufgeteilt ist, zählt nur das Verhalten der Fußgänger an der ersten der beiden Furten. Wenn Personen also die erste bei Rot queren, dann aber warten müssen und erst bei Grün die zweite überqueren können, zählen sie in der Spalte „bei Rot“.

Fahrradfahrer wurden nicht mitgezählt; hatte ein Fahrradfahrer angefordert, und unterließ dies ein Fußgänger eindeutig und sichtbar deswegen, so zählte der Fußgänger als Anforderer.

In Altona war dieser Punkt unkritisch, da Fahrradfahrer an der dortigen Anlage eher selten waren, von der Situation in Wedel ist weiter unten noch die Rede (siehe Kap. 6.3).

4.2.3 Zählzeiten

„Zählzeiten und Zähldauer sind verstärkt vom Erhebungsziel und den örtlichen Gegebenheiten abhängig. In Innenstadtlagen tritt die Spitzenverkehrsmenge an „normalen Werktagen“ zumeist zur Mittagszeit und zwischen 16:00 und 18:00 Uhr auf [...]. In ausgeprägt strukturierten Gebieten [...] sind an Werktagen Morgenspitzen in der Zeit von 7:00 bis 9:00 Uhr und Mittagsspitzen zwischen 12:00 und 14:00 Uhr festzustellen. Da die Spitzenbelastungen im Fußgängerverkehr in der Regel nur kurzzeitig auftreten, sollte die Erhebungszeit in 5-Minuten-Abschnitte eingeteilt

werden“ (EVE,FGSV,1991).

Obwohl die Kriterien der EVE, „Innenstadt“ oder „ausgeprägt strukturiert“ hier nicht sehr gut treffen, lehnen sich die ausgewählten Beobachtungszeiten doch an die vorgeschlagenen Zeiten an. Jeweils 2-stündige Blöcke morgens, mittags und abends von 8:00-10:00, 12:00-14:00 und 16:00-18:00 wurden gewählt. Die Fußgänger eines Umlaufs des Signalprogramms, bzw. des Zeitraumes von Grünende bis Grünende bei bedarfsabhängiger Steuerung, wurden in eine Zeile eingetragen, alle 15 min wurde ein neues Formular begonnen. Damit wird dem Ziel dieser Untersuchung Rechnung getragen, die Verhaltenskategorien über Zeitabschnitte auszuwerten. Und zusätzlich eröffnet sich die Möglichkeit auch über die Anzahl der Fußgängerphasen und deren Nutzung Rückschlüsse zu ziehen. Während die Spitzenzahlen des Fußgängerverkehrs hier nicht in erster Linie interessieren, kann so z.B. die Anzahl der beobachteten Fußgängerphasen ermittelt werden.

5.0 Auswahl der Anlagen

Für die Untersuchung sollten Lichtsignalanlagen ausgesucht werden, die voll dem Stand der Technik in Form der RiLSA entsprechen, die genügend starke Fußgängerströme versprechen, um genug Daten in begrenzter Zeit zu sammeln, und die mit Anforderungstastern ausgerüstet sind. Die Anlagen sollten dabei keine großen Mängel für die Sicherheit und den Komfort der Fußgänger aufweisen. Für die Untersuchung erschien dies wichtig, weil die altbekannten Mängel der Signalsteuerung für Fußgänger, soweit sie schon in die Richtlinien und Empfehlungen eingegangen sind, und ihre Abhilfen nicht Thema dieser Untersuchung sind, sondern darüber hinausgehende Maßnahmen zur Verbesserung von Komfort und Sicherheit. Ausgewählt wurden schließlich die Anlage Königsstraße/Museumstraße in Hamburg-Altona sowie die östliche Furt des Knotens Rosengarten/ZOB in Wedel. Bei beiden Anlagen waren starke Fußgängerströme zu erwarten. Jedoch Steuerung, Geometrie und Verkehrsbelastung sind völlig verschieden. Während die Geometrie sowie die Steuerung aus den Unterlagen (Anlagen A1-3.2 und B1-3) hervorgeht, fehlen Angaben zur Verkehrsbelastung durch Fahrzeuge. Es lagen zwar Zahlen der durchschnittlichen täglichen Belastungen und auch der Belastung in den jeweiligen Spitzenstunden vor, aber aussagekräftig wären nur Werte über die tatsächliche Verkehrsstärke zu den Zeiten der Beobachtung gewesen. Diese konnten im Rahmen dieser Untersuchung nicht mit aufgenommen werden.

5.1 Die Erhebungsstelle in Altona

Der Stadtteil Altona liegt im westlichen Zentrum der Stadt Hamburg. Die untersuchte Fußgängerfurt ist eine Fußgängerlichtsignalanlage (FLSA), die von der nahegelegenen Lichtsignalanlage (LSA) Königsstraße/Max-Brauer-Allee mitgesteuert wird. Sie verbindet die Museumstraße und die Grünanlage „Platz der Republik“ mit der Grünanlage vor dem Rathaus Altona. Zwischen den beiden Richtungsfahrbahnen ist eine Verkehrsinsel von 3,2 m Breite angeordnet (siehe Lageplan Anlage A1, Fotos Anlage A2). Die Fußgängerfurt wird im Rahmen einer Koordinierung auf Anforderung im Doppelanwurf geschaltet, die Grundstellung ist Grün für Fahrzeuge. Die Fußgängersignalisierung erfolgt progressiv, um den Aufenthalt auf der Mittelinsel zu verhindern. Die Umlaufzeiten im System betragen tagsüber 90 bzw. 75 s, die Fußgänger-Grünzeiten betragen 6 s am ersten Signal und 15 s am zweiten Signalgeber (siehe Signalzeitenpläne Anlage A3.1 und A3.2). Dabei ergeben sich maximale Wartezeiten von 50 s bzw. 42 s. Die maximale Wartezeit tritt auf, wenn der letzte Anmeldezeitpunkt für eine Freigabe gerade verstrichen ist und erst der nächste Schaltzeitpunkt abgewartet werden muß.

Die Fußgängerströme laufen in Nord-Süd- und Süd-Nord-Richtung über die Furt. Auffällige Gruppen im Benutzerkollektiv stellen die Beschäftigten und Kunden des Bezirksamtes im Rathaus Altona, die Studierenden am Standort Altona der FH Hamburg sowie Spaziergänger, die die Fußwegverbindung zwischen dem Bahnhof Altona und den öffentlichen Parks an der Elbe nutzen.

5.2 Die Erhebungsstelle in Wedel

Die Stadt Wedel ist Teil des Kreises Pinneberg in Schleswig-Holstein. Wedel grenzt direkt an das Hamburger Stadtgebiet und ist daher noch stark von der Großstadt beeinflusst.

Die untersuchte Fußgängerfurt ist Bestandteil der Wedeler LSA „Rosengarten/Mühlenstraße/ZOB“ im Zuge der B431. Die Bundesstraße ist von dem Knoten nach Osten nicht sehr weit einsehbar; zugelassen sind Geschwindigkeiten von bis zu 50 Km/h. Nach Augenschein können die Geschwindigkeiten der aus dieser Richtung ankommenden Fahrzeugpuls auch darüber liegen. Die Furt verbindet den Wedeler S-Bahnhof und den ZOB mit dem Rathausplatz und den Geschäften der Bahnhofstraße. Starke gemischte Fußgängerströme treten besonders im Zusammenhang mit dem Fahrtakt der S-Bahn auf. Laut den von der Stadt Wedel zur Verfügung gestellten Unterlagen soll die LSA im Rahmen einer koordinierten Strecke verkehrsabhängig mit Umlaufzeiten von 60, 75 oder 90 s betrieben werden. Die Planung der Signalprogramme ist von 1991, entspricht aber auch den

RiLSA von 1992. Allerdings sind die Wartezeiten für Fußgänger mit bis zu 77 s zu lang „Zum Beispiel sollte für Fußgänger [...] die maximale Sperrzeit 60 s nicht überschreiten.“(FGSV,1992)!. Die Nebenrichtung wird immer gemeinsam mit den Fußgängern auf Anforderung freigegeben, dabei haben Fußgänger-Anforderungen und Anforderungen von Kraftfahrzeugen über die Schleifen in den Zufahrten „ZOB“ und „Bahnhofstraße“ die gleiche Wirkung. Da über den ganzen Tag die Wahrscheinlichkeit sehr hoch ist, dass innerhalb eines Umlaufs eine dieser Anforderungen eingeht, haben die Anforderungen über die Taster für die Fußgänger keine wahrnehmbare Auswirkung. Tatsächlich wurde bei den Beobachtungen kein Ausfall einer Phase beobachtet.

Zur Zeit dieser Untersuchung (Ende April 1999) lief die Anlage mit einem Signalprogramm im 90s-Umlauf, die Freigabezeiten für die Nebenrichtung wurden verkehrabhängig bemessen. Die Grünzeit für Fußgänger lag damit zwischen 13 und 21 s, meist aber bei etwa 20 s. Damit betrug die längste Wartezeit 70 s, lag also deutlich über dem empfohlenen Höchstwert.

Im neuen Verkehrsentwicklungsplan der Stadt Wedel findet der Knotenpunkt folgende Erwähnung: *„Mit der direkten Anbindung des S-Bahnhofs an die Bahnhofstraße spielt der Knotenpunkt B431/ Bahnhofstraße eine zentrale Rolle für den Fußgängerverkehr. So wurden während einer Zählung zwischen 12:00 und 13:00 Uhr insgesamt 320 Fußgängerquerungen beobachtet. Trotzdem sind die Fußgänger nur durch geringe Anteile an der Grünzeit pro Umlauf beteiligt. Die maximalen Wartezeiten für Fußgänger liegen in Hauptverkehrszeiten bei über 70 s, während der übrigen Tageszeit bei etwa 60 s. Aus dem Blickwinkel der Fußgänger ist eine Leichtigkeit der Überquerung hier - ebenso wie an den übrigen Lichtsignalanlagen der B431 - nicht mehr gegeben. Gerade während verkehrsschwachen Zeiten besteht ein erhöhtes Risiko, dass querungswillige Fußgänger die Straße bereits bei Rot betreten, da die Wartezeit-Akzeptanz sinkt. Während der Zählung wurden in mehr als 3% aller Fälle Querungsvorgänge während der Rot-Phasen beobachtet“ (VTU,1998).*

Aus den Erhebungen für den zitierten Verkehrsentwicklungsplan liegen auch Ergebnisse der Fußgänger-Zählungen in 15 Min. Abschnitten aus dem Jahr 1997 vor, diese werden zur Kontrolle der neuen Daten in Anlage B4.15 wiedergegeben.

6.0 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Beobachtungen sind in einer Reihe von Diagrammen in den Anlagen A und B enthalten. Neben Säulendiagrammen für spezielle Zusammenstellungen von Daten finden sich hier Blätter, die im oberen Teil Tabellen mit Zahlen, im unteren Teil ein Tortendiagramm enthalten. Bis auf die Werte ist der Inhalt in diesen Blättern jeweils gleich. In der obersten Tabelle sind die Fußgänger aufgeführt, die in Richtung Süden unterwegs

I Andere Quellen nennen noch weit geringere Werte.

waren, darunter die in Richtung Norden, und in der unteren Tabelle die Summe beider Richtungen. Für jede der fünf Kategorien (s.o.) sind die Fußgänger-Zahlen angegeben sowie darunter die Anteile in Prozent. Da die Fußgänger, die direkt während des Fußgänger-Grüns ankommen, für die Einteilung in „Tasterbenutzer“ und „Nicht-Tasterbenutzer“ nicht in Frage kommen, sind die Anteile der ersten vier Kategorien an deren Summe in der untersten Datenzeile in Prozent angegeben. Das Diagramm darunter zeigt noch einmal die selben Anteile in anschaulicher Form.

6.1 Gesamtbild

Bei allen Zählungen herrschte gutes bis sehr gutes Frühlingswetter. Obwohl es morgens noch kalt war, schien überwiegend die Sonne. An den beiden Zählstellen in Altona und Wedel wurden insgesamt **6786 Personen** in **1987 Fußgängerphasen^I** beobachtet. Im Durchschnitt querten also 3,4 Personen je Phase die Straße. Bei der Betrachtung des Gesamtbilds^{II} des beobachteten Fußgängerverhaltens (Anlage A4.0) zeigt sich, dass nur ein Drittel aller Fußgänger (31,7%) die Anforderungstaster benutzt und das von diesen ein Zehntel (3,1%) bei Rot geht. Bei den zwei Dritteln die die Taster nicht benutzen ist der Rotläuferanteil etwas höher (9,4% von 58,9%).

6.2 Zählstelle Altona

An der Zählstelle in Altona wurden **2244 Personen** in **1027 Fußgängerphasen** beobachtet, im Durchschnitt querten also 1,8 Personen je Phase die Straße in jede Richtung. Zu den Zeiten der Beobachtung überwog die Südrichtung, in diese waren 1245 Fußgänger unterwegs, während nur 999 in Richtung Norden gingen. Die Spitzenbelastung in Südrichtung lag am ersten Tag (27.4.1999) mit 52 Fußgängern in der Viertelstunde von 8:00 bis 8:15. In Nordrichtung trat die Spitzenbelastung um 12:30-12:45 mit 47 Fußgängern auf, zur selben Zeit trat die größte Summe mit 79 Personen auf. Am zweiten Tag (28.4.1999)^{III} wurde wiederum von 8:00 bis 8:15 Uhr der stärkste Südstrom mit 57 Personen gezählt. Der stärkste Nordstrom mit 35 Personen sowie die stärkste Gesamtbelastung mit 67 Personen wurde um 12:30 bis 12:45 beobachtet.

I Es wird darauf hingewiesen, dass durch die nach Richtungen getrennte Erfassung der Daten die Fußgängerphasen doppelt gezählt werden.

II Die Ergebnisse der ergänzenden Untersuchungen sind in diesen Zahlen nicht mit enthalten.

III Die Zählung der Morgenstunden wurde erst am 20.05.99 durchgeführt.

In Anlage A4.1 sind die mittleren Fußgängerströme in den beobachteten Zeitbereichen gegeben. Dabei queren zwischen 26 und 68 Personen pro 15 Min. die Fahrbahn. Neben einer Morgenspitze direkt nach 8:00 Uhr liegen für die Mittagszeit die stärksten Zahlen vor, die schwächsten Zeiten liegen am Vormittag sowie am frühen Abend. In Anlage A4.2 sind ergänzend in einem weiteren Säulendiagramm die Fußgänger nach Richtungen und nach Zeiten getrennt aufgestellt. Hier zeigt sich, dass die Morgenspitze ganz überwiegend von in Richtung Süden gehenden Personen gebildet wird. Der Südtrend hält auch über Mittag an, während kurzzeitig nach 12:30, und dann ab 16:00 die Richtung Norden überwiegt. Im einem dritten Säulendiagramm (Anlage A4.3) sind die Anteile der beobachteten Kategorien in Prozent nach Richtungen getrennt für die drei Zwei-Stunden-Blöcke nebeneinander gestellt. Es zeigt sich, dass die Anteile einander ähnlich sind, zwischen den beiden Richtungen bestehen keine ausgeprägten Unterschiede im Verhalten.

Bei der Betrachtung des beobachteten Fußgängerverhaltens zeigt sich für das Gesamtbild der Altonaer Daten (Anlage A4.4), dass 10,1% von allen Fußgängern bei Grün ankommen, so dass sie ohne Wartezeit queren können. Fast die Hälfte aller in Frage kommenden Fußgänger (49,1%) benutzt die Anforderungstaster und von diesen wartet ein Sechstel (8,5%) nicht auf Grün, sondern geht bei Rot. Bei der anderen Hälfte, nämlich bei denen, die die Taster nicht benutzen, ist der Rotläuferanteil viel höher: 21,4% von 50,9%, das sind mehr als zwei Fünftel davon.

Die Anlagen A4.5, A4.6 und A4.7 zeigen die Ergebnisse der Beobachtungen morgens, mittags und nachmittags. Die Ergebnisse am Morgen ähneln den Mittelwerten von oben, auch wenn der Anteil der „Tasterbenutzer“ mit 53,3% etwas höher ist und der Rotläuferanteil daran etwas geringer. Die „Nicht-Tasterbenutzer“ zeigen auch hier wieder einen viel höheren Anteil an Rotläufern (21,7% von 46,7%). Mittags dagegen ist der Anteil der „Tasterbenutzer“ geringer: 45,9%. 8,1% davon warten nicht auf Grün, sondern gehen bei Rot. Die verbleibenden 54,1% verteilen sich wieder im Verhältnis von etwa zwei zu drei auf Rotläufer und bei Grün Gehende. Die Verhältnisse am Nachmittag zeigen deutliche Unterschiede zu den Vorstehenden: Der Anteil der „Tasterbenutzer“ ist mit 56,2% am höchsten; der Anteil von 9,6% Rotläufern daran deckt sich zwar mit den vorherigen Zahlen, trotzdem ist der Rotläuferanteil an den nur 43,8% „Nicht-Tasterbenutzern“ mit 14,4% überraschend gering.

Mit einer Betrachtung der Ergebnisse über die Anzahl der beobachteten Fußgängerphasen (Anlage A4.14) soll der Vergleich mit den Fehlerquoten automatischer Detektoren möglich gemacht werden. Es darf dabei nicht außer Acht gelassen werden, dass die beobachteten Ergebnisse nach Richtungen getrennt erfasst wurden. Von den 1027 beobachteten Phasen wurden 704, das sind 68,6%, von Fußgängern genutzt. Von diesen wurden nur 563, das sind 80,0% davon, angefordert. Die nicht genutzten oder nicht angeforderten Phasen wurden jeweils aus der anderen Richtung angefordert. Die 20% Differenz zwischen diesen beiden Werten sind gleichbedeutend mit dem beobachteten Anteil an negativen Fehlern der

Anlage in Altona. Allerdings wurden für diese Aufstellung nur die Grüngänger ausgewertet, bei einer Einbeziehung auch der Rotläufer, läge der Anteil der Fehler noch höher.

Mehrmals und zu unterschiedlichen Zeiten wurde beobachtet, dass Personen die kurze (6 s, s.o.) Grünzeit nicht nutzen konnten, da sie in der Zeit die Fahrbahn noch gar nicht betreten hatten. Besonders betraf dies Fußgänger mit Kindern oder Kinderwagen, aber auch besonders langsame Personen wie Ältere und körperlich Behinderte. Obwohl es so schien, als ob dies den Betroffenen bewußt war, gingen sie ausnahmslos bei Rot und gerieten zum Teil auf der zweiten Fahrbahn in die beginnende Kraftfahrzeugphase.

6.3 Zählstelle Wedel

An der Zählstelle in Wedel wurden **4542 Personen in 960 Fußgängerphasen** beobachtet, im Durchschnitt trafen also 4,7 Personen je Phase aus jeder Richtung ein. Zu den Zeiten der Beobachtung überwog die Nordrichtung leicht, in diese waren 2348 Fußgänger unterwegs, während 2194 in Richtung Süden gingen. Die Spitzenbelastung lag am ersten Tag (29.4.1999) mit 79 Fußgängern in Südrichtung in der Viertelstunde von 16:30 bis 16:45, und in Nordrichtung zur selben Zeit mit 70 Fußgängern. Am zweiten Tag (30.4.1999) wurde von 9:00 bis 9:15 Uhr der stärkste Südstrom mit 107 Personen, sowie die stärkste Gesamtbelastung mit 143 Personen, gezählt. Der stärkste Nordstrom wurde um 13:30 bis 13:45 mit 63 Personen beobachtet.

Eine mögliche Fehlerquelle bei der Beobachtung des Verhaltens in Wedel liegt in der Vernachlässigung des Einflusses der Radfahrer auf das Verhalten der Fußgänger. Der Radverkehr an der Furt ist nicht gering, er beträgt nach Anlage B4.15 etwa ein Fünftel des Fußgängerverkehrs. Ein geringer Teil der Radfahrer hatte die Angewohnheit, sich mit der Hand direkt am Gehäuse des Anforderungstasters abzustützen. Dadurch war der Taster dann für alle anderen blockiert, und darüber hinaus auch offensichtlich, dass eine Betätigung bereits stattgefunden hatte. Ob dadurch signifikante Fehler hervorgerufen wurden, ist unbekannt und lässt sich mit den vorliegenden Daten auch nicht ermitteln.

Über den Tagesverlauf (Anlage B4.1) schwanken die mittleren Fußgängerströme in den beobachteten Zeitbereichen zwischen 47 und 122 Personen pro 15 Min.. Neben einer Morgenspitze direkt nach 9:00 Uhr liegen für die Nachmittagszeit die größten Zahlen vor, die schwächsten Zeiten liegen morgens sowie am frühen Mittag. In Anlage B4.2 sind ergänzend in einem weiteren Säulendiagramm die Fußgänger nach Richtungen und nach Zeiten getrennt aufgestellt. Hier zeigt sich, dass die Morgenspitze ganz überwiegend von in Richtung Süden gehenden Personen gebildet wird. Eine Kontrolle der Zählprotokolle ergibt, dass die hohen Zahlen zum großen Teil von großen Gruppen an Kindern hervorgerufen werden. Ein allgemeiner

Südtrend ist am Morgen und auch am Nachmittag zu erkennen, über Mittag sind die Verhältnisse umgekehrt, wenn auch nicht so deutlich. Im dritten Säulendiagramm Anlage B4.3 sind die Anteile der beobachteten Kategorien nach Richtungen getrennt für die drei Zwei-Stunden-Blöcke nebeneinander gestellt. Es zeigt sich, dass die Anteile einander ähnlich sind. Zwischen den beiden Richtungen bestehen keine ausgeprägten Unterschiede, nur der Anteil der „Tasterbenutzer“ scheint in Richtung Süden noch geringer zu sein als in Nordrichtung. Bei der Betrachtung des Gesamtbilds der Wedeler Daten über das beobachtete Fußgängerverhalten (Anlage B4.4) zeigt sich, dass 15,6% von allen Fußgänger bei Grün ankamen, so dass sie ohne Wartezeit queren konnten. Von den restlichen Fußgängern benutzten 22,5%, also nur fast ein Viertel, die Anforderungstaster und von diesen geht nur ein winziger Anteil bei Rot (0,3%). Bei denen die den Taster nicht benutzen, ist der Rotläuferanteil etwas höher, aber immer noch sehr klein: 3,1% von 77,5%.

Die Anlagen B4.5, B4.6 und B4.7 zeigen die Ergebnisse der Beobachtungen morgens, mittags und nachmittags. Die Ergebnisse am Morgen ähneln den Mittelwerten von oben, auch wenn der Anteil der „Tasterbenutzer“ mit 20,8% noch geringer ist und der Rotläuferanteil etwas höher. Die „Nicht-Tasterbenutzer“ zeigen auch hier einen viel höheren, wenn auch insgesamt noch geringen Anteil an Rotläufern (3,1% von 74,4%). Mittags ist das Bild sehr ähnlich, der Anteil der „Tasterbenutzer“ erreicht jetzt ein Viertel (25,0%). Nur 0,6% davon warten nicht auf Grün, sondern gehen bei Rot. Die verbleibenden drei Viertel gehen ganz überwiegend bei Grün. Die Verhältnisse am Nachmittag ähneln wieder den Verhältnissen am Morgen: Der Anteil der „Tasterbenutzer“ liegt wieder nur noch bei 20,0% und der Anteil von 0,3% Rotläufern daran deckt sich mit den vorherigen Zahlen.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Zählabschnitte an den einzelnen Tagen (Anlagen B4.8 bis B4.13) fällt auf, dass die Unterschiede im Verhalten zwischen gleichen Zeiten an unterschiedlichen Tagen größer sind als die zwischen den gemittelten Werten gleicher Zeitabschnitte, die oben angesprochen wurden. Die Anlage B4.8 mit den Ergebnissen vom 29.4.99 zwischen 8:00 und 10:00 Uhr zeigt einen Anteil an „Tasterbenutzern“ von 30,1% und einen Anteil von 3,0% an Rotläufern an den verbleibenden zwei Dritteln. Das Ergebnisblatt vom folgenden Morgen dagegen (Anlage B4.9) zeigt nur 12,9% „Tasterbenutzer“ und dafür einen Rotläuferanteil an den „Nicht-Tasterbenutzern“ von 6,3%; diese beiden Werte sind die Wedeler Spitzenwerte in beiden Kategorien, der eine davon ist natürlich ein negativer Rekord. Eine Kontrolle der Zählprotokolle weist auf einen Zusammenhang mit den schon oben angesprochenen beobachteten großen Kindergruppen hin. Obwohl diese an beiden Tagen gegen 9:00 Uhr auftraten, sind sie eventuell von den verschiedenen Beobachtern unterschiedlich eingeordnet worden. Auch auffällig groß sind die Unterschiede in den Anlagen B4.12 und B4.13, zwischen den beiden Nachmittagen. B4.12 vom 29.04.99 zeigt einen „Tasterbenutzer-Anteil“ von nur 15,2% während einen Tag später ein Anteil von 26,1% beobachtet wurde. Eine Mögliche Erklärung liegt darin, dass es sich bei dem zweiten Tag um einen Freitag handelte. Besonders am

Nachmittag sind daher zeitliche Verschiebungen in den Fußgängerströmen zu erwarten. Auch die Zählung ergab für den Donnerstag 897 Personen in den zwei Stunden, während es am Freitag nur noch 760 waren.

Die Auswertung der Ergebnisse über die Phasenanzahl findet sich wegen einer Änderung in der Vorgehensweise in einem eigenen Kapitel (siehe Kapitel 6.5.1).

Auch in Wedel wurde mehrfach beobachtet, dass besonders langsame Personen wie Ältere und körperlich Behinderte noch am Ende der Grünzeit starteten und dann auf der zweiten Fahrbahnhälfte in die beginnende Krafftfahrzeugphase gerieten.

6.4 Vergleich und Interpretation

Bei beiden Beobachtungen in Altona und in Wedel stellte sich heraus, dass das Verhalten der Beobachteten über die unterschiedlichen Zeiten hinweg relativ gleich ist. Die Unterschiede zwischen den beiden Orten übertreffen die Streuung zwischen den Ergebnisse zu den unterschiedlichen Zeiten bei weitem. Die auffälligsten Unterschiede betreffen sowohl die Anteile der „Tasterbenutzer“ als auch die der Rotläufer. Während in Altona knapp die Hälfte aller Fußgänger die Anforderungstaster betätigte, tat dies in Wedel nur ein knappes Viertel. Während in Altona ein erheblicher Anteil (29,9%) bei Rot querte, ist dieser Anteil in Wedel gering (3,4%). An beiden Orten gemeinsam zeigt sich, dass der Anteil der Rotläufer an den „Nicht-Tastenbenutzern“ viel höher ist als beim Rest. Die Relation in Altona beträgt hierbei 2,5:1, in Wedel erreicht sie 10:1.

Ursächlich für diese Unterschiede im beobachteten Verhalten können entweder Unterschiede im Benutzerkollektiv der Anlagen sein oder Unterschiede, die durch die örtlichen Verhältnisse bedingt sind. Die Kollektive sind natürlich an beiden Anlagen unterschiedlich, aber die Unterschiede erscheinen jeweils nicht so deutlich, dass sie eine Erklärung für die starken Unterschiede im Verhalten böten. Allenfalls die schon von Carstens u.a. (1998) am Rande vermuteten Einflüsse aus der Größe der Ortschaft auf das Verhalten der Fußgänger könnte hier eine größere Rolle spielen. So könnte von den Fußgängern in Altona ein „großstädtischeres“ Verhalten erwartet werden als von den Wedelern, damit einhergehen könnte eine größere Bereitschaft zu Rotlichtverstößen.

Dem Autor erscheint es aber weitaus wahrscheinlicher, dass die starken Verhaltensunterschiede aus den zahlreichen Unterschieden in den Verhältnissen an den Anlagen resultieren. Die Anlage in Altona ist wirklich bedarfsabhängig geschaltet, während die Anforderungstaster in Wedel nur eine theoretische Bedeutung haben (siehe Kapitel 5.1 und 5.2). Daher kann erwartet werden, dass ortskundige Fußgänger sich aus dieser Erfahrung heraus in Wedel das Anfordern abgewöhnen, während sie in Altona regelmäßig nur nach einer Anforderung Grün bekommen. Gleichzeitig ist die

Straße in Altona viel leichter bei Rot zu queren; die Teilung der Fahrbahn ermöglicht das Ausnutzen von versetzten Zeitlücken in den beiden Fahrtrichtungen, und der Weg über die Furten ist jeweils kurz. Die Wartezeit scheint bei diesen Verhaltensunterschieden nur eine geringe Rolle zu spielen. Die in Wedel viel längere Wartezeit für die Fußgänger hat nämlich weder einen höheren Anteil an „Tasterbenutzern“ noch an Rotläufern zur Folge. Der große Unterschied im Anteil an Rotläufern scheint eher durch die äußeren Umstände erzwungen zu werden: Die Verhältnisse in Wedel erlauben kein sicheres Überqueren der Straße bei Rot.

6.5 Ergänzende Untersuchungen

6.5.1 Zusätzliche Betrachtung des ersten Fußgängers

Bei der Untersuchung der Frage, inwieweit die automatische Erfassung Vorteile gegenüber dem herkömmlichen System der Anforderung mittels Taster hat, stellt sich nicht nur die Frage, wieviele Fußgänger überhaupt den Taster benutzen, sondern ganz speziell, wie oft der Fall eintritt, dass der erste ankommende Fußgänger den Taster nicht drückt: Denn dieser Fall ist der kritische Fall, bei dem keine Freigabe erfolgt, und der von der automatischen Anforderung verhindert wird. Es kann ein Unterschied zwischen der Verhaltensweise eines allein auf der Aufstellfläche wartenden Fußgängers zu dem Verhalten desjenigen, der zu bereits wartenden Fußgängern hinzukommt, erwartet werden. Der Erste kann sich nämlich sicher sein, dass noch keine Anforderung eines anderen erfolgt ist. Daher wurde noch in der laufenden Untersuchung versucht, diesem Punkt besondere Beachtung zu schenken. In Wedel wurde kurz nach Beginn der Beobachtungen ein weiteres Kriterium eingeführt. Über den Zeitraum von 780 Phasen wurde in den Protokollen zusätzlich zu den fünf Kriterien der Fall besonders markiert, wenn der erste Fußgänger den Taster drückte. So kann der Anteil der Phasen, bei denen eine Anforderung durch den ersten Fußgänger erfolgt, bei denen ein anderer anfordert, und für die keine Anforderung eingeht, obwohl Fußgänger sie nutzen, ermittelt werden. Die Ergebnisse sind als Säulendiagramm in Anlage B4.14 gegeben. Von den 780 Phasen wurden 687 (88,1%) von Fußgängern genutzt, aber nur 327 (41,9%) waren angefordert worden. Vom zuerst angekommenen Fußgänger wurden noch weniger Phasen angefordert: 205 (26,3%) von 780, das sind 62,7% von den 327 angeforderten Phasen. Also für etwa zwei Drittel der Anforderungen waren die ersten Ankommenden verantwortlich. Einerseits scheint dieses Ergebnis die Vermutung, dass die Quote der „Tasterbenutzer“ unter den Ersten höher sein müsste als unter allen Fußgängern, zu bestätigen. Andererseits handelt es sich bei diesen Zahlen um die Anzahl der Phasen, in denen diese Verhaltensweisen von Fußgängern beobachtet

wurden. Sie lassen sich also nicht ohne Weiteres mit den weiter oben ermittelten Fußgängerzahlen vergleichen. Deutlich belegen lassen sich dagegen die Anteile der Fehler bei diesem System der Anforderung der Fußgängerfreigabe. Nur für 327 von 687 genutzten Phasen ist eine Anforderung beobachtet worden, das sind gerade mal 47,6% (!). Von diesen Anforderungen erging weiterhin ein Drittel später als nötig, weil erst ein „Spätkommer“ den Taster betätigte. Es lässt sich also eine Fehlerquote für negative Fehler von 52,4% angeben; wenn die spät ergangenen Anforderungen einbezogen werden, sogar von 70,2%.

6.5.2 Anlagen mit geringer Fußgängerfrequenz

Ein weiteres Problem stellt die Fragestellung dar, wie sich das hohe Fußgängeraufkommen der untersuchten Anlagen auf das Ergebnis auswirkt. Wenn sich der erste Fußgänger anders verhält als der spät Ankommende, wird der Anteil der „Ersten“ zu „Spätkommern“ Auswirkung auf das Ergebnis haben. Dieser Anteil ist aber von zwei Faktoren abhängig: Erstens von der Fußgängerbelastung des Überwegs und zweitens von der Verteilung von Gruppen und Einzelpersonen im Fußgänger-Kollektiv. Die Belastung der Anlage ergibt sich aus den Beobachtungen, die Verteilung der Gruppen lässt sich weniger leicht feststellen.

Um weitere Daten zu erhalten, wurden nachträglich noch zwei wenig frequentierte Übergänge in die Untersuchung einbezogen. Diese sollten nicht vollständig wie die vorherigen behandelt werden: die Dauer der Beobachtung betrug nur drei Stunden je Anlage, Steuerung und Örtlichkeit werden nur kurz beschrieben, die Auswertung ist weniger umfassend.

Zur Auswahl standen zwei Anlagen in Winterhude oder zwei Anlagen im Schanzenviertel, beides sind Stadtteile von Hamburg. Da die eine Anlage an der Alsterdorfer Straße in Winterhude zeitweise durch eine Baustelle blockiert war, (und die anderen den Vorteil der größeren Nähe zum Wohnort des Autors haben), fiel die Wahl auf diese Anlagen. Zur Zeit der Untersuchung war jedoch ein technischer Fehler dafür verantwortlich, dass auch eine dieser Anlagen ausschied. Im Endeffekt wurde also eine Anlage im Schanzenviertel, die FLSA Weidenallee/Kloksweg, sowie in Winterhude die FLSA Alsterdorfer Straße/Himmelstraße, untersucht.

Die **FLSA Weidenallee** (siehe Foto, Anlage C1) ist eine Fußgängerlichtsignalanlage, die in eine grüne Welle einbezogen ist und nur auf Anforderung für Fußgänger freigeben wird. Die Freigabe erfolgt dann im Doppelanwurf mit einer Grünzeit von jeweils 8 s. Die Fahrbahn ist nur etwa 6,5 m breit, so dass die Überquerung auch ohne Freigabe, ausreichende Zeitlücken vorausgesetzt, nicht schwerfällt. Die Weidenallee wird von zahlreichen Fußgängern überquert, jedoch konzentrieren die Querungen sich nicht auf die Furt, sondern erfolgen linienhaft. Die beobachteten

Wartezeiten lagen zwischen 7 s und über 50 s, durch die Koordinierung und das Umschalten zu festen Schaltzeiten, ist für die Benutzer in der Regel keine prompte Reaktion auf die Anforderung erkennbar.

Die **FLSA Alsterdorfer Straße/Himmelstraße** (siehe Foto, Anlage C1) wird isoliert betrieben. Schon etwa 8 s nach der Anforderung durch Fußgänger erfolgt die Freigabe für 10 s; für die Fahrzeuge ist danach eine Mindestfreigabezeit von 25 s geschaltet. In der Regel erfolgt auf die Anforderung also eine direkte Reaktion. Die Furt ist etwa 10 m breit. Direkt in der unmittelbaren Umgebung befindet sich eine Grundschule. Verstärkt durch die Baustelle im weiteren Verlauf der Alsterdorfer Straße entstehen lange Zeitlücken im Kraftfahrzeugverkehr, die das Queren der Straße auch ohne Signalschutz erlauben.

Die Zählzeiten lehnen sich an die der vorherigen Untersuchungen an, in den jeweils zweistündigen Blöcken sollten je eine Stunde an zwei benachbarten Anlagen beobachtet werden. Durch die notwendig gewordene kurzfristige Änderung der untersuchten Anlagen und den längeren Weg zwischen diesen, konnte der Zeitplan nicht ganz eingehalten werden. Es wurde aber dadurch möglich, bei der Anlage Alsterdorfer Straße gezielt die Zeit des Schulschlusses, und damit die Zeit stärksten Belastung, auszulassen. Damit wurde dem Zweck dieser Untersuchung Rechnung getragen gering belastete Anlagen zu untersuchen und starke Abweichungen im Fußgänger-Kollektiv vermieden.

6.5.2.1 Ergebnisse

An der Zählstelle Alsterdorfer Straße wurden 304 Fußgänger in 250 Fußgängerphasen beobachtet, in der Weidenallee waren es 219 Fußgänger in 130 Phasen. Das Gesamtbild der Ergebnisse aus den beiden ergänzenden Beobachtungen (Anlage C1.6) zeigt eine größere Akzeptanz der Anforderungseinrichtung als in Wedel und Altona: Mehr als die Hälfte (56,4%) aller Fußgänger benutzen die Taster und gehen bei Grün. Trotzdem ist der Anteil der „Nicht-Tasterbenutzer“ mit 37,2% immer noch recht hoch. Der Rotläuferanteil ist mit 30,6% gleichfalls hoch, der Großteil davon, ein Viertel aller Fußgänger, fordert auch kein Grün an. Obwohl durch die viel geringere Anzahl der beobachteten Fußgänger die Möglichkeit von Fehlern aus zufälligen Ereignissen viel höher ist, zeigt sich ein für beide Anlagen deutlich unterschiedliches Muster. An der **Alsterdorfer Straße** in Winterhude fordern zwei Drittel der Benutzer an und gehen bei Grün, der Rest geht etwa zur Hälfte bei Rot und bei Grün, der Anteil an Rotläufern an den Anforderern ist gering. Die Anteile bei den drei einzelnen Beobachtungen sind sehr ähnlich, nur der Rotläuferanteil in der Abendstunde ist mit 6,8% zu 0% und 1,3% sehr hoch. An der **Weidenallee** dagegen fordern nur 55,4% an, von diesen gehen aber 10,8% dann schon bei Rot. Vom Rest von 44,6% gehen sogar die meisten bei Rot. Die Ergebnisse der drei einzelnen Zeiten klaffen weiter auseinander als die Werte oben. Morgens ist die Quote der

„Tasterbenutzer“ mit 42,8% am geringsten, abends ist sie mit 64,8% am höchsten. Gleichzeitig steigt der Anteil der Nicht-Anforderer, die aber auf Grün warten (müssen) von 2% auf 14,3% an. Dies kann als ein Hinweis darauf verstanden werden, dass die Fahrbahn aus verkehrlichen Gründen nicht mehr so leicht zu queren ist wie am Morgen. Die Auswertung über die Anzahl der Phasen (Anlagen C3.5 sowie C4.5) zeigen geringere Raten an negativen Fehlern. Besonders an der Anlage an der Alsterdorfer Straße sind nahezu alle genutzten Phasen auch angefordert worden. In der Weidenallee dagegen erreicht dieser Anteil 18,8%.

Die Unterschiede zwischen den beiden Anlagen, sowohl in der Steuerung als auch im Benutzerverhalten, sind beträchtlich. Obwohl die Anteile der „Tasterbenutzer“ im Gesamtbild viel höher als in Wedel und etwas höher als in Altona sind, muß dieses nicht an dem in 7.4.1 beschriebenen Unterschied im Verhalten von Ersten und „Spätkommern“ liegen. Auch die Unterschiede in der Steuerung der Anlagen bietet dafür Anhaltspunkte. Besonders die Ähnlichkeit im Anforderungsverhalten zwischen den Anlagen Altona (A4.4) und Weidenallee (C1.2) deutet in diese Richtung. Beide Signalanlagen sind sehr ähnlich gesteuert, aber die Anlage in Altona weist eine 2,5 mal höhere Belastung durch Fußgänger auf. Die Anlage in Winterhude, die die beste Akzeptanz durch die Nutzer zeigt (C1.2), weist eine Steuerung auf, die dem anfordernden Fußgänger sehr schnell eine Reaktion bietet. Die Anlage in Wedel dagegen, mit der schlechtesten Anfordererquote (B4.4), zeigt nahezu keine Reaktion auf die Anforderung.

7.0 Schlussfolgerung

Die Anteile an „Tasterbenutzern“ die bei den Anlagen ermittelt wurden liegen nur bei 49,1% (Altona), 22,5% (Wedel), 55,4% (Schanzenviertel) und 68,8% (Winterhude).

Diese Untersuchung bestätigt damit die geringe Quote an „Tasterbenutzern“ die in den Veröffentlichungen aus dem Ausland (vergleiche Kapitel 4.1) genannt werden. Für einen Teil der Fußgänger, die die Taster nicht betätigen, erwächst daraus kein Nachteil, weil eine Anforderung eines anderen Fußgängers vorliegt. Die Ergebnisse aus den Auswertungen über die Anzahl der Phasen zeigen jedoch, dass in zahlreichen Fußgängerphasen überhaupt keine Anforderung erging, obwohl Bedarf bestand. Weitere Fehler kommen durch die Fußgänger, die anfordern aber dann bereits bei Rot gehen zustande. Nur bei stark belasteten Anlagen wird ein größerer Teil dieser Fehler durch weitere bis zum Grünbeginn eintreffende Fußgänger „geheilt“, in allen anderen Fällen sind zusätzliche Sperrzeiten für den Fahrzeugverkehr die Folge.

Es zeigt sich also, dass das Verhalten der Fußgänger an Lichtsignalanlagen, im Zusammenhang mit dem Einsatz von Anforderungstastern, zu Fehlern bei der Erfassung der Fußgängeranforderung führt. Gleichzeitig zeigen die

Ergebnisse aber auch, dass die Verhaltensmuster örtlich sehr unterschiedlich sind. Die Unterschiede im Verhalten scheinen von den Verhältnissen an den einzelnen Anlagen abzuhängen. Die Steuerung der Anlage hat dabei den größten Einfluss auf das Anforderungsverhalten: Eine in der Regel erfolgende schnelle Reaktion der Anlage auf die Anforderung führt zu einer hohen Akzeptanz des Anforderungstasters. Die Erfassungsfehler ließen sich deshalb in Einzelfällen mit einer besonders Fußgänger-freundlichen Steuerung verringern. Trotzdem liegt die Rate von Fehlern so hoch, dass bei dem Ersatz der Taster durch automatische Detektoren in jedem Fall mit einer weiteren Verbesserung zu rechnen ist. Wie hoch diese Verbesserung ausfällt hängt natürlich ganz wesentlich von den Fehlerraten der automatischen Detektoren ab. Die überwiegend positiven Erfahrungen die im Ausland mit Detektoren gemacht wurden (vergl. Teil I), lassen aber wesentliche Verbesserungen erwarten.

8.0 Literatur- und Quellenangaben

Austin u.a. 1997	Kevin Austin u. Paul White	Reducing pedestrian and vehicle conflict at Pelican crossings	in: Traffic Engineering & Control Mai/97		1997
Beckwith u.a., 1997	Dana Beckwith, Katharine M. Hunter- Zaworski	Passive Pedestrian Detektion at Unsignalized Crossings			1997 1998
Beckwith, 1998	Dana Beckwith	Passive Pedestrian Detektion: A Case Study -working Paper-	für: DKS Associates		1998
Carstens u.a., 1998	O.M.J.Carsten, D.J.Sherborne, J.A. Rothengatter	Intelligent traffic signals for pedestrians: evaluation of trials in three countries	in: Transport Research Part C 6/98		1998
Dickinson u.a., 1995	I.A.D.Reading, K.W.Dickinson u. D.J.Barker	The Puffin pedestrian crossing: pedestrian- behavioral study	in: Traffic Engineering & Control Sept./95		1995
Draeger u.a., 1994	Werner Draeger u. Dorothee Klößner	Fußgängerfreundlich gestaltete Querungsanlagen	in: Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung 8.Ergänzungs- lieferung 1994		1994
Emch+Berger, 1995	Emch + Berger Bern AG	Bewegungsmelder an lichtsignalgeregelten Fussgängerstreifen (Kanton Bern)	Arbeitspapier		1994
EVE,FGSV,1991	Forschungs- gesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen	Empfehlungen für Verkehrserhebungen EVE 91		Köln	1991
FGSV,1991	Forschungs- gesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen	Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr		Köln	1991
FGSV,1992	Forschungs- gesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen	Richtlinien für Lichtsignalanlagen RiLSA		Köln	1992
Hughes u.a. 1998	R.Hughes, H.Huang, C.Zegeer, M.Cynecki	Automated Pedestrian Detection Used in Conjunction with Standart Pedestrian Push Buttons at Signalized Intersections	für: ITE Conference in Orlando		1998
Knoflacher, 1995	Hermann Knoflacher	Fußgeher- und Fahrradverkehr		Wien	1995
Masoud u.a., 1997	O.Masoud, N.P. Papanikolo- poulos	Robust pedestrian tracking using a model-based approach	für: IEEE Conference ITSC'97	Boston	1997
Microsense, MPC Controller Handbook	Microsense Ltd.	Puffin Supplement	Hersteller- information		1999

Oeding,1963	Detlef Oeding	Verkehrsbelastung und Dimensionierung von Gehwegen und anderen Anlagen des Fußgängerverkehrs		Braunschweig	1963
Pickel,1997	Peter Pickel	Neue vollautomatische Gefahrenraum-Freimeldeanlage GFR	in: Signal + Draht 12/97		1997
Reading u.a., 1995	I.A.D.Reading, C.L.Wan u. K.W.Dickinson	Developments in pedestrian detection	in: Traffic Engineering & Control Oct./95		1995
Reich, 1998	Bernd Reich	Munich Comfort, Bewertung des Überkopf-Detektors TOM als Bestandteil der Leit- und Detektionseinrichtungen der P+R-Anlage Fröttmaning	Signalbau Huber AG		1998
Rourke u.a., 1992	A.Rourke u. M.G.Bell	Video Image-Processing Techniques and their Application to Pedestrian Data Collection		Newcastle	1992
Ryley u.a., 1998	T.Ryley , M.Hallyday u. P.Emmerson	Toucan crossings: Trials of nearside equipment			1998
Schlabbach, 1994	Klaus Schlabbach	Fußgängerfreundliche Lichtsignalsteuerung	in: Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung 7.Ergänzungslieferung 1994		1994
Schmitz, 1989	Andreas Schmitz	Benachteiligung des Fußgängerverkehrs und Ansätze zu ihrer Beseitigung		Dortmund	1989
Tan u.a. 1995	Carol H.Tan u. Charles V.Zegeer	European Practices and Innovations for Pedestrian Crossings	in: ITE-Journal Nov. 1995		1995
Taylor u. a., 1997	S.B.Taylor u. M.E.Hallyday	Pedestrians' and cyclists' attitudes to Toucan Crossings			1997
TEC Nov.97		ongoing research: S.610	in: Traffic Engineering & Control S.610		1997
Towliat, 1999	Mohsen Towliat	Automatiskt varnings- & detekteringssystem vid övergångsställe		Lund	1999
Traffic 2000, 1999		Pedestrian Detection	Herstellerinformation		1999
VTU 1998	VTU Planungsbüro	Verkehrsentwicklungsplan für die Stadt Wedel, Stand Mai 1998		Hamburg	1998
Weidmann,1993	Ulrich Weidmann	Transporttechnik der Fußgänger		Zürich	1993