

Bachelorarbeit

Evaluierung Grünblinken

Nikolaus Prinz

Datum: 04.08.2016

Kurzfassung

Die Diskussion über die Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit einer Vorankündigung des Signals „Gelb“ beschäftigt schon seit der Einführung von Lichtsignalanlagen Verkehrsexperten. Unterschiedliche Formen der Ankündigung wurden über Jahre hinweg getestet, doch die Ergebnisse sämtlicher Vorankündigungen waren sehr ähnlich. In dieser Arbeit soll einerseits das Entscheidungsverhalten von Fahrzeuglenkern an einer ausgewählten Kreuzung auf richtige und falsche Entscheidungen hin analysiert werden und überprüft werden, ob tatsächlich so viele falsche Haltentscheidungen getroffen werden. Andererseits sollen die Geschwindigkeitsverhältnisse während der Phasen „Grün“ und „Grünblinken“ miteinander verglichen werden.

1 Einleitung

Die Signalfolge „Grün“-„Grünblinken“-„Gelb“-„Rot“-„Rot/Gelb“ ist keine vollständige österreichische Eigenart bei der Signalisierung bei Verkehrslichtsignalanlagen für Kraftfahrzeuge. Allerdings ist sie innerhalb der EU-27 trotzdem eher die Ausnahme. Aus einer Anfrage beim ÖAMTC ging hervor, dass diese Signalisierung – abgesehen von Österreich – in Kroatien, Polen, Lettland und Litauen auf diese Art und Weise praktiziert wird, also in einer verhältnismäßig kleinen Anzahl an Ländern. Außerhalb Europas findet sie sich ebenso sehr selten, beispielsweise in Israel, Jordanien oder Kuba [2].

Das Grünblinken als Vorankündigung der Gelbphase wurde eingeführt mit der 3. StVO-Novelle am 22. Juni 1969 und ist seit 1983 in der StVO. §38 Abs. 6 folgendermaßen definiert: *Das grüne Licht ist mit viermal grünblinkendem Licht zu beenden, wobei die Leucht- und die Dunkelphase abwechselnd je eine halbe Sekunde zu betragen haben. Grünes blinkendes Licht bedeutet das unmittelbar bevorstehende Ende des Zeichens für „freie Fahrt“.*

Die Bedeutung von Grünblinken ist demnach dieselbe wie nichtblinkendes grünes Licht, es sollen durch diese Vorinformation nur abrupte Bremsmanöver und somit Konflikte im Vorkreuzungsbereich vermieden werden [1].

Des Weiteren wird eine erhöhte Anzahl rechtwinkliger Kollisionen im Kreuzungsbereich als Grund für die Einführung vermutet. Genau lässt sich dies allerdings nicht belegen, da hierfür erforderliche offizielle Begründungen fehlen [2]. Es gilt allerdings zu überlegen, ob nicht eine verlängerte bzw. an die vorliegenden Geschwindigkeitsverhältnisse angepasste Gelbphase positivere Effekte hätte [3].

In dieser Arbeit liegt der Fokus allerdings auf dem Entscheidungsverhalten der Fahrzeuglenker und den vorherrschenden Geschwindigkeitsniveaus während der Grünblinkphase. Zum einen soll untersucht werden, welche Geschwindigkeiten die Fahrzeuge während den Signalphasen „Grün“ und „Grünblinken“ aufweisen und dabei die Streuung während der Grünblinkphase analysiert werden. Andererseits soll das Entscheidungsverhalten auf richtige und falsche Haltentscheidungen untersucht werden, denn unterschiedliche Entscheidungen wurden bereits von vielen Voruntersuchungen für vermehrte Auffahrunfälle im Vorkreuzungsbereich verantwortlich gemacht [1, 5].

2 Entscheidungsverhalten

2.1 Entscheidungsbereich

Um einen Übergang vom Signal für „Freie Fahrt“ zu dem für „Halt“ zu schaffen, wurde das Zwischensignal „Gelb“ eingeführt. Dieses ist vor allem aus rechtlicher Sicht, aber auch aus Gründen der Fahrdynamik und der Verkehrssicherheit erforderlich. In Österreich bedeutet es gemäß StVO. §38 Abs. 1 und 2 *„Halt“, sofern ein sicheres Anhalten möglich ist.* Es existiert allerdings, bedingt durch das prompte Umschalten von „Grün“ auf „Gelb“, ein kritischer Bereich für Fahrzeuglenker, in dem bei momentaner Geschwindigkeit sowohl ein Anhalten vor der Haltelinie mit annehmbarer Bremsverzögerung, als auch bei konstanter Weiterfahrt ein Passieren der Haltelinie bei „Gelb“ nicht möglich ist [1, 4, 5]. Dieser Bereich ist als Dilemmazone bekannt. In diesem Bereich blieben als Alternativen nur die Beschleunigung auf eine höhere Geschwindigkeit, was oft wegen des gesetzlich vorgeschriebenen Tempolimits nicht erlaubt ist oder ein Bremsmanöver mit vergleichsweise sehr hohen Bremsverzögerungen.

Das gravierende Problem der Gelblichtdefinition beschrieben van der Horst und Wilmink in [3]. Sie analysierten 1988 das Entscheidungsverhalten von Kraftfahrern an Ampeln in den Niederlanden. Die Definition des Gelblichts ist dort ähnlich vage formuliert wie in Österreich und bietet mit der Formulierung *„sofern sicheres Anhalten möglich ist“* einigen Spielraum für Interpretationen. Laut Behrendt hat das Signal „Gelb“ damit für die Fahrzeuglenker „keinen eindeutigen Informationsgehalt“ und es werden subjektiv, abhängig von diversen Beweggründen unterschiedliche Entscheidungen getroffen [4].

Als gewichtigste Einflussgrößen nennen van der Horst und Wilmink unter anderem die Vorhersehbarkeit der vorliegenden Situation, die Schätzung über den Zeitpunkt und die Folgen des Durchfahrens sowie auch Abschätzungen über die Folgen des Anhaltens wie Wartezeit oder Störung des Fahrkomforts [3]. Laut Behrendt ist vor allem die gefahrene Geschwindigkeit maßgebend für das Entscheidungsverhalten [4].

Es gibt also eine Vielzahl an Faktoren, die das Entscheidungsverhalten der Fahrzeuglenker ganz unterschiedlich beeinflussen und die in relativ kurzer Zeit abgewägt werden müssen.

Um den kritischen Bereich der Dilemmazone zu eliminieren gab es über Jahre hinweg mehrere Vorschläge, die teilweise getestet wurden und auch heute noch angewendet werden.

In den USA wurden Mitte des 20. Jahrhunderts verschiedenste Varianten der Vorankündigung getestet, so zum Beispiel die Kombination aus gelbem und grünem Licht vor der Gelbphase. Eine weitere Art ist die Installation von sogenannten „advance warning flashers“. Diese werden in einem bestimmten Abstand zur Lichtsignalanlage aufgestellt und zeigen den Fahrzeuglenkern durch Blinken an, dass sie sich auf einen bevorstehenden Halt einstellen sollen. Da diese ortsfest montierten Signale allerdings stark von der Geschwindigkeit der annähernden Fahrzeuge abhängig sind, haben sie sich nicht durchgesetzt und werden hauptsächlich an Kreuzungen verwendet, die beispielsweise direkt nach Kurven liegen und daher schlecht einsehbar sind [6].

Eine weitere Methode der zeitlichen Vorankündigung war das Anbringen eines Countdown-Zählers neben der Lichtsignalanlage, die gegenüber dem Grünblinken den Vorteil aufweist, dass es keine Phasen ohne Lichtsignal gibt. Diese Methode wird derzeit in Taiwan praktiziert. Auch hier gab es verschiedenste Untersuchungen, zum Teil mit Ergänzung eines weiteren Countdown-Zählers als Ankündigung der bevorstehenden Grünphase, um Frühstarts zu vermeiden [7].

In Österreich entschied man sich für die Form des Grünblinkens als Vorankündigung. Die Folgen dieser unterschiedlichen Vorankündigungen sind allerdings allesamt sehr ähnlich und mit denen des Grünblinkens gleichzusetzen.

Durch die Vorankündigung wird zwar die oben beschriebene Dilemmazone weitgehend ausgeschaltet, das größere Problem ist allerdings die von Mahalel benannte Indifferenzzone. Dies ist jener Bereich, in dem die Anhaltewahrscheinlichkeit zwischen 10 % und 90 % liegt und es folglich zu den meisten unterschiedlichen Entscheidungen und in weiterer Folge zu Konfliktsituationen oder Auffahrunfällen kommt [5]. Durch sämtliche Arten der Vorankündigung kommt es allerdings zu einer Vergrößerung dieser Zone und somit zu einer Häufung der damit verbundenen Probleme im Vorkreuzungsbereich [5, 8].

2.2 Potentielle Zeitdifferenzen

Um das Entscheidungsverhalten anschaulich beschreiben zu können bietet sich der Begriff der potentiellen Zeitdifferenz an. Dieser wurde sowohl von Behrendt als auch von Knoflacher und Köll zur Analyse benutzt [1, 2, 4]. Um einen Zusammenhang zwischen Zeit und Entscheidungsverhalten zu schaffen, wird für die Fahrzeuge der theoretische Zeitpunkt des Überfahrens der Haltelinie extrapoliert. Würde das Fahrzeug noch vor dem Signal „Rot“ die Haltelinie passieren, hat es eine positive Zeitdifferenz, beim Überfahren derselben eine negative Zeitdifferenz.

Diese Definition hat zwei Vorteile: Erstens kann eine Grenzzeitdifferenz bestimmt werden, die eine Aussage darüber liefert, wie die Länge der Gelbzeit eingeschätzt wird. Die Grenzzeitdifferenz ist definiert als der Schnittpunkt der Summenlinien der potentiellen Zeitdifferenzen aus positiven und negativen Entscheidungen. Zweitens wird aufgrund der potentiellen Zeitdifferenz die Beurteilung von Fehlentscheidungen möglich.

Behrendt erkannte, dass die Grenzzeitdifferenz mit der Dauer der Gelbzeit zunimmt, da die Fahrzeuglenker diese mit zunehmender Dauer immer stärker unterschätzen [4]. Knoflacher kam ebenfalls zu dem Schluss, dass die Grenzzeitdifferenz sehr stark von der Gelbzeit abhängt und zwar wesentlich stärker als von einer Vorankündigung des Phasenwechsels [1].

2.3 Fehlentscheidungen

Grundsätzlich wird eine Fehlentscheidung folgendermaßen definiert: Positive Entscheidungen bei negativen potentiellen Zeitdifferenzen und negative Entscheidungen bei positiven potentiellen Zeitdifferenzen.

2.3.1 Haltentscheidungen

Bei der Analyse dieser Fehlentscheidungen fiel sehr deutlich auf, dass bei Anlagen mit Vorsignalisierung die negativen Fehlentscheidungen überwiegen. Das heißt auch durch Grünblinken werden wesentlich mehr falsche Haltentscheidungen getroffen [1, 2, 5, 6]

Knoflacher analysierte im Rahmen seiner Untersuchung Kreuzungen in München (ohne Grünblinken) und in Wien (mit Grünblinken) jeweils innerstädtisch und am Stadtrand, um unterschiedliche Geschwindigkeitsverhältnisse zu überprüfen [1].

Beim Vergleich der potentiellen mit den realen Zeitüberschreitern fiel auf, dass bei Kreuzungen mit Grünblinken die Anzahl der realen Rotüberschreitern deutlich unter jenen der potentiellen liegt. Durch die Vorankündigung des bevorstehenden Signalwechsels werden die Fahrzeuglenker offenbar vielfach zu Haltentscheidungen animiert.

Er erkannte, dass durch Grünblinken die Häufigkeit für Haltentscheidungen deutlich ansteigt. Am Stadtrand zum Beispiel war das Verhältnis von positiven zu negativen Entscheidungen ohne Grünblinken 1:0,6, mit Grünblinken 1:3.1 [1].

Ein weiterer relevanter Aspekt war der Unterschied zwischen Stadtrand und Stadttinnerem. Dieser lässt sich auf die unterschiedlich hohen Anfahrtsgeschwindigkeiten zurückführen. Demnach beeinflusst bei höheren Geschwindigkeiten die vorzeitige Ankündigung des Phasenwechsels die Halteentscheidungen offenbar noch stärker [1].

Köll analysierte zunächst die potentielle Zeitdifferenz für den kritischen Bereich der Indifferenzphase, also jenen Bereich, in dem die Anhaltewahrscheinlichkeit 50 % beträgt und somit das höchste Konfliktpotential besteht. Dieser Punkt ist auch als Grenzzeitdifferenz bekannt. Dieser lag bei Lichtsignalanlagen mit Grünblinken durchschnittlich 1,4 s vor dem Ende der Gelbphase und damit rund 1 s über den Vergleichsländern Deutschland und Schweiz. Somit konnte auch er einen starken Anstieg an Haltentscheidungen feststellen. Er stellte fest, dass sogar einige Lenker anhalten, obwohl sie bei konstanter Weiterfahrt die Haltelinie noch während der Grünblinkphase passiert hätten. Werden noch die zusätzlichen Sekunden der Gelbzeit, während der Gelbzeit berücksichtigt, ergibt sich, dass rund drei Viertel der Fahrzeuglenker die Haltelinie noch vor „Rot“ überfahren hätten können. Hier kommt es also durch das Grünblinken zu wesentlichen Einbußen in puncto Leistungsfähigkeit der Kreuzung.

Es kann generell festgehalten werden, dass die Dauer der Gelbzeit unterschätzt wird, ganz drastisch sogar mit den zusätzlichen Grünblinksekunden [2].

Dieser Effekt lässt sich allerdings nicht nur bei der Vorankündigung durch Grünblinken beobachten, sondern trifft auf sämtliche Arten der Vorsignalisierung zu. Dies ist bis zu einem gewissen Maß auch auf das falsche Verständnis der Vorankündigung zurückzuführen [5]. Bei der Untersuchung in [6] fiel auf, dass eine erstaunlich große Anzahl der Fahrzeuglenker schon während der Vorankündigungsphase reagiert, obwohl diese eigentlich nur als Zusatzinformation dient und nicht zwangsläufig zu einer Reaktion führen soll.

2.3.2 Rotlichtüberschreitungen

Im Gegensatz dazu überwiegen bei Anlagen ohne Grünblinken die positiven Fehlentscheidungen, also die Rotüberfahrten [1]. Allerdings war die Anzahl der falschen Durchfahrentscheidungen in Österreich ähnlich wie in Deutschland und der Schweiz. Dass aber trotzdem wesentlich weniger Fahrzeuge tatsächlich bei „Rot“ die Kreuzung überfahren, lässt sich dadurch erklären, dass sich ein beachtlicher Teil der Fahrzeuge in Österreich in der von Köll genannten Optionszone befindet, in der ein „sicheres Anhalten“ eigentlich möglich ist, die Lenker sich aber trotzdem zur Weiterfahrt entschieden haben. Auch wenn diese Fahrzeuge die Haltelinie nicht zwangsläufig bei „Rot“ oder „Gelb“ passieren, handelt es sich laut Definition hierbei trotzdem um Fehlentscheidungen [2].

Einer der Hauptvorteile der Vorsignalisierung ist demnach dennoch die deutliche Verminderung an Rotlichtüberfahrten [2].

Andererseits mussten Lum und Halim in [7] feststellen, dass beispielsweise die Countdown-Vorsignalisierung nur einen kurzzeitigen Effekt auf die Rotlichtüberfahrten hat und die Anzahl nach einigen Monaten wieder fast auf demselben Wert war wie ohne Countdown, wohingegen die Haltentscheidungen jedoch deutlich höher waren. Somit lässt sich hierbei kein positiver Langzeiteffekt auf die Verkehrssicherheit, sondern nur eine Verminderung der Leistungsfähigkeit der Kreuzung feststellen.

Da die Auswirkungen der unterschiedlichen Vorankündigungssysteme sich sehr ähneln, könnte derselbe Schluss auch für Kreuzungen mit Grünblinken gezogen werden.

Behrendt stellte außerdem fest, dass bei hohen Verkehrsstärken die Rotlichtüberschreitungen zudem wesentlich häufiger auftreten als bei niedrigen [4]. Knoflacher benannte diese Tatsache als den „Mitschlepp-Effekt“. Kraftfahrzeuglenker neigen offenbar stärker dazu, ebenfalls die Gelbzeit und/oder Rotzeit zu überfahren, wenn es die Fahrzeuge vor oder neben ihnen auch tun. Dieser Effekt wurde bei Kreuzungen ohne Grünblinken rund doppelt so oft beobachtet wie bei Kreuzungen mit Grünblinken [1].

2.3.3 Einfluss der Gelbzeit

Eine andere Variante als das Grünblinken untersuchten van der Horst und Wilmink in den Niederlanden in [3]. Sie gingen davon aus, dass die Dauer der Gelbzeit einen wesentlich größeren Einfluss auf die Grenzzeitdifferenz hat, und somit auf die Gelb- und Rotzeitüberfahrten, als die Vorankündigung durch Grünblinken.

Die Gelbzeit beträgt in den Niederlanden derzeit 3 s bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und 5 s darüber [2]. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen betrug die Gelbzeit für zulässige Höchstgeschwindigkeiten über 50 km/h noch 4 s, vergleichbar mit den derzeitigen Regelungen in Österreich. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass für durchschnittliche Bremsverzögerungen und Reaktionszeiten die vorherrschenden Gelbzeiten zu kurz bemessen sind. Sie empfahlen eine optimale Gelbzeit von 4 s für eine innerorts zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, sowie 5 s für höhere Geschwindigkeitsverhältnisse [3].

Diese 5 s sind ausreichend, da die Messungen vermuten lassen, dass die Kraftfahrer von einem relativ konstanten Verhältnis zwischen Abstand zur Haltelinie und der Geschwindigkeit ausgehen. Dies bedeutet, dass bei höheren Geschwindigkeitsverhältnissen höhere Bremsverzögerungen akzeptiert werden [3].

Eine ähnlichere Abstufung der Gelbzeiten gibt es innerhalb der EU bereits in der Schweiz, in Deutschland und Finnland. Hier ist die Gelbzeit bei den Geschwindigkeiten 50, 60 und 70 km/h mit 3, 4 und 5 s gestaffelt [2].

Es geht bei der Verlängerung der Gelbzeit aber grundsätzlich nicht darum, die Entscheidungsbreite der Kraftfahrzeuglenker zu verlängern, sondern nur die Anzahl an Rotüberfahrten zu vermindern. Denn die Entscheidung zum Weiterfahren oder Anhalten wird größtenteils unabhängig von der Länge der Gelbzeit getroffen [3].

Es muss allerdings beachtet werden, dass zu lange Gelbzeiten einige Probleme mit sich bringen könnten. Erstens vergrößert sich mit zunehmender Gelbdauer der Indifferenzbereich immer weiter. Zweitens könnte die zusätzliche Zeit nach ausreichender Eingewöhnung von den Verkehrsteilnehmern als verlängerte Grünphase interpretiert werden [4]. Diese Umstände könnten zu vermehrten Auffahrunfällen führen, vergleichbar mit den Problemen die Knoflacher schon für Lichtsignalanlagen mit Grünblinken bestätigt hat [1]. Des Weiteren gilt zu bedenken, dass das gelbe Signal mit zunehmender Dauer schlechter eingeschätzt werden kann [4].

Van der Horst und Wilmink stützten sich auch auf die Untersuchungen von Behrendt, der ebenfalls einen Zusammenhang zwischen der Gelbzeit und den prozentualen Rotlichtüberschreitungen ermittelte [3, 4].

Sie fanden bei ihrer Untersuchung heraus, dass sich die Zahl an Rotlichtüberschreitern durch die Verlängerung der Gelbzeit auf die Hälfte, absolut und relativ, reduziert hat. Gleichzeitig sank allerdings auch die Bereitschaft anzuhalten, aber in einem sehr geringen Maß.

Behrendt untersuchte in [4] unterschiedliche Gelbzeiten mit unterschiedlichen Vorankündigungen. Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, wurde die Entscheidungsbreite zwischen 20

% und 80 % Anhaltewahrscheinlichkeit herangezogen. Diese Auswertung ergab, dass bei 4 Sekunden Grünblinken, die in Österreich derzeit so praktiziert werden, die Entscheidungsbreite deutlich größer war als beispielsweise ohne Grünblinken oder bei nur 2,5-sekündigem Blinken.

Diesen Umstand konnte Köll bei seinen Messungen 2003 bestätigen. Der Entscheidungsbereich war hier rund doppelt so lang wie bei vergleichbaren Kreuzungen in Deutschland und der Schweiz [2].

Auch Knoflacher analysierte die Auswirkungen von unterschiedlichen Gelbzeiten an Kreuzungen in Wien. Wie zuvor angenommen, fand er dabei heraus, dass zu lange Gelbzeiten die Unfallhäufigkeit erhöhen. Seine Untersuchungen ergaben für 4 s Gelbzeit die geringste Unfallwahrscheinlichkeit [4].

3 Geschwindigkeitsverhältnisse

Ein Aspekt, der in der empirischen Untersuchung betrachtet werden soll, ist die gefahrene Geschwindigkeit bei unterschiedlichen Ampelphasen. Behrendt untersuchte in seiner Arbeit [4] unter anderem die Auswirkungen unterschiedlicher Signalisierungen auf die Geschwindigkeitsverhältnisse. Hierbei wurden Kreuzungen ohne Vorankündigung des Signalwechsels sowie Kreuzungen mit unterschiedlichen Vorankündigungen – Grünblinken, Gelb-Einblinken und Gelbblinken bei ortsfesten Vorsignalen – untersucht.

Zunächst wurden die Geschwindigkeitsverhältnisse während der Grünphase analysiert, da dies einen Anhaltspunkt geben soll, welche Geschwindigkeiten die Fahrzeuge beim Signalwechsel auf Gelb aufweisen. Bei deren Betrachtung fiel in den beobachteten Zufahrten deutlich auf, dass die gesetzlich vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit von den Fahrzeuglenkern teils deutlich überschritten wird und sogar die Durchschnittsgeschwindigkeit über dieser lag. Dies ist insofern problematisch, als die Gelbzeit doch zum Teil auf die gefahrene Geschwindigkeit ausgelegt wird und höhere Geschwindigkeiten zu gefährlichen Fahrmanövern oder Reaktionen führen könnten.

Als nächstes wurden die Geschwindigkeiten am Beginn der Gelbzeit analysiert. Hierbei fielen doch deutliche Unterschiede zwischen den Kreuzungen mit und jenen ohne Vorankündigung des Phasenwechsels auf. Denn durch die Vorankündigung waren die durchschnittlichen Geschwindigkeiten am Beginn der Gelbzeit schon um 5 bis 10 km/h niedriger als während der Grünphase.

Knoflacher erkannte bei seinen Untersuchungen, dass die Verzögerungswerte in den Kreuzungszufahrten bei Lichtsignalanlagen mit Grünblinken deutlich größer waren, als bei jenen ohne Grünblinken. Er führte das allerdings nicht nur auf fahrdynamische Aspekte zurück, sondern vor allem auf die unterschiedlichen Entscheidungen der Kraftfahrer, die in weiterer Folge zu Konflikten führen können [1].

Köll analysierte hingegen nicht die Unterschiede zwischen Österreich und Deutschland, sondern generell die Geschwindigkeitsänderungen während der Grünblinkzeit bei den Halt- sowie den Durchfahrentscheidungen. Hierbei fiel auf, dass bei den Durchfahrentscheidungen die durchschnittlichen Geschwindigkeitsänderungen höher waren als bei den Haltentscheidungen. Demnach reagieren die Fahrzeuglenker bei Durchfahrentscheidungen viel stärker als bei den Haltentscheidungen, ähnlich den Reaktionen während der Gelbphase. Dies legt den Schluss nahe, dass das Grünblinken vielfach als eine verlängerte Gelbphase interpretiert wird [2].

4 Sonstige Auswirkungen

In diesem Kapitel sollen zusammenfassend jene Auswirkungen erläutert werden, die im Zuge der Untersuchung nicht betrachtet werden.

4.1 Konflikte

Aufgrund der schon mehrfach erwähnten Indifferenzzone, die mit zunehmender Vorankündigungs- bzw. Gelblichtdauer immer größer wird, entstehen zwangsläufig Konflikte im Vorkreuzungsbereich. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Konflikte sogar noch häufiger auftreten, wenn ausländische Fahrzeuge beteiligt sind, die mit der praktizierten Signalfolge nicht vertraut sind.

Diesen Effekt konnte Köll in [2] feststellen. Dadurch, dass die von ihm ausgewählten Kreuzungen relativ nahe an der Grenze lagen, war hier der Überraschungseffekt, sofern einer vorliegt, wesentlich größer. Seine Ergebnisse lassen vermuten, dass es durch die Vorsignalisierung zu Problemen in der Kreuzungszufahrt kommt, vor allem mit Lenkern, die mit der Signalfolge nicht vertraut sind.

4.2 Unfälle

Grundsätzlich sind zwei Unfalltypen für die Untersuchungen im Zusammenhang mit Grünblinken relevant. Zum einen die rechtwinkligen Kollisionen, die einer der vermeintlichen Haupteingführungsgründe von Grünblinken waren, zum anderen die Auffahrunfälle im Richtungsverkehr, die Folge der zuvor erwähnten Konfliktsituationen sind.

Knoflacher analysierte hierzu die Unfallstatistiken an Kreuzungen in Wien und München in den 70er-Jahren. Dabei konnte belegt werden, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen Rotlichtüberfahrten und rechtwinkligen Kollisionen besteht, die in dieser Form bei Kreuzungen ohne Grünblinken doppelt so oft auftraten. Allerdings war die Unfallschwere der Kollisionen bei Kreuzungen mit Grünblinken dafür drastisch höher [1].

Auffahrunfälle treten, aufgrund der vergrößerten Indifferenzzone und dem damit verbundenen erhöhten Konfliktpotential, bei Kreuzungen mit Vorankündigungen deutlich öfter auf als bei Kreuzungen ohne [1, 2].

4.3 Leistungsfähigkeit

Grünblinken wurde zu einer Zeit eingeführt, in der die Bevorrangung der öffentlichen Verkehrsmittel sowie verkehrsabhängige Steuerungen von Lichtsignalanlagen noch eine untergeordnete Rolle spielten. Durch das gestiegene Verkehrsaufkommen und den Ausbau der öffentlichen Verkehrsmittel spielt aber gerade die Leistungsfähigkeit der Lichtsignalanlage für die öffentlichen Verkehrsmittel eine entscheidende Rolle. Daher wird in Anlehnung an Behrendt vermutet, dass bei langen Übergangszeiten aufgrund der damit verbundenen längeren Zwischenzeit die Leistungsfähigkeit der Kreuzung sinkt [4].

5 Untersuchung der Kreuzung

5.1 Wahl der Kreuzung und Untersuchungszeitraum

Bei der Wahl der Kreuzung wurde darauf geachtet die für die Untersuchung relevante Anforderungen einzuhalten:

- Die erlaubte Zufahrtsgeschwindigkeit sollte 50 km/h betragen, um einen möglichst großen Geschwindigkeitsbereich abzudecken.
- Die Zufahrt sollte möglichst unbehindert und zufällig erfolgen – die Untersuchung sollte zu einer Zeit erfolgen, in der große Verkehrsspitzen nicht zu erwarten sind. Weiters sollte keine andere Ampel im Bereich davor liegen, um Effekte wie die „grüne Welle“ auszuschließen.

- Die Lichtsignalanlage sollte schon von weitem gut einsichtig sein, um einen „Überraschungseffekt“ auszuschließen.

Daher fiel die Wahl auf die Kreuzung Krottenbachstraße/Felix-Dahn-Straße/Siolygasse im 19. Wiener Gemeindebezirk, da hier die Anforderungen weitestgehend eingehalten wurden. Die Untersuchung wurde an drei Tagen im Juli 2016 in der Früh für je drei Stunden durchgeführt (ein Mal 07:45-10:45; zwei Mal 06:45-09:45). Eine Skizze der untersuchten Kreuzung findet sich im Anhang.

5.2 Art der Untersuchung

Zum einen wurde mit einer Videokamera die Kreuzungszufahrt in einem Bereich von rund 80m gefilmt, um das Entscheidungsverhalten der Fahrzeuglenker zu analysieren, zum anderen wurden mittels Radarpistole stichprobenartig die Geschwindigkeiten rund 35m vor der Kreuzung gemessen. Der Zeitpunkt der Geschwindigkeitsmessung während der Grünblinkphase war 2-3 Sekunden nach Beginn des Grünblinkens, um die Reaktionszeit abzuwarten, um damit in weiterer Folge auf das Reaktionsverhalten der Fahrzeuglenker während der Grünblinkphase zu schließen.

Hier kann als nachteilig angemerkt werden, dass dadurch nicht unterschieden werden konnte, ob das Fahrzeug geradeaus fährt oder rechts in die Felix-Dahn-Straße einbiegt und daher möglicherweise schon etwas früher zu bremsen begonnen hat.

Die Fahrzeuge, die aus der Glanzinggasse in die Krottenbachstraße einfuhren, wurden bei den Geschwindigkeitsmessungen nicht berücksichtigt, da sie sich genau an jenem Querschnitt befinden, an dem die Geschwindigkeiten gemessen wurden. Beim Entscheidungsverhalten jedoch wurden sie berücksichtigt, da das Überqueren der Haltelinie trotz beginnendem Grünblinken noch rechtmäßig möglich war.

5.3 Analyse des Entscheidungsverhaltens

Insgesamt passierten im Untersuchungszeitraum 4479 Fahrzeuge die Haltelinie und davon befanden sich 529 Fahrzeuge während der Grünblinkphasen im zu untersuchenden Bereich.

Um das Entscheidungsverhalten zu analysieren, wurde der Vorkreuzungsbereich in 6 Abschnitte unterteilt (0-20 m, 20-30 m, 30-40 m, 40-50 m, 50-60 m und 60-80 m) und die Fahrzeuge zu Beginn des Grünblinkens in den einzelnen Abschnitten gezählt. Je nach positiver und negativer Entscheidung konnte daraus die Anhaltewahrscheinlichkeit je Abschnitt berechnet werden.

Des Weiteren konnten mithilfe der Durchschnittsgeschwindigkeit die potentiellen Zeitdifferenzen für die Fahrzeuge gebildet werden, die ebenfalls einen Anhaltspunkt für das Entscheidungsverhalten liefern.

5.3.1 Potentielle Zeitdifferenzen

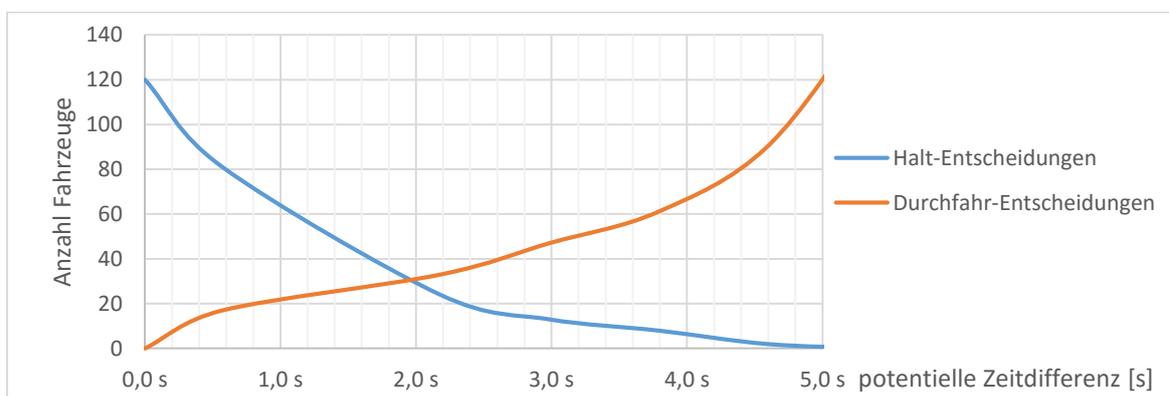


Abb. 1: Potentielle Zeitdifferenzen für Halt- und Durchfahr-Entscheidungen

Die potentiellen Zeitdifferenzen wurden wie in vorherigen Arbeiten auf das Ende der Gelbzeit mit der gemessenen Durchschnittsgeschwindigkeit während des Grünblinkens (44,8 km/h) bestimmt. Hier zeigt sich, dass die Grenzzeitdifferenz, ein Indikator für die Einschätzung der Länge der Gelbzeit, sehr hoch liegt, nämlich bei ca. 1,9 s. Dies lässt vermuten, dass die Fahrzeuglenker frühzeitig zu bremsen beginnen und somit wesentlich mehr falsche Haltentscheidungen treffen.

Auffällig ist in diesem Fall auch, dass im Untersuchungszeitraum kein Fahrzeug mit einer negativen potentiellen Zeitdifferenz eine positive Durchfahrtsentscheidung getroffen hat – das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer war offensichtlich ziemlich defensiv.

5.3.2 Fehlentscheidungen

Nicht nur die Analyse der potentiellen Zeitdifferenz liefert einen Anhaltspunkt für die vermehrten Halt-Entscheidungen. Auch die Betrachtung der Anhaltewahrscheinlichkeit je Abschnitt liefert eine Bestätigung dessen.

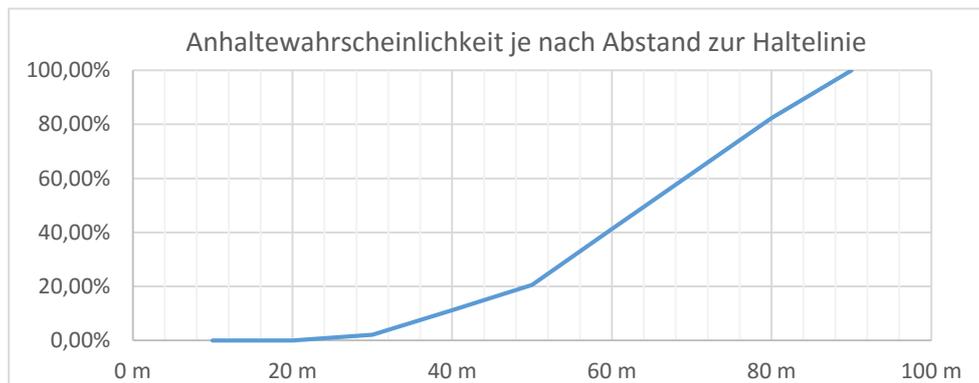


Abb. 2: Anhaltewahrscheinlichkeiten je nach Abschnitt

In Anlehnung an Behrendt wird die Grenze für noch annehmbare Bremsverzögerungen mit $3,0 \text{ m/s}^2$ angenommen [4]. Der annehmbare Bremsweg ergibt sich damit zu:

$$s_{brems} = \frac{v^2}{2 \cdot a_{brems}} = \frac{50^2}{2 \cdot 3,0} = 32,15 \text{ m}$$

Befindet sich ein Auto bei einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h also beim Umschalten von „Grün“ auf „Gelb“ in einer Entfernung mehr als 32,15 m vor der Haltelinie, wäre ein „sicheres Anhalten“ vor der Haltelinie im Sinne der StVO noch möglich. Bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h wären somit alle Fahrzeuge im Bereich von 0-80 m als richtige positive Entscheidungen zu beurteilen.

Da sich obiges Diagramm allerdings nur auf die Entfernung von der Haltelinie bezieht, ohne Berücksichtigung der Geschwindigkeit der einzelnen Fahrzeuge, ist es nicht möglich eine eindeutige Grenze für die positiven Fehlentscheidungen zu ziehen, da diese ja für die jeweilige Geschwindigkeit unterschiedlich ist.

Als definitive negative Fehlentscheidungen können allerdings sämtliche Fälle beschrieben werden, in denen sich das Fahrzeug beim Beginn des Grünblinkens in einer Entfernung von 0-60m vor der Haltelinie befand, da hier ein vorschriftsgemäßes Überfahren der Haltelinie auch mit geringeren Geschwindigkeiten als 50 km/h, zum Teil sogar während der Grünblinkphase, noch möglich gewesen wäre. Dies war bei 45 Fahrzeugen der Fall und die Anhaltewahrscheinlichkeit 60 m vor der Haltelinie betrug immerhin schon 41,2 %.

5.3.3 Indifferenzzone - Entscheidungsbreite

Die von Mahalel in [5] definierte Indifferenzzone mit einer Anhaltewahrscheinlichkeit zwischen 10 % und 90 % beginnt rund 40 m vor der Haltelinie und endet bei rund 80 m. Sie hat somit eine

Länge von ca. 40 m. Der kritischste Bereich, nämlich jener, an dem die Anhaltewahrscheinlichkeit 50 % beträgt, lag bei rund 65 m.

5.4 Geschwindigkeitsmessungen

5.4.1 Durchschnittsgeschwindigkeit

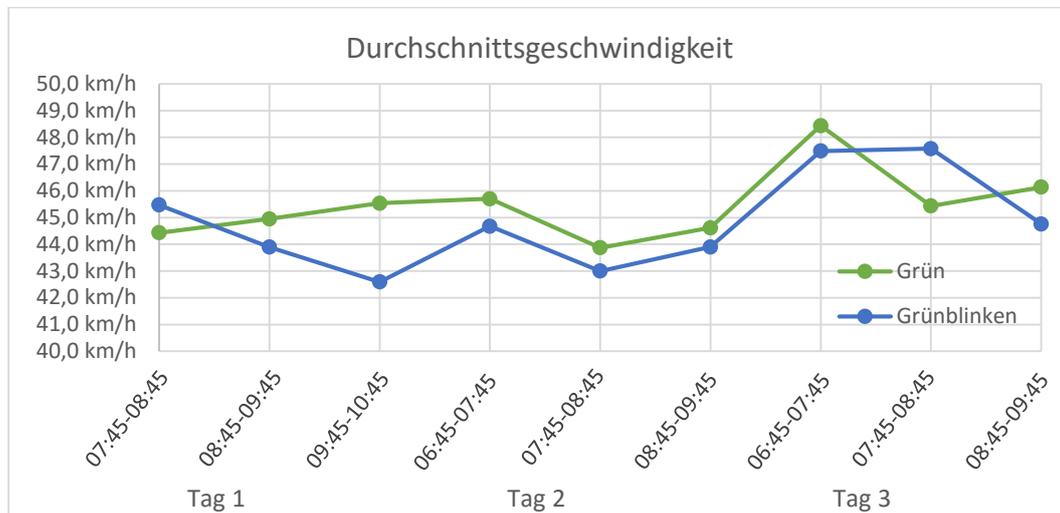


Abb. 3: Durchschnittsgeschwindigkeiten

Grundsätzlich betrug die Durchschnittsgeschwindigkeit während der Grünphase 45,5 km/h, während der Grünblinkphase 44,8 km/h. Die stündliche Standardabweichung der beiden Ampelphasen unterschied sich in den meisten Fällen um maximal 0,5 km/h und lag zwischen 5 und 6 km/h. Nur in zwei Stunden war die Abweichung mit 7,3 km/h bzw. 7,4 km/h während der Grünblinkphase deutlich höher.

Bei der Analyse der durchschnittlichen Geschwindigkeiten pro Stunde fällt zudem auf, dass in 7 von 9 untersuchten Stunden die Durchschnittsgeschwindigkeit während „Grünblinken“ geringer war. Dies kann darauf hinweisen, dass die Fahrzeuglenker vorzeitig abzubremsen anstatt zu beschleunigen und somit die Haltentscheidungen zunehmen.

5.4.2 Geschwindigkeitsverhältnisse

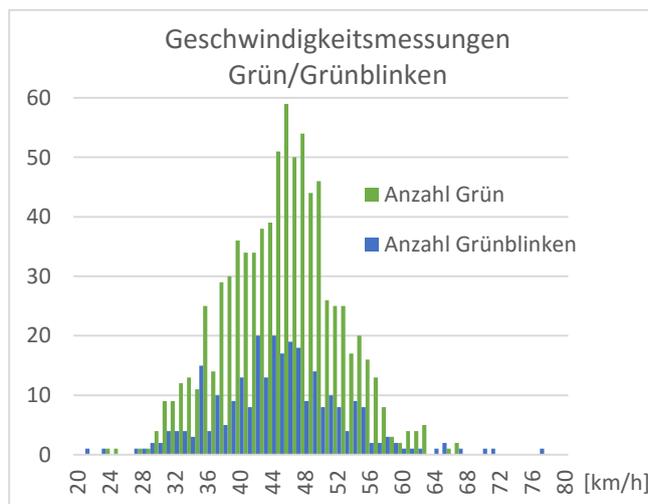


Abb. 4: Geschwindigkeiten – „Grün“/„Grünblinken“

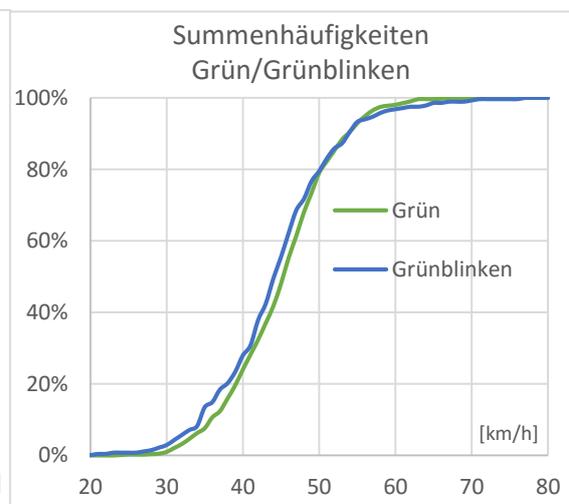


Abb. 5: Summenhäufigkeiten

Aufgrund der längeren Dauer der Grünphase gegenüber der Grünblinkphase konnten während „Grün“ 816, während „Grünblinken“ 283 Messungen vorgenommen werden.

Sowohl durch Analyse der Einzelmessungen als auch der Summenhäufigkeiten kann keine erhöhte Streuung der Geschwindigkeiten während der Grünblinkphase festgestellt werden.

Erwähnenswert sind zudem jene Fahrzeuge, die während der Grünblinkphase eine Geschwindigkeit über 65 km/h aufweisen. Diese beschleunigten nämlich deutlich über die erlaubte Höchstgeschwindigkeit, um noch rechtzeitig die Haltelinie passieren zu können. Diese stellen in den meisten Fällen positive Fehlentscheidungen dar.

6 Ergebnisauswertung

Wie schon durch diverse Voruntersuchungen bestätigt, überwiegen die negativen Fehlentscheidungen [1, 4]. Das bedeutet, dass durch die Vorankündigung des Grünblinkens die Fahrzeuglenker viel eher dazu gebracht werden, frühzeitig zu bremsen anstatt weiterzufahren. Der kritischste Punkt in der Kreuzungszufahrt, jener mit 50 % Anhaltewahrscheinlichkeit, lag bei 65 m vor der Haltelinie und somit in einem Bereich, in dem bei erlaubter Höchstgeschwindigkeit ein sicheres Passieren der Haltelinie noch möglich wäre.

Die Analyse der potentiellen Zeitdifferenzen ergab mit einer Grenzeitdifferenz von ca. 1,9 s einen ähnlich hohen Wert wie in diversen Voruntersuchungen [2, 4].

Dies legt den Schluss nahe, dass die Grünblink- und die Gelbzeit aufgrund einer Dauer von insgesamt 7 Sekunden einfach schlecht eingeschätzt werden kann und in den meisten Fällen schlichtweg unterschätzt wird.

Die Entscheidungsbreite, von Behrendt und Köll als jener Bereich zwischen 20 % und 80 % Anhaltewahrscheinlichkeit definiert, hatte bei der gemessenen Durchschnittsgeschwindigkeit von 44,8 km/h eine Dauer von 2,4 s und war somit ähnlich lang wie in deren Untersuchungen und damit deutlich länger als jene Bereiche von gemessenen Kreuzungen ohne Grünblinken [2, 4].

Die Länge der Indifferenzzone, also jener Bereich zwischen 10 % und 90 % Anhaltewahrscheinlichkeit war mit einer Länge von 40 m bzw. 3,2 s ebenfalls sehr lang. Je länger dieser ist, umso wahrscheinlicher sind damit verbundene Probleme wie Konflikte und in weiterer Folge Auffahrunfälle. Problematisch ist in diesem Fall noch der Umstand, dass rund 30 – 40 m vor der Haltelinie eine Gasse einmündet, die für zusätzliches Konfliktpotential sorgt.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit am Beginn der Gelbphase lag bei den Untersuchungen von Behrendt deutlich unter der während der Grünphase und war somit ein Indikator für viele verfrühte Bremsreaktionen und somit falsche Haltentscheidungen [4]. Da bei diesen Untersuchungen nicht die Geschwindigkeit am Beginn der Gelbphase, sondern lediglich die Geschwindigkeit rund 2-3 Sekunden nach Beginn des Grünblinkens gemessen wurde, sind diese Ergebnisse nicht direkt vergleichbar. Dennoch zeigte sich, dass schon kurz nach Beginn des Grünblinkens die Durchschnittsgeschwindigkeit etwas geringer war. Betrug sie während der Grünphase, und somit auch zu Beginn des Grünblinkens, noch 45,5 km/h, so sank sie innerhalb der ersten 2-3 Grünblinksekunden auf 44,8 km/h. Die Standardabweichung war in beiden Fällen mit zwei Ausnahmen sehr ähnlich. Die Werte können somit so interpretiert werden, dass die Fahrzeuglenker auch in diesem Fall eher zu Haltentscheidungen tendiert haben, was sich durch die Auswertung der potentiellen Zeitdifferenz und der Anhaltewahrscheinlichkeit zusätzlich unterstützen lässt.

Eine weitere Erkenntnis hierbei ist, dass wie in [6] beobachtet, die Fahrzeuglenker schon innerhalb der ersten Sekunden der Vorankündigung reagieren, obwohl dies nicht unbedingt notwendig wäre. Hier kann also davon ausgegangen werden, dass die Fahrzeuglenker sich der rechtlichen Bedeutung des Grünblinkens offenbar nicht vollständig bewusst sind.

Aufgrund der Kreuzungstopographie konnte bei den Geschwindigkeitsmessungen allerdings nicht zwischen geradeaus fahrenden und abbiegenden Fahrzeugen unterschieden werden, daher ist hier ein gewisses Fehlerpotential gegeben.

Bei der Analyse der einzelnen gemessenen Geschwindigkeiten und der Summenhäufigkeit lässt sich keine verstärkte Streuung der Geschwindigkeiten während der Grünblinkphase erkennen.

Offenbar sind die Geschwindigkeiten während „Grünblinken“ nicht so inhomogen verteilt wie zunächst vermutet. Dies könnte allerdings auch an der geringeren Stichprobengröße während der Grünblinkphase liegen. Eine erhöhte Streuung der Geschwindigkeiten könnte nämlich ein Indikator für die vermehrten unterschiedlichen Entscheidungen sein, die während der Grünblinkphase getroffen wurden. Problematisch wird es zwar nur dann, wenn diese unterschiedlichen Entscheidungen unmittelbar hintereinander getroffen werden, dennoch ist dadurch ein erhöhtes Konfliktpotential gegeben. Dies lässt sich allerdings in dieser Untersuchung nicht erkennen.

Was dennoch auffällt, ist, dass doch mehr Fahrzeuge während „Grünblinken“ deutlich über die erlaubte Höchstgeschwindigkeit beschleunigt haben, obwohl sich kein Fahrzeug davon weiter als 80m vor der Haltelinie befand. Auch hier könnte auf ein falsches Verständnis der Vorankündigung geschlossen werden, da die Fahrzeuge offenbar noch während der Grünblinkphase die Haltelinie passieren wollten. Dabei wäre eine derart hohe Beschleunigung gar nicht erforderlich gewesen.

7 Fazit

Diese Arbeit stellt, aufgrund des geringen Umfangs der Untersuchung, nicht den Anspruch, definitive Aussagen zu liefern, sondern soll mit den gewonnenen Erkenntnissen Ergebnisse bisheriger Arbeiten bestätigen sowie Anhaltspunkte für Folgeuntersuchungen liefern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die meisten Annahmen und Ergebnisse aus vorherigen Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurden, bestätigt werden konnten, sowohl im Hinblick auf das Entscheidungsverhalten als auch auf die Geschwindigkeitsverhältnisse in der Kreuzungszufahrt.

Besonders der Geschwindigkeitsaspekt wurde in bisherigen Arbeiten noch nicht ausreichend untersucht und sollte in Zukunft weiter erforscht werden. Ein weiterer interessanter Aspekt wäre das Entscheidungsverhalten genauer zu analysieren, dazu wäre es allerdings notwendig, die Geschwindigkeit jedes einzelnen Fahrzeuges mit seiner Entscheidung in Verbindung zu bringen, da nur so Aussagen über Fehlentscheidungen genau getroffen werden können.

Literaturverzeichnis

- [1] Hermann Knoflacher, *Der Einfluß des Grünblinkens auf die Leistungsfähigkeit und Sicherheit lichtsignalgeregelter Straßenkreuzungen*, Bundesministerium für Bauten und Technik, Bundesstraßenverwaltung, 1973
- [2] Helmut Köll, *Auswirkungen des Grünblinkens auf die Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit verkehrsabhängig gesteuerter Lichtsignalanlagen*, BMVIT, 2003
- [3] Richard van der Horst, Aad Wilmink, *Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Heft 1.Quartal, Entscheidungen von Kraftfahrern an Ampeln*, TÜV Rheinland, S.15-S.22, 1988
- [4] Jürgen Behrendt, *Untersuchungen der Leistungsfähigkeit signalgeregelter städtischer Verkehrsknotenpunkte, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 101*, BM für Verkehr Bonn, 1967
- [5] David Mahalel, Roni Factor, Joseph N. Prashker, *The flashing green light paradox*, Transportation Research Part F, 2009
- [6] Craig Newton, Renuat Mussa, Edward Sadalla, Elizabeth Burns, Judson Matthias, *Evaluation of an alternativ traffic light change anticipation system*, Elsevier Science Ltd, 1995
- [7] Lum, Halim, *A before-and-after study on green signal countdown device installation*, Transportaton Research Part F, 2006
- [8] Yu-Chiun Chiou, Chien-Hua Chang, *Driver Responses to green and red vehicular signal countdown displays: safety and efficiency aspects*, Elsevier Science Ltd, 2009

Anhang

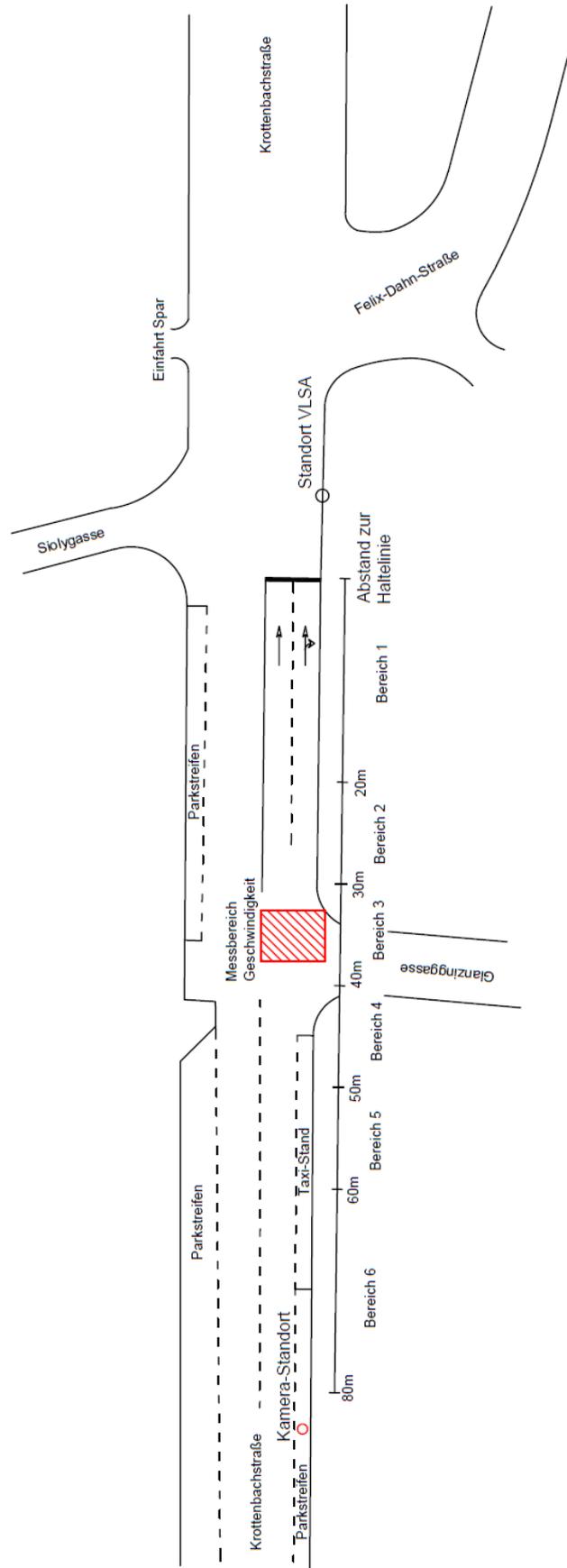


Abb. 6: Kreuzungsskizze