

# Unfälle an Lichtsignalanlagen: Handlungsrelevante Anlagemerkmale

*Markus Hubacher & Roland Allenbach  
Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu*

## Einleitung

An Lichtsignalanlagen (im Folgenden als LSA bezeichnet) ereignen sich in der Schweiz lediglich etwa 3% aller polizeilich registrierten Unfälle. LSA stellen jedoch oft lokale Unfallschwerpunkte dar, obwohl sie unter anderem der Erhöhung der Sicherheit dienen sollen. Aus diesem Grund stellte sich die Frage, ob es an LSA anlagetechnische Merkmale gibt, die einen Zusammenhang mit der Unfallhäufigkeit aufweisen. Unter anlagetechnischen Merkmalen versteht man Elemente, die den Bau und die Ausrüstung einer Anlage betreffen, z. B. die Signalisation oder die Aufteilung der Fahrspuren und ähnliches mehr.

Hypothese: Anlagemerkmale steuern das Verhalten der Fahrzeuglenker und sind unfallrelevant

Ziel der Untersuchung: Entwicklung eines Instrumentes für die Verkehrsingenieure, mit dem

- bestehende LSA saniert und die Unfallhäufigkeit reduziert werden können
- projektierte, d.h. in der Planungsphase befindliche LSA optimal gestaltet werden können, damit sich in Zukunft möglichst wenig Unfälle ereignen.

## Untersuchungsmethode

Diverse Kantonale und städtische Behörden (Polizei, Verkehrs- und Baudepartemente usw.) wurden um Teilnahme an der Studie angefragt. Diese Behörden wurden über Untersuchungsgegenstand und –zweck unterrichtet und gebeten, Daten von bestehenden LSA und von Unfällen, die sich an diesen Anlagen ereigneten, zur Verfügung zu stellen.

In die Untersuchung wurden nur LSA aufgenommen, welche die folgenden Kriterien erfüllten:

- sie mussten innerorts angesiedelt sein
- sie mussten 4 Zufahrten aufweisen
- es durfte kein Schienenverkehr (Bahn, Tram) auf ihnen stattfinden
- und es durften in den Untersuchungsjahren keine baulichen Veränderungen vorgenommen worden sein (wegen der Beeinflussung des Unfallgeschehens).

Die eingeforderten LSA wurden dahingehend kontrolliert, ob sie den Vorgaben entsprachen. Anschliessend wurde eine Zufallsstichprobe von 87 LSA gezogen. Für diese Anlagen wurden bei den zuständigen Behörden die offiziellen Unfallprotokolle derjenigen Unfälle eingefordert, die sich im Untersuchungszeitraum (1994 bis 1998) an diesen Anlagen ereignet hatten.

Die Zufahrten stellten die Beobachtungseinheit dar, d.h. die verschiedenen anlagetechnische Merkmale wurden separat für jede Zufahrt erhoben, da sich die Merkmale von Zufahrt zu Zufahrt unterscheiden. Dadurch konnten insgesamt 346 einzelne Zufahrten untersucht werden (2 Zufahrten mussten ausgeschlossen werden, weil sie die Vorgaben nicht erfüllten).

Bei den Unfällen wurden 4 Unfalltypen erfasst und unterschieden:

- 'Vollgrünunfälle', definiert als Unfälle bei Vollgrün an Vollgrünanlagen; bei Vollgrün hat beim Abbiegen der Gegenverkehr Vorfahrt
- 'Pfeilgrünunfälle', definiert als Unfälle an Pfeilgrünanlagen, bei denen Konfliktverkehr möglich ist. Normalerweise hat man bei Pfeilgrün Vorfahrt; es gibt es jedoch auch Pfeilgrünanlagen, bei denen Konfliktströme möglich sind. In diesem Fall muss der Konflikt zwingend mit einem gelben Warnlicht angezeigt werden.
- 'Unfälle durch Rotlichtmissachtung'
- 'Auffahrunfälle'

Hinsichtlich der baulichen Anlage und des Betriebs wurden folgende Merkmale erfasst:

- Merkmale der Ampeln (z. B. Anzahl, Warnlichter usw.)
- Merkmale der Fahrspuren (Anzahl, Breite)
- Signalisation und Wegweisung (Anzahl)
- Wahrnehmbarkeit (Distanz der Erkennbarkeit der LSA)
- Konflikte (Zahl der Konfliktpunkte von Konfliktströmen)
- Einmündungen (Anzahl von rechts)
- Topografie (Neigung: ob eben, Gefälle oder Steigung)
- die Verkehrsmenge als DTV (durchschnittlicher täglicher Verkehr).

Insgesamt wurden rund 40 Variablen erhoben. Viele davon betreffen die Wahrnehmbarkeit oder die Informationsmenge und sind vermutlich zu einem gewissen Teil auch verhaltenssteuernd.

### Analysemethode

Unsere Fragestellung lautete, ob es an LSA anlagentechnische Merkmale gibt, die einen Zusammenhang mit der Unfallhäufigkeit aufweisen. Somit war die Unfallhäufigkeit die abhängige Variable, und die Anlagemerkmale bildeten die unabhängigen Variablen.

Um den gleichzeitigen Einfluss dieser Merkmale auf die unabhängige Variable zu prüfen, müssen Regressionsmodellen verwendet werden. Sofern Expositionsdaten vorhanden sind, ist die Poisson-Regression die Analysemethode der Wahl. Mit der Verkehrsmenge lagen uns solche Daten vor.

Die Regressionsgleichung hat folgende Form, wobei die erwartete Zahl der Unfälle aus einer Linearkombination der verschiedenen Einflussfaktoren berechnet wird.

$$\log \lambda = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k ,$$

wobei:  $\lambda$  = erwartete Zahl der Unfallereignisse  
 $\alpha$  = Konstante  
 $\beta$  = Koeffizienten  
 $x$  = Einflussfaktoren

In der Folge wurde versucht, mit den Anlagemerkmale, die erfasst wurden, ein Modell zu entwickeln, mit dem die beobachtete Zahl der Unfälle möglichst präzise vorhergesagt werden kann. Das wurde separat für die Pfeilgrünunfälle und die Vollgrünunfälle gemacht.

### Resultate für die Pfeilgrünunfälle

Das Modell für die Pfeilgrünunfälle hat folgendes Aussehen:

Mittlere Anzahl Unfälle =  $\exp [-9.52 + (0.95 * \text{Verkehrsmenge}_{in}) + (-0.50 * \text{Dichte der Wegweiser in der Erkennbarkeit}) + (-0.44 * \text{Anzahl Wegweiser am Knoten}) + (0.77 * \text{dichotome Anzahl der Einmündungen}) + (0.21 * \text{kategorisierte Dichte der Signale in der Erkennbarkeit}) + (0.09 * \text{Zahl der Signale am Knoten}) + (1.30 * \text{Sichtbehinderung beim Abbiegen durch wartende Fahrzeuge}) + (1.72 * \text{Topografie})]$

Mit den durch das Modell vorhergesagten Werten können 23% der Varianz der tatsächlich beobachteten Pfeilgrünunfälle an Pfeilgrünanlagen mit Konfliktströmen erklärt werden.

Aus Tabelle 1 geht hervor, welchen Einfluss die verschiedenen Merkmale auf die Häufigkeit von Pfeilgrünunfällen haben. Hierbei gilt:

- Ein Relatives Risiko > 1 steht für einen unfallerhöhenden Effekt bei zunehmender Ausprägung des Merkmals, ein Wert unter 1 bedeutet sinkende Unfallwahrscheinlichkeit bei zunehmender Ausprägung des Merkmals
- wenn das Konfidenzintervall (CI) den Wert 1 (der für das neutrale Risiko steht) nicht einschliesst, ist der Einfluss des Faktors signifikant.

Der stärkste Prädiktor ist die Topografie (RR = 5.56): Wo die Zufahrt ein Gefälle aufweist, ist die Unfallwahrscheinlichkeit rund 5-mal grösser als an Zufahrten, die eben oder ansteigend sind. Den zweitstärksten Vorhersagewert hat die Sichtbehinderung (RR = 3.64): Wenn abbiegende Fahrzeuge die Sicht auf einen Konfliktstrom verstellen, ist ein Unfallereignis fast 4-mal wahrscheinlicher als in Situationen, wo keine Sichtbehinderungen möglich sind. Ebenfalls ein grosser Einfluss geht von der Exposition, d. h. von der Verkehrsmenge (DTV) aus (RR = 2.60): Mit jeder Zunahme um eine Einheit auf der Log-Skala wird das Risiko eines Pfeilgrünunfalls 2.6-mal grösser. Auf den unlogarithmierten DTV umgerechnet gilt diese Risikoveränderung für jede Zunahme des DTV um den Faktor e (2.71). Bsp.: Bei einer Zufahrt mit DTV = 13'600 Fahrzeugen ist das Unfallrisiko gegenüber einer Zufahrt mit DTV = 5'000 Fahrzeugen 2.6-mal grösser ( $5'000 * e = 13'600$ ). Das bedeutet, dass Verkehrsmenge und Unfallrisiko proportional zueinander sind. Schliesslich wirkt sich auch die Zahl der Einmündungen aus (RR = 2.15): Das Risiko eines Pfeilgrünunfalls ist rund 2-mal grösser, wenn im Erkennbarkeitsbereich der LSA andere Strassen einmünden als wenn dies nicht der Fall ist. Keinen signifikanten unfallerhöhenden Effekt haben die Dichte der Signale in der Erkennbarkeit sowie die Zahl der Signale am Knoten.

Einen unfallreduzierenden Effekt üben die Dichte der Wegweiser innerhalb der Erkennbarkeit sowie die Zahl der Wegweiser am Knoten aus: Bezüglich der Dichte verhält es sich so, dass sich mit jeder Zunahme der Dichte der Wegweiser pro 100 m um eine Einheit das Risiko eines Pfeilgrünunfalls um etwa 40% reduziert (RR = 0.61). In der gleichen Grössenordnung nimmt die Wahrscheinlichkeit eines Pfeilgrünunfalls auch mit zunehmender Zahl der Wegweiser am Knoten ab (RR = 0.64).

Tabelle 1:  
Prädiktoren für Pfeilgrünunfälle

Prädiktoren	Relatives Risiko (RR)	95%-CI
Verkehrsmenge In (DTV)	2.60	1.32 – 5.09
Dichte der Wegweiser in der Erkennbarkeit (kategorisiert)	0.61	0.42 – 0.88
Zahl der Wegweiser am Knoten (kategorisiert)	0.64	0.48 – 0.86
Einmündungen:		
keine	1	
mit Einmündungen	2.15	1.27 – 3.64
Dichte der Signale in der Erkennbarkeit (kategorisiert)	1.23	0.98 – 1.55
Zahl der Signale am Knoten	1.09	0.97 – 1.23
Sichtbehinderung durch abbiegende Fahrzeuge:		
nicht möglich	1	
möglich	3.64	1.72 – 7.70
Topografie:		
eben oder ansteigend	1	
Gefälle	5.56	3.04 – 10.17

### Resultate für Vollgrünunfälle

Die Modellgleichung zur Vorhersage der Vollgrünunfälle sieht folgendermassen aus:

$$\text{Mittlere Anzahl Unfälle} = \exp [-7.10 + (0.55 * \text{Verkehrsmenge}_{in}) + (2.09 * \text{Sichtbehinderung beim Abbiegen durch wartende Fahrzeuge}) + (0.32 * \text{Konflikt der Rechtsabbieger mit Fussgänger}) + (0.40 * \text{Zahl der Signale und Wegweiser innerhalb der Erkennbarkeitsdistanz kategorisiert})]$$

Mit diesen Merkmalen lassen sich rund 34% der Varianz der tatsächlich beobachteten Vollgrünunfälle erklären.

Das Modell zur Prädiktion der Vollgrünunfälle beinhaltet nur wenige Merkmale, die einen signifikanten Beitrag leisten (Tabelle 2). Diese haben zudem alle einen unfallerhöhenden Einfluss. Den stärksten Vorhersagewert hat die Sichtbehinderung (RR = 8.08): Wenn abbiegende Fahrzeuge die Sicht auf einen Konfliktstrom verstellen, ist ein Unfallereignis rund 8-mal wahrscheinlicher als in Situationen, wo keine Sichtbehinderungen möglich sind. Kein so grosser Einfluss geht von der Exposition, d. h. von der Verkehrsmenge (DTV) aus (RR = 1.73): Mit jeder Zunahme um eine Einheit auf der Log-Skala wird das Risiko eines Vollgrünunfalls um etwa 75% grösser. Auf den unlogarithmierten DTV umgerechnet gilt diese Risikoveränderung für jede Zunahme der Verkehrsmenge um den Faktor e (2.71). Schliesslich wirkt sich auch die Zahl der Signale und Wegweiser innerhalb der Erkennbarkeitsdistanz der LSA aus (RR = 1.50): Bei jeder Zunahme um eine Einheit (von 0 Signale und Wegweiser zu 1-2, von 1-2 zu 3-5, von 3-5 zu mehr als 5 Signale und Wegweiser) nimmt die Wahrscheinlichkeit eines Vollgrünunfalls um 50% zu. Lediglich in der

Tendenz zeigt sich, dass die Unfallwahrscheinlichkeit auch dann grösser wird (RR = 1.37, 95%-CI 0.96-1.96), wenn die Möglichkeit eines Konfliktes zwischen den Rechtsabbiegern und den Fussgängern besteht.

Tabelle 2:  
Prädiktoren für Vollgrünunfälle

Prädiktoren	Relatives Risiko (RR)	95%-CI
Verkehrsmenge In (DTV)	1.73	1.10 – 2.74
Sichtbehinderung durch abbiegende Fahrz.:		
nicht möglich	1	
möglich	8.08	3.67 – 17.80
Konflikt der Rechtsabbieger mit Fussgänger:		
nicht möglich	1	
möglich	1.37	0.96 – 1.96
Zahl der Signale und Wegweiser in der Erkennbarkeit (kategorisiert)	1.50	1.22 – 1.83

### Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen den Anlagemerkmalen und dem Unfallgeschehen hat sich gezeigt, dass es Merkmale gibt, die das Unfallrisiko erhöhen, und solche, die es eher verringern. Viele dieser Merkmale lassen sich unter dem Oberbegriff 'Komplexität' subsumieren: Komplexitätserhöhende Merkmale dürften die Informationsverarbeitung erschweren, worunter dann die Fahraufgabe leidet, wodurch sich das Unfallrisiko erhöht; komplexitätsvermindernde Merkmale hingegen bewirken eher eine Erleichterung der Fahraufgabe, was dazu führt, dass das Unfallrisiko tendenziell kleiner wird.

Nachfolgend wurde der Versuch unternommen, die signifikanten oder tendenziell signifikanten Einflussgrössen danach einzuteilen, ob sie eher eine komplexitätserhöhende oder –vermindernde Wirkung haben (Tabelle 3).

Bei den risikoerhöhenden Faktoren dürften die meisten auch eine komplexitätserhöhende Wirkung haben:

- Bei der Verkehrsmenge ist sicher ein gewisser Teil ein reiner Expositionseffekt, d.h., es kommt zu einer Erhöhung der Kollisionswahrscheinlichkeit allein durch die grössere Zahl von Fahrzeugen; andererseits ist bei grosser Verkehrsmenge auch die Aufmerksamkeit der Lenker stärker gefordert.
- Einmündungen: Zunehmende Zahl von rechts bindet die Aufmerksamkeit der Lenker und erschwert die Antizipation späterer Umstände
- Sichtbehinderungen: Wo solche möglich sind, wird ebenfalls die Aufmerksamkeit auf das aktuelle Problem fokussiert und das Vorausschauen verunmöglicht (führt beim Abbiegen dazu, dass der Querverkehr - häufig Fussgänger – nicht beachtet wird).
- Gefälle: Nicht das Gefälle selbst ist der entscheidende Faktor, sondern die auf fallenden Zufahrten zu hohen und der Situation nicht angepassten Geschwindigkeiten. Die Informationen können jedoch nicht entsprechend schnell verarbeitet werden, gerade in komplexen Umgebungen.
- Signale/Signale und Wegweiser: Schwierig einzuteilen, da von diesen ja auch eine Verminderung der Komplexität ausgehen müsste; möglicherweise sind jedoch in der Regel zu viele Signale vorhanden, die für die Fahrhandlung nicht so bedeutsam sind, aber

trotzdem wahrgenommen und verarbeitet werden müssen und dadurch auch Aufmerksamkeit binden.

Ein risikovermindernder Einfluss ging nur von 2 Merkmalen aus, die beide die Wegweiser betreffen:

- Wegweiser stellen eine relevante Information für die Wegfindung dar. Eine frühe Positionierung, also weit vor der LSA, machen eine LSA 'lesbar'. Dadurch lässt sich frühzeitig die richtige Fahrspur wählen, wodurch unnötige Spurwechsel entfallen; am Knoten selbst ist man dann nicht durch die Wegsuche abgelenkt.

Tabelle 3:  
Prädiktoren und Komplexität

Prädiktoren: Auswirkungen auf das Unfallrisiko	Auswirkungen auf die Komplexität		
	erhöhend	?	vermindernd
<b>erhöhend</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrsmenge</li> <li>• Einmündungen</li> <li>• Sichtbehinderungen</li> <li>• Gefälle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Signale</li> <li>• Signale und Wegweiser</li> </ul>	
<b>vermindernd</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wegweiser in der Erkennbarkeit</li> <li>• Wegweiser am Knoten</li> </ul>

Aufgrund der durch die Modelle erklärten Varianzen, die nicht sehr gross sind, muss gefolgert werden, dass weitere Faktoren einen Beitrag zur Erklärung des Unfallgeschehens beisteuern dürften, die nicht Teil der Untersuchung waren (z. B. Eigenschaften der Lenker wie Alter und Geschlecht, oder Unfallumstände wie Tageszeit, Witterung usw.). Anlagentechnische Elemente allein vermögen somit das Verhalten der Fahrzeuglenker nicht derart zu steuern, dass kein Fehlverhalten möglich ist.

Aufgrund der Resultate dieser Studie lassen sich trotzdem ein paar Empfehlungen für die Verkehrsingenieure geben, worauf sie bei der Sanierung oder Planung von LSA achten sollen, um die Wahrscheinlichkeit von Unfällen zu verringern.

Die wichtigste Empfehlung lautet, dass wo immer möglich auf Vollgrünanlagen verzichtet werden sollte. Und zwar deshalb, weil Unfälle an Vollgrünanlagen rund 50% wahrscheinlicher sind als Unfälle an Pfeilgrünanlagen (an Vollgrünanlagen beträgt die Unfallrate pro Jahr 4.4 Unfälle/10'000 Fahrzeuge, an Pfeilgrünanlagen jedoch lediglich 2.95/10'000 Fahrzeuge).