

Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgängerschutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen

3.568

Forschungsstellen: BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung
Dr.-Ing. R. Baier GmbH, Aachen

Technische Universität Dresden, Professur für Integrierte Verkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik (Prof. Dr.-Ing. R. Gerike)

Bearbeiter: Baier, M. M. / Schmotz, M. / Reinartz, A. / Gerike, R. / Medicus, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Juni 2021

1 Ausgangslage

Fußgänger-Lichtsignalanlagen (F-LSA) ermöglichen konfliktfreie Querungen von Fahrbahnen durch Fußgänger. Den Regelfall nach RiLSA (2015) bildet dabei der Betrieb als Anforderungsanlage mit der Grundstellung Grün für den Fahrbahnverkehr und Rot für Fußgänger (Steuerungsvariante 1). Bei Anforderung durch Fußgänger schaltet die LSA für den Fahrbahnverkehr über Gelb auf Rot und nach Ablauf der Zwischenzeit für Fußgänger auf Grün. Nach Ende der Freigabe für Fußgänger und Ablauf der Zwischenzeit wird für den Fahrbahnverkehr über Rot/Gelb wieder auf die Grundstellung Grün geschaltet.

Zusätzlich werden in den RiLSA (2015) zwei Steuerungsvarianten für F-LSA beschrieben, bei denen die Signale des Fahrbahnverkehrs oder aller Verkehrsteilnehmer in der Grundstellung Dunkel stehen:

- 1 Bei Dunkel-Rot-Anlagen sind die Signalgeber des Fahrbahnverkehrs in der Grundstellung Dunkel und die Signalgeber des Fußverkehrs Rot (Steuerungsvariante 2). Nach Anforderung schalten die Signalgeber des Fahrbahnverkehrs über Gelb auf Rot, nach Ende der Fußgängerfreigabe und Ablauf der Zwischenzeit wird von Rot in den Dunkel-Modus zurückgeschaltet.
- 2 Bei Dunkel-Dunkel-Anlagen sind alle Signalgeber in der Grundstellung Dunkel (Steuerungsvariante 3). Nach Anforderung schalten zunächst die Signalgeber des Fußverkehrs auf Rot. Die Signalgeber des Fahrbahnverkehrs schalten über Gelb auf Rot, nach Ende der Fußgängerfreigabe und Ablauf der Zwischenzeit werden die Signalgeber des Fahrbahn- und Fußverkehrs von Rot in den Dunkel-Modus zurückgeschaltet. Durch Dunkel-Dunkel-Anlagen besteht für Fußgänger die Wahlfreiheit, ob (nach Anforderung) mit Signalschutz oder (durch Verzicht auf Anforderung) ohne Signalschutz gequert wird.

Die Steuerungsvarianten 2 und 3 werden bereits heute mit regional stark unterschiedlicher Häufigkeit eingesetzt.

Bisher existieren weder in den technischen Regelwerken noch in wissenschaftlichen Veröffentlichungen Aussagen zu Einsatzbereichen, möglichen Ausschlusskriterien sowie Vor- und Nachteilen der drei Steuerungsvarianten.

Ziel dieses Forschungsprojekts war es deshalb, Einsatzempfehlungen für F-LSA mit unterschiedlichen Grundstellungen sowie deren spezifische Vor- und Nachteile abzuleiten.

Dabei sollten unter anderem folgende Fragen beantwortet werden:

- 1 Welche Vor- und Nachteile sehen die Betreiber der Lichtsignalanlagen bei den verschiedenen Steuerungsvarianten?
- 2 Welche Auswirkungen auf das Unfallgeschehen ergeben sich durch die verschiedenen Steuerungsvarianten?
- 3 Welche Auswirkungen auf den Verkehrsablauf des Fuß-, Rad- und Kfz-Verkehrs ergeben sich?

Im Projekt wurden die vier Themenkomplexe Literaturanalyse, Befragung der für den Betrieb von F-LSA zuständigen Verwaltungen der Bundesländer und Kommunen, Unfallanalyse sowie Verkehrsbeobachtungen bearbeitet. Ziel des Projekts war die spezifische Betrachtung der drei genannten Steuerungsvarianten. Eine Untersuchung zum allgemeinen Einsatz von F-LSA oder dem Vergleich mit anderen Querungsanlagen wurde nicht durchgeführt.

2 Methodik und Ergebnisse

2.1 Literaturanalyse

In der Literaturanalyse wurden sowohl technische Regelwerke als auch wissenschaftliche Publikationen zum Thema F-LSA mit Schwerpunkt auf den drei Steuerungsvarianten recherchiert. Dabei wurden neben den nationalen Veröffentlichungen auch Literatur aus dem deutschsprachigen Ausland (Schweiz, Österreich) sowie Erkenntnisse aus Großbritannien und den Vereinigten Staaten einbezogen. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass national und international zwar diverse Untersuchungen zu F-LSA vorliegen, diese sich jedoch nicht mit den im Projekt behandelten Steuerungsvarianten beschäftigen.

2.2 Befragungen

Für Erkenntnisse über Erfahrungen mit der Verbreitung, dem Einsatz und den Randbedingungen der Steuerungsvarianten in der Praxis wurde eine Befragung von Tiefbauämtern deutscher Großstädte sowie der Straßenbauverwaltungen der Länder durchgeführt. Dazu erfolgte in der ersten Stufe eine Online-Befragung, in der Informationen zur allgemeinen Entwicklung

der F-LSA und zu Gründen für diese Entwicklung erhoben wurden. Des Weiteren wurde nach der Verbreitung von F-LSA in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten sowie Vor- und Nachteilen der verschiedenen Steuerungsvarianten gefragt. Befragten, die bereits Erfahrungen mit dem Betrieb der Steuerungsvarianten 2 und 3 haben, wurden differenzierte Fragen zu Hintergründen, Erwartungen, Erfahrungen und Rückmeldungen zu diesen Steuerungsvarianten gestellt. Darauf aufbauend erfolgte eine telefonische Nachbefragung ausgewählter Teilnehmer der Online-Befragung, wobei insbesondere vertiefte Fragen zu den Erfahrungen mit dem Einsatz der Steuerungsvarianten 2 und 3 gestellt wurden.

Die hohe Resonanz der Befragung zeigte eine hohe Praxisrelevanz der Fragestellungen des Forschungsprojekts. So werden die Steuerungsvarianten 2 und 3 in zunehmendem Maße eingesetzt, genannte Vor- wie auch Nachteile beruhen jedoch meist nur auf subjektiven Eindrücken und Rückmeldungen aus der Bevölkerung. Als beobachtete oder erwartete Effekte der Steuerungsvarianten 2 und 3 wurden unter anderem sowohl eine verbesserte als auch eine verschlechterte Wahrnehmung der Signalisierung beziehungsweise Rotlichtakzeptanz durch Fahrzeugführer, eine reduzierte Lichtverschmutzung, eine Vermeidung der Sogwirkung durch die Vermeidung des permanent sichtbaren Grünsignals sowie die Befürchtung, dass aufgrund des dunklen Fahrbahn-Signalgebers häufiger in den Annäherungsbereichen gequert wird, genannt.

Bei der Steuerungsvariante 3 kommen zudem als Vorteile eine Reduktion der Wartezeiten des Quer- und Längsverkehrs, als Nachteile die fehlende Erkennbarkeit und Begreifbarkeit des Betriebszustands der Anlage durch querende Verkehrsteilnehmer sowie die Befürchtung sicherheitskritischer Querungsvorgänge bei der Signalstellung Dunkel hinzu.

2.3 Unfallanalyse

Aufbauend auf der Befragung wurde eine Datenbank mit F-LSA erstellt, die die Grundlage für die Unfallanalyse bildete. Für jede F-LSA wurden auf Grundlage frei zugänglicher Informationen (Datenbanken, Online-Kartendienste), von den Straßenbaulastträgern zur Verfügung gestellten Daten (zum Beispiel verkehrstechnische Unterlagen) und mit Vor-Ort-Erhebungen Merkmale zum Umfeld, zur Infrastruktur sowie zum Betrieb der Anlage erhoben und aufbereitet. Für die in der Datenbank aufbereiteten F-LSA wurden Informationen zum Unfallgeschehen unmittelbar an der F-LSA (Anlagenbereich) sowie 50 m vor und hinter der F-LSA (Annäherungsbereich) ergänzt.

Die Datenbank enthält insgesamt 297 Anlagen, davon 164 F-LSA der Steuerungsvariante 1, 73 F-LSA der Steuerungsvariante 2 sowie 60 F-LSA der Steuerungsvariante 3. Für die Analyse standen Unfalldaten für die Jahre 2014 bis 2018 (insgesamt 3 534 Unfälle, davon 1 047 U(P)) zur Verfügung. Aufgrund der Wirkungen einer F-LSA auf den Verkehrsablauf sowie den in dieser Untersuchung zu beantwortenden Fragestellungen wurde sich bezüglich der Unfalltypen auf Fahrurfälle (Typ 1), Über-

schreiten-Unfälle (Typ 4), Unfälle im Längsverkehr (Typ 6) sowie sonstige Unfälle (Typ 7) konzentriert. Die Auswertungen erfolgten je nach Fragestellung anhand der Unfallrate (UR), der Unfalldichte (UD) oder der Unfallkostenrate (UKR).

Die Unfallanalyse erbrachte unter anderem folgende Ergebnisse:

- 1** An Anlagen der Steuerungsvariante 3 ereignen sich – unter Berücksichtigung des Querungsbedarfs sowie der Anforderungsdauern, die jeweils Einfluss auf das Unfallgeschehen haben – nicht mehr Überschreiten-Unfälle als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2.
- 2** Die Befürchtung, dass sich im Längsverkehr auf die Anlage zubewegende Fußgänger bei dunklem Fahrbahn-Signalgeber von einer ausgeschalteten Anlage ausgehen, dadurch häufiger im Annäherungsbereich queren und es deshalb an diesen Anlagen zu mehr Unfällen kommt, kann nicht bestätigt werden. Sowohl die Steuerungsvariante 3 als auch die Steuerungsvariante 2 schneiden hinsichtlich der Fußgängerunfälle im Allgemeinen und der Überschreiten-Unfälle im Besonderen besser ab als die Steuerungsvariante 1.
- 3** Es bestehen keine Unterschiede in der UKR der Unfälle im Längsverkehr zwischen der Steuerungsvariante 1 und den Steuerungsvarianten 2 und 3. Damit ist davon auszugehen, dass das Einschalten der Signalgeber bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 nicht zu einem Überraschungseffekt für die Kfz-Führer führt, aus dem plötzliche Bremsmanöver und damit mehr Unfälle im Längsverkehr beziehungsweise bei der Unfallart 2 oder mehr Fahrurfälle resultieren.
- 4** Zugleich ist nicht von einer geringeren Aufmerksamkeit der Kfz-Führer und einer häufigeren Nicht-Wahrnehmung des Umschaltens der F-LSA, die in mehr Unfälle im Längsverkehr und mehr Unfälle durch Rotlichtverstöße von Kfz-Führern resultieren, auszugehen: Die UKR des Unfalltyps "Längsverkehr" sowie der Unfallart 2 sind bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 (aggregiert über beide Steuerungsvarianten) genauso hoch wie bei der Steuerungsvariante 1. Bei der UR der Unfälle durch Rotlichtverstöße von Kfz-Führern ($UR_{\text{Rot,Kfz}}$) schneiden die Steuerungsvarianten 2 und 3 zudem deutlich besser ab, weshalb davon auszugehen ist, dass das Einschalten der (zuvor dunklen) Signalgeber für den Kfz-Verkehr nicht zu einer schlechteren, sondern zu einer besseren Wahrnehmung der Signalisierung führt.

2.4 Verkehrserhebungen und Verhaltensbeobachtungen

Anhand der erstellten und ausgewerteten Datenbank der F-LSA wurden 47 F-LSA an einbahnig zweistreifigen Querschnitten, verteilt auf die drei Steuerungsvarianten und auf sechs Groß-

städte, für detaillierte Verkehrserhebungen ausgewählt und dort Videobeobachtungen und Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Analysiert wurden Aufkommen, Verhalten und Verkehrsablauf aller Verkehrsteilnehmergruppen. Ziel war dabei der Nachweis möglicher Unterschiede im Verhalten der Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit von der Steuerungsvariante sowie deren Auswirkungen auf Verkehrsablauf und -sicherheit. Aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren, die im Rahmen des Projekts für die Erhebungskollektive nicht isoliert betrachtet werden konnten, unterliegen die folgenden Ergebnisse aber möglicherweise auch Effekten, die nicht rein auf die Steuerungsvarianten zurückzuführen sind. Zur weiteren Untersuchung der Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten 2 und 3 wurden an 5 F-LSA Verkehrsversuche mit Videobeobachtungen im Vorher- und Nachher-Zustand durchgeführt.

Mit je zwei Videokameras wurden an jeder F-LSA drei Stunden (2 Stunden Normalverkehrszeit von 12 bis 14 Uhr und 1 Stunde Spitzenverkehrszeit von 16 bis 17 Uhr) erhoben und manuell ausgewertet. Aus den aus den Videos erhobenen Merkmalen wie Verkehrsstärken, Ankunftszeitpunkten der Verkehrsteilnehmer sowie deren Verhalten wurden Daten zu Verkehrsablauf, Warte- und Reaktionszeiten, Rotlichtakzeptanz, Konflikten usw. abgeleitet. Die Analysen erfolgten überwiegend auf Grundlage von je F-LSA aggregierten Datensätzen.

Die Verkehrserhebungen führten bezüglich des Querverkehrs unter anderem zu folgenden Ergebnissen:

- 1 Bei der Steuerungsvariante 3 ist der Anteil der bei nicht aktivierter F-LSA (also bei Dunkel) querenden Verkehrsteilnehmer mit im Mittel 23,6 % der Fußgänger und 27,9 % der Radfahrer höher als die Anteile der Querungen bei Rot an Anlagen der Steuerungsvarianten 1 und 2 (Werte zwischen 8,9 % und 17,7 %), zugleich wurde bei der Steuerungsvariante 3 deutlich seltener bei Rot gequert. Es findet also sowohl eine Verschiebung von Querungen bei Rot zu Querungen bei Dunkel statt, als auch eine Nutzung der Dunkelschaltung von ansonsten bei Grün querenden Verkehrsteilnehmern.
- 2 Es lässt sich bezüglich der Kfz-Verkehrsstärke keine Grenze definieren, ab der die Dunkelschaltung vom Querverkehr nicht mehr oder nur noch in geringem Maße genutzt wird. Feststellen lässt sich jedoch, dass die Steuerungsvariante 3 bis zu einer Spitzenstundenbelastung von 900 Kfz sicher betrieben werden kann und die Möglichkeit zur Nutzung der Dunkelschaltung von querenden Verkehrsteilnehmern auch in Anspruch genommen wird. Dass der Einsatz bei höheren Verkehrsstärken zu Sicherheitsdefiziten führt, lässt sich aus den Ergebnissen nicht ableiten.
- 3 F-LSA mit der Steuerungsvariante 2 weisen – womöglich aufgrund einer geringeren Akzeptanz von Dunkel-Anlagen durch querende Verkehrsteil-

nehmer – höhere Rotläuferanteile auf als F-LSA mit der Steuerungsvariante 1.

- 4 Der Anteil der Fußgänger, die im Annäherungsbereich der F-LSA queren, unterscheidet sich zwischen den Steuerungsvarianten kaum, die in der Befragung bezüglich des dunklen Fahrbahn-Signalgebers geäußerte derartige Befürchtung kann also nicht bestätigt werden.
- 5 Konflikte wurden selten beobachtet (7 Konflikte bei insgesamt 14 000 querenden Verkehrsteilnehmern). Keiner der beobachteten Konflikte war auf eine Querung bei Dunkel zurückzuführen.
- 6 Die Verteilung der Zeitspannen zwischen Ankunft an der Wartefläche und Anforderung deutet auf eine situationsbezogene Nutzung der Möglichkeit zur Querung bei Dunkel hin.

Die Verkehrsbeobachtungen widerlegen zudem die Befürchtung, dass Kfz-Führer beim Einschalten des Gelbsignals von Dunkel (gegenüber dem Einschalten von Grün) länger für eine Reaktion beziehungsweise das Anhalten benötigen: Ab dem Einschalten des Gelbsignals gehen die Überfahrten bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 in ähnlichem Maße zurück wie bei der Steuerungsvariante 1, die Zahl der Überfahrten in der 4. und 5. Gelbsekunde unterscheidet sich nur wenig von der Zahl der Überfahrten in der 1. und 2. Rotsekunde bei Steuerungsvariante 1. Der Rotfahreranteil ist an Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3 deutlich geringer als an Anlagen der Steuerungsvariante 1 (0,009 Überfahrten je Sperrzeit gegenüber 0,045 Überfahrten je Sperrzeit).

Das gemessene Geschwindigkeitsniveau liegt an Anlagen der Steuerungsvariante 1 höher als an den Anlagen mit dunklem Fahrbahn-Signalgeber.

Hinsichtlich des Verkehrsablaufs und der Verkehrsqualität im Querverkehr lässt sich feststellen, dass die Steuerungsvariante 3 die niedrigsten, die Steuerungsvariante 1 die höchsten Wartezeiten aufweist, wobei dieser Vorteil der Steuerungsvariante 3 bei ausschließlicher Betrachtung der regelkonform – also bei Grün oder Dunkel – querenden Verkehrsteilnehmer größer ausfällt.

Beim Verkehrsablauf des Fahrbahnverkehrs liegt die Anzahl der Sperrzeiten je querendem Verkehrsteilnehmer bei der Steuerungsvariante 1 am höchsten. Bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 liegt sie gleichauf, was angesichts des deutlich höheren Querverkehrsaufkommens bei der Steuerungsvariante 2 bedeutet, dass – wie bei der Analyse der Verteilung dieser Kenngröße über das Querverkehrsaufkommen deutlich wird – die Steuerungsvariante 3 bei gleichem Querverkehrsaufkommen besser abschneidet. Die Zahl der Halte im Kfz-Verkehr je querendem Verkehrsteilnehmer liegt bei der Steuerungsvariante 3 unter den entsprechenden Größen bei den anderen beiden Steuerungsvarianten. Dies ist nicht nur auf das geringere Kfz-Aufkommen zurückzuführen: So nimmt der Anteil der haltenden Kfz bei allen Steuerungsvarianten mit steigendem

Querverkehrsaufkommen zu, der Verlauf liegt bei der Steuerungsvariante 3 jedoch unter dem entsprechenden Verlauf bei den anderen beiden Steuerungsvarianten.

Die Reaktion der Kfz-Führer auf den Beginn der Freigabe des Fahrbahnverkehrs (im Sinne der Zeitspanne vom Umschalten des Signals bis zur Überfahrt der Haltlinie) erfolgt bei der Steuerungsvariante 1 schneller. Dies ist allerdings nicht auf die Umschaltung auf Grün beziehungsweise Dunkel, sondern auf das bei Dunkelschaltungen in der Regel fehlende Übergangssignal (Rot/Gelb) zurückzuführen: Wird als maßgebender Bezugspunkt nicht das Umschalten auf Grün beziehungsweise Dunkel, sondern das Umschalten auf Rot/Gelb genutzt, nivellieren sich die Unterschiede zwischen den Schaltungen.

3 Fazit und Empfehlungen

Aus den Ergebnissen des Projekts wurden verschiedene Empfehlungen zum Einsatz der Steuerungsvarianten und der Gestaltung der Signalisierung abgeleitet.

Bei allen F-LSA sind die Vorgaben und Empfehlungen der VwV-StVO und der RiLSA (2015) zu beachten. Daneben kann, abweichend von der derzeitigen Empfehlung der RiLSA, der Einsatz der Steuerungsvariante 3 bei geringen und mittleren Kfz-Stärken – innerhalb der in diesem Projekt betrachteten Verkehrsstärken unabhängig von der Stärke des Querverkehrs, die bis zu knapp 300 Fußgängern und Radfahrern pro Stunde reichte – empfohlen werden. Bis zu einer Spitzenstundenbelastung von 900 Kfz war die Nutzung der Möglichkeit zur Querung bei Dunkel in z. T. erheblichem Umfang festzustellen, ohne dass dies zu Problemen bezüglich der Verkehrssicherheit führte. Im Rahmen des Projektes konnte zwar nicht festgestellt werden, dass höhere Kfz-Stärken zu Sicherheitsdefiziten beim Einsatz der Steuerungsvariante 3 führen, jedoch nimmt die praktische Relevanz (im Sinne einer Nutzung der Dunkelschaltung durch querende Verkehrsteilnehmer) bei höheren Kfz-Stärken ab.

Der Einsatz der Steuerungsvariante 3 bei geringen und mittleren Kfz-Stärken entspricht der anhand der recherchierten F-LSA bereits heute bestehenden Nutzung dieser Steuerungsvariante: Im Untersuchungskollektiv wurde sie bis maximal 20 000 Kfz/Tag eingesetzt, während die Kfz-Stärken an den Anlagen der Steuerungsvarianten 1 und 2 vereinzelt bei über 40 000 Kfz/Tag lagen. Die Steuerungsvariante 3 bietet daneben die Möglichkeit der Installation von F-LSA an Stellen, an denen eine Signalanlage zwar aufgrund der Verkehrsstärken verkehrstechnisch nicht notwendig ist, aber aufgrund der Schutzbedürftigkeit von regelmäßig querenden Verkehrsteilnehmern (zum Beispiel Kindern oder Senioren) die Bereitstellung eines Signalschutzes gewünscht wird.

Die in der Kommunalbefragung geäußerten Vorbehalte und Befürchtungen bezüglich der Sicherheit der Steuerungsvariante 3 wurden im Rahmen der empirischen Untersuchungen im Projekt nicht bestätigt: Die Möglichkeit zur ungesicherten Querung führt nicht zu mehr Unfällen querender Verkehrsteilnehmer,

die UD(P) des Fußverkehrs als auch die UD(P) der Überschreiten-Unfälle liegt (auch unter Berücksichtigung des höheren mittleren Querungsbedarfs an den Anlagen) nicht höher, zum Teil sogar niedriger als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2. Auch wurde in der Verkehrsbeobachtung kein Konflikt registriert, der auf eine Querung bei Dunkelschaltung des Querverkehrs zurückgeführt werden kann.

Daneben bietet die Steuerungsvariante 3 Vorteile im Verkehrsablauf und der -qualität. So sind die Wartezeiten im Querverkehr kürzer, zudem kommt es beim Kfz-Verkehr in Relation zum Querverkehrsaufkommen zu weniger Sperrungen der Fahrbahn und daraus resultierend zu weniger Halten im Kfz-Verkehr. Der Anteil der regelwidrig querenden Verkehrsteilnehmer liegt bei der Steuerungsvariante 3 deutlich niedriger als bei den anderen beiden Steuerungsvarianten. Eine höhere Akzeptanz der Wartezeit seitens Personen, die angefordert haben, konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Bei der Einrichtung von Anlagen der Steuerungsvariante 3 ist auf eine ausreichende Sicht – bspw. entsprechend der Vorgaben im Entwurfsregelwerk (insbesondere RAST 06) für Querungsanlagen ohne Vorrang – zu achten, da andernfalls mit einem verstärkten Unfallgeschehen des Fußverkehrs zu rechnen ist. Hierbei existiert ein Sicherheitspotenzial auch bei bereits bestehenden Anlagen der Steuerungsvariante 3.

Bezüglich der Dunkelschaltung des Fahrbahn-Signalgebers bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 lässt sich feststellen, dass die für diese Signalgeber vermuteten Vorteile gegenüber der Signalisierung mit Grün bei der Steuerungsvariante 1 zum Teil bestätigt werden konnten. Unter anderem liegt das Geschwindigkeitsniveau an den Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3 niedriger als an den Anlagen der Steuerungsvariante 1, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass dieser Effekt teilweise auch durch andere infrastrukturelle Merkmale mitverursacht wird. Die ebenfalls in den Befragungen als Grund genannte Verringerung der Verwechslungsgefahr von Signalgebern der F-LSA mit benachbarten LSA konnte aufgrund des Untersuchungsdesigns nicht evaluiert werden.

Befürchtete Nachteile hinsichtlich der Sichtbarkeit beziehungsweise Wahrnehmung der Signalgeber können zum Teil sowohl anhand der Unfalldaten als auch anhand der Verhaltensbeobachtungen widerlegt werden. So liegt die UKR der Unfälle der Art 2 (Zusammenstoß mit Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet) sowie der Typen 1 (Fahrerunfälle) und 6 (Unfälle im Längsverkehr) bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 gleichauf mit der Steuerungsvariante 1. Bei den Rotlichtverstößen des Kfz-Verkehrs schneiden die Steuerungsvarianten 2 und 3 besser ab. Eine schlechtere Wahrnehmung des Einschaltens der dunklen Signalgeber gegenüber der Umschaltung von Grün auf Rot kann anhand des zeitlichen Verlaufs der Gelb- und Rotüberfahrten ebenfalls als widerlegt angesehen werden. Ebenso war nicht festzustellen, dass Fußgänger aufgrund der ausgeschalteten Fahrbahn-Signalgeber (und zum Beispiel der

daraus resultierenden Annahme, die LSA sei abgeschaltet) häufiger in den Annäherungsbereichen queren. Bei der Steuerungsvariante 2 war gegenüber der Steuerungsvariante 1 ein höherer Anteil an Querungen bei Rot zu verzeichnen, der sich jedoch an den im Rahmen des Projekts betrachteten Anlagen weder in entsprechenden Konflikten noch in entsprechenden Unfällen niederschlug.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Vorteile der dunklen Fahrbahn-Signalgeber gegenüber der Grundstellung Grün (und damit auch der Steuerungsvariante 2 gegenüber der Steuerungsvariante 1) innerhalb der untersuchten Einsatzkriterien tendenziell überwiegen.

Aus den Ergebnissen der Unfallanalyse und der Verhaltensbeobachtungen lässt sich die Empfehlung ableiten, die Gelbphasen anzupassen:

- 1 Eine Reduktion der Gelbzeit der Steuerungsvarianten 2 und 3 auf die Gelbzeit der Steuerungsvariante 1 von 3 s (oder gegebenenfalls 4 s, s. u.) ist angesichts des nach Beginn der Gelbphase ähnlichen Verhaltens bei den Steuerungsvarianten sinnvoll: Einerseits wird dadurch die Wartezeit beziehungsweise nicht nutzbare Zeit für den Quer- und Längsverkehr reduziert, andererseits sind keine Sicherheitsdefizite zu erwarten.
- 2 Eine Verlängerung der Gelbphase der Steuerungsvariante 1 würde womöglich die Zahl der Rotfahrten reduzieren, die in der ersten Rotsekunde hoch ist. Allerdings könnten diese Rotfahrten zumindest zum Teil auch auf höhere Geschwindigkeiten zurückzuführen sein. Außerdem war bei keiner Rotfahrt innerhalb der ersten 2 s Rot ein Konflikt zu beobachten, auch weil querende Verkehrsteilnehmer nach Beginn der Freigabe eine Zuwegzeit benötigen, um die Querung zu beginnen. Auch wenn durch die Verlängerung auf 4 s Gelbzeit die Rotlichtverstöße in der ersten Rotsekunde reduziert werden könnten, so sind aus den Beobachtungen keine Erkenntnisse ableitbar, die grundsätzlich gegen die Gelbzeit von 3 s sprechen.

Auch beim Übergang von der Sperrzeit des Fahrbahnverkehrs zu dessen Freigabe besteht die Möglichkeit, die Verkehrsqualität bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 durch den Einsatz des Übergangssignals (Rot/Gelb) von 1 s Dauer zu verbessern. Da der Beginn des Anfahrvorgangs nicht vom Beginn der Freigabe, sondern vom Beginn des Übergangssignals abhängt und die Zeitdauer des Übergangssignals zur Zwischenzeit gehört, verlegt das Zeigen des Übergangssignals den Beginn der für den Fahrbahnverkehr nutzbaren Zeit näher an das Ende der Sperrzeit des Querverkehrs. Ein Übergangssignal von 2 s kann dagegen nicht empfohlen werden.

Bei allen drei Steuerungsvarianten ist es empfehlenswert, zur Reduktion des "Querens gegen Rot" bei der Berechnung der Mindestfreigabezeit eine Zuwegzeit zu berücksichtigen, die in

diesem Projekt mit im Mittel 2,57 s, im Median 2,34 s ermittelt wurde.

4 Weiterer Forschungsbedarf

Einige Forschungsfragen konnten aufgrund des Umfangs und der Ausrichtung des Projektes nicht beantwortet werden. So beziehen sich die Verhaltensbeobachtungen nur auf einbahnig zweistreifige Querschnitte. Entsprechend fehlen zu breiteren Querschnitten Erkenntnisse zum Verhalten der Verkehrsteilnehmer, auch wenn die Unfallanalyse keine Auffälligkeit der Steuerungsvariante 3 bei breiteren Querschnitten zeigte.

Zudem lag das Kfz-Aufkommen bei den in die Verhaltensbeobachtungen einbezogenen Anlagen zumeist im niedrigen und mittleren Bereich, höhere Kfz-Stärken ab 12 000 Kfz/24 h waren für zuverlässige Aussagen über die Nutzung der Möglichkeit zur Querung bei Dunkel in zu geringem Umfang vertreten.