

ENTSCHEIDUNGSVERHALTEN AN LICHTSIGNALANLAGEN MIT UND OHNE GRÜNBLINKEN ALS ANKÜNDIGUNG DER ÜBERGANGSZEIT GELB

(H. Köll, K.W. Axhausen, M. Bader)

1 Ausgangslage

In Österreich gibt es eine Besonderheit bei Lichtsignalanlagen für Kraftfahrzeuge, nämlich die Signalfolge GRÜN - GRÜNBLINKEN - GELB - ROT - GELB/ROT - GRÜN. In [1] haben wir erstmals von einer vom Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds sowie mehreren Städten und Bundesländern in Österreich geförderten Forschungsarbeit zur Ermittlung der Auswirkungen des Grünblinkens auf die Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit verkehrsabhängig gesteuerter Lichtsignalanlagen berichtet. Dabei wurden insbesondere die Erhebungsmethode mit digitaler Bildauswertung sowie erste Ergebnisse betreffend regelwidriges Fahrverhalten (Rot- und Gelbüberfahrten) beschrieben.

Im vorliegenden Beitrag wird über einen weiteren Teilschritt des Projektes berichtet und zwar die Analyse des Entscheidungsverhaltens Anhalten / Durchfahren an Kreuzungszufahrten mit und ohne Grünblinken. Die Ergebnisse sollen eine erste Einschätzung der Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit ermöglichen und die Datengrundlagen für die Adaptierung des Simulationsmodelles VISSIM [5] liefern.

Grünblinken wurde mit der 3. StVO-Novelle vom 22.05.1969 eingeführt und im Jahre 1983 bezüglich Dauer der Leucht- und Dunkelphase (viermal abwechselnd je eine halbe Sekunde) präzisiert. Grünes blinkendes Licht bedeutet lt. Definition das unmittelbar bevorstehende Ende des Zeichens für freie Fahrt, ist von FahrzeuglenkerInnen also wie Grünlicht als Signal für freie Fahrt aufzufassen. Während Grünblinken für Kraftfahrzeuge in der Schlussakte der Konferenz der Vereinten Nationen über den Straßenverkehr [7] nicht vorgesehen ist, entsprechen die übrigen Lichtzeichen den dortigen Festlegungen.

Der genaue Grund für die Einführung des Grünblinkens ist heute nicht mehr eruierbar, da weder die Erläuterungen zum §38 Abs. 6 StVO noch die Beilagen zur damaligen Regierungsvorlage nähere Begründungen enthalten. Nach Aussagen von Beteiligten wurde vermutlich nach einer starken Zunahme von rechtwinkligen Kollisionen an Kreuzungen die Vorankündigung der zu erwartenden Kreuzungssperre für notwendig erachtet.

2 Methode

2.1 Messstandorte

Insgesamt wurden 10 Kreuzungszufahrten mit und ohne Grünblinken beobachtet:

- 4 Zufahrten mit 12 Spuren und der Signalfolge mit Grünblinken in Österreich (Innsbruck, Salzburg, Linz)
- 5 Zufahrten mit 9 Spuren und der Signalfolge ohne Grünblinken in St. Gallen/Schweiz
- 1 Zufahrt mit 2 Spuren und der Signalfolge ohne Grünblinken in München/Deutschland

Für die Auswahl der Messstandorte mussten zahlreiche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden, beispielsweise sollten Geschwindigkeitsniveaus, Spuren und Umfeld ein möglichst breites Spektrum umfassen. Ein Hochhaus oder eine hoch positionierte Überwachungskamera sowie freie Sicht auf die Zufahrt waren Voraussetzung für die Videoaufnahmen und der Zufluss der Fahrzeuge sollte möglichst zufällig erfolgen.

Tabelle 1 zeigt die Messstandorte mit einigen zufahrtsspezifischen Merkmalen.

	beobachtete Spuren	zul. Höchstgeschwindigkeit	Verkehrsstärke Spitzenstunde	Gelbzeit	Fahrzeug-ankunft
Messstandorte	Anzahl	[km/h]	[Kfz/h]	[s]	
Linz/Salzbürger Straße	4	70	k.a.	4	zufällig
Innsbruck/Schützenstraße	2x2	40	440 / 830	3	zufällig
Innsbruck/Amraser Seestraße	2	50	1.560	3	zufällig
Salzburg/I.-Harrer-Straße	2	50	660	3	gepulkt/koordiniert
St. Gallen/Rosenberg-Straße	1	50	920	3	gepulkt
St. Gallen/Lang-Gasse	2	50	1.040	3	zufällig
St. Gallen/Rorschacher-Straße	2	50	930	3	gepulkt
St. Gallen/St. Leonhard-Straße	2	50	1.700	3	gepulkt/koordiniert
St. Gallen/Breitfeld	2	60	1.390	3	zufällig
München/Theresien Straße	2	50	1.300	3	gepulkt

Tabelle 1: Messstandorte

2.2 Digitale Bildauswertung

Zur Ermittlung der gewünschten Entscheidungskenngrößen war es notwendig, die Fahrzeugposition in Abhängigkeit des aktuellen Signalzustandes an der Lichtsignalanlage zu erfassen. Zu diesem Zweck wurde die digitale Bildauswertung herangezogen (Details dazu siehe [1]). Die virtuellen Detektoren wurden in einem Abstand von 5m bis 10m angeordnet und die Auslösezeitpunkte miteinander verknüpft (Abbildung 1). Die Auslösezeitpunkte der einzelnen Fahrzeuge wurden in der Weise normiert, dass der Gelbbeginn immer auf Sekunde 15 fällt. Der Beginn von Grünblinken in Österreich liegt demnach immer bei Sekunde 11.

Zur Ermittlung des Entscheidungsverhaltens musste die Fahrt ausgehend vom Standort zum frühestmöglichen Entscheidungszeitpunkt, also Beginn Grünblinken in Österreich bzw. Gelbbeginn in der Schweiz und in Deutschland in Richtung Haltebalken weiterverfolgt werden. Im Falle des Beispiels in Abbildung 1 konnten 3 Fahrzeuge in die Auswertung miteinbezogen werden, die zwei Fahrzeuge 1 und

2 mit einem Abstand von ca. 16m und 37m bei Gelbbeginn kreuzen, das Fahrzeug 3 mit Abstand 72m hat angehalten. Jene Fahrten, die vor dem Entscheidungszeitpunkt den Haltebalken queren oder erst nach dem Entscheidungszeitpunkt in den untersuchten Streckenabschnitt einfahren, sind für die vorliegende Fragestellung irrelevant.

Auf diese Weise konnten die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge und die Entfernungen vom Haltebalken zum Entscheidungszeitpunkt ermittelt werden. Daraus lassen sich weitere Kenngrößen ableiten wie die potentielle Zeitdauer oder die potentielle Zeitdifferenz (Definitionen siehe unten).

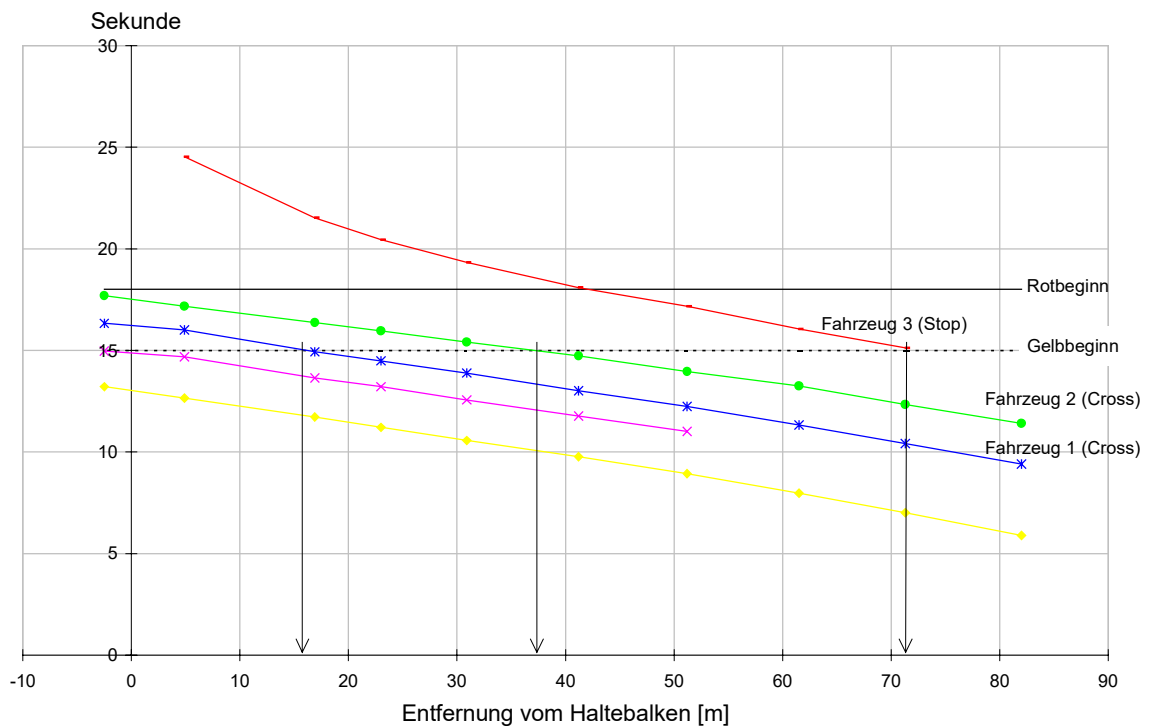


Abbildung 1: Zeit-Weg-Diagramm der Zufahrten mit Durchfahr- und Halt-Ereignissen

2.3 Stichprobe

Die Videoaufzeichnungen umfassten 4.997 Umläufe, davon 1.861 in Österreich, 2.133 in der Stadt St. Gallen / Schweiz, und 1.003 in München / Deutschland. Nur bei einem Teil der Umläufe wurden aus den obengenannten Gründen verwertbare Ereignisse mit durchfahrenden oder anhaltenden Fahrzeugen beobachtet. Insgesamt konnten 2.448 Durchfahr-Beobachtungen in die Auswertung einbezogen werden, 1.350 in Österreich, 553 in St. Gallen und 545 in München. Relevante Halte wurden seltener beobachtet - insgesamt 880 - davon 300 in Österreich, 338 in der Schweiz und 242 in Deutschland.

Als Hinweis für die Qualität der Stichprobe wurden Mittelwert und Standardabweichung der Geschwindigkeiten zum Entscheidungszeitpunkt für die Aufnahmestandorte getrennt nach Durchfahr- und Halt-Beobachtungen ausgewertet. Die Geschwindigkeiten zum Entscheidungszeitpunkt sind unbeeinflusst

vom Signalzustand und dürften sich zwischen durchfahrenden und haltenden Fahrzeugen nicht wesentlich unterscheiden. Bei grob unterschiedlichen Geschwindigkeiten müssten die Daten kritisch auf das Vorhandensein eines systematischen Fehlers überprüft werden.

In Österreich und Deutschland wurden mittlere Geschwindigkeiten von 25 km/h bis 49 km/h gemessen. Die Geschwindigkeiten der durchfahrenden Fahrzeuge liegen mit einer Ausnahme über jenen der anhaltenden. Die Geschwindigkeitsdifferenzen sind mit 3 km/h in München und maximal 4 km/h bei den österreichischen Messstellen sehr gering. In der Schweiz ist das Geschwindigkeitsniveau mit 20 km/h bis 35 km/h insgesamt niedriger. An einer Messstelle mit höheren Geschwindigkeitsdifferenzen zeigten sich bei der Datenkontrolle Unplausibilitäten, weshalb diese Daten vorsorglich von der Analyse ausgeschlossen wurden.

3 Ergebnisse

3.1 Potentielle Zeit

Die potentielle Zeit ist eine Kombination des Effektes von Entfernung und Geschwindigkeit. Man versteht darunter jene Zeit, die ein Fahrzeug bei konstanter Weiterfahrt vom Entscheidungszeitpunkt bis zum Erreichen der Haltelinie benötigen würde.

potentielle Zeit	Anhalte-Wahrscheinlichkeiten			
	Messstellen Österreich	Messstellen nicht Österreich	Messstellen St. Gallen / CH	Messstellen München / D
< 1 s	0%	1%	1%	0%
1 - 2 s	1%	6%	9%	2%
2 - 3 s	1%	31%	35%	28%
3 - 4 s	3%	83%	88%	78%
4 - 5 s	13%	97%	99%	96%
5 - 6 s	32%	100%	100%	100%
6 - 7 s	70%	100%	100%	100%
7 - 8 s	80%	100%	100%	100%
8 - 9 s	90%	100%	100%	100%
9 - 10 s	91%	-	-	-
> 10 s	100%	-	-	-

Tabelle 2: Relative Häufigkeiten von Halt-Entscheidungen in Abhängigkeit von der potentiellen Zeit im Ländervergleich

Ein interessanter Aspekt ist sicherlich der Vergleich der Anhalte-Wahrscheinlichkeiten als Funktion der potentiellen Zeit (Tabelle 2). In Österreich liegt der Gelbbeginn bei einer potentiellen Zeit von 4 Sekunden. Die frühzeitigen Halt-Entscheidungen sind bei den österreichischen Messstellen deutlich erkennbar, beispielsweise halten einige Prozent der FahrzeuglenkerInnen, obwohl sie bei konstanter Weiterfahrt die Haltelinie noch bei Grünblinken passieren würden (grün schraffierter Bereich). Bis zu 80% könnten die Haltelinie bei Gelb passieren (gelber Bereich; gelb schraffierter Bereich wegen 4 Gelbsekunden bei der Messstelle in Linz). Demgegenüber entscheiden sich nur 35% bzw. 28% der deutschen und Schweizer FahrzeuglenkerInnen anzuhalten, obwohl sie die Haltelinie bei Gelb passieren hätten können.

In Österreich ist zudem eine wesentlich größere Entscheidungsbreite feststellbar, die Kurve verläuft deutlich flacher (Abbildung 2). Der Bereich mit großer Unsicherheit in der Entscheidung (20% bis 80% Anhalte-Wahrscheinlichkeit) ist dementsprechend mit einer potentiellen Zeit von 2,2 Sekunden um eine Sekunde länger als jener in der Schweiz oder in Deutschland (1,2s).

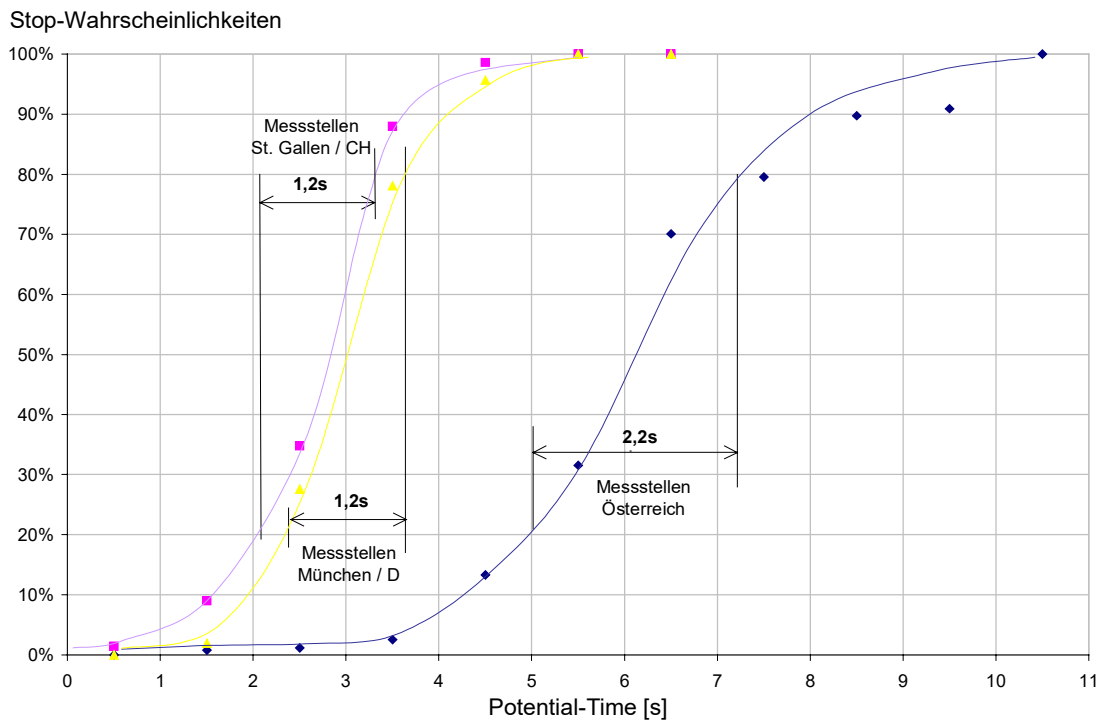


Abbildung 2: Entscheidungsbreiten (Anhalte-Wahrscheinlichkeit zwischen 20% und 80%) im Ländervergleich

3.2 Potentielle Zeitdifferenzen

Diese Kenngröße beschreibt die Differenz aus der Zeit vom Entscheidungszeitpunkt bis Gelbende und der potentiellen Zeit und ermöglicht einen direkten Vergleich der Ergebnisse aus den drei Ländern, da die Werte auf den für alle Länder gleichbedeutenden Zeitpunkt Gelbende normiert werden. Ist die

potentielle Zeit größer als die Dauer bis Gelbende, so ergibt sich eine negative potentielle Zeitdifferenz, d.h. das Fahrzeug würde bei gleichförmiger Weiterfahrt die Haltelinie bei Rotlicht passieren. Anderenfalls, bei theoretischer Überfahrt während der Gelbzeit oder noch davor, ergibt sich eine positive potentielle Zeitdifferenz. Idealerweise würden demnach alle Entscheidungen durchzufahren bei positiver und alle Halt-Entscheidungen bei negativer potentieller Zeitdifferenz getroffen. In diesem Fall hätten die FahrzeuglenkerInnen die Dauer bis Gelbende auf Grundlage der aktuellen Entfernung und Geschwindigkeit des Fahrzeuges perfekt eingeschätzt.

Tatsächlich zeigt sich aber in allen Ländern und bei sämtlichen Messstellen, dass die Dauer bis Gelbende unterschätzt wird. Lässt man die Messstelle Linz / Salzburger Straße wegen der 4 Gelbsekunden außer Acht, so fallen beispielsweise in Österreich auf 12 Entscheidungen durchzufahren bei negativer potentieller Zeitdifferenz 110 Halt-Entscheidungen bei positiver potentieller Zeitdifferenz (Abbildung 3). Das Verhältnis von 1:9,2 zeigt, wie deutlich in Österreich die Dauer bis Gelbende (Grünblinken und Gelb) unterschätzt wird. Mit einer vierten Gelbsekunde dürfte sich dieser Effekt nochmals verstärken: In Linz wurde keine einzige Entscheidung durchzufahren bei negativer potentieller Zeitdifferenz, hingegen 99 Halt-Entscheidungen bei positiver potentieller Zeitdifferenz beobachtet.

Bei den Messstellen in St. Gallen / CH wird mit einem Verhältnis von 1:5,5 und bei der Messstelle in München mit 1:1,8 die Dauer bis Gelbende zwar bei weitem nicht in dem Ausmaß wie in Österreich, aber ebenfalls eindeutig unterschätzt.

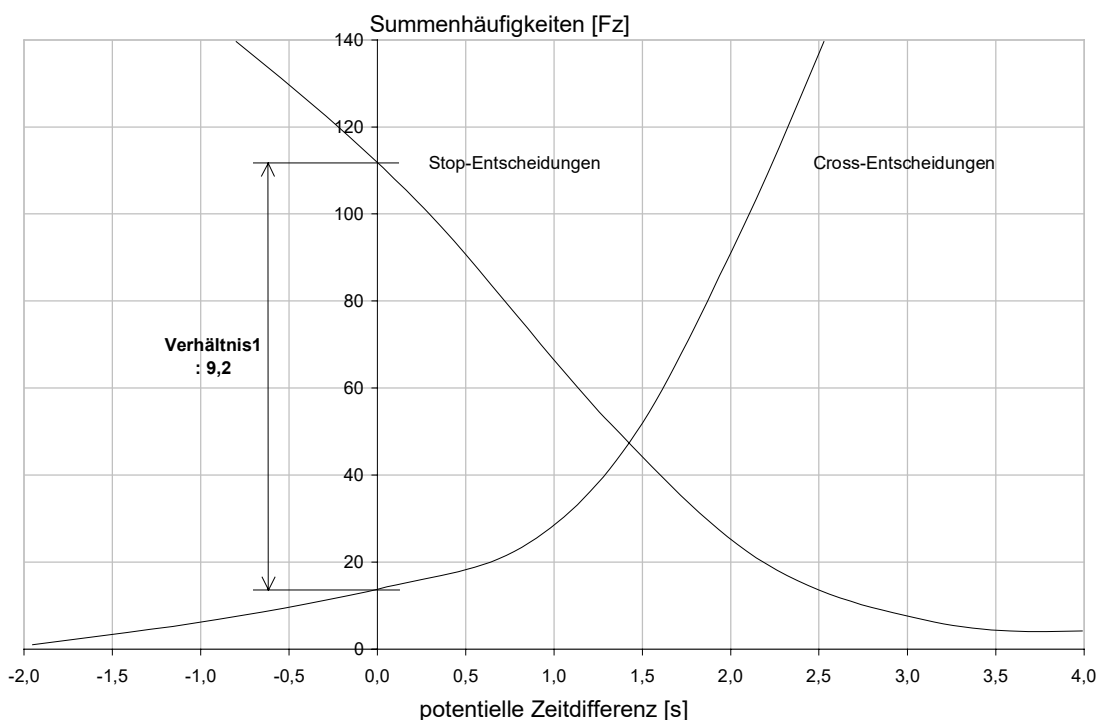


Abbildung 3: Potentielle Zeitdifferenzen getrennt nach Halt- und Durchfahr-Entscheidungen Messstellen Österreich ohne Linz

3.3 Fehlentscheidungen

Gemäß Straßenverkehrsordnung muss ein Fahrzeug bei gelbem, nicht blinkendem Licht anhalten. Nur wenn ein sicheres Anhalten nicht mehr möglich ist, haben die FahrzeuglenkerInnen weiterzufahren. Grünes Licht gilt als Zeichen für freie Fahrt, die FahrzeuglenkerInnen haben - sofern es die Verkehrslage zulässt - weiterzufahren. In Konsequenz daraus lassen sich Fehlentscheidungen für die Messstellen ohne Grünblinken wie folgt definieren:

- Durchfahr-Entscheidungen von FahrzeuglenkerInnen, die bei Gelbbeginn eine so große Entfernung zur Haltelinie haben, dass unter Berücksichtigung der Reaktionszeit und bei normaler Betriebsbremsung ein Anhalten möglich gewesen wäre (gelb hinterlegter Bereich oberhalb der Bremskurve in Abbildung 4)
- Halt-Entscheidungen von FahrzeuglenkerInnen, die bei Gelbbeginn eine so geringe Entfernung zur Haltelinie haben, dass bei normaler Betriebsbremsung ein Anhalten nicht möglich gewesen wäre, ein Durchfahren hingegen schon (blau hinterlegter Bereich unterhalb der Brems- bzw. Fahrkurve in Abbildung 4)

In der sogenannten Dilemmazone (Abbildung 4) ist ein StVO-konformes Verhalten nicht möglich: Der Bremsweg ist größer als die Entfernung (kein sicheres Anhalten) und der Fahrweg kleiner als die Entfernung (Überfahrt bei Rot). Von Fehlentscheidungen kann in diesem Zusammenhang nicht gesprochen werden.

Für die Österreichischen Messstellen ist die Definition komplizierter, da Ausgangspunkt der früheste Entscheidungszeitpunkt, also Beginn Grünblinken ist. **Zweifelsfreie** Fehlentscheidungen werden hier definiert als:

- Durchfahr-Entscheidungen von FahrzeuglenkerInnen, die unter Berücksichtigung der Reaktionszeit und normaler Beschleunigung bis zur höchstzulässigen Geschwindigkeit, bei Gelbbeginn noch eine so große Entfernung zur Haltelinie haben, dass bei normaler Betriebsbremsung ein Anhalten möglich wäre (gelb hinterlegter Bereich oberhalb der Bremskurve mit Beschleunigung in Abbildung 5)
- Halt-Entscheidungen von FahrzeuglenkerInnen, die bei gleichmäßiger Weiterfahrt bei Gelbbeginn eine so geringe Entfernung zur Haltelinie haben, dass bei normaler Betriebsbremsung ein Anhalten nicht möglich wäre, ein Durchfahren hingegen schon (blau hinterlegter Bereich unterhalb der Brems- bzw. Fahrkurve ohne Beschleunigung in Abbildung 5)

Neben der Dilemmazone gibt es hier einen weiteren Bereich, für den nicht eindeutig angegeben werden kann, ob es sich bei Durchfahr-Entscheidungen um Fehlentscheidungen handelt oder nicht (grün hinterlegt in Abbildung 5). Die entscheidende Frage dabei ist, ob während des Grünblinkens eine Beschleunigung bis zur höchstzulässigen Geschwindigkeit unterstellt wird oder nicht (siehe dazu auch [6]). Die Auswertung von Geschwindigkeitsänderungen zeigt jedenfalls eine große Streubreite mit überwiegenden Beschleunigungsmanövern. Wählt man einen **restriktiven Ansatz ohne Beschleunigung während Grünblinken** sind alle Durchfahr-Entscheidungen im grünen Bereich Fehlentscheidungen im Sinne der StVO (sicheres Anhalten bei Gelbbeginn möglich).

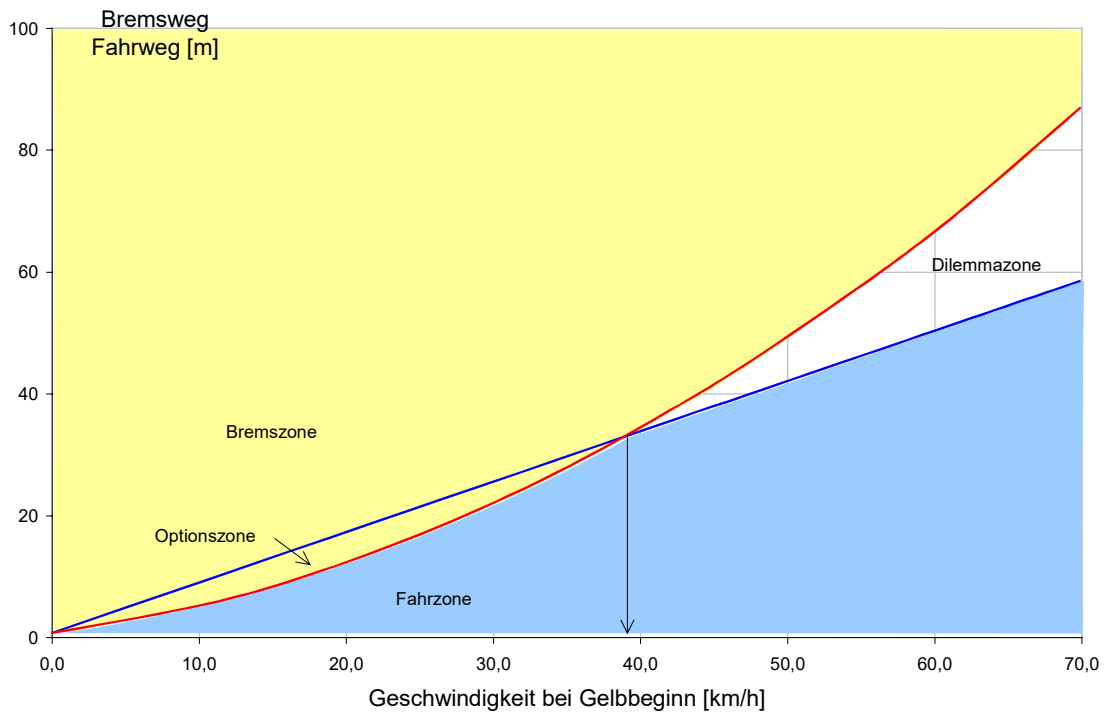


Abbildung 4: Entscheidungsbereiche bei Signalfolgen ohne Grünblinken (3s Gelbzeit)

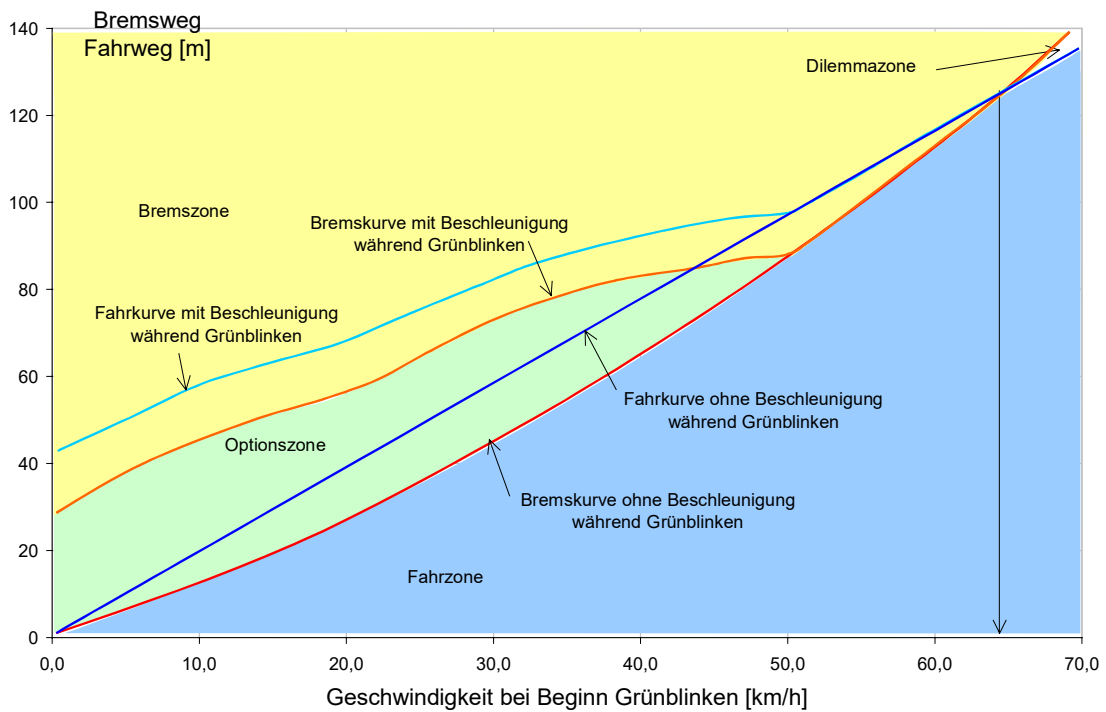


Abbildung 5: Entscheidungsbereiche bei Signalfolgen mit Grünblinken (4s Grünblinken und 3s Gelbzeit, zulässige Höchstgeschwindigkeit 50 km/h)

Bei einem **toleranten Ansatz mit Beschleunigungsmöglichkeit während Grünblinken** sind die Durchfahr-Entscheidungen im fraglichen Bereich korrekt (sicheres Anhalten bei unterstellter Beschleunigung bis Gelbbeginn nicht mehr möglich). Die Halt-Entscheidungen im grün hinterlegten Bereich sind generell, dh. unabhängig vom gewählten Ansatz, als korrekt zu betrachten (sicheres Anhalten nach gleichmäßiger Weiterfahrt bis Gelbbeginn möglich).

In Österreich ist der Anteil der falschen Halt-Entscheidungen besonders hoch, d.h. es werden sehr frühzeitig Halt-Entscheidungen getroffen und die Geschwindigkeiten reduziert, obwohl bei Weiterfahrt die Kreuzung gesetzeskonform hätte passiert werden können. Der Anteil der falschen Entscheidungen durchzufahren liegt je nach Ansatz zwischen 0% und 6% und damit in einer ähnlichen Größenordnung wie in Deutschland (Tabelle 3).

In Deutschland fällt insbesondere auf, dass sich überproportional viele Fahrzeuge in der Dilemmazone befinden. Betrachtet man die Entscheidungsbereiche in den Abbildungen 4 und 5, lässt sich dieser Umstand erklären: In Österreich liegt die Dilemmazone weit außerhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und bei den Schweizer Messstellen werden überwiegend sehr niedrige Geschwindigkeiten gefahren, sodass die Dilemmazone kaum erreicht wird.

Messstellen	Halt-Entscheidungen				Durchfahr-Entscheidungen			
	richtig	falsch	Dilemma	falsch %	richtig	falsch	Dilemma	falsch %
Messstellen Österreich restriktiver Ansatz	205	95	0	32%	1.272	78	0	6%
Messstellen Österreich toleranter Ansatz	205	95	0	32%	1.350	0	0	0%
Messstellen St. Gallen / CH	332	56	1	14%	570	71	0	11%
Messstelle München / D	143	55	44	23%	505	22	18	4%

Tabelle 3: Fehlentscheidungen Halten/Durchfahren aggregiert nach Ländern

Wie Abbildung 6 zeigt, ist das Ausmaß der Fehleinschätzung in Österreich besonders hoch. Betrachtet man den Standort der Fahrzeuge zum Zeitpunkt Gelbende bei **konstanter** Weiterfahrt würden sich in der Schweiz und in Deutschland rund 73% bzw. 87% der Fahrzeuge nur 0 bis 10 m nach dem Haltebalken befinden. Hingegen müssen rund 14% der österreichischen Halt-Fehlentscheidungen als völlig unangemessen bezeichnet werden: Diese hätten bei Gelbende die Haltelinie bereits mehr als 40m hinter sich gelassen.

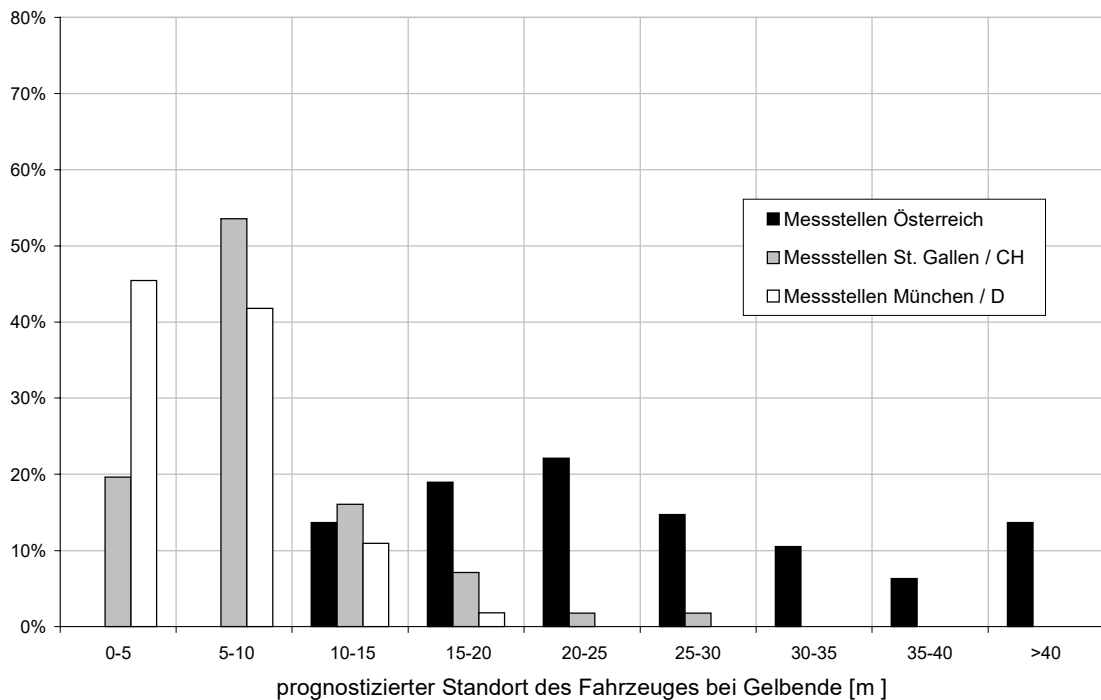


Abbildung 6: Position anhaltender Fahrzeuge bei unterstellter gleichmäßiger Weiterfahrt, bezogen auf die überfahrene Haltelinie

3.4 Modellbildung

Mit den erfassten Daten von Fahrzeugen, welche bei den Kreuzungszufahrten anhalten oder durchfahren, soll die Entscheidungssituation modellmäßig mittels logistischer Regression (Logit-Modell) nachgebildet werden. Als erklärende Variablen wurden neben den Messstandorten Kenngrößen der Entscheidungssituation wie Entfernung, Geschwindigkeit und potentielle Zeit zum Entscheidungszeitpunkt, Kenngrößen des Verkehrsablaufes wie mittlere Zeitlücke (als Maß für den Verkehrsdruck) und Kriterien der Knotengeometrie wie Spur, Auslegermast und Parken am Straßenrand herangezogen.

Logit Modelle für die Entscheidungssituation Anhalten / Durchfahren mit Grünblinken

Die Parameterschätzwerte für die Modelle mit Signalfolge mit Grünblinken können den Tabellen 4 und 5 entnommen werden. Es zeigt sich der erwartete starke Erklärungsgehalt von Entfernung und Geschwindigkeit: bei zunehmender Entfernung und mit abnehmender Geschwindigkeit steigt die Anhalte-Wahrscheinlichkeit. Von den übrigen Variablen ist wie schon bei den Modellen für Rot- und Gelbüberfahrten [1] nur der Signalgeber am Auslegermast signifikant. Da nur ein Messstandort mit Auslegermasten ausgerüstet war, ist es aber durchaus möglich, dass diese Variable andere Besonderheiten des Standortes repräsentiert.

Logit Modell 1	mit Grünblinken	
Variable	Parameter	Signifikanz
Intercept	-2,238	**
Entfernung bei Beginn Grünblinken	0,084	**
Geschwindigkeit bei Beginn Grünblinken	-0,087	**
mittlere Zeitlücke	0,001	
Spur Links	0,358	
Signalgeber am Auslegermast	-0,295	*
Längsparken am Straßenrand	-0,014	
L(C)	-1145,31	
L(β)	-697,33	
ρ^2	0,39	
N	2049	

*Signifikanz <0,05

**Signifikanz <0,01

Tabelle 4: Ergebnisse der Modellschätzungen für Anhalte-Wahrscheinlichkeiten Österreich: Signalfolge mit Grünblinken

Logit Modell 2	mit Grünblinken	
Variable	Parameter	Signifikanz
Intercept	-4,196	**
potentielle Zeit	-0,135	**
potentielle Zeit quadriert	0,131	**
Innsbruck/Schützenstraße	-0,198	
Innsbruck/Amraser Seestraße	-0,018	
Salzburg/I.-Harrer-Straße	0,210	
L(C)	-1145,31	
L(β)	-669,36	
ρ^2	0,42	
N	2049	

*Signifikanz <0,05

**Signifikanz <0,01

Tabelle 5: Ergebnisse der Modellschätzungen für Anhalte-Wahrscheinlichkeiten Österreich: Signalfolge mit Grünblinken

Ersetzt man Entfernung und Geschwindigkeit durch die potentielle Zeit, so ergeben sich Modelle mit wesentlich schlechterer Qualität ($L(\beta) = -1.050$). Interessanterweise wird die beste Modellschätzung erreicht, wenn die Variable potentielle Zeit in linearer **und** quadratischer Form eingeht (Tabelle 5). Offensichtlich steigt die Anhaltewahrscheinlichkeit mit dem Quadrat der potentiellen Zeit und wird durch den linearen Anteil etwas nach unten korrigiert. Die einzelnen Messstellen, die bei diesem Modell den Einfluss der örtlichen Situation beschreiben sollen, zeigen keine signifikanten Abweichungen voneinander.

Logit Modelle für die Entscheidungssituation Anhalten / Durchfahren ohne Grünblinken

Die Modellschätzung mit den Variablen Entfernung und Geschwindigkeit sowie den Merkmalen des Knotens und des Verkehrsstromes zeigen ähnliche Ergebnisse wie beim Modell mit Grünblinken: hoch signifikante Variablen Entfernung und Geschwindigkeit, geringerer Erklärungsgehalt des Signalgebers am Auslegermast und nicht signifikante mittlere Zeitlücke (Tabelle 6).

Ein quadratischer Einfluss der potentiellen Zeit auf die Anhalte-Wahrscheinlichkeiten wie bei den Modellen mit Grünblinken kann bei einer Signalfolge ohne Grünblinken nicht nachgewiesen werden. Die beste Qualität des Modells ergibt sich durch die potentielle Zeit als zusätzliche Variable zu Entfernung und Geschwindigkeit (Tabelle 7). Die einzelnen Messstellen wurden wiederum für den Einfluss der örtlichen Situation aufgenommen und zeigen ebenfalls keine signifikanten Abweichungen voneinander.

Logit Modell 1 Variable	ohne Grünblinken	
	Parameter	Signifikanz
Intercept	0,668	*
Entfernung bei Gelbbeginn	0,254	**
Geschwindigkeit bei Gelbbeginn	-0,224	**
mittlere Zeitlücke	0,000	
Spur Links	0,166	
Signalgeber am Auslegermast	0,530	*
Längsparken am Straßenrand	0,187	
L(C)	-1081,83	
L(β)	-463,64	
ρ^2	0,57	
N	1678	

*Signifikanz <0,05

**Signifikanz <0,01

Tabelle 6: Ergebnisse der Modellschätzungen für Anhalte-Wahrscheinlichkeiten
Schweiz, Deutschland: Signalfolge ohne Grünblinken

Logit Modell 2	ohne Grünblinken	
Variable	Parameter	Signifikanz
Intercept	-3,321	**
Entfernung bei Gelbbeginn	0,083	*
Geschwindigkeit bei Gelbbeginn	-0,097	**
potentielle Zeit	1,597	**
St. Gallen/Rosenberg-Straße	0,055	
St. Gallen/Lang-Gasse	-0,530	
St. Gallen/Rorschacher-Straße	0,007	
St. Gallen/St. Leonhard-Straße	0,292	
St. Gallen/Breitfeld	0,490	
L(C)	-1145,31	
L(β)	-449,81	
ρ^2	0,61	
N	1678	

*Signifikanz <0,05

**Signifikanz <0,01

Tabelle 7: Ergebnisse der Modellschätzungen für Anhalte-Wahrscheinlichkeiten
Schweiz, Deutschland: Signalfolge ohne Grünblinken

4 Fazit

Die Zeitdauer bis Gelbende wird mit Grünblinken massiv unterschätzt. Das Verhältnis von falschen Durchfahr- zu falschen Halt-Entscheidungen ist mit 1:9,2 fast doppelt so hoch wie in der Schweiz und 5 mal so hoch wie bei der Messstelle in München. Bei 4 Gelbsekunden wird die Fehleinschätzung noch verstärkt. In direktem Zusammenhang damit sind die frühzeitigen Anhalte-Entscheidungen in Österreich zu sehen. In einigen Fällen wird so früh angehalten, dass bei konstanter Weiterfahrt die Haltelinie noch während Grünblinken hätte passiert werden können, knapp 80% (gegenüber 35% in der Schweiz und 28% in Deutschland) würden es noch vor Gelbende schaffen.

Grundsätzliche Überlegungen zu Brems- und Fahrkurven führen bei Signalfolgen mit Grünblinken zu sehr großen Optionszonen, also Bereichen, in denen sowohl sicher angehalten als auch die Haltelinie passiert werden kann. Die Dilemmazone hingegen liegt weit ausserhalb des zulässigen Geschwindigkeitsbereiches. Es überrascht deshalb nicht, dass die Entscheidungsbreite (Bereich zwischen 20% und 80% Anhalte-Wahrscheinlichkeit) in Österreich mit 2,2 Fahrsekunden um eine Sekunde länger ist als in der Schweiz und in Deutschland. Hingegen befindet sich kein einziges Fahrzeug der Stichprobe (N = 1.650 Fz) in der Dilemmazone.

Die Modellschätzungen zeigen den erwarteten starken Einfluss von Entfernung und Geschwindigkeit zum Entscheidungszeitpunkt. Mit zunehmender Geschwindigkeit sinkt und mit zunehmender Entfernung steigt die Anhalte-Wahrscheinlichkeit. Von den knotenspezifischen Variablen scheint nur der Signalgeber am Auslegermast einen Einfluss auf die Entscheidungssituation zu haben, wobei die Reaktionen unterschiedlich ausfallen: mit Grünblinken ist die Anhalte-Wahrscheinlichkeit geringer, ohne Grünblinken höher. Die mittlere Zeitlücke als Maß für den Verkehrsdruck ist nicht signifikant, was etwas überrascht, da man anschaulich mit mehr Durchfahrten bei höherem Verkehrsdruck rechnen würde.

5 Ausblick

In Bezug auf die Verkehrssicherheit lässt das frühzeitige Anhalten eine geringere Gefahr für rechtwinklige Kollisionen erwarten (zumal die Richtlinien für die Schutzzeitenberechnung keine Abschläge wegen des Grünblinkens vorsehen) und der wesentlich größere Bereich mit Unsicherheiten Anhalten/Durchfahren könnte die Auffahrkollisionen erhöhen. Vergleichbare Beobachtungen wurden bereits in [2], [3] und [4] gemacht und sollen anhand der Analyse von Unfallzahlen an 50 Knoten in Österreich sowie 50 Knoten in der Schweiz und Deutschland geprüft werden.

Die Ergebnisse der Modellschätzungen finden bereits im Programmsystem VISSIM [5] Eingang, welches damit das Fahrverhalten auf Kreuzungszufahrten mittels Anhalte-Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit verschiedener Variablen mit und ohne GRÜNBLINKEN realistisch nachbilden kann.

Anhand standardisierter Kreuzungen und Steuerungen sowie mehrerer konkreter Fallbeispiele in österreichischen Städten sollen in weiterer Folge die Auswirkungen des Grünblinkens auf die Leistungsfähigkeit verkehrsabhängig gesteuerter Knoten ermittelt werden.

6 Danksagung

Die Autoren möchten sich an dieser Stelle beim Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds für die Unterstützung der Arbeit und die Erlaubnis zur Veröffentlichung bedanken. Weiters bedanken wir uns bei Herrn Wöginger für die mit großem Engagement durchgeführte Erhebung und Erfassung der Daten und den Herrn Hunziker und Büchler vom Tiefbauamt der Stadt St. Gallen für Ihre Unterstützung.

7 Quellenverzeichnis

- [1] KÖLL H. et al.: "Regelwidriges Fahrverhalten an Lichtsignalanlagen - Empirische Ergebnisse aus Österreich, Schweiz und Deutschland", Straßenverkehrstechnik, Heft 7, 45. Jahrgang, S 313-317, 2001

- [2] MAHALEL D., ZAIDEL D.M.: „Safety evaluation of a flashing-green light in a traffic signal“, Traffic Engineering + Control, S 79-81, 1985

- [3] BEHRENDT J.: „Untersuchungen zur Gelblichtproblematik an Knotenpunkten mit Lichtsignalsteuerung“, Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 101, 1970

- [4] KNOFLACHER H.: „Der Einfluß des Grünblinkens auf die Leistungsfähigkeit und Sicherheit lichtsignal geregelter Straßenkreuzungen“, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 8, 1972

- [5] PTV SYSTEM AG: „VISSIM 3.* - Mikroskopische Verkehrsflußsimulation“ mit je einem Parametersatz mit / ohne Grünblinken, Karlsruhe, 2001

- [6] LIU C., HERMAN R.: „A Review of the Yellow Interval Dilemma“, Transportation Research Vol. 30, S 333-348, 1996

- [7] Schlußakte der Konferenz der Vereinten Nationen über den Straßenverkehr, Übereinkommen über den Straßenverkehr; Kapitel III - Verkehrslichtzeichen, Artikel 23, 1968