

Analyse von gefährlichen Kreuzungen und Einmündungen mit Lichtsignalanlagen

***R. Allenbach
M. Hubacher
Bern 1998***

Herausgeber:

Schweizerische Beratungsstelle
für Unfallverhütung bfu
Postfach 8236
CH-3001 Bern

Autoren:

Roland Allenbach, dipl. Ing. ETH, Leiter Abteilung Forschung Technik, bfu
Markus Hubacher, lic. phil., Abteilung Forschung Mensch, bfu

Redaktion:

Jörg Thoma, dipl. Ing. TH, Leiter Bereich Technik, bfu

Druck:

Schoch & Co AG
Obere Zollgasse 69A
3072 Ostermundigen

1/98/150

Résumé en français cf. chap. V.2.

Al cap. V.3. si trova un riassunto in italiano.

An abstract in English will be found under Section V.4.

Um die Lesbarkeit dieser Pilotstudie zu vereinfachen, verzichten wir auf die zusätzliche Nennung weiblicher grammatikalischer Formen. Wir bitten dafür um Verständnis.

© bfu

Alle Rechte vorbehalten; die auszugsweise oder vollständige Vervielfältigung oder Kopie (Fotokopie, Mikrokopie) des Berichts darf nur mit Genehmigung und Angabe des Herausgebers erfolgen.

Dieser Bericht wurde hergestellt mit finanzieller Unterstützung durch den Fonds für Verkehrssicherheit (FVS)

Inhalt

I.	EINLEITUNG	1
1.	Ausgangslage	1
2.	Ziele der Studie	3
3.	Aufbau der Studie	3
II.	THEORETISCHER HINTERGRUND	4
1.	Literaturüberblick	4
2.	Historische Entwicklung der Lichtsignalanlagen	9
2.1	Die ersten Lichtsignalanlagen	9
2.2	Die Entwicklung in Deutschland	9
2.3	Die Situation in der Schweiz	10
2.3.1	Entwicklung	10
2.3.2	Anwendungszweck	11
3.	Rechtliche Entwicklung	13
4.	Normen für Lichtsignalanlagen	14
5.	Entwicklung des Verkehrsaufkommens und des Unfallgeschehens	17
6.	Unfallgeschehen 1996	21
III.	EMPIRISCHER TEIL	25
1.	Merkmalspezifische Analyse	25
1.1	Grundlagen	25
1.2	Variablen / Merkmale	25
1.3	Auswertungen	26
1.4	Ergebnisse	27
1.4.1	Häufigkeiten je Variable/Merkmal	27
1.4.2	Strassenart und Unfallstelle	29
1.4.3	Unfalltyp und Strassenart	30
1.4.4	Lichtverhältnisse und Unfallstelle	31
1.4.5	Lichtverhältnisse und Wochentag	32
1.4.6	Unfalltyp und Lichtverhältnisse	33
1.4.7	Lichtverhältnisse und Geschwindigkeit	34
1.4.8	Lichtverhältnisse und Strassenzustand	35
1.4.9	Unfalltyp und Unfallstelle	36
1.4.10	Unfallstelle und Geschwindigkeit	37
1.4.11	Unfallstelle und Anzahl Verletzte	38
1.4.12	Unfalltyp und Wochentag	39
1.4.13	Unfalltyp und Geschwindigkeit	40
1.4.14	Unfalltyp und Anzahl Verletzte	41
1.4.15	Unfalltyp und Strassenzustand	42
1.4.16	Geschwindigkeit und Anzahl Verletzte	43
1.4.17	Zusammenstellung der wichtigsten Resultate	44

1.5	Interpretation der Ergebnisse	45
1.5.1	Bemerkungen	45
1.5.2	Unfallstelle	45
1.5.3	Unfalltyp	46
1.5.4	Fazit	48
2.	Vorstudie: Umfrage bezüglich der LSA-Problematik bei verschiedenen Kantonen und Städten	49
2.1	Vorgehen	49
2.2	Resultate	50
2.3	Fazit	53
3.	Anlagespezifische Analyse	55
3.1	Vorgehen	55
3.2	Auswahl der lichtsignalgesteuerten Kreuzungen	55
3.2.1	Auswahlkriterien	55
3.2.2	Unfallbelastete Objekte	55
3.2.3	Kontrollobjekte	56
3.3	Variablen	57
3.3.1	Arten von Variablen	57
3.3.2	Anlagetechnik	57
3.3.3	Betriebstechnik	58
3.3.4	Unfall-Variablen	58
3.4	Datenerhebung	58
3.5	Datenanpassung	59
3.5.1	Datenreduktion	59
3.5.2	Endgültige Variablenliste	60
3.6	Resultate	62
3.6.1	Das Unfallgeschehen an den untersuchten Objekten	62
3.6.2	Anlagetechnische und andere Variablen	65
3.6.3	Zusammenfassung der bisherigen Resultate	68
3.6.4	Diskriminanzanalytische Auswertungen	69
3.6.5	Interpretation der Resultate	75
3.6.6	Fazit	75
IV.	DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	77
1.	Methodenkritik	77
2.	Schlussfolgerungen	78
3.	Empfehlungen für Bau und Betrieb von Lichtsignalanlagen	80
4.	Weiteres Vorgehen	83
3.	ZUSAMMENFASSUNG / RESUME / RIASSUNTO / ABSTRACT	84
1.	Analyse von gefährlichen Kreuzungen und Einmündungen mit Lichtsignal- anlagen	84
2.	Analyse de carrefours et de débouchés dangereux pourvus de feux de circulation	87
3.	Analisi di nodi semaforizzati pericolosi	90
4.	Analysis of dangerous intersections and junctions with light signals	93
VI.	ANHANG	96
1.	Fragebogen zur Problematik der Lichtsignalanlagen	96
2.	Erfassungsprotokoll für die Variablen/Merkmale von Lichtsignalanlagen	98
VII.	Literatur	103

I. EINLEITUNG

1. Ausgangslage

Von den rund 80'000 polizeilich registrierten Unfällen pro Jahr ereigneten sich in den letzten Jahren weniger als 5 Prozent an lichtsignalgesteuerten Anlagen, wobei der grösste Teil (etwa 85 Prozent) auf dem Innerortsstrassennetz zu verzeichnen war. Trotz dieser vermeintlich kleinen Zahl sah sich die bfu mit der Tatsache konfrontiert, dass Knoten mit Lichtsignalanlagen (LSA) häufig als Gefahrenstellen - örtlich abgrenzbare, lokale Unfallschwerpunkte, Stellen mit grosser Unfallschwere oder Stellen im Strassennetz, wo die Anlage oder der Verkehrsablauf zu besonderen Gefahren führt - auftreten. Von den durch die bfu periodisch erfassten Gefahrenstellen verschiedener Kantone war rund ein Viertel mit einer LSA ausgestattet (Tabelle 1).

Tabelle 1:

Unfälle und Verunfallte an Gefahrenstellen mit Lichtsignalsteuerung in verschiedenen Kantonen

Kanton	Alle Gefahrenstellen			Gefahrenstellen mit LSA			Prozentanteil Gefahrenstellen mit LSA			Erhebungsperiode
	Anzahl	Unfälle	Verunfallte	Anzahl	Unfälle	Verunfallte	Anzahl	Unfälle	Verunfallte	
AG	113	2'187	859	27	577	204	24	24	24	84-91
AI	1	15	6	0	0	0	0	0	0	84-88
AR	6	84	30	0	0	0	0	0	0	84-88
BL	27	573	239	11	245	110	41	46	46	87-91
FR	23	413	155	1	24	9	4	6	6	86-90
GL	10	121	39	1	16	4	10	10	10	82-86
JU	8	153	98	0	0	0	0	0	0	85-89
NE	64	1'971	453	13	589	90	20	20	20	86-91
NW	7	157	52	1	29	8	14	15	15	88-91
OW	5	59	22	0	0	0	0	0	0	88-91
SG	58	1'153	555	7	138	42	12	8	8	84-88
SH	7	157	61	2	56	23	29	38	38	83-87
SO	36	668	274	18	339	126	50	46	46	86-90
SZ	22	394	185	2	40	19	9	10	10	88-91
TG	48	823	318	15	271	97	31	31	31	85-89
TI	69	1'440	968	23	488	289	33	30	30	85-89
UR	3	27	15	0	0	0	0	0	0	83-87
VS	67	1'614	485	24	729	191	36	39	39	82-86
ZG	32	907	344	7	193	83	22	24	24	87-91
Total	606	12'916	5'158	152	3'734	1'295	25	29	25	-

Die Ursachen für das Auftreten von lichtsignalgesteuerten Knoten in den Gefahrenstellenlisten sind nicht bekannt. Mögliche Gründe für die Unfallhäufigkeit könnten sein:

- veraltete LSA, alte Steuerung
- mangelhafte Erkennbarkeit der LSA
- hohe Informationsdichte im Umfeld der LSA
- Diskrepanz zwischen Fahrstreifenaufteilung und LSA-Steuerung
- fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung (Pfortneranlagen)
- abgeschaltete Anlage
- Lage innerorts/ausserorts
- Geschwindigkeitsbegrenzung
- Vollgrünanlagen
- usw.

2. Ziele der Studie

Die vorliegende Studie soll:

- Aufschluss darüber geben, warum sich an einigen Knoten trotz LSA die Unfälle häufen,
- generelle Mängel und Einflüsse an Lichtsignalanlagen aufzeigen,
- punktuelle, situative Mängel und Einflüsse an Lichtsignalanlagen analysieren,
- Massnahmen, Forschungsbedarf und Empfehlungen zur Verminderung des Unfallgeschehens an Knoten mit LSA aufzeigen.

3. Aufbau der Studie

In Kapitel II wird der theoretische Hintergrund der Untersuchungen erläutert. Insbesondere wird ein Literaturüberblick gegeben, auf die historische und rechtliche Entwicklung, die Normen sowie das generelle Unfallgeschehen eingegangen. Kapitel III ist in drei Teile gegliedert. In einem ersten Teil (merkmalspezifische Analyse) werden die Daten der polizeilich registrierten Unfälle analysiert. Kombinationen von Unfallmerkmalen im Unfallgeschehen sowie Hinweise auf Unfallursachen bei Lichtsignalanlagen werden erarbeitet. Der zweite Teil umfasst die Vorstudie, in der die von den Kantonen und Städten erfragten Grundlagedaten verarbeitet wurden. Im dritten Teil (anlagespezifische Analyse) werden situative Merkmale anhand eines Vergleichs unfallfreier mit unfallbelasteten Lichtsignalanlagen überprüft. Schliesslich werden In Kapitel IV. Methode und Resultate diskutiert sowie Empfehlungen abgeleitet.

II. THEORETISCHER HINTERGRUND

1. Literaturüberblick

Die Verkehrssteuerung durch Lichtsignalanlagen hat zum Zweck, "... die Unfallgefahr an Knoten auf ein Minimum zu beschränken und den vorhandenen Verkehrsraum möglichst rationell auszunutzen" (HOTTINGER, 1980). Gemäss HOTTINGER hat eine LSA die Aufgabe, die Verkehrsströme so weit als möglich unter Ausschaltung von Konflikten zu leiten. Dadurch sollen im wesentlichen die folgenden vier Ziele erreicht werden:

- 1) Verminderung von Unfallhäufigkeit und Unfallschwere, wodurch eine Zunahme der Verkehrssicherheit erfolgt,
- 2) besserer Schutz der schwachen Verkehrsteilnehmer wie Fussgänger und Fahrradfahrer durch gesicherte Übergänge,
- 3) gezielte Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs und
- 4) Vermeidung hoher Kosten für Strassenausbauten wegen baulicher Mängel.

Nebst den Vorteilen hat der Betrieb von Lichtsignalanlagen auch Nachteile zur Folge, etwa die unvermeidlichen Wartezeiten, die Immissionen durch stehende und anfahrende Fahrzeugkolonnen oder den Aufwand für Bau und Unterhalt.

Ungeregelte Kreuzungen werden oft mit Lichtsignalanlagen ausgerüstet, um einen Sicherheitsgewinn zu erzielen. Dieses Ziel wird jedoch nicht in jedem Fall erreicht, wie eine Literaturanalyse von GOLIAS (1997) zeigt. Er weist allerdings darauf hin, dass die Resultate auch deshalb widersprüchlich sein können, weil es sich bei all diesen Untersuchungen um solche mit einem "Vorher-Nachher"-Design handelt, denen das methodische Problem des Regression-zur-Mitte-Effekts anhaftet: Bauliche Veränderungen werden üblicherweise an unfallbelasteten Stellen vorgenommen, die vorhandenen Unfallzahlen können jedoch auf zufallsbedingte Schwankungen zurückzuführen sein, so dass auch ohne konstruktive Massnahmen in Zukunft verringerte Unfallbelastungen möglich gewesen wären. Ein anschauliches Beispiel für dieses Phänomen stellt die Studie von HAKKERT & MAHALEL (1978) dar, wo eine Abnahme der Unfallzahlen an Kreuzungen mit mehr als 5 Unfällen, jedoch eine Zunahme an solchen mit weniger als 2 festgestellt wurde. Nebst dieser rein methodischen Problematik ist die Inkonsistenz der Resultate sicher auch auf die Tatsache zurückzuführen, dass der Verkehr an LSA-geregelten Knoten ein komplexes Geschehen darstellt und verschiedene Faktoren das Unfallgeschehen in unterschiedlichem Mass beeinflussen.

Der Betrieb von Lichtsignalanlagen erfordert oft einen Kompromiss zwischen der Leistungsfähigkeit einer Anlage und derem Sicherheitsniveau, weshalb sich an LSA-gesteuerten Knoten nicht selten viele Unfälle ereignen. Bei der Suche nach den Ursachen dieser Unfälle wurden in Forschungs-

arbeiten verschiedene Gesichtspunkte (Phasenzahl, Rotlichtmissachtungen usw.) aufgegriffen und Verbesserungen vorgeschlagen. Nachfolgend wird eine Auswahl dieser Arbeiten thematisch gegliedert vorgestellt.

Verschiedene Autoren verfolgen einen generellen Ansatz, der nicht auf einen oder wenige bestimmte Parameter beschränkt ist. AFFUM & TAYLOR (1996) untersuchten in Australien 115 Lichtsignalanlagen mit total 6'391 Unfällen in den vier Jahren von 1988 bis 1991. Nebst den Unfällen erhoben sie an allen Anlagen Daten über Strassengeometrie, Verkehrsströme und Ampelsteuerung. Das Ziel der Arbeit bestand in der Entwicklung von Modellen zur Vorhersage der Häufigkeit von Unfällen und Unfalltypen aufgrund von Art und Menge der Verkehrsströme bei verschiedenen Ampelkonfigurationen. Statistisch bedeutsame Zusammenhänge (allerdings auf bescheidenem Niveau) zwischen Exposition und Unfallereignissen konnten lediglich für Auffahrunfälle und Streifkollisionen gefunden werden. Hingegen hat sich gezeigt, dass die Zahl der Kollisionen beim geschützten Rechtsabbiegen (entspricht in Ländern mit Rechtsverkehr dem geschützten Linksabbiegen) nicht von der Verkehrsmenge abhängt. In Bezug auf die anlagentechnischen Parameter haben sich verschiedene Zusammenhänge mit den Unfalltypen ergeben. Ein Ergebnis besagt, dass sich bei mehrfachen Abbigespuren die Auffahrunfälle und Streifkollisionen häufen, weshalb diese Anordnung nur empfohlen wird, wenn sie unbedingt nötig und ausreichend Platz vorhanden ist. Des weiteren nimmt die Zahl der Unfälle beim Rechtsabbiegen (Rechtsverkehr: Linksabbiegen) mit zunehmender Fahrspurbreite zu, weil bei breiten Spuren die Abbiegeradien gross sind und die Fahrzeuge deshalb mehr Zeit für die Durchquerung des kollisionsgefährdeten Kreuzungsabschnitts benötigen. Auf ein spezielles Modell zur Unfall-Vorhersage gehen die Untersuchungen von LAU & MAY (1988) sowie HUANG & MAY (1991) zurück. Anhand der Daten von rund 2'500 Lichtsignalanlagen in Kalifornien kommen die Autoren zum Schluss, dass die Verkehrsmenge den wichtigsten Einzelprädiktor für die Häufigkeit von Unfällen mit Verletzten darstellt. Die mit der Exposition nicht erklärbaren Unfälle wurden einer Analyse auf der Basis weiterer, v.a. anlagentechnischer Merkmale unterzogen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Steuerung, die Zahl der Fahrspuren, die Linksabbiege-Regelung, die Art der Kreuzung (T-, Y-Form, mehrarmig) sowie das Verhältnis des kreuzenden Verkehrs zum Hauptverkehr das Unfallgeschehen beeinflussen.

Ein zentraler Gesichtspunkt der LSA-Steuerung ist die angestrebte Leistungsfähigkeit einer Anlage, was hauptsächlich über die Anzahl Phasen gesteuert wird. Im allgemeinen gilt der Grundsatz, dass eine kleine Phasenzahl zu hoher Leistungsfähigkeit und geringer Sicherheit, eine grosse Phasenzahl zu geringer Leistungsfähigkeit und hoher Sicherheit führt. Maximale Leistungsfähigkeit und maximale Sicherheit sind demnach nicht vereinbar, was dazu führt, dass bei vielen Anlagen ein Kompromiss zwischen diesen beiden Extremen gefunden werden muss. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch bei angestrebter maximaler Sicherheit, d. h. bei grosser Phasenzahl, vollständige Sicherheit nicht notwendigerweise erreicht werden kann. Dies deshalb, weil die Umlaufzeiten

zunehmen und dadurch die Wartezeiten ansteigen, was von Fussgängern und Radfahrern oft nicht toleriert wird, weshalb sie dazu neigen, die Regelung zu missachten (KRÜGER, 1986; WIEDEMANN, 1987; GÅRDER, 1989). Die Leistungsfähigkeit und Sicherheit einer Anlage bestimmt sich hauptsächlich durch die Art der LSA-Steuerung für linksabbiegende Verkehrsströme. Die höchsten Unfallraten ergeben sich beim ungeschützten Abbiegen, d. h. beim Vollgrün; hingegen lässt diese Steuerungsform eine hohe Leistungsfähigkeit zu, was für das geschützte Abbiegen nicht gilt, das dafür im Gegensatz zum Vollgrün sehr sicher ist (MUSTAFA, PITSIAVA & PAPAIOANNOU, 1992; SHEBEEB, 1995). Heutzutage wird die Leistungsfähigkeit einer Anlage nicht mehr allein mit der Phasenzahl, sondern oft verkehrsabhängig gesteuert (teilverkehrs- und vollverkehrsabhängige Steuerung, "Alles-Rot-Sofort-Grün"-Schaltungen vor allem im Nachtverkehr). Diese verschiedenen Steuerungsformen können je nach Anforderungen des Verkehrs auch vermischt werden, was von den Verkehrsteilnehmern eine Anpassung an sich unverhofft ändernde Signalisierungsstrukturen erfordert. Inwiefern Fehlverhalten aufgrund von Gewöhnungseffekten bei verkehrsabhängigen Anlagen ein Sicherheitsrisiko darstellt, haben BRENNER, ZIEGLER, SEELING & KOPPERSCHLÄGER (1997) in Deutschland untersucht. Für die Bewertung der Sicherheitsrisiken haben sie Unfallprotokolle analysiert, Beobachtungen mittels Verkehrskonflikttechnik durchgeführt und Geschwindigkeits-, Abstands- sowie Beschleunigungs-/Verzögerungsverhalten der Fahrzeuge gemessen. Als generelles Ergebnis hat sich gezeigt, dass unerwartetes Rot nicht zu einer Erhöhung des Risikos führt (als Kriterium dienten die Fahrzeugabstände), sofern die Fahrzeuglenker an die flexiblen Steuerungsverfahren gewöhnt sind. Hingegen wurden bei Festzeitsteuerungen die kleinsten mittleren Abstände zwischen den Fahrzeugen gemessen (was als Sicherheitsrisiko beurteilt wurde). Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass trotz der relativ eindeutigen Ergebnisse natürlich auch andere Gesichtspunkte wie etwa Leistungsfähigkeit und Koordinierungsvorgaben die Wahl einer geeigneten LSA-Steuerung beeinflussen.

Eines der häufigsten Probleme an LSA-gesteuerten Kreuzungen stellt das Linksabbiegen dar, insbesondere dann, wenn es ungesichert erfolgt, d. h., wenn die Linksabbieger mit anderen Verkehrsströmen (Gegenverkehr, Fussgänger) in Konflikt geraten. Damit Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern vermieden werden können, erfordert das ungesicherte Abbiegen bei Vollgrün nebst anderen kognitiven Leistungen insbesondere die richtige Interpretation der Ampelregelung, was beim gesicherten Abbiegen mit Grünpfeil weniger wichtig ist, weil trotz eventuell falscher Interpretation kein Konflikt möglich ist. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Unterschiede im Grad der korrekten Interpretation verschiedener Ampelkonfigurationen existieren (PLUMMER & KING, 1974; HAKKERT & MAHALEL, 1978; PITZINGER, 1988; STAPLIN & FISK, 1991; EWERT, 1994). Für die Regelung in der Schweiz sind die Arbeiten von PITZINGER und EWERT von Bedeutung. Ersterer hat in einer Befragung von 400 Personen herausgefunden, dass beim Grünpfeil 21 Prozent der Leute fälschlicherweise mit Gegenverkehr rechnen, beim Voll-

grün 9 Prozent fälschlicherweise nicht (PITZINGER, 1988). Die falsche Interpretation des Grünpeils hat keine, diejenige des Vollgrüns jedoch möglicherweise fatale Folgen. EWERT (1994) hat 915 Versuchspersonen 20 verschiedene Ampelkonfigurationen dargeboten, darunter auch solche, die es gar nicht gibt. Die Personen mussten für jede Konfiguration die Fragen beantworten, ob mit Gegenverkehr zu rechnen ist, ob mit Fussgängern in der Querstrasse gerechnet werden muss, ob weder mit Gegenverkehr noch mit Fussgängern zu rechnen ist, ob die dargebotene Regelung überhaupt existiert und wie sicher sich die Versuchspersonen ihrer Antwort sind. Am besten wurden der Grünpeil (vollständig gesichertes Abbiegen) und der Grünpeil mit gelb blinkendem Fussgänger (Warnung vor Fussgängern im Konflikt) mit je 28 Prozent falscher Antworten verstanden. Hingegen waren beim Vollgrün rund 70 Prozent der Personen fälschlicherweise der Meinung, nicht mit Gegenverkehr rechnen zu müssen. Interessant ist das Ergebnis, wonach beim Grünpeil die korrekt Antwortenden sich ihrer Antwort sicherer waren als die falsch Antwortenden, beim Vollgrün jedoch nicht. Sich fälschlicherweise im Vortritt zu wähnen, dürfte im realen Verkehr die Unfallwahrscheinlichkeit erhöhen. Deshalb wird empfohlen, auf die Anwendung des Vollgrüns zu verzichten.

Ein besonderes Problem an Lichtsignalanlagen stellen die Rotlichtmissachtungen dar, insbesondere diejenigen durch Fahrzeuglenker. Diese Missachtungen können bewusst, jedoch auch unbewusst geschehen, z. B. wegen Phantomlicht-Effekten oder schlechter Erkennbarkeit. Verschiedene Autoren haben das Rotfahren unter dem Aspekt der Gelbzeit untersucht. Bei der Ampelstellung gelb müssen die Lenker die Entscheidung treffen, ob ein Anhalten noch vor der Ampel möglich ist, was von der gefahrenen Geschwindigkeit und der Reaktionszeit abhängt. Die übliche Gelbzeit beträgt 3 Sekunden und es stellt sich die Frage, ob diese Dauer optimal ist. VAN DER HORST & WILMINK (1988) kommen zum Schluss, dass allein aufgrund theoretischer Überlegungen diese Zeit zu kurz ist und eine Erhöhung innerorts auf 4 Sekunden, ausserorts auf 5 Sekunden erfolgen sollte. In der anschliessenden Felduntersuchung, in der in einem begrenzten Gebiet die Gelbzeiten der Ampeln von 3 auf 4 Sekunden ausgedehnt wurden, hat sich der Anteil der Rotfahrer nach einem Jahr rund halbiert. CROFT & TRUDINGER (1983; zit. nach HULSCHER, 1984) haben in ihrer Untersuchung durch Erhöhung der Gelbzeit kurzfristig (3 Monate nach Einführung) ebenfalls einen starken Rückgang der Zahl der Rotfahrer gemessen, langfristig (nach 18 Monaten) hat sich dieser Effekt allerdings wieder abgeschwächt. Eine Verlängerung der Gelbzeit scheint nur wirkungsvoll zu sein, wenn die Alles-Rot-Zeit nicht zu lang ist, weil sonst die Zahl der Rotfahrer zunimmt, da die Missachtung bewusst und bei vollem Schutz begangen werden kann. Einen anderen Aspekt der Gelbzeit betrachteten PRASHKER & MAHALEL (1989) und DATTA, AL-ASSAR, ABRAHAM & NANNAPANENI (1996) in ihren Untersuchungen. Sie interessierten sich nicht für die Rotfahrer, sondern für die Auffahrunfälle. Diese ereignen sich u.a., wenn sich ein Lenker entscheidet, in der Gelbphase vor der Ampel anzuhalten, der nachfolgende Lenker jedoch durchfahren will. Je nach Dauer der Gelbzeit haben die Lenker unterschiedlich lange Zeit zur Verfügung, um eine Ent-

scheidung zu treffen, die im Einklang mit den Verkehrsregeln steht (Anhalten oder Durchfahren, bevor die Ampel auf Rot schaltet). Theoretisch müsste mit zunehmender Gelbzeit und Verkehrsmenge die Wahrscheinlichkeit von Auffahrkollisionen grösser werden. In ihrem Feldexperiment haben PRASHKER & MAHALEL (1989) an vier Lichtsignalanlagen den Einfluss jeweils zweier unterschiedlicher Gelbzeiten untersucht (3 Sekunden und 6 Sekunden; bei letzterer inklusive einer Phase blinkenden Grüns von 3 Sekunden). Es hat sich gezeigt, dass die längere Gelbzeit auch die Unentschlossenheit bei den Lenkern (Anhalten oder Durchfahren) fördert, was die Wahrscheinlichkeit von Auffahrkollisionen erhöht. Dass die Häufigkeit von Auffahrunfällen nicht allein von der Gelbzeit, sondern auch vom Vorhandensein einer Alles-Rot-Phase abhängt, haben DATTA et al. (1996) in ihrer Analyse an 103 Lichtsignalanlagen gezeigt. Sie schlagen deshalb vor, nebst einer ausreichend langen Gelbzeit wo immer möglich auch Alles-Rot-Phasen einzurichten.

Schliesslich soll noch kurz ein Gesichtspunkt angesprochen werden, der nicht direkt im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen steht, der aber auch in diesem Zusammenhang nicht vernachlässigt werden darf: In den meisten Studien zur LSA-Problematik wird der Einfluss der Exposition mituntersucht. Die Resultate sind insgesamt nicht sehr einheitlich, allerdings wohl auch deshalb nicht, weil die Exposition mit verschiedenen Massen gemessen wird, z. B. als Summe der Verkehrsmengen auf allen Zufahrten oder als Produkt der Verkehrsmengen von Konfliktströmen. Ohne hier weiter darauf einzugehen, weil es sich um einen rein methodologischen und nicht LSA-spezifischen Aspekt handelt, soll angemerkt werden, dass ein Expositionsmass logischen Anforderungen genügen muss, indem bspw. für Unfallanalysen nur die Verkehrsmenge derjenigen Ströme berücksichtigt werden, die in das zu untersuchende Unfallgeschehen involviert sind (HAUER, NG & LOVELL, 1988). Eine solche Vereinheitlichung wäre der Vergleichbarkeit verschiedener Untersuchungen sehr dienlich und würde den Erkenntnisgewinn fördern.

2. Historische Entwicklung der Lichtsignalanlagen

2.1 Die ersten Lichtsignalanlagen

Gemäss GEILING (1989) wurde die erste Gaslicht-Ampel am 10. Dezember 1868 in London in Betrieb genommen. Die Ampel am New Palace Yard, nahe dem Parlamentsgebäude, erstrahlte nur zwei Stunden, bevor sie mit einem lauten Knall zerbarst. Eine undichte Stelle im inneren Gassystem der neuen Leuchtampele war Ursache für den Vorfall.

Der Fehlschlag war von solcher Tragweite, dass es weitere 45 Jahre dauerte, bis eine neue Lichtzeichenanlage versuchsweise installiert wurde. Im Jahr 1913 wurde an einer Strassenkreuzung in Cleveland, im amerikanischen Bundesstaat Ohio, eine LSA in Betrieb genommen. Nicht mehr Gas, sondern Elektrizität diente dabei als Energiequelle. Während die Londoner Signalanlage eine Kombination zwischen Zeiger- und Lichtzeichenanzeige war, so funktionierte die erste USA-Ampel ausschliesslich mit Lichtzeichen: Rotlicht für "Stop" - Grünlicht für "Fahrt".

Die erste "Grüne Welle"-Schaltung zur Verbesserung des Verkehrsflusses beim innerörtlichen Durchgangsverkehr wurde 1917 durch Simultanschaltung mehrerer Ampelanlagen an einem Strassenzug in Salt Lake City (USA) eingeführt.

"Gelblicht" als dritte Lichtsignalfarbe für den Signalbegriff "Kreuzung allseits räumen" leuchtete im Dezember 1920 zunächst an einer Kreuzungsampel in Detroit (USA). Bis heute ist dieses Signal in Verbindung mit dem Rotlicht vor Grünbeginn in verschiedenen europäischen Staaten umstritten und fehlt deshalb in der Signalfolge oft ganz.

2.2 Die Entwicklung in Deutschland

GEILING (1989) führt weiter auf, dass in Deutschland die ersten Lichtzeichen im Jahr 1924 in Berlin an einem Verkehrsturm inmitten des Potsdamer Platzes erstrahlten. Diese waren waagrecht angeordnet. Vier Jahre später führten die Berliner Behörden die Lichtzeichenfolge "rot-gelb-grün" senkrecht ein und machten mit zusätzlichen Klingelzeichen auf den jeweils bevorstehenden Lichtsignalwechsel aufmerksam. Bedient wurde diese Anlage durch einen Polizeibeamten.

Per Ministererlass des Jahres 1930 führte die Preussische Innere Verwaltung die Lichtsignalregelung "rot-gelb-grün" in Deutschland als allgemeingültig ein.

Mit Erfindung der "Heuer-Ampel", benannt nach ihrem Erfinder und Erbauer, mussten die Signalfolgen nicht mehr durch Handbedienung geschaltet werden. Sie stellte eine echte automatisch ab-

laufende Verkehrszeichenregelung dar. Bis weit in die fünfziger Jahre hinein waren diese Ampeln Verkehrszentralpunkt zahlreicher Knoten in Deutschland. Sie wurden dann nach und nach von den heute noch gebräuchlichen, elektromechanisch gesteuerten Lichtsignalanlagen abgelöst.

Unterschiede bei den modernen Verkehrssignalen sind nebst der Farb- und Formgestaltung des Signalgebergehäuses im wesentlichen in der Art der Steuerung zu finden. Es wird unterschieden zwischen Anlagen mit Festzeitsteuerung und Anlagen mit verkehrsabhängiger Steuerung mit oder ohne feste Umlaufzeiten.

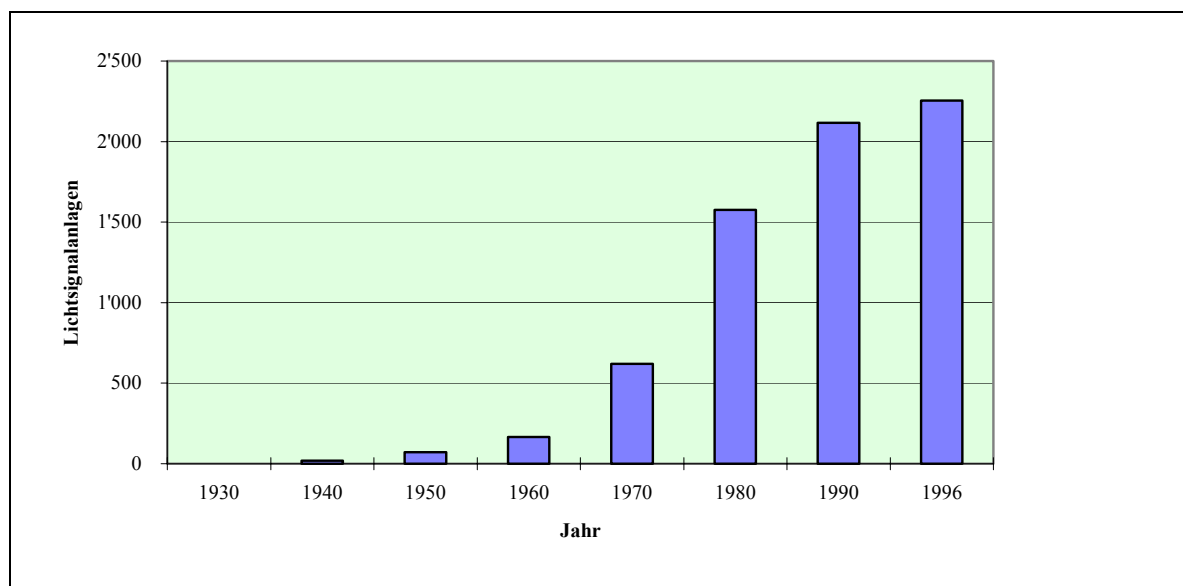
2.3 Die Situation in der Schweiz

2.3.1 Entwicklung

Gemäss einer speziell für diese Studie durchgeführten Umfrage bei allen Kantonen und einigen grösseren Städten der Schweiz wurden die ersten Lichtsignalanlagen im Jahre 1933 erstellt. Sie wurden in Genf (Bv. Georges-Favon/Rue du Stand) und in Bern (Hirschengraben) installiert. In den nachfolgenden Jahren (1934 - 1938) wurden dann auch in den Städten Zürich, Lausanne, St. Gallen und Winterthur Lichtsignalanlagen in Betrieb genommen. Nach anfänglich zögerlichem Einsatz stieg deren Anzahl zwischen 1960 und 1990 kontinuierlich an (Abbildung 1). Die Zunahme verflachte in den letzten Jahren aber zusehends.

Abbildung 1:

Entwicklung der Anzahl Lichtsignalanlagen in der Schweiz seit 1930 (Quelle: bfu)



Im Jahre 1996 waren in der Schweiz gemäss Umfrage rund 2'300 Lichtsignalanlagen in Betrieb (Tabelle 2). Da nicht alle in der Schweiz installierten Anlagen von den befragten Kantonen und Städten betrieben werden, dürfte die effektive Anzahl höher liegen. Wir schätzen für das Jahr 1996 die Anzahl betriebener Lichtsignalanlagen auf etwa 2'500. In den städtischen Gebieten ist eine Konzentration von Lichtsignalanlagen feststellbar. Rund 40 Prozent der Anlagen in der Schweiz werden in den 5 Grosszentren Basel, Bern, Genf, Lausanne und Zürich betrieben.

Tabelle 2:

Lichtsignalanlagen in der Schweiz, 1996 (Quelle: bfu)

Kanton	Anzahl Licht-signalanlagen	Kanton	Anzahl Licht-signalanlagen	Kanton	Anzahl Licht-signalanlagen	Stadt	Anzahl Licht-signalanlagen
AG	119	GR	24	SZ	4	Bern	115
AI	2	JU	1	TG	49	Biel	30
AR	8	LU	57	TI	26	Fribourg	14
BE	82	NE	19	UR	1	Lausanne	89
BL	105	NW	5	VD	40	Lugano	34
BS	122	OW	5	VS	47	Luzern	35
FR	2	SG	104	ZG	25	St. Gallen	48
GE	338	SH	25	ZH	191	Winterthur	49
GL	2	SO	53			Zürich	384
						gemäss Umfrage	2'254
Alle Lichtsignalanlagen in der Schweiz						hochgerechnet	2'500

2.3.2 Anwendungszweck

In den letzten Jahren nahm die Zahl der Verkehrskreisel stark zu und es stellt sich die Frage, ob Lichtsignalanlagen überhaupt noch sinnvoll sind. Diese Frage ist klar mit *ja* zu beantworten. Der Kreisel und der lichtsignalgesteuerte Knoten haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile, sind jeweils nur unter bestimmten Bedingungen optimal und führen bei anderen Bedingungen zu Schwierigkeiten. Wie HEIERLE (1996) ausführt, sind gerade in grossen Städten mit komplexen Verkehrssystemen Steuerungsmöglichkeiten nötig, also Lichtsignale. Steuerung bedeutet Einflussmöglichkeit oder auch Management. Offensichtlich ist ein Verkehrsmanagement um so eher notwendig, je stärker das Verkehrsnetz beansprucht ist und je weniger die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer auf andere Weise - z.B. mit Kreiseln - gewährleistet werden kann. Es ist deshalb auch nicht erstaunlich, dass zuerst in grösseren Städten der Verkehr mit Lichtsignalanlagen geregelt wurde. Wenn in ei-

nem hochbelasteten Netz mit vielen komplizierten Knoten, die sich erst noch gegenseitig beeinflussen, die Leistung des Systems optimiert oder gar verkehrspolitische Anliegen verwirklicht werden sollen, werden Lichtsignale unumgänglich.

Eine klassische Anwendung von Lichtsignalen zur Unterstützung der Verkehrspolitik ist die Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs. Nebst einem attraktiven Angebot in Bezug auf Netzgestaltung, Frequenzen, Fahrzeiten und Fahrzeuge spielen die Zuverlässigkeit in Spitzenzeiten eine zentrale Rolle. Beides kann in städtischen Verhältnissen nur mit einer ausgeklügelten Verkehrsbeeinflussung durch Lichtsignale erreicht werden.

Eine weitere Frage ist diejenige nach der Strassenraumgestaltung. Ausserorts oder in locker überbauten Stadtrandquartieren mag der Kreisel unproblematisch sein oder sogar gestalterisch vorteilhaft erscheinen. Versucht man aber in die engeren Verhältnisse unserer historisch gewachsenen Städte Kreisel einzufügen, so wird es schwierig. Nicht nur ist der Platzbedarf bei Kreiseln gross, auch ihre städtebauliche Verträglichkeit erscheint fraglich. Kreisel können dann eine verkehrstechnisch valable, städtebaulich aber höchst problematische Alternative zu den vier- und mehrarmigen Knoten konventioneller Art sein.

Ein Schwerpunkt im Unfallgeschehen stellen die Unfälle mit Fussgängern dar. Zur Erhöhung der Sicherheit werden dem Fussgänger Querungshilfen wie Fussgängerstreifen, Über- und Unterführungen angeboten. Nebst diesen Massnahmen können Fussgänger-Lichtsignalanlagen unter Einhaltung von gewissen Einsatzkriterien (Standort, Notwendigkeit, Ausrüstung) eine gute Alternative sein.

Eine letzte Kategorie von Fällen, wo die Lichtsignale in Zukunft Terrain gewinnen dürften, sind die Hochleistungsstrassen und ihre Zufahrtsstrassen in Ballungsgebieten. Soll ein Strassensystem optimal funktionieren, so muss in erster Linie der Kollaps auf den Hochleistungsstrassen vermieden werden. Lichtsignale auf den Zulaufstrecken werden dann unabdingbar.

Die Lichtsignale haben also bei weitem nicht ausgedient. Vielmehr werden sie sich weiterentwickeln. Waren sie früher einfache Einrichtungen zur Gewährleistung der Strassenverkehrssicherheit, so werden sie in Zukunft vermehrt zu komplexen Gebilden, mit denen der Verkehr optimal bewirtschaftet werden kann, aber auch Prioritäten gesetzt werden können.

3. Rechtliche Entwicklung

Im schweizerischen Recht wurden Lichtsignale erstmals in der Signal-Ordnung für den Strassenverkehr in der Schweiz vom Juli 1931 erwähnt. In der nachfolgenden Verordnung über die Strassensignalisation vom 17. Oktober 1932 lautete Art. 18 wie folgt:

¹ Bei der Regelung des Verkehrs durch Lichtsignale kommt den Lichtfarben folgende Bedeutung zu:

rotes Licht = Fahrverbot

grünes Licht = freie Fahrt.

² Als allfälliges Zwischensignal ist gelbes Licht zu verwenden.

Am 31. Mai 1963 wurde die Verordnung über die Strassensignalisation in Kraft gesetzt. Sie regelte in den Art. 13 sowie 49 - 51 die Signalisation, die Bedeutung, die Ausgestaltung sowie die technischen Anforderungen von Lichtsignalanlagen.

Die heute gültige Verordnung über die Strassensignalisation vom 5. September 1979 (Signalisationsverordnung SSV) regelt in Art. 14 sowie Art. 68 - 71 die Signalisation, die Art und Bedeutung, die Ausgestaltung und Verwendung sowie den Standort und die technischen Anforderungen von Lichtsignalanlagen. Auszugsweise seien hier folgende Artikel erwähnt:

Art. 14: ¹ Das Signal "Lichtsignale" kündigt eine LSA an, bei welcher der Fahrzeugführer gegebenenfalls anhalten muss. Es steht vor Lichtsignalanlagen ausserorts ...; innerorts kann es auf Strassen mit schnellem Verkehr oder dort, wo die LSA nicht rechtzeitig erkennbar ist, aufgestellt werden.

Art. 68: ¹ Rotes Licht bedeutet "Halt" ...

² Grünes Licht gibt den Verkehr frei. Abbiegende Fahrzeuge müssen dem Gegenverkehr und den Fussgängern auf der Querstrasse den Vortritt lassen.

³ Grüne Pfeile gestatten den Verkehr in der angezeigten Richtung. Blinkt daneben gleichzeitig ein gelbes Licht, müssen abbiegende Fahrzeuge dem Gegenverkehr und den Fussgängern auf der Querstrasse den Vortritt lassen.

⁴ Gelbes Licht bedeutet:

a. wenn es auf das grüne Licht folgt: Halt für Fahrzeuge, die noch vor der Verzweigung halten können.

b. wenn es zusammen mit rotem Licht erscheint: sich für die Weiterfahrt bereithalten und die Freigabe des Verkehrs durch das grüne Licht abwarten.

Art. 70: ⁵ Sind bei Ampeln die Lichter übereinander angeordnet, befindet sich das rote Licht oben, das grüne unten, ein allfälliges gelbes Licht in der Mitte ...

⁶ Sind bei Ampeln über der Fahrbahn die Lichter nebeneinander angeordnet, befindet sich das rote Licht links, das grüne rechts, ein allfälliges gelbes Licht in der Mitte ...

4. Normen für Lichtsignalanlagen

Fast alle heutigen Lichtsignalanlagen basieren auf der SNV-Norm 640 825. Sie wurde im Jahr 1976 von der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS) herausgegeben und im Sinne von Art. 69^{ter} und 74 SSV (1963) vom Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartement genehmigt.

Die Norm legte die Form der Lichtsignale fest, wobei unter Lichtsignal eine Anlage verstanden wurde, die mit Ampeln die zeitliche Trennung von Verkehrsströmen regelt. Nachfolgend sind einige Punkte aus dieser Norm dargestellt:

- | | |
|---------------|---|
| Grundsätze: | Lichtsignale sind den Verkehrsströmen eindeutig zuzuordnen. Bei Ausfall eines Lichtsignals müssen die Vortrittsverhältnisse klar geregelt sein. |
| Sichtbarkeit: | Lichtsignale müssen innerorts wenn möglich aus 50 m, ausserorts aus wenigsten 80 m Entfernung sichtbar sein. Sie sollen so angeordnet sein, dass sie auch durch Fahrzeuge und Fussgänger nicht verdeckt werden. Blendwirkung und Phantomeffekte sind zu vermeiden. Die Rückseite von Lichtsignalanlagen muss in unauffälligem Grau gehalten sein. |
| Elemente: | Definiert werden Form, Ausgestaltung und Grösse der Pfeile und Fussgängersymbole sowie die Frontplatten. |
| Arten: | Geregelt sind: Vertikale Lichtsignale, horizontale Lichtsignale, Wiederholungssignale, Lichtsignale für Fussgänger, mobile Lichtsignale, Lichtsignale in Tunnels, Lichtsignale ohne Grünlicht, Lichtsignale für Fahrstreifenzuteilung, Lichtsignale für den öffentlichen Verkehr, Anzeige der empfohlenen Geschwindigkeit sowie Warnblinklichter. |

Im Mai 1992 wurde die (neue) Kopfnorm SN 640 832 von der VSS herausgegeben. Diese Norm gilt für alle Lichtsignalanlagen im Strassenverkehr und legt einzelne Aspekte für Entwurf, Projektierung und Betrieb von Lichtsignalanlagen fest. Dabei steht die Verkehrstechnik im Vordergrund. Die Norm dient der Vereinheitlichung von verkehrlichen, baulichen und betrieblichen Aspekten von Lichtsignalanlagen.

In der Norm ist festgelegt, welche zusätzlichen Normen zu Lichtsignalanlagen vorgesehen sind. Nachfolgende Tabelle 3 gibt einen Überblick zu Name und Projektstand der einzelnen Normen.

Tabelle 3:
Projektstand (Anfang 1998) der Normen zu Lichtsignalanlagen

Name	Nr.	Projektstand
Kopfnorm	SN 640 832	liegt vor seit Mai 1992
Nutzen	SN 640 833	liegt vor seit Mai 1996
Phasentrennung	SN 640 834	liegt vor seit Mai 1996
Abschätzung der Leistungsfähigkeit	SN 640 835	liegt vor seit Juli 1997
Gestaltung der Signalgeber	SN 640 836	liegt vor seit März 1994
Übergangs- und Mindestzeiten	SN 640 837	liegt vor seit Mai 1992
Zwischenzeiten	SN 640 838	liegt vor seit Mai 1992
Abnahme, Betrieb, Wartung	SN 640 842	in Bearbeitung
Privilegierung des öffentlichen Verkehrs	SN 640 839	geplant
Zusatzgeräte für Sehbehinderte	SN 640 840	geplant
Technik der Rotlichtüberwachung	SN 640 841	geplant
Qualität des Verkehrsablaufs	SN 640 843	geplant
Koordination des Verkehrs	SN 640 844	geplant
Revision der Kopfnorm	SN 640 832a	geplant

Insgesamt sind also 13 Normen (inkl. Kopfnorm) zu Lichtsignalanlagen vorgesehen. Im folgenden wird der Inhalt der vorliegenden Normen zusammenfassend dargestellt.

- ***Nutzen einer LSA (SN 640 833)***

Die Norm stellt ein einfaches Verfahren vor, das den Nutzen einer LSA aus der Sicht von Verkehrssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Lufthygiene abschätzt. Die Beurteilungskriterien sind Verkehrssicherheit, Verkehrsablauf und Verkehrslenkung.

- ***Phasentrennung (SN 640 834)***

Bei der Frage nach Sicherung von Abbiegern an Lichtsignalanlagen kann ein Konflikt zwischen Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit entstehen. Die Norm behandelt ein Verfahren zum Beurteilen dieses Konflikts und berücksichtigt die Parameter Verkehrsmengen, Geschwindigkeiten, Fahrstreifenwechsel und Unfälle. Das Verfahren schätzt daraus die vermeidbaren Unfälle durch Phasentrennung sowie Leistungsfähigkeit, Stau, Wartezeiten und Abgasemissionen nach der Phasentrennung.

- ***Abschätzung der Leistungsfähigkeit (SN 640 835)***

Die Norm stellt ein Verfahren zum Ermitteln der Leistungsfähigkeit von isolierten Lichtsignalanlagen vor. Sie macht Aussagen über Leistungsfähigkeit, Stau, Wartezeit und Abgasemissionen unter Berücksichtigung der Parameter Fahrstreifenzahl, Fahrstreifenbreite, Fahrstreifenlänge, Längsneigung, Abbiegeradien, Bus- und Tramhaltestellen in Knotenzufahrten bzw. -wegfahrten. Bei Verkehrsströmen ohne Phasentrennung werden zusätzlich die Frequenzen der vortrittsberechtigten Fahrzeuge und die Fahrstreifenbenutzung bei mehrspurigen Knotenzufahrten als Parameter berücksichtigt.

- ***Gestaltung der Signalgeber (SN 640 836)***

Die Norm für die Ausführung der Signalgeber umfasst:

- Gestaltung für verschiedene Fahrzeugkategorien und Fussgänger
- Lichter (Erkennbarkeit, Grösse, Phantomlicht, Farbe)
- Blenden (Abschirm-, Kontrast- und Sichtblenden)
- Anbringung (Masten, Ausleger, Signalbrücken)
- Anforderung an Anzahl und Lage
- Kombination mit anderen Signalen

Der Inhalt dieser Norm wurde am 5.1.96 als Weisung des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) erlassen.

- ***Übergangs- und Mindestzeiten (SN 640 837)***

Die Norm legt die Gelbzeiten in Abhängigkeit von Verkehrsart, Geschwindigkeit und der Länge der Fussgängerstreifen sowie die Rot-/Gelbzeiten fest. Im weiteren werden für die verschiedenen Fahrzeugkategorien und für Fussgänger die Mindestzeiten - zur Gewährung eines sicheren Verkehrsablaufes - festgelegt.

Der Inhalt dieser Norm wurde am 5.1.96 als Weisung des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) erlassen.

- ***Zwischenzeiten (SN 640 838)***

Die Norm legt ein einfaches Verfahren zum Ermitteln der Zwischenzeiten an Lichtsignalanlagen fest, um einen sicheren Verkehrsablauf zu erreichen. Das Verfahren beruht auf vier Parametern pro Verkehrsart - auf dem Einfahr- und Räumintervall sowie der Einfahr- und Räumgeschwindigkeit. Diese Parameter wurden aus Messungen des Anfahr- und Räumverhaltens so bestimmt, dass die Wahrscheinlichkeit für Konflikte beim Phasenwechsel unter einer definierten Schwelle liegt. Im Signallageplan sind die Anfahr- und Räumwege der nicht verträglichen Verkehrsströme zu messen, und zusammen mit den vier Parametern werden daraus die Zwischenzeiten mit einfachen Formen ermittelt.

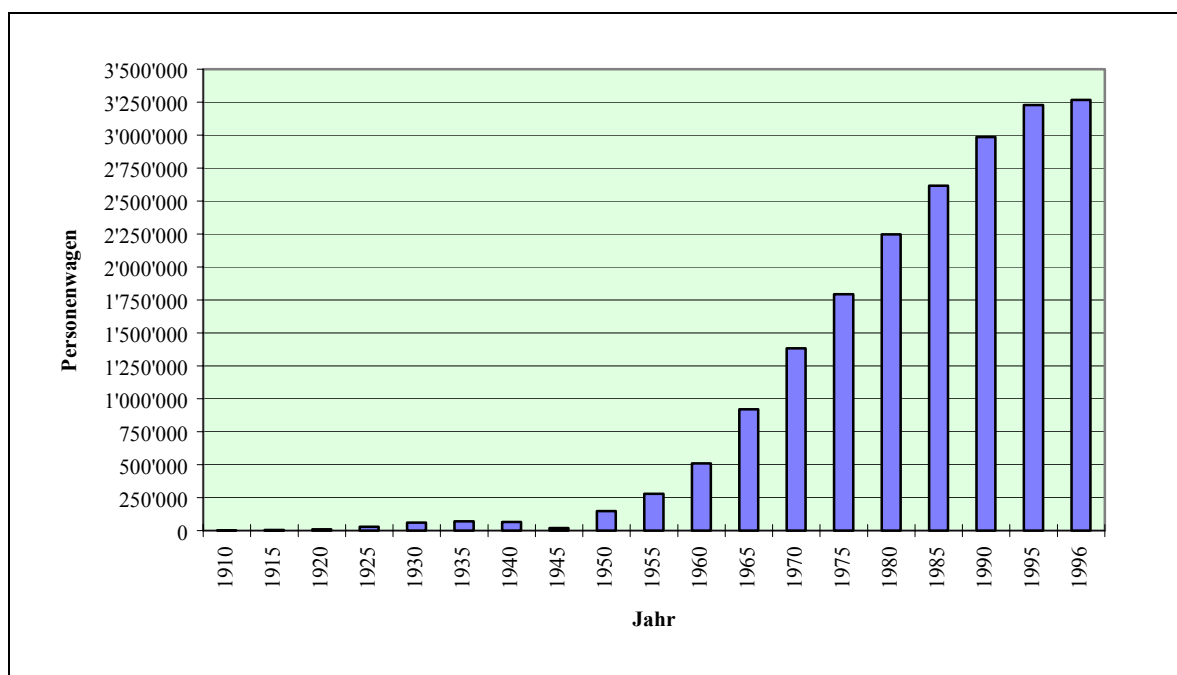
Der Inhalt dieser Norm wurde am 5.1.96 als Weisung des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) erlassen.

5. Entwicklung des Verkehrsaufkommens und des Unfallgeschehens

Der Motorfahrzeugbestand hat seit der Jahrhundertwende und insbesondere nach dem Zweiten Weltkrieg kontinuierlich zugenommen. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung des Personenwagenbestandes in die Schweiz seit 1910.

Abbildung 2:

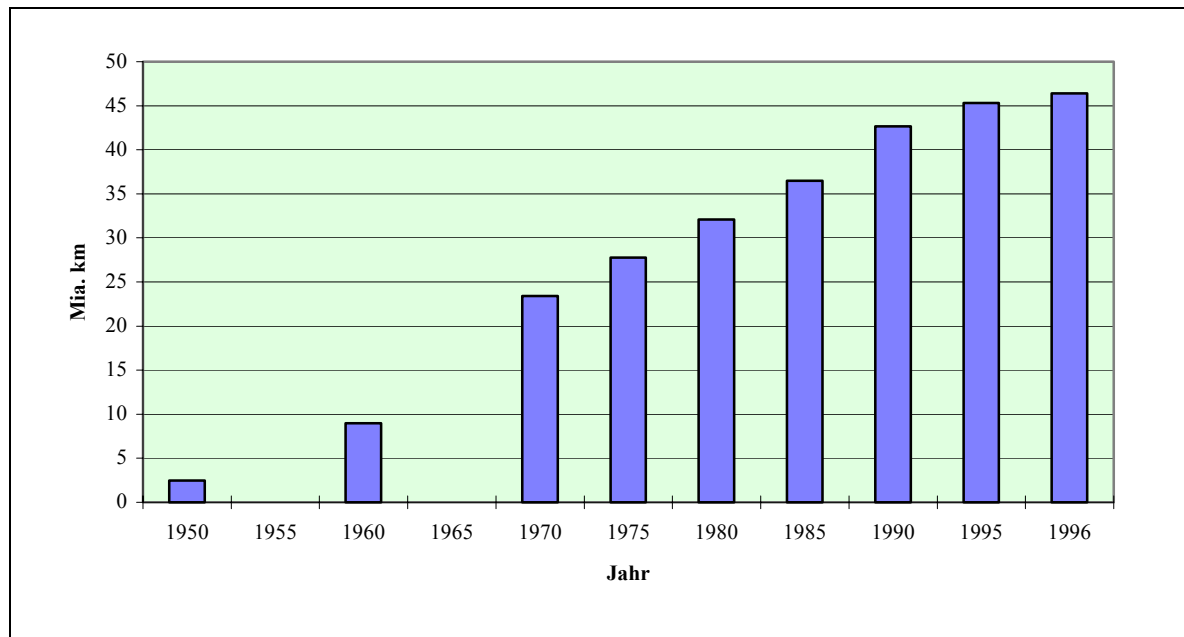
Entwicklung des Personenwagenbestandes in der Schweiz seit 1910 (Quelle: BFS)



Gleichzeitig nahmen auch die Fahrleistungen auf den Schweizer Strassen zu (Abbildung 3). Diese Entwicklung lässt sich für die Kategorie "Personenwagen" am weitesten zurückverfolgen, dürfte sich aber bei den übrigen Motorfahrzeugkategorien (ausser Mofas) analog verhalten haben.

Abbildung 3:

Entwicklung der jährlichen Fahrzeugleistungen von Personenwagen in der Schweiz seit 1950 (Quelle: BFS)

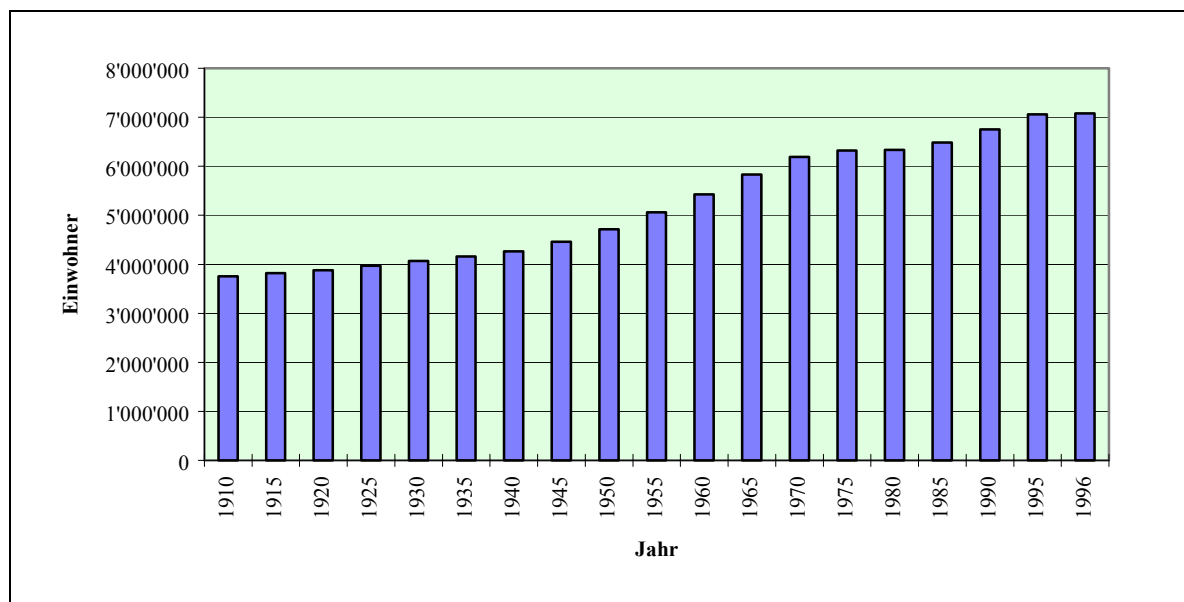


Anmerkung: Die Zahlen für 1955/1965 liegen nicht vor.

Eine ebenfalls starke Zunahme kann bei der Anzahl der in der Schweiz lebenden Einwohner festgestellt werden. In (Abbildung 4) ist die Entwicklung der Bevölkerung seit 1910 dargestellt.

Abbildung 4:

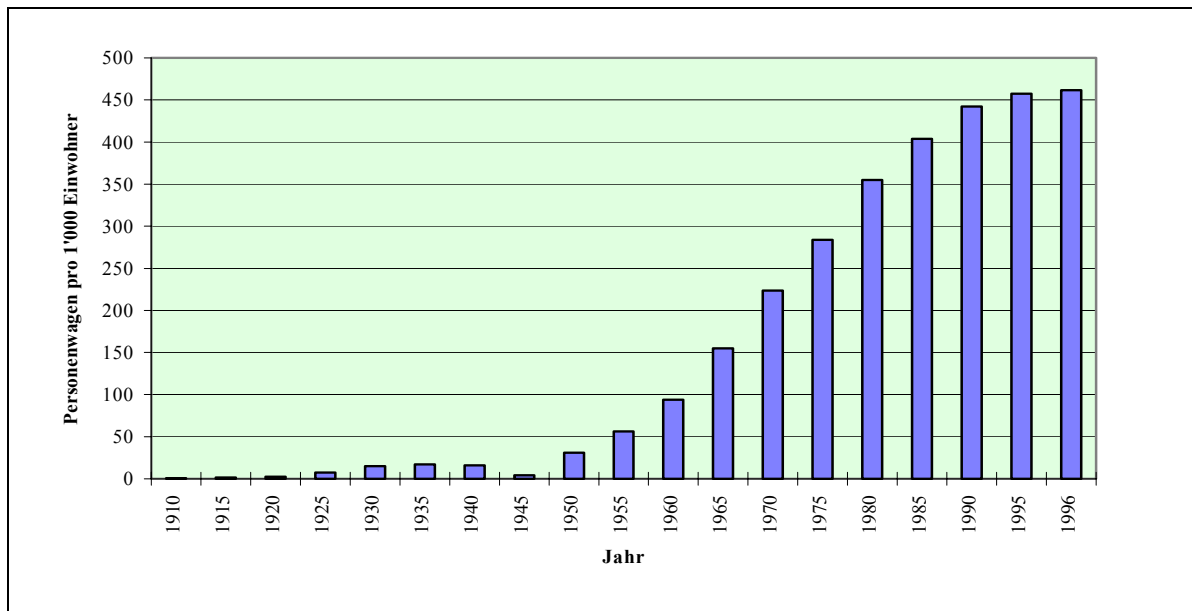
Entwicklung der Einwohnerzahl in der Schweiz seit 1910 (Quelle: BFS)



Trotz der starken Bevölkerungszunahme nahm die Dichte der Motorfahrzeuge - aufgrund der überproportionalen Zunahme des Fahrzeugbestandes - massiv zu. Dies ist aus der Entwicklung der Anzahl Personenwagen pro Einwohner deutlich erkennbar (Abbildung 5).

Abbildung 5:

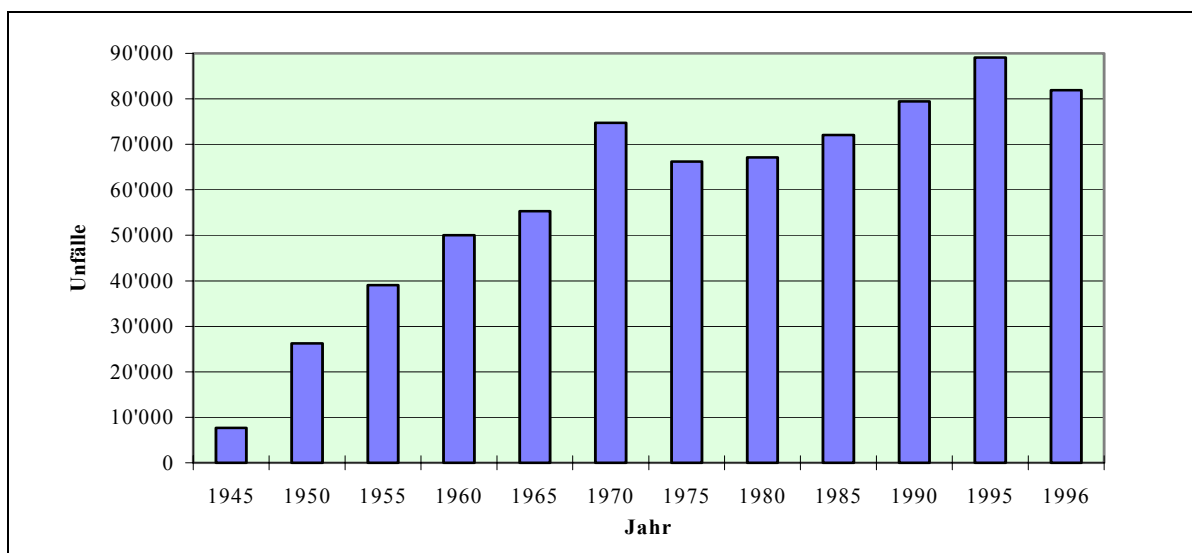
Entwicklung der Anzahl Personenwagen pro 1'000 Einwohner in der Schweiz seit 1910 (Quelle: BFS)



In Abbildung 6 ist die Entwicklung der Unfälle seit 1945 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Anzahl Ereignisse zwischen dem Zweiten Weltkrieg und den 70-er-Jahren kontinuierlich zugenommen hat. Zwischen 1971 und 1976 (Ölkrise) war ein Rückgang feststellbar und seither stieg die Anzahl Unfälle wieder an. Im Jahr 1995 wurde mit knapp 90'000 Ereignissen die bisher höchste Zahl erreicht.

Abbildung 6:

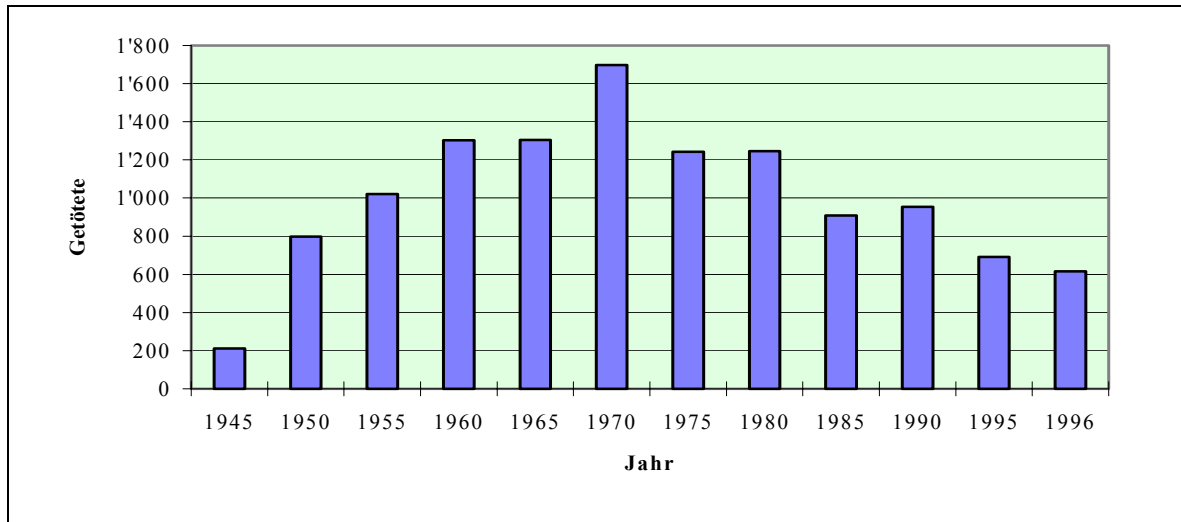
Entwicklung der Strassenverkehrsunfälle seit 1945 (Quelle: BFS)



Trotz der Zunahme der Unfallereignisse konnte die Strassenverkehrssicherheit sukzessive erhöht werden. Die Zahl der Getöteten wurde seit 1971 von 1'773 auf 616 im Jahr 1996 reduziert (Abbildung 7). Eine ähnliche Entwicklung ist auch bei den Schwerverletzten feststellbar.

Abbildung 7:

Entwicklung der Getöteten im Strassenverkehr seit 1945 (Quelle: BFS)



Die Erhöhung der Sicherheit im Strassenverkehr ist auf verschiedene Massnahmen zurückzuführen:

- ständige Verbesserung der passiven Sicherheit (Gurt, Helm, Airbag)
- Verbesserung der Strassenanlagen (LSA, Verkehrsberuhigung, Kreisel)
- Reduktion des Geschwindigkeitsniveaus
- Vermehrte Polizeikontrollen und verschärfte Sanktionen
- Unfallverhütungskampagnen und umfassendere Sicherheitserziehung
- Verbesserte Ausbildung der Fahrzeuglenker

Die Massnahmen kamen in den letzten Jahren umso mehr zum Tragen, als aufgrund der schlechten wirtschaftlichen Lagen die Gesamtfahrleistungen fast stagnierten. Die Rezession selbst wirkt sich ebenfalls günstig auf das Unfallgeschehen aus (WILDE & SIMONET, 1996).

6. Unfallgeschehen 1996

In der Schweiz ereigneten sich im Jahr 1996 rund 82'000 Strassenverkehrsunfälle (Tabelle 4). Etwa 3 Prozent (2'406 Unfälle) betrafen die Vortrittsregelung "LSA". Bei diesen Unfällen wurden 1'065 Personen verletzt und 15 getötet, was einem Anteil von 4 Prozent bzw. 2 Prozent an allen in der Schweiz Verunfallten entspricht.

Tabelle 4:

Unfälle und Verunfallte nach Vortrittsregelung, 1996

Vortrittsregelung	Unfälle			Verunfallte				
	mit ver- unfallten Personen	mit Sach- schaden	Total	Verletzte			Getötete	Total
				Leicht	Schwer	Total		
keine/freie Strecke	14'258	48'559	62'817	13'730	4'192	17'922	499	18'421
Fahrstreifensignalisation i.B.	63	143	206	66	15	81	1	82
LSA/Wechselblinklicht i.B.	849	1'557	2'406	834	231	1'065	15	1'080
Bahn-/Tramvortritt	138	293	431	97	48	145	16	161
Rechtsvortritt, Missachten	635	1'497	2'132	609	129	738	3	741
kein Vortritt, signalisiert	2'017	3'374	5'391	1'932	475	2'407	29	2'436
Stopstrasse	743	1'287	2'030	746	173	919	10	929
Fussgängerstreifen	1'109	321	1'430	752	428	1'180	25	1'205
Andere Vortrittsregelung	1'766	3'305	5'071	1'596	486	2'082	18	2'100
Total	21'578	60'336	81'914	20'362	6'177	26'539	616	27'155

Rund 85 Prozent der Unfälle an Lichtsignalanlagen ereigneten sich im Innerortsbereich (Tabelle 5). Bei 2'035 Unfällen konnte der LSA eindeutig der Betriebszustand "mit Anmeldung" (Dunkelanlage) bzw. "rot-gelb-grün" zugeordnet werden. (Im folgenden, insbesondere in Kapitel III 1., wird der Datensatz mit diesen 2'035 Unfällen verwendet. Es werden also Unfälle analysiert, die sich innerorts an Lichtsignalanlagen mit eindeutigem Betriebszustand ereignet haben). Der Anteil Schwerverletzter und Getöteter im Innerortsbereich ist höher als ausserorts, was vor allem durch die höhere Anzahl Fussgängerunfälle erklärt werden kann.

Tabelle 5:

Unfälle und Verunfälle an Lichtsignalanlagen nach Betriebszustand, 1996

Ortslage/Betriebszustand	Unfälle			Verunfällete				
	mit ver- unfallten Personen	mit Sach- schaden	Total	Verletzte			Getötete	Total
				Leicht	Schwer	Total		
Innerorts								
Betrieb mit Anmeldung ¹⁾	25	30	55	25	6	31	0	31
in Betrieb: rot-gelb-grün	700	1'280	1'980	660	200	860	11	871
Anderer Betriebszustand	11	12	23	11	3	14	2	16
Total absolut	736	1'322	2'058	696	209	905	13	918
Total Prozent	87	85	86	83	90	85	87	85
Ausserorts								
Betrieb mit Anmeldung ¹⁾	6	6	12	7	2	9	1	10
in Betrieb: rot-gelb-grün	106	227	333	131	19	150	1	151
Anderer Betriebszustand	1	2	3	0	1	1	0	1
Total absolut	113	235	348	138	22	160	2	162
Total Prozent	13	15	14	17	10	15	13	15
Ganze Schweiz								
Betrieb mit Anmeldung ¹⁾	31	36	67	32	8	40	1	41
in Betrieb: rot-gelb-grün	806	1'507	2'313	791	219	1'010	12	1'022
Anderer Betriebszustand	12	14	26	11	4	15	2	17
Total absolut	849	1'557	2'406	834	231	1'065	15	1'080
Total Prozent	100	100	100	100	100	100	100	100

¹⁾ Betrieb mit Anmeldung: Dunkelanlage

Mehr als die Hälfte der innerorts Verunfallten an Lichtsignalanlagen waren Personenwageninsassen (484 Verletzte oder Getötete), aber auch der Anteil Fussgänger (170 Verunfallte) und Motorradlenker (113 Verunfallte) ist mit 19 Prozent bzw. 13 Prozent relativ hoch. (Tabelle 6).

Bezieht man die Anzahl Verunfallter auf die Anzahl Personen je Altersgruppe, so stellt man analog zum Gesamtunfallgeschehen der Schweiz folgende Schwerpunkte fest (Tabelle 7):

- Als Personenwageninsassen, vor allem als Lenker, sind Jugendliche überdurchschnittlich gefährdet. Der Anteil jüngerer Erwachsener ist ebenfalls relativ hoch.

- Der Anteil jugendlicher Lenker ist bei den Lenkern von Motorrädern und Mofas überdurchschnittlich hoch, wobei bei den Mofas vor allem die 15- bis 17-Jährigen überwiegen.
- Der Bevölkerungsanteil der Senioren (über 64-jährig) beträgt 15 Prozent. Der Anteil verunfallter Senioren als Fussgänger an Lichtsignalanlagen macht aber 30 Prozent aus. Mit 49 Verunfallten pro 1 Mio. Einwohner sind sie als Fussgänger nebst den Kindern und Jugendlichen am stärksten gefährdet.

Tabelle 6:

Verunfallte an Lichtsignalanlagen innerorts nach Alter und Verkehrsteilnahme, 1996

Verkehrsteilnahme	Alter					
	Kinder 0 - 14 Jahre	Jugendliche 15 - 24 Jahre	Jüngere Erw. 25 - 44 Jahre	Ältere Erw. 45 - 64 Jahre	Senioren über 64 Jahre	Total
Personenwagen (PW)	24	103	214	102	41	484
Motorrad (MR)	0	33	63	16	1	113
Kleinmotorrad (KLMR)	0	1	4	2	1	8
Motorfahrrad (MOFA)	1	18	6	8	5	38
Fahrrad (FR)	7	10	30	15	5	67
Anderes Fahrzeug (AND)	1	0	6	11	4	22
Fussgänger (FG)	37	26	27	29	51	170
Total	70	191	350	183	108	902

Tabelle 7:

Verunfallte pro 1 Mio. Einwohner an Lichtsignalanlagen innerorts nach Alter und Verkehrsteilnahme, 1996

Verkehrsteilnahme	Alter					
	Kinder 0 - 14 Jahre	Jugendliche 15 - 24 Jahre	Jüngere Erw. 25 - 44 Jahre	Ältere Erw. 45 - 64 Jahre	Senioren über 64 Jahre	Total
Personenwagen (PW)	19	122	96	60	39	69
Motorrad (MR)	0	39	28	9	1	16
Kleinmotorrad (KLMR)	0	1	2	1	1	1
Motorfahrrad (MOFA)	1	21	3	5	5	5
Fahrrad (FR)	6	12	13	9	5	9
Anderes Fahrzeug (AND)	1	0	3	7	4	3
Fussgänger (FG)	30	31	12	17	49	24
Total	56	226	156	108	103	128

Bei den 2'035 Innerorts-Unfällen an Lichtsignalanlagen wurden insgesamt 3'205 Mängel (gemäss Unfallrapport) festgestellt (Tabelle 8). Von der Polizei wurden also je Unfall rund 1.6 massgebliche Einflüsse eruiert. Mit 1'287 Nennungen steht der Mangel/Einfluss "Missachten der LSA" an erster Stelle, d.h., bei zwei Drittel der Unfälle waren Rotlichtmissachtungen eine wesentliche Ursache. Weitere wichtige Mängel/Einflüsse sind "Unaufmerksamkeit", "Zustand der Person", "Fehlverhalten von Fussgängern" sowie "Geschwindigkeit".

Tabelle 8:

Mängel und Einflüsse bei Unfällen an Lichtsignalanlagen innerorts nach Verkehrsteilnahme, 1996

Mängel/Einflüsse	Verkehrsteilnahme							
	PW	MR	KLMR	MOFA	FR	AND	FG	Total
Direkter Einfluss der Person	1'970	59	10	52	100	186	40	2'417
Zustand der Person	150	3	0	0	1	4	7	165
Missachten der Signalisation	79	2	0	4	5	11	1	102
Missachten der Lichtsignale	1'041	28	6	34	69	83	26	1'287
Unaufmerksamkeit	658	25	4	12	19	80	6	804
Anderer direkter Einfluss der Person	42	1	0	2	6	8	0	59
Äusserer Einfluss	16	0	0	0	1	2	0	19
Mängel am Fahrzeug	10	1	0	6	0	2	0	19
Verkehrsablauf/Verkehrsregeln	406	29	0	7	20	72	151	685
Geschwindigkeit	112	13	0	0	1	13	0	139
Einspuren	53	3	0	1	1	24	0	82
Fussgänger	0	0	0	0	0	0	151	151
Andere Mängel Verkehrsablauf	241	13	0	6	18	35	0	313
Andere/Unbekannt	46	6	0	0	1	10	2	65
Total	2'448	95	10	65	122	272	193	3'205

Anmerkung: PW: Personenwagen, MR: Motorrad, KLMR: Kleinmotorrad, MOFA: Motorfahrrad, FR: Fahrrad, AND: anderes Fahrzeug, FG: Fussgänger

III. EMPIRISCHER TEIL

1. Merkmalspezifische Analyse

1.1 Grundlagen

Als Basis für die merkmalspezifischen Auswertungen dienten die polizeilich registrierten Unfälle der Schweiz. Diese von der Polizei protokollierten Unfälle sind beim Bundesamt für Statistik (BFS) elektronisch erfasst. Der BFS-Datensatz für Verkehrsunfälle ist in drei zueinander hierarchische Teildatensätze gegliedert: Unfälle, beteiligte Objekte (inkl. Mängel und Einflüsse) sowie beteiligte Personen.

1.2 Variablen / Merkmale

Pro Teildatensatz werden von der Polizei zwingend folgende Variablen/Merkmale (Pflichtfelder) erfasst:

– *Unfälle:*

Beteiligte Personen, Gemeinde, Anzahl Getötete, Kanton, künstliche Beleuchtung, Lichtverhältnisse, Anzahl Objekte, Ortslage, Anzahl Personen, Sachschaden, Strassenanlage, Strassenart, Strassenzustand, Unfalldatum, Unfallzeit, Unfallstelle, Unfalltyp, Höchstgeschwindigkeit, Anzahl Verletzte, Vortrittsregelung, Witterung, Wochentag

– *Objekte:*

Herkunftsort des Fahrzeugs, Mängel und Einflüsse, Angaben zum Führerausweis, Angaben zum Lenker, Objektart, beteiligte Personen pro Objekt

– *Personen:*

Alter, Geburtsdatum, Geschlecht, Personenart, Rückhaltesystem/Helm, Todesdatum, Unfallfolgen

Nebst diesen zwingend zu erfassenden Variablen/Merkmalen besteht für den Polizisten die Möglichkeit, weitere (fakultative) Kenngrössen zu protokollieren (z.B. Betriebszustand der LSA).

Um die Daten handhabbarer zu gestalten, werden ausschliesslich die Daten auf der Ebene der Unfälle verwendet. Zudem wird bei Daten, die stark voneinander abhängig sind (z.B. "Unfallzeit" und "Lichtverhältnisse", "Witterung" und "Strassenzustand"), nur ein Merkmal dargestellt. Die verwendeten 13 Variablen/Merkmale und die dazugehörigen Antwortkategorien zeigt Tabelle 9.

Tabelle 9:

Verwendete Variablen/Merkmale und Antwortkategorien der merkmalspezifischen Analyse

Nr.	Variable/Merkmal	Antwortkategorien
1	Strassenanlage	eben, Gefälle, Steigung, andere
2	Strassenart	Hauptstrasse, Nebenstrasse, andere
3	Lichtverhältnisse	Tag, Dämmerung/Nacht
4	Betriebszustand LSA	mit Anmeldung, rot-gelb-grün
5	Unfallzeit	morgendlicher Berufsverkehr (6 - 8 Uhr), tagsüber (8 - 16 Uhr), abendlicher Berufsverkehr (16 - 18 Uhr), nachts (18 - 6 Uhr)
6	Unfallstelle	Gerade, Einmündung, Kreuzung, andere
7	Wochentag	Werktag, Wochenende
8	Anzahl Getötete	0, 1 (Unfälle mit mehr als 1 Getöteten kamen nicht vor)
9	Unfalltyp	Fussgängerunfall, Schleuder-/Selbstunfall, Auffahrunfall, Ab- biegeunfall, Querungsunfall, andere
10	Signalisierte Höchstgeschwindigkeit	<50 km/h, 50 km/h, 60 km/h, >60 km/h
11	Anzahl Verletzte	0, 1, >1
12	Witterung	keine Niederschläge, Niederschläge
13	Strassenzustand	trocken, nicht trocken

1.3 Auswertungen

Die folgenden Ergebnisse resultieren aus der Analyse aller Unfälle an Lichtsignalanlagen innerorts mit Betriebszustand "mit Anmeldung" und "rot-gelb-grün" im Jahr 1996. Insgesamt sind dies 2'035 Unfälle.

Da es sich bei den zu analysierenden Variablen/Merkmalen um nominalskalierte Daten handelt, werden Kreuztabellen gebildet und mittels Chi-Quadrat-Test auf Signifikanz geprüft. Um all zu komplexe und schwer interpretierbare Resultate zu vermeiden, werden lediglich zweidimensionale Kreuztabellen analysiert. Tabelle 10 zeigt die p-Werte ($p \leq 0.05$) der einzelnen kreuztabellarischen Auswertungen.

Tabelle 10:

p-Werte der signifikanten kreuztabellarischen Auswertungen aller Variablen/Merkmale untereinander

Variable/Merkmal	Variable/Merkmal													
	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Strassenanlage	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.022	-
Strassenart	2			-	-	-	0.000	-	-	0.001	0.000	-	-	-
Lichtverhältnisse	3				0.028	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.008	0.005	0.000	0.000
Betriebszustand LSA	4					-	0.000	-	-	-	-	-	-	-
Unfallzeit	5						0.000	0.000	-	0.000	-	0.012	-	0.001
Unfallstelle	6							0.013	-	0.000	0.000	0.000	0.006	0.039
Wochentag	7								-	0.000	-	0.002	-	-
Anzahl Getötete	8									-	-	-	-	-
Unfalltyp	9										0.000	0.000	-	0.019
Geschwindigkeit ¹⁾	10											0.001	-	-
Anzahl Verletzte	11												-	-
Witterung	12													0.000
Strassenzustand	13													

¹⁾ Signalisierte Höchstgeschwindigkeit

1.4 Ergebnisse

1.4.1 Häufigkeiten je Variable/Merkmal

Bevor eine Auswahl der aussagekräftigsten Ergebnisse mit Signifikanz dargestellt wird, sind in Tabelle 11 die Unfallhäufigkeiten je Variable/Merkmal aufgeführt. Es zeigt sich, dass sich die Innerorts-Unfälle an Lichtsignalanlagen schwerpunktmässig in der Ebene (81 %), auf Hauptstrassen (70 %), bei Tageslicht (68 %), beim Betriebszustand "rot-gelb-grün" (97 %), zwischen 8 und 16 Uhr (46 %), an Kreuzungen (63 %), an Werktagen (74 %), ohne Getötete (99 %), beim Abbiegen (33 %), bei signalisierter Höchstgeschwindigkeit 50 km/h (80 %), ohne Verletzte (65 %), ohne Niederschläge (82 %) und bei trockener Fahrbahn (71 %) ereignen.

Tabelle 11:
Häufigkeit der Unfälle je Variable/Merkmal

Variable/Merkmal	Frequenz	Prozentanteil
Alle Unfälle an Lichtsignalanlagen innerorts	2'035	100
Strassenanlage		
eben	1'651	81
Gefälle	221	11
Steigung	158	8
andere	5	0
Strassenart		
Hauptstrasse	1'432	70
Nebenstrasse	597	30
andere	6	0
Lichtverhältnisse		
Tag	1'388	68
Dämmerung/Nacht	647	32
Betriebszustand Lichtsignalanlage		
mit Anmeldung (Dunkelanlage)	55	3
rot-gelb-grün	1'980	97
Unfallzeit		
morgendlicher Berufsverkehr	129	6
tagsüber	933	46
abendlicher Berufsverkehr	305	15
nachts	668	33
Unfallstelle		
Gerade	316	16
Einmündung	352	17
Kreuzung	1'285	63
andere	82	4
Wochentag		
Werktag	1'198	74
Wochenende	537	26
Anzahl Getötete		
0	2'024	99
1	11	1
Unfalltyp		
Fussgängerunfall	180	8
Schleuder-/Selbstunfall	97	5
Auffahrunfall	430	21
Abbiegeunfall	669	33
Querungsunfall	520	26
andere	139	7
Signalisierte Höchstgeschwindigkeit		
< 50 km/h	7	0
50 km/h	1'635	81
60 km/h	390	19
> 60 km/h	3	0
Anzahl Verletzte		
0	1'320	65
1	583	29
> 1	132	6
Witterung		
keine Niederschläge	1'667	82
Niederschläge	368	18
Strassenzustand		
trocken	1'434	71
nicht trocken	601	29

1.4.2 Strassenart und Unfallstelle

Die Gegenüberstellung der Variablen/Merkmale "Strassenart" und "Unfallstelle" zeigt auf, dass sich auf Hauptstrassen überdurchschnittlich viele Unfälle an Einmündungen ereignen (Tabelle 12). Auf Nebenstrassen dagegen ist der Anteil der Unfälle an Kreuzungen höher als der Zufall erwarten liesse.

Tabelle 12:
Unfälle nach Strassenart und Unfallstelle (Quelle: BFS, 1996)

Strassenart		Unfallstelle				Zeilentotal
		Gerade	Einmündung	Kreuzung	Andere	
Hauptstrasse	Beobachtete Häufigkeit	219	263	892	58	1'432
	Erwartete Häufigkeit	222.4	247.7	904.2	57.7	
	Zeilenprozent	15.3%	18.4%	62.3%	4.1%	
	Spaltenprozent	69.3%	74.7%	69.4%	70.7%	70.4%
	Prozent von Total	10.8%	12.9%	43.8%	2.9%	
Nebenstrasse	Beobachtete Häufigkeit	96	88	393	20	597
	Erwartete Häufigkeit	92.7	103.3	377.0	24.1	
	Zeilenprozent	16.1%	14.7%	65.8%	3.4%	
	Spaltenprozent	30.4%	25.0%	30.6%	24.4%	29.3%
	Prozent von Total	4.7%	4.3%	19.3%	1.0%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	1	1	0	4	6
	Erwartete Häufigkeit	0.9	1.0	3.8	0.2	
	Zeilenprozent	16.7%	16.7%	0.0%	66.7%	
	Spaltenprozent	0.3%	0.3%	0.0%	4.9%	0.3%
	Prozent von Total	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	316	352	1'285	82	2'035
	Zeilenprozent	15.5%	17.3%	63.1%	4.0%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 67.1, df = 6, p = 0.000

1.4.3 Unfalltyp und Strassenart

Die Kreuztabelle der Variablen/Merkmale "Unfalltyp" und "Strassenart" zeigt einen überzufällig grossen Anteil der Fussgängerunfälle auf Nebenstrassen (Tabelle 13). Diese Kombination tritt rund 30 Prozent häufiger auf als per Zufall zu erwarten wäre. Hingegen ist der Anteil der Fussgängerunfälle auf Hauptstrassen unterdurchschnittlich gross. Auf Hauptstrassen ereignen sich überdurchschnittlich viele Auffahrnfälle, auf Nebenstrassen ist ein überzufällig grosser Anteil an Querungsunfällen zu verzeichnen.

Tabelle 13:
Unfälle nach Unfalltyp und Strassenart (Quelle: BFS, 1996)

Unfalltyp		Strassenart			Zeilentotal
		Hauptstrasse	Nebenstrasse	Andere	
Fussgänger-unfall	Beobachtete Häufigkeit	112	68	0	180
	Erwartete Häufigkeit	126.7	52.8	0.5	
	Zeilenprozent	62.2%	37.8%	0.0%	
	Spaltenprozent	7.8%	11.4%	0.0%	8.8%
	Prozent von Total	5.5%	3.3%	0.0%	
Schleuder-/Selbstunfall	Beobachtete Häufigkeit	69	27	1	97
	Erwartete Häufigkeit	68.3	28.5	0.3	
	Zeilenprozent	71.1%	27.8%	1.0%	
	Spaltenprozent	4.8%	4.5%	16.7%	4.8%
	Prozent von Total	3.4%	1.3%	0.0%	
Auffahr-unfall	Beobachtete Häufigkeit	333	94	3	430
	Erwartete Häufigkeit	302.6	126.1	1.3	
	Zeilenprozent	77.4%	21.9%	0.7%	
	Spaltenprozent	23.3%	15.7%	50.0%	21.1%
	Prozent von Total	16.4%	4.6%	0.1%	
Abbiege-unfall	Beobachtete Häufigkeit	478	190	1	669
	Erwartete Häufigkeit	470.8	196.3	2.0	
	Zeilenprozent	71.4%	28.4%	0.1%	
	Spaltenprozent	33.4%	31.8%	16.7%	32.9%
	Prozent von Total	23.5%	9.3%	0.0%	
Querungs-unfall	Beobachtete Häufigkeit	348	172	0	520
	Erwartete Häufigkeit	365.9	152.6	1.5	
	Zeilenprozent	66.9%	33.1%	0.0%	
	Spaltenprozent	24.3%	28.8%	0.0%	25.6%
	Prozent von Total	17.1%	8.5%	0.0%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	92	46	1	139
	Erwartete Häufigkeit	97.8	40.8	0.4	
	Zeilenprozent	66.2%	33.1%	0.7%	
	Spaltenprozent	6.4%	7.7%	16.7%	6.8%
	Prozent von Total	4.5%	2.3%	0.0%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	1'432	597	6	2'035
	Zeilenprozent	70.4%	29.3%	0.3%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 29.6, df = 10, p = 0.001

1.4.4 Lichtverhältnisse und Unfallstelle

Die Kombination der Variablen/Merkmale "Lichtverhältnisse" und "Unfallstelle" weist einen überdurchschnittlich grossen Anteil der Unfälle tagsüber auf Geraden und an Einmündungen (Tabelle 14) aus. Zudem ereignen sich in der Dämmerung/Nacht 12 Prozent mehr Unfälle an Kreuzungen als erwartet.

Tabelle 14:

Unfälle nach Lichtverhältnissen und Unfallstelle (Quelle: BFS, 1996)

Lichtverhältnisse		Unfallstelle				Zeilentotal
		Gerade	Einmündung	Kreuzung	Andere	
Tag	Beobachtete Häufigkeit	237	269	826	56	1'388
	Erwartete Häufigkeit	215.5	240.1	876.5	55.9	
	Zeilenprozent	17.1%	19.4%	59.5%	4.0%	
	Spaltenprozent	75.0%	76.4%	64.3%	68.3%	68.2%
	Prozent von Total	11.6%	13.2%	40.6%	2.8%	
Dämmerung/ Nacht	Beobachtete Häufigkeit	79	83	459	26	647
	Erwartete Häufigkeit	100.5	111.9	408.5	26.1	
	Zeilenprozent	12.2%	12.8%	70.9%	4.0%	
	Spaltenprozent	25.0%	23.6%	35.7%	31.7%	31.8%
	Prozent von Total	3.9%	4.1%	22.6%	1.3%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	316	352	1'285	82	2'035
	Zeilenprozent	15.5%	17.3%	63.1%	4.0%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 26.8, df = 3, p = 0.000

1.4.5 Lichtverhältnisse und Wochentag

Die Gegenüberstellung der Variablen/Merkmale "Lichtverhältnisse" und "Wochentag" zeigt, dass sich an Werktagen überdurchschnittlich viele Unfälle tagsüber ereignen, während an Wochenenden der Nachanteil grösser ist als per Zufall zu erwarten wäre (Tabelle 15).

Tabelle 15:
Unfälle nach Lichtverhältnissen und Wochentag (Quelle: BFS, 1996)

Lichtverhältnisse		Wochentag		Zeilentotal
		Werktag	Wochenende	
Tag	Beobachtete Häufigkeit	1'067	321	1'388
	Erwartete Häufigkeit	1'021.7	366.3	
	Zeilenprozent	76.9%	23.1%	
	Spaltenprozent	71.2%	59.8%	68.2%
	Prozent von Total	52.4%	15.8%	
Dämmerung/ Nacht	Beobachtete Häufigkeit	431	216	647
	Erwartete Häufigkeit	476.3	170.7	
	Zeilenprozent	66.6%	33.4%	
	Spaltenprozent	28.8%	40.2%	31.8%
	Prozent von Total	21.2%	10.6%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	1'498	537	2'035
	Zeilenprozent	73.6%	26.4%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 23.9, df = 1, p = 0.000

1.4.6 Unfalltyp und Lichtverhältnisse

Die Verknüpfung der Variablen/Merkmale "Unfalltyp" und "Lichtverhältnisse" ergibt einen überzufällig grossen Anteil von Fussgänger- und Auffahrunfällen tagsüber. Es ereignen sich 12 Prozent bzw. 15 Prozent mehr Unfälle als erwartet (Tabelle 16). In der Dämmerung/Nacht ist der Anteil der Schleuder-/Selbstunfälle bzw. Abbiegeunfälle überdurchschnittlich hoch.

Tabelle 16:

Unfälle nach Unfalltyp und Lichtverhältnissen (Quelle: BFS, 1996)

Unfalltyp		Lichtverhältnisse		Zeilentotal
		Tag	Dämmerung/Nacht	
Fussgänger-unfall	Beobachtete Häufigkeit	137	43	180
	Erwartete Häufigkeit	122.8	57.2	
	Zeilenprozent	76.1%	23.9%	
	Spaltenprozent	9.9%	6.6%	8.8%
	Prozent von Total	6.7%	2.1%	
Schleuder-/Selbstunfall	Beobachtete Häufigkeit	49	48	97
	Erwartete Häufigkeit	66.2	30.8	
	Zeilenprozent	50.5%	49.5%	
	Spaltenprozent	3.5%	7.4%	4.8%
	Prozent von Total	2.4%	2.4%	
Auffahr-unfall	Beobachtete Häufigkeit	336	94	430
	Erwartete Häufigkeit	293.3	136.7	
	Zeilenprozent	78.1%	21.9%	
	Spaltenprozent	24.2%	14.5%	21.1%
	Prozent von Total	16.5%	4.6%	
Abbiege-unfall	Beobachtete Häufigkeit	426	243	669
	Erwartete Häufigkeit	456.3	212.7	
	Zeilenprozent	63.7%	36.3%	
	Spaltenprozent	30.7%	37.6%	32.9%
	Prozent von Total	20.9%	11.9%	
Querungs-unfall	Beobachtete Häufigkeit	343	177	520
	Erwartete Häufigkeit	354.7	165.3	
	Zeilenprozent	66.0%	34.0%	
	Spaltenprozent	24.7%	27.4%	25.6%
	Prozent von Total	16.9%	8.7%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	97	42	139
	Erwartete Häufigkeit	94.8	44.2	
	Zeilenprozent	69.8%	30.2%	
	Spaltenprozent	7.0%	6.5%	6.8%
	Prozent von Total	4.8%	2.1%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	1'388	647	2'035
	Zeilenprozent	68.2%	31.8%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 46.4, df = 5, p = 0.000

1.4.7 Lichtverhältnisse und Geschwindigkeit

Rund zwei Drittel der Unfälle ereignen sich bei Tageslicht, wobei der Anteil bei signalisierter Höchstgeschwindigkeit 60 km/h überdurchschnittlich hoch ist (Tabelle 17). Der Anteil der Unfälle in der "Dämmerung/Nacht" ist dagegen bei signalisierter Höchstgeschwindigkeit 50 km/h rund 5 Prozent höher als der Erwartungswert.

Tabelle 17:

Unfälle nach Lichtverhältnissen und Geschwindigkeit (Quelle: BFS, 1996)

Lichtverhältnisse		Geschwindigkeit				Zeilentotal
		< 50 km/h	50 km/h	60 km/h	> 60 km/h	
Tag	Beobachtete Häufigkeit	3	1'091	292	2	1'388
	Erwartete Häufigkeit	4.8	1'115.2	266.0	2.0	
	Zeilenprozent	0.2%	78.6%	21.0%	0.1%	
	Spaltenprozent	42.9%	66.7%	74.9%	66.7%	68.2%
	Prozent von Total	0.1%	53.6%	14.3%	0.1%	
Dämmerung/ Nacht	Beobachtete Häufigkeit	4	544	98	1	647
	Erwartete Häufigkeit	2.2	519.8	124.0	1.0	
	Zeilenprozent	0.6%	84.1%	15.1%	0.2%	
	Spaltenprozent	57.1%	33.3%	25.1%	33.3%	31.8%
	Prozent von Total	0.2%	26.7%	4.8%	0.0%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	7	1'635	390	3	2'035
	Zeilenprozent	0.3%	80.3%	19.2%	0.1%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 11.7, df = 3, p = 0.008

1.4.8 Lichtverhältnisse und Strassenzustand

Die Kombination der Variablen/Merkmale "Lichtverhältnisse" und "Strassenzustand" zeigt eine Häufung der Unfälle in der Dämmerung/Nacht auf nicht trockener (feucht, nass, verschneit, eisig, pflotschig) Fahrbahn (Tabelle 18). Der Anteil dieser Unfälle ist rund 30 Prozent höher als per Zufall zu erwarten wäre.

Tabelle 18:

Unfälle nach Lichtverhältnissen und Strassenzustand (Quelle: BFS, 1996)

Lichtverhältnisse		Strassenzustand		Zeilentotal
		trocken	nicht trocken	
Tag	Beobachtete Häufigkeit	1'036	352	1'388
	Erwartete Häufigkeit	978.1	409.9	
	Zeilenprozent	74.6%	25.4%	
	Spaltenprozent	72.2%	58.6%	68.2%
	Prozent von Total	50.9%	17.3%	
Dämmerung/ Nacht	Beobachtete Häufigkeit	398	249	647
	Erwartete Häufigkeit	455.9	191.1	
	Zeilenprozent	61.5%	38.5%	
	Spaltenprozent	27.8%	41.4%	31.8%
	Prozent von Total	19.6%	12.2%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	1'434	601	2'035
	Zeilenprozent	70.5%	29.5%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 36.5, df = 1, p = 0.000

1.4.9 Unfalltyp und Unfallstelle

Die Gegenüberstellung der Variablen/Merkmale "Unfalltyp" und "Unfallstelle" ergibt, dass auf Geraden der Anteil der Fussgänger- und Auffahrunfälle um rund 275 Prozent bzw. 135 Prozent höher liegt als erwartet (Tabelle 19). Dagegen ist der Anteil von Fussgängerunfällen an Einmündungen und Kreuzungen sowie der Anteil von Auffahrunfällen an Kreuzungen tiefer als der erwartete Wert.

Tabelle 19:
Unfälle nach Unfalltyp und Unfallstelle (Quelle: BFS, 1996)

Unfalltyp		Unfallstelle				Zeilentotal
		Gerade	Einmündung	Kreuzung	Andere	
Fussgänger-unfall	Beobachtete Häufigkeit	105	12	57	6	180
	Erwartete Häufigkeit	28.0	31.1	113.7	7.3	
	Zeilenprozent	58.3%	6.7%	31.7%	3.3%	
	Spaltenprozent	33.2%	3.4%	4.4%	7.3%	8.8%
	Prozent von Total	5.2%	0.6%	2.8%	0.3%	
Schleuder-/Selbstunfall	Beobachtete Häufigkeit	13	29	40	15	97
	Erwartete Häufigkeit	15.1	16.8	61.3	3.9	
	Zeilenprozent	13.4%	29.9%	41.2%	15.5%	
	Spaltenprozent	4.1%	8.2%	3.1%	18.3%	4.8%
	Prozent von Total	0.6%	1.4%	2.0%	0.7%	
Auffahr-unfall	Beobachtete Häufigkeit	157	90	160	23	430
	Erwartete Häufigkeit	66.8	74.4	271.5	17.3	
	Zeilenprozent	36.5%	20.9%	37.2%	5.3%	
	Spaltenprozent	49.7%	25.6%	12.5%	28.0%	21.1%
	Prozent von Total	7.7%	4.4%	7.9%	1.1%	
Abbiege-unfall	Beobachtete Häufigkeit	3	182	468	16	669
	Erwartete Häufigkeit	103.9	115.7	422.4	27.0	
	Zeilenprozent	0.4%	27.2%	70.0%	2.4%	
	Spaltenprozent	0.9%	51.7%	36.4%	19.5%	32.9%
	Prozent von Total	0.1%	8.9%	23.0%	0.8%	
Querungs-unfall	Beobachtete Häufigkeit	12	12	488	8	520
	Erwartete Häufigkeit	80.7	89.9	328.4	21.0	
	Zeilenprozent	2.3%	2.3%	93.8%	1.5%	
	Spaltenprozent	3.8%	3.4%	38.0%	9.8%	25.6%
	Prozent von Total	0.6%	0.6%	24.0%	0.4%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	26	27	72	14	139
	Erwartete Häufigkeit	21.6	24.0	87.8	5.6	
	Zeilenprozent	18.7%	19.4%	51.8%	10.1%	
	Spaltenprozent	8.2%	7.7%	5.6%	17.1%	6.8%
	Prozent von Total	1.3%	1.3%	3.5%	0.7%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	316	352	1'285	82	2'035
	Zeilenprozent	15.5%	17.3%	63.1%	4.0%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 847.2, df = 15, p = 0.000

1.4.10 Unfallstelle und Geschwindigkeit

Rund 80 Prozent der Unfälle ereignen sich bei einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, wobei deren Anteil auf Geraden höher und an Einmündungen tiefer ist als erwartet (Tabelle 20). Umgekehrt verhält es sich bei signalisierter Höchstgeschwindigkeit 60 km/h.

Tabelle 20:

Unfälle nach Unfallstelle und Geschwindigkeit (Quelle: BFS, 1996)

Unfallstelle		Geschwindigkeit				Zeilentotal
		< 50 km/h	50 km/h	60 km/h	> 60 km/h	
Gerade	Beobachtete Häufigkeit	2	271	43	0	316
	Erwartete Häufigkeit	1.1	253.9	60.6	0.5	
	Zeilenprozent	0.6%	85.8%	13.6%	0.0%	
	Spaltenprozent	28.6%	16.6%	11.0%	0.0%	15.5%
	Prozent von Total	0.1%	13.3%	2.1%	0.0%	
Einmündung	Beobachtete Häufigkeit	1	233	118	0	352
	Erwartete Häufigkeit	1.2	282.8	67.5	0.5	
	Zeilenprozent	0.3%	66.2%	33.5%	0.0%	
	Spaltenprozent	14.3%	14.3%	30.3%	0.0%	17.3%
	Prozent von Total	0.0%	11.4%	5.8%	0.0%	
Kreuzung	Beobachtete Häufigkeit	0	1'061	221	3	1'285
	Erwartete Häufigkeit	4.4	1'032.4	246.3	1.9	
	Zeilenprozent	0.0%	82.6%	17.2%	0.2%	
	Spaltenprozent	0.0%	64.9%	56.7%	100.0%	63.1%
	Prozent von Total	0.0%	52.1%	10.9%	0.1%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	4	70	8	0	82
	Erwartete Häufigkeit	0.3	65.9	15.7	0.1	
	Zeilenprozent	4.9%	85.4%	9.8%	0.0%	
	Spaltenprozent	57.1%	4.3%	2.1%	0.0%	4.0%
	Prozent von Total	0.2%	3.4%	0.4%	0.0%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	7	1'635	390	3	2'035
	Zeilenprozent	0.3%	80.3%	19.2%	0.1%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 116.3, df = 9, p = 0.000

1.4.11 Unfallstelle und Anzahl Verletzte

Bei rund zwei Dritteln der Unfälle werden keine Personen verletzt. Überdurchschnittlich hoch ist der Anteil der Verletzten bei Unfällen auf Geraden sowie der Anteil der Unfälle an Kreuzungen mit mehreren Verletzten (Tabelle 21). Kleiner als erwartet ist dagegen der Anteil Verletzter bei Einmündungen.

Tabelle 21:
Unfälle nach Unfallstelle und Anzahl Verletzte (Quelle: BFS, 1996)

Unfallstelle		Anzahl Verletzte			Zeilentotal
		0	1	>1	
Gerade	Beobachtete Häufigkeit	169	133	14	316
	Erwartete Häufigkeit	205.0	90.5	20.5	
	Zeilenprozent	53.5%	42.1%	4.4%	
	Spaltenprozent	12.8%	22.8%	10.6%	15.5%
	Prozent von Total	8.3%	6.5%	0.7%	
Einmündung	Beobachtete Häufigkeit	263	76	13	352
	Erwartete Häufigkeit	228.3	100.8	22.8	
	Zeilenprozent	74.7%	21.6%	3.7%	
	Spaltenprozent	19.9%	13.0%	9.8%	17.3%
	Prozent von Total	12.9%	3.7%	0.6%	
Kreuzung	Beobachtete Häufigkeit	833	351	101	1'285
	Erwartete Häufigkeit	833.5	368.1	83.4	
	Zeilenprozent	64.8%	27.3%	7.9%	
	Spaltenprozent	63.1%	60.2%	76.5%	63.1%
	Prozent von Total	40.9%	17.2%	5.0%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	55	23	4	82
	Erwartete Häufigkeit	53.2	23.5	5.3	
	Zeilenprozent	67.1%	28.0%	4.9%	
	Spaltenprozent	4.2%	3.9%	3.0%	4.0%
	Prozent von Total	2.7%	1.1%	0.2%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	1'320	583	132	2'035
	Zeilenprozent	64.9%	28.6%	6.5%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 48.9, df = 6, p = 0.000

1.4.12 Unfalltyp und Wochentag

Die Kreuztabelle nach "Unfalltyp" und "Wochentag" zeigt, dass sich die Anteile nach Unfalltyp etwa gleich auf die Werktag und Wochenenden verteilen (Tabelle 22). Einzig die Fussgängerunfälle an Werktagen und die Schleuder-/Selbstunfälle an Wochenenden liegen deutlich über dem Erwartungswert.

Tabelle 22:

Unfälle nach Unfalltyp und Wochentag (Quelle: BFS, 1996)

Unfalltyp		Wochentag		Zeilentotal
		Werktag	Wochenende	
Fussgängerunfall	Beobachtete Häufigkeit	152	28	180
	Erwartete Häufigkeit	132.5	47.5	
	Zeilenprozent	84.4%	15.6%	
	Spaltenprozent	10.1%	5.2%	8.8%
	Prozent von Total	7.5%	1.4%	
Schleuder-/Selbstunfall	Beobachtete Häufigkeit	59	38	97
	Erwartete Häufigkeit	71.4	25.6	
	Zeilenprozent	60.8%	39.2%	
	Spaltenprozent	3.9%	7.1%	4.8%
	Prozent von Total	2.9%	1.9%	
Auffahr-unfall	Beobachtete Häufigkeit	326	104	430
	Erwartete Häufigkeit	316.5	113.5	
	Zeilenprozent	75.8%	24.2%	
	Spaltenprozent	21.8%	19.4%	21.1%
	Prozent von Total	16.0%	5.1%	
Abbiege-unfall	Beobachtete Häufigkeit	483	186	669
	Erwartete Häufigkeit	492.5	176.5	
	Zeilenprozent	72.2%	27.8%	
	Spaltenprozent	32.2%	34.6%	32.9%
	Prozent von Total	23.7%	9.1%	
Querungs-unfall	Beobachtete Häufigkeit	367	153	520
	Erwartete Häufigkeit	382.8	137.2	
	Zeilenprozent	70.6%	29.4%	
	Spaltenprozent	24.5%	28.5%	25.6%
	Prozent von Total	18.0%	7.5%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	111	28	139
	Erwartete Häufigkeit	102.3	36.7	
	Zeilenprozent	79.9%	20.1%	
	Spaltenprozent	7.4%	5.2%	6.8%
	Prozent von Total	5.5%	1.4%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	1'498	537	2'035
	Zeilenprozent	73.6%	26.4%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 26.1, df = 5, p = 0.000

1.4.13 Unfalltyp und Geschwindigkeit

Die Kombination von "Unfalltyp" und "Geschwindigkeit" weist einen überzufällig grossen Anteil von Fussgänger- und Querungsunfällen bei einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h (Tabelle 23) aus. Es ereignen sich rund 18 Prozent bzw. 9 Prozent mehr Unfälle als erwartet. Auffahrunfälle sind demgegenüber bei einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h überdurchschnittlich häufig.

Tabelle 23:
Unfälle nach Unfalltyp und Geschwindigkeit (Quelle: BFS, 1996)

Unfalltyp		Geschwindigkeit				Zeilentotal
		< 50 km/h	50 km/h	60 km/h	> 60 km/h	
Fussgänger-unfall	Beobachtete Häufigkeit	0	170	10	0	180
	Erwartete Häufigkeit	0.6	144.6	34.5	0.3	
	Zeilenprozent	0.0%	94.4%	5.6%	0.0%	
	Spaltenprozent	0.0%	10.4%	2.6%	0.0%	8.8%
	Prozent von Total	0.0%	8.4%	0.5%	0.0%	
Schleuder-/Selbstunfall	Beobachtete Häufigkeit	1	66	29	1	97
	Erwartete Häufigkeit	0.3	77.9	18.6	0.1	
	Zeilenprozent	1.0%	68.0%	29.9%	1.0%	
	Spaltenprozent	14.3%	4.0%	7.4%	33.3%	4.8%
	Prozent von Total	0.0%	3.2%	1.4%	0.0%	
Auffahr-unfall	Beobachtete Häufigkeit	4	295	131	0	430
	Erwartete Häufigkeit	1.5	345.5	82.4	0.6	
	Zeilenprozent	0.9%	68.6%	30.5%	0.0%	
	Spaltenprozent	57.1%	18.0%	33.6%	0.0%	21.1%
	Prozent von Total	0.2%	14.5%	6.4%	0.0%	
Abbiege-unfall	Beobachtete Häufigkeit	1	535	133	0	669
	Erwartete Häufigkeit	2.3	537.5	128.2	1.0	
	Zeilenprozent	0.1%	80.0%	19.9%	0.0%	
	Spaltenprozent	14.3%	32.7%	34.1%	0.0%	32.9%
	Prozent von Total	0.0%	26.3%	6.5%	0.0%	
Querungs-unfall	Beobachtete Häufigkeit	0	454	64	2	520
	Erwartete Häufigkeit	1.8	417.8	99.7	0.8	
	Zeilenprozent	0.0%	87.3%	12.3%	0.4%	
	Spaltenprozent	0.0%	27.8%	16.4%	66.7%	25.6%
	Prozent von Total	0.0%	22.3%	3.1%	0.1%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	1	115	23	0	139
	Erwartete Häufigkeit	0.5	111.7	26.6	0.2	
	Zeilenprozent	0.7%	82.7%	16.5%	0.0%	
	Spaltenprozent	14.3%	7.0%	5.9%	0.0%	6.8%
	Prozent von Total	0.0%	5.7%	1.1%	0.0%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	7	1'635	390	3	2'035
	Zeilenprozent	0.3%	80.3%	19.2%	0.1%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 100.8, df = 15, p = 0.000

1.4.14 Unfalltyp und Anzahl Verletzte

Aus der Gegenüberstellung der Variablen/Merkmale "Unfalltyp" und "Anzahl Verletzte" ergibt sich ein überdurchschnittlich hoher Anteil verletzter Personen bei Fussgängerunfällen (Tabelle 24). Dagegen werden bei Auffahr- und Abbiegeunfällen weniger Personen verletzt als per Zufall zu erwarten wäre.

Tabelle 24:

Unfälle nach Unfalltyp und Anzahl Verletzte (Quelle BFS, 1996)

Unfalltyp		Anzahl Verletzte			Zeilentotal
		0	1	>1	
Fussgänger-unfall	Beobachtete Häufigkeit	12	154	14	180
	Erwartete Häufigkeit	116.8	51.6	11.7	
	Zeilenprozent	6.7%	85.6%	7.8%	
	Spaltenprozent	0.9%	26.4%	10.6%	8.8%
	Prozent von Total	0.6%	7.6%	0.7%	
Schleuder-/Selbstunfall	Beobachtete Häufigkeit	74	18	5	97
	Erwartete Häufigkeit	62.9	27.8	6.3	
	Zeilenprozent	76.3%	18.6%	5.2%	
	Spaltenprozent	5.6%	3.1%	3.8%	4.8%
	Prozent von Total	3.6%	0.9%	0.2%	
Auffahr-unfall	Beobachtete Häufigkeit	342	73	15	430
	Erwartete Häufigkeit	278.9	123.2	27.9	
	Zeilenprozent	79.5%	17.0%	3.5%	
	Spaltenprozent	25.9%	12.5%	11.4%	21.1%
	Prozent von Total	16.8%	3.6%	0.7%	
Abbiege-unfall	Beobachtete Häufigkeit	456	172	41	669
	Erwartete Häufigkeit	433.9	191.7	43.4	
	Zeilenprozent	68.2%	25.7%	6.1%	
	Spaltenprozent	34.5%	29.5%	31.1%	32.9%
	Prozent von Total	22.4%	8.5%	2.0%	
Querungs-unfall	Beobachtete Häufigkeit	330	140	50	520
	Erwartete Häufigkeit	337.3	149.0	33.7	
	Zeilenprozent	63.5%	26.9%	9.6%	
	Spaltenprozent	25.0%	24.0%	37.9%	25.6%
	Prozent von Total	16.2%	6.9%	2.5%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	106	26	7	139
	Erwartete Häufigkeit	90.2	39.8	9.0	
	Zeilenprozent	76.3%	18.7%	5.0%	
	Spaltenprozent	8.0%	4.5%	5.3%	6.8%
	Prozent von Total	5.2%	1.3%	0.3%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	1'320	583	132	2'035
	Zeilenprozent	64.9%	28.6%	6.5%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 364.1, df = 10, p = 0.000

1.4.15 Unfalltyp und Strassenzustand

Die Kreuztabelle der Unfälle nach "Unfalltyp" und "Strassenzustand" zeigt, dass sich die Anteile der verschiedenen Unfalltypen etwa gleichmässig auf Strassen mit trockenem und nicht trockenem Belag verteilen (Tabelle 25). Einzig der Anteil der Auffahr- und Schleuder-/Selbstunfälle auf nicht trockener Fahrbahn ist deutlich höher als erwartet.

Tabelle 25:
Unfälle nach Unfalltyp und Strassenzustand (Quelle: BFS, 1996)

Unfalltyp		Strassenzustand		Zeilentotal
		trocken	nicht trocken	
Fussgänger-unfall	Beobachtete Häufigkeit	132	48	180
	Erwartete Häufigkeit	126.8	53.2	
	Zeilenprozent	73.3%	26.7%	
	Spaltenprozent	9.2%	8.0%	8.8%
	Prozent von Total	6.5%	2.4%	
Schleuder-/Selbstunfall	Beobachtete Häufigkeit	63	34	97
	Erwartete Häufigkeit	68.4	28.6	
	Zeilenprozent	64.9%	35.1%	
	Spaltenprozent	4.4%	5.7%	4.8%
	Prozent von Total	3.1%	1.7%	
Auffahr-unfall	Beobachtete Häufigkeit	291	139	430
	Erwartete Häufigkeit	303.0	127.0	
	Zeilenprozent	67.7%	32.3%	
	Spaltenprozent	20.3%	23.1%	21.1%
	Prozent von Total	14.3%	6.8%	
Abbiege-unfall	Beobachtete Häufigkeit	459	210	669
	Erwartete Häufigkeit	471.4	197.6	
	Zeilenprozent	68.6%	31.4%	
	Spaltenprozent	32.0%	34.9%	32.9%
	Prozent von Total	22.6%	10.3%	
Querungs-unfall	Beobachtete Häufigkeit	376	144	520
	Erwartete Häufigkeit	366.4	153.6	
	Zeilenprozent	72.3%	27.7%	
	Spaltenprozent	26.2%	24.0%	25.6%
	Prozent von Total	18.5%	7.1%	
Andere	Beobachtete Häufigkeit	113	26	139
	Erwartete Häufigkeit	97.9	41.1	
	Zeilenprozent	81.3%	18.7%	
	Spaltenprozent	7.9%	4.3%	6.8%
	Prozent von Total	5.6%	1.3%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	1'434	601	2'035
	Zeilenprozent	70.5%	29.5%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 13.5, df = 5, p = 0.019

1.4.16 Geschwindigkeit und Anzahl Verletzte

Rund 85 Prozent der Unfälle mit Verletzten ereignen sich bei einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, etwa 15 Prozent bei 60 km/h (Tabelle 26). Damit ist der Anteil der bei 50 km/h verletzten Personen überdurchschnittlich hoch. (Anmerkung: In der Schweiz ist innerorts grösstenteils Tempo 50 km/h signalisiert.) Der Anteil der bei 60 km/h nicht verletzten Personen beträgt rund 12 Prozent mehr als per Zufall zu erwarten wäre.

Tabelle 26:

Unfälle nach Geschwindigkeit und Anzahl Verletzte (Quelle: BFS, 1996)

Geschwindigkeit		Anzahl Verletzte			Zeilentotal
		0	1	>1	
< 50 km/h	Beobachtete Häufigkeit	5	2	0	7
	Erwartete Häufigkeit	4.5	2.0	0.5	
	Zeilenprozent	71.4%	28.6%	0.0%	
	Spaltenprozent	0.4%	0.3%	0.0%	0.3%
	Prozent von Total	0.2%	0.1%	0.0%	
50 km/h	Beobachtete Häufigkeit	1'031	499	105	1'635
	Erwartete Häufigkeit	1'060.5	468.4	106.1	
	Zeilenprozent	63.1%	30.5%	6.4%	
	Spaltenprozent	78.1%	85.6%	79.5%	80.3%
	Prozent von Total	50.7%	24.5%	5.2%	
60 km/h	Beobachtete Häufigkeit	284	80	26	390
	Erwartete Häufigkeit	253.0	111.7	25.3	
	Zeilenprozent	72.8%	20.5%	6.7%	
	Spaltenprozent	21.5%	13.7%	19.7%	19.2%
	Prozent von Total	14.0%	3.9%	1.3%	
> 60 km/h	Beobachtete Häufigkeit	0	2	1	3
	Erwartete Häufigkeit	1.9	0.9	0.2	
	Zeilenprozent	0.0%	66.7%	33.3%	
	Spaltenprozent	0.0%	0.3%	0.8%	0.1%
	Prozent von Total	0.0%	0.1%	0.0%	
Spaltentotal	Beobachtete Häufigkeit	1'320	583	132	2'035
	Zeilenprozent	64.9%	28.6%	6.5%	100.0%

Anmerkung: Chi-Quadrat = 23.0, df = 6, p = 0.001

1.4.17 Zusammenstellung der wichtigsten Resultate

Die kreuztabellarischen Auswertungen zeigten eine Fülle von Zusammenhängen zwischen einzelnen Merkmalen/Variablen. Die wichtigsten sind in Tabelle 27 zusammengestellt.

Tabelle 27:

Zusammenhänge einzelner Kombinationen von Merkmalen/Variablen in Bezug auf das Unfallgeschehen

Merkmalskombination	ZH ¹⁾	Merkmalskombination	ZH ¹⁾
Gerade - Tageslicht	↗	Fussgängerunfall - Höchstgeschwindigkeit 50 km/h	↗
Gerade - Höchstgeschwindigkeit 50 km/h	↗	Fussgängerunfall - Anzahl Verletzte	↗
Gerade - Höchstgeschwindigkeit 60 km/h	↘	Schleuder/Selbstunfall - Dämmerung/Nacht	↗
Gerade - Anzahl Verletzte	↗	Schleuder/Selbstunfall - Wochenende	↗
Gerade - Fussgängerunfall	↗	Schleuder/Selbstunfall - nicht trocken	↗
Gerade - Auffahrunfall	↗	Auffahrunfall - Hauptstrasse	↗
Einmündung - Hauptstrasse	↗	Auffahrunfall - Tageslicht	↗
Einmündung - Tageslicht	↗	Auffahrunfall - Höchstgeschwindigkeit 60 km/h	↗
Einmündung - Fussgängerunfall	↘	Auffahrunfall - Anzahl Verletzte	↘
Einmündung - Höchstgeschwindigkeit 50 km/h	↘	Auffahrunfall - nicht trocken	↗
Einmündung - Höchstgeschwindigkeit 60 km/h	↗	Abbiegeunfall - Dämmerung/Nacht	↗
Einmündung - Anzahl Verletzte	↘	Abbiegeunfall - Anzahl Verletzte	↘
Kreuzung - Nebenstrasse	↗	Querungsunfall - Nebenstrasse	↗
Kreuzung - Dämmerung/Nacht	↗	Querungsunfall - Höchstgeschwindigkeit 50 km/h	↗
Kreuzung - Fussgängerunfall	↘	Tageslicht - Werktag	↗
Kreuzung - Auffahrunfall	↘	Tageslicht - Höchstgeschwindigkeit 60 km/h	↗
Kreuzung - mehrere Verletzte	↗	Dämmerung/Nacht - Wochenende	↗
Fussgängerunfall - Nebenstrasse	↗	Dämmerung/Nacht - Höchstgeschwindigkeit 50 km/h	↗
Fussgängerunfall - Hauptstrasse	↘	Dämmerung/Nacht - nicht trocken	↗
Fussgängerunfall - Tageslicht	↗	Höchstgeschwindigkeit 50 km/h - Anzahl Verletzte	↗
Fussgängerunfall - Werktage	↗	Höchstgeschwindigkeit 60 km/h - Anzahl Nicht-Verletzte	↗

Anmerkung: ¹⁾ Zusammenhang ↗ überdurchschnittlich viele Unfälle ↘ unterdurchschnittlich viele Unfälle

1.5 Interpretation der Ergebnisse

1.5.1 Bemerkungen

Die merkmalspezifischen Unfallanalysen ergaben eine Vielzahl von signifikanten Ergebnissen. Vorgängig wurden nicht alle überzufälligen Verteilungshäufigkeiten der Unfälle an Lichtsignalanlagen dargestellt, da die Ergebnisse zum Teil trivial sind.

Zur Interpretation der Resultate ist anzumerken, dass sich die Ergebnisse der Unfallanalyse lediglich auf die Häufigkeit der Ereignisse beziehen. Diese ist jedoch von den zwei Faktoren *Unfallrisiko* und *Exposition* abhängig:

$$\text{Unfallhäufigkeit} = f(\text{Risiko}, \text{Exposition}).$$

Häufige Unfallereignisse können sowohl auf den Faktor "erhöhtes Risiko" als auch auf den Faktor "grosse Exposition" oder auf eine Kombination der beiden zurückgeführt werden. Umgekehrt kann auch ein nicht signifikantes Resultat bedeuten, dass bestimmte Bedingungen ein erhöhtes Unfallrisiko in sich bergen. Ein erhöhtes Risiko könnte durch verringerte Exposition kompensiert worden sein. Folglich ist die Interpretation der signifikanten Resultate im Licht bekannter Befunde zu den verschiedenen Expositionen zu relativieren. Eine methodisch saubere Vorgehensweise würde beinhalten, die Daten des Verhaltens an Lichtsignalanlagen zu erheben und mit den Unfalldaten zusammenzuführen, was aber im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich war. Daher wird im folgenden nur eine kurze, vorsichtig-spekulative Interpretation der signifikanten Kreuztabellen vorgenommen.

Die merkmalspezifischen Auswertungen führten vor allem bei Kombination mit den Variablen/Merkmalen "Unfallstelle" und "Unfalltyp" zu aussagekräftigen Resultaten. Nachfolgend werden in erster Linie diese Kombinationen interpretiert.

1.5.2 Unfallstelle

a) Gerade

Obwohl keine signifikanten Unterschiede bei den signalisierten Geschwindigkeiten festgestellt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass auf Geraden überdurchschnittlich schnell gefahren wird. Entsprechend ist der Anteil der Fussgänger- und Auffahrunfälle überdurchschnittlich gross und somit der Anteil Verletzter höher als erwartet. Zudem dürfte der Anteil von Fussgänger-Lichtsignalanlagen auf Geraden relativ hoch sein, was zu den bekannten Problemen (s. auch Kap. 1.5.3) führt.

b) *Einmündung*

Die Häufung der Unfälle auf Hauptstrassen sowie der erhöhte Anteil bei signalisierter Geschwindigkeit 60 km/h dürfte auf die erhöhte Anzahl von Einmündungen unter diesen Bedingungen zurückzuführen sein. Diesbezügliche Daten sind jedoch nicht verfügbar. Die hohe Anzahl der Auffahr- sowie vor allem der Abbiegeunfälle ist durch die höheren Geschwindigkeiten erklärbar.

c) *Kreuzung*

Für die Häufung von Unfällen auf Nebenstrassen könnte eine überproportionale Anzahl von Kreuzungen auf Nebenstrassen verantwortlich sein. Zudem dürften an diesen Kreuzungen oft Vollgrünanlagen zum Einsatz kommen, was zu ungesichertem Linksabbiegen und Konflikten mit Fussgängern führen kann. EWERT (1994) zeigte, dass Regelungen, die kein gesichertes Abbiegen gewährleisten, zu einem hohen Prozentsatz fehlinterpretiert werden. Am gefährlichsten scheinen Vollgrünanlagen zu sein, da über die Hälfte der Verkehrsteilnehmer mit grosser Sicherheit davon ausgeht, dass es sich dabei um einen vollständig gesicherten Linksabbiegevorgang handelt. Ein weiteres Indiz für mögliche Konflikte bei ungesichertem Abbiegen ist die Tatsache, dass der Anteil der Unfälle in der Dämmerung und der Nacht sehr gross ist. Gerade in den Nachtstunden kann die Geschwindigkeit von entgegenkommenden Fahrzeugen (Konfliktströme) schlecht eingeschätzt werden.

Obwohl keine signifikanten Unterschiede bei der signalisierten Geschwindigkeit festgestellt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass im Bereich von Kreuzungen (gegenüber Einmündungen) langsamer gefahren wird. Entsprechend ist der Anteil der Fussgänger- und Auffahrnfälle kleiner und somit die Anzahl Verletzter geringer als erwartet.

1.5.3 *Unfalltyp*

a) *Fussgängerunfall*

Fussgänger sind auf Nebenstrassen überdurchschnittlich betroffen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Anteil von Fussgängern, die das Rotlicht missachten, auf Nebenstrassen relativ gross ist. Gemäss LINDENMANN, RIEDEL & THOMA (1987) missachten zwischen 20 und 50 Prozent der Fussgänger das Rotlicht an Fussgänger-Lichtsignalanlagen, wobei der Anteil der "Rotgänger" stark vom Standort der LSA und der Fahrzeugmenge abhängt. Der grösste Teil der Rotlichtmissachtungen entsteht dann, wenn schwacher oder gar kein Fahrzeugverkehr herrscht und der Fussgänger auch ohne Schutz des Lichtsignals die Strasse überqueren kann. Der Fussgänger bedient im wesentlichen dann eine LSA, wenn er vor dem Fahrzeugverkehr Schutz sucht. Dass die Fussgänger überdurchschnittlich oft tagsüber und an Werktagen verunfallen, dürfte in der Exposition begründet sein.

b) *Schleuder-/Selbstunfall*

Das erhöhte Auftreten dieses Unfalltyps in der Dämmerung/Nacht und an Wochenenden ist wohl primär auf die jugendlichen Lenker zurückzuführen. Diese Altersgruppe ist generell stark gefährdet und weist auch beim übrigen Unfallgeschehen (ohne LSA) diese charakteristischen Spitzen auf.

c) *Auffahrunfälle*

Die Häufung dieser Unfälle auf Hauptstrassen kann durch die - im Vergleich zu Nebenstrassen - höheren gefahrenen Geschwindigkeiten erklärt werden. Höhere Geschwindigkeiten können ein höheres Unfallrisiko beinhalten. Diese Interpretation wird durch die erhöhte Anzahl Unfälle bei signalisierter Geschwindigkeit 60 km/h gestärkt. Die Informationsdichte auf Hauptstrassen dürfte zudem grösser sein als auf dem übrigen Strassennetz innerorts, was zu erhöhter Ablenkung und Unaufmerksamkeit führt. Grössere Fahrzeugmengen und -dichten unterstützen diesen Effekt. Dass Auffahrunfälle vermehrt bei nicht trockener Fahrbahn auftreten, ist durch die Physik erklärbar, verlängern sich doch Bremswege auf nasser gegenüber trockener Fahrbahn um bis zu 60 Prozent.

d) *Abbiegeunfall*

Da die Unfälle überdurchschnittlich oft in der Dämmerung/Nacht auftreten, ist zu vermuten, dass die Geschwindigkeit herannahender Fahrzeuge unterschätzt wird (s. auch Kap. 1.5.2) bzw. die nötigen Sichtweiten nicht vorhanden sind. Dass die Sicht einen wesentlichen Faktor darstellt, kann auch aus der erhöhten Unfallgefahr bei nicht trockener Fahrbahn geschlossen werden. Dieses Merkmal korreliert stark mit den Witterungsverhältnissen und es kann vermutet werden, dass die Sicht (in der Nacht) durch Niederschläge und Blendung bei nassen Strassen stark beeinträchtigt wird.

e) *Querungsunfall*

Die erhöhte Unfallgefahr auf Nebenstrassen ist wohl darauf zurückzuführen, dass hier - aufgrund der kleineren Verkehrsmengen und der besseren Übersichtlichkeit - vermehrt Rotlichtmissachtungen zu verzeichnen sind.

1.5.4 Fazit

Aufgrund der merkmalspezifischen Auswertungen ist vor allem den Variablen/Merkmalen "Unfallstelle" und "Unfalltyp" besondere Beachtung zu schenken. Auf Geraden und an Einmündungen scheinen vor allem hohe Geschwindigkeiten, an Kreuzungen in erster Linie ungeschützte Konfliktströme von Bedeutung zu sein.

Während bei den Fussgängerunfällen ebenfalls ungesicherte Konfliktströme ein Problem darstellen, dürfte bei den Auffahrunfällen vor allem Unaufmerksamkeit die häufigste Unfallursache sein. Dies aufgrund der grossen Informationsdichte (Komplexität), die der Lenker zu verarbeiten hat.

2. Vorstudie: Umfrage bezüglich der LSA-Problematik bei verschiedenen Kantonen und Städten

2.1 Vorgehen

In einem ersten Untersuchungsschritt wurden Fachstellen (Tiefbauämter, Polizei usw.) verschiedener Kantone und Städte zur LSA-Problematik befragt (Fragebogen siehe Anhang VI.1.). Hiermit sollten Wissen und Meinungen von Personen gesammelt werden, die in ihrer täglichen Arbeit mit Lichtsignalanlagen beschäftigt sind, um Hinweise für die eigene empirische Untersuchung zu gewinnen. Die Befragung erfolgte mit Hilfe eines Fragebogens mit folgenden Items:

- *Nach welchen Kriterien erfolgt die Bestimmung der Gefahrenstellen bezüglich der LSA-Problematik (z.B. Anzahl Unfälle pro Jahr)?*
- *Welche Mängel/Einflüsse konnten aufgrund der Unfälle an diesen Gefahrenstellen generell festgestellt werden (z.B. mangelhafte Erkennbarkeit der LSA, Konflikte mit Fussgängern)?*
- *Welches sind aufgrund Ihrer eigenen Erfahrung die wichtigsten Mängel/Einflüsse an Kreuzungen/Einmündungen mit LSA?*
- *Die Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu beabsichtigt, an einigen Gefahrenstellen situative Untersuchungen zur LSA-Problematik durchzuführen. Daraus sollen Erkenntnisse über Verbesserungen und Massnahmen gefunden werden. Was sollte aus Ihrer Sicht speziell untersucht werden (z.B. Linksabbieger im Konflikt)?*
- *Mit welcher Massnahme könnte der grösste Erfolg zur Verbesserung der Unfallsituation an Lichtsignalanlagen (unter Beibehaltung der LSA-Regelung) erzielt werden (z.B. bessere Erkennbarkeit schaffen)?*

2.2 Resultate

Insgesamt konnten 29 Fragebogen ausgewertet werden.

Die Bestimmung der Gefahrenstellen erfolgt in den befragten Städten und Kantonen nach unterschiedlichen Kriterien: Häufigstes Kriterium ist "Anzahl Unfälle pro Jahr". Andere gebräuchliche Kriterien sind "Anzahl Unfälle über mehrere Jahre" und "durchschnittliche Zahl der Unfälle in 5 Jahren".

An den Gefahrenstellen werden rund zur Hälfte Konflikte und Regelverletzungen als hauptsächlichste Mängel/Einflüsse festgestellt (Tabelle 28). Ebenfalls relativ häufig werden die Komplexität der Anlage, der Gelbblink-Betrieb (ausgeschaltete LSA) und die Unkenntnis der Bedeutung der Signale (Unterschied Vollgrün/Grünpfeil) genannt.

Tabelle 28:
Generelle Mängel/Einflüsse an den Gefahrenstellen

Mängel/Einflüsse	Spezifizierung	Anzahl Nennungen
(ungesicherte) Konflikte	Linksabbieger/Gegenverkehr, Rechtsabbieger/Fussgänger, Rechtsabbieger/Radfahrer	12
Regelverletzungen	Rotlichtmissachtung	7
Komplexität	hohe Informationsdichte, Linienführung, komplizierte Kreuzung	5
Gelbblink-Betrieb		5
Bedeutung Signale	Verwechslung, Unterschied Vollgrün/Grünpfeil unbekannt	4
Erkennbarkeit der LSA		2
Auffahrunfälle	zu hohes Tempo	2
Unaufmerksamkeit		2
anderes		3
Total		42

Aufgrund ihrer persönlichen Erfahrungen betrachten die Befragten in etwa die gleichen Mängel/Einflüsse als Hauptprobleme, wie sie die Analyse der Gefahrenstellen ergibt (Tabelle 28) Konflikte und Regelverletzungen stehen wiederum im Vordergrund, hingegen wird der Unaufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer höheres Gewicht beigemessen als es in den rapportierten Unfällen für die Gefahrenstellenanalyse zum Ausdruck kommt (Tabelle 29).

Tabelle 29:

Mängel/Einflüsse an Lichtsignalanlagen aufgrund der persönlichen Erfahrung

Mängel/Einflüsse	Spezifizierung	Anzahl Nennungen
(ungesicherte) Konflikte	Linksabbieger/Gegenverkehr, Rechtsabbieger/Fussgänger, Rechtsabbieger/Radfahrer	13
Regelverletzungen	Rotlichtmissachtung	8
Unaufmerksamkeit		5
Erkennbarkeit der LSA		5
Bedeutung Signale	Verwechslung, Unterschied Vollgrün/Grünpfeil unbekannt	4
Auffahrunfälle	zu hohes Tempo	4
Gelbblink-Betrieb		3
Komplexität	hohe Informationsdichte, Linienführung, komplizierte Kreuzung	2
anderes		9
Total		53

Auf die Frage nach gewünschten Themen für mögliche Untersuchungen stehen wiederum die Konflikte an erster Stelle (Tabelle 30). Auf grosses Interesse stossen auch Studien über Radanlagen, den Gelbblink-Betrieb, die Erkennbarkeit von Lichtsignalanlagen sowie Regelverletzungen. Diese häufigsten Nennungen stimmen grösstenteils mit den häufigsten bekannten Mängeln/Einflüssen an Lichtsignalanlagen überein.

Tabelle 30:
Problembereiche, zu denen Untersuchungen erwünscht sind

Problembereich	Anzahl Nennungen
(ungesicherte) Konflikte	18
Radanlagen	7
Gelbblink-Betrieb	6
Erkennbarkeit der Lichtsignalanlage	5
Regelverletzungen	5
Bedeutung Signale	2
Auffahrunfälle	2
Schutzzeiten	2
Tempo	2
Einfluss "alle rot"	1
anderes	7
Total	57

Auf die Frage nach derjenigen Massnahme, die den grössten Erfolg zur Verbesserung der Unfallsituation an Lichtsignalanlagen (unter Beibehaltung der LSA-Regelung) erzielen würde, wurden der 24-Stunden-Betrieb und die Verbesserung der Erkennbarkeit am häufigsten genannt (Tabelle 31). Weitere, mehr als 1 Mal erwähnte Massnahmen waren die Einführung des (in einigen Städten getesteten) Gelbblinkerpeils, Vollschutzanlagen und die Überwachung der Einhaltung der Verkehrsregeln.

Tabelle 31:

Massnahmen mit dem höchsten erwarteten Nutzen zur Verbesserung der Unfallsituation an Lichtsignalanlagen

Massnahmen	Anzahl Nennungen
24-Stunden-Betrieb	4
Erkennbarkeit der LSA verbessern	3
Gelbblinkerpeil	2
Vollschutzanlagen	2
Einhaltung der Verkehrsregeln	2
Hinweis auf Lichtwechsel	1
Separate Linksabbiegespur	1
Respektierung VSS-Norm	1
Separate Phase für Linksabbieger	1
Rotlichtkamera-Überwachung	1
anderes	3
keine Angabe	8
Total	29

2.3 Fazit

Ungesicherte Konfliktströme und Regelverletzungen sind gemäss Gefahrenstellenanalyse die Hauptprobleme an Lichtsignalanlagen, was auch der persönlichen Einschätzung der Befragten entspricht. Obwohl die Problematik bekannt ist, werden Untersuchungen zu diesen Themen angeregt, was bedeutet, dass der Wissensstand in dieser Hinsicht noch als zu gering betrachtet wird und von spezifischen Studien Vorschläge zur Optimierung von Lichtsignalanlagen erwartet werden. Nebst technischen Themen wird in diesem Zusammenhang jedoch auch Interesse an solchen verkehrspsychologischer Art geäussert (Erkennbarkeit der LSA, Bedeutung Signale). Dies ist ein Hinweis für das Unbehagen an dem Dilemma, dass trotz Einhaltung technischer Normen an Lichtsignalanlagen oft Unfälle passieren, was bedeuten muss, dass bestimmte Merkmale von Lichtsignalanlagen menschliches Fehlverhalten begünstigen. Als beste Massnahmen, welche die Sicherheit an Lichtsignalanlagen erhöhen könnten, werden denn auch oft diejenigen genannt, welche die Freiheitsgrade der Verkehrsteilnehmer einschränken, damit ein Fehlverhalten (unter Einhaltung der Verkehrsregeln) ausgeschlossen werden kann, z.B. 24-Stunden-Betrieb, Überwachung durch Rotlichtkamera,

Vollschutzanlagen, separate Spuren und Phasen für Linksabbieger. Andere Vorschläge gehen davon aus, dass insbesondere die Wahrnehmung und Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer beeinflusst werden muss, z.B. durch Verbesserung der Erkennbarkeit von LSA oder durch die Einführung eines warnenden Gebblinker-Pfeils bei Konfliktströmen.

In dieser Meinungsvielfalt äussert sich die Breite des Spannungsfeldes der LSA-Problematik: Einerseits ist der Glaube zu spüren, dass mit vollständiger Reglementierung und Trennung der Konfliktströme die Zahl menschlicher Fehler und dadurch der Unfälle minimiert werden können, andererseits wird die Meinung vertreten, dass die Technik besser den menschlichen Wahrnehmungs-, Informationsverarbeitungs- und Aufmerksamkeitsprozessen angepasst werden muss.

3. Anlagespezifische Analyse

3.1 Vorgehen

In der anlagespezifischen Analyse wurden lichtsignalgesteuerte Kreuzungen mit hoher und geringer Unfallbelastung hinsichtlich anlagetechnischer Merkmale miteinander verglichen. Ziel war das Auffinden von Merkmalen, die das Unfallgeschehen an lichtsignalgesteuerten Kreuzungen positiv oder negativ beeinflussen.

3.2 Auswahl der lichtsignalgesteuerten Kreuzungen

3.2.1 Auswahlkriterien

In der Untersuchung sollten insgesamt 20 lichtsignalgesteuerte Kreuzungen analysiert werden, wovon möglichst gleich viele mit hoher und mit niedriger Unfallbelastung. Die an der Vorstudie beteiligten Kantone und Städten wurden deshalb angefragt, ob sie in ihrem Hoheitsgebiet solche Anlagen ausfindig machen und die Unfalldaten zur Verfügung stellen würden. Damit alle Objekte/Anlagen vergleichbar sind, mussten sie folgende Kriterien erfüllen:

- Lage **innerorts**
- mindestens **4 Zufahrten**
- **keine baulichen Veränderungen** in den Jahren 1990 bis 1996

Insgesamt wurden rund 40 Objekte gemeldet, aus denen unfallbelastete Kreuzungen ausgewählt werden mussten. Anschliessend wurden zusammen mit den Vertretern der Kantone und Städte annähernd unfallfreie Kontrollobjekte gesucht.

3.2.2 Unfallbelastete Objekte

In einem ersten Schritt wurden alle Objekte mit 13 und mehr Unfällen in den Jahren 1992 bis 1995 der Gruppe der unfallbelasteten Objekte zugeordnet. Die Grenze von 13 Unfällen wurde deshalb festgelegt, weil gemäss bfu-Definition eine Situation eine Gefahrenstelle bildet, wenn sich dort in einem Jahr 5 oder mehr Unfälle oder in 5 Jahren mindestens 13 Unfälle ereignen. Mit der Anwendung dieser letzten Regel auf einen Zeitraum von nur vier Jahren konnte gewährleistet werden, dass die ausgewählten Objekte tatsächlich ein erhöhtes, nicht zufallbedingtes Unfallgeschehen aufweisen. In einem zweiten Schritt mussten diese ca. 20 Objekte auf rund die Hälfte reduziert werden. Dies geschah nach eingehender separater Prüfung aller Objekte; ausgeschieden wurden schliesslich diejenigen, die spezielle Merkmale aufwiesen (z.B. Tramdurchfahrten, spitzwinklige

Zufahrten, untergeordnete Zufahrten wie Industriezugänge) und so zu einer nicht erwünschten Heterogenität der Objektgruppe beigetragen hätten. Folgende 11 Kreuzungen bildeten die Gruppe der unfallbelasteten Objekte:

- Nr. 1: Bern; Bühl-/Länggass-/Mittelstrasse
- Nr. 2: Bern; Stand-/Stauffacher-/Winkelriedstrasse
- Nr. 3: Bern; Aegerten-/Kirchenfeldstrasse
- Nr. 4: Winterthur; Zürcher-/Tössfeld-/Rudolfstrasse
- Nr. 5: Bern; Schloss-/Huberstrasse
- Nr. 6: Kreuzlingen; Bahnhof-/Hafen-/Hauptstrasse
- Nr. 7: Sonceboz; Carrefour de la Couronne
- Nr. 8: Obfelden; Dorf-/Ottenbacher-/Mettmenstettenstrasse
- Nr. 9: Wetzikon; Pfäffiker-/Tösstal-/Hinwiler-/Bahnhofstrasse
- Nr.10: Dielsdorf; Wehntaler-/Regensberger-/Bahnhofstrasse
- Nr.11: Solothurn; Biel-/Langendorf-/Wildbachstrasse

3.2.3 *Kontrollobjekte*

Zunächst wurden aus dem Satz der gemeldeten Objekte lichtsignalgesteuerte Kreuzungen mit weniger als 13 Unfällen im Zeitraum von 1992 bis 1995 der Gruppe der Kontrollobjekte zugewiesen. Analog dem Vorgehen bei den unfallbelasteten Objekten erfolgte zum Zweck der Reduktion auf ungefähr 10 Objekte eine Begutachtung aller Anlagen. Damit eine möglichst homogene Gruppe von Kontrollobjekten gewährleistet werden konnte, wurden aufgrund spezieller Merkmale (Unfallzahl nur knapp tiefer als Gefahrenstellen-Kriterium, untergeordnete Zufahrten usw.) überzählige Objekte ausgesondert. Folgende 9 Kreuzungen bildeten schliesslich die Gruppe der Kontrollobjekte:

- Nr. 12: Lyss; Schachenkreuzung
- Nr. 13: Winterthur; Rudolf-/Wülflingerstrasse
- Nr. 14: Winterthur; Römer-/Pflanzschulstrasse
- Nr. 15: Uttwil; Romanshorne-/See-/Kesswiler-/Dozwilerstrasse
- Nr. 16: Salmsach; Arboner-/Schul-/Romanshorne-/Kirchstrasse
- Nr. 17: Kreuzlingen; Löwen-/Park-/Hauptstrasse

Nr. 18: Ottenbach; Muri-/Jonen-/Affoltern-/Zwillikerstrasse

Nr. 19: Wallisellen; Alte Winterthurer-/Schwarzacker-/Friedenstrasse

Nr. 20: Nürensdorf; Alte Winterthurer-/Hinterdorf-/Lindauerstrasse

3.3 Variablen

3.3.1 Arten von Variablen

Für die anlagespezifische Analyse wurden drei Gruppen von Variablen erhoben, wobei das Schwergewicht auf den anlagentechnischen wie Beampelung, Signalisation usw. lag. Betriebstechnische (z.B. Verkehrsmenge) und unfallbezogene Variablen (z.B. Getötete) hingegen standen auch wegen der aufwendigen Erhebung nicht im Vordergrund.

3.3.2 Anlagentechnik

Anlagentechnische Merkmale geben die Geometrie und Ausrüstung von lichtsignalgesteuerten Kreuzungen wieder. Wegen der grossen Zahl erfasster Variablen wird nachfolgend auf diese nicht einzeln eingegangen, sondern lediglich auf Variablengruppen mit Nennung einzelner Variablen (detaillierte Angaben finden sich im Anhang VI.2.).

- *Beampelung*: Dieser Begriff bezeichnet alle Einzelvariablen, welche die LSA näher umschreiben. Beispielhaft seien genannt die Art der Ampeln (Vollgrün, Grünpfeil, gemischt), die Anordnung der Ampeln (über Kopf, links, Mitte, rechts), Art und Zahl der Zusatzampeln (z.B. für Radfahrer, gelber Warnblinker für Fussgänger im Konflikt), die Leuchtdichte (Halogen, Faseroptik, Niedervolt, Hochvolt), die Steuerung (Minimal- und Maximal-Grün- bzw. -Rotzeit) usw.
- *Signalisation/Wegweisung*: Anzahl und Art von Verkehrssignalen (Gefahrensignale, Vorschriftssignale usw.) und Wegweisern (für Hauptstrassen, Nebenstrassen, andere wie Hotels, Radwege usw.).
- *Fahrspuren*: Zahl der Spuren, Art von Zusatzspuren (für Bus, Radstreifen usw.), Spurbreite, Markierungen (z.B. Pfeil, Haltebalken) usw.
- *Konflikte*: Anzahl und Art möglicher Konfliktströme (z.B. Rechtsabbieger/Fussgänger).
- *Wahrnehmung*: Merkmale, die die Informationsaufnahme und -verarbeitung betreffen wie z.B. Distanz der ersten visuellen Erkennbarkeit der LSA, Sichtweiten für Abbiegende usw.

3.3.3 Betriebstechnik

Die Verkehrsbewegungen auf einer Anlage fallen unter den Begriff der Betriebstechnik. Als einziges solches Merkmal wurde der DTV (durchschnittlicher täglicher Verkehr) erhoben. Hingegen waren keine Angaben zu Fussgängermengen oder tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten erhältlich und es wurden auch keine Beobachtungen durchgeführt.

3.3.4 Unfall-Variablen

Wegen der relativ geringen Anzahl von Untersuchungsobjekten und Unfällen musste auf die Erhebung von Merkmalen, die in vielen Ausprägungen vorliegen wie etwa beim Unfalltyp oder bei den Mängeln/Einflüssen verzichtet werden. Erfasst wurden deshalb lediglich folgende Variablen:

- Total der Unfälle
- Unfälle mit Verunfallten
- Unfälle mit Sachschaden
- Getötete
- Verletzte
- Total der Verunfallten

Diese Variablen wurden nur für diejenigen Zeiten gemessen, in denen die Lichtsignalanlagen eingeschaltet waren; Unfälle bei ausgeschalteter LSA wurden nicht mitgezählt.

3.4 Datenerhebung

Die anlagentechnischen Variablen wurden an allen 20 Objekten von derselben Person erhoben. Dadurch konnte eine einheitliche Beurteilung gewährleistet werden.

Die zu erhebenden Merkmale wurden an jedem Objekt auf allen 4 Einmündungen gemessen, und zwar nur aus Sicht der auf die Kreuzung zufahrenden Fahrzeuglenker. Die Variablen wurden sowohl am Knoten selbst als auch auf der Zufahrt erhoben, wobei die Messung dort begann, wo die Lichtsignalanlage ins Sichtfeld der Fahrzeuglenker tritt. Bei Vorliegen mehrerer Fahrspuren erfolgte für diejenigen Variablen, die der Beschreibung der Fahrspuren dienten (z.B. Spurbreite, Markierungen, Anordnung der Ampeln), für jede Spur eine separate Erhebung. Eine Definition von Variablen zu deren Operationalisierung war lediglich bei den folgenden nötig:

- *Distanz der ersten visuellen Erkennbarkeit*: Distanz, ab der die LSA gesehen wird, gemessen in Metern. Distanzen von mehr als 200 m wurde der Maximalwert 200 zugeordnet.

- *Ablenkung z.B. durch Reklameplakate*: Extreme Blickfänge, die vom Verkehrsgeschehen ablenken können. Dichotome Erfassung: Ablenkung möglich/nicht möglich.
- *Störender Vorder-/Hintergrund*: Verdeckung der Ampel z.B. durch Hecken, Bäume; eingeschränkte Erkennbarkeit durch kontrastarmen Hintergrund. Dichotome Erfassung: möglich/nicht möglich.
- *Ort der LSA im visuellen Gesichtsfeld*: Diese Variable misst, ob die LSA immer im zentralen visuellen Gesichtsfeld liegt, oder ob sie z.B. wegen Krümmungen in der Linienführung eher peripher wahrgenommen wird. Bei mehreren Fahrspuren können im letzteren Fall Schwierigkeiten bei der Zuordnung von Spur und zugehöriger Ampel entstehen, was möglicherweise im Verhalten zu häufigen Spurwechseln führt.

3.5 Datenanpassung

3.5.1 Datenreduktion

Die Struktur der erfassten Daten bot ein besonderes Problem: An allen 20 Objekten wurden die Variablen an je 4 Zufahrten erhoben; es stellte sich deshalb die Frage, auf welcher Ebene unfallbelastete Objekte mit nichtbelasteten verglichen werden sollten, ob auf der Ebene der Objekte oder der Zufahrten. Wird auf derjenigen der Zufahrten verglichen, gibt es innerhalb der Gruppe der unfallbelasteten Objekte natürlich Zufahrten ohne Unfälle, die den Zufahrten ohne Unfälle innerhalb der Gruppe der nichtbelasteten Objekte gegenübergestellt werden, d.h., alle diese Zufahrten würden unterschiedlich behandelt, obwohl sie eigentlich zur gleichen Gruppe gehören müssten. Zudem würde die Zahl der Unfälle, gemessen pro Zufahrt, relativ klein und möglicherweise ergeben sich an bestimmten Zufahrten gar keine Unterschiede zwischen unfall- und nicht unfallbelasteten Kreuzungen. Weil das Kriterium zur Auswahl der Objekte in Bezug auf das Unfallgeschehen schließlich die Gesamtunfallzahl pro Kreuzung und nicht pro Zufahrt war, wurde entschieden, die Variablen auf der Ebene der Objekte auszuwerten.

Beim Vergleich der Kreuzungen auf der Ebene der Objekte mussten natürlich auch die Variablen objektbezogen gestaltet sein. Viele der erhobenen Variablen erfassen jedoch nur Merkmale, die für die einzelnen Zufahrten spezifisch sind, nicht aber für das ganze Objekt. Das hatte zur Folge, dass einige Variablen fallengelassen werden mussten, andere wurden zusammengefasst und auf Nominalskalenniveau umcodiert und wieder andere konnten gemittelt oder summiert und auf das ganze Objekt bezogen werden. Dadurch entstand für die Datenauswertung eine gegenüber der Erhebung veränderte Variablenliste.

3.5.2 Endgültige Variablenliste

Nachfolgend werden Inhalt und Ausprägungen der endgültigen Variablenliste dargestellt, wie sie aufgrund der nötigen Datenreduktion (Kap. III.3.5.1) zustande gekommen ist. Alle Variablen beziehen sich jetzt auf ein Objekt als ganzes:

a) Beampelung

- *Art der Beampelung*: Vollgrün, Grünpeil, gemischt
- *Ampeln über Kopf*: Ist an irgendeiner der Zufahrten eine Überkopf-Ampel vorhanden? Dichotomes Merkmal: vorhanden/nicht vorhanden
- *Zahl der Ampeln über Kopf*: Wieviele Überkopf-Ampeln sind am Objekt vorhanden?
- *Zahl der Ampeln*: Wieviele Ampeln sind am Objekt vorhanden?
- *Zahl der Zusatzampeln*: Wieviele Zusatzampeln (z.B. für Radfahrer, Bus) gibt es?
- *Zahl der Warnlichter*: Wieviele gelbe Warnlichter (z.B. als Hinweis, dass die Fussgänger mit dem Fahrzeugstrom im Konflikt sind) sind vorhanden?
- *Summe aller Lichter*: Summe von Ampeln und Zusatzampeln
- *Rotlicht-Überwachung*: Ist eine Anlage installiert, welche die Rotlicht-Missachtungen registriert? Dichotomes Merkmal: vorhanden/nicht vorhanden

b) Konflikte

- *Total der Konflikte*: Summe der möglichen Verkehrsströme im Konflikt, die sich aufgrund der Ampelsteuerung ergeben
- *Total der Konflikte zwischen Fahrzeugen*: Summe der möglichen Fahrzeugströme im Konflikt
- *Total der Konflikte zwischen Fahrzeugen und Fussgängern*: Summe der möglichen Konflikte zwischen Fahrzeugen und Fussgängern

c) Fahrspuren

- *Zahl der Fahrspuren in der Zufahrt*: Zahl der Fahrspuren in der Zufahrt, d.h. ab Erkennungsdistanz der LSA
- *Zahl der Fahrspuren am Knoten*: Zahl der Fahrspuren am Knoten, d.h. direkt an der LSA
- *Unterschiedliche Anzahl Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten*: Ist an irgendeiner Zufahrt die Zahl der Fahrspuren von Knoten und Zufahrt verschieden? Dichotomes Merkmal: verschieden/nicht verschieden
- *Andere Spuren*: Gibt es im Bereich von Zufahrt oder Knoten andere Spuren wie z.B. Busspur, Radspur? Dichotomes Merkmal: vorhanden/nicht vorhanden
- *Mittlere Spurbreite*: Wie gross ist die mittlere Spurbreite (gemessen in Metern und Zentimetern) aller Spuren am Objekt?

d) Signalisation und Wegweisung

- *Zahl der Signale am Knoten:* Zahl der Verkehrssignale direkt im Bereich der LSA
- *Zahl der Signale in der Zufahrt:* Zahl der Verkehrssignale in der Zufahrt, d.h. ab Erkennungsdistanz der LSA
- *Summe der Signale am Knoten und in der Zufahrt:* Zahl aller Verkehrssignale ab Erkennungsdistanz bis und mit Knoten
- *Zahl der Wegweiser am Knoten:* Zahl der Wegweiser direkt im Bereich der LSA
- *Zahl der Wegweiser in der Zufahrt:* Zahl der Wegweiser in der Zufahrt, d.h. ab Erkennungsdistanz der LSA
- *Summe aller Wegweiser am Knoten und in der Zufahrt:* Zahl aller Wegweiser ab Erkennungsdistanz bis und mit Knoten
- *Summe Wegweiser und Signale:* Zahl aller Wegweiser und Signale an Knoten und in Zufahrt

e) Wahrnehmung

- *Erkennungsdistanz:* Kleinste Distanz aller Zufahrten, ab der die LSA gesehen wird, gemessen in Metern. Distanzen von mehr als 200 m wurde der Maximalwert 200 zugeordnet.
- *Ort der LSA im visuellen Gesichtsfeld:* Diese Variable misst, ob die LSA immer im zentralen visuellen Gesichtsfeld liegt, oder ob sie z.B. wegen Krümmungen in der Linienführung eher peripher wahrgenommen wird. Dichotomes Merkmal: immer zentral/nicht immer zentral
- *Sichtweite für Abbiegende:* Kann die Sichtweite für abbiegende Fahrzeuglenker an irgendeiner Zufahrt problematisch gering sein? Dichotomes Merkmal: problematisch/unproblematisch
- *Sichtbehinderung durch Abbiegende:* Können durch wartende abbiegende Fahrzeuge an irgendeiner der Zufahrten Sichtbehinderungen entstehen? Dichotomes Merkmal: möglich/nicht möglich

f) Unfälle

- *Unfalltotal:* Total der Unfälle am Objekt bei eingeschaltetem Ampelbetrieb
- *Unfälle mit Verunfallten:* Zahl der Unfälle, die verletzte oder getötete Personen zur Folge hatten
- *Unfälle mit Sachschaden:* Zahl der Unfälle, die lediglich Sachschaden zur Folge hatten
- *Verletzte:* Zahl der bei Unfällen Verletzten, aber nicht getöteten Personen
- *Getötete:* Zahl der bei Unfällen getöteten Personen
- *Verunfallte:* Zahl aller bei Unfällen verletzten und getöteten Personen

g) Andere Variablen

- *Geschwindigkeit:* Höchste an einer der Zufahrten erlaubte Geschwindigkeit in km/h

- *Aufweitung*: Ist im Bereich der LSA eine Verbreiterung/Aufweitung der Strasse feststellbar?
Dichotomes Merkmal: ja/nein
- *DTV*: Durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge, summiert über alle Zufahrten

Verschiedene Variablen, die ursprünglich erhoben wurden, mussten eliminiert werden: Die Minimal- und Maximal-Grünzeit, weil nur von wenigen Objekten bekannt; die Dauer ohne LSA-Betrieb pro Woche, weil sich alle Daten nur auf den Betrieb beziehen; andere Variablen wie z.B. Ampelgrösse, Höhe der Überkopf-Ampeln über Boden, Art der Frontplatte, Zusatz an Frontplatte deshalb, weil die Daten sehr unvollständig waren und zudem keine oder kaum Varianz aufwiesen.

3.6 Resultate

3.6.1 *Das Unfallgeschehen an den untersuchten Objekten*

Unfallbelastete Kreuzungen und Kontrollobjekte unterscheiden sich hinsichtlich der Unfallereignisse deutlich (Tabelle 32). Im Mittel ereigneten sich in den 4 Jahren von 1992 bis 1995 an den gefährlichen Objekten 19.4 Unfälle, an den Kontrollobjekten lediglich 4.6 Unfälle (Mann-Whitney $U = .0$, $Z = -3.77$, $p = .0002$). Was für die Gesamtheit der Unfälle zutrifft, gilt auch für Unfälle mit Verunfallten und mit Sachschaden: Bei den unfallbelasteten Objekten waren im Mittel 6.9 Unfälle solche mit Verunfallten, bei den Kontrollobjekten führten lediglich 1.4 Unfälle zu Verunfallten (Mann-Whitney $U = 13.0$, $Z = -2.80$, $p = .005$). Hinsichtlich der Unfälle mit Sachschaden ist die Differenz mit im Mittel 12.5 Unfällen bei den gefährlichen Objekten gegenüber 3.1 Unfällen bei den Kontrollobjekten ebenfalls hoch signifikant (Mann-Whitney $U = .0$, $Z = -3.77$, $p = .0002$).

Tabelle 32:

Unfallgeschehen 1992 - 1995 an den unfallbelasteten Objekten und den Kontrollobjekten

Unfallbelastete Objekte (Nr. 1-11)	Zahl der Unfälle mit Sachschaden	Zahl der Unfälle mit Verunfallten	Zahl der Unfälle total
1	7	8	15
2	12	15	27
3	7	12	19
4	8	14	22
5	10	3	13
6	16	1	17
7	16	2	18
8	12	2	14
9	23	3	26
10	14	5	19
11	12	11	23
Total	137	76	213
Kontrollobjekte (Nr. 12-20)	Zahl der Unfälle mit Sachschaden	Zahl der Unfälle mit Verunfallten	Zahl der Unfälle total
12	1	1	2
13	4	2	6
14	0	3	3
15	3	1	4
16	2	1	3
17	5	4	9
18	4	0	4
19	4	1	5
20	5	0	5
Total	28	13	41

Anmerkung: Objekt Nr. siehe S. 56/57

Im Gegensatz zu Tabelle 32, wo die Unterschiede auf der Ebene der Unfallereignisse dargestellt wurden, zeigt Tabelle 33 die Differenzen zwischen unfallbelasteten Kreuzungen und Kontrollobjekten auf der Ebene der verunfallten Personen: An den gefährlichen Objekten wurden im Mittel 8.0, an den Kontrollobjekten 1.6 Personen verletzt (Mann-Whitney U = 12.5, Z = -2.84, p = .005), und inklusive der Getöteten ist der Unterschied mit 8.2 Verunfallten (gefährliche Kreuzungen) gegenüber 1.6 an den Kontrollobjekten ebenfalls hoch signifikant (Mann-Whitney U = 11.5, Z = -2.92, p = .004). Hingegen zeigt sich zwischen unfallbelasteten und unfallfreien Objekten auf-

grund der geringen Anzahl kein Unterschied bei den tödlich verletzten Personen (Mann-Whitney $U = 40.5$, $Z = -1.31$, $p = .19$).

Tabelle 33:

Verunfallte Personen 1992-1995 an den unfallbelasteten Objekten und den Kontrollobjekten

Unfallbelastete Objekte (Nr. 1-11)	Zahl der verletzten Personen	Zahl der getöteten Personen	Zahl der Verunfallten total
1	8	0	8
2	22	0	22
3	11	1	12
4	16	0	16
5	4	0	4
6	1	0	1
7	2	0	2
8	3	1	4
9	3	0	3
10	6	0	6
11	12	0	12
Total	88	2	90
Kontrollobjekte (Nr. 12-20)	Zahl der verletzten Personen	Zahl der getöteten Personen	Zahl der Verunfallten total
12	1	0	1
13	2	0	2
14	4	0	4
15	1	0	1
16	1	0	1
17	4	0	4
18	0	0	0
19	1	0	1
20	0	0	0
Total	14	0	14

Anmerkung: Objekt Nr. siehe S. 58/59

Die deutlichen Unterschiede im Unfallgeschehen - sowohl auf der Ebene der Ereignisse als auch auf derjenigen der verunfallten Personen - zwischen den Objektgruppen belegen, dass die Zuordnung der einzelnen Kreuzungen zur Gruppe der unfallbelasteten und unfallfreien Objekte nicht zufallsbedingt ist.

3.6.2 Anlagentechnische und andere Variablen

a) Beampelung

- *Art der Beampelung:* Bei den unfallbelasteten Objekten sind alle Arten der Beampelung (Vollgrün, Grünpfeil, gemischt) etwa gleich häufig vertreten, bei den Kontrollobjekten sind gemischte mit Grünpfeil und Vollgrün am häufigsten (Tabelle 34). Die unfallbelasteten Objekte unterscheiden sich jedoch von den Kontrollobjekten nicht signifikant (Chi-Quadrat = 2.27, $df = 2$, $p = .32$).

Tabelle 34:

Art der Beampelung an den unfallbelasteten Objekten und an den Kontrollobjekten (Häufigkeiten)

Art der Beampelung	Unfallbelastete Objekte	Kontrollobjekte	Total
Vollgrün	4	3	7
Grünpfeil	4	1	5
gemischt	3	5	8
Total	11	9	20

- *Ampeln über Kopf:* Sowohl bei den unfallbelasteten Objekten als auch den Kontrollobjekten sind jeweils rund bei der Hälfte der Anlagen Überkopf-Ampeln vorhanden. Die beiden Objektgruppen unterscheiden sich somit nicht signifikant voneinander (Chi-Quadrat = .002, $df = 1$, $p = .96$).
- *Zahl der Ampeln über Kopf:* Die Anlagen mit hoher Unfallbelastung weisen insgesamt gleich viele Überkopf-Ampeln auf wie die Kontrollobjekte (je 1.1), weshalb keine signifikanten Unterschiede gefunden werden (Mann-Whitney $U = 46.5$, $Z = -.24$, $p = .81$).
- *Zahl der Ampeln:* Im Mittel stehen an den Kontrollobjekten fast 9 Ampeln an den 4 Zufahrten, an den gefährlichen mit 9.6 etwas mehr. Es liegt jedoch kein signifikanter Unterschied vor (Mann-Whitney $U = 39.0$, $Z = -.82$, $p = .41$).
- *Zahl der Zusatzampeln:* Die Kontrollobjekte weisen zwar mit einem Mittelwert von 6.2 deutlich mehr Zusatzampeln (z.B. für Radfahrer, Fussgänger) auf als die unfallbelasteten Objekte mit 3.5, der Unterschied ist jedoch lediglich tendenziell signifikant (Mann-Whitney $U = 27.0$, $Z = -1.73$, $p = .095$).
- *Zahl der Warnlichter:* An den unfallbelasteten Anlagen sind im Mittel nicht ganz 3 gelbe Warnlichter (z.B. als Warnung für Rechtsabbiegende, dass Fussgänger ebenfalls "grün" haben), bei den Kontrollobjekten etwas mehr als 5 vorhanden. Dieser Unterschied ist tendenziell signifikant (Mann-Whitney $U = 26.0$, $Z = -1.81$, $p = .08$).

- *Summe aller Lichter:* Die Kontrollobjekte weisen mit einem mittleren Total an Ampeln und Zusatzampeln von rund 16 deren 3 mehr auf als die gefährlichen Anlagen mit 13. Dieser Unterschied ist tendenziell signifikant (Mann-Whitney $U = 24.5$, $Z = -1.91$, $p = .06$).
- *Rotlicht-Überwachung:* Insgesamt sind an den 20 Kreuzungen lediglich 4 Rotlicht-Überwachungskameras installiert, wovon je deren 2 an den Kontrollobjekten und den unfallbelasteten Objekten (Chi-Quadrat = .05, $df = 1$, $p = .82$).

b) Konflikte

- *Total der Konflikte:* An den Kontrollobjekten sind im Mittel 4.7 Konflikte zwischen verschiedenen Fahrzeugen sowie Fahrzeugen und Fussgängern möglich, an den unfallbelasteten Anlagen mit 5.1 etwas mehr, was aber statistisch nicht bedeutsam ist (Mann-Whitney $U = 46.0$, $Z = -.27$, $p = .79$).
- *Total der Konflikte zwischen Fahrzeugen:* An den gefährlichen Anlagen sind im Mittel 1.7 Konflikte zwischen Fahrzeugen möglich, was ungefähr doppelt so viel ist wie an den Kontrollobjekten mit 0.9 Konflikten. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant (Mann-Whitney $U = 39.0$, $Z = -.83$, $p = .40$).
- *Total der Konflikte zwischen Fahrzeugen und Fussgängern:* Im Gegensatz zu den Konflikten zwischen verschiedenen Fahrzeugen weisen Kontrollobjekte und unfallbelastete Objekte bei den Konflikten zwischen Fahrzeugen und Fussgängern mit im Mittel 3.8 bzw. 3.4 ungefähr gleich viele Konflikte auf. Der geringe Unterschied ist nicht signifikant (Mann-Whitney $U = 45.0$, $Z = -.35$, $p = .73$).

c) Fahrspuren

- *Zahl der Fahrspuren in der Zufahrt:* Kontrollobjekte und unfallbelastete Anlagen weisen mit je etwas mehr als 4 Spuren im Mittel in der Zufahrt eine praktisch identische Anzahl auf (Mann-Whitney $U = 49.5$, $Z = .00$, $p = 1.00$).
- *Zahl der Fahrspuren am Knoten:* Bei den unfallbelasteten Kreuzungen sind direkt am Knoten mit einem Mittelwert von 6.6 etwas mehr Spuren vorhanden als bei den Kontrollobjekten mit 5.8 Spuren, allerdings nicht signifikant (Mann-Whitney $U = 35.5$, $Z = -1.10$, $p = .27$).
- *Unterschiedliche Anzahl Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten:* Bei 9 von 11 unfallbelasteten Objekten ist die Zahl der Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten verschieden, während dies bei den Kontrollobjekten nur bei der Hälfte der Anlagen der Fall ist. Trotz dieses grossen Unterschiedes liegt lediglich ein tendenziell signifikanter Effekt vor (Chi-Quadrat = 3.04, $df = 1$, $p = .08$).
- *Andere Spuren:* Die Kontrollobjekte weisen bei 5 von 9 Kreuzungen zusätzlich andere Spuren auf, die unfallbelasteten bei 6 von 11. Der Unterschied ist nicht signifikant (Chi-Quadrat = .00, $df = 1$, $p = .96$).

- *Mittlere Spurbreite:* Im Mittel ist eine Spur an einem unfallbelasteten Objekt 3.08 m breit, an einem Kontrollobjekt hingegen 3.24 m. Statistisch ist dieser Unterschied nicht signifikant (Mann-Whitney $U = 34.0$, $Z = -1.18$, $p = .24$).

d) Signalisation und Wegweisung

- *Zahl der Signale am Knoten:* Bei den unfallbelasteten Objekten sind direkt am Knoten im Mittel 6.2 Signale vorhanden, bei den Kontrollobjekten 6.0. Der Unterschied ist nicht signifikant (Mann-Whitney $U = 47.0$, $Z = -.19$, $p = .85$).
- *Zahl der Signale in der Zufahrt:* Die unfallbelasteten Anlagen weisen in der Zufahrt mit einem Wert von 10.5 etwas mehr Signale auf als die Kontrollobjekte mit im Mittel 8.0 Signalen, allerdings liegt kein signifikanter Unterschied vor (Mann-Whitney $U = 33.5$, $Z = -1.22$, $p = .22$).
- *Summe der Signale am Knoten und in der Zufahrt:* Mit rund 17 Signalen haben gefährliche Objekte in Zufahrt und Knoten gegenüber den Kontrollobjekten eine um fast 2 Signale höhere Signaldichte. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant (Mann-Whitney $U = 33.5$, $Z = -1.22$, $p = .22$).
- *Zahl der Wegweiser am Knoten:* Unfallbelastete Objekte weisen mit einem Mittelwert von 16.8 Wegweisern am Knoten rund 7 Wegweiser mehr auf als die Kontrollobjekte mit 9.4. Dieser grosse Unterschied ist tendenziell signifikant (Mann-Whitney $U = 25.0$, $Z = -1.87$, $p = .067$).
- *Zahl der Wegweiser in der Zufahrt:* Im Gegensatz zum Knoten sind in der Zufahrt der Kontrollobjekte mit 4.9 mehr Wegweiser angebracht als bei den gefährlichen Objekten, wo im Mittel deren 1.4 vorhanden sind. Es liegt jedoch kein signifikanter Unterschied vor (Mann-Whitney $U = 30.0$, $Z = -1.56$, $p = .12$).
- *Summe aller Wegweiser am Knoten und in der Zufahrt:* Hinsichtlich der Menge aller Wegweiser in Zufahrt und am Knoten liegen die unfallbelasteten Objekte mit einem Mittelwert von 17.3 Signalen vor den Kontrollobjekten mit 14.3, allerdings nicht bedeutsam (Mann-Whitney $U = 37.0$, $Z = -.95$, $p = .34$).
- *Summe Wegweiser und Signale:* An unfallbelasteten Objekten wirken auf die Fahrzeuglenker im Mittel rund 35 Informationseinheiten in Form von Signalen und Wegweisern ein (Knoten und Zufahrt), an den Kontrollobjekten mit deren 28 ein Fünftel weniger. Dieser Unterschied ist tendenziell signifikant (Mann-Whitney $U = 28.0$, $Z = -1.63$, $p = .10$), wobei angemerkt werden muss, dass das Ergebnis auf den deutlichen Unterschied in der Zahl der Wegweiser am Knoten zurückzuführen sein dürfte.

e) Wahrnehmung

- *Erkennungsdistanz:* Die mittlere minimale Distanz, ab der die LSA erblickt wird, beträgt an den gefährlichen Objekten 125 m, an den Kontrollobjekten 93 m. An letzteren wird demnach die LSA etwas später erkannt als an den unfallbelasteten Objekten, jedoch nicht signifikant (Mann-Whitney $U = 32.5$, $Z = -1.30$, $p = .20$).

- *Ort der LSA im visuellen Gesichtsfeld:* Bei den unfallbelasteten Objekten ist die LSA mit Ausnahme von 1 Kreuzung immer im zentralen visuellen Gesichtsfeld zu sehen, bei den Kontrollobjekten in 7 von 9 Fällen. Es liegt kein signifikanter Unterschied vor (Chi-Quadrat = .67, df = 1, p = .41).
- *Sichtweite für Abbiegende:* Bei den gefährlichen Kreuzungen ist die Sichtweite für abbiegende Fahrzeuge bei 4 von 11 Objekten, bei den Kontrollobjekten bei 2 von 9 Anlagen als problematisch zu betrachten. Es liegt kein signifikanter Unterschied zwischen den Objektgruppen vor (Chi-Quadrat = .47, df = 1, p = .49).
- *Sichtbehinderung durch Abbiegende:* Eine Sichtbehinderung durch wartende abbiegende Fahrzeuge ist bei 7 der 11 unfallbelasteten Objekte und bei 4 der 9 Kontrollanlagen möglich. Dieser geringfügige Unterschied ist nicht signifikant (Chi-Quadrat = .74, df = 1, p = .39).

f) Andere Variablen

- *Geschwindigkeit:* An allen 9 Kontrollobjekten beträgt die erlaubte Höchstgeschwindigkeit 50 km/h, bei den unfallbelasteten Kreuzungen beträgt diese bei 2 Anlagen 60 km/h. Es liegt kein bedeutsamer Unterschied vor (Chi-Quadrat = 1.82, df = 1, p = .18).
- *Aufweitung:* Eine sog. Aufweitung des Knotens weisen 6 der 11 gefährlichen Objekte und 1 der 9 Kontrollobjekte auf. Die beiden Objektgruppen unterscheiden sich signifikant (Chi-Quadrat = 4.10, df = 1, p = .04).
- *DTV:* Im Mittel passieren pro Tag rund 40'000 Fahrzeuge die unfallbelasteten Kreuzungen und 35'000 die Kontrollanlagen. Der Unterschied ist nicht signifikant (Mann-Whitney U = 8.0, Z = -.26, p = .80), wobei angemerkt werden muss, dass der DTV insgesamt nur von 9 Objekten bekannt war (6 belastete und 3 unbelastete Objekte).

3.6.3 Zusammenfassung der bisherigen Resultate

Die Auswertungen haben gezeigt, dass sich unfallbelastete Objekte und Kontrollobjekte hinsichtlich der erhobenen Merkmale nur geringfügig unterscheiden. Insbesondere ergaben sich keine signifikanten Differenzen bezüglich derjenigen Variablen, von denen ein starker Einfluss auf die Unfallhäufigkeit hätte erwartet werden können: Weder die Art der Beampelung (Vollgrün, Grünfeil, gemischt), noch die Zahl der möglichen Konfliktströme und die Verkehrsmenge spielen für das Ausmass des Unfallgeschehens eine bedeutende Rolle. Insgesamt differiert lediglich ein einziges Merkmal relativ gut zwischen gefährlichen und ungefährlichen Kreuzungen, nämlich die Variable "Aufweitung": Knotenaufweitungen sind an unfallbelasteten Objekten signifikant häufiger zu finden als an Objekten mit wenigen Unfällen. Ansonsten existieren nur tendenzielle Unterschiede, die sich vor allem auf die beiden Merkmalsgruppen "Anzahl Ampeln und Zusatzlichter" und "Anzahl Wegweiser und Signale" beziehen: So weisen unfallfreie Kreuzungen mehr Zusatzampeln, Warn-

lichter und überhaupt Lichter auf als unfallbelastete Kreuzungen (wobei diese Merkmale voneinander abhängig sind), und auch in der Zahl der Wegweiser am Knoten sowie der Wegweiser und Signale am Objekt übertreffen die Kontrollobjekte die unfallbelasteten Kreuzungen (wobei auch hier eine Abhängigkeit der Variablen besteht). Zudem hat sich gezeigt, dass bei den gefährlichen Anlagen häufiger als bei den ungefährlichen die Zahl der Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten verschieden ist.

3.6.4 Diskriminanzanalytische Auswertungen

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, anhand des Unterschieds im Unfallgeschehen an lichtsignalgesteuerten Kreuzungen Merkmale zu finden, die sowohl Hinweise für Sanierungsmassnahmen geben als auch prognostisch eingesetzt werden können, z.B. für neu zu bauende Anlagen mit LSA. Die bisherigen Auswertungen haben gezeigt, welche Merkmale geeignet sind, um unfallbelastete und unfallfreie Kreuzungen unterscheiden zu können. Diese Resultate sind zwar dienlich und weisen auf gewisse Trends hin, durch die univariate Prüfung aller Variablen wurden jedoch keine Zusammenhänge der Merkmale untereinander berücksichtigt, die zweifellos vorhanden sind. Zudem taugen die gefundenen Variablen zwar als Unterscheidungsmerkmal zwischen gefährlichen und ungefährlichen Objekten, nicht aber als Teil eines prognostischen Instruments, weil aufgrund der Mittelwertsunterschiede der Merkmale allein noch keine Klassifikation in sichere oder unsichere Anlagen möglich ist.

Damit ein Prognosemodell entwickelt werden kann, das den Beitrag und die Bedeutung der einzelnen Merkmale misst, wird die Diskriminanzanalyse als statistisches Verfahren gewählt. Mit Hilfe dieser Methode wird die Frage beantwortet, ob es eine mathematische Funktion gibt, die durch eine Kombination aus anlagespezifischen Merkmalen eine optimale Trennung von gefährlichen und ungefährlichen Kreuzungen gewährleistet. Die Voraussetzungen zur Anwendung der Diskriminanzanalyse sind nicht vollumfänglich erfüllt. Gemäss NORUSIS (1994) gilt jedoch "... the function has been shown to perform fairly well in a variety of other situations". Um den Aufwand für zukünftige Objektbeurteilungen gering zu halten, soll die angestrebte optimale Trennung durch einen möglichst kleinen Variablensatz erreicht werden.

Der erste Schritt des Verfahrens besteht im Auffinden der Diskriminanzgleichung, in der mehrere Variablen zu einem Index summiert werden. Diese Gleichung dient als Basis für die Zuordnung der Fälle (Kreuzungen) zur einen oder anderen Gruppe (unfallbelastete Objekte und Kontrollobjekte) und hat die Form

$$D = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n ,$$

wobei X für die Variablenwerte und B für die zu berechnenden Funktionswerte stehen. Sofern eine Gleichung gefunden wird, mit der unfallbelastete und -unbelastete Kreuzungen unterschieden werden können, müssen sich die Kreuzungen beider Gruppen im Index D unterscheiden.

Damit nicht alle erhobenen Variablen in die Berechnung eingehen, sondern nur diejenigen mit optimaler Trennschärfe, wurde in der Prozedur die Option des schrittweisen Hinzufügens gewählt, d.h. nur Merkmale, die einen bestimmten F-Wert (3.84; 5-Prozent-Signifikanzniveau bei 1 Freiheitsgrad) übertrafen, gingen schrittweise in die Diskriminanzgleichung ein, wobei nach jedem ausgeführten Schritt die F-Werte neu berechnet werden (die Variable "DTV" wurde wegen der vielen fehlenden Angaben aus der Analyse ausgeklammert). Die Ausgangslage, bevor mit dem ersten Schritt die erste Variable in die Gleichung eingefügt wird, zeigt Tabelle 35. Der F-Wert, der als Kriterium für die Berücksichtigung eines Merkmals dient, entspricht dem Wert des F-Tests beim Vergleich von Gruppenmittelwerten. Wilks' Lambda ist ein Mass der nicht aufgeklärten Varianz im Kriterium; hohe F-Werte haben kleine Wilks' Lambda-Werte zur Folge, d.h. Merkmale mit kleinen Wilks' Lambda weisen einen geringen Anteil nicht aufgeklärter Varianz und somit eine hohe Trennschärfe auf. Die Ausgangslage zeigt, dass die Variable "Zahl der Wegweiser am Knoten" mit $\text{Lambda} = .77$ am besten zwischen den Gruppen trennt und demzufolge als erste Variable in die Diskriminanzfunktion eingehen wird.

Tabelle 35:
Ausgangslage für die Diskriminanzanalyse vor Schritt 1

Merkmals	F-Wert	Wilks' Lambda
Art der Beampelung	.6040	.9675
Ampeln über Kopf	.0018	.9999
Zahl der Ampeln über Kopf	.0013	.9999
Zahl der Ampeln	.3048	.9833
Zahl der Zusatzampeln	3.3202	.8442
Zahl der Warnlichter	4.1630	.8122
Summe aller Lichter	2.3610	.8840
Rotlicht-Überwachung	.0456	.9975
Total der Konflikte	.0519	.9971
Total der Konflikte zwischen Fahrzeugen	1.5249	.9219
Total der Konflikte zwischen Fahrzeugen und Fussgängern	.0888	.9951
Zahl der Fahrspuren in der Zufahrt	.2200	.9880
Zahl der Fahrspuren am Knoten	.9370	.9505
Unterschiedliche Anzahl Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten	3.2254	.8480
Andere Spuren	.0018	.9999
Mittlere Spurbreite	.9514	.9498
Zahl der Signale am Knoten	.0344	.9981
Zahl der Signale in der Zufahrt	1.5942	.9186
Summe der Signale am Knoten und in der Zufahrt	1.5011	.9230
Zahl der Wegweiser am Knoten	5.3480	.7709
Zahl der Wegweiser in der Zufahrt	4.1097	.8141
Summe aller Wegweiser am Knoten und in der Zufahrt	.6812	.9635
Summe Wegweiser und Signale	2.4217	.8814
Erkennungsdistanz	2.1958	.8913
Ort der LSA im visuellen Gesichtsfeld	.6234	.9665
Sichtweite für Abbiegende	.4345	.9764
Sichtbehinderung durch Abbiegende	.6883	.9632
Geschwindigkeit	1.8000	.9091
Aufweitung	4.6483	.7948

Nachdem alle Schritte der Prozedur durchgeführt wurden, bis kein Merkmal mehr einen F-Wert > 3.84 erreicht hatte, verblieben 9 Variablen, die schliesslich in die Diskriminanzgleichung eingingen (Tabelle 36). Die unstandardisierten Diskriminanzfunktions-Koeffizienten stellen die Werte dar, die verwendet werden, wenn die Diskriminanzfunktion mit den Rohwerten der Merkmale berechnet wird. Da die Variablen jedoch unterschiedliche Skalenbreiten aufweisen, geben die unstandardisierten Koeffizienten keine Auskunft über die relative Bedeutung der einzelnen Merkmale (relativ deshalb, weil die Variablen untereinander korrelieren und einem einzelnen Merkmal deshalb keine absolute Bedeutung beigemessen werden kann). Erst durch eine z-Standardisierung der Variablen mit Mittelwert = 0 und Standardabweichung = 1 kann der Beitrag eines Merkmals zur Diskriminanzfunktion abgeschätzt werden. Hohe standardisierte Koeffizienten, wie diese bei den Variablen "Zahl der Wegweiser am Knoten", "Summe Wegweiser und Signale" und "Unterschiedliche Anzahl Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten" auftreten, stehen für die grosse Wichtigkeit der Merkmale für die Diskriminanzfunktion. Die unterschiedlichen Vorzeichen geben an, ob die entsprechende Variable zu einem hohen (+) oder tiefen (-) Funktionswert D führt; tiefe Werte gehen mit hoher Unfallbelastung einher (Gruppenwert 1), hohe Werte mit wenigen Unfällen (Kontrollobjekte mit Gruppenwert 2). So verkleinern insbesondere die Merkmale "Zahl der Wegweiser am Knoten" und "Zahl der Signale am Knoten" den Funktionswert, d.h., eine grosse Zahl von Wegweisern und Signalen am Knoten verkleinert den Funktionswert stark, was auf eine hohe Unfallbelastung der Anlage schliessen lässt.

Tabelle 36:

Standardisierte und unstandardisierte Diskriminanzfunktions-Koeffizienten

Merkmale	Diskriminanzfunktions-Koeffizienten	
	unstandardisiert	standardisiert
Zahl der Warnlichter	1.2225	3.7433
Zahl der Fahrspuren am Knoten	1.2602	2.4870
Unterschiedliche Anzahl Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten	9.1767	4.2488
Andere Spuren	4.4140	2.3146
Mittlere Spurbreite	4.6109	1.6361
Zahl der Signale am Knoten	-.9301	-2.0287
Zahl der Wegweiser am Knoten	-1.0516	-7.4602
Summe Wegweiser und Signale	.5428	5.3144
Sichtbehinderung durch Abbiegende	4.1700	2.1461
Konstante	-49.5566	-----

Durch Multiplikation der unstandardisierten Diskriminanzfunktions-Werte mit den Rohwerten der Merkmale wird der Diskriminanz-Wert aller Anlagen (D_1 bis D_{20}) errechnet. Zur Veranschaulichung sei nachfolgend diese Berechnung für die Objekte Nr. 3 (unfallbelastet) und Nr. 16 (wenig Unfälle) dargestellt. Grundlage bilden die Werte aus der Rohwert-Tabelle (Ausschnitt; Tabelle 37).

Tabelle 37:

Rohwerte der Merkmale für die Objekte Nr. 3 und Nr. 16

Merkmale	Objekt Nr. 3	Objekt Nr. 16
Zahl der Warnlichter	5	6
Zahl der Fahrspuren am Knoten	8	4
Unterschiedliche Anzahl Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten	1	2
Andere Spuren	1	1
Mittlere Spurbreite	2.91	3.00
Zahl der Signale am Knoten	7	6
Zahl der Wegweiser am Knoten	25	4
Summe Wegweiser und Signale	50	25
Sichtbehinderung durch Abbiegende	2	1

Beispielhafte Diskriminanzgleichungen für die Objekte Nr. 3 und Nr. 16:

$$D_3 = -49.5566 + (1.2225)(5) + (1.2602)(8) + (9.1767)(1) + (4.4140)(1) + (4.6109)(2.91) + (-.9301)(7) + (-1.0516)(25) + (.5428)(50) + (4.1700)(2) = -3.68$$

$$D_{16} = -49.5566 + (1.2225)(6) + (1.2602)(4) + (9.1767)(2) + (4.4140)(1) + (4.6109)(3.00) + (-.9301)(6) + (-1.0516)(4) + (.5428)(25) + (4.1700)(1) = 7.37$$

Aufgrund der für alle Kreuzungen errechneten Diskriminanzwerte ordnet das Berechnungsmodell die Anlagen einer der beiden Objektgruppen (unfallbelastete Objekte/Kontrollobjekte) zu und vergleicht diese Zuordnung mit der tatsächlichen Einteilung, die aufgrund der Unfallhäufigkeit apriori gebildet wurde. Dadurch lässt sich erkennen, inwieweit das Modell mit den eingegangenen Variablen unfallbelastete und -unbelastete lichtsignalgesteuerte Kreuzungen korrekt vorhersagen kann. Aus Tabelle 38 geht hervor, dass mit den vorgeschlagenen Merkmalen und den entsprechenden Diskriminanzwerten die Kreuzungen zu 100 Prozent richtig klassifiziert werden. Der Mittelwert der Diskriminanzwerte beträgt für die Gruppe der unfallbelasteten Objekte -5.1569, für diejenige der Kontrollobjekte 6.029. Dieser grosse Unterschied (Wilks' Lambda = .0269, Chi-Quadrat = 48.789, df = 9, p = .0000) lässt es sehr unwahrscheinlich erscheinen, dass gefährliche Kreuzungen auf der Diskriminanzfunktion die gleichen Mittelwerte aufweisen wie die Kontrollobjekte. Der Grenzwert, oberhalb desjenigen eine LSA aufgrund der Diskriminanzfunktion als sicher und unter-

halb als unsicher eingestuft wird, liegt bei etwa + 0.5. Je näher der Diskriminanzwert einer Anlage bei diesem Grenzwert liegt, desto grösser wird die Unsicherheit, dass dieses Objekt der richtigen Kategorie (unfallbelastet/nicht unfallbelastet) zugeordnet ist (was aber hier nicht der Fall ist).

Tabelle 38:

Klassifikation der Objekte und zugehörige Diskriminanzwerte

Objekt-Nr.	Apriori-Einteilung (1 = unfallbelastet 2 = unbelastet)	Einteilung aufgrund des Diskriminanzmo- dells	Diskriminanzwert
1	1	1	-5.9296
2	1	1	-4.6963
3	1	1	-3.6762
4	1	1	-4.2277
5	1	1	-4.9938
6	1	1	-4.9310
7	1	1	-5.6830
8	1	1	-4.4411
9	1	1	-6.8065
10	1	1	-5.4456
11	1	1	-5.8951
12	2	2	6.0697
13	2	2	5.9420
14	2	2	4.3980
15	2	2	6.3893
16	2	2	7.3718
17	2	2	6.5117
18	2	2	5.2664
19	2	2	6.5281
20	2	2	8.2488

3.6.5 *Interpretation der Resultate*

Werden die 9 Merkmale, die in die Diskriminanzfunktion eingegangen sind, näher betrachtet, so zeigt sich folgendes: Es gibt zwei grosse Variablenkomplexe, anhand derer sich lichtsignalgesteuerte Kreuzungen in gefährliche und ungefährliche Anlagen unterteilen lassen, nämlich anhand von Merkmalen der Fahrspuren und von Merkmalen der Signalisation und Wegweisung. Werden noch die beiden restlichen bedeutsamen Variablen (Zahl der Warnlichter, Sichtbehinderung durch Abbiegende) hinzugenommen, können alle Merkmale unter den Aspekt der Komplexität subsumiert werden. Es ist zu vermuten, dass Merkmale wie die Signalisationsdichte (Wegweiser, Signale), die unterschiedliche Anzahl Fahrspuren in der Zufahrt und am Knoten, separate Spuren für andere Verkehrsteilnehmer sowie Sichtbehinderungen die Menge der aufzunehmenden Informationen erhöhen, dadurch die Informationsaufnahme erschweren und somit die Fahraufgabe komplexer machen, z.B. durch Spurwechsel. Demgegenüber scheint es komplexitätsvermindernde Reize zu geben wie etwa die gelben Warnlichter und breite Fahrspuren, welche die Fahraufgabe erleichtern. Generell lässt sich sagen, dass sich unfallbelastete Anlagen eher durch hohe Werte auf den komplexitätserhöhenden, ungefährliche Objekte durch hohe Werte auf den komplexitätsvermindernden Merkmalen auszeichnen.

3.6.6 *Fazit*

Aufgrund der Auswertungen ist zu vermuten, dass den Verkehrsingenieuren zur Beurteilung von lichtsignalgesteuerten vierarmigen Kreuzungen ein relativ einfaches Instrument an die Hand gegeben werden kann, das lediglich 9 anlagetechnische Merkmale berücksichtigt. Durch entsprechende Verrechnung dieser Merkmale sollte entschieden werden können, ob eine sich in Planung befindliche Anlage (für die das Unfallgeschehen noch unbekannt ist) gefährlich oder sicher ist. Bei bestehenden Anlagen mit hoher Unfallbelastung geben die Ausprägungen der untersuchten Merkmale Hinweise für Sanierungsmassnahmen.

Das Instrument basiert auf der durchgeführten diskriminanzanalytischen Berechnung und hat folgendes Aussehen:

$$\begin{aligned} D = & + (1.2225) \text{ (Zahl der Warnlichter)} \\ & + (1.2602) \text{ (Zahl der Fahrspuren am Knoten)} \\ & + (9.1767) \text{ (Unterschiedliche Anzahl Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten: Wert 1 für unterschiedliche Anzahl, Wert 2 für gleiche Anzahl)} \\ & + (4.4140) \text{ (Andere Spuren: Wert 1 für das Vorhandensein anderer Spuren, Wert 2 für das Fehlen anderer Spuren)} \\ & + (4.6109) \text{ (Mittlere Spurbreite)} \\ & + (.5528) \text{ (Summe der Wegweiser und Signale in der Zufahrt und am Knoten)} \\ & + (4.1700) \text{ (Sichtbehinderung durch wartende abbiegende Fahrzeuge: Wert 1 für mögliche Sichtbehinderung, Wert 2 für keine Sichtbehinderung)} \\ & - (.9301) \text{ (Zahl der Signale am Knoten)} \\ & - (1.0516) \text{ (Zahl der Wegweiser am Knoten)} \\ & - 49.5566 \text{ (dieser Wert geht als Konstante ein)} \end{aligned}$$

Ergibt D einen Wert < 0.5 , müsste die beurteilte Kreuzung eine überdurchschnittlich hohe Unfallbelastung aufweisen.

IV. DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. Methodenkritik

Die Untersuchung von lichtsignalgesteuerten Kreuzungen bot gewisse Schwierigkeiten, die auf unterschiedliche Gründe zurückgehen. Ein erstes Problem bestand darin, dass in dieser Studie ein hypothesengeleitetes Vorgehen nicht möglich war. Daher musste eine grosse Anzahl Variablen erhoben und ein Instrument mit entsprechender Operationalisierung gestaltet werden.

Die Rahmenbedingungen haben lediglich eine Analyse von 20 Kreuzungen zugelassen, was angesichts der Tatsache, dass diese zusätzlich in je rund 10 unfallbelastete und annähernd unfallfreie Anlagen unterteilt wurden, als sehr kleine Stichprobe bewertet werden muss. Eine Verallgemeinerung auf lichtsignalgesteuerte Kreuzungen ist ohne zusätzliche Überprüfung an weiteren Objekten deshalb nicht möglich.

Das Untersuchungsdesign mit unfallbelasteten und -unbelasteten Kreuzungen hat den Nachteil, dass die Unfallhäufigkeit als Kriterium zur Unterscheidung eingeht. Bei diesem Kriterium stellt sich die Frage, inwiefern zufällige Schwankungen das Ergebnis, ob eine Anlage hoch oder gering belastet ist, beeinflussen. Dies spielt insbesondere bei kurzen Zeiträumen eine Rolle. Ein kurzer Zeitraum von lediglich 4 Jahren wurde auch in der vorliegenden Studie gewählt, um bauliche und anlagentechnische Veränderungen der Anlagen möglichst auszuschliessen. Damit den Zufallsschwankungen kein allzu grosses Gewicht zukam, wurde das Unterscheidungskriterium mit 13 Unfällen in 4 Jahren relativ hoch angesetzt. Die mittlere Unfallhäufigkeit an den belasteten Kreuzungen war denn auch mit rund 20 Unfällen hoch signifikant grösser als an den unbelasteten Objekten mit rund 5 Unfällen, wodurch Zufallseffekte ausgeschlossen werden können.

Eine weitere Schwierigkeit bestand darin, dass alle Variablen für 4 Zufahrten erhoben wurden, das Unfallgeschehen jedoch nicht pro Zufahrt, sondern nur pro Objekt insgesamt vorlag. Dadurch musste auch in der Studie ein Vergleich auf der Ebene der Objekte, nicht auf derjenigen der Zufahrten, vorgenommen werden. Dies wiederum hatte zur Folge, dass die erhobenen Merkmale auf die einzelnen Objekte als ganzes bezogen werden mussten, was zum Teil problematisch war, weil sich durch die Mittelwertbildung Unterschiede zwischen den Zufahrten verkleinert haben.

Insgesamt hat sich das Vorgehen bewährt, wobei angemerkt werden muss, dass die Generalisierbarkeit nicht gewährleistet ist. Damit eine Verallgemeinerung möglich wäre, müsste das entwickelte Instrument an einer grossen Stichprobe von lichtsignalgesteuerten Kreuzungen überprüft werden.

2. Schlussfolgerungen

Lichtsignalanlagen stellen eine Knotenform dar, bei der ein Kompromiss zwischen Leistungsfähigkeit und Sicherheit angestrebt werden muss, weil sich nicht beide Ziele gleichzeitig maximal verwirklichen lassen. So ereignen sich an bestimmten Lichtsignalanlagen trotz optimierter Sicherheit durch Erfüllung technischer Normen Unfälle, an anderen hingegen nicht. Dies lässt den Schluss zu, dass jede LSA das Handeln der Verkehrsteilnehmer in einer anderen Weise beeinflusst, je nach dem, welche Eigenheiten und welches Erscheinungsbild sie aufweist und wie diese von den Verkehrsteilnehmern interpretiert werden. Es ist zwar der Sinn von Lichtsignalanlagen, durch technische Einrichtungen und Ausrüstungen das Verhalten der Verkehrsteilnehmer zu steuern und vorhersehbar zu machen; trotzdem haben diese einen gewissen Spielraum, Handlungsalternativen zu wählen, die nicht immer voraussehbar sind und deshalb die Unfallgefahr erhöhen. So ist davon auszugehen, dass technische Einrichtungen und Ausrüstungen an Lichtsignalanlagen in Bezug auf die Verkehrssicherheit nicht von Grund auf gut oder schlecht sind, sondern sich erst im Zusammenwirken mit weiteren Faktoren als sicher oder unsicher erweisen. Das haben die vorliegende Studie und andere bestätigt. Am Beispiel der LSA-Regelung "Vollgrün" lässt sich dies darlegen: Bei Vollgrün sind Konfliktströme vorhanden und die Regelung wird von vielen Personen fehlerhaft interpretiert, wodurch die Wahrscheinlichkeit von Unfällen grösser sein müsste als an Grünpfeil-Anlagen, was aber nicht unbedingt der Fall ist. Vollgrün wird möglicherweise erst zu einem gravierenden Problem, wenn die Sicht für abbiegende Fahrzeuge eingeschränkt ist, keine Warnlichter vorhanden sind, durch grosse Verkehrsmengen die Zeitlücken klein werden usw. Dasselbe gilt für den Einfluss der Verkehrsmenge: Bei Anlagen, die ein hohes Verkehrsaufkommen aufweisen, sollten Unfälle häufiger sein als bei Anlagen mit wenig Verkehr, was ebenfalls nicht notwendigerweise stimmt. Die Exposition ist demnach kein eindeutiger Prädiktor für die Unfallhäufigkeit, zumindest an Lichtsignalanlagen nicht.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass sich unfallbelastete und -unbelastete Kreuzungen in der Einzelanalyse hinsichtlich gewisser Merkmale signifikant unterscheiden, diese jedoch bei Einbezug anderer Merkmale (zur Entwicklung eines Modells zur Unfallvorhersage mittels der Diskriminanzanalyse) ihre Bedeutung teilweise verlieren, dafür andere Faktoren an Bedeutung gewinnen. Dadurch wurde belegt, dass der Einfluss verschiedener Merkmale im Hinblick auf die Verkehrssicherheit erst in ihrem Zusammenwirken abgeschätzt werden kann. Dies bedeutet auch, dass durch Veränderung eines einzelnen Merkmals das Unfallgeschehen nicht oder nur in geringem Mass beeinflusst werden kann. Die Merkmale, die schliesslich gemeinsam in das Modell zur Unfallprognose eingingen, können unter den Oberbegriff "Komplexität" subsumiert werden. Die Komplexität kann als Mass für die Informationsmenge definiert werden, die auf die Verkehrsteilnehmer an einer

LSA einwirkt und durch welche diese ihre Fahrhandlungen steuern. Hierbei wird davon ausgegangen, dass ein Zuviel an Information oder redundante Information die Aufmerksamkeit der Lenker zu stark in Anspruch nimmt und diese ihre eigentliche Fahraufgabe nur noch bedingt sicher ausüben können. Solche Merkmale wirken komplexitätserhöhend und sind der Sicherheit abträglich. In der Untersuchung haben sich insbesondere die anlagetechnischen Merkmale der Signalisation und Wegweisung als komplexitätserhöhend erwiesen. Demgegenüber kann von komplexitätsvermindernden Reizen gesprochen werden, wenn durch bestimmte Einrichtungen die Informationsverarbeitung und dadurch die Fahraufgabe erleichtert werden. Als Beispiel hierfür kann das Vorhandensein von Warnlichtern, z. B. bei Vollgrünanlagen, genannt werden.

Generell lässt sich sagen, dass lichtsignalgesteuerte Knoten, die grundsätzlich schon komplexe Anlagen darstellen, nicht durch komplizierte und aufmerksamskeitsfordernde Einrichtungen noch komplexer gestaltet werden sollen. Im Gegenteil, den Verkehrsteilnehmern soll durch eine einfache, klar strukturierte LSA-Ausrüstung die Aufgabe erleichtert und deren Handlungen und Absichten dadurch für andere besser vorhersehbar gemacht werden. Es ist allerdings anzumerken, dass es sehr schwierig ist, für die Komplexität betreffende Merkmale exakt definierte Gestaltungsmasse zu formulieren und zu postulieren, wie das in den Normen der Fall ist. Konkrete Empfehlungen können zwar teilweise abgegeben werden, es ist jedoch zu vermuten, dass sich Planer bezüglich des Merkmals Komplexität immer bis zu einem gewissen Grad auf ihr Gefühl werden verlassen müssen und subjektive Bewertungskriterien eine grosse Rolle spielen.

3. Empfehlungen für Bau und Betrieb von Lichtsignalanlagen

Nachfolgend werden bezüglich derjenigen Merkmale, für die sich in der Analyse ein Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen ergeben hat, soweit als möglich konkrete Gestaltungsvorschläge formuliert. Diese zielen durchwegs darauf ab, durch Verminderung der Komplexität die Fahraufgabe für die Lenker zu vereinfachen. An dieser Stelle sei noch einmal deutlich darauf hingewiesen, dass im folgenden zwar die verschiedenen Merkmale separat diskutiert werden, diese aber erst bei gemeinsamer Berücksichtigung durch die Wechselwirkungen einen Einfluss im Hinblick auf das Unfallgeschehen ausüben dürften.

In der Untersuchung hat sich gezeigt, dass eine *unterschiedliche Zahl von Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten* mit höherer Unfallbelastung einhergeht. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass dadurch nötige Spurwechsel eine relativ schwierige Fahraufgabe mit vielen untergeordneten Handlungen (Blick zurück, Zeichen geben, Lenken usw.) darstellen, bei der man gleichzeitig die Fahrhandlungen anderer Verkehrsteilnehmer beobachten und interpretieren sowie die Ampelstellung berücksichtigen muss. Um die Wahrscheinlichkeit von unnötigen und für andere Lenker überraschende Spurwechsel oder andere Manöver zu verringern, soll z.B. durch Vorsignalisation frühzeitig und eindeutig darauf hingewiesen werden, für welche Richtung welche Spur gilt. Des weiteren kann überlegt werden, ob im Knotenbereich eine Spurreduktion möglich ist. Hierbei ist natürlich die Leistungsfähigkeit der LSA sowie die Tatsache zu berücksichtigen, dass sich möglicherweise andere Unfalltypen ereignen.

Etwas widersprüchlich hierzu erscheint das Resultat, wonach eine grosse Anzahl *Spuren am Knoten* mit wenigen Unfällen einhergeht, was auf zwei Effekte zurückzuführen sein dürfte: Einerseits sind bei mehrspurigen Anlagen die Verkehrsströme vor Konflikten im Normalfall geschützt, andererseits ist zu vermuten, dass durch die Mehrspurigkeit die Informationsdichte pro Spur geringer und die Information eindeutiger ist als wenn wenige Spuren vorhanden sind. Dies ist ein Hinweis dafür, dass das Vorliegen mehrerer Spuren nicht zwangsläufig negative Auswirkungen hat, dass es aber klare Vorinformationen in der Zufahrt bezüglich der Spurzuordnung bedingt. Vorteilhafterweise sind diese Vorinformationen hierarchisch gegliedert, so dass am Knoten selbst nur noch wenige, unbedingt nötige Angaben gemacht werden müssen.

Im Kontext der Fahrspuren sind auch die *anderen Spuren (für Radfahrer, Bus usw.)* zu erwähnen, deren Fehlen das Unfallgeschehen positiv, deren Vorhandensein dieses negativ beeinflussen. Vermutlich liegt hier ein Expositionseffekt in dem Sinne vor, dass dort, wo solche Spuren vorhanden sind, auch die Anteile von Verkehrsmitteln des öffentlichen Verkehrs und von Rad-/Mofafahrern entsprechend hoch sind, was die Aufgabe für andere Fahrzeuglenker erschwert. Wo dies zutrifft,

wäre ohne zusätzliche Spuren die Aufgabe mit Sicherheit noch schwieriger, was bedeutet, dass am Primat der Verkehrstrennung festzuhalten ist. Bei getrennten Verkehrsströmen ergeben sich jedoch oft Probleme beim Zusammenführen der Spuren; diese können weitgehend vermieden werden, wenn den Fahrzeugen auf den "Zusatzspuren" konsequent frühzeitig grün gegeben wird. Eine zusätzliche Möglichkeit besteht darin, die Velospuren vor Lichtsignalanlagen auszuweiten.

Im Zusammenhang mit der Problematik um die Fahrspuren ist auch die *Streifenbreite* von Bedeutung. An unfallbelasteten Kreuzungen mit LSA sind die Spuren im Mittel schmaler als an unbelasteten Anlagen. Es kann davon ausgegangen werden, dass schmale Spuren zum einen die Stabilisierungsaufgabe zum Richtungshalten erschweren, zum andern zu konflikträchtigen Situationen mit dem leichten Zweiradverkehr führen können. Anzustreben ist eine Maximierung der Spurbreite und wo erforderlich die Einrichtung von Zusatzspuren für Radfahrer. Möglicherweise können in speziellen Fällen bei mehrspurigen Anlagen zur Verminderung der Komplexität Spuren reduziert, die verbliebenen jedoch breiter gemacht werden.

Nebst der Problematik um die Fahrspuren steht diejenige um die Signalisation und Wegweisung im Vordergrund. Die Resultate der Untersuchung legen nahe, dass eine grosse Zahl von Wegweisern und Signalen - insbesondere am Knoten - mit einer schlechten Unfallbilanz zusammenhängt. Die Beschilderung erfordert die ganze Aufmerksamkeit der Lenker, welche die für sie massgebenden Signale/Wegweiser aus einer Menge vieler herausfiltern und verarbeiten müssen, was je nach dem (z.B. in Abhängigkeit der Geschwindigkeit) aufgrund psychophysiologischer Grenzen kognitiver Prozesse gar nicht möglich ist. Dies bedeutet, dass einerseits möglichst sparsam mit dem Anbringen von Signalen umgegangen werden muss, andererseits, dass diese möglichst eindeutig sind und schnell verstanden werden. Zudem ist auf häufige Wiederholung von Signalisationen sowie darauf zu verzichten, mehrere Signale in unmittelbarer Nachbarschaft aufzustellen. Um die Beanspruchung für die Lenker gering zu halten, sollte in der Signalisation/Wegweisung redundante Information vermieden werden. Speziell für die Wegweisung ist eine Art hierarchisches System zu empfehlen, das den Detaillierungsgrad der Richtungs- und Ortsangaben berücksichtigt: Am Knoten selbst sind zuoberst die Wegweiser für die allgemeinen Richtungen angebracht, tiefer die Wegweiser mit detaillierten Angaben (z.B. Orte, Hotels). Dieses System kann auch für die Zufahrten verwendet werden: Generell soll so lange nur die allgemeine Richtungsinformation dargebracht werden, bis die detaillierte Angabe absolut notwendig ist.

Einen wichtigen Punkt stellen die Warnlichter für ungeschützte Verkehrsströme dar: An Kreuzungen mit wenig Unfällen sind mehr solche Warnlichter vorhanden als an Kreuzungen mit vielen Unfällen. Die gelb blinkenden Lichter sind eine einfache und eindeutige Information, die es den Verkehrsteilnehmern erleichtern, die Situation zu interpretieren. Diese Warnlichter sind leider meist nur dort angebracht, wo Fussgänger im Konflikt mit einem Fahrzeugstrom sind, jedoch nicht dort,

wo Fahrzeug-Konfliktströme vorhanden sind. Insbesondere ist es bei Vollgrünanlagen nicht möglich, diese Konflikte durch gelb blinkende Lichter anzuzeigen. Gerade das Vollgrün wird aber oft falsch verstanden und fehlinterpretiert, weshalb angeregt wird, auf Vollgrünanlagen wenn immer möglich zu verzichten.

Schliesslich haben die Analysen aufgezeigt, dass sich an Lichtsignalanlagen, wo wartende abbiegende Fahrzeuge die Sicht behindern, häufiger Unfälle ereignen als an Kreuzungen, wo dieser Fall nicht eintreten kann. Hier handelt es sich im Gegensatz zu den anderen diskutierten Problemen nicht so sehr um eine Erhöhung der Komplexität durch das Erscheinungsbild und die Informationsmenge, sondern eher um eine Zunahme der Beanspruchung der Verkehrsteilnehmer durch fehlende Information. Durch ungenügende Sichtweite beim ungeschützten Linksabbiegen werden die Zeitlücken zu klein, um sicher abbiegen zu können; bei starkem Verkehr verschärft sich die Situation zusätzlich. Zur Vermeidung dieser Gefahr wird vorgeschlagen, die Warteräume derart anzuordnen, dass die Sichtweiten ausreichend sind, um sicheres Abbiegen zu ermöglichen, oder wenn dies nicht möglich ist, nur geschütztes Abbiegen zuzulassen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, kurze Alles-Rot-Phasen einzurichten, damit die wartenden Abbieger abfliessen können.

Die vorgängig beschriebenen Empfehlungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Auf Vollgrünanlagen ist wenn immer möglich zu verzichten.
2. Durch Verminderung der Komplexität ist die Fahraufgabe für die Lenker zu vereinfachen, wobei die kombinierte Anwendung der nachfolgenden Massnahmen von Bedeutung ist und den besten Erfolg erwarten lässt.
 - Bei Vorliegen mehrerer Spuren ist eine frühzeitige Vorinformation bezüglich Spurzuordnung anzubringen.
 - Knotenaufweitungen (=unterschiedliche Anzahl Fahrspuren in Zufahrt und am Knoten) sind - sofern nicht vermeidbar - relativ weit vor den Knoten zu verlegen.
 - Unterschiedliche Verkehrsarten sind durch separate Spuren zu trennen (Bus-, Velospur). Fahrzeuge auf den separaten Spuren sollen frühzeitig grün erhalten.
 - Wo erlaubt, sind bei Konfliktströmen gelbe Warnblinker anzubringen.
 - Die Zahl der Verkehrssignale ist auf das nötigste zu reduzieren.
 - Die Breite der Fahrspuren ist zu maximieren.
 - Sehbehinderungen durch wartende Fahrzeuge beim ungeschützten Linksabbiegen sollen vermieden werden.

4. Weiteres Vorgehen

Mit dem erarbeiteten Prädiktionsmodell wurde ein Arbeitsinstrument geschaffen, das die Einteilung von bestehenden lichtsignalgesteuerten Knoten in unfallbelastete und -unbelastete Kreuzungen ermöglichen könnte. Um eine allgemeine Gültigkeit zu erlangen, muss das entwickelte Modell jedoch an einer grossen Stichprobe von lichtsignalgesteuerten Knoten überprüft werden. Es wird deshalb vorgesehen, in allen Landesteilen der Schweiz zwischen 70 und 100 vergleichbare Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen mit dem in der vorliegenden Studie verwendeten Instrument zu untersuchen.

Ziel der weiterführenden Untersuchungen sollte sein, ein Planungsinstrument für LSA-Projektierer zu schaffen. Der planende Ingenieur sollte vor Inbetriebnahme einer LSA die Möglichkeit erhalten zu beurteilen, ob das Objekt ein ausreichendes Sicherheitsniveau aufweist. Entsprechend könnten bereits in der Planungs- und Projektierungsphase Ausstattungsdetails angepasst und Lichtsignalanlagen bezüglich Unfallgeschehen optimiert gebaut werden.

3. ZUSAMMENFASSUNG / RESUME / RIASSUNTO / ABSTRACT

1. Analyse von gefährlichen Kreuzungen und Einmündungen mit Lichtsignalanlagen

Von den rund 80'000 polizeilich registrierten Unfällen pro Jahr ereigneten sich in den letzten Jahren weniger als 5 Prozent an lichtsignalgesteuerten Anlagen, wobei der grösste Teil (etwa 85 Prozent) auf dem Innerortsstrassennetz zu verzeichnen war. Trotz dieser vermeintlich kleinen Zahl sah sich die bfu mit der Tatsache konfrontiert, dass Knoten mit Lichtsignalanlagen (LSA) häufig Gefahrenstellen sind.

Die Ursachen für das Erscheinen von lichtsignalgesteuerten Knoten in den Gefahrenstellenlisten sind nicht bekannt. Mögliche Gründe könnten sein: Veraltete LSA, alte Steuerung, mangelhafte Erkennbarkeit der LSA, hohe Informationsdichte im Umfeld der LSA, Diskrepanz zwischen Fahrstreifenaufteilung und LSA-Steuerung, fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung (Pfortneranlagen), abgeschaltete Anlage, Lage innerorts/ausserorts, Geschwindigkeitsproblematik, Vollgrünanlagen usw. Aufgrund dieser Ausgangslage wurden die Ziele der Untersuchung definiert. Die Studie soll:

- Aufschluss darüber geben, warum sich an einigen Knoten trotz LSA die Unfälle häufen,
- generelle Mängel und Einflüsse an Lichtsignalanlagen aufzeigen,
- punktuelle, situative Mängel und Einflüsse an Lichtsignalanlagen analysieren,
- Massnahmen, Forschungsbedarf und Empfehlungen zur Verminderung des Unfallgeschehens an Knoten mit LSA aufzeigen.

Die Untersuchung gliederte sich in zwei verschiedene Analysen. In einem ersten Schritt (merkmalsspezifische Analyse) analysierte man die Daten der polizeilich registrierten Unfälle. Kombinationen von Unfallmerkmalen im Unfallgeschehen sowie Hinweise auf Unfallursachen bei Lichtsignalanlagen wurden erarbeitet. Im zweiten Schritt (anlagespezifische Analyse) überprüfte man situative Merkmale anhand eines Vergleichs unfallfreier mit unfallbelasteten Lichtsignalanlagen. Im weiteren wird in der Studie der theoretische Hintergrund der Untersuchungen erläutert. Insbesondere wird ein Literaturüberblick gegeben sowie auf die historische und rechtliche Entwicklung, die Normen und das generelle Unfallgeschehen eingegangen.

Als Basis für die merkmalspezifischen Auswertungen dienten die polizeilich registrierten Unfälle. Die Ergebnisse resultieren aus der Analyse aller Unfälle an Lichtsignalanlagen innerorts im Jahr 1996. Insgesamt waren dies 2'035 Unfälle. Da es sich bei den zu untersuchenden Merkmalen um nominalskalierte Daten handelte, wurden Kreuztabellen mittels Chi-Quadrat-Test auf Signifikanz geprüft. Eine recht grosse Anzahl der signifikanten Resultate waren plausibel oder sogar trivial.

Aufgrund der merkmalspezifischen Auswertungen ist vor allem den Variablen/Merkmalen "Unfallstelle" und "Unfalltyp" besondere Beachtung zu schenken. Auf Geraden und an Einmündungen scheinen vor allem hohe Geschwindigkeiten, an Kreuzungen in erster Linie ungeschützte Konfliktströme von Bedeutung zu sein. Während bei den Fussgängerunfällen ebenfalls ungesicherte Konfliktströme ein Problem darstellen, dürfte bei den Auffahrunfällen vor allem Unaufmerksamkeit die häufigste Unfallursache sein. Dies aufgrund der grossen Informationsdichte (Komplexität), die der Lenker zu verarbeiten hat.

In der anlagespezifischen Analyse wurden lichtsignalgesteuerte Kreuzungen mit hoher und geringer Unfallbelastung hinsichtlich anlagetechnischer Merkmale miteinander verglichen. Ziel war das Auffinden von Merkmalen, die das Unfallgeschehen positiv oder negativ beeinflussen. In der Untersuchung wurden insgesamt 20 lichtsignalgesteuerte Knoten analysiert, wobei 11 Anlagen (Untersuchungsobjekte) unfallbelastet und 9 Anlagen (Kontrollobjekte) unfallunbelastet waren. Aus diesen Anlagen wurden drei Gruppen von Variablen erhoben: Anlagetechnik, Betriebstechnik und Unfall-Variablen. Das Schwergewicht lag auf den anlagetechnischen Variablen wie Beampelung, Signalisation usw. Für die Datenauswertung wurden folgende 7 Variablengruppen mit insgesamt 36 Variablen verwendet:

- Beampelung (8 Variablen)
- Konflikte (3 Variablen)
- Fahrspuren (5 Variablen)
- Signalisation und Wegweisung (7 Variablen)
- Wahrnehmung (4 Variablen)
- Unfälle (6 Variablen)
- Andere Variablen (3 Variablen)

Die univariaten Auswertungen der Variablen zeigten, dass sich unfallbelastete Objekte und Kontrollobjekte hinsichtlich der erhobenen Merkmale nur geringfügig unterscheiden. Diese Resultate sind zwar dienlich und weisen auf gewisse Trends hin, durch die univariate Prüfung aller Variablen wurden jedoch keine Zusammenhänge der Merkmale untereinander berücksichtigt, die zweifellos vorhanden sind.

Um diese Zusammenhänge aufzuzeigen, wurde mittels Diskriminanzanalyse (statistisches Verfahren) ein Prognosemodell entwickelt, das den Beitrag und die Bedeutung der einzelnen Merkmale misst. Die Merkmale, die schliesslich gemeinsam in das Modell zur Unfallprognose eingingen, können unter dem Oberbegriff "Komplexität" subsumiert werden. In der Untersuchung erwiesen sich insbesondere die anlagetechnischen Merkmale der Signalisation und Wegweisung als komplexitätserhöhend. Demgegenüber kann von komplexitätsvermindernden Reizen gesprochen werden, wenn durch bestimmte Einrichtungen die Informationsverarbeitung und dadurch die Fahraufgabe

erleichtert wird. Als Beispiel hierfür kann das Vorhandensein von Warnlichtern, z. B. bei Vollgrünanlagen, genannt werden.

Generell lässt sich sagen, dass lichtsignalgesteuerte Knoten, die grundsätzlich schon komplexe Anlagen darstellen, nicht durch komplizierte und aufmerksamkeitsfordernde Einrichtungen noch komplexer gestaltet werden sollen. Im Gegenteil, den Verkehrsteilnehmern soll durch eine einfache, klar strukturierte LSA-Ausrüstung die Aufgabe erleichtert und ihre Handlungen und Absichten sollen dadurch für andere Verkehrsteilnehmer besser vorhersehbar gemacht werden.

Mit dem erarbeiteten Prädiktionsmodell wurde ein mögliches Arbeitsinstrument geschaffen, das die Einteilung von bestehenden lichtsignalgesteuerten Knoten in unfallbelastete und -unbelastete Kreuzungen erlauben könnte. Um eine allgemeine Gültigkeit zu erlangen, muss die statistische Eignung des Modells an einer grösseren Stichprobe überprüft werden. Zu diesem Zweck ist eine Folgestudie geplant.

2. Analyse de carrefours et de débouchés dangereux pourvus de feux de circulation

Ces dernières années, sur les quelque 80'000 accidents annuels enregistrés par la police, moins de 5 pour cent ont eu lieu à des feux de circulation. La plupart de ces accidents (85 pour cent env.) ont été enregistrés sur le réseau routier à l'intérieur des localités. Bien que ce chiffre paraisse modeste, le bpa s'est trouvé confronté au fait que les carrefours pourvus de feux de circulation représentent souvent des endroits dangereux.

On ne sait pas pourquoi ces carrefours sont apparus sur les listes d'endroits dangereux. Comme causes possibles, mentionnons: feux obsolètes, réglage ancien, perception insuffisante des feux de circulation, forte densité d'informations autour des feux, divergence entre la répartition des voies de circulation et le pilotage par feux, manque d'acceptation de la part de la population (installations de contrôle d'accès), installation débranchée, situation à l'intérieur/à l'extérieur des localités, problème de vitesse, feux vert plein, etc. Sur la base de cette situation de départ, les buts de la recherche ont été définis. L'étude doit:

- expliquer l'accumulation d'accidents à certains carrefours, malgré le fait que ces derniers soient pourvus de feux de circulation,
- mettre en évidence les lacunes et les influences générales liées aux feux de circulation,
- analyser les lacunes ainsi que les influences ponctuelles et situationnelles liées aux feux de circulation,
- mettre en évidence les mesures, le besoin en matière de recherche et les recommandations destinées à diminuer les accidents aux carrefours pourvus de feux de circulation.

L'étude comporte deux analyses distinctes. Dans un premier temps (analyse des caractéristiques spécifiques), les données des accidents enregistrés par la police ont été analysées. Des combinaisons de caractéristiques d'accidents ainsi que des indications concernant les causes d'accidents aux feux de circulation ont été élaborées. Dans un deuxième temps (analyse spécifique de l'installation), les caractéristiques locales ont été examinées en comparant des feux de circulation avec et sans accidents. Le contexte théorique des recherches est également expliqué. On y trouve, en particulier, une bibliographie ainsi que des références concernant l'évolution historique et légale, les normes et les accidents en général.

Les accidents enregistrés par la police ont servi de base pour le dépouillement des caractéristiques spécifiques. Les résultats découlent de l'analyse de tous les accidents qui se sont déroulés à des feux de circulation à l'intérieur des localités en 1996, soit 2'035 accidents en tout. Les caractéristiques à analyser étant sous forme de données à échelle nominale, les tableaux croisés ont été soumis au test du χ^2 afin de voir s'ils étaient significatifs. Bon nombre des résultats significatifs étaient plausibles, voire triviaux. En raison des dépouillements spécifiques selon les diverses caractéristi-

ques, il faut porter particulièrement attention aux variables/caractéristiques "lieu de l'accident" et "type d'accident". Sur des tronçons droits et aux débouchés, il semble que ce soient surtout les vitesses élevées qui soient significatives; aux carrefours, ce sont en premier lieu les conflits sécants non réglés. Alors qu'en ce qui concerne les accidents de piétons, les conflits sécants non réglés représentent également un problème, c'est l'inattention qui semble être la cause principale des collisions, ceci en raison de la forte densité d'information (complexité) que le conducteur doit traiter.

Dans l'analyse concernant spécifiquement les installations, les carrefours pourvus de feux de circulation avec beaucoup et peu d'accidents ont été comparés quant aux caractéristiques techniques de leurs installations. Le but étant de trouver des caractéristiques qui influencent les accidents de manière positive ou négative. 20 carrefours pourvus de feux de circulation ont été analysés: 11 de ces installations (objets d'étude) avaient enregistré des accidents et 9 installations (objets de contrôle) n'en avaient pas connu. Trois groupes de variables ont été relevés: technique de l'installation, technique d'exploitation et variables concernant les accidents. L'accent a été mis sur les variables techniques d'aménagement comme les feux, la signalisation, etc. Pour l'exploitation des données, les 7 groupes de variables ci-dessous, comprenant 36 variables en tout, ont été utilisés:

- feux (8 variables)
- conflits (3 variables)
- voies de circulation (5 variables)
- signalisation et panneaux indicateurs (7 variables)
- perception (4 variables)
- accidents (6 variables)
- autres variables (3 variables)

L'exploitation des variables a montré qu'en ce qui concerne les caractéristiques recueillies, les objets témoins d'accidents et les objets de contrôle ne se différenciaient que de façon insignifiante. Ces résultats sont certes utiles en ce qu'ils indiquent certaines tendances, mais l'analyse n'a pas pris en considération les relations des variables entre elles qui, à n'en pas douter, existent pourtant certainement.

Afin de mettre ces relations en évidence, un modèle pronostique a été développé au moyen d'une analyse de discriminance (procédé statistique) dans le but de mesurer la contribution et la signification de chaque caractéristique. Les caractéristiques qui ont finalement formé le modèle de pronostic des accidents peuvent être rassemblées sous le terme générique de "complexité". Dans l'étude, ce sont surtout les caractéristiques techniques de l'installation en matière de signalisation et de panneaux indicateurs qui augmentent la complexité. A l'inverse, on peut parler de stimuli abaissant la complexité lorsque, par le biais de certaines installations, le traitement de l'information et, de ce

fait, la conduite est facilitée. Dans ce contexte, citons, par exemple, les signaux avertisseurs lumineux pour les feux verts pleins.

D'une manière générale, on peut dire que les carrefours régis par des signaux lumineux sont déjà, en tant que telles, des installations complexes, et qu'elles ne doivent pas être rendues encore plus complexes par des équipements compliqués et exigeant de l'attention. Au contraire, des feux de circulation simples, clairement structurés, doivent faciliter la tâche des usagers de la route et faire en sorte que leurs actes et leurs intentions deviennent plus prévisibles pour les autres.

Le modèle prédictif élaboré est un instrument de travail qui pourrait permettre de classer les carrefours régis par des feux de circulation en installations avec et sans accidents. Mais pour acquérir une validité générale, ses capacités statistiques devront être vérifiées au travers d'un échantillon important. Une étude subséquente sera menée à cet effet.

3. Analisi di nodi semaforizzati pericolosi

Dei circa 80'000 incidenti stradali registrati ogni anno dalla polizia, negli ultimi anni nei nodi semaforizzati non se ne è verificato nemmeno il 5 per cento. La maggior parte di questi incidenti (l'85 per cento circa) è avvenuta all'interno di una località. Nonostante i pochi incidenti che vi si verificano, l'upi ha constatato che i nodi semaforizzati rappresentano spesso dei punti pericolosi.

Perché sia così non si sa. Possibili motivi potrebbero essere: impianti semaforici vetusti, regolazione vecchia, scarsa riconoscibilità dell'impianto semaforico, notevole densità d'informazioni nell'area dell'impianto semaforico, discrepanza tra la ripartizione delle corsie e la regolazione semaforica, scarsa accettazione da parte della popolazione (impianti semaforici di dosaggio), impianti spenti, posizione all'interno/fuori delle località, problematica della velocità, impianti semaforici a verde pieno ecc. L'upi ha voluto farsi un'idea più precisa della situazione. La ricerca svolta a tal scopo si proponeva in particolare di:

- chiarire perché vi sono dei nodi che fanno registrare frequenti incidenti nonostante siano regolati da un impianto semaforico;
- accertare difetti e fattori d'influenza generali;
- analizzare i difetti d'impianto;
- proporre punti da approfondire nonché misure e raccomandazioni atte a migliorare la sicurezza dei nodi semaforizzati.

La ricerca è stata suddivisa in due parti. Nella prima parte si è provveduto ad analizzare le circostanze nelle quali sono avvenuti gli incidenti registrati dalla polizia in nodi semaforizzati e a derivarne delle indicazioni su possibili cause d'incidenti. Nella seconda parte si è proceduto ad esaminare gli impianti stessi paragonando gli impianti semaforici di nodi nei quali si sono verificati molti incidenti con quelli di nodi nei quali ne sono avvenuti pochi. Infine, si è provveduto a fornire informazioni teoriche, in particolare dati bibliografici, un quadro dell'evoluzione storica e giuridica, le norme e un quadro generale dell'evoluzione degli incidenti.

L'analisi delle circostanze è stata effettuata sulla base dei dati relativi agli incidenti stradali - in tutto 2'035 - registrati nel 1996 dalla polizia all'interno delle località in nodi semaforizzati. Visto che i dati da analizzare erano espressi in scala nominale, si è fatto uso di tabelle a doppia entrata la cui significatività è stata accertata mediante dei test X².

Un numero relativamente alto di risultati significativi erano plausibili o addirittura ovvi. Le principali circostanze da considerare sono risultate il luogo e il tipo d'incidente. Sui rettilinei e agli sbocchi un fattore d'incidente determinante sembra essere l'alta velocità, agli incroci i flussi conflittuali non protetti. Mentre anche nel caso degli incidenti in cui sono rimasti coinvolti dei pedoni un fattore d'incidente importante è rappresentato sicuramente dai flussi conflittuali non protetti, nel caso

dei tamponamenti la principale causa d'incidenti è molto probabilmente costituita dalla disattenzione. Ciò è dovuto alla notevole densità d'informazioni (complessità) che il conducente si trova a dover analizzare.

L'analisi degli impianti è stata effettuata paragonando gli impianti semaforici di incroci in cui si sono verificati molti incidenti con quelli di incroci in cui ne sono successi pochi. Lo scopo dell'analisi era di individuare delle caratteristiche che influenzano positivamente o negativamente l'evoluzione degli incidenti. In tutto sono stati esaminati 20 nodi semaforizzati; in 11 si erano verificati molti incidenti (oggetti d'esame) e in 9 pochi (oggetti di controllo). Di questi si sono rilevati variabili che riguardano la tecnica dell'impianto, la tecnica di gestione e gli incidenti. Particolare attenzione è stata dedicata alle variabili che riguardano la tecnica dell'impianto, quali la semaforizzazione, la segnaletica ecc. Per l'analisi dei dati ci si è serviti dei seguenti 7 gruppi di variabili, che in tutto comprendono 36 variabili:

- semaforizzazione (8 variabili)
- conflitti (3 variabili)
- corsie (5 variabili)
- segnaletica stradale (7 variabili)
- percezione (4 variabili)
- incidenti (6 variabili)
- altre variabili (3 variabili)

Le analisi univariate delle variabili hanno evidenziato solo lievi differenze tra gli oggetti d'esame e quelli di controllo. Pur avendo così ottenuto dei risultati utili che in più indicano certe tendenze, nell'analizzare una sola variabile alla volta non si è tenuto conto delle relazioni che pur sussistono tra le caratteristiche.

Per evidenziare queste relazioni, si è provveduto a sviluppare, mediante un'analisi discriminante (procedimento statistico), un modello di previsione degli infortuni che misura il contributo e il significato che rispettivamente forniscono e hanno al riguardo le singole caratteristiche. Le caratteristiche di cui ci si è infine serviti nel modello di previsione possono essere riassunte col termine generico „complessità“. Le proiezioni hanno dimostrato che in particolare la caratteristica „segnaletica stradale“ aumenta la complessità. La complessità viene invece ridotta se si prevedono degli accorgimenti che facilitano l'elaborazione delle informazioni e di conseguenza il compito di guida, quali p.es. il dotare di un segnale di avvertimento un impianto semaforico a verde pieno.

In genere si può dire che un nodo semaforizzato, già di per sé un impianto complesso, non andrebbe reso ancora più complesso prevedendo accorgimenti complicati che richiedono l'attenzione degli utenti. Anzi, agli utenti bisogna facilitare i compiti e le loro azioni ed intenzioni vanno rese più prevedibili per gli altri mediante un impianto semaforico semplice e ben strutturato.

Il modello di previsione elaborato costituisce uno strumento di lavoro che dovrebbe mettere in grado di ripartire i nodi semaforizzati esistenti in incroci soggetti o non soggetti al rischio d'incidenti. Per ottenere una validità generica sull'idoneità statistica del modello bisogna ricorrere a un vasto metodo di campione. A questo scopo è previsto un'ulteriore ricerca.

4. Analysis of dangerous intersections and junctions with light signals

In the past few years, less than five percent of approximately 80000 police-registered accidents occurred at light signals. The majority of these accidents (around 85 %) occurred within city limits. Nevertheless this seemingly small number of accidents is important for the cap, in that it draws attention to the fact that intersections with light signals (LS) can be potentially dangerous. It is not entirely clear why intersections with light signals appear in the danger level tables. Possible reasons could include: aged LS, aged control systems, poor recognition of LS, high level of visual information surrounding LS, discrepancies between the traffic lane distribution and the LS control system, poor acceptance by the public (gate-keeper signals), LS not in use, location inside or outside of town, speed-related problems, permanent green signals etc. This situation has led to the formulation of the following goals for a study:

- To discover why accidents occur at certain locations in spite of LS,
- to show general deficiencies of and interferences with LS,
- to analyze selective and site-related deficiencies of and interferences with LS, and
- to assess measures, necessary research and recommendations for the reduction of accidents at intersections with LS.

The study is divided into two parts. In the first part (characteristic-specific analysis), the accident data from police-registered accidents was analyzed. Combinations of accident characteristics and possible accident causes were made. In the second step (installation-specific analysis), a comparison of accident-prone intersections and accident-free intersections was used to examine site-oriented characteristics. The study also describes the theoretical basis for the examination. Attention was paid to an overview of related literature, historical and legal developments, regulations and general accident information.

Police-registered accidents formed the basis for the characteristic-specific analysis. The results were taken from an analysis of all accidents occurring within city limits at light signals in 1996. There was a total of 2035 accidents within this time period. The nominally scaled characteristics were examined for significance using the Chi-square test. A large amount of the significant results were plausible, even trivial. The characteristic-specific analysis shows the importance of the variables/characteristics "location of accident" and "type of accident". The most relevant situations are high driving speed on straight stretches/junctions and unprotected conflicts of traffic flow at intersections. Pedestrian accidents are most often caused by unprotected conflicts of traffic flow, whereas rolling traffic collisions are mainly due to a lack of attentiveness, which is caused by the high density of complex information confronting the driver.

In the installation-specific analysis, the technical characteristics of accident-prone and accident-free intersections with light signals were compared. Characteristics which affected the occurrence of

accidents negatively or positively were sought. Twenty intersections with light signals were analyzed; eleven of these were accident-prone and nine were accident-free (control group). Three sets of variables were assessed: technical installations, technical operation and accident variables. The most attention was given to technical installation-related characteristics such as lights, signals etc. The following seven variable groups with a total of 36 variables were used for the data analysis:

- Lights (8 variables)
- Conflicts (3 variables)
- Traffic lanes (5 variables)
- Signs and signals (7 variables)
- Perception (4 variables)
- Accidents (6 variables)
- Other variables (3)

The univariate evaluations of the variables showed that, in terms of the chosen characteristics, the differences between the accident-prone intersections and the control group were minimal. The results are nonetheless useful and point out certain trends, although the univariate testing of all variables did not allow for cross-linkage between characteristics which undoubtedly exist. To show this cross-linkage, a prediction model, based upon discriminant analysis (statistical method), was developed. The characteristics which eventually entered the prediction model can be subsumed up under the term "complexity". The examination showed that technical installation characteristics of signs and signals raised the complexity. There are also aspects which reduce the complexity, such as installations which help to reduce the density of visual information and assist the driver, warning lights at permanent green signals for example.

It can be generally stated that intersections with light signals, which are already quite complex, should not be made more complex by the addition of further complicated and attention-robbing installations. The opposite is true: traffic participants should be aided by simple, clearly structured light signal installations and their behaviours and intentions should be clearly perceived by other traffic participants.

The prediction model developed in this study is an instrument which makes it possible to categorize existing intersections with light signals as accident-prone and accident-free. In order to be generally valid, the statistical applicability of the model needs to be tested with a larger sample. A follow-up study is planned for this purpose.

VI. ANHANG

1. Fragebogen zur Problematik der Lichtsignalanlagen

(Die Fragen 1 bis 2 a) sind nur durch die Behördenvertreter der Kantone und Städte zu beantworten.)

Amtsstelle:

Zuständige Person:Funktion:

Kanton:Stadt:

- 1 a) Gibt es in Ihrem Gebiet (Kanton/Stadt) Kreuzungen/Einmündungen **mit Lichtsignalanlagen**, die betreffend Unfallhäufigkeit auffallen (Gefahrenstellen)?

☐ ja

☐ nein (wenn nein, weiter zu Frage 2 b)

b) Wenn ja, wieviele? ☐☐ ☐ unbekannt

- c) Nach welchen Kriterien erfolgt die Bestimmung der Gefahrenstellen bezüglich dieser Problematik (z.B. Anzahl Unfälle pro Jahr, durchschnittliche Anzahl Unfälle über eine 5-Jahresperiode usw.)?

.....

.....

- 2 a) Welche Mängel/Einflüsse konnten aufgrund der Unfälle an diesen Gefahrenstellen generell festgestellt werden (z.B. mangelhafte Erkennbarkeit der LSA, Konflikte mit Fussgängern usw.)?

.....

.....

.....

- 2 b) Welches sind aufgrund Ihrer eigenen Erfahrung die wichtigsten Mängel/Einflüsse an Kreuzungen/Einmündungen mit LSA?

.....

.....

.....

- 3 Die Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu beabsichtigt, an einigen Gefahrenstellen situative Untersuchungen zur LSA-Problematik durchzuführen. Daraus sollen Erkenntnisse über Verbesserungen und Massnahmen gefunden werden.

Was sollte aus Ihrer Sicht speziell untersucht werden (z.B. Linksabbieger im Konflikt, Einmündung von Radwegen in Kreuzungen usw.)?

Bitte nach Prioritäten auflisten:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

- 4 Mit welcher Massnahme könnte der grösste Erfolg zur Verbesserung der Unfallsituation an Lichtsignalanlagen (unter Beibehaltung der LSA-Regelung) erzielt werden (z.B. bessere Erkennbarkeit schaffen)?

Nur eine Antwort! _____

- 5 Wurden von Ihnen ähnliche Untersuchungen in letzter Zeit durchgeführt oder sind Ihnen solche bekannt?

- ☐ ja
☐ nein

Wenn ja, dürfen wir Sie bitten, uns Titel und Herkunft anzugeben:

- 6 Wie bereits angemerkt, möchten wir an einzelnen Lichtsignalanlagen detaillierte Untersuchungen durchführen. Dazu sind wir auf Mithilfe von verschiedener Seite angewiesen. Ist eine Mitarbeit Ihrerseits möglich?

- ☐ ja
☐ nein

Wenn ja, in welcher Hinsicht (mehrere Antworten möglich)?

- ☐ Hilfe bei Auswahl der Untersuchungsobjekte
☐ Zur Verfügung stellen oder Mithilfe bei der Beschaffung von Unfalldaten
 ☐ EDV-mässig ☐ auf Papier
☐ sind für Rückfragen bereit

Wir sind Ihnen dankbar, wenn Sie den Fragebogen ausfüllen und bis spätestens 28.7.95 an uns zurücksenden. Besten Dank!

2. Erfassungsprotokoll für die Variablen/Merkmale von Lichtsignalanlagen

Objektname
Ort
Name der Zufahrt

Objekte

- | | | |
|-----------------------|----------------|--|
| 1. Objekt-Nr. (1-40): | Obj-Nr | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 2. Zufahrt-Nr. (1-4): | Zufahrt | <input style="width: 80%;" type="text"/> |

Ampeln

- | | | | |
|---|--|-----------------|--|
| 3. Beampelung: | 1=Vollgrün
2=Grünpfeil
3=gemischt | Bempelg | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 4. Anordnung (0/1): | 1 über Kopf für mehrere Streifen | Ano1KmS | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | 1 über Kopf für einen Streifen | Ano1K1S | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | über Kopf für jeden Streifen | AnoKS | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | links | Anolinks | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | Mitte | AnoMitte | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | rechts | Anorecht | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 5. Anzahl vorgezogene Zusatzampeln: | | Zusampel | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 6. Total der Ampeln an Zufahrt (ohne vorgezog. Zusatzampeln): | | Zahlamp1 | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 7. Zusatzlichter (0/1): | Velo | LiVelo | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | gelb FG | LiFG | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | Vollgelb blinkend | Ligelbbl | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | gelbes Dreieck | Ligelbdr | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | Grünpfeil | Ligrpfei | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | andere (öV, Gelbpfeil usw.) | Liandere | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 8. Total Zusatzlichter (Summe 7.): | | LiTotal | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 9. Total gelbe Warnlichter: | | Warntot | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 10. Höhe der Ampel über Kopf: | | Amplhoeh | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 11. Ampelgrösse (200 mm / 300 mm) | links | GrAmpli | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | Mitte | GrAmplMi | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | über Kopf | GrAmplKo | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | rechts | GrAmplre | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 12. Ampelgrösser generell: | 1=alle gleich gross
2=unterschiedliche Grösse | GrAmptot | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| 13. Leuchtdichte: | 1=Halogen | Leudili | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | 2=Faseroptik | LeudiMi | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | 3=Niedervolt | LeudiKo | <input style="width: 80%;" type="text"/> |
| | 4=Hochvolt | Leudire | <input style="width: 80%;" type="text"/> |

14. Leuchtdichte generell:	1=alle gleich 2=unterschiedlich		Leudigen	<input type="text"/>
15. Art der Frontplatte:	1=keine 2=ohne weissen Rand 3=mit weissem Rand	für links für Mitte für über Kopf für rechts	ArtFroli ArtFroMi ArtFroKo ArtFrore	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
16. Art der Frontplatten generell:	1=alle gleich 2=unterschiedlich		ArtFrtot	<input type="text"/>
17. Zusatz an Frontplatte:	1=Pfeil 2=anderes 3=kombiniert	für links für Mitte für über Kopf für rechts	FroZusli FroZusMi FroZusKo FroZusre	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
18. Steuerung: Gelbzeit		für links für Mitte für über Kopf für rechts	Gelbzli GelbzMi GelbzKo Gelbzre	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
19. Steuerung: Minimalgrünzeit		für links für Mitte für über Kopf für rechts	Mingrli MingrMi MingrKo Mingrre	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
20. Steuerung: Maximalgrünzeit		für links für Mitte für über Kopf für rechts	Maxgrli MaxgrMi MaxgrKo Maxgrre	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>

Streifen

21. Zahl der Streifen im Knotenbereich (inkl. Aufweitung):		ZahlSKno	<input type="text"/>
22. Zahl der Streifen im Zufahrtsbereich:		ZahlSZuf	<input type="text"/>
23. Untersch. Zahl Streifen Zufahrt und Knoten:	1=ja 2=nein	DiffSkz	<input type="text"/>
24. Breite der Streifen (Knotenbereich):	Streifen 1 Streifen 2 Streifen 3	BreiteS1 BreiteS2 BreiteS3	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
25. Andere Streifen:	1=Bus 2=Velo 3=kombiniert 4=andere	Sandere	<input type="text"/>
26. Knotenaufweitung:	1=ja 2=nein	Knotaufw	<input type="text"/>

Markierung

27. Markierungen:	1=Pfeil geradeaus 2=Pfeil geradeaus/rechts 3=Pfeil geradeaus/links 4=Pfeil links 5=Pfeil rechts 6=Pfeil alle Richtungen 7=keine	für Streifen 1 für Streifen 2 für Streifen 3	MarkS1 MarkS2 MarkS3	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
28. Andere Bodenmarkierungen (0/1):		für Streifen 1 für Streifen 2 für Streifen 3	aMarkS1 aMarkS2 aMarkS3	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>

Signalisation

29. Signalisation am Knoten (ohne Wegweiser):	Zahl Vortrittssignale Zahl Gefahrensignale Zahl Vorschriftssignale Zahl Hinweissignale	SigKVtrr SigKGef SigKVsch SigKHinw	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
30. Signalisation innerh. Erkennbarkeit (ohne Knoten):	Zahl Vortrittssignale Zahl Gefahrensignale Zahl Vorschriftssignale Zahl Hinweissignale	SigEVtrr SigEGef SigEVsch SigEHinw	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
31. Signalisation total (Summe 29. und 30.)	Zahl Vortrittssignale Zahl Gefahrensignale Zahl Vorschriftssignale Zahl Hinweissignale	SigTVtrr SigTGef SigTVsch SigTHinw	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
32. V signalisiert (auch ohne expl. Signalisation):	50 km/h 60 km/h	Vsign	<input type="text"/>

Wegweisung

33. Zahl Wegweiser am Knoten:	für Hauptstrasse/Autobahn für Nebenstrasse für andere (z.B. Hotels, Radweg usw.)	WegKHpt WegKNeb WegKand	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
34. Zahl Wegweiser Zufahrtsbereich:	für Hauptstrasse/Autobahn für Nebenstrasse für andere (z.B. Hotels, Radweg usw.)	WegZHpt WegZNeb WegZand	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
35. Zahl Wegweiser total:	für Hauptstrasse/Autobahn für Nebenstrasse für andere (z.B. Hotels, Radweg usw.)	WegTHpt WegTNeb WegTand	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
36. Wegweiser über Kopf der Fahrspur entsprechend:	1=ja 2=nein	WegFahr	<input type="text"/>
37. Anzahl Wegweiser und Signale total (Zufahrt und Knoten):		AnzWeSig	<input type="text"/>

Wahrnehmung

38. Distanz der ersten visuellen Erkennbarkeit (in Meter):		Erkennb	<input type="text"/>
39. Ablenkung durch Reklame usw.:	1=ja 2=nein	AblRekl	<input type="text"/>
40. Störender Vorder-/Hintergrund:	1=ja 2=nein	VordHint	<input type="text"/>
41. Sichtweite für Abbiegende:	1=problematisch 2=unproblematisch	Sichtwei	<input type="text"/>
42. Liegt LSA im zentralen visuellen Gesichtsfeld:	1=immer 2=nicht immer	Gesicht	<input type="text"/>
43. Sichtbehind. durch abbiegende wartende Fahrzeuge möglich:	1=möglich 2=n. möglich	Sichtbeh	<input type="text"/>

Konflikte

44. Konflikte (0/1):	Abb. re/FG rechts Abb. li/FG links Abb. li/geradeaus Abb. li/Abb. li Abb. li/Abb. re geradeaus/Abb. li Abb. re/Abb. li	KAbrFGr KAbIFGI KAbIger KAbIAbl KAbIAbr KgerAbl KAbrAbl	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
45. Totalzahl der möglichen Konflikte:		Konfltot	<input type="text"/>
46. Zahl der verschiedenen Konfliktarten:	Auto/Auto Auto/FG	KonflAA KonflAFG	<input type="text"/> <input type="text"/>

Andere Messungen

47. Anzahl Rotlichtmissachtungen:	links geradeaus rechts	Rotlinks Rotgerad Rotrecht	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
48. Anzahl Rotmissachtungen an Zufahrt total:		Rottotal	<input type="text"/>
49. Verkehrsmenge der Konfliktströme:	Abbieger nach links geradeaus Abbieger nach rechts	KstAbl Kstrger KstrAbr	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
50. Zahl der Spurwechsel innerhalb der Erkennbarkeitsdistanz:		Spurwech	<input type="text"/>
51. Geschwindigkeitsmessungen:		Vgemess	<input type="text"/>
52. DTV:		DTV	<input type="text"/>

Variablen für ein Objekt generell

53. Objekt-Nr. (unter Spalte Obj-Nr eintragen):		Obj-Nr	<input type="text"/>
54. Beampelung:	1=Vollgrün 2=Grünpfeil 3=gemischt	Bempgen	<input type="text"/>
55. Totalzahl der möglichen Konflikte:		Konfalle	<input type="text"/>
56. Totalzahl der verschiedenen Konfliktarten:	Auto/Auto Auto/FG	KalleAA KalleAFG	<input type="text"/> <input type="text"/>
57. DTV total an allen Zufahrten:		DTVtotal	<input type="text"/>
58. Stunden ohne LSA-Betrieb pro Woche:		ohne LSA	<input type="text"/>
59. Anzahl Rotlichtmissachtungen an allen Zufahrten total:		Rotmissg	<input type="text"/>

VII. Literatur

- Affum, J.K. & Taylor, M.A.P. (1996), Predictive models for road accidents at signalised intersection. IATSS Research, 2, S. 15-21
- Brenner, M.F., Ziegler, H., Seeling, K. & Kopperschläger, D. (1997), Sicherheitsrisiken an Lichtsignalanlagen. Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach
- Croft, P.G. & Trudinger, B.C. (1983), Crashes at signalised intersections - effects of a trial of signal timing adjustments. Traffic Authority of New South Wales
- Datta, T.K., Al-Assar, R., Abraham, J.K. & Nannapaneni, P. (1996), Mitigation of rear end accident problems at signalized intersections. Traffic Management and Road Safety. Proceedings of Seminar H held at the 24th European Transport Forum, P407, S. 1-8
- Ewert, U. (1994), Zum Verständnis von Lichtsignalregelungen beim Linksabbiegen. Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, Bern
- Gårder, P. (1989), Pedestrian safety at traffic signals: A study carried out with the help of a traffic conflicts technique. Accid. Anal. & Prev., 5, S. 435-444
- Geiling, R.E. (1989), 120 Jahre Verkehrsampel / 75 Jahre elektrisches Signallicht. Strasse und Verkehr 2, S. 92-94
- Golias, J.C. (1997), Effects of signalisation on four-arm urban junction safety. Accid. Anal. & Prev., 2, S. 181-190
- Hakkert, A.S. & Mahalel, D. (1978), The effect of traffic signals on road accidents - with special reference to the introduction of a blinking green phase. Traffic Engineering & Control, 5, S. 212-215
- Hauer, E., Ng, J.C.N & Lovell, J. (1988), Estimation of Safety at Signalized Intersections. Transportation Research Record No. 1185, Methods for Evaluating Highway Improvements, S. 48-61. Transportation Research Board, Washington
- Heierle, R. (1996), Lichtsignalgesteuerte Knoten oder Kreisel?. Strasse und Verkehr, 11, S. 533 - 535
- Hottinger, J. (1980), Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage. Eidgenössisches Departement des Innern, Bundesamt für Strassenbau
- Huang, Y. & May, A.D. (1991), Accident Prediction Models and Applications for Unsignalized and Signalized Intersections. Intersections without Traffic Signals II. Proceedings of an International Workshop, S. 282-296
- Hulscher, F.R. (1984), The problem of stopping drivers after the termination of the green signal at traffic lights. Traffic Engineering & Control, 3, S. 110-116
- Krüger, J. (1986), Sicherheit und Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage in Abhängigkeit von der Anzahl der Phasen. Strassenverkehrstechnik, 2, S. 59-64

- Lau, M.Y.K. & May, A.D. (1988), Injury Accident Prediction Models for signalized Intersections. Transportation Research Record No. 1172, Traffic Accident Analysis and Roadway Visibility, S. 58-67. Transportation Research Board, Washington
- Lindenmann, HP., Riedel, H. & Thoma, J. (1987), Fussgänger-Lichtsignalanlagen. Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, ETH Zürich, Baudirektion Kanton Basel-Landschaft, Bern
- Mustafa, M.A.S., Pitsiava-Latinopoulou, M. & Papaionnou, P. (1992), Capacity and safety considerations for left turn phasing control at the signalized intersections. VTI Rapport, S. 169-178
- Norusis, M.J. (1994), SPSS Professional StatisticsTM 6.1. SPSS Inc., Chicago, Illinois, S. 2
- Pitzinger, P. (1988), Der gelbe Blinkerpfel. Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau
- Plummer, R.W. & King, L.E. (1974), A laboratory investigation of signal indications for protected left turns. Human Factors, 1, S. 37-45
- Prashker, J.N. & Mahalel, D. (1989), The relationship between an option space and drivers' indecision at signalized intersection approaches. Transpn. Res.-B, 6, S. 401-413
- Shebeeb, O. (1995), Safety and Efficiency for Exclusive Left-Turn Lanes at Signalized Intersections. ITE Journal, 7, S. 52-59
- Staplin, L. & Fisk, A.D. (1991), A Cognitive Engineering Approach to Improving Signalized Left Turn Intersections. Human Factors, 5, S. 559-571
- Van der Horst, R. & Wilmink, A. (1988), Entscheidungen von Kraftfahrern an Ampeln. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 1, S. 15-21
- Wiedemann, R. (1987), Mehr Leistungsfähigkeit oder mehr Sicherheit an lichtsignalgesteuerten Knoten? Strassenverkehrstechnik, 4, S. 114-117
- Wilde, G. & Simonet, S. (1996), Economic Fluctuations and the Traffic Accident Rate in Switzerland. Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, Bern

Strassenverkehr

- R 9221 **Ursula Zimmermann** (1992)
Analyse von Medikamenten-Packungszetteln bezüglich der Information über gefährliche Nebenwirkungen von Arzneimitteln für das Autofahren
- R 9411 **Uwe Ewert** (1994)
Zum Verständnis von Lichtsignalregelungen beim Linksabbiegen
- R 9422 **Christian Ary Huber & Fredi Bühlmann** (1994)
Sicherheit von Kreiselanlagen - Erfahrungen und vorläufige Empfehlungen
- R 9431 **Caroline Biner & Uwe Ewert** (1994)
Typische Verhaltensweisen und Einstellungen von älteren Fussgängern
- R 9615 **Gerald J.S. Wilde & Sébastien L. Simonet** (1996)
Economic Fluctuations and the Traffic Accident Rate in Switzerland:
A longitudinal Perspektive
- R9616 **Urs Gerhard, Esther Biedert, Viktor Hobi, Irene Hug & Dieter Laedwig**
(1996)
Der Einfluss jahrelanger Heroinabhängigkeit auf kognitiv-psychomotorische Funktionen

Sport

- R 8606 **Raphael Denis Huguenin** (1986)
Sicherheit beim Skifahren: Meinungen, Einstellungen und Verhalten
- R 9031 **Jörg Thoma** (1990)
Verunfalltenrisiken verschiedener Sportarten

Haushalt

- R 8828 **Christian Scherer, Martin Hugi & Markus Hubacher** (1988)
Inhaltsanalyse von Gebrauchsanweisungen am Beispiel von Rasenmäher, Kettensäge und Allesschneider