

Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgängerschutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 356

bast

Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgängerschutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen

von

Matthias Medicus
Martin Schmotz
Regine Gerike

Professur für Integrierte Verkehrsplanung
und Straßenverkehrstechnik
TU Dresden

Angelika Reinartz
Michael M. Baier

BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung
Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH
Aachen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 356

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 03.0568
Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgängerschutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen

Fachbetreuung
Jan Schappacher

Referat
Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-665-8

Bergisch Gladbach, Februar 2022

Kurzfassung – Abstract

Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgängerschutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen

Ziel des Forschungsprojektes war die Analyse des Einsatzes, der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs sowie die Ableitung von Einsatz- und Handlungsempfehlungen bzgl. der drei Steuerungsvarianten für Fußgängerschutzanlagen (F-LSA):

- Steuerungsvariante 1: Bisheriger Standard nach RiLSA (2015) mit der Grundstellung Grün für den Fahrbahnverkehr und Rot für den Querverkehr (zu Fuß Gehende und Radfahrende);
- Steuerungsvariante 2: Dunkel-Rot-Anlagen mit der Grundstellung Dunkel für den Fahrbahn- und Rot für den Querverkehr;
- Steuerungsvariante 3: Dunkel-Dunkel-Anlagen mit der Grundstellung Dunkel für den Fahrbahn- und den Querverkehr; die Signale schalten sich nur nach Anforderung ein.

Die Steuerungsvarianten 2 und 3 werden zwar, wie sich im Projekt zeigte, zunehmend eingesetzt, systematische Untersuchungen über die Vor- und Nachteile der Steuerungsvarianten fehlen allerdings. Hier setzte das Forschungsprojekt an, wobei das Ziel die spezifische Betrachtung der drei genannten Steuerungsvarianten war. Eine Untersuchung zum allgemeinen Einsatz von F-LSA oder dem Vergleich mit anderen Querungsanlagen war nicht Teil des Projektes.

Im Projekt wurden für den Vergleich der drei Steuerungsvarianten nach einer Literaturanalyse zunächst Befragungen der für den Betrieb von F-LSA zuständigen Verwaltungen der Bundesländer und Kommunen durchgeführt. Die Befragung sollte die Gründe der Betreiber für oder gegen die Nutzung der einzelnen Steuerungsvarianten, die Häufigkeit des Einsatzes der Steuerungsvarianten sowie die praktischen Erfahrungen mit dem Betrieb dieser F-LSA ermitteln.

Im Anschluss wurden für eine Datenbank Merkmale von 297 F-LSA, aufgeteilt auf die drei Steuerungsvarianten, recherchiert. Anhand der Datenbank erfolgte in einer Unfallanalyse die Untersuchung der Unterschiede der Steuerungsvarianten hinsichtlich ihres Sicherheitsniveaus.

An 47 aus der Datenbank ausgewählten F-LSA wurden je dreistündige Videoerhebungen durchgeführt und bzgl. der Verkehrsaufkommen, des Verkehrsablaufs und des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer ausgewertet. Schwerpunkte lagen dabei auf dem Querungsverhalten und der Verkehrsqualität von

Fußgängern und Radfahrern sowie den Auswirkungen der Signalisierung auf das Verhalten und die Verkehrsqualität des Fahrbahnverkehrs. Hinzu kamen als Verkehrsversuche Vorher-Nachher-Vergleiche an 5 Anlagen, die von einer Steuerungsvariante auf eine andere umgestellt wurden.

Aus den Ergebnissen des Projektes lassen sich u. a. folgende Empfehlungen ableiten:

- Der Einsatz der Steuerungsvariante 3 kann 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. Sicherheitsdefizite aufgrund der Möglichkeit zur Querung bei Dunkel konnten nicht festgestellt werden. Durch den Einsatz dieser Steuerungsvariante können die Wartezeiten im Querverkehr sowie die Häufigkeit und Gesamtdauer der Sperrzeiten und die Zahl der Halte des Fahrbahnverkehrs reduziert werden.
- Die in der Befragung für dunkle Signalgeber des Kfz-Verkehrs (Steuerungsvarianten 2 und 3) geäußerten Bedenken hinsichtlich der Wahrnehmung und Sichtbarkeit der Signale konnten, soweit sie im Projekt untersuchbar waren, sowohl anhand der Unfalldaten, als auch anhand der Verhaltensbeobachtungen widerlegt werden. Dagegen konnten die angeführten, erwarteten Vorteile z. T. bestätigt werden. So liegt das Geschwindigkeitsniveau an Anlagen mit dunklem Signalgeber niedriger. Unfälle durch Rotlichtverstöße sind seltener. Das Unfallgeschehen der Unfalltypen Fahrnfälle und Unfälle im Längsverkehr unterscheidet sich nicht. Bei Umschaltung der Signalgeber von der Freigabe auf Gelb reagieren die Kfz-Führer bei dunklen Signalgebern genauso schnell wie bei Signalgebern, die in der Grundstellung Grün zeigen.

Hinsichtlich der Signalfolgen und -dauern bieten sich folgende Möglichkeiten zur Verbesserung an:

- Eine Reduktion der Gelbzeit der Steuerungsvarianten 2 und 3 auf die bei der Steuerungsvariante 1 angewendete Gelbzeit von 3 s (oder ggf. 4 s, s. u.) ist angesichts des nach dem Beginn der Gelbphase ähnlichen Verhaltens sinnvoll. Damit können die Verlustzeiten für den Quer- und Längsverkehr reduziert werden, ohne dass Sicherheitsdefizite zu erwarten sind.
- Eine Verlängerung der Gelbphase der Steuerungsvariante 1 auf 4 s würde womöglich die Zahl der Rotfahrten reduzieren, die in der ersten Rotsekunde hoch ist. Anhand der Unfallanalyse und der Verkehrsbeobachtungen sind allerdings

keine Erkenntnisse ableitbar, die grundsätzlich gegen die Gelbzeit von 3 s sprechen.

- 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 (bei der Steuerungsvariante 1 verwendeten) Übergangssignals (Rot/Gelb) von 1 s Dauer zu verbessern. Damit kann die Verlustzeit des Fahrbahnverkehrs reduziert werden, ohne dass eine Verschlechterung der Verkehrssicherheit zu erwarten ist.

Development of deployment criteria for pedestrian traffic signal systems with different default settings

The aim of the research project was the analysis of the use, the traffic safety, and the traffic flow of three control options for pedestrian traffic signal systems as well as developing recommendations regarding their deployment:

- Control option 1: Recommendation according to RiLSA (2015) with the default setting green for vehicles and red for cross traffic (pedestrians and bicyclists);
- Control option 2: Dark-red-systems with the default setting dark for road traffic and red for cross traffic;
- Control option 3: Dark-dark-systems with the default setting dark for road and cross traffic; the signals are activated on demand.

During the project it became apparent that control options 2 and 3 are being deployed increasingly, although there is a lack of systematic studies on the advantages and disadvantages of these control options. This research project targeted this issue with the aim of specifically reviewing the aforementioned control options. A research on general deployment criteria for pedestrian traffic signal systems or other means of protected crossings was not part of this project.

In order to compare the three control options, the project first conducted a literature analysis, followed by questioning the administrative bodies of the federal states and municipalities responsible for the operation of pedestrian traffic signal systems. This aimed at determining the reasons operators decided for or against certain control options, how often these control options were used, as well as their practical experience with using these pedestrian traffic signal systems.

Afterwards, 297 pedestrian traffic light systems

were sorted by the three control options, their characteristics were researched and incorporated into a database. Based on the database, an accident analysis was conducted to examine the differences of the control options concerning their safety level.

At 47 pedestrian traffic signal systems chosen from the database, three-hour video surveys were conducted and evaluated in terms of traffic volume, traffic flow, and road user behaviour. The main areas of focus were the crossing behaviour of pedestrians and cyclists as well as the effects of the signals on the behaviour and the traffic quality of the road traffic. Additionally, experiments were run on 5 of the systems to allow before and after comparisons when the control option was changed.

The results of the research project allow for the following recommendations to be made:

- The usage of control option 3 is recommendable for low and medium volumes of vehicular traffic, within the traffic volume examined in this study, regardless of the amount of cross traffic. No safety deficits were found owed to the possibility of crossing at a dark signal. Utilizing this control option can reduce waiting time for cross traffic as well as the frequency and total duration of red times and the number of stops for vehicular traffic.
- The concerns voiced in the survey about the perception and visibility of dark signal heads (control options 2 and 3) could be refuted as far as they were examinable within the project, on the basis of accident data as well as behavioural observation. In contrast, the mentioned and expected advantages could be partly confirmed. Accordingly, the speed levels at systems with dark signal heads for road traffic are lower. Accidents due to red light violations are rarer. The accident occurrence of driver-related accidents and parallel traffic accidents does not differ. When the signal head switches to yellow, drivers react with the same speed, regardless of whether the signal was green or dark before.

Regarding the signal switches and durations there are the following possibilities of improvement:

- Reducing the yellow time within control options 2 or 3 to the yellow time of 3 seconds used for control option 1 (or 4 seconds, see below) is reasonable considering the similar behaviour after the beginning of the yellow time. This could reduce lost time for cross and road traffic without risking a lack of safety.
- Increasing the duration of the yellow time to 4 seconds for control option 1 could reduce the number of red light runners, which is very high

within the first second of the red time. However, there are no results of accident analyses or traffic observations that categorically speak against the yellow time duration of 3 seconds.

- When switching the road traffic from red time to green time, there is the possibility to increase the traffic quality of control options 2 and 3 by using a red/yellow signal (as used in control option 1) during the transition for 1 second. This can reduce the lost time for the road traffic without deteriorating traffic safety.

Summary

Development of deployment criteria for pedestrian traffic signal systems with different default settings

Baseline

Pedestrian traffic signal systems allow for pedestrians to cross roads conflict free. The recommendation according to RiLSA (Guidelines for Traffic Signal Systems; 2015) are systems actuated on demand with the default setting green for vehicles and red for pedestrians (control option 1). When requested by pedestrians, the traffic light for vehicles switches to yellow and then to red and after a designated safety time it switches to green for the pedestrians. After the end of the green time for pedestrians, the lights for the vehicles are switched back via red/yellow to the default setting green.

Two additional control options are described in RiLSA (2015), where the lights for vehicles or all road users use the signal state dark as a default setting:

- At dark-red-systems, the default setting is dark for vehicles and red for pedestrians (control option 2). On request, the signals for vehicles switch to yellow and then to red and after the green time for pedestrians and the designated safety time it switches from red to dark.
- At dark-dark systems, all signals are dark in the default setting (control option 3). On request, the lights for pedestrians turn red. The lights for vehicles turn yellow and then red, after the green time for pedestrians and the safety time, the lights for vehicles and pedestrians are switched from red back to dark. Dark-dark systems leave it up to pedestrians to decide if they want to cross under the protection of the traffic lights (by requesting) or without (by not requesting a signal change).

Control options 2 and 3 are already being used today, the deployment numbers varying strongly depending on the region.

So far, there have been neither technical guidelines nor scientific papers making statements on the operational criteria, possible exclusion criteria as well as advantages and disadvantages of the three control options.

Therefore, the goal of this research project was to develop recommendations on the deployment of pedestrian traffic signal systems with different default settings as well as deriving their specific advantages and disadvantages.

Among others, the following questions were to be answered:

- Which advantages and disadvantages do the operators see for traffic signal systems with the different control options?
- Which effects do the different control options have on accident occurrence?
- What effects are there on the traffic flow of pedestrians, bicycles, and vehicles?

As part of the project, four different research topics were worked on: literature analysis, survey and questioning of the administrative bodies of the federal states and municipalities responsible for the operation of pedestrian traffic light systems, accident analysis as well as traffic observations. The goal of the project was to specifically review the three mentioned control options. Reviewing the general use of pedestrian traffic signal systems or the comparison with other crossing systems was not part of the project.

Methodology and Results

Literature analysis

For the literature analysis, technical rulebooks and guidelines as well as scientific publications on the topic of pedestrian traffic signal systems with focus on the three control options were researched. In addition to German publications, literature from other German speaking countries (Switzerland, Austria) as well as findings from the UK and the US were also consulted. As a result, it can be said that while nationally and internationally there are numerous studies on pedestrian traffic signal systems, these do not review the control options analysed in this project.

Survey

To learn about practical experiences on the distribution, the deployment and the limiting conditions of the control options, a survey with civil engineering authorities of large German cities and the road authorities of the federal states was conducted. The first step was an online survey which was designed to gather information on the general development of pedestrian traffic signal systems and the reasons for this development. Furthermore, the participants were questioned about the frequency of use of pedestrian traffic signal systems with the different control options as well as advantages and disadvantages of these options. Those who already had experience with the use of control options 2 and 3 were asked specific questions on the background, expectations, experiences, and feedback on these control options. This was followed by a phone interview with selected participants of the online survey

in which more specific questions were asked on the deployment of control options 2 and 3.

The high feedback of the survey showed the high practical significance of the topics treated within this research project. While control options 2 and 3 are being used increasingly, mentioned advantages and disadvantages are only based on subjective impressions and feedback from citizens. Perceived or expected effects of control options 2 and 3 were an improved as well as a worsened perception of the signals and red light acceptance of drivers, reduced light pollution, avoiding the so-called pull effect caused by permanently visible green lights as well as the concern that pedestrians will cross more frequently in the immediate surrounding area because of the dark signal for road traffic.

For control option 3, an additional advantage is the reduced waiting time for road and cross traffic and additional disadvantages are the difficulty for cross traffic to understand if the system is operational as well as the concern of critical-to-safety crossings during the dark signal phase.

Accident analysis

On the basis of the survey, a database with pedestrian traffic signal systems was created which was the basis for accident analysis. For every system public data (databases, online map services), data made available by road construction agencies (e.g. technical documents on traffic) and on-site acquisition were utilized in order to collect and process information on the environment, the infrastructure and the use of the systems. For the pedestrian traffic signal systems in the database, information on accident occurrence directly at the system (area of the marked pedestrian crossing) as well as 50m in front and behind the system (immediate surrounding area) was added.

The database contains a sample of in total 297 signal systems, out of which 164 utilize control option 1, 73 utilize control option 2 and 60 run with control option 3. For the analysis, accident data for the years 2014 to 2018 was available (a total of 3,534 accidents, out of which 1,047 personal injury accidents). Because of the effects of pedestrian traffic signal systems on traffic flow as well as the relevant research questions of this project, the focus was put on the following types of accidents: driver-related accidents (type 1), road crossing accidents (type 4), parallel traffic accidents (type 6) and other accidents (type 7). The evaluation was conducted depending on the research question according to accident rate and accident cost rate.

The results of the accident analysis included the following:

- At signal systems with control option 3, road crossing accidents do not occur more frequently than at control options 1 and 2 – with consideration of the crossing demand as well as durations of requests which influence accident occurrence.
- The concern that pedestrians, approaching the signal system in parallel traffic facing a dark signal head for road traffic, assume the system is not operational and therefore cross in the immediate surrounding area more frequently which then leads to accidents occurring more frequently at systems with dark signal states could not be confirmed. Control option 3 as well as control option 2 showed better results than control option 1 in terms of pedestrian accidents in general as well as road crossing accidents specifically.
- There is no difference in terms of the accident cost rate of the accidents in parallel traffic between control option 1 and control options 2 and 3. It can therefore be assumed that the activation of the signal head does not lead to a surprise effect for drivers causing sudden braking manoeuvres and therefore more accidents in parallel traffic and at accident type 2 more driver-related accidents.
- Additionally, it cannot be assumed that drivers are less attentive and miss the signal change more frequently, which would lead to more accidents in parallel traffic and more accidents caused by red light violations: the accident cost rate of accidents in parallel traffic and accident type 2 are just as high at control options 2 and 3 (both control options added) as at control option 1. The accident rate of accidents caused by drivers running red lights is much lower at control options 2 and 3. It can therefore be deduced that the activation of the previously dark signal head leads to an improved rather than worsened noticeability of the signal system for road traffic.

Traffic survey and behavioural observation

Based on the results of the database on pedestrian traffic signal systems, 47 pedestrian traffic signal systems with the three different control options at single carriageway two-lane sections were chosen for detailed traffic surveys in six large cities and video surveys as well as velocity measurements were conducted. The volume, behaviour, and traffic flow of all participating groups of road users were analysed. The goal was to show possible behavioural differences of road users depending on the control options as well as the effects on traffic flow and traffic safety. To further examine the differences between control options 2 and 3, traffic trials with video surveillance were made with before-after-comparisons at 5 pedestrian traffic signal systems.

Two video cameras were installed for three hours at each pedestrian traffic signal system (2 hours during normal traffic from 12 am to 2 pm and 1 hour during rush hour from 4 to 5 pm) and the video material was evaluated manually. From the found characteristics like traffic volume, arrival times of road users as well as their behaviour, data was collected on traffic flow, waiting and reaction times, red light acceptance, conflicts, etc. The analyses were mainly conducted based on data sets compiled for each pedestrian traffic signal system.

The traffic surveys came to the following results on cross traffic:

- At control option 3, the number of road users crossing at a non-actuated pedestrian traffic signal system (ergo at a dark signal) is at 23.6% of pedestrians and 27.9% of cyclists and therefore higher than the red light crossings at systems with control options 1 and 2 (values between 8.9% and 17.7%), at the same time red light violations are much less frequent. Thus, there is a shift of crossings at red towards crossings at dark as well as road users who normally cross at green towards crossing at a dark signal.
- In terms of motorised traffic volume, no threshold could be determined above which cross traffic makes no or only little use of the dark setting. However, it can be found that control option 3 can be deployed safely up to an hourly flow of 900 motor vehicles during rush hour and the possibility of crossing at a dark signal is also used by cross traffic. It cannot be deduced that using this control option at higher traffic volumes leads to safety deficits.
- Pedestrian traffic signal systems with control option 2 show a higher percentage of pedestrians crossing at red than at pedestrian traffic signal systems with control option 1 – possibly due to a lower acceptance of dark-systems by cross traffic.
- The percentage of pedestrians crossing in the immediate surrounding area of pedestrian traffic signal systems barely varies for the different control options, the concern voiced in the survey about approaching dark road traffic signal heads could therefore not be confirmed.
- Only very few conflicts were observed (7 conflicts at a total number of 14,000 observed crossing road users). None of the observed conflicts were due to crossing at dark.
- The distribution of time spans between arrival at the waiting area and the request of a signal change points to an extended observation of the traffic conditions for crossings at control options including dark phase states.

The traffic observations also disprove the concern that drivers take longer to react and stop when the signal switches from dark to yellow (compared to it switching from green to yellow): After the start of the yellow signal, the amount of parallel traffic reduces similarly at control options 2 and 3 as at control option 1, the number of vehicles passing within the 4th and 5th second of the yellow time barely differs from the number of vehicles passing within the 1st and 2nd second of red time at control option 1. The share of drivers running red lights is considerably lower at signal systems with control options 2 and 3 compared to signal systems with control option 1 (0.009 crossings per red time compared to 0.045 crossings per red time). The measured velocity level at signal systems with control option 1 is higher than at systems with a dark signal for road traffic.

In terms of traffic flow and traffic quality of cross traffic, it can be said, that control option 3 shows the shortest and control option 1 shows the longest waiting times, with this advantage of control option 3 becoming more pronounced when only legally crossing road users (at dark or green) are observed.

For the road traffic flow, the number of red times per crossing road user is the highest with control option 1. For control options 2 and 3 it is even; when taking into consideration that the crossing traffic volume is much larger for control option 2, this shows that control option 3 shows the best results at consistent cross traffic flows – this becomes clear during the analysis of the spread of these parameters over cross traffic flow. The number of stops of motorised traffic per crossing road user is lower for control option 3 compared to the same numbers with the other two control options. This is not only caused by the lower motorised traffic volume: The share of motorised vehicles forced to stop rises with increased cross traffic regardless of the control option, however, the trend is the lowest for control option 3.

The reaction time of drivers at the beginning of the green time for road traffic (the time it takes for drivers to cross the stop line after the signal change) is quicker for control option 1. However, this is generally not caused by the switch to green or dark but by the missing yellow/red signal for dark-systems: If instead of green or dark, the switch to red/yellow is used as a reference point, the differences between the control options even out.

Conclusion and Recommendations

The results of the research project allow for different recommendations on the deployment of the control options and the design of the signalling to be made.

All pedestrian traffic signal systems need to comply with the standards and recommendations of the

VwV-StVO (German Administrative Regulation on the German Road Traffic Ordinance) and the RiLSA (2015). Divergent from the current recommendations of RiLSA, the usage of control option 3 seems recommendable for low and medium volumes of vehicular traffic – within the traffic volume examined in this study regardless of the amount of cross traffic. Up to a peak hour traffic flow of 900 motor vehicles, the use of the possibility of crossing at a dark signal was partly detected in considerable numbers without causing problems concerning traffic safety. While it could not be shown within the project that higher motorised traffic volumes lead to safety deficits for control option 3, its practical relevance (in terms of cross traffic using the dark signal) decreased with a rising number of motor vehicles.

The use of control option 3 for low and medium volumes of traffic corresponds to the current use of the control option found during the research of pedestrian traffic signal systems: Within the investigation sample it was used up to a maximum of 20,000 motor vehicles per day, while motorised traffic volume at signal systems with control options 1 and 2 was in a few cases above 40,000 motor vehicles per day. Control option 3 furthermore allows the installation of pedestrian traffic signal systems in places where it would not be necessary in terms of the traffic, but it is wanted because of the particular vulnerability of those regularly crossing there (e.g. children or elderly).

The concerns voiced in the survey in terms of the safety of control option 3 were not confirmed during the empirical research of this project: The possibility of crossing without the protection of the traffic signal does not lead to more accidents involving pedestrians in cross traffic, the rate of personal injury accidents for pedestrian traffic as well as for road crossing accidents was not higher (also with consideration of the higher average cross traffic at these systems), sometimes even lower than at control options 1 and 2. Additionally, the traffic observations saw no conflicts caused by crossing at a dark signal.

Control option 3 is also beneficial for traffic flow and traffic quality. The waiting times of cross traffic are lower and in relation to the cross traffic volume, red signals for road traffic are less frequent, resulting in fewer stops of motorised traffic. The amount of illegally crossing road users is far lower for control option 3 compared to the other two options. However, the acceptance of waiting time amongst those requesting a signal change to cross the road was not found to be higher.

When signal systems with control option 3 are put in place, sufficient visibility needs to be ensured –

e.g. according to the standards defined in the guideline on design of crossings without priority rule (especially RAS 06) – otherwise an increased pedestrian accident occurrence is to be expected. This is a safety potential also for signal systems with control option 3 which are already operational.

In terms of the dark setting of the signal head for the road traffic at control options 2 and 3, it was detected that the expected advantages over the green signal in control option 1 were in part indeed confirmed. Amongst others, the speed level at signal systems with control option 1 is higher than at signal systems with control options 2 and 3. Another reason for the use of control option 3 mentioned in the survey, namely the reduced danger of confusing signal heads with nearby traffic signal systems could not be evaluated due to the design of the study.

Suspected disadvantages in terms of the visibility or noticeability of the signal heads were refuted, partly based on the accident data as well as on the behavioural observations. The accident cost rate of type 2 accidents (collision with a vehicle driving ahead or waiting) as well as type 1 (driver-related accidents) and 6 (accidents in parallel traffic) of control options 2 and 3 is consistent with the rate of control option 1. For red light violations of motorised traffic, control options 2 and 3 proved to be better. Therefore, a worse noticeability of the dark signal heads switching to red compared to the signal change from green to red can also be seen as refuted due to the timeline of yellow and red light runs. Furthermore, there was no evidence of pedestrians crossing in the immediate surrounding area more frequently because of the dark signal head (e.g. causing the assumption that the signal system is not operational). At control option 2, a higher proportion of crossings at red was detected than at control option 1, although this did not show in the number of conflicts or correspondent accidents.

As a conclusion it can be said that generally speaking, the advantages of dark signal heads for road traffic as a default setting outweigh those of a green signal for road traffic (and therefore also the control option 2 over control option 1) within the examined operational criteria.

The results of the accident analysis and the behavioural observations allow for the recommendation of changing the yellow time:

- Reducing the yellow time of control options 2 and 3 to the yellow time of 3 seconds used in control option 1 (or possibly 4 s, see below) makes sense in light of the similar behaviour after the

beginning of the yellow time throughout all control options: On the one hand, this leads to a reduction of the waiting time and non-useable time for cross and road traffic, on the other hand no safety deficits are to be expected.

- Increasing the yellow time of control option 1 could reduce the number of red light runners, which is high within the first second of red time. However, these red light violations could also be at least partially caused by higher speeds. Additionally, no conflicts were observed caused by red light violations within the first 2 seconds of red time, also because crossing road users take some time to reach the road after their signal has changed to green. Even if an increase of the yellow time to 4 seconds could reduce the number of red light violations during the first second of red time, no findings following the observations generally speak against a yellow time of 3 seconds.

For the transition of red time to dark for road traffic, there is the potential to improve traffic quality of control options 2 and 3 by introducing the transition signal (red/yellow) with a duration of 1 second. The moment when vehicles start to set off does not depend on the beginning of the green or dark time, but on the beginning of the transition signal. The red/yellow signal is part of the safety time, and for these reasons showing the transition signal brings the start of the useable time for road traffic closer to the end of the red time of cross traffic. A transition signal of 2 seconds however cannot be recommended.

For all three control options, when calculating the minimum green time, it is recommendable to take into consideration the time it takes for pedestrians to reach and step on the carriageway. Within the project, this was found to be on average 2.57 seconds while the median time was 2.34 seconds.

Recommendations for Further Research

Some research questions could not be answered due to the scope and the focus of the project. For instance, the on site observations were only made at single carriageway two-lane roads. Therefore, there is a lack of findings on the behaviour of road users on wider roads, although the accident analysis showed no particularity of control option 3 at wider roads.

Additionally, the motorised traffic volume at the signal systems included in the behavioural observation was mostly low to medium, and volumes above 12,000 motor vehicles per day were not frequent enough to allow for reliable statements on crossing at a dark signal.

Inhalt

1 Einleitung	12	4.3.1 Lage der F-LSA	47
1.1 Ausgangslage	12	4.3.2 Infrastruktur und Verkehr	52
1.2 Untersuchungsablauf	12	4.3.3 Ausstattung und Steuerung der F-LSA....	62
2 Literaturanalyse	15	4.4 Fazit.....	65
2.1 Deutschland	15	5 Verkehrserhebungen und	Verhaltensbeobachtungen.....67
2.1.1 Einsatzbedingungen.....	15	5.1 Ziele und Methodik	67
2.1.2 Vorgaben zur Signalisierung.....	16	5.2 Beschreibung der Untersuchungskollektive..	70
2.1.3 Steuerungsvarianten	17	5.2.1 Verkehrserhebungen	70
2.1.4 Weitere Modifikationen der		5.2.2 Verkehrsversuche.....	71
Fußgängersignalisierung	19	5.2.3 Beschreibung der Versuchsanlagen.....	71
2.1.5 Pilotversuch in Großburgwedel.....	19	5.3 Ergebnisse	73
2.2 Großbritannien	20	5.3.1 Vorbemerkungen	73
2.3 Vereinigte Staaten.....	21	5.3.2 Verkehrsaufkommen.....	73
2.4 Österreich	21	5.3.3 Verhalten Querverkehr.....	76
2.5 Schweiz	22	5.3.4 Verhalten Fahrbahnverkehr	81
2.6 Niederlande	23	5.3.5 Geschwindigkeitsverhalten der Kfz	83
2.7 Barrierefreiheit	24	5.3.6 Konflikte	84
2.8 Fazit.....	25	5.3.7 Verkehrsablauf im Querverkehr	85
3 Befragungen	26	5.3.8 Verkehrsablauf des Fahrbahnverkehrs....	89
3.1 Methodik und Ziel.....	26	5.3.9 Verkehrsverhalten und -ablauf bei den	Verkehrsversuchen.....
3.2 Ergebnisse	26	5.4 Fazit.....	94
3.2.1 Beteiligung	26	6 Empfehlungen und weiterer	Forschungsbedarf
3.2.2 Entwicklung der Anzahl an F-LSA.....	27	97	Literatur
3.2.3 Umstellung und Neubau von F-LSA			100
verschiedener Steuerungsvarianten	29	Bilder	102
3.2.4 Gründe für die Umstellung und den		Tabellen	105
Neubau von F-LSA der		Verzeichnis der Anhänge.....	107
Steuerungsvarianten 2 und 3.....	30		
3.2.5 Gründe für den Verzicht auf den Einsatz			
von F-LSA der Steuerungsvarianten 2			
und 3.....	33		
3.2.6 Einschätzung zu Vor- und Nachteilen			
der Steuerungsvarianten 2 und 3.....	33		
3.3 Fazit.....	35		
4 Unfallanalyse	37		
4.1 Einführung	37		
4.2 Methodik	38		
4.2.1 Infrastrukturelle und betriebliche			
Merkmale	38		
4.2.2 Unfalldaten.....	40		
4.3 Ergebnisse	45		

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Fußgänger-Lichtsignalanlagen (F-LSA) ermöglichen konfliktfreie Querungen von Fahrbahnen durch Fußgänger. Den Standard 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) Steuerungsvarianten für F-LSA beschrieben, bei denen die Signale des Fahrbahnverkehrs oder aller Verkehrsteilnehmer in der Grundstellung Dunkel stehen:

- 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. Diese Steuerungsvariante wird bereits heute – mit regional stark unterschiedlicher Häufigkeit – eingesetzt.
- 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. Auch diese Steuerungsvariante wird 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. Ebenso ist die Eignung

der Steuerungsvarianten 2 und 3 für hintereinanderliegende Furten oder speziell für simultane, progressive bzw. getrennte Signalisierung unklar.

Ziel dieses Forschungsprojekts ist es deshalb, Einsatzempfehlungen für F-LSA mit unterschiedlichen Steuerungsverfahren sowie deren spezifischen Vor- und Nachteile abzuleiten. Untersuchungen zum allgemeinen Einsatz von F-LSA oder dem Vergleich mit anderen Querungsanlagen (z. B. FGÜ) sind nicht Bestandteil des Projektes.

Dabei sollen u. a. folgende Fragen beantwortet werden:

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

1.2 Untersuchungsablauf

Die methodische Vorgehensweise und das sich hieraus ergebende Arbeitsprogramm sehen sechs, inhaltlich aufeinander aufbauende, Arbeitsschritte (AS) vor. Struktur und Ablauf der Untersuchung zeigt Bild 1.

Im AS 1 der Grundlagenanalyse werden sowohl technische Regelwerke als auch wissenschaftliche Publikationen zum Thema F-LSA mit Schwerpunkt auf den drei Steuerungsvarianten recherchiert. Dabei werden neben den nationalen Veröffentlichungen auch Literatur aus dem deutschsprachigen Ausland (Schweiz, Österreich) einbezogen. Hinzu kommen als weiterer Schwerpunkt Erkenntnisse aus Großbritannien und den Vereinigten Staaten, da in diesen Ländern etliche Untersuchungen zu F-LSA – wenn auch nicht zu direkt übertragbaren Steuerungsvarianten – vorliegen (vgl. Kapitel 2).

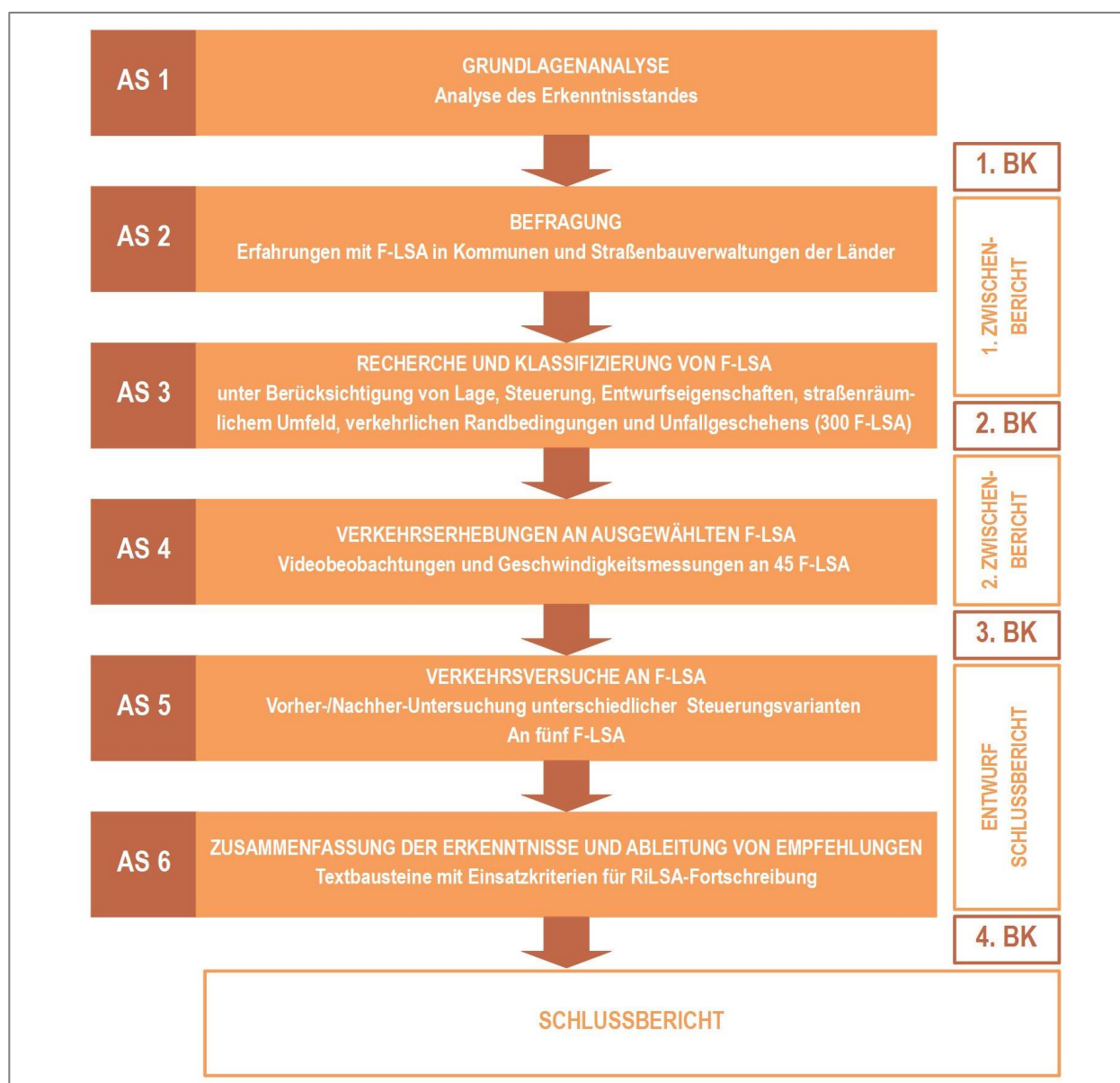


Bild 1: Methodik des Untersuchungsablaufs

Im AS 2 erfolgt in der ersten Stufe eine Online-Befragung von Tiefbauämtern in 80 deutschen Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern sowie Niederlassungen/Ämter von Straßenbauverwaltungen der Länder. In der Befragung werden Informationen zur allgemeinen Entwicklung der F-LSA und zu Gründen für diese Entwicklung erhoben. Des Weiteren wird nach der Verbreitung von F-LSA in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten sowie Vor- und Nachteilen der verschiedenen Steuerungsvarianten gefragt. Befragte, die bereits Erfahrungen mit dem Betrieb der Steuerungsvarianten 2 und 3 haben, werden differenzierte Fragen zu Hintergründen, Erwartungen, Erfahrungen und Rückmeldungen zu diesen Steuerungsvarianten gestellt (vgl. Kapitel 3).

In der zweiten Stufe des AS 2 werden anhand der Online-Befragung 30 Vertreter aus Tiefbauämtern

und Straßenbauverwaltungen für vertiefte telefonische Interviews ausgewählt. Ziel ist einerseits die Klärung von offenen Punkten aus der Online-Befragung und andererseits vertiefte Nachfragen zur Entwicklung der F-LSA und Erfahrungen mit dem Einsatz der Steuerungsvarianten 2 und 3. Zudem wird für die folgenden Arbeitsschritte die Verfügbarkeit und Bereitstellung von Daten zu F-LSA der Steuerungsvarianten 2 und 3 erfragt.

Der AS 3 umfasst den Aufbau einer Datenbank zu F-LSA sowie die Unfallanalyse (vgl. Kapitel 4). Ausgehend von den Erkenntnissen der AS 1 und 2 werden in deutschen Städten weit über 300 F-LSA identifiziert und basierend auf zahlreichen Kriterien 297 F-LSA ausführlich recherchiert. Für jede F-LSA werden auf Grundlage frei zugänglicher Informationen (Datenbanken, Online-Kartendiensten) sowie

von den Straßenbaulastträgern zur Verfügung gestellten Daten (z. B. verkehrstechnische Unterlagen) Merkmale zum Umfeld, zur Infrastruktur sowie zum Betrieb der Anlage erhoben und aufbereitet. Für die in der Datenbank aufbereiteten F-LSA werden Informationen zum Unfallgeschehen unmittelbar an der F-LSA sowie 50 m vor und hinter der F-LSA ergänzt. Auf Basis der so erstellten Datenbank werden Analysen zum Sicherheitsniveau an den F-LSA durchgeführt.

Im AS 4 werden anhand der im AS 3 erstellten Datenbank 47 F-LSA für detaillierte Verkehrserhebungen ausgewählt (vgl. Kapitel 5) und dort Videobeobachtungen und Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Analysiert werden Aufkommen, Verhalten und Verkehrsablauf aller Verkehrsteilnehmergruppen. Ziel ist dabei der Nachweis möglicher Unterschiede im Verhalten der Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit von der Steuerungsvariante sowie deren Auswirkungen auf Verkehrsablauf und -sicherheit.

Zur weiteren Untersuchung der Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten 2 und 3 werden im AS 5 Verkehrsversuche an 5 F-LSA durchgeführt. Es erfolgen Videobeobachtungen im Vorher- und Nachher-Zustand, wobei das Verhalten aller Verkehrsteilnehmergruppen aufgenommen wird.

Im AS 6 werden die Ergebnisse der einzelnen AS zusammengefasst und daraus Empfehlungen für den Einsatz der Steuerungsvarianten abgeleitet. Ziel ist die Angabe von Einsatzgrenzen, möglichen Ausschlussgründen (v. a. für die Steuerungsvariante 3) sowie besonders geeigneter Einsatzgebiete.

2 Literaturanalyse

2.1 Deutschland

2.1.1 Einsatzbedingungen

In mehreren Verordnungen und Richtlinien finden sich Aussagen zu F-LSA, wobei diese sich zum Teil auf Einsatzgrenzen und -bedingungen, zum Teil auf konkrete Ausführungsformen und Gestaltungsmerkmale beziehen.

F-LSA sind eine von verschiedenen Möglichkeiten, den Querungsvorgang von Fußgängern durch bauliche, technische oder verkehrsorganisatorische Maßnahmen zu unterstützen. Diese Maßnahmen lassen sich grob in Querungsanlagen mit und ohne Bevorrechtigung der Fußgänger sowie zeitliche und räumliche Trennung der Verkehrsströme unterteilen (vgl. Tab. 1).

Grundsätzlich werden in den RAST (2006) sowie den EFA (2002) Einsatzbereiche von F-LSA in Abhängigkeit von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sowie den Verkehrsstärken des Kfz- und des Fußverkehrs definiert. Gemäß Bild 2 ist eine signaltechnische Sicherung der Überquerungsstelle

- generell bei Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h erforderlich, wenn keine Unter- und Überführung vorhanden ist,
- bei Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h z. B. bei stündlichen Kfz-Verkehrsstärken von 1.000 Kfz/h und Fußgängerverkehrsstärke ≥ 100 Fg/h empfohlen,
- bei Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h in der Regel entbehrlich.

Der Einsatzbereich von signaltechnisch gesicherten Überquerungsstellen variiert bei Straßen mit einer

zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h in Abhängigkeit von der Kfz- und Fußgängerverkehrsstärke recht stark und weist auch Überdeckungen mit den Einsatzbereichen anderer Überquerungsanlagen auf. So kommen z. B. bei 500 Kfz/h und 300 Fg/h oder bei 800 Kfz/h und 100 Fg/h neben LSA auch noch FGÜ mit baulichen Maßnahmen sowie Mitteltrennungen in Frage.

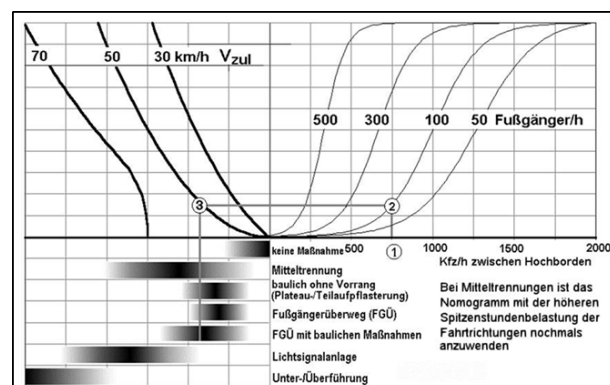


Bild 2: Einsatzbereiche von Überquerungsanlagen nach RAST (2006) sowie EFA (2002)

Unterhalb der Belastungsbereiche, in denen eine LSA empfohlen wird, kann gemäß RAST (2006) deren Einsatz zur Sicherung besonders schutzbedürftiger Fußgänger zweckmäßig sein (Sicherung von Schulwegen, hoher Querungsbedarf von Senioren z. B. vor Altersheimen, Zuwegung von Einrichtungen für Menschen mit Behinderung).

Darüber hinaus werden in den RAST nur wenige Anforderungen an Gestaltung und Betrieb von F-LSA genannt (z. B. die Problematik von F-LSA an verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten, Hinweise zur baulichen barrierefreien Gestaltung).

Verkehrsführung	Ausführung	Art der Querungsanlage
ohne Bevorrechtigung der Fußgänger	ohne bauliche Unterstützung	keine besondere Anlage
	mit baulicher Unterstützung	Mittelsinsel/-streifen, Plateau-/Teilaufpflasterung, vorgezogene Seitenräume, Einengung
mit Bevorrechtigung der Fußgänger	ohne bauliche Unterstützung	Fußgängerüberweg (FGÜ)
	mit baulicher Unterstützung	Gehwegüberfahrten oder Fußgängerüberweg in Kombination mit Mittelsinsel/-streifen, Plateau-/Teilaufpflasterung, vorgezogenen Seitenräumen
zeitliche Trennung	Lichtsignalanlage	Fußgängerlichtsignalanlage, Lichtsignalanlagen an Knotenpunkten
räumliche Trennung	Tunnel- oder Brückenbauwerk	Unterführung, Überführung

Tab. 1: Überquerungsanlagen für Fußgänger an innerörtlichen Straßen

2.1.2 Vorgaben zur Signalisierung

Maßgebliches deutsches Regelwerk für die Planung und den Betrieb von LSA sind die RiLSA (2015), die auch zahlreiche F-LSA betreffende Regelungen enthalten.

Gemäß RiLSA (2015) beträgt die Mindestsperrzeit für alle Verkehrsteilnehmer 1 s und die Mindestfreigabezeit 5 s. Bei der Signalisierung des Fußverkehrs ist für die Mindestfreigabezeit zusätzlich zu berücksichtigen, dass

- bei der Signalisierung einzelner Furten bzw. der zeitlich getrennten Freigabe hintereinanderliegender Furten die Mindestfreigabe mindestens der Querungsdauer der halben Furtlänge und
- bei zeitgleicher Freigabe hintereinanderliegender Furten die Mindestfreigabe mindestens der Querungsdauer der längeren Furt, des Fahrbahnteilers sowie der Hälfte der zweiten Furt entspricht.

Weiterhin ist bei Furten mit akustischen Zusatzeinrichtungen für Personen mit Sehbehinderung die Mindestfreigabezeit so zu wählen, dass ein Queren der gesamten Furt bzw. bei zeitgleicher Freigabe hintereinanderliegender Furten ein Queren beider Furten während der Freigabe möglich ist.

Maximale Sperrzeiten werden in den RiLSA (2015) nicht explizit vorgegeben. Allerdings ist die Dauer der Sperrzeit indirekt durch den für jede Signalanlage erforderlichen Nachweis der Verkehrsqualität gemäß HBS (2015) begrenzt, bei dem zu große Sperrzeiten durch eine unzureichende Verkehrsqualität aufgezeigt werden.

Zur Gewährleistung sicherer Phasenwechsel zwischen der Freigabe des Fahrzeug- und Fußverkehrs sowie der Freigabe des Fuß- und Fahrzeugverkehrs sind die in Tab. 2 angegebenen Kennwerte für die Bestimmung der Zwischenzeiten gemäß RiLSA (2015) und damit der Bestimmung des Phasenübergangs maßgebend. Die Räumgeschwindigkeit beträgt für Fußgänger als Regelwert 1,2 m/s mit Variationsmöglichkeiten von 1,0 m/s bis 1,5 m/s. BOENKE & GERLACH (2011) geben an, dass zumindest an signalisierten Querungsstellen mit zu erwartendem erhöhten Anteil älterer Personen bei der Zwischenzeitberechnung eine verminderte Räumgeschwindigkeit angesetzt werden sollte.

Weiterhin ist bei der Bestimmung des Phasenübergangs für einen endenden Kraftfahrzeugstrom zu berücksichtigen, dass die Summe aus Überfahr- und Räumzeit des Fahrzeugstroms stets größer oder gleich der Summe aus Übergangszeiten (Gelbzeit) und 1 Sekunde sein muss bzw. der größere

Wert maßgebend ist. Diese Bedingung ist bei konventionellen F-LSA (mit dreifeldigen Signalgebern für den Fahrzeugverkehr) im innerörtlichen Bereich ($v_{zul} = 50 \text{ km/h}$) in der Regel erfüllt, da dann die Gelbzeit der Überfahrzeit entspricht (3 s) und die Räumzeit (aufgerundet) mindestens 1 s betragen muss.

Bei der Signalfolge an Dunkel-Anlagen (Dunkel – Gelb – Rot) beträgt die Gelbzeit gemäß RiLSA 5 s (Ausnahme bilden dynamische Zeitinseln an Haltestellen, bei denen auch an Dunkel-Anlagen die Gelbzeit gemäß RiLSA 3 s betragen darf). Folglich wird an F-LSA mit der Grundstellung Dunkel für den Fahrzeugverkehr sowie an F-LSA mit $v_{zul} \geq 60 \text{ km/h}$ beim Wechsel von der Fahrzeug- zur Fußgängerphase aufgrund der längeren Gelbzeiten nicht die aus Überfahr- und Räumzeit berechnete Zwischenzeit, sondern die geschaltete Gelbzeit zzgl. 1 s maßgebend.

Darstellung der Räum- und Einfahrwege		
	Kfz räumt vor Fußgänger	Fußgänger räumt vor Kfz
Räumweg	$S_{r,Kfz} + l_{Kfz}$	$S_{r,Fg}$
Einfahrweg	$S_{e,Kfz}$	$S_{e,Fg} = 0 \text{ m}$
Fahrzeuginnenlänge	6 m	0 m
Überfahrzeit	3 s	0 s
Räumgeschwindigkeit	10 m/s	1,0 bis 1,5 m/s (Regelwert 1,2 m/s)
Einfahr-/Einlaufgeschwindigkeit	1,5 m/s	11,1 m/s

Tab. 2: Grundlegende Bestimmungen zur Berechnung von Zwischenzeiten an F-LSA gemäß RiLSA (2015)

Beim Entwurf des Signalprogramms ist weiterhin zu berücksichtigen, dass das Freigabezeitende des Kfz-Verkehrs stets für beide Fahrtrichtungen gleichzeitig erfolgen muss, um Konflikte durch frühzeitige Querung von Fußgängern (während des Phasenwechsels), die sich an anhaltenden Kfz einer Richtung orientieren, zu vermeiden.

Dunkel-Anlagen werden z. T. von Kommunen und in den Medien als „schlafende Ampeln“ bezeichnet,

zudem existieren die Bezeichnungen „vollschlafende“ und „teilschlafende“ Anlagen für Dunkel-Dunkel- bzw. Dunkel-Rot-Schaltungen (LIETH 2017)

2.1.3 Steuerungsvarianten

Die Standardsteuerungsvariante für F-LSA bildet die Signalisierung mit der Grundstellung Grün für Fahrzeuge und Rot für Fußgänger. Alternativ dazu sind bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von maximal 50 km/h gemäß RiLSA (2015) Steuerungsvarianten möglich, bei denen das Signal des Fahrzeugverkehrs oder die Signale des Fahrzeug- und Fußverkehrs in der Grundstellung Dunkel zeigen. Damit ergeben sich drei verschiedene Steuerungsvarianten für F-LSA (siehe auch Bild 3):

- Steuerungsvariante 1: Vollständige Signalfolge für den Kraftfahrzeug- und Fußgängerverkehr mit Grundstellung Grün für den Fahrzeug- und Rot für Fußgängerverkehr
- Steuerungsvariante 2: Dunkelanlagen mit Grundstellung Dunkel für den Kraftfahrzeugverkehr und Grundstellung Rot für den Fußgängerverkehr
- Steuerungsvariante 3: Dunkelanlagen mit Grundstellung Dunkel für den Kraftfahrzeugverkehr und Grundstellung Dunkel für den Fußgängerverkehr

Die bei den verschiedenen Steuerungsvarianten zu berücksichtigenden (Mindest-)Dauern verschiedener Signalisierungszustände sind in Tab. 3 und Tab. 4 angegeben.

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Steuerungsform	Festzeit/verkehrsabhängig	verkehrsabhängig	
Grün bzw. Dunkel	≥ 5 s	$(\geq 5$ s, nicht explizit in RiLSA geregelt)	
Gelb	3 s ¹⁾	5 s	
Rot	≥ 1 s (bzw. $t_{F, Fg} + t_z$)		
Rot/Gelb	1 s	entfällt	
¹⁾ Bei 50 km/h; bei 60 und 70 km/h sind 4 bzw. 5 s anzuwenden.			

Tab. 3: Parameter der Kfz-Signalisierung

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Mindestsperrzeit	Zwischenzeiten „Fg/Kfz“ und „Kfz/Fg“ sowie Mindestfreigabe-/dunkelzeit Kfz		nur bei Anforderung
Mindestfreigabezeit	Max{5 s; Querungsdauer halbe Furt} ²⁾		
²⁾ Bei der simultanen Freigabe hintereinanderliegender Furten ergibt sich die Mindestfreigabezeit aus der Querungsdauer bis zur Mitte der zweiten Furt.			

Tab. 4: Parameter der Fußgänger-Signalisierung

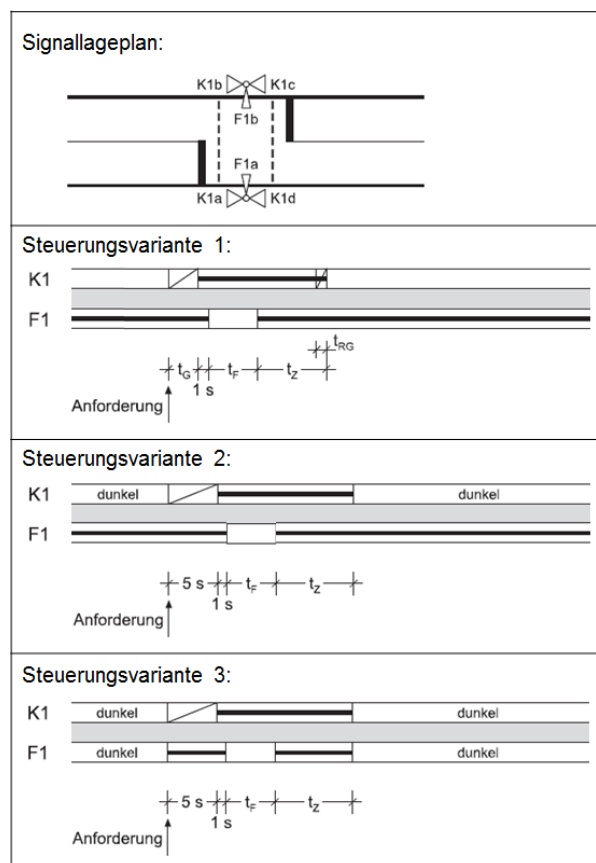


Bild 3: Signalzeitenpläne der Steuerungsvarianten nach RiLSA (2015)

Nach den RiLSA erfolgt der Betrieb von F-LSA i.d.R. als Anforderungsanlage, eine Freigabe für Fußgänger erfolgt also nur nach Anforderung. Eine erfolgte Anforderung kann durch ein Quittungssignal (z. B. „Signal kommt“) angezeigt werden. Davon abweichend führt die RiLSA bei F-LSA im Zuge der Koordinierung von LSA für den Kfz-Verkehr explizit auch die Möglichkeit auf, auch an F-LSA den Fußverkehr zyklisch freizugeben. Bei zu langen Wartezeiten für Fußgänger ist ggf. auch die Grüne Welle zu unterbrechen, grundsätzlich sollen jedoch F-LSA in Koordinierungsstrecken mit einbezogen werden.

Bei hintereinanderliegenden Furten an LSA existieren für die Freigabe der Fußgänger folgende Möglichkeiten:

- Simultane Signalisierung: Alle Signale für Fußgänger werden zeitgleich geschaltet (vgl. Bild 4).
- Progressive Signalisierung: Signale auf dem Fahrbahnteiler/Mittelstreifen werden früher auf Rot geschaltet als die Signale an den Fahrbahnrandern (vgl. Bild 5). Damit soll vermieden werden, dass Fußgänger zwischen den Fahrbahnen warten müssen. Problematisch kann dabei ggf. zum einen sein, dass am Fahrbahnrand kurz nach Ende der Freigabezeit eintreffende Fuß-

gänger aufgrund der ihnen entgegenkommen- den Fußgänger zu Rotlichtverstößen verleitet werden. Zum anderen rechnen rechtsabbie- gende Kfz-Führer bei Sichtbarkeit des roten Fußgängersignals nicht mehr mit dem Betreten der Fahrbahn durch Fußgänger.

- Getrennte Signalisierung: Beide Furten werden unabhängig voneinander bzw. deutlich versetzt freigegeben, z. B. aufgrund der unterschiedlichen Lage des Grünbandes bei einer Koordinierung beider Fahrtrichtungen mit anderen LSA. Nachteile dieser Variante sind u. a. die Notwendigkeit einer ausreichend dimensionierten Aufstellfläche zwischen den Fahrbahnen, eine u.U. reduzierte Rotlichtakzeptanz der Fußgänger sowie die Gefahr der Verwechslung hintereinanderliegender Signale. Zudem sollte der Ausfall eines Sperrsignals zur Abschaltung der gesamten Anlage führen, da andernfalls die Gefahr besteht, dass eine auf der hinteren Furt gegebene Freigabe von Fußgängern fälschlicherweise auch auf die vordere Furt bezogen wird.

Zur Frage der Anwendbarkeit von simultaner, progressiver und getrennter Signalisierung bei F-LSA mit der Variante 3 liegen keine Erkenntnisse vor.

An signaltechnisch gesicherten Überquerungsstel- len von unabhängigen bzw. besonderen Bahnkör- pern bildet die Signalisierung mit der Grundstellung Dunkel für Fußgänger den Standard, hierbei ist in der Regel keine Anforderung der Fußgänger erforder- lich, um eine Freigabe zu erhalten. Vielmehr werden bei Anmeldung eines ÖV-Fahrzeugs an der Signalanlage Fußgänger mittels gelber Springlich- ter oder Rot vor dem herannahenden ÖV-Fahrzeug gewarnt. Für die ÖV-Fahrzeuge ist die Grundstel- lung dabei entweder Dunkel oder Gesperrt. Selte- ner wird die Grundstellung „Frei“ für ÖV-Fahrzeuge und Rot für Fußgänger verwendet (RiLSA 2015).

An Haltestellen des ÖPNV in Mittellage mit Warte- flächen im Seitenraum werden in den RiLSA (RiLSA 2015) dynamische Haltestellen bzw. Zeitinseln empfohlen, die den ein- und aussteigenden Fahr- gästen das Queren der Fahrbahn ermöglichen. In diesem Fall wird auf den entsprechenden Signalge- bern für den Kfz-Verkehr nach Anforderung durch Fahrzeuge des ÖPNV die Signalfolge DUNKEL – GELB – ROT – DUNKEL gezeigt.

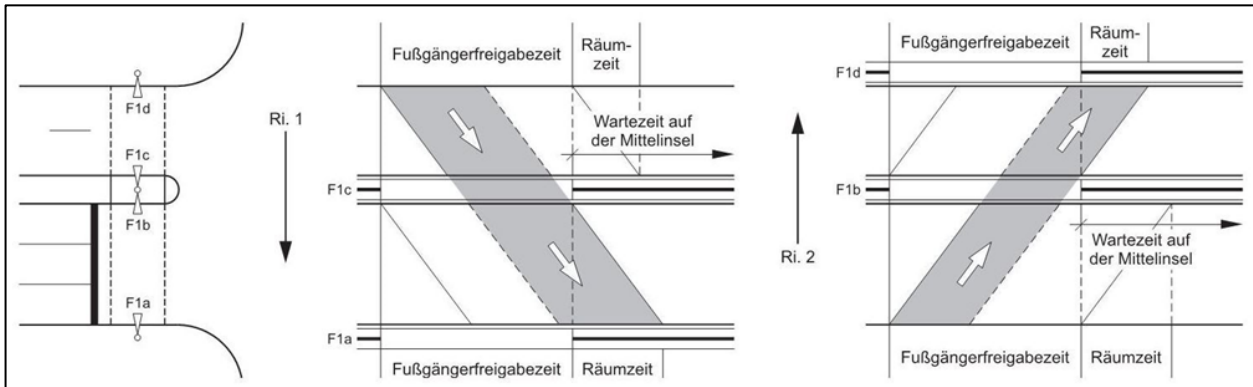


Bild 4: Simultane Signalisierung hintereinanderliegender Furten (RiLSA 2015)

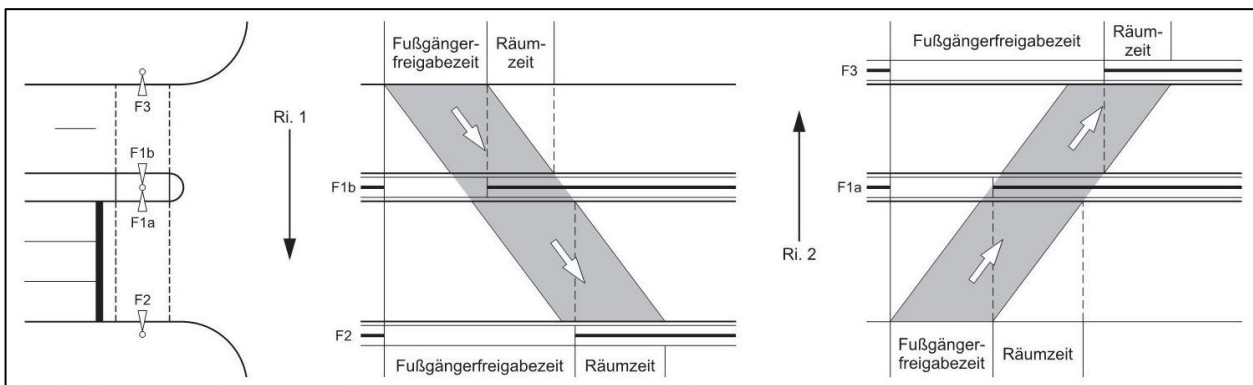


Bild 5: Progressive Signalisierung hintereinanderliegender Furten (RiLSA 2015)

2.1.4 Weitere Modifikationen der Fußgänger-signalisierung

Neben den drei gemäß den RiLSA (2015) empfohlenen Steuerungsvarianten existiert in Düsseldorf seit den Fünfzigerjahren eine Sonderregelung bei der dreifeldige Fußgängersignalgeber eingesetzt werden, an denen nach der Fußgängerfreigabe die Zwischenzeit (Fußgänger räumt, Fahrzeug fährt ein) mittels gelbem Balken angezeigt wird. HÄCKELMANN (1976) untersuchte die Verkehrssicherheit dieser Sonderregelung im Vergleich zur Standardregelung der zweifeldigen Fußgängersignalisierung. Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass Unterschiede im Anteil der Rotläufer nicht durch die abweichende Anzahl der Signalfelder und -begriffe erklärbar sind, sondern durch die Freigabezeit und die Wartezeit der Fußgänger, die Zeitlückenverteilung im Fahrzeugverkehr, die Länge der Furt und die angesetzte Räumgeschwindigkeit. Auch stellte er keine Unterschiede in der Gehgeschwindigkeit während Grün und Gelb fest.

Ergänzungen zur Signalisierung von Fußgängern bilden Anzeigen der Rest- oder Räumzeit, z. B. in Form von numerischen Anzeigen sowie Grün- oder Rotblinken. In einem Pilotprojekt stellten FISCHER et al. (2016) fest, dass Rotblinken zur Anzeige der Räumzeit zwar keinen Einfluss auf den Rotläuferanteil im Vergleich zu herkömmlichen Grün-Rot-Signalisierung hat, jedoch durch die Fußgänger besser bewertet wird und gegen Freigabeende zu höheren Räumgeschwindigkeiten führt. ALRUTZ et al. (2012) konnten keine Verbesserung der Verkehrssicherheit und keine Verringerung des Anteils der Rotläufer durch die Anzeige der Restrot- oder Restgrünzeit, durch Grünblinken oder durch Fußgänger-Gelb gegenüber der konventionellen Signalisierung nachweisen. Allerdings wurde auch in dieser Untersuchung die Anzeige der Restzeit wie auch das Grünblinken von Fußgängern positiv bewertet. Im Gegensatz dazu registrierten CELIKAN et al. (2008) eine geringere Rotläuferquote durch die Restrotanzeige an einer Fußgängerlichtsignalanlage in Hamburg und in Befragungen eine bessere Bewertung vor allem durch ältere Verkehrsteilnehmer.

Auch LIPOVAC et al. (2013) konnten an Fußgängerlichtsignalanlagen in Bosnien und Herzegowina eine signifikante Verringerung der Rotläufer nach der Installation von Restzeitanzeigen beobachten.

Im Rahmen der telefonischen Nachbefragung hat sich gezeigt, dass in einzelnen Städten auch modifizierte Steuerungen der Variante 3 verwendet werden. Zum Beispiel werden in Karlsruhe F-LSA mit der Steuerungsvariante 3 verwendet, bei denen das Fußgängersignal nach Anforderung Dunkel bleibt

und erst nach Sperrung des Kfz-Verkehrs direkt mit Grün eingeschaltet wird. Hintergrund dieser Modifikation bildet der Gedanke, dass Fußgänger bei Betätigung des Tasters nicht Rot anfordern sollen. Weiterhin ergab die Befragung, dass in einigen Kommunen konventionelle F-LSA (Steuerungsvariante 1) in Schwachlastzeiten im Dunkelmodus für den Fahrzeug- und den Fußverkehr betrieben werden. Bei Anforderung durch Fußgänger wird die Anlage über die Mindestfreigabezeit für Kfz ($t_F = 5$ s) eingeschaltet und anschließend für den Fußgänger freigegeben. Die um die Mindestfreigabezeit vergrößerte Wartezeit für Fußgänger wird von den befragten Kommunen dabei als unproblematisch angesehen.

2.1.5 Pilotversuch in Großburgwedel

Mitte 2017 wurde eine F-LSA in Großburgwedel bei Hannover für einen Monat Testweise von Dunkel-Rot (Steuerungsvariante 2) auf Dunkel-Dunkel (Steuerungsvariante 3) umgestellt. Die Anlage führt über die Hannoversche Straße in der Nähe des Schulzentrums Burgwedel. LIETH (2017) führte Verkehrszählungen, Verhaltensbeobachtungen und Befragungen an je zwei Tagen vor und nach der Umstellung durch. Aufgrund der Lage an einem Schulweg waren viele der Befragten Schüler (ca. 40 % der Befragten gaben als Wegezweck „Schule“ an). Zugleich dient die F-LSA der Erschließung einer Bushaltestelle.

Bei den Beobachtungen zeigte sich, dass nur ein geringer Anteil der Fußgänger ohne Anforderung quert. Dieser Anteil stieg durch die Umstellung auf die Dunkel-Dunkel-Schaltung leicht an, wobei diese Steigerung v. a. auf Querungen während der Mittagszeit bei geringem Fuß- und Kfz-Verkehrsaufkommen zurückzuführen war. Schüler nutzten die Möglichkeit zur freien Querung kaum, entsprechend blieb auch der Anteil der freien Querungen in der vom Schülerverkehr geprägten Morgenspitze unverändert.

Die Befragungsergebnisse zeigten, dass etwa zwei Drittel der Befragten die Möglichkeit der freien Querung bei dunkler F-LSA nicht bekannt war. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Anlage nur vier Wochen im Testbetrieb lief und in der Umgebung keine vergleichbaren Anlagen existieren.

Bei den Befragungen zeigte sich eine überwiegende Zustimmung zu Dunkel-Dunkel-Schaltungen (87 %), dennoch wurde die Anlagen prinzipiell (u.a. für den Schülerverkehr sowie für Menschen mit Behinderung) als notwendig erachtet. Dabei veränderte die Dunkel-Dunkel-Schaltung womöglich die subjektive Wahrnehmung der Warte- und Freigabe-

zeiten: So wurde von einigen Befragten die Wartezeit als kürzer empfunden, einige Befragte gaben zudem an, die Grünzeit habe sich verlängert, obwohl diesbezüglich keine Änderungen vorgenommen worden waren. Berichtet wurden zudem die Nutzung der Möglichkeit des freien Querens in den (nicht beobachteten) Abendstunden und am Wochenende.

Kritische Situationen waren durch die Dunkel-Dunkel-Schaltung nicht zu beobachten, das Sicherheitsgefühl blieb in der Nachher-Befragung gegenüber der Vorher-Befragung gleich. Beim Betreiber der F-LSA gingen keine Beschwerden zur Umstellung der F-LSA ein.

Die Information der Fußgänger zur Funktionsweise der Anlage erfolgte durch ein Schild oberhalb des gegenüberliegenden Signalgebers („Anlage in Betrieb! Bei Bedarf bitte drücken“). Rund die Hälfte der Befragten hatte das Schild vor der Befragung wahrgenommen. Fast alle Befragten halten ein entsprechendes Hinweisschild für notwendig. 25 % favorisierten dabei eine Anbringung über sowie 13 % unter dem gegenüberliegenden Signalgeber; 54 % der Befragten bevorzugten eine Anbringung direkt oberhalb des Tasters. Als Gründe dafür wurden neben

der besseren Lesbarkeit angeführt, dass der Blick beim Erreichen der Anlage zunächst dem Taster gelte. Deutlich wird aus den Ergebnissen der Befragung die Bedeutung der Allgemeinverständlichkeit des Hinweisschildes (z. B. Vermeidung zu technischer Begrifflichkeiten).

2.2 Großbritannien

Im Großbritannien werden F-LSA nach „Pelican Crossing“ und „Puffin Crossing“ unterschieden (vgl. Bild 6). Weiterhin existieren in Großbritannien die sogenannte „Toucan Crossings“, welche das Überqueren durch Fußgänger und Radfahrer erlauben.

Wie an deutschen Fußgängerlichtsignalanlagen sind an den britischen Pelican Crossings die für die Fußgänger relevanten Signalgeber jeweils auf dem gegenüberliegenden Gehweg installiert. Sie sind gekennzeichnet durch Zick-zack-Markierungen im Wartebereich des Kfz-Verkehrs und besitzen die Signalfolge ROT – GRÜN – GRÜN BLINKEND – ROT für den Fußgängerverkehr sowie die von den Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage bekannte Signalfolge für den Kfz-Verkehr.

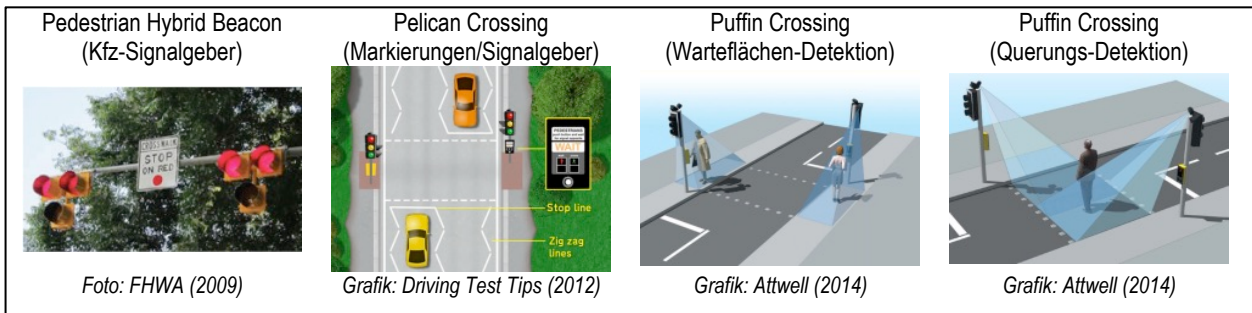


Bild 6: Beispiele für Fußgängerlichtsignalanlagen in Großbritannien und den Vereinigten Staaten

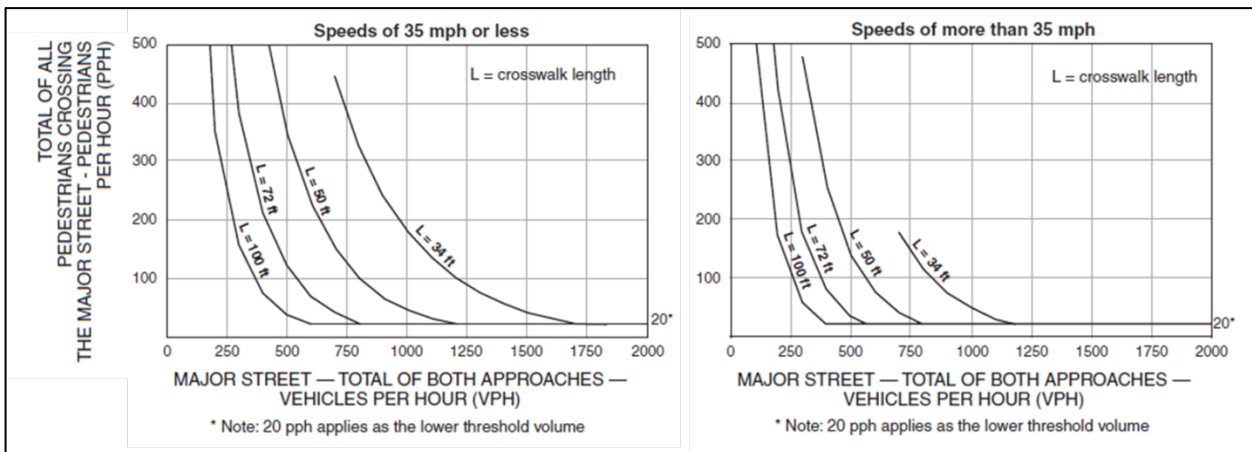


Bild 7: Einsatzbereiche für Pedestrian Hybrid Beacons in den Vereinigten Staaten – linkes Bild gilt für Straßen mit $v_{85} \leq 35$ Meilen/Stunde (entspricht 56,3 km/h); rechtes Bild gilt für Straßen mit $v_{85} > 35$ Meilen/Stunde (FHWA, 2009); die Graphen gelten für Querungsstrecken von 10,4 m (34 ft), 15,2 m, 21,9 m sowie 30,5 m (100 ft).

Im Gegensatz dazu befinden sich die relevanten Signalgeber bei Puffin Crossings auf der Fahrbahnseite der wartenden Fußgänger und besitzen Sensoren, welche die wartenden und querenden Fußgänger nach Signalanforderung detektieren. Dadurch können Anforderungen gelöscht werden, wenn Fußgänger den Wartebereich vorzeitig verlassen und Freigabezeiten für Fußgänger bis zu einer Obergrenze verlängert werden, wenn diese länger für die Querung benötigen. Dafür entfällt bei Puffin Crossings die Signalstellung „Grün blinkend“ zur Anzeige der ablaufenden Freigabezeit für Fußgänger (DfT, 2001).

2.3 Vereinigte Staaten

In den Vereinigten Staaten gibt es für signalisierte Fußgängerquerungsanlagen u. a. Unterscheidungen nach „Full Pedestrian Signal“, „Pedestrian Hybrid Beacon (HAWK Beacon)“ und „Flashing Beacon“ (vgl. Bild 6). Die mit den deutschen F-LSA vergleichbaren „Full Pedestrian Signals“ in den USA zeigen für Fußgänger die Signalfolgen ROT – GRÜN – ROT bzw. ROT – GRÜN – ROT mit Räumzeitanzei – ROT und für den Kfz-Verkehr die übliche Signalfolgen (ROT – GRÜN – GELB – ROT), die auch an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage vorkommen. Außerdem können Flashing Beacons an Fußgängerüberwegen angeordnet werden, wobei diese nur durch Anforderung aktiviert werden, für den Kfz-Verkehr die Signalfolge DUNKEL – GELB BLINKEND – DUNKEL anzeigen und keine Signalgeber für den Fußverkehr besitzen. Als weitere Lösung zur signaltechnischen Sicherung von Querungsanlagen werden in den Vereinigten Staaten „Pedestrian Hybrid Beacons“ (oder auch HAWK Beacons) eingesetzt, die für den Kfz-Verkehr die Signalfolge DUNKEL – GELB BLINKEND – GELB – DOPPELROT – ABWECHSELND ROT BLINKEND – DUNKEL und für den Fußverkehr die gleiche Signalfolge wie die Full Pedestrian Signals anzeigen (FHWA, 2009). Pedestrian Hybrid Beacons sind gemäß FHWA (2009) dann einzusetzen, wenn die Voraussetzungen für eine Vollsignalisierung der Querungsstelle bzw. eine Knotenpunkt-LSA nicht erfüllt sind und die in Bild 7 dargestellten Einsatzbereiche (v_{85} , Verkehrsstärken im Fuß- und Fahrzeugverkehr sowie Länge der Querungsstelle) erfüllt sind.

2.4 Österreich

Die beiden maßgeblichen, derzeit gültigen österreichischen Regelwerke für F-LSA sind die RVS-Richtlinien zu Verkehrslichtsignalanlagen (RVS 05.04.31 bis 05.04.37) sowie das RVS-Merkblatt zum Fußgängerverkehr (RVS 03.02.12).

Bzgl. der Notwendigkeit des Einsatzes von F-LSA sind in Österreich Kfz- und Fußverkehrsaufkommen sowie die Fahrbahnbreite einzubeziehen, eine Berücksichtigung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (wie in Deutschland) findet nicht statt. Für Einbahnstraßen und Straßen mit Zweirichtungsbetrieb existieren jeweils eigene Einsatzgrenzen. Das entsprechende Nomogramm (vgl. Bild 8) ist sowohl für die Spitzensunde des Kfz- wie auch die Spitzensunde des Fußverkehrs anzuwenden. Im RVS-Merkblatt 03.02.12 wird zusätzlich die v_{85} als Kriterium zur Einrichtung einer F-LSA herangezogen. So soll bei einer v_{85} von unter 40 km/h der Einsatz alternativer baulicher Querungsanlagen geprüft werden, bei einer v_{85} zwischen 40 und 55 km/h bei ausreichender Sicht statt der F-LSA ein FGÜ eingesetzt werden.

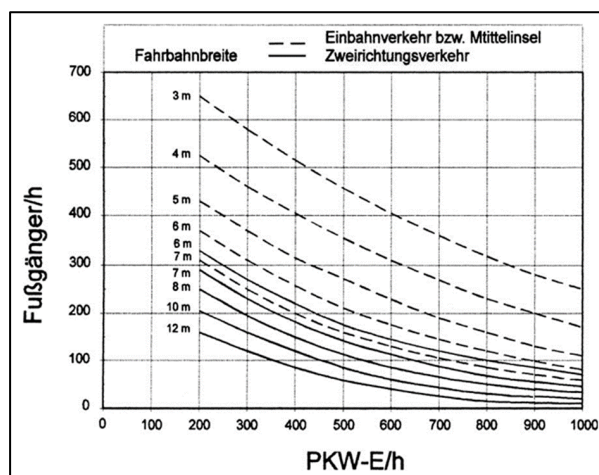


Bild 8: Einsatzgrenzen für F-LSA in Österreich (RVS 05.04.31)

Für F-LSA relevante Vorgaben, v.a. hinsichtlich der Unterschiede zu deutschen Regelwerken, lassen sich folgende Punkte festhalten:

- Die Zwischenzeit soll in der Regel (mindestens) 4 s betragen.
- Die Räumgeschwindigkeit für Fußgänger beträgt 1,0 bis 1,5 m/s.
- Die Räumgeschwindigkeit für Kfz ist mit 12 m/s etwas höher als in Deutschland, dieser Wert wird auch als Einfahrtgeschwindigkeit verwendet.
- Die Räumgeschwindigkeit von Radfahren beträgt bei der Führung im Mischverkehr 5 m/s, bei getrennter Signalisierung 4 m/s.
- Für Fußgänger und Radfahrer wird keine Einlauf- bzw. Einfahrzeit berücksichtigt.
- Die Mindestfreigabezeit beträgt für alle Verkehrsteilnehmergruppen 8 s, bei Hauptverkehrsströmen mindestens 15 s. Bei Fußgängern ist die Freigabe so zu bemessen, dass mindestens

die Querung der Hälfte der Furt, bei zwei Fahrbahnen das Betreten der zweiten Furt gewährleistet ist. Im neueren Merkblatt 03.02.12 werden darüberhinausgehend für die Mindestfreigabezeit die Querung von mindestens zwei Dritteln der zu querenden Strecke, bei zwei Fahrbahnen die Querung bis zur Hälfte der zweiten Furt empfohlen.

- Es ist eine Sperrzeit von höchstens 40 s für Fußgänger anzustreben. Bei Sperrzeiten von 60 s und mehr ist von einer verstärkten Rotlichtmissachtung sowie vermehrten Querungen auf der freien Strecke auszugehen.
- Bei LSA kommt der zeitweise Betrieb mit Gelbblinken in Frage, sofern ausreichende Sichtbeziehungen, ordnungsgemäße Beleuchtung sowie eine v_{85} von unter 55 km/h gegeben sind.
- Bei Anlagen, an denen eine Freigabe nur auf Anforderung erfolgt, sollte diese möglichst umgehend erfolgen.
- Neu- und umgebaute Anlagen sollten, falls erforderlich, mit akustischen und taktilen Hilfssignalen ausgerüstet werden.
- Signalprogramme mit obligatorischem Halt auf Mittelinseln sollen vermieden werden.

In früheren Regelwerken wurden Dunkel-Dunkel-Schaltungen (als „Schlafende Ampeln“ bezeichnet) erwähnt, in den aktuell gültigen Regelwerken sind diese jedoch nicht mehr enthalten. An F-LSA sind zweifeldige Signalgeber für den Fahrzeugverkehr im RVS-Merkblatt 05.04.37 (Unvollständige Verkehrslichtsignalregelung) nicht vorgesehen. Zweifeldige Signalgeber werden unabhängig vom Einsatzgrund über 4 s Gelb eingeschaltet.

Üblich ist an LSA der Einsatz von Signalgebern mit 200 mm Durchmesser. Bei anders nicht zu gewährleistender Erkennbarkeit der Signalgeber sowie Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h sind 300 mm vorgesehen.

2.5 Schweiz

Die Einrichtung einer LSA für Fußgänger wird in der Schweiz empfohlen, wenn ein besonderes Schutzbedürfnis für bestimmte Personengruppen besteht (z. B. viele ältere, langsame Menschen oder Kinder). Darüber hinaus ist die Anwendung grundsätzlich überall, insbesondere in der Nacht möglich. Dabei werden für Fußgänger an allen Lichtsignalanlagen Fußgängerstreifen markiert (entspricht dem deutschen Zeichen 293 StVO), Fußgänger-Furten wie in Deutschland gibt es nicht. Damit haben Fußgänger bei einer ausgeschalteten Lichtsignalanlage, anders als in Deutschland, Vorrang gegenüber

dem Fahrzeugverkehr, da ein Fußgängerüberweg markiert ist (ASTRA, 2015).

Bei der Anlage von LSA für Fußgänger sollten Wunschlinien, d. h. die idealen Verbindungslinien zwischen Ziel und Quelle eines Weges, berücksichtigt werden. Sobald Abweichungen von mehr als 5 - 10 m von der Wunschlinie erforderlich sind, kann davon ausgegangen werden, dass punktuelle Querungen nicht mehr angenommen werden (UVEK, 2008).

LSA für Fußgänger können auch als Bedarfs-LSA mit gelbem Blinklicht betrieben werden, d. h. die Anlagen werden bei schwachem Verkehrsaufkommen (z. B. nachts) deaktiviert und für den Fahrzeugverkehr auf gelbes Blinken umgeschaltet. Fußgänger können die Anlagen dann entweder mittels Taster aktivieren und gesichert queren oder ohne Nutzung der Bedarfs-LSA queren (ASTRA 2015). Das Kfz- und Radverkehrsaufkommen sollte bei Bedarfsanlagen auf einem eher niedrigen Niveau liegen, eine gute gegenseitige Sichtbarkeit muss gegeben sein. Auch auf Nebenstraßen oder bei Querungen von wenig befahrenen Hauptachsen werden Bedarfs-LSA für Fußgänger empfohlen.

Ist die Bedarfs-LSA deaktiviert (gelbes Blinken für den Fahrzeugverkehr) darf für den Fußgänger kein taktiler Signal ausgegeben werden, da eine Konfliktsituation besteht. Aus Sicht der schweizerischen Fachstelle für behindertengerechtes Bauen ist die Möglichkeit des Aktivierens der Bedarfs-LSA daher insbesondere auch für Menschen mit Sehbehinderung zwingend erforderlich. Die Bedarfs-LSA muss also jederzeit (auch nachts) aktiviert werden können, so dass bei Bedarf ein signaltechnisch gesichertes Queren für Fußgänger möglich ist.

LSA mit Dunkel- statt Grünsignal für den Kfz-Verkehr dürfen nur in Ausnahmefällen verwendet werden, z. B. bei Feuerwehrgaragen, Baustellen, vor und in Tunneln oder an Schienenübergängen (SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT 1979/2017).

Vorgaben zur Signalisierung

Die Mindestfreigabezeit beträgt vier Sekunden für alle Verkehrsmittel. Die Mindestfreigabezeit erhöht sich für Fußgängersignale auf die Zeit, die zum Überqueren von zwei Dritteln des Fußgängerübergangs mit einer Geschwindigkeit von 1,2 m/s notwendig ist. Werden Fußgängerstreifen mit Mittelinseln in der gleichen Phase auf Grün geschaltet, so muss die Mindestfreigabezeit so gewählt werden, dass bei der Querung mit 1,2 m/s mindestens 1/3 des letzten Querungsabschnitts zurückgelegt werden kann. Werden Fußgängerstreifen mit Mittelinseln phasentrennt gesteuert, so muss ein diesen

Bedingungen entsprechendes Queren der Fahrbahn im selben Steuerungszyklus in beide Richtungen möglich sein. Ausnahmen gelten für LSA, die mit Bewegungsmeldern für Fußgänger ausgerüstet sind. An solchen Anlagen darf die Mindestfreigabezeit für Fußgänger auch zwei Sekunden betragen.

Die Fußgängerfreigabezeiten sind zudem für ältere Menschen und für Menschen mit einer Behinderung so zu wählen, dass ein sicheres Queren der Straße mit einer Gehgeschwindigkeit von 0,8 m/s ab Grünbeginn bis zum Ende der Räumzeit gewährleistet ist. Diese erhöhten Grünzeiten können mit einem separaten Anforderungstaster ausgelöst und verkehrstechnisch gesteuert werden (VSS 2015).

Die Mindestrotzeit an LSA beträgt zwei Sekunden, in Ausnahmefällen eine Sekunde (BUNDESAMT FÜR STRASSEN 2015).

Weitere Erkenntnisse

Hinsichtlich der Wartezeit und Sicherheit ist die Bedarfs-LSA mit gelbem Blinklicht als positiv zu bewerten. Benötigt ein Fußgänger die Bedarfs-LSA nicht, kann er direkt bei Gelbblinken queren. Möchte ein Fußgänger signaltechnisch gesichert queren, ist dies auf Anforderung möglich. Lediglich hinsichtlich der Verständlichkeit werden Bedenken geäußert, da Fußgänger möglicherweise nicht wissen, dass eine Grünanforderung möglich ist.

Die Steuerung ist grundsätzlich kostenneutral, sofern bereits eine LSA existiert. Andernfalls fallen die Kosten einer Neuinstallation einer F-LSA an. (ASTRA, 2015)

2.6 Niederlande

Die Einsatzbedingungen für die Anlage einer F-LSA sind in den Niederlanden sehr unterschiedlich. Einerseits stellt der Aspekt der Verkehrssicherheit (z. B. Anzahl und Art der Verkehrsunfälle mit Fußgängerbeteiligung beim Überschreiten der Fahrbahn) ein objektives Indiz dar. Andererseits kann aber auch die subjektiv empfundene, von Verkehrsteilnehmern geäußerte Verkehrsunsicherheit Anlass für die Anlage einer F-LSA sein.

In den seltensten Fällen wird die tatsächliche oder potenzielle Anzahl querender Fußgänger als alleiniges Kriterium angesetzt. Selbst wenn an einer Stelle nur latenter Querungsbedarf besteht, wird bei langen Wartezeiten (> 30 s) die Möglichkeit der Anlage einer F-LSA zur Verbesserung der Situation geprüft.

Häufiger Grund für die Anlage einer F-LSA sind besonders schutzbedürftige Personengruppen (älteren Menschen, Kinder). Zudem bieten sich F-LSA

an, wenn aus Gründen des Verkehrsablaufs und/oder der Verkehrssicherheit das Angebot einer Querungsanlage erforderlich, der Bau einer Mittelinsel aber aus Platzgründen nicht möglich ist.

In den Niederlanden ist es möglich, F-LSA mit Fußgängerüberwegen zu kombinieren.

Vorgaben zur Signalisierung

Die Räumzeit für Fußgänger wird in der Regel auf Grundlage der Gehgeschwindigkeit berechnet. Hierfür wird eine mittlere Gehgeschwindigkeit von 1,2 m/s angesetzt. Bei hochfrequentierten Querungsstellen (z. B. im Bereich von Einkaufszentren) sollte eine geringere Gehgeschwindigkeit angenommen werden. Technisch ist es auch möglich, die Räumzeit auf Grundlage der tatsächlichen Gehgeschwindigkeiten zu berechnen.

Um eine hohe Akzeptanz zu erhalten, sollte ein Fußgänger nach der Anforderung möglichst innerhalb von 30 Sekunden Grün erhalten, als durchschnittliche Wartezeit werden 15 Sekunden empfohlen.

Wenn ein Mittelstreifen oder eine Verkehrsinsel vorhanden ist, sollten Fußgänger in der Lage sein, die Straße mit normaler Gehgeschwindigkeit ohne Halt in der Mitte zu überqueren. (CROW 2006b)

Ähnlich der deutschen Steuerungsvariante 3 wird in den Niederlanden eine Variante mit gelbem Blinklicht eingesetzt. Hierbei leuchtet anstelle des roten Fußgängersinnbildes ein Blinklicht, bei dem der Fußgänger ohne weitere Anforderung eigenverantwortlich ohne Vorrang queren kann. Fußgänger, die im Schutz eines Grünsignals queren möchten, können dieses anfordern.

Für den Einsatz dieser Steuerungsvariante werden geringe Kfz-Verkehrsbelastungen (eine Quantifizierung erfolgt nicht) sowie ausreichende Sichtverhältnisse für Fußgänger und Fahrzeugführer empfohlen. Vor Umschalten auf das gelbe Blinklicht (z. B. nach einer Anforderung mit Rot- und Grünlicht) sollte dem kreuzenden Verkehr ein Vorlauf gegeben werden, damit Fußgänger mit Querungsabsicht erkennen können, dass mit kreuzenden Strömen zu rechnen ist.

In den Niederlanden kann als weitere Variante grünes Blinken während der Räumzeit eingesetzt werden. Ab Einsetzen des Blinklichts (Beginn der Räumzeit) kann ein Fußgänger mit durchschnittlicher Gehgeschwindigkeit noch die gesamte Querungsstelle passieren. Es wird davon ausgegangen, dass langsame Fußgänger Überquerungen bei einsetzendem Blinklicht nicht mehr beginnen (CROW 2006a).

Gute Erfahrungen wurden auch mit Restrotanzeigen über dem Rotlicht gemacht. Sie verkürzen gemäß Aussagen von Fußgängern die subjektive Wartezeit auf Grün.

Als Möglichkeit zur Anzeige der verbleibenden Überquerungszeit für Fußgänger werden an einigen Orten parallel zur Furt in der Fahrbahn eingelassene blaue LED-Leuchten eingesetzt. Die Anzahl der noch leuchtenden LEDs zeigt die noch verbleibende Zeit in Sekunden bis zum Ende der Freigabezeit. (CROW 2006b)

Weitere Erkenntnisse

Neben der Anforderung der Fußgängerfreigabe über einen Taster (in einer Höhe von 0,90 m bis 1,20 m über dem Boden), kann bei Bedarf die Anforderung auch mit Hilfe von Detektionsmatten oder Radarsensoren erfolgen. Bei solchen Systemen kann die Anforderung zurückgenommen werden, wenn der Fußgänger bei Rot überquert und das Erkennungsfeld verlässt. Die Kosten für diese Art der Fußgängererkennung sind in der Regel nicht oder kaum höher als die Fahrzeugerkennung mittels Schleifen.

Im Rahmen eines Pilotprojekts wurde in Tilburg die Anforderung der Fußgängerfreigabe mittels Video-Detektor getestet. Es zeigte sich, dass hinsichtlich der Zuverlässigkeit dieser Erkennung noch Verbesserungsbedarf besteht. (CROW 2006b)

Auch in den Niederlanden wird empfohlen, dem Fußgänger nach Anforderung eine Rückmeldung in Form eines Quittungssignals zu geben, um das zu erwartende Grün anzukündigen und damit das Rotlaufen zu unterbinden. Als weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Akzeptanz der Signalisierung für Fußgänger werden in den Niederlanden auch in den Taster integrierte Wartezeitanzeiger verwendet. Dabei informiert ein um den Taster befindlicher Kreis mittels Leuchten über die restliche Wartezeit (mit abnehmender Wartezeit sinkt die Zahl der aktiven Leuchten).

2.7 Barrierefreiheit

Die für die barrierefreie Gestaltung von Verkehrsanlagen maßgebenden Vorgaben sind u.a. in der UN-Behindertenrechtskonvention, dem Allgemeinen Gleichbehandlungsgesetz (AGG) sowie dem Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) niedergelegt. Demnach sind „öffentlich zugängliche Verkehrsanlagen und Beförderungsmittel im öffentlichen Personenverkehr [...] barrierefrei zu gestalten“ (§ 8 Abs. 5 BGG). Barrierefreiheit wird dabei dahingehend definiert, dass Anlagen „für Menschen mit Behinderungen in der allgemein üblichen Weise, ohne besondere Erschwernis und grundsätzlich ohne

fremde Hilfe auffindbar, zugänglich und nutzbar sind“ (§ 4 BGG). Signalanlagen müssen dem sowohl hinsichtlich ihrer baulichen Gestaltung wie auch ihres Betriebs entsprechen.

Grundsätzlich sind zwei Arten von Behinderungen zu unterscheiden, woraus sich unterschiedliche Konsequenzen für die Gestaltung und den Betrieb von F-LSA ergeben (Straßen.NRW 2012):

Unter Sehbehinderungen fallen alle Grade der Einschränkung der Sehfähigkeit bis hin zu vollständig blinden Personen. Für die Berücksichtigung deren Belange ist die Einhaltung des „Zwei-Sinne-Prinzips“ maßgeblich. Dies sieht vor, dass alle relevanten Informationen für (mindestens) zwei Sinne verfügbar sind, damit beim Ausfall eines Sinnes die Information dennoch wahrgenommen werden kann. Dabei kommt den Grundinformationen „Gehe“, „Achtung“ und „Stopp“ eine zentrale Bedeutung zu. Derartige Informationen können über haptisch wahrnehmbare Merkmale (Kanten, Borde, Grenzlinien, aber auch Vibrationen und Richtungsfeile an Tastern) oder über akustische Signale gegeben werden. Akustische Signale lassen sich an F-LSA aufteilen in das Orientierungssignal (Auffindeton) zur Verdeutlichung des Ortes des Signalmastes sowie in das Freigabesignal zur Mitteilung des Zeitpunkts der Querung.

Unter Bewegungsbehinderungen lassen sich alle körperlichen Einschränkungen zusammenfassen, die die Fortbewegung erschweren oder ohne fremde Hilfe bzw. ohne Hilfsmittel unmöglich machen. Zu diesem Personenkreis gehören u. a. die Nutzer von Rollstühlen, Rollatoren und Gehstöcken. Zur Gewährleistung ihrer Mobilität sind diese Personen auf die Einhaltung des „Fuß-Rad-Prinzips“ angewiesen. Dies soll gewährleisten, dass alle Bereiche, die zu Fuß erreichbar sind, auch (ohne fremde Hilfe) rollend erreichbar sind. Dafür sind bspw. abgesenkte Borde sowie ausreichend ebene Oberflächen erforderlich. Hierbei besteht ein Zielkonflikt zu den Belangen von Personen mit Sehbehinderungen, da die für die haptische Darbietung von Informationen erforderliche bauliche Gestaltung i. d. R. die Berollbarkeit verschlechtert.

Allen Arten von Behinderungen ist gemeinsam, dass die betroffenen Personen – wie auch Senioren – sich oftmals deutlich langsamer fortbewegen als vollständig gesunde Fußgänger (ALRUTZ et al. 2012). Daraus folgt eine größere Empfindlichkeit gegenüber hohen Kfz-Stärken und -Geschwindigkeiten beim Queren von Straßen, womit ein Bedarf für eine gesicherte Querungsmöglichkeit auch an Stellen entstehen kann, an denen für vollständig gesunde Personen keine Querungshilfe erforderlich ist. Für diese Fälle bietet die Steuerungsvariante 3

einen Kompromiss zwischen den Sicherheitsanforderungen von Menschen mit Behinderung einerseits und dem Wunsch nach eigenverantwortlicher Querung ohne Wartezeiten von Menschen ohne Behinderung andererseits.

Für den in diesem Forschungsprojekt betrachteten Betrieb von F-LSA ist die bauliche Gestaltung – und damit die Gewährleistung des „Fuß-Rad-Prinzip“ von untergeordneter Bedeutung. Dagegen spielt das Zwei-Sinne-Prinzip beim Betrieb von F-LSA eine bedeutende Rolle. So sind viele LSA mit akustischen Zusatzsignalen ausgerüstet, deren Anforderung u. a. zu einer Verlängerung der Mindestfreigabezeit (Querung des gesamten statt der halben bzw. beider hintereinanderliegender Furten, vgl. Kapitel 2.1.2) führt. Durch die Verlängerung der Mindestfreigabezeit soll gewährleistet werden, dass Menschen mit Sehbehinderung das Freigabesignal während der gesamten Querung als Orientierungshilfe zur Verfügung haben.

Für eine spezifischere Untersuchung zur Wirkung der drei unterschiedlichen Steuerungsvarianten für Menschen mit Sehbehinderung war das in dieser Studie verwendete Untersuchungsdesign nicht ausgelegt und erlaubt somit keine weiteren Aussagen zu dieser Thematik.

2.8 Fazit

Aus den nationalen Regelwerken sowie den mit dem Thema befassten Untersuchungen existieren zwar Aussagen zu grundsätzlichen Einsatzbedingungen von F-LSA sowie deren Betrieb, jedoch kaum Aussagen zur in dieser Untersuchung im Mittelpunkt stehenden Dunkelschaltungen. Dies betrifft sowohl deren Verbreitung, als auch deren Wirkung auf das Verhalten von Verkehrsteilnehmern und daraus resultierende Vor- und Nachteile bzgl. Verkehrsablauf und -sicherheit. Abgesehen von einem Verkehrsversuch in Großburgwedel (vgl. Kapitel 2.1.5) haben sich bisherige Untersuchungen zwar mit Modifikationen wie Restrotanzeigen und dreifeldigen Signalgebern für Fußgänger befasst, nicht jedoch mit der Wahlmöglichkeit zwischen gesicherter und ungesicherter Querung. In der internationalen Literatur finden sich zwar Untersuchungen zu einer Reihe weiterer Varianten für die Schaltung von (F-)LSA, jedoch keine, die auf die in der RiLSA aufgeführten Steuerungsvarianten und den Verhältnissen in Deutschland direkt übertragbar sind.

3 Befragungen

3.1 Methodik und Ziel

Ziel der Befragung ist die Recherche von praktischen Erfahrungen zur Verbreitung, zum Einsatz und zu Randbedingungen der verschiedenen Steuerungsvarianten von F-LSA. Weiterhin bildet die Befragung die Grundlage für die Recherche von konkreten Fallbeispielen für die im AS 4 zu erstellende Datenbank sowie die Information und mögliche Interessensbekundung für die im AS 5 vorgesehene wissenschaftliche Begleitung von Verkehrsversuchen (Umstellung von F-LSA auf die Steuerungsvariante 3).

Zur Klärung und Berücksichtigung dieser Fragen und Aspekte wurden Mitarbeiter von Tiefbauämtern aus deutschen Großstädten (im Folgenden „Komune/Kommunen“ genannt) sowie Straßenbauverwaltungen der Länder (im Folgenden „Land/Länder“ genannt) mittels Online-Fragebogen sowie ergänzenden Telefoninterviews befragt – siehe Anhang 1.

Aufbau des Fragebogens

Aufbauend auf den Ergebnissen der Literaturanalyse sowie Expertengesprächen mit LSA-Fachleuten aus Tiefbauämtern dreier Großstädte wurde der Fragebogen erarbeitet. Die Befragung wurde als Online-Erhebung konzipiert, so dass ausgewählte Frageblöcke nur bestimmten Befragten angezeigt werden konnten (z. B. wurde die Frage nach Gründen für den Wechsel von Steuerungsvarianten nur an Befragte gerichtet, die zuvor angegeben hatten, dass in deren Zuständigkeitsbereich derartige Wechsel in den letzten Jahren vorkamen). Insgesamt umfasste der Fragebogen 15 inhaltliche Frageblöcke, wobei aufgrund des Befragungsverlaufs i. d. R. nicht mehr als 7 Frageblöcke je Befragten durchlaufen wurden.

Der Fragebogen umfasste folgende Themenfelder:

- Allgemeine Entwicklung der Anzahl der F-LSA sowie die Gründe für diese Entwicklung
- Häufigkeit der Verwendung der drei Steuerungsvarianten
- Falls die Varianten 2 oder 3 in Betrieb sind oder ehemals in Betrieb waren: Erfahrungen mit diesen Varianten
- Falls die Befragten noch keine F-LSA mit den Varianten 2 oder 3 betreiben, allerdings der Einsatz dieser Varianten diskutiert wurde: Gründe für den bisherigen Verzicht auf den Einsatz der Variante
- Bei allen Befragten: Bekannte oder erwartete Vor- und Nachteile der Varianten 2 und 3

Bei allen Befragten wurden abschließend die Zustimmung zu einer vertieften telefonischen Nachbefragung, das Interesse an der Durchführung von Verkehrsversuchen (siehe Kapitel 5) sowie Kontaktdaten abgefragt.

Zur Validierung des Fragebogens wurde online ein Pretest mit drei Mitarbeitern von Tiefbauämtern durchgeführt. Anhand der Anmerkungen der Tester sowie den aus dem Pretest gewonnenen Erfahrungen wurde die finale Version des Fragebogens erstellt. Der Fragebogen ist im Anhang 2 dargestellt.

84 Tiefbauämter der Großstädte sowie rund 100 Niederlassungen der Straßenbauverwaltungen der Bundesländer wurden per Mail angeschrieben und um die Teilnahme an der Befragung gebeten – siehe Anhang 1. Nach etwa vier Wochen erfolgte eine Erinnerung per Mail an alle Tiefbauämter und Straßenbauverwaltungen, die bis zu diesem Zeitpunkt nicht an der Befragung teilgenommen hatten. Insgesamt war die Befragung rund 6 Wochen ab dem 18. März 2019 online.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Beteiligung

In der Online-Befragung wurden insgesamt 109 Fragebögen vollständig ausgefüllt. Davon entfielen 60 auf Städte und 49 auf Niederlassungen der Straßenbauverwaltungen der Länder. Die Rücklaufquoten sind mit 75 % bzw. rund 50 % als sehr gut einzustufen. In Bild 9 ist die Verteilung der an der Online-Befragung teilgenommenen Städte nach Einwohnerzahl dargestellt. Bild 10 zeigt die regionale Verteilung der an der Online-Befragung beteiligten Städte und Niederlassungen der Straßenbauverwaltungen.

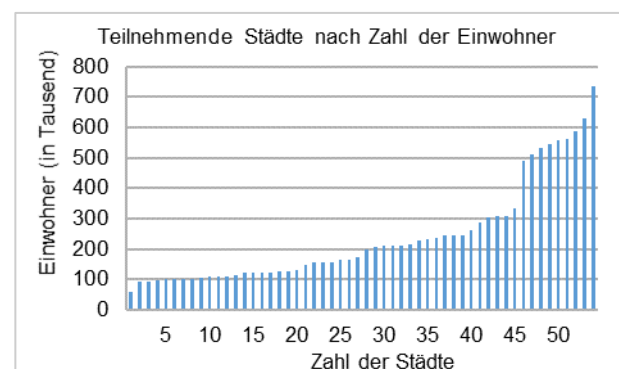


Bild 9: Städte mit Teilnahme an der Online-Befragung nach Zahl der Einwohner (zzgl. Hamburg mit 1,6 Mio. Einwohnern und Berlin mit 3,6 Mio. Einwohnern)

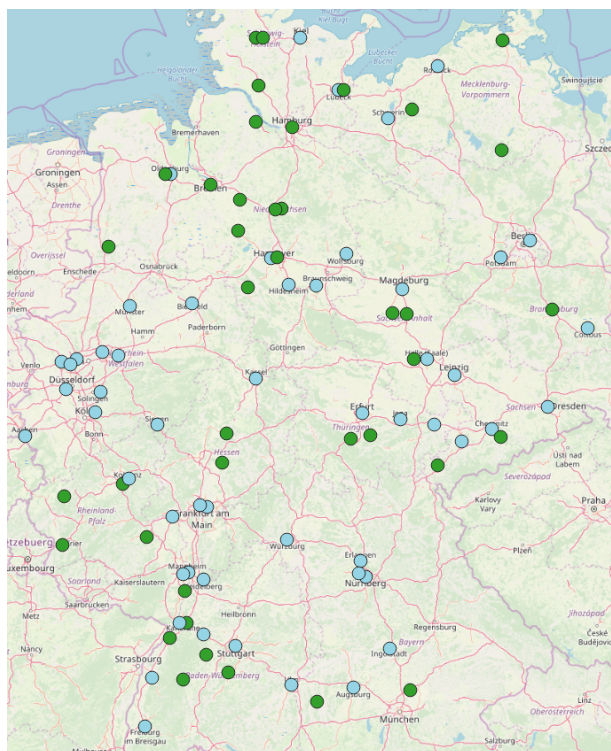


Bild 10: Regionale Verteilung der Städte (blau) und Niederlassungen der Straßenbauverwaltungen der Länder (grün) mit Teilnahme an der Online-Befragung [Kartenquelle: OpenStreetMap]

3.2.2 Entwicklung der Anzahl an F-LSA

Der überwiegende Anteil der in den Kommunen und Ländern Befragten gab an, dass die Anzahl der F-LSA in den vergangenen 10 Jahren gestiegen ist. Ein Rückgang der Anzahl der F-LSA war nur in wenigen Fällen festzustellen. 30 % der Befragten in

Kommunen und Ländern gaben an, dass sich die Gesamtzahl der F-LSA nicht geändert hat, wobei der Anteil der Befragten, bei denen die Gesamtzahl der F-LSA zwar konstant geblieben, es aber Veränderungen durch Rück- und Neubau gab in den Kommunen bei 20 % und in den Ländern bei 14 % lag (vgl. Tab. 5).

Entwicklung der Anzahl F-LSA	Kommunen	Länder
Gestiegen	34 (57 %)	31 (63 %)
Gesunken	7 (12 %)	3 (6 %)
gleich geblieben (mit Rück- und Neubau)	12 (20%)	7 (14 %)
unverändert (ohne Rück- und Neubau)	6 (10 %)	8 (16 %)
keine Angabe	1 (2 %)	0 (0 %)

Tab. 5: Entwicklung der Anzahl von F-LSA in den letzten 10 Jahren in den Kommunen und Ländern

Wichtigster Grund für die Neuinstallation von F-LSA waren sowohl bei den Kommunen als auch bei den Ländern Veränderungen im Verkehrsaufkommen, wobei Änderungen im Fußverkehrsaufkommen überwiegen (siehe Bild 11). Die Freitextangaben sowie die Telefoninterviews zeigten, dass dies beim Fußverkehr häufig die Eröffnung neuer Verkehrserzeuger (v. a. (Grund-)Schulen sowie andere soziale Einrichtungen) zurückzuführen war. Beim Kfz-Verkehr wurden kaum derartige Veränderung der Raum-/Infrastruktur genannt, auf die der Anstieg zurückzuführen wäre. Insofern ist davon auszugehen, dass sich die Antworten eher auf einen allgemeinen Anstieg des Kfz-Verkehrs beziehen.

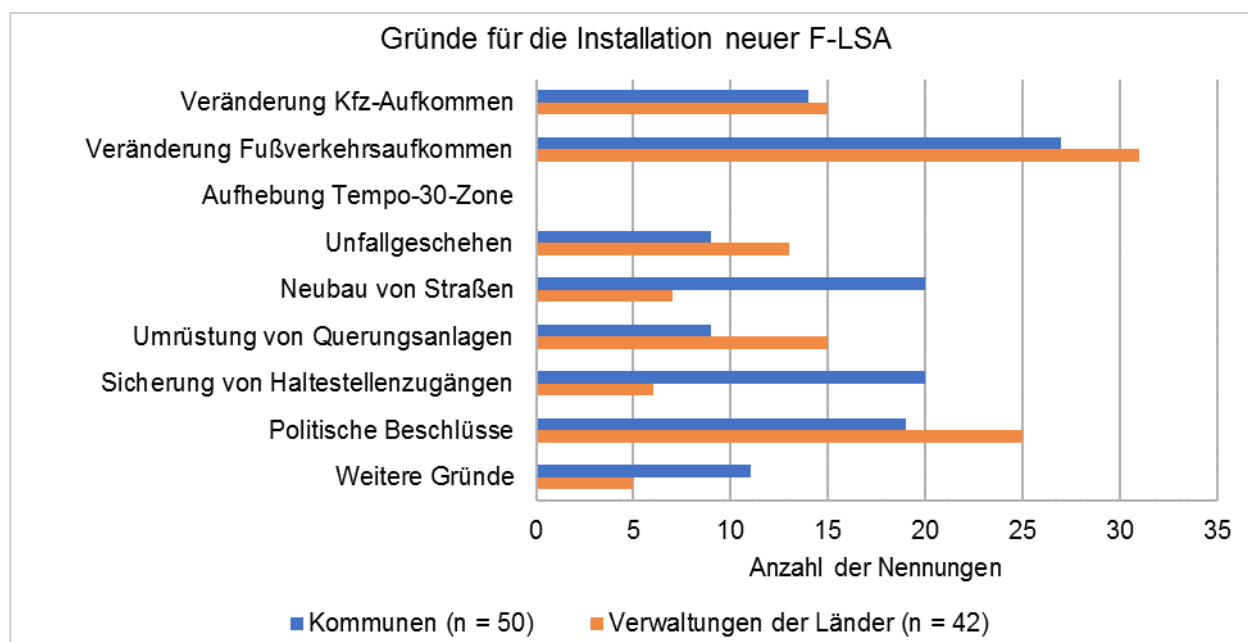


Bild 11: Gründe für die Installation neuer F-LSA (Mehrfachnennungen möglich)

Als weiterer Grund für die Neuinstallation von F-LSA wurden politische Beschlüsse häufig genannt. In den Telefoninterviews zeigte sich, dass es sich dabei meist um Beschlüsse zu einzelnen F-LSA, z. T. in Verbindung mit der Eröffnung oder Wiedereröffnung von Bildungseinrichtungen, handelte. Von einem Befragten wurde darauf hingewiesen, dass sich viele der Beschlüsse zur Errichtung von F-LSA auf Stellen bezogen, an denen signalisierte Querungsstellen aus Sicht des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit nicht notwendig gewesen wären.

Deutliche Unterschiede zwischen Kommunen und Ländern gibt es bei der Umrüstung von Querungsstellen. Diese wurde (unter Berücksichtigung der etwas geringeren Fallzahl bei den Ländern) von Verwaltungen der Länder doppelt so häufig als Grund für die Installation neuer F-LSA genannt wie von den Kommunen. Des Weiteren unterscheidet sich die Häufigkeit der Nennungen im Hinblick auf die Sicherung von Haltestellenzugängen und dem Neubau von Straßen (jeweils häufigere Nennung durch Kommunen).

Der einzige Grund, der – sowohl bei Kommunen als auch bei den Ländern – nicht gewählt wurde, war die Aufhebung von Tempo-30-Zonen. Dem gegenüber wurde die Einrichtung von Tempo-30-Zonen bei 8 Kommunen sowie 2 Verwaltungen der Länder als Grund für die Deinstallation von F-LSA genannt

(vgl. Bild 12). Dies ist vermutlich darin begründet, dass die Aufhebung von Tempo-30-Zonen nur in seltenen Ausnahmefällen vorkommt. Dem gegenüber werden Tempo-30-Zonen häufiger neu ausgewiesen, wobei weder die Aufhebung noch die Neu-einrichtung immer mit Veränderungen in der Zahl der F-LSA einhergehen.

Die Deinstallation von F-LSA wurde von den Befragten deutlich seltener vorgenommen als der Neubau (vgl. Bild 11 und Bild 12). Häufigster Grund für die Deinstallation war in den Kommunen die Umrüstung von Querungsanlagen, worunter u. a. Umrüstungen von Querungsstellen mit F-LSA hin zu FGÜ fallen. In Duisburg gab es einen expliziten Beschluss des Stadtrates, laut dem die Notwendigkeit von F-LSA anhand verkehrlichen Kriterien (vgl. Bild 2) zu prüfen und ggf. ein Rückbau (Ersatz durch FGÜ oder Mittelinseln) vorzunehmen ist.

Von den Kommunen und Ländern wurden wiederholt „weitere Gründe“ genannt. Zu diesen zählten u. a. der Umbau von Knotenpunkten zu Kreisverkehren, die Vollsignalisierung bisher teilsignalisierter Knotenpunkte und die Abstufung von Straßen (z. B. infolge des Baus einer Ortsumgehung). Sowohl die Abstufung von Straßen als auch weitere genannte Gründe wie die Schließung von Schulstandorten lassen sich prinzipiell den Gründen „Veränderung des Verkehrsaufkommens“ zuordnen.

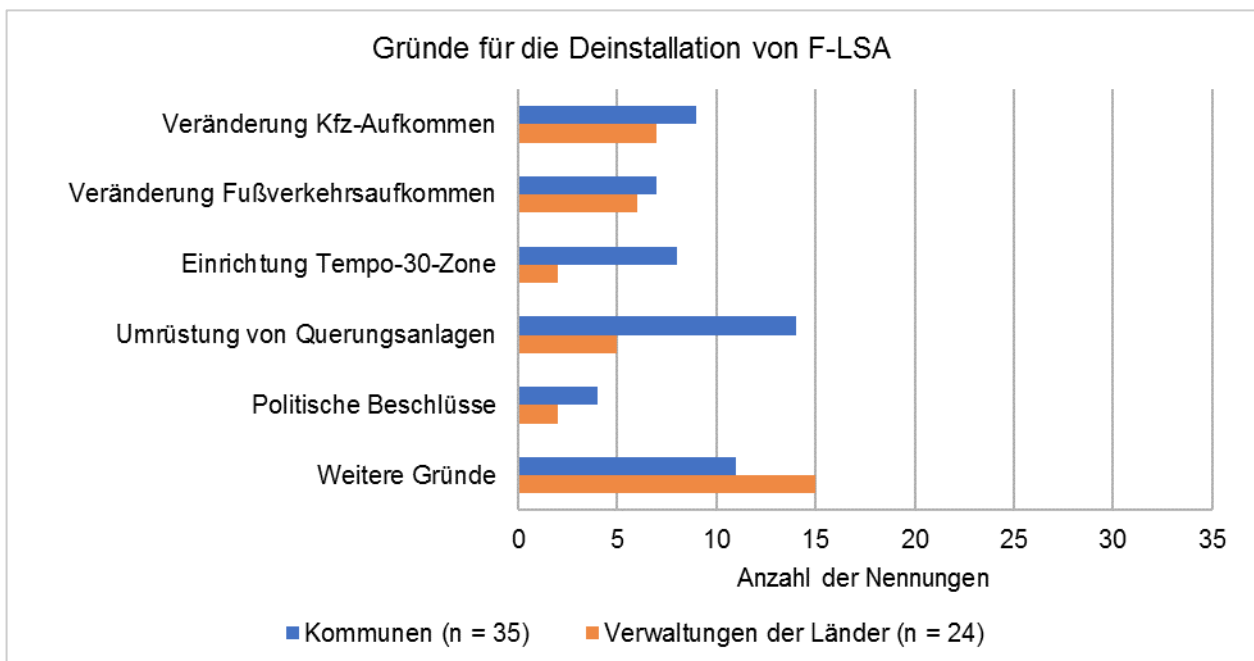


Bild 12: Gründe für die Deinstallation von F-LSA (Mehrfachnennungen möglich)

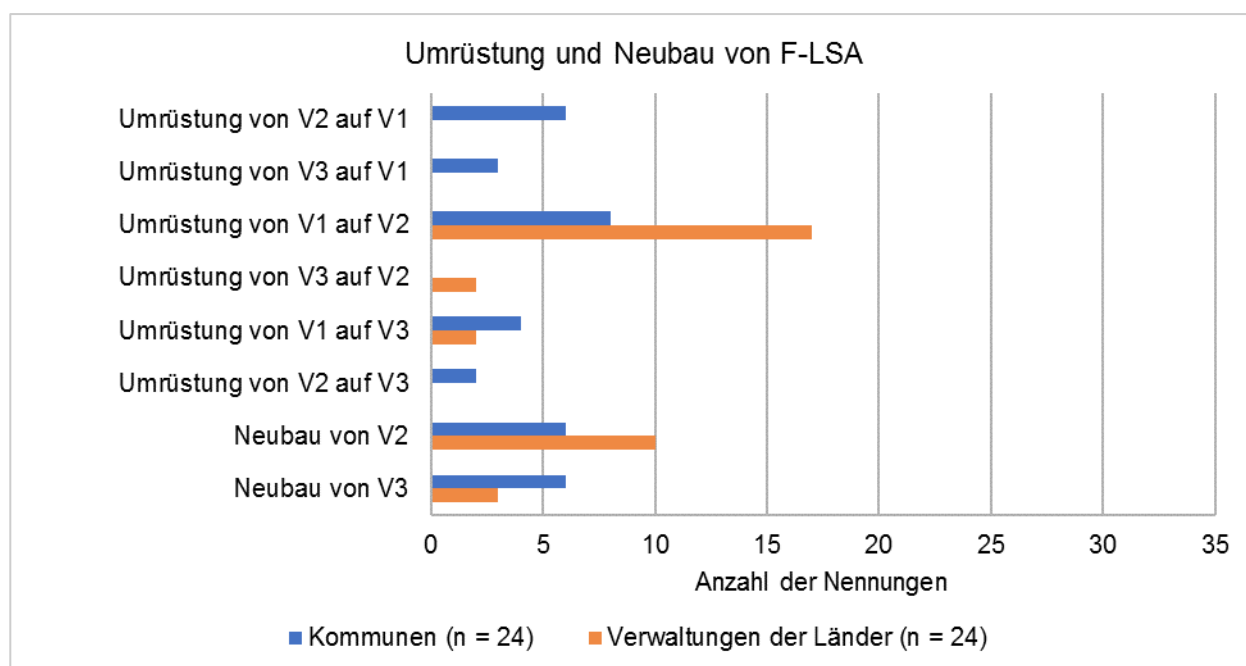


Bild 13: Umrüstung und Neubau von F-LSA im Zusammenhang mit Dunkelschaltungen (Mehrfachnennungen möglich)

3.2.3 Umstellung und Neubau von F-LSA verschiedener Steuerungsvarianten

Im Hinblick auf die Umrüstung und den Neubau von F-LSA verschiedener Steuerungsvarianten wurden Änderungen von Variante 1 auf die Varianten 2 bzw. 3, von Variante 2 auf 3 und die entsprechende „Rückrüstung“ zu Variante 1 sowie die Neuinstallation von F-LSA mit den Varianten 2 und 3 erfragt. Je 24 befragte Kommunen und Verwaltungen der Länder gaben an, in den letzten Jahren F-LSA im Zusammenhang mit Dunkelschaltungen umgerüstet zu haben (vgl. Bild 13).

Häufigste Änderung war die Umrüstung von Variante 1 auf Variante 2, wobei dies bei den Ländern deutlich häufiger vorkam. Nur wenigen Nennungen beziehen sich auf die Variante 3 (insgesamt 12 Nennungen von Kommunen und 5 von Ländern). Insgesamt gaben mehr Befragte an F-LSA auf die Variante 2 bzw. 3 umgestellt und neu errichtet zu haben, als F-LSA der Variante 2 bzw. 3 auf die Variante 1 bzw. 2 umgestellt zu haben. Offensichtlich haben die Varianten 2 und 3 aus Sicht der LSA-Betreiber und -Planer ausreichende Vorteile, um sie neu einzurichten, ohne dass in der Praxis auftretende Probleme an diesen LSA bisher zu einer Rückrüstung in ähnlicher Größenordnung geführt haben.

Bei der Auswertung der absoluten Anzahl der umgerüsteten bzw. neu gebauten F-LSA ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Befragten, die Angaben zu möglichen Veränderungen (vgl. Bild 13) machten, auch Auskunft über die Anzahl der umgerüsteten F-

LSA gaben. In Tab. 6 sind die Zahlen der geänderten und im Hinblick auf Variante 2 sowie 3 neu errichteten F-LSA unter Angabe der Anzahl der antwortenden Kommunen und Länder aufgeführt. In Summe wurde die Umrüstung von 362 (Kommunen: 151; Länder: 211) und der Neubau von 205 Anlagen der Variante 2 und 3 (Kommunen: 54; Länder: 151) angegeben.

Umrüstung	Kommunen		Länder	
	Antwortende	Anzahl F-LSA	Antwortende	Anzahl F-LSA
V2 auf V1	5	10	0	0
V3 auf V1	2	2	0	0
V1 auf V2	7	75	15	196
V3 auf V2	0	0	0	0
V1 auf V3	4	44	2	15
V2 auf V3	1	20	0	0
Neubau	Kommunen		Länder	
	Antwortende	Anzahl F-LSA	Antwortende	Anzahl F-LSA
V2	5	35	8	103
V3	6	19	3	48

Tab. 6: Anzahl umgerüsteter und neugebauter F-LSA in den letzten 10 Jahren in den Kommunen und Ländern unter Angabe der Anzahl der Antwortenden (Mehrfachnennungen möglich; die Reduktion bei der Zahl der Kommunen gegenüber Bild 13 ergeben sich durch Antwortende, die keine Angaben zur Anzahl der jeweils umgestellten LSA machten)

Insgesamt wurde von 5 Kommunalvertretern über die Umstellung von 5 F-LSA von der Variante 2 auf 1 berichtet und von 2 Kommunalvertretern über die Umstellung von 2 F-LSA von der Variante 3 auf 2.

Bei den Ländern wurden entsprechende Umstellungen nicht benannt. Das bestätigt die These, dass in der Praxis nur in wenigen Einzelfällen schlechte Erfahrungen mit F-LSA der Variante 2 und 3 gemacht wurden.

Im Hinblick auf die Umstellung auf und den Neubau von F-LSA der Variante 2 bzw. 3 fällt auf, dass sowohl bei den Kommunen als auch bei den Ländern die Variante 2 häufiger verwendet wird als die Variante 3 (vgl. Tab. 6). Eine Umstellung von Variante 2 auf Variante 3 wurde nur von zwei befragten Kommunen genannt (vgl. Bild 13), wobei nur die Stadt Karlsruhe die Anzahl der Umrüstungen mit 20 F-LSA angab.

3.2.4 Gründe für die Umstellung und den Neubau von F-LSA der Steuerungsvarianten 2 und 3

Zusätzlich zur Abfrage der Anzahl der umgerüsteten F-LSA wurden für jede Art der Umrüstung oder des Neubaus auch die Gründe abgefragt. Aufgrund der bei den meisten Fragen geringen Anzahl an Antworten wird bei der folgenden Erläuterung der Ergebnisse z. T. auf die grafische Darstellung der Ergebnisse verzichtet.

Umstellung von Variante 1 auf 2

Die Verringerung der Lichtverschmutzung wurde von Kommunen kaum, von Ländern – sowohl bzgl. der Umrüstung zur Variante 2 als auch den Neubau von Variante 2 – dagegen häufig als Grund genannt (vgl. Bild 14). Womöglich spielt die Störung durch leuchtende Signalgeber in den üblicherweise – nicht

nur, aber auch hinsichtlich der Straßenbeleuchtung – stärker beleuchteten Großstädten eine geringere Rolle als in (nachts tendenziell dunkleren) ländlichen Regionen bzw. Ortsdurchfahrten kleinerer Gemeinden und Städte.

Neben der Lichtverschmutzung waren Rotlichtverstöße von Fahrzeugführern ein von den Ländern genannter Grund. Von einigen Befragten wurde allerdings auch gegenteilige Bedenken – Missachtung des Rotlichts aufgrund des Übersehens der F-LSA – geäußert.

Auch bzgl. der Rotlichtverstöße von Fußgängern wurde zum Teil in den sonstigen Nachteilen die Befürchtung geäußert, dass der dunkle Kfz-Signalgeber Fußgänger zu Rotlichtverstößen bzw. zum ungesicherten Queren (v.a. im Vorfeld der F-LSA) verleiten könnte. Dennoch nannten mehrere Befragte Rotlichtverstöße von Fußgängern als Grund für die Umrüstung zur Variante 2 wie auch für den Neubau von Variante 2.

Neubau von Variante 2

Die Variante 2 wurde von den Ländern deutlich häufiger bei neu errichteten F-LSA eingesetzt als von Kommunen. Wie bereits bei der Umstellung von F-LSA auf die Variante 2 ist auch beim Neubau derartiger Anlagen die Verringerung der Lichtverschmutzung der von den Ländern am häufigsten genannte Grund (siehe Bild 15). Alle anderen Gründe wurden mit drei bzw. vier Nennungen ähnlich oft angeführt. Bei den Kommunen erfolgte die Nennung jedes Grundes (mit Ausnahme der Rotlichtverstöße von Kfz mit zwei Nennungen) je einmal.

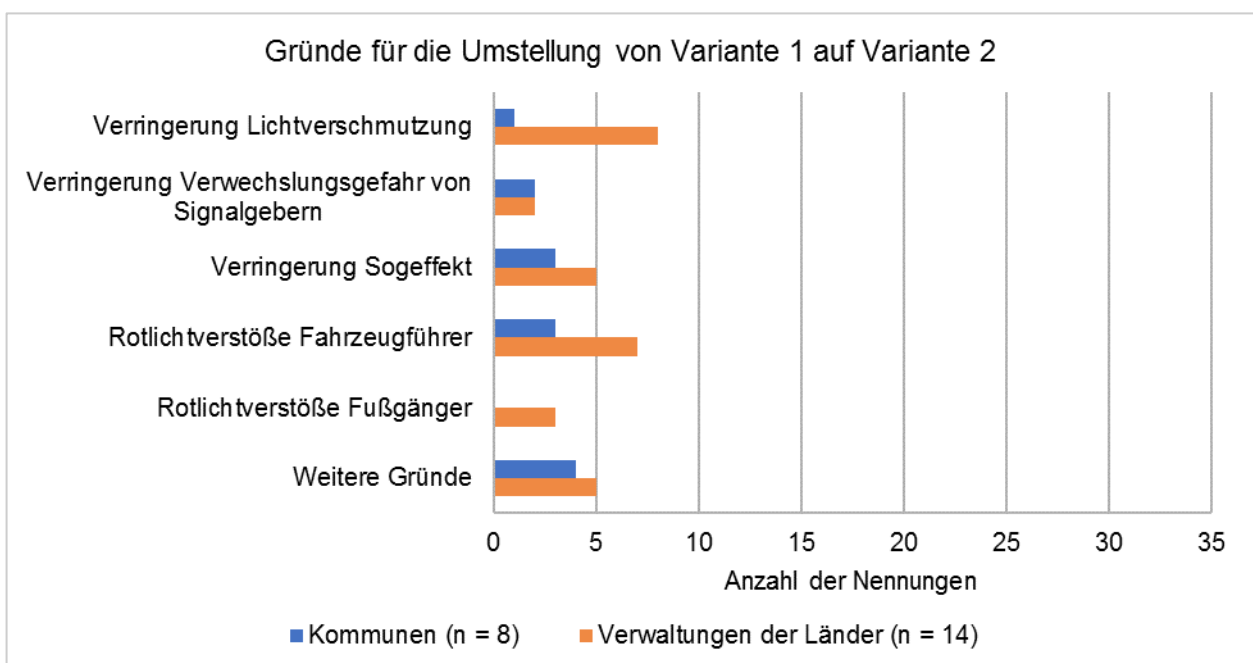


Bild 14: Gründe für die Umstellung von Variante 1 auf Variante 2 (Mehrfachnennungen möglich)

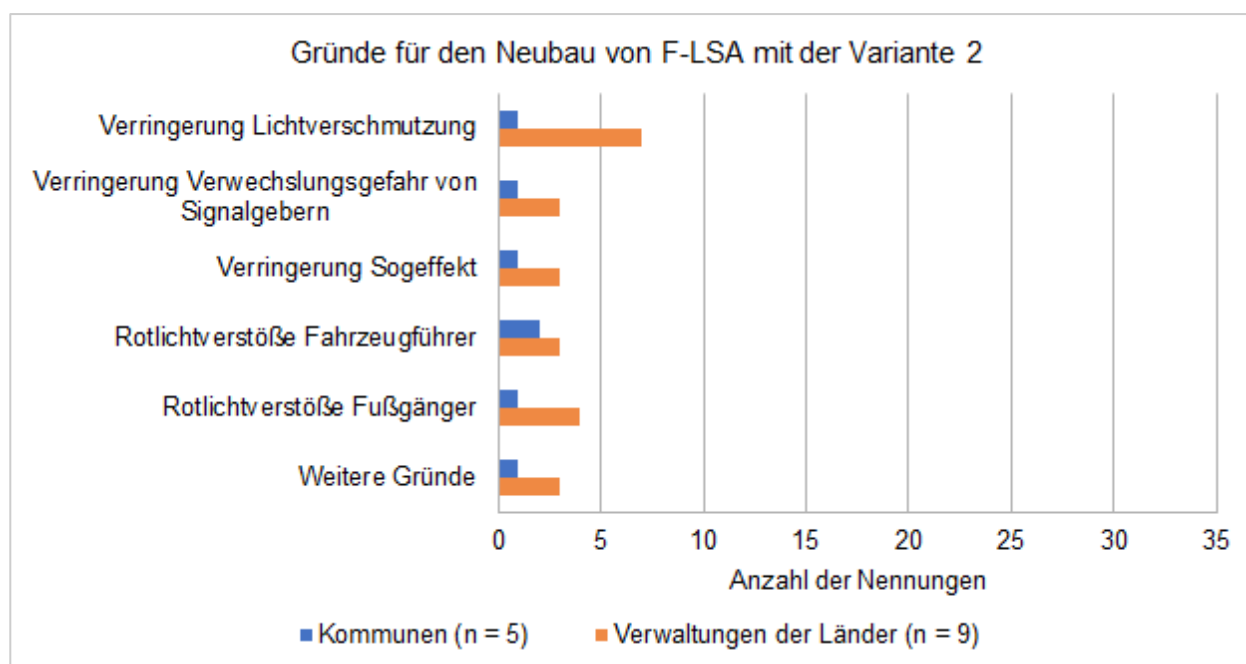


Bild 15: Gründe für den Neubau von Variante 2 (Mehrfachnennungen möglich)

Bei den weiteren Gründen für den Neubau wurde neben der Ermöglichung einer barrierefreien Querung auch die Verdeutlichung der Funktionsfähigkeit der Anlage für Fußgänger als Vorteil gegenüber der Variante 3 genannt.

In der telefonischen Nachbefragung wurden von Ländervertretern Fälle beschrieben, in denen F-LSA von Kommunen gewünscht wurden, diese aus verkehrstechnischer Sicht allerdings nicht notwendig waren. Sofern die Kommunen – meistens unter Erklärung der Übernahme der Bau- und Betriebskosten – dennoch auf die Neuerrichtung einer F-LSA bestanden, wurden Anlagen der Variante 2 installiert. Zudem zeigte sich in der telefonischen Nachbefragung, dass bei mehreren Kommunen die Variante 2 den Standard bei Neuerrichtung von F-LSA (insbesondere außerhalb von Hauptverkehrsstraßen mit Koordinierung) darstellt.

Umstellung von Variante 2 auf 1

In sechs Kommunen wurden F-LSA von Variante 2 auf Variante 1 umgestellt. Je Kommune betraf dies maximal drei F-LSA. Ein Befragter machte zur Anzahl der umgestellten F-LSA keine Angaben. Als Gründe wurden zweimal verstärkte Rotlichtverstöße durch Kfz sowie je einmal die schlechtere Verständlichkeit für Fahrzeugführer (einschließlich der Meldung, die LSA sei defekt), die schlechtere Verständlichkeit für Fußgänger sowie Beschwerden von Bürgern genannt. In einem Fall wurde ein gestiegenes Fußgängerverkehrsaufkommen angeführt, das zu häufigeren Anforderungen führte, bei einer weiteren Kommune auf die Minimierung der Stromkosten durch Umstellung auf LED verwiesen.

Im Rahmen der telefonischen Nachbefragung wurde in Duisburg von Fällen berichtet, in denen Querungsstellen von freien Rechtsabbiegern an LSA-Knotenpunkten mit Dreiecksinseln mit F-LSA der Variante 2 ausgestattet waren. Aufgrund gestauter Rechtsabbieger, die auch während der Freigabe noch im Bereich der Querungsstellen standen, kam es zu Situationen in denen Sehbehinderte während der Freigabe gegen gestaute Fahrzeuge liefen. In der Folge wurden die freien Rechtsabbieger mittels Vollsignale mit in die Knotenpunktssignalisierung einbezogen.

Bei der telefonischen Nachbefragung in Karlsruhe wurde von zwei F-LSA der Variante 2 berichtet, an denen verstärkte Rotlichtverstöße durch Kfz festzustellen waren und die auch durch Beschwerden der Bürger auffielen. Diese Anlagen wurden in der Folge auf die Variante 1 umgestellt, wodurch die Probleme nicht mehr auftraten. Anzumerken ist, dass in Karlsruhe eine Vielzahl von F-LSA der Variante 2 und 3 eingesetzt werden, an denen entsprechende Probleme nicht auftreten.

Umstellung von Variante 1 auf 3

In sechs Kommunen wurden F-LSA der Variante 3 durch die Umrüstung von Anlagen der Variante 1 eingerichtet. Spitzenreiter war dabei Münster mit 35 Anlagen, gefolgt von Bremen mit 15 Anlagen.

Als Gründe für die Umstellung wurden genannt:

- Kürzere Wartezeiten für Fußgänger aufgrund des Verzichts auf die Anforderung (5 Nennungen)

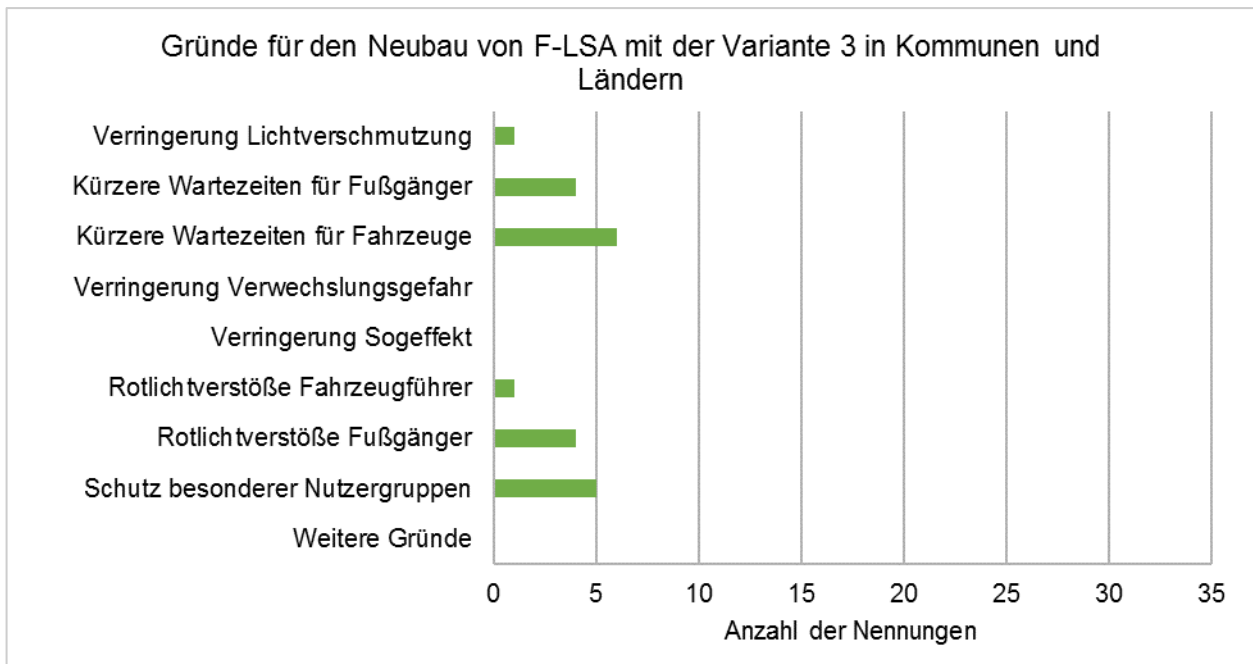


Bild 16: Gründe für den Neubau von F-LSA mit der Variante 3 in Kommunen und Ländern (n = 9; Mehrfachnennungen möglich)

- Weniger Rotlichtverstöße durch Fußgänger (4 Nennungen)
- Kürzere Wartezeiten für Fahrzeuge aufgrund des Verzichts auf die Anforderung (3 Nennungen)
- Weniger Rotlichtverstöße durch den Fahrzeugverkehr (2 Nennungen)
- geringere Lichtverschmutzung (1 Nennung)

Im Hinblick auf die kürzeren Wartezeiten für Fahrzeuge zeigte sich bei der telefonischen Nachbefragung, dass sich diese Nennungen z. T. nicht auf Kraftfahrzeugverkehr bzw. die Fahrzeuge im Längsverkehr, sondern auf querenden Radverkehr bezogen. Die F-LSA der Variante 3 sollte dabei Radfahrern die Möglichkeit zur ungesicherten Querung bieten, während Fußgänger weiterhin den Signalschutz nutzen können.

Neubau von Variante 3

Wichtigster Aspekt war für die Befragten die (erwartete) Verringerung der Wartezeiten von Fußgängern sowie Fahrzeugführern (siehe Bild 16).

Beim Kriterium „Schutz besonderer Nutzergruppen“ wurde u. a. angegeben, dass Variante 3 genutzt wird, um Menschen mit Behinderungen (v. a. mit Sehbehinderungen) eine Querung anzubieten, auch wenn der Signalschutz aufgrund der Verkehrsverhältnisse nicht für alle Fußgänger erforderlich ist (4 Nennungen). Daneben wurden je einmal Kinder und Senioren genannt. Zudem war die Ermöglichung einer barrierefreien Querung auch bei zwei

Befragten ein „weiterer Grund“ für die Umwandlung von Variante 2 auf Variante 3.

Umstellung von Variante 3 auf 2

Nur zwei Vertreter der Länder haben geantwortet, dass bei ihnen in den letzten Jahren F-LSA von der Variante 3 auf die Variante 2 umgestellt wurden. Dabei handelt es sich um die Geschäftsbereiche Stade und Verden (Aller) der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr. Beide machten keine Angabe über die Zahl der betroffenen Anlagen. Als Gründe für diese Umstellung wurden von beiden Verwaltungen die schlechtere Verständlichkeit der Variante 3 für Fußgänger genannt. Hinzu kamen in einem Fall Beschwerden durch Bürger bzw. Meldungen, dass die F-LSA defekt sei und in einem anderen Fall Probleme durch das bewusste Ignorieren der F-LSA.

Umstellung von Variante 3 auf 1

Drei Kommunen (Erlangen, Ingolstadt, Duisburg) nahmen in den letzten Jahren Umstellungen von der Variante 3 auf die Variante 1 vor. Dies betraf bei zwei Kommunen je eine Anlage, die dritte Kommune macht zur Anzahl der betroffenen F-LSA keine Angabe.

In zwei Fällen wurde die schlechtere Verständlichkeit für Fußgänger (und damit einhergehend irrtümliche Meldungen einer defekten F-LSA durch Bürger) sowie in einem Fall verstärkte Rotlichtverstöße durch Fußgänger bei der Variante 3 als Grund genannt. Zudem führte eine Kommune an, dass die

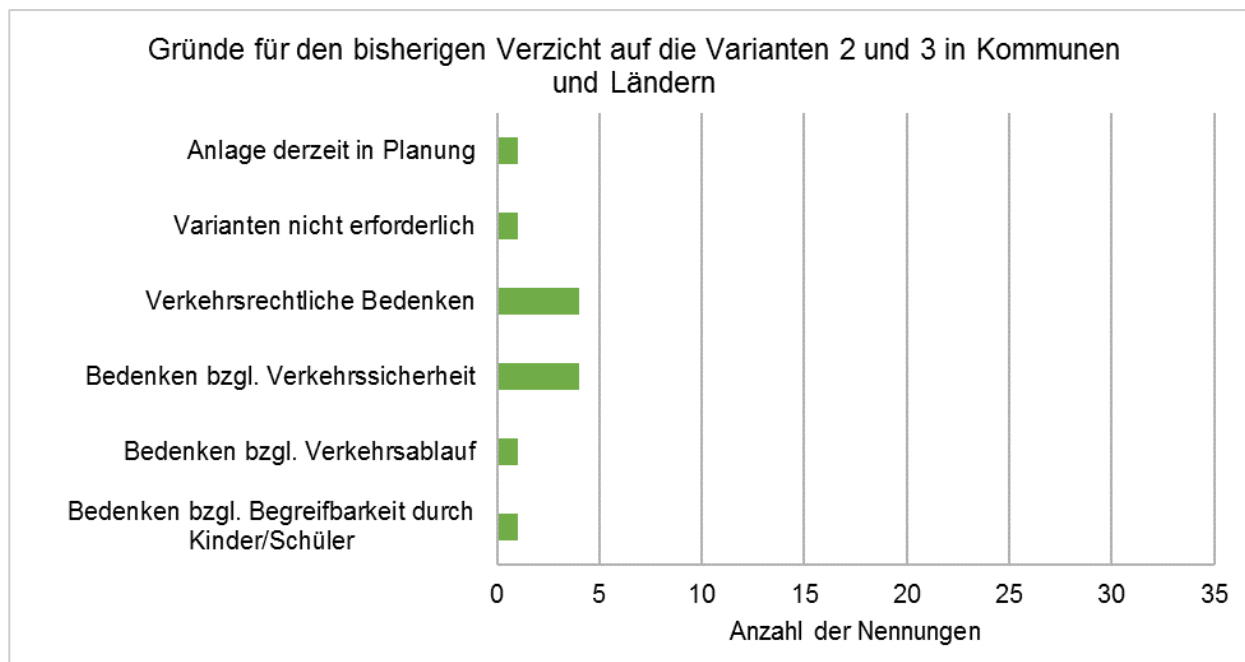


Bild 17: Gründe für den bisherigen Verzicht auf die Varianten 2 und 3 in Kommunen und Ländern (n = 10; Mehrfachnennungen möglich)

Dunkel-Dunkel-LSA an der betreffenden Straße aufgrund der hohen Kfz-Belastung nicht sinnvoll war.

3.2.5 Gründe für den Verzicht auf den Einsatz von F-LSA der Steuerungsvarianten 2 und 3

11 Befragte gaben an, dass die Varianten 2 und 3 trotz entsprechender Diskussion (bisher) nicht eingeführt wurden, davon machten 10 Befragte Angaben zu den Gründen. Ausschlaggebend waren v. a. verkehrsrechtliche Bedenken sowie die Befürchtung, dass derartige Anlagen gegenüber der Variante 1 zu einer Verschlechterung der Verkehrssicherheit führen (vgl. Bild 17).

Der Aspekt der Wirkung von Dunkelschaltungen auf die Verkehrssicherheit soll im AS 3 (vgl. Kapitel 4) im Rahmen der Unfallanalyse näher betrachtet werden, zudem spielt er bei den Verkehrsbeobachtungen hinsichtlich sicherheitsrelevantem Verhalten eine bedeutende Rolle (AS 4).

Bzgl. der verkehrsrechtlichen Bedenken ist anzumerken, dass im Rahmen der vertieften Interviews auch die Einrichtung der Variante 3 auf Anregung der Straßenverkehrsbehörde berichtet wurde. Zumindest zeigt die wiederholte Ablehnung von Dunkelschaltungen aufgrund rechtlicher Bedenken die Notwendigkeit der Darstellung von Einsatzkriterien sowie Vor- und Nachteilen in den maßgebenden Regelwerken.

3.2.6 Einschätzung zu Vor- und Nachteilen der Steuerungsvarianten 2 und 3

Alle Teilnehmer der Befragung wurden in Fragen mit Freitextantwortmöglichkeiten nach generellen Vor- und Nachteilen der Varianten 2 und 3 befragt (vgl. Bild 92 und Bild 93 im Anhang 2). Insgesamt wurden dabei über 300 Aspekte genannt, die sich überwiegend in den in Tab. 7 aufgeführten Kategorien zusammenfassen lassen.

Die am häufigsten genannten Argumente, die für die Verwendung der Variante 2 sprechen, bilden:

- Energieeinsparung
- Verringerung der Sogwirkungen
- Höhere Aufmerksamkeit/Akzeptanz der Fahrzeugführer (durch das Vermeiden langer Freigabezeiten)

Im Rahmen der telefonischen Nachbefragung war festzustellen, dass Energieeinsparungen eher ein historisches Argument bilden, da die heutzutage überwiegend eingesetzte LED-Technik sehr stromsparend arbeitet. Weiterhin ergab die telefonische Nachbefragung, dass unter „Sogwirkung“ das Beschleunigen der Fahrzeugführer bei der Annäherung von Fußgängern an die F-LSA verstanden wird, um die Signalanlage noch vor der Anforderung der Fußgänger bzw. bei Gelb noch passieren zu können. Hier ist kritisch zu hinterfragen, ob sich diese Effekte bei Dunkel-Anlagen nach einer gewissen Gewöhnungszeit nicht in ähnlichem Maße einstellen.

	Antwortkategorie	Variante 2			Variante 3 ¹⁾		
		Kommunen	Länder	Gesamt	Kommunen	Länder	Gesamt
Vorteile	Energieeinsparung	8	10	18	4	6	10
	(höhere) Aufmerksamkeit und Akzeptanz der Kfz-Führer	3	12	15	-	-	-
	(Verringerung der) Sogwirkung	7	4	11	-	-	-
	(Verringerung der) Lichtverschmutzung (incl. Störung Anlieger)	4	3	7	2	0	2
	(Verringerung der) Verwechslungsgefahr hintereinanderliegender Signalquerschnitte	2	0	2	-	-	-
	Vermeidung von Rotlichtverstößen von Fußgängern	-	-	-	13	2	15
	Kürzere Wartezeiten für Fußgänger	-	-	-	9	1	10
	Eigenverantwortlichkeit/Entscheidungsfreiheit der Fußgänger	-	-	-	4	4	8
	Weniger Anhaltevorgänge/kürzere Wartezeit für Kfz (Verzicht auf unnötige Anforderungen)	-	-	-	4	3	7
	Ermöglichen einer barrierefreien Querung	-	-	-	5	0	5
	Keine Vorteile (explizite Angabe)	4	0	4	4	7	11
Nachteile	Missachtung/Übersehen des Rotsignals durch Kfz-Führer	13	10	23	9	4	13
	Längere Wartezeit für Fußgänger/langsamere Reaktion auf Anforderungen	6	4	10	3	0	3
	Mangelnde Begreifbarkeit des Betriebszustandes der Anlage	5	2	7	21	20	41
	Problematische Koordinierung	5	0	5	1	0	1
	Einheitlichkeit der Signalisierung	1	2	3	2	0	2
	Kinder/Schulweg/Senioren (besondere Nutzergruppen)	0	0	0	5 ²⁾	4 ²⁾	9
	Risikantere Querungen/keine Anforderung durch Fußgänger	-	-	-	6	4	10
	Keine Nachteile (explizite Angabe)	3	8	11	-	-	-

¹⁾ Es ist davon auszugehen, dass Vor- und Nachteile, die aus dem Dunkel geschalteten Kfz-Signalgeber resultieren, bei Variante 3 nicht von allen Befragten erneut angegeben wurden, sofern diese Vor- oder Nachteile bereits bei Variante 2 genannt wurden.

²⁾ Bei den Kommunen wurden viermal „Kinder“ und einmal „Kinder und Senioren“ genannt; bei den Ländern wurden zweimal „Kinder“ sowie je einmal „Kinder und Senioren“ und „Schutzbedürftige“ genannt.

Tab. 7: Häufigkeit der Antwortkategorien bei den Freitextantworten zu Vor- und Nachteilen von F-LSA mit den Varianten 2 und 3 (Mehrfachnennungen möglich)

Grundsätzlich gelten die für Variante 2 beschriebenen Vorteile im gleichen Maß auch für Variante 3. Aufgrund des Befragungsdesigns (zunächst erfolgte die Abfrage der Vor- und Nachteile von Variante 2 und anschließend die Abfrage für Variante 3) wiederholten die Befragten die Argumente, die für oder gegen eine Dunkel-Signalisierung des Fahrzeugverkehrs sprechen, nicht explizit bei Variante 3.

Im Hinblick auf weitere Vorteile der Variante 3 waren die drei häufigsten Argumente:

- Vermeidung von Rotlichtverstößen von Fußgängern
- Kürzere Wartezeiten für Fußgänger
- Keine Vorteile

Auffällig ist, dass in erster Linie die Vorteile für die Fußgänger gesehen werden und die Vorteile für den Fahrzeugverkehr vergleichsweise selten angeführt wurden. Dass die Steuerungsvarianten 2 und 3 in einigen Kommunen und Ländern auch kritisch gesehen werden, zeigt zum einen die häufige Nennung „keine Vorteile“ und zum anderen wurde auch in den telefonisch Nachbefragungen der Hinweis gegeben, die Zahl der verschiedenen Regelungen insbesondere für Fußgänger und Radfahrer, die zum Teil nie eine Fahrausbildung erhalten, gering zu halten.

Als Nachteile der Steuerungsvarianten 2 und 3 wurde häufige die Befürchtung „Missachtung/ Übersehen des Rotsignals durch Kfz-Führer“ (u. a. Über-

raschungseffekt, vorsätzliche Rotlichtverstöße) genannt. Im Rahmen der telefonischen Nachbefragungen zeigte sich, dass es sich bei dieser Angabe häufig um eine subjektive Einschätzung handelt, welche in Einzelfällen durch Bürgerbefragungen bestätigt werden. Inwieweit sich diese Einschätzungen durch objektive Kriterien bestätigen lassen, soll in den im AS 3 folgenden Unfallanalysen sowie im Rahmen der Verkehrsbeobachtungen geklärt werden. Dabei sollen die Fragen beantwortet werden, in welchem Umfang diese Probleme existieren und wie sie sich im Unfallgeschehen auswirken.

Der als größter Nachteil angesehene Aspekt der Steuerungsvariante 3 (häufigste Nennung) bildet die mangelnde Begreifbarkeit des Betriebszustandes der Anlage (z.T. auf Kfz, häufiger auf Fußgänger bezogen). Auch im Rahmen der telefonischen Nachbefragungen wurde von Hinweisen durch Bürger berichtet, die melden, dass die Anlage defekt sei. Es wurde aber auch berichtet, dass durch entsprechende Hinweise auf die Signalisierung (i. d. R. durch Aufkleber am LSA-Mast) die Anzahl solcher Meldungen beeinflusst werden kann. Hinsichtlich der Hinweisaufkleber war festzustellen, dass es vermutlich eine recht große Vielfalt bei der Gestaltung solcher Aufkleber gibt, da diese in der Regel in Eigenverantwortung der Kommunen entworfen werden. Die häufige Nennung der mangelnden Begreifbarkeit verdeutlicht aber die Notwendigkeit einer deutlichen und allgemeinverständlichen Kennzeichnung von F-LSA der Variante 3. Dieser Aspekt soll daher insbesondere im Rahmen der bei den Verkehrsversuchen geplanten Befragungen im Nachher-Zustand thematisiert werden.

Im Rahmen der Literaturanalyse sowie der telefonischen Nachbefragung wurde als ein wichtiger Aspekt herausgestellt, dass F-LSA mit der Steuerungsvariante 3 zu keinem Zeitpunkt komplett abgeschaltet werden sollten, da dadurch die Begreifbarkeit einer solchen Anlage durch Fußgänger nicht mehr gegeben ist. Zudem ist die Abschaltung auch im Hinblick auf den Verkehrsablauf nicht zu begründen.

Weitere Aspekte die im Rahmen der Online-Befragung zu Steuerungsvarianten genannt wurden und sich nicht in die in Tab. 7 angegebenen Kategorien einordnen lassen, bildeten:

- Ein Befragter schlug als Alternative zur verlängerten Dauer von der Anforderung bis zur Freigabe den Einsatz von Alles-Rot/Sofort-Grün-Schaltungen vor.
- Von zwei Befragten wurden Vorteile bei vor- oder nachgelagerten verkehrszeichengeregelten oder als Rechts-vor-Links-Kreuzung betriebenen Knotenpunkten genannt.

3.3 Fazit

Die in den Großstädten und Straßenbauverwaltungen der Länder durchgeführte Online-Befragung wies einen hohen Rücklauf auf, was u. a. darauf hindeutet, dass der Einsatz der verschiedenen Steuerungsvarianten ein für die Praxis relevantes Thema bildet. Dies konnte auch im Rahmen der telefonischen Nachbefragung bestätigt werden, in der häufig auf fehlende Vorgaben in den Regelwerken hingewiesen wurde.

Im Hinblick auf die Steuerungsvarianten mit Dunkelstellung (Variante 2 und 3) lässt sich allgemein feststellen, dass genannte Vor- wie auch Nachteile meist nur auf subjektiven Eindrücken beruhen. Nur vereinzelt wurden objektiv (im Sinne des Auftretens von Unfällen) festgestellte Verkehrssicherheitsprobleme berichtet. Systematische Untersuchungen bzw. Beobachtungen seitens der Betreiber wurden nicht genannt.

Bezüglich der Dunkel-Signalisierung für den Fahrzeugverkehr gehen die Aussagen in unterschiedliche Richtungen: Einerseits wird von Befragten die Befürchtung genannt, dass die Signale bei einschaltender LSA eher übersehen werden, andererseits wird aufgrund eben diesem Einschalten mit einer höheren Akzeptanz und Wahrnehmung auch bei unaufmerksamen Fahrzeugführern gerechnet. In der Nachbefragung deuten die Antworten von Kommunen, die derartige Anlagen in Betrieb haben, eher auf eine verbesserte Rotlichtakzeptanz hin (z. B. Rückgang von Beschwerden über Rotfahrten nach Umrüstung auf zweifeldige Signalgeber).

Von Bedeutung ist bei der Installation von Dunkel-Anlagen des Weiteren die Reduktion der Lichtverschmutzung, wobei dies v. a. von Vertretern der Straßenbauverwaltungen der Länder angeführt wurde.

Als wesentliche Nachteile der Steuerungsvariante 3 wurden die fehlende Erkennbarkeit des Betriebszustandes der Anlage, was mit Hinweisen aus der Bevölkerung (Anlage defekt) einhergeht, und die damit in Zusammenhang stehende unzureichende Begreifbarkeit seitens der Fußgänger genannt. Wiederholt wurde auch – u. a. auch in der vertieften Befragung von einer Kommune mit erfolgter Umstellung von Variante 3 auf Variante 1 – die Befürchtung bzw. der Nachteil genannt, dass Fußgänger durch die Dunkelschaltung verstärkt zu einer Querung im Vorfeld der F-LSA verleitet werden.

Auf diese Probleme ist im weiteren Verlauf der Untersuchung einzugehen. So sollte geklärt werden, welche Informationen notwendig sind, damit die Funktionsweise derartiger Anlagen allgemeinverständlich verdeutlicht werden kann. Zudem bilden

Fragen der Risikobereitschaft der Fußgänger beim ungesicherten Queren Teil der Verhaltensbeobachtungen.

Als wesentliche Vorteile der Steuerungsvariante 3 wurde der verbesserte Verkehrsfluss einschließlich der kürzeren Wartezeiten für Fußgänger und Fahrzeugführer aufgrund des Verzichts auf Anforderungen gesehen. Die Erwartung einer Energieeinsparung spielt zwar bei der Einrichtung von Dunkel-Anlagen immer noch eine Rolle, verliert allerdings aufgrund der Verbreitung der LED-Technik zunehmend an Bedeutung.

4 Unfallanalyse

4.1 Einführung

Aufbauend auf den in der zweiten Befragungsstufe bei den befragten Baulastträgern (Kommunen und Straßenbauverwaltungen) recherchierten Beispielen (vgl. Kapitel 3) wurde eine Datenbank der F-LSA aufgebaut. Die Datenbank umfasst 297 F-LSA aus verschiedenen Kommunen und Straßenbauverwaltungen. Um einen ausreichend großen Stichprobenumfang für F-LSA mit den Steuerungsvarianten 2 und 3 zu gewährleisten, wurden die F-LSA mit diesen Steuerungsvarianten bevorzugt in die Datenbank aufgenommen. Neben den von den Baulastträgern zur Verfügung gestellten Informationen, wie z. B. Standort der Anlage, Zeitpunkt der Inbetriebnahme, Steuerungsverfahren, (Rahmen-)Signalzeitenplan, wurden weitere Informationen auf Basis von Luftbildern und frei zugänglichen Geo-Informationen ergänzt. Nach Aufnahme der im Kapitel 4.2.1 beschriebenen Merkmale wurden Daten zum Unfallgeschehen für alle F-LSA ergänzt.

Aus der Literaturrecherche sowie aus den Befragungen ergeben sich folgende Forschungsfragen bzw. -thesen, die mithilfe der Unfallanalyse beantwortet bzw. validiert werden sollen:

These 1 (Fehleinschätzung der Verkehrslage): Bei der Steuerungsvariante 3 wird bei Signalstellung Dunkel für den Fußverkehr ungesichert gequert. Dafür werden teilweise zu kleine Zeitlücken genutzt und damit riskant gequert, entsprechend kommt es bei diesen F-LSA zu mehr Überschreiten-Unfällen. Dieses Problem nimmt mit steigendem Kfz-Aufkommen zu. Das ungesicherte Queren kann bewusst geschehen oder aus einer Fehleinschätzung des Betriebszustands der F-LSA heraus (Fußgänger gehen bei der Signalstellung Dunkel von einer ausgeschalteten LSA aus und queren trotz gewünschtem Signalschutz ungesichert), diese beiden Effekte können anhand der Unfallanalyse nicht unterschieden werden.

These 2 (mangelnde Begreifbarkeit): Fußgänger, die sich in Längsrichtung auf die Signalanlage mit den Steuerungsvariante 2 oder 3 zubewegen, gehen aufgrund der Signalstellung Dunkel beim Kfz-Verkehr von einer ausgeschalteten LSA aus und queren trotz gewünschtem Signalschutz im Umfeld der F-LSA. Entsprechend kommt es bei diesen F-LSA zu mehr Überschreiten-Unfällen v. a. in den Annäherungsbereichen.

These 3 (Sogwirkung): Bei der Steuerungsvariante 1 führt das permanent sichtbare Grünlicht zu einer Sogwirkung für Kfz, die höhere Geschwindigkeiten

zur Folge hat. Dadurch kommt es bei dieser Steuerungsvariante zu mehr und schwereren Unfällen im Längsverkehr bzw. bei der Unfallart 2.

These 4 (Überraschungseffekt): Bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 überrascht das Einschalten des Signals die Kfz-Führer, dies führt durch plötzliche Bremsmanöver zu mehr Unfällen im Längsverkehr bzw. bei der Unfallart 2 sowie zu mehr Fahrunfällen.

These 5 (Rotlichtmissachtung): Die Steuerungsvarianten 2 und 3 führen zu einer geringeren Aufmerksamkeit der Fahrzeugführer und infolgedessen zu einer häufigeren Nicht-Wahrnehmung des Umschaltens der LSA. Daraus resultieren mehr Unfälle im Längsverkehr bzw. bei der Unfallart 2 sowie mehr Unfälle durch Rotlichtverstöße von Kfz.

These 6A: (Verwechslung hintereinanderliegender Signalgeber): Die Steuerungsvarianten 2 und 3 senken das Risiko der Verwechslung hintereinanderliegender Signalquerschnitte durch Kfz-Führer. Die Dunkelschaltung für Kfz verhindert, dass Kfz-Führer, die auf eine vor der F-LSA gelegene Knotenpunkt-LSA zufahren, den Grün leuchtenden Signalgeber der F-LSA als für sich geltend wahrnehmen. Entsprechend kommt es zu einer Reduktion des zugehörigen Unfallgeschehens an dem vor dieser F-LSA liegenden LSA-Knotenpunkt. Diese These ergibt sich zwar aus den Ergebnissen der Befragung, kann jedoch mit dem hier angewandten Forschungsdesign – Analyse der Unfälle an der F-LSA selbst, nicht jedoch an vorgelagerten LSA-Knotenpunkten – nicht validiert werden.

These 6B (Verwechslung hintereinanderliegender Signalgeber): Die Steuerungsvarianten 2 und 3 haben Einfluss auf die Häufigkeit der Verwechslung des Signalquerschnitts der F-LSA mit den Signalgebern einer dahinter liegenden, anderen LSA, da das Einschalten der Kfz-Signalgeber deren Wahrnehmung durch Kfz-Führer verändert. Daraus resultiert eine Änderung der Unfallhäufigkeit im Längsverkehr sowie der Unfallhäufigkeit infolge eines Rotlichtverstoßes durch Kfz.

Durch die Validierung dieser Thesen sollen die Vor- und Nachteile der verschiedenen Steuerungsvarianten sowie mögliche Einsatzkriterien aus Sicht der Verkehrssicherheit ermittelt bzw. überprüft werden. Ferner bildet die Analyse die Grundlage für die Auswahl der 45 F-LSA für die im AS 4 vorgesehenen Verkehrserhebungen.

4.2 Methodik

4.2.1 Infrastrukturelle und betriebliche Merkmale

Der Aufbau der Datenbank erfolgte in Form einer Excel-Tabelle. Folgende sechs thematische bzw. strukturelle Blöcke sind darin enthalten:

1. Standort der F-LSA
2. Straßenraum
3. Lage und Gestaltung der F-LSA
4. Nutzung Umfeld
5. Steuerung und Ausstattung der F-LSA
6. Kontaktdaten/Sonstiges

Jede dieser Themenblöcke besteht aus verschiedenen Informationen, für die entweder Attribute zur Auswahl vorgegeben sind oder eine freie Texteingabe möglich ist. Anhand dieser Attribute können die gewünschten Informationen im Zuge der Auswertungen gefiltert werden. Für jede F-LSA wird eine Zeile angelegt. Sofern Merkmale richtungsspezifisch unterschiedlich sein können, werden diese richtungsgetreunt aufgenommen (z. B. Anzahl Fahrstreifen, Anzahl überbreiter Fahrstreifen, Parken, Anlagen für den Fuß- und Radverkehr).

Um eine einheitliche Aufnahme der Daten zu gewährleisten, wurde für die einzelnen Kriterien eine Kurzanweisung verfasst. Sofern zu den Merkmalen in der Datenbank Auswahlmöglichkeiten vorgegeben sind, werden diese nachfolgend immer in Klammern angegeben.

Standort

Für jede F-LSA werden zunächst zwei ID vergeben (projektspezifische ID und ID für VTU der Baulastträger) und folgende Merkmale zur genauen Lokalisation des Standorts aufgenommen:

- Stadt bzw. Gemeinde
- Siedlungseinheit (Großstadt, Mittelstadt, Kleinstadt, Dorf)
- Bundesland
- Straßename
- Lage der F-LSA: Haus-Nr. (alternativ: Bezeichnung Querstraße/markanter Punkt o. ä.)
- Link zu OSM-Karte (dient auch als Informationsquelle zu ÖPNV)
- Link zu Google-Karte
- geografische Breite (in Dezimalgrad)
- geografische Länge (in Dezimalgrad)
- Lage (innerhalb bebauter Gebiete, am Rand bebauter Gebiete, im Vorfeld bebauter Gebiete, außerhalb bebauter Gebiete)

Straßenraum

Der Themenblock zum Straßenraum umfasst Entwurfseigenschaften und Informationen zu verkehrlichen Randbedingungen. Die entsprechenden Informationen können zum größten Teil aus Luftbildern und frei zugänglichen Geo-Informationen gewonnen werden. Die nicht erkennbaren Merkmale werden bei den zuständigen Straßenbaulastträgern erfragt:

- Richtungsfahrbahnen (ja/nein)
- Einbahnstraße (ja/nein)
- Straßenwidmung (Bundesstraße, Landesstraße, Kreisstraße, Gemeindestraße)
- Straßenkategorie (anbaufreie Hauptverkehrsstraße (VS), angebaute Hauptverkehrsstraße (HS), Erschließungsstraße (ES), Ortsdurchfahrt (OD))
- Anzahl Fahrstreifen
- Überbreiter Fahrstreifen (ja/nein)
- Anlagen des ÖV (Bussonderfahrstreifen in Mittel-/Seitenlage, besonderer Gleiskörper Mittel-/Randlage, fahrbahnbüdiger Gleiskörper)
- Art der Mitteltrennung (Mittelinsel ohne/mit Signalgeber, Mittelstreifen ohne/mit Signalgeber, keine Mitteltrennung)
- Funktion Mittelstreifen (ÖPNV, Parken, Grün, befestigte Querungsanlage)
- Tiefe Mitteltrennung [m]
- Bei vorhandenem Mittelstreifen: Vorhandensein eines Absperrgitters (ja/nein)
- Parken am Straßenrand im Bereich von 100 m vor und hinter der F-LSA (einseitig, beidseitig, kein Parken)
- Radverkehrsanlage (Schutzstreifen, Radfahrstreifen, Radweg, gemeinsamer Geh-/Radweg, Gehweg/Radfahrer frei, keine)
- Bei vorhandenem Radweg: Lage des Radwegs (links von F-LSA-Mast, rechts von F-LSA-Mast)
- V_{zul} [km/h]
- Kfz-Belastung (z. B. DTV oder Kfz/h)
- Anlage für Fußgängerlängsverkehr (Gehweg, gemeinsamer Geh-/Radweg, Gehweg/Radfahrer frei, keine Anlage)

Lage und Gestaltung der F-LSA

Der dritte Themenblock dient dazu, die Lage, Funktion und Gestaltung der F-LSA näher zu beschreiben. Hierzu werden folgende Merkmale aufgenommen:

- Querungslänge (Tiefe) an F-LSA [m]
- Definierte Aufstellfläche (ja, nein)
- Tiefe der definierten Aufstellfläche für Fußgänger [m]

- F-LSA liegt auf freier Strecke (> 50 m zu nächster LSA)
- F-LSA liegt an Knotenpunkt (Kreuzung mit/ohne zusätzlicher Warte-/Haltlinie, Einmündung mit/ohne zusätzlicher Warte-/Haltlinie)
- bei Lage an Knotenpunkt zusätzlich Lage der F-LSA für einbiegenden Verkehr (links der Einmündung, rechts der Einmündung, Kreuzung, freie Strecke)
- F-LSA dient als Zugang zu Haltestellen in Mittel- lage mit Seiten-/Mittelbahnsteig (ja/nein)
- F-LSA dient als Querungsanlage für eine Halte- stelle (Verknüpfungspunkt (ZOB, Bahnhof), U- Bahn, Stadt-/Straßenbahn, Bus)
Wird die Haltestelle durch verschiedene Ver- kehrsmittel bedient, wird das jeweils „hochran- gigste“ ausgewählt (z. B. ZOB, wenn ZOB und U-Bahn vorhanden oder U-Bahn, wenn U-Bahn und Bus vorhanden sind), dadurch können Rückschlüsse auf das Fußgängeraufkommen gezogen werden.
- Nächstgelegener verkehrszeichengeregelter Knotenpunkt [m]
- Nächstgelegener LSA-Knotenpunkt [m]
- Bordverlauf an F-LSA (im geradlinigen Bordver- lauf, vorgezogener Seitenraum, Auf-/Plateau- pflasterung)
- Getrennte Radverkehrsfurt (ja/nein)
- Breite der Furt (einschl. Radverkehrsfurt) [m]
- Breite der Radverkehrsfurt [m]

Straßenräumliches Umfeld

Ein bei der Analyse von Verkehrsanlagen immer wiederkehrendes Problem bilden die fehlenden In- formationen zu Verkehrsstärken der nichtmotori- sierten Verkehrsteilnehmer im Längs- und Querver- kehr. Zwar liegen in einigen Kommunen mittlerweile entsprechende Verkehrsstärkewerte für einzelne Stellen im Netz vor, diese reichen aber für die im Forschungsvorhaben beabsichtigten flächenhafte Betrachtung nicht aus. Aus diesem Grund werden die unter „Straßenräumliches Umfeld“ im Folgenden genannten Informationen erhoben, da diese zumin- dest eine qualitative Einordnung des Aufkommens im Fußgängerlängs- und -querverkehr ermöglichen:

- Bebauung am Straßenrand 100 m je Richtung von F-LSA (einseitige Bebauung, beidseitige Be- bauung, keine Bebauung)
- Bebauungsdichte am Straßenrand 100 m je Richtung von F-LSA (offen (mind. 30 % Baulü- cken), geschlossen (weniger als 30 % Baulü- cken), keine Bebauung)
- Städtebauliche Randnutzung am Straßenrand 100 m je Richtung von F-LSA (Wohnnutzung (W), Geschäftsnutzung (EH), Mischnutzung aus Wohn- und Geschäftsnutzung (WEH), sonstige

gewerblichen Nutzung (GB), Grün- und Freiflä- che (FR), sonstige Randnutzung (SR), keine Randnutzung)

- Besondere Verkehrserzeuger im Umkreis von 200 m um F-LSA (Bildung, Einkaufszentrum, Verkehr, Soziales, Dienstleistungen, Freizeit- anlage, Großwohnanlage, keine Ziele), (Mehrfach- nennungen möglich, maximal drei Nennungen)
- Bei vorhandener Bildungseinrichtung im Um- kreis von 200 m erfolgt Aufnahme besondere Nutzergruppe (Grundschule, weiterführende Schule, Kindergarten, Sonstige)

Steuerung und Ausstattung der F-LSA

Der fünfte Themenblock umfasst Detailinformatio- nen zur Steuerung und Ausstattung der F-LSA. Die Informationen werden zum größten Teil aus den verkehrstechnischen Unterlagen entnommen und ergänzt um Angaben der zuständigen Baulastträ- ger. Bei mehreren Signalprogrammen wurde das in der Hauptverkehrszeit geschaltete Programm ver- wendet, was im Regelfall dem werktags tagsüber geschalteten Programm entspricht.

- Steuerung der F-LSA für Fußgänger (Einzelfurt, simultan, progressiv, getrennt, keine Angabe)
- Mindestfreigabezeit Fußgänger [s]
- Mindestfreigabezeit bei besonderem Sehbehin- dertensignal [s]
- Mindestfreigabezeit Kfz [s]
- Maximaldauer Anforderungsdauer Fg [s]
- Zwischenzeit für den Fall Kfz räumt [s]
- Zwischenzeit für den Fall Fg räumt [s]
- Zwischenzeit für den Fall sehbehinderter Fg räumt [s]
- Übergangszeit [s]
- Umlaufzeit (falls vorhanden) [s]
- Freigabezeitanpassung für Kfz-Verkehr (Zeitlü- ckenkriterium) [s]
- Verkehrsabhängigkeit (Festzeit, Anforderungs- steuerung ohne Randbedingungen, Anforde- rungssteuerung mit Einsatzzeitpunkten MIV, An- forderungssteuerung mit ÖV-Priorisierung, An- forderungssteuerung mit Einsatzzeitpunkten MIV und ÖV-Priorisierung, Anforderungssteue- rung mit Freigabezeitanpassung für Kfz, keine Angabe)
- Signalgeber für Kfz (zweifeldig, dreifeldig, keine Angabe)
- Signalgeber für Fg (zweifeldig, dreifeldig, keine Angabe)
- Bei vorhandenem dreifeldigen Signalgeber für FG: Aufteilung der Signalgeber (mit FG-Gelb, Doppelrot, Quittungssignal "Signal kommt" o.ä., keine Angabe)
- Signaltechnische Vorrichtung für Sehbehinderte und Blinde (Vibrations- und akustisches Signal,

- nur Vibrationstaste, nur akustisches Signal, keine akustische Vorrichtung, keine Angabe)
- Zusätzlicher Kfz-Signalgeber links (ja/nein)
- Zusätzlicher Kfz-Signalgeber Überkopf (ja/nein)
- Steuerungsvariante der F-LSA (V1, V2, V3, Variationen)
- Veränderung an F-LSA seit 01.01.2014 (baulich, steuerungstechnisch, beides, nein, keine Angabe)
- Informationen für Fußgänger bei V3
- Ort der Fußgängerinformationen bei V3 (im Signalgeber, im/am Taster, am Signalmast, am gegenüberliegenden Signalmast, keine Angabe)

Kontakt Daten/Sonstiges

Im sechsten Themenblock werden schließlich Kontaktdaten der Betreiber der F-LSA aufgenommen und etwaige Anmerkungen und/oder besondere Hinweise vermerkt.

Ableitung des Querungsbedarfs

Der Querungsbedarf wurde aus den Nutzungen des städtebaulichen Umfelds abgeleitet. Dazu wurde zunächst das Aufkommen im Fußgängerquerverkehr tagsüber (in zwölf Stunden) in Bandbreiten näherungsweise abgeschätzt. Diese Abschätzung basiert auf dem Ansatz der RWS (2019), bei dem für jede Straßenseite in Abhängigkeit der Lage der städtebaulichen Nutzung der Bebauung (maßgebend ist die erste Baureihe), einer zuvor zugeordneten Geschossklasse und einer zuvor zugeordneten Baulückenanteilsklasse die Anzahl der Personen bestimmt wird, die sich tagsüber im Straßenraum aufhalten, d. h. gehen oder verweilen (Fußgänger) und die Straße queren wollen. Unterschieden wird dabei u. a. auch nach der Lage des Straßenabschnitts in Bezug auf die Stadtgröße (Groß-, Mittel- und Kleinstadt sowie Dorf).

In dem Ansatz der RWS (2019) werden nur drei grundsätzliche Randnutzungen differenziert (Mischnutzung, überwiegend Wohn- oder überwiegend gewerbliche Nutzung). Für die hier weitergehend differenzierten Nutzungen wurden deshalb aus den Kennwerten der RWS entsprechende eigene Werte abgeleitet.

Da hier die Angaben zu den Gebäudehöhen nicht erfasst wurden, können keine absoluten Anzahlen je 100 m Straßenseite bestimmt werden. Deshalb erfolgte eine Zuordnung der ermittelten Bandbreiten in fünf Klassen des Querungsbedarfs (sehr gering, gering, mittel, hoch, sehr hoch).

Im nächsten Schritt wurden die besonderen Verkehrserzeuger berücksichtigt. In Abhängigkeit von der Art und der Anzahl (maximal drei) erfolgte dann eine Zuordnung zu einer höheren Klasse.

Von den insgesamt 319 F-LSA wurden den fünf Klassen des Querungsbedarfs zugeordnet:

- sehr gering: 15 (5 %)
- gering: 32 (10 %)
- mittel: 61 (19 %)
- hoch: 155 (49 %)
- sehr hoch: 56 (17 %)

An fast zwei Drittel der F-LSA (211 Anlagen, 66 %) besteht somit ein hoher bzw. sehr hoher Querungsbedarf. An 15 % (47 Anlagen) ist der Querungsbedarf gering oder sehr gering. An den übrigen 61 Anlagen (19 %) besteht ein mittlerer Querungsbedarf.

4.2.2 Unfalldaten

Grundlage der Unfallanalyse bilden polizeiliche Unfalldaten für den Zeitraum vom 01.01.2014 bis 31.12.2018. Der verwendete fünfjährige Betrachtungszeitraum bildet dabei ein Kompromiss im Hinblick auf eine ausreichend große Anzahl an Unfällen und der Wahrscheinlichkeit von baulichen Veränderungen an den betrachteten F-LSA im Untersuchungszeitraum. Sofern Unfalldaten vorliegen, sind diese bzgl. der Unfallkategorien vollständig, umfassen also auch die Kategorie 5. Allerdings enthalten bei Unfällen der Kategorie 5 einige Unfälle aus Hannover aus den Jahren 2014 und 2015 sowie fast alle Unfälle aus Oldenburg aus dem Jahr 2014 keine Angaben zu den Beteiligten.

Aufgrund der unterschiedlichen Verfügbarkeit der Unfalldaten können nicht alle recherchierten Anlagen in die Unfallanalyse mit aufgenommen werden. Ausgeschlossen werden zudem F-LSA, an denen im Betrachtungszeitraum bauliche oder signaltechnische Veränderungen vorgenommen wurden. Ebenfalls ausgeschlossen werden Sondersituationen wie z. B. eine in einer Fußgängerzone gelegene F-LSA sowie F-LSA mit weniger als 50 m Abstand zu benachbarten LSA-Knotenpunkten. Unter Berücksichtigung dieser Kriterien stehen verwertbare Unfalldaten für 297 Anlagen zur Verfügung. Dabei handelt es sich um 164 Anlagen der Steuerungsvariante 1, 73 Anlagen der Steuerungsvariante 2 und 60 Anlagen der Steuerungsvariante 3.

Hinsichtlich des Kfz-Aufkommens wird auf Daten der Straßenbaulastträger oder auf öffentlich zugängliche Quellen zurückgegriffen. Bei 37 der 297 Anlagen sind keine Angaben zur Kfz-Stärke verfügbar, entsprechend ist bei diesen Anlagen auch keine Berechnung von Unfallraten bzw. Unfallkostenraten möglich. Für 260 Anlagen stehen sowohl Unfalldaten als auch Kfz-Aufkommen zur Verfügung.

Für jede F-LSA wird GIS-basiert durch ein Polygon ein Anlagenbereich definiert, der die Fußgänger-

und ggf. die Radverkehrsfurt sowie beidseitig je 3 m längs der Straßenachse umfasst (siehe Bild 18). An den Anlagenbereich schließen beidseitig je 50 m lange Annäherungsbereiche an, die die Straßenabschnitte abdecken, in denen von einem Einfluss der F-LSA auf das Verkehrsgeschehen auszugehen ist. Mittels GIS werden alle Unfälle innerhalb der so definierten Polygone den F-LSA bzw. deren Anlagen- und Annäherungsbereichen zugewiesen.

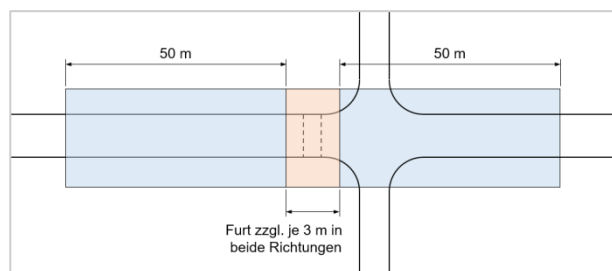


Bild 18: Anlagen- und Annäherungsbereiche der F-LSA für die Unfallanalyse

In den Anlagen- und Annäherungsbereichen der 297 F-LSA ereigneten sich im Untersuchungszeitraum insgesamt 3.534 Unfälle, davon 1.047 U(P). An den 260 Anlagen, die die Basis für die Berechnung von Unfallraten bilden, ereigneten sich 3.135 Unfälle, davon 933 U(P).

Kenngroßen

Zur Quantifizierung und zum Vergleich des Unfallrisikos werden die Unfallkostenrate und die Unfalldichte verwendet. Die Unfallkostenrate eines Anlagen- oder Annäherungsbereichs ergibt sich zu:

$$UKR = \frac{n_{U(P)} \cdot KS_{U(P)} + n_{U(S)} \cdot KS_{U(S)}}{l \cdot DTV \cdot 365 \cdot t}$$

Mit

UKR	Unfallkostenrate [Euro/(Kfz · km)]
n	Anzahl der Unfälle
KS	Kostensatz je Unfall [Euro]
l	Länge der betrachteten Strecke [km]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24 h]
t	Betrachtungszeitraum [a]

Dabei werden die pauschalen Unfallkostensätze KS nach M Uko (2012) angesetzt. Aufgrund der bei einigen Unfallkollektiven nur kleinen Fallzahlen wird auch auf eine Unterteilung nach schwerem und leichtem Personenschaden verzichtet. Die Unfallkostensätze ergeben sich damit zum Preisstand von 2009 für Innerortsstraßen (gesamt) zu:

- $KS_{U(P)} = 41.500 \text{ €}$
- $KS_{U(S)} = 6.740 \text{ €}$

Die Unfalldichte aller Unfälle ergibt sich zu:

$$UD(P,S) = \frac{n_{U(P)} + n_{U(S)}}{l \cdot t}$$

Die Unfalldichte der Unfälle mit Personenschäden ergibt sich zu:

$$UD(P) = \frac{n_{U(P)}}{l \cdot t}$$

Mit

UD	Unfalldichte [U/(km · a)]
n	Anzahl der Unfälle
l	Länge der betrachteten Strecke [km]
t	Betrachtungszeitraum [a]

Der Betrachtungszeitraum t umfasst 5 Jahre von 2014 bis 2018.

Die Analyse des Unfallgeschehens erfolgt prioritär anhand der UKR, da hierbei ein Bezug zur Exposition hergestellt wird. Jedoch bezieht sich diese Exposition nur auf das Verkehrsaufkommen des Kfz-Verkehrs. Ein Bezug zum Fußverkehrsaufkommen (v. a. im Querverkehr) wäre wünschenswert, ist mangels Daten zum Fußverkehrsaufkommen jedoch nicht umsetzbar. Eine ausschließliche Betrachtung der UKR würde auch deshalb zu Verzerrungen führen, da bei anderen Expositionsgrößen (Fuß und Radverkehr) nicht von einer hohen Korrelation mit dem Kfz-Aufkommen ausgegangen werden kann. Die Bewertung einer Merkmalsausprägung mittels UKR kann z. B. verzerrend wirken, wenn bei der Steuerungsvariante 3 zwar das Kfz-Aufkommen, nicht jedoch andere Expositionsgrößen im Mittel niedriger ausfallen als an Anlagen der Steuerungsvariante 1 und 2.

Deshalb werden auch die Unfalldichte der Unfälle mit Sach- und Personenschaden ($UD(P,S)$) sowie die Unfalldichte der Unfälle mit Personenschaden $UD(P)$ je nach konkreter Fragestellung berücksichtigt. Bspw. erscheint die $UD(P,S)$ bei Unfällen im Längsverkehr zielführender, da Auffahrunfälle infolge des plötzlichen Abbremsens beim Umschalten der F-LSA überwiegend zu Sachschadensunfällen führen. Dem gegenüber liegt bei Unfällen mit Beteiligung des Fußverkehrs aufgrund der damit meist verbundenen Unfallfolgen der Fokus auf Personenschäden.

In Bild 19 sind die über alle Unfalltypen aggregierten Mittelwerte der drei genannten Unfallkenngroßen in Abhängigkeit der Steuerungsvariante dargestellt.

Bzgl. der $UKR(P,S)$ schneiden die Anlagen der Steuerungsvariante 1 am besten, die der Steuerungsvariante 2 am schlechtesten ab. Bei der $UD(P,S)$ und der $UD(P)$ sind die Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten gering. Da an

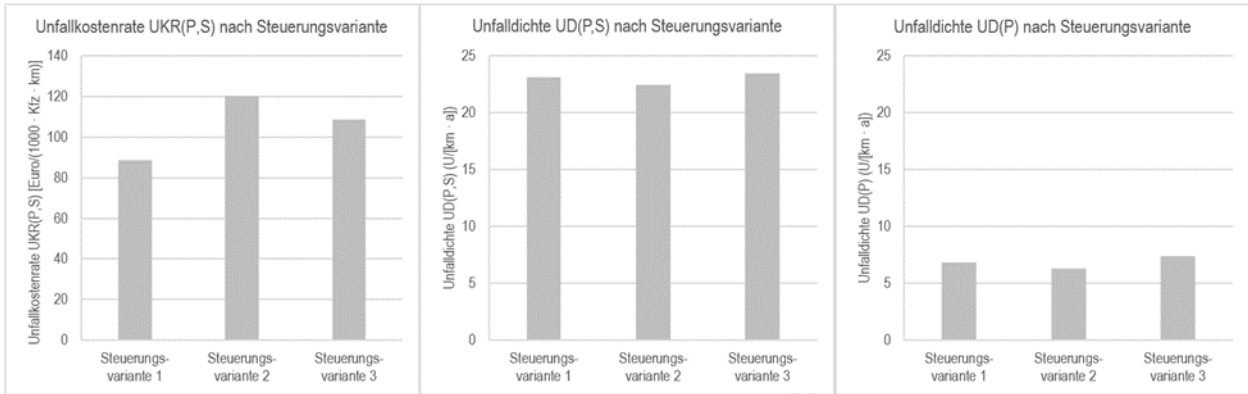


Bild 19: Unfallkostenrate, Unfalldichte und Unfalldichte der U(P) nach Steuerungsvariante

dieser Stelle alle Unfalltypen berücksichtigt werden, ist ein starker Einfluss von Unfällen, die nicht auf die F-LSA zurückzuführen sind, anzunehmen. Entsprechend bedarf es einer differenzierteren Betrachtung unter Berücksichtigung der Unfalltypen (vgl. nachfolgende Abschnitte).

F-LSA mit Annäherungsbereichen mit oder ohne AKP

In den Annäherungsbereichen vieler F-LSA münden oder kreuzen (meist untergeordnete) Straßen. Bei diesen verkehrszeichengeregelten Anschlussknotenpunkten (AKP) ist von einem erheblichen Einfluss auf den Verkehrsablauf und damit auf das Unfallgeschehen auszugehen. Dieser Einfluss ist bei den Unfallanalysen zu berücksichtigen. Die Häufigkeit von AKP in den Annäherungsbereichen je Steuerungsvariante enthält Tab. 8. Dabei wird nur betrachtet, ob ein Annäherungsbereich einen AKP beinhaltet, die Anzahl der AKP je Annäherungsbereich (insgesamt enthalten 24 Annäherungsbereiche zwei und ein Annäherungsbereich drei AKP) wird vernachlässigt.

Steuerungsvariante	Annäherungsbereiche mit AKP			Gesamt
	keiner	einer	beide	
V1	50 (31 %)	99 (60 %)	15 (9 %)	164
V2	22 (30 %)	38 (52 %)	13 (18 %)	73
V3	11 (18 %)	42 (70 %)	7 (12 %)	60
Alle F-LSA	83 (28 %)	179 (60 %)	35 (12 %)	297

Tab. 8: Anzahl der F-LSA mit Anschlussknotenpunkten in keinem, einem oder zwei Annäherungsbereichen

Die gesamte UKR(P,S) ist in Annäherungsbereichen mit AKP mehr als dreimal so hoch wie in Annäherungsbereichen ohne AKP und rund 50 % höher als in Anlagenbereichen. Dabei entfällt mehr als die Hälfte der UKR(P,S) in Annäherungsbereichen

mit AKP auf Abbiege- sowie Einbiegen-/ Kreuzen-Unfälle. Bei der UD(P,S) und der UD(P) sind die Unterschiede zwischen Annäherungsbereichen mit und ohne AKP sowie den Anlagebereichen in ähnlicher Größenordnung. Auch der Anteil der Abbiege- und Einbiegen/Kreuzen-Unfälle ist bei den Annäherungsbereichen mit AKP mit 43 % (bei UD(P,S)) bzw. 63 % (bei UD(P)) jeweils hoch.

Die gegenüber den Anlagenbereichen in Annäherungsbereichen mit AKP deutlich erhöhte Bedeutung der Abbiege- und Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle bei gleichzeitig nur in Einzelfällen mit dem Verkehrsablauf an F-LSA in Zusammenhang zu bringenden Unfallsituationen spricht dafür, diese Unfalltypen bei den Auswertungen nicht bzw. nur fallbezogen einzubeziehen. Dadurch wird zudem die Verzerrung des Unfallgeschehens durch die Existenz von AKP in den Annäherungsbereichen reduziert. Ähnliches gilt für die Unfälle des Typs 5 (ruhender Verkehr), die ebenfalls nicht der F-LSA zugerechnet werden können.

Zu berücksichtigen ist, dass durch die systematisch höhere Unfallbelastung an F-LSA mit AKP die Steuerungsvariante 3 im erhobenen Kollektiv erhöhte Unfallkennwerte aufweisen kann, da bei dieser Variante bei einem höherem Teil der Anlagen in einem oder beiden Annäherungsbereichen AKP vorhanden sind (82 % gegenüber 69 % bzw. 70 %, siehe auch Tab. 8). Auf eine angedachte Gewichtung bzw. Normierung der Anlagen mit keinem, einem oder zwei Annäherungsbereichen mit AKP wird verzichtet, da einzelne Gruppen an Anlagen mit und ohne AKP auch hinsichtlich anderer Merkmale systematische Unterschiede aufweisen können.

In Bild 20 und Bild 21 sind die UKR(P,S) und die UD(P,S) je Unfalltyp in Abhängigkeit der Steuerungsvariante sowie der Existenz von Anschlussknotenpunkten in den Annäherungsbereichen dargestellt.

Mit Ausnahme der Steuerungsvariante 2 nimmt die UKR(P,S) bei Anlagen mit AKP in einem bzw. in zwei Annäherungsbereichen jeweils zu. Besonders deutlich fällt diese Zunahme bei der Steuerungsvariante 3 aus. Diese Zunahme ist jeweils überproportional auf die knotenpunktspezifischen Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle (Typ 3) und Abbiegeunfälle (Typ 2) zurückzuführen, was den Ausschluss dieser Unfalltypen bestätigt. Ähnliches gilt für die UD(P,S), wobei dort der Anstieg von einem auf zwei AKP bei der Steuerungsvariante 1 sehr gering ausfällt.

Eine besonders hohe UKR(P,S) tritt an F-LSA der Steuerungsvariante 2 mit AKP in einem Annäherungsbereich sowie an F-LSA der Steuerungsvariante 3 mit AKP in beiden Annäherungsbereichen auf. V. a. bei der Steuerungsvariante 2 hat dies aufgrund des großen Anteils dieser Anlagen im Kollektiv einen erheblichen Einfluss. Dies wird bei der Auswertung nach Merkmalen durch einen Schwellwert berücksichtigt: Sofern der Anteil der F-LSA mit AKP innerhalb einer Gruppe der Steuerungsvariante 2 zwei Drittel überschreitet, wird auf einen möglichen Einfluss hingewiesen.

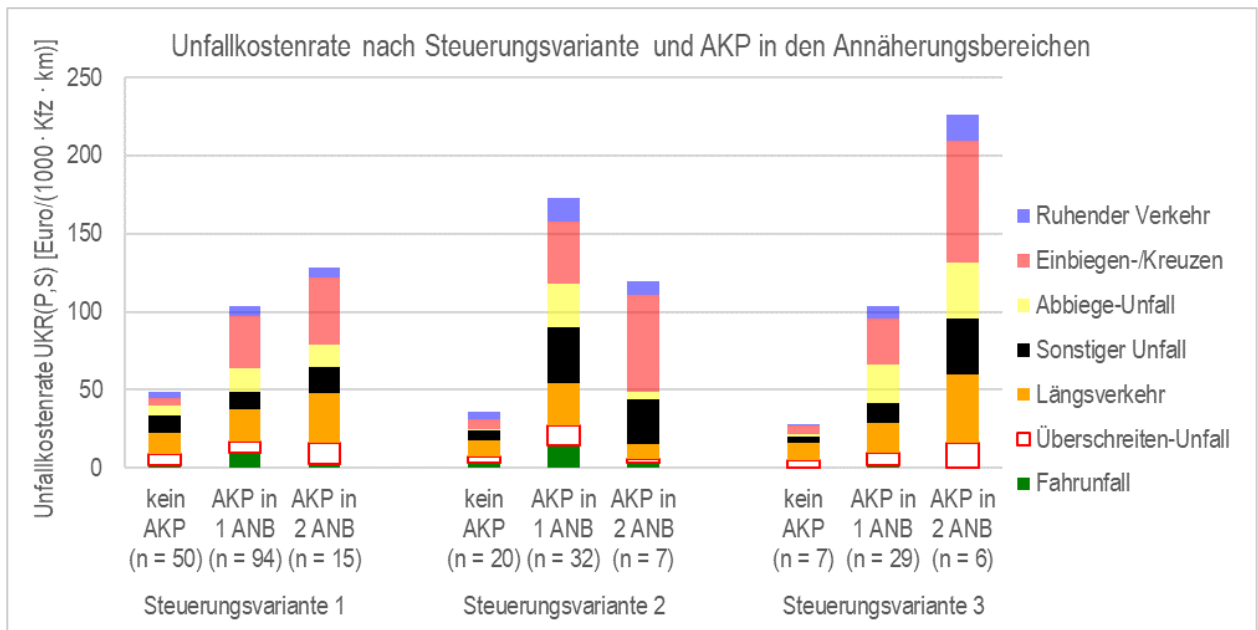


Bild 20: Unfallkostenrate nach Steuerungsvariante und Anschlussknotenpunkten (AKP) in den Annäherungsbereichen (ANB)

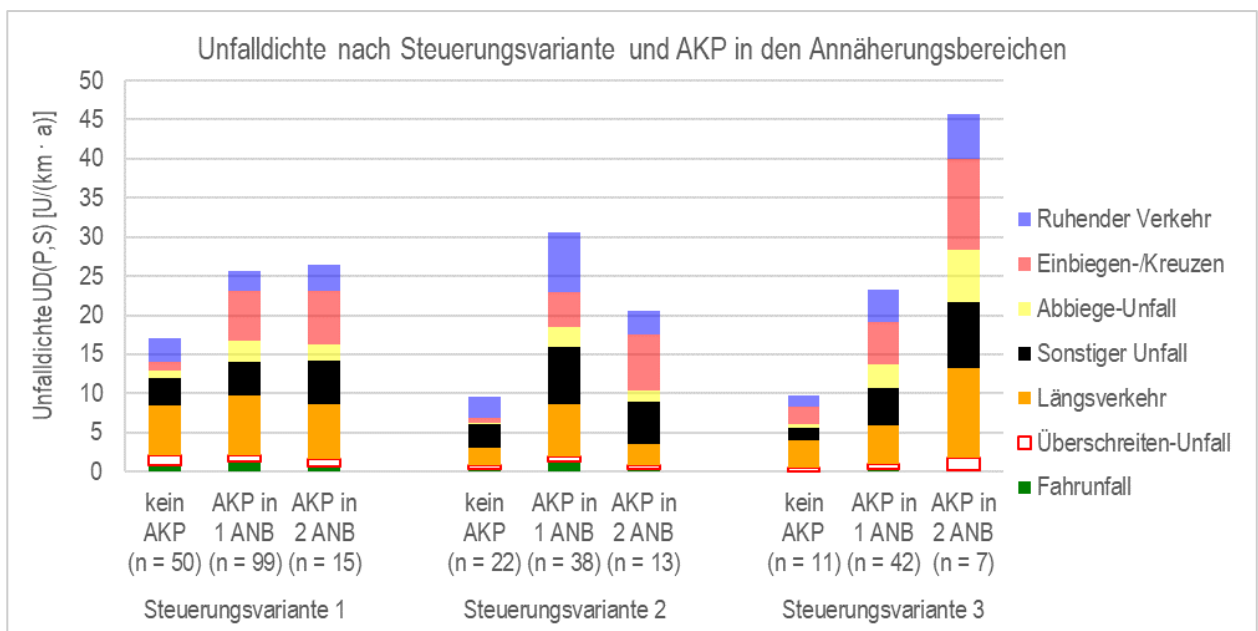


Bild 21: Unfalldichte nach Steuerungsvariante und Anschlussknotenpunkten (AKP) in den Annäherungsbereichen (ANB)

Kollektive

Bei der Unfallanalyse wird auf Unfallkollektive zurückgegriffen, bei denen von Relevanz für die Beschreibung des Unfallgeschehens an F-LSA bei gleichzeitig ausreichender Fallzahl auszugehen ist. Diese Unfallkollektive sind in Tab. 9 aufgeführt. Die Verkehrsbeteiligung Fußgänger umfasst dabei die Schlüsselnummern 81, 84 und 93, die Verkehrsbeteiligung Radfahrer die Schlüsselnummern 71 und 72.

Aufgrund der Wirkungen einer F-LSA auf den Verkehrsablauf sowie den in dieser Untersuchung zu beantwortenden Fragestellungen sind bzgl. der Unfalltypen vor allem folgende Unfalltypen relevant:

- Fahrunfälle (Typ 1): ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug ohne Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer; an F-LSA bspw. infolge des Erschreckens von Fahrzeugführern durch das Umschalten der LSA
- Überschreiten-Unfälle (Typ 4): Unfälle, die im Zusammenhang mit der Querung von Fußgängern (z. B. an oder im Umfeld der F-LSA) stehen
- Unfälle im Längsverkehr (Typ 6): ausgelöst durch einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegen; z. B. Auffahrunfälle mit an der F-LSA haltenden Kfz
- sonstige Unfälle (Typ 7): Unfälle, die keinem anderen Unfalltyp zuzuordnen sind; an F-LSA z. B. Unfälle zwischen querenden oder wartenden Fußgängern und rangierenden bzw. rückwärts

fahrenden Kfz, zudem werden z. T. Unfälle im Seitenraum diesem Unfalltyp zugeordnet.

Da F-LSA an verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten (auch: teilsignalisierte Knotenpunkte) kein Untersuchungsgegenstand sind, sind Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle (Typ 3, ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem vorfahrtberechtigten Fahrzeug) nur relevant, wenn diese sich zwischen einem an einer F-LSA querenden Radfahrer und einem Kfz im Längsverkehr ereignen und diesem Unfalltyp zugeordnet werden. Bei Abbiege-Unfällen (Typ 2, ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer) wird – ebenso wie bei Unfällen im ruhenden Verkehr (Typ 5, ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs und einem Fahrzeug, das parkt oder hält) – von einer untergeordneten Relevanz für die Fragestellungen dieser Untersuchung ausgegangen.

Die jeweilige Anzahl der Unfälle in den Kollektiven ist, aggregiert über alle Anlagen, in Tab. 10 aufgeführt.

Beschreibung	Kurzbezeichnung der Unfallkenngrößen/-kollektive		
	Unfallkostenrate (alle Unfälle)	Unfalldichte (alle Unfälle)	Unfalldichte (Unfälle mit Personenschäden)
Alle Unfälle	UKR(P,S)	UD(P,S)	UD(P)
Typ 1: Fahrunfälle (F)	UKR(P,S) _{Typ 1}	UD(P,S) _{Typ 1}	UD(P) _{Typ 1}
Typ 2: Abbiege-Unfälle (AB)	UKR(P,S) _{Typ 2}	UD(P,S) _{Typ 2}	UD(P) _{Typ 2}
Typ 3: Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle (EK)	UKR(P,S) _{Typ 3}	UD(P,S) _{Typ 3}	UD(P) _{Typ 3}
Typ 3 unter Beteiligung von Radfahrern	UKR(P,S) _{Typ 3, Rf}	UD(P,S) _{Typ 3, Rf}	UD(P) _{Typ 3, Rf}
Typ 4: Überschreiten-Unfälle (ÜS)	UKR(P,S) _{Typ 4}	UD(P,S) _{Typ 4}	UD(P) _{Typ 4}
Typ 5: Unfälle im ruhenden Verkehr (RV)	UKR(P,S) _{Typ 5}	UD(P,S) _{Typ 5}	UD(P) _{Typ 5}
Typ 6: Unfälle im Längsverkehr (LV)	UKR(P,S) _{Typ 6}	UD(P,S) _{Typ 6}	UD(P) _{Typ 6}
Typ 7: Sonstiger Unfall (SO)	UKR(P,S) _{Typ 7}	UD(P,S) _{Typ 7}	UD(P) _{Typ 7}
Typen 1, 4, 6 und 7	UKR(P,S) _{Typ 1, 4, 6, 7}	UD(P,S) _{Typ 1, 4, 6, 7}	UD(P) _{Typ 1, 4, 6, 7}
Unfallart 2: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet	UKR(P,S) _{Art 2}	UD(P,S) _{Art 2}	UD(P) _{Art 2}
Unfälle mit Beteiligung von Fußgängern	UKR(P,S) _{Fg}	UD(P,S) _{Fg}	UD(P) _{Fg}
Unfälle mit Beteiligung von Radfahrern	UKR(P,S) _{Rf}	UD(P,S) _{Rf}	UD(P) _{Rf}
Unfälle zwischen Fußgängern und Radfahrern	UKR(P,S) _{Rf/Fg}	UD(P,S) _{Rf/Fg}	UD(P) _{Rf/Fg}
Unfälle mit Rotlichtverstoß eines Fußgängers	UKR(P,S) _{Rot, Fg}	UD(P,S) _{Rot, Fg}	UD(P) _{Rot, Fg}
Unfälle mit Rotlichtverstoß eines Kfz-Führers	UKR(P,S) _{Rot, Kfz}	UD(P,S) _{Rot, Kfz}	UD(P) _{Rot, Kfz}
Unfälle mit Rotlichtverstoß eines Radfahrers	UKR(P,S) _{Rot, Rf}	UD(P,S) _{Rot, Rf}	UD(P) _{Rot, Rf}

Tab. 9: Unfallkollektive der Unfallanalyse

Beschreibung	Unfälle im Kollektiv	davon	
		U(P)	U(S)
Alle Unfälle	3534	1047	2487
Typ 1: Fahrurfälle (F)	137	74	63
Typ 2: Abbiege-Unfälle (AB)	344	179	165
Typ 3: Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle (EK)	720	347	373
Typ 3 unter Beteiligung von Radfahrern	260	221	39
Typ 4: Überschreiten-Unfälle (ÜS)	126	116	10
Typ 5: Unfälle im ruhenden Verkehr (RV)	534	30	504
Typ 6: Unfälle im Längsverkehr (LV)	964	215	749
Typ 7: Sonstiger Unfall (SO)	709	86	623
Typen 1, 4, 6 und 7	1936	491	1445
Unfallart 2: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet	779	195	584
Unfälle mit Beteiligung von Fußgängern	182	160	22
Unfälle mit Beteiligung von Radfahrern	564	480	84
Unfälle zwischen Fußgängern und Radfahrern	48	46	2
Unfälle mit Rotlichtverstoß eines Fußgängers	27	aufgrund geringer Fallzahl keine weitere Untergliederung	
Unfälle mit Rotlichtverstoß eines Kfz-Führers	42		
Unfälle mit Rotlichtverstoß eines Radfahrers	27		

Tab. 10: Anzahl der Unfälle je Unfallkollektiv

4.3 Ergebnisse

Im Folgenden soll das Unfallgeschehen in Abhängigkeit zunächst nur der drei Steuerungsvarianten betrachtet werden. Da an F-LSA neben den Steuerungsvarianten die verschiedenen infrastrukturellen und verkehrlichen Merkmale Einfluss auf das Unfallgeschehen haben, sind Unterschiede im Sicherheitsniveau für die unterschiedlichen Steuerungsvarianten nicht bzw. nicht ausschließlich auf die Steuerungsvariante zurückzuführen. Zur Quantifizierung der einzelnen Einflussgrößen wird in den nachfolgenden Abschnitten die Wirkung einzelner Merkmale auf das Unfallgeschehen untersucht. Dies soll auch Rückschlüsse auf den Einfluss der Steuerungsvarianten ermöglichen.

Die höchste mittlere UKR(P,S) der relevanten Unfalltypen 1, 4, 6 und 7 weisen die Anlagen der Steuerungsvariante 2 mit 62 Euro/(1000-Kfz·km) auf (siehe Bild 22). Die UKR(P,S) der Steuerungsvarianten 1 und 3 liegen mit 45,3 bzw. 45,6 Euro/(1000-Kfz·km) gleichauf. Die höchste mittlere UD(P,S) verzeichnen Anlagen der Steuerungsvariante 1 mit 13,4 U/(km·a), die niedrigste UD(P,S) entfällt auf die Steuerungsvariante 3 mit 11,0 U/(km·a).

Die mittleren UKR(P,S) der Überschreiten-Unfälle (Typ 4) sind zwischen den Steuerungsvarianten vergleichbar und liegen zwischen 7,8 und 8,7 Euro/(1000-Kfz·km). Im Vergleich mit der mittleren UD(P,S) wird die erhebliche Unfallschwere bei Überschreiten-Unfällen deutlich: So ist nur 6 % der

UD(P,S), jedoch 16 % der UKR(P,S) auf diesen Unfalltyp zurückzuführen.

Auch bei den Unfällen im Längsverkehr (Typ 6) ist die Spannweite der mittleren UKR(P,S) mit 18,7 bis 21,4 Euro/(1000-Kfz·km) gering. Dies deutet zunächst nicht auf einen diesbezüglichen Einfluss der Dunkelschaltung für Kfz hin, eine vertiefte Analyse erfolgt im Abschnitt 4.3.3.

Unterschiede gibt es dagegen bei den Fahrurfällen (Typ 1), bei denen die mittlere UKR(P,S) bei den Steuerungsvarianten 1 bzw. 2 mit 6,7 bzw. 9,4 Euro/(1000-Kfz·km) deutlich über der mittleren UKR(P,S) dieses Unfalltyps von 1,5 Euro/(1000-Kfz·km) bei der Steuerungsvariante 3 liegt.

Erhebliche Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten 1, 2 und 3 gibt es zudem beim Unfalltyp 7 (sonstiger Unfall). Für diesen liegt die mittlere UKR(P,S) bei der Steuerungsvariante 2 mit 25,4 Euro/(1000-Kfz·km) mehr als doppelt so hoch wie bei der Steuerungsvariante 1 mit 11,2 Euro/(1000-Kfz·km), die mittlere UKR(P,S) der Steuerungsvariante 3 liegt zwischen den beiden Werten. Die hohe UKR(P,S) der sonstigen Unfälle bei der Steuerungsvariante 2 ist dabei nicht nur auf mehr Unfälle dieses Typs, sondern auch auf eine höhere mittlere Schwere zurückzuführen. Anders als bei den Fahrurfällen ist aggregiert über alle F-LSA mehr als die Hälfte der mittleren UKR(P,S) der sonstigen Unfälle auf Unfälle mit Sachschäden zurückzuführen.

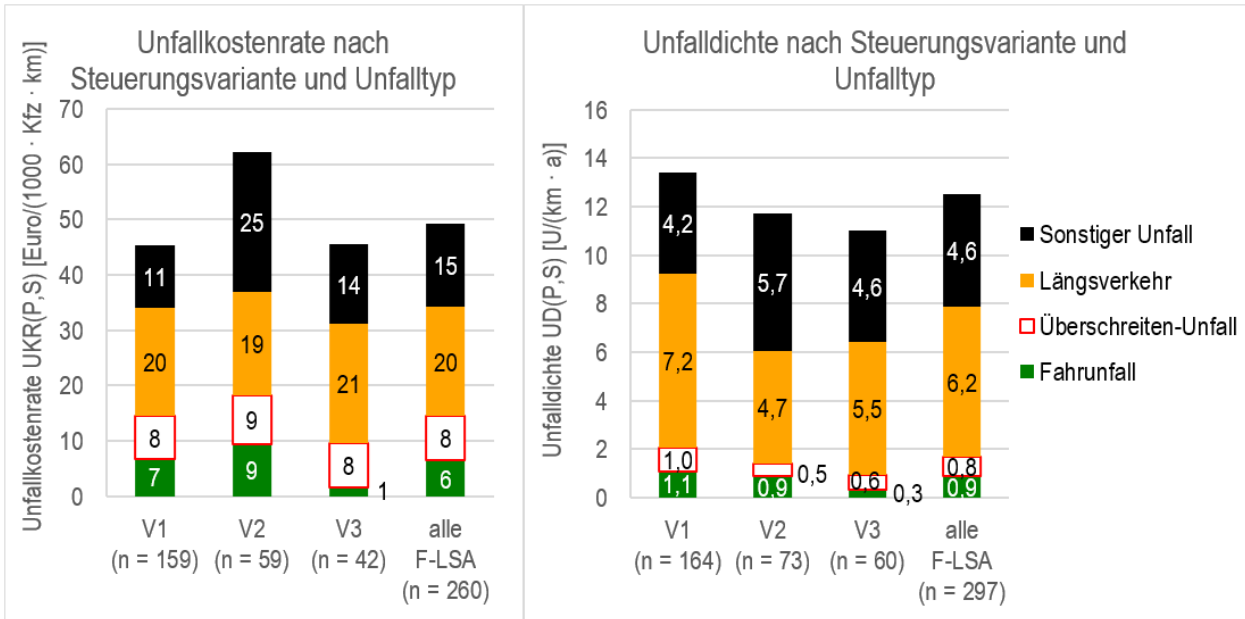


Bild 22: Unfallkostenrate und Unfalldichte nach Steuerungsvariante und Unfalltyp

Von den 262 F-LSA, für die Unfalldaten für den gesamten 5-Jahres-Zeitraum vorliegen, sind 11 vollständig unfallfrei. An 50 Anlagen ereigneten sich im Untersuchungszeitraum keine Unfälle mit Personenschäden (Tab. 11). Bei der Betrachtung der relevanten Unfalltypen 1, 4, 6 und 7 (alle Unfallkategorien sowie nur Unfälle mit Personenschaden) und bei den Unfällen mit Fußgängerbeteiligung weist jeweils die Steuerungsvariante 3 den höchsten Anteil an unfallfreien F-LSA auf.

Steuerungs-variante	Anlagen unfallfrei bzgl.			
	U(P)	U _{Typ 1,4,6,7}	U(P) _{Typ 1,4,6,7}	U(P) _{Fg}
V1	33 (21 %)	9 (6 %)	52 (34 %)	101 (66 %)
V2	7 (15 %)	7 (15 %)	14 (29 %)	31 (65 %)
V3	10 (17 %)	10 (17 %)	23 (38 %)	45 (75 %)
Alle F-LSA	50 (19 %)	26 (10 %)	89 (34 %)	177 (68 %)

Tab. 11: Anzahl und Anteil der unfallfreien F-LSA in Abhängigkeit des Unfallkollektivs und der Steuerungsvariante (nur Anlagen mit Unfalldaten aus 5 Jahren; Prozentwerte in Klammern stehen für den Anteil der unfallfreien F-LSA bezogen auf die Gesamtzahl der F-LSA der jeweiligen Steuerungsvariante)

4.3.1 Lage der F-LSA

Straßenkategorie

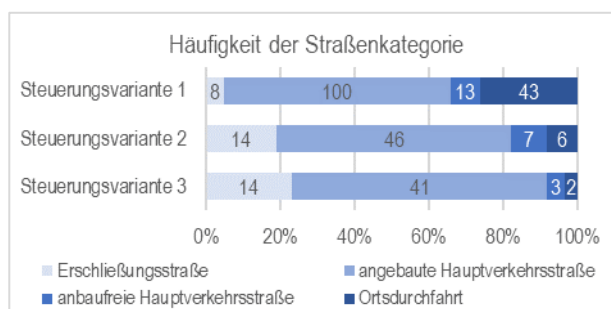


Bild 23: Verteilung der Straßenkategorien nach RASst je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl

Die Einteilung der F-LSA nach Straßenkategorie (siehe Bild 23) zeigt, dass die Steuerungsvarianten 2 und 3 anteilig rund viermal so häufig in Erschließungsstraßen eingesetzt werden wie die Steuerungsvariante 1. Vor allem die Steuerungsvariante 3 wird kaum an Ortsdurchfahrten und anbaufreien Hauptverkehrsstraßen eingesetzt.

Ein Vergleich des Unfallgeschehens zwischen den Steuerungsvarianten ist aufgrund der geringen Fallzahlen nur bei F-LSA an Erschließungsstraßen und angebauten Hauptverkehrsstraßen sinnvoll. Bei den angebauten Hauptverkehrsstraßen – die über 60 % aller Anlagen umfassen – entspricht das Unfallgeschehen bzgl. Unfallkostenrate und Unfalldichte der eingangs dieses Kapitels geschilderten Situation über alle F-LSA nach Steuerungsvariante.

An angebauten Hauptverkehrsstraßen liegt die UKR(P,S) der Unfälle im Längsverkehr bei der Steuerungsvariante 3 deutlich höher als bei den anderen beiden Steuerungsvarianten. Dies ist jedoch nicht auf den in These 4 enthaltenen Überraschungseffekt infolge des Einschaltens der Signalgeber zurückzuführen, da die UKR(P,S) der Unfälle im Längsverkehr bei der Steuerungsvariante 2 – mit ebenfalls zweifeldigem Signalgeber – nicht höher ist als bei der Steuerungsvariante 1.

Bei den Erschließungsstraßen schneidet die Steuerungsvariante 3 sowohl bei der Unfallkostenrate als auch bei der Unfalldichte am besten ab. Die Anlagen der Steuerungsvariante 3 weisen bei allen vier relevanten Unfalltypen die niedrigsten Unfallkostenrate sowie die niedrigste Unfalldichte U(P,S) auf, einzig bei den Überschreiten-Unfällen schneidet die Steuerungsvariante 1 (bei einem insgesamt gegenüber den angebauten Hauptverkehrsstraßen deutlich geringerem Niveau) etwas besser ab (vgl. Bild 24 und Bild 25).

Bei der Unfallkostenrate ist die Steuerungsvariante 2 auffällig, die UKR(P,S) liegt hier mehr als doppelt so hoch wie bei der Steuerungsvariante 1 und mehr als dreimal so hoch wie bei der Steuerungsvariante 3. Diese Auffälligkeit ist v. a. auf 2 Anlagen mit (in einem Fall: sehr) geringem DTV zurückzuführen, weshalb diese Auffälligkeit bei der UD(P,S) nicht auftritt.

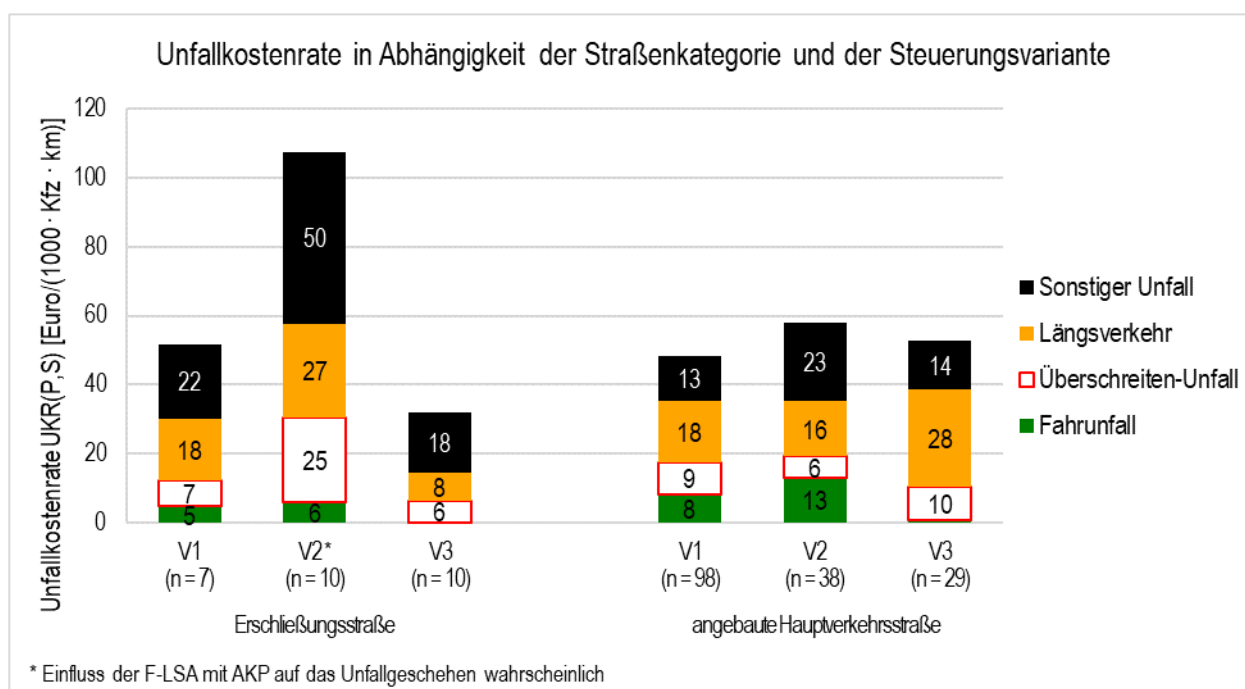


Bild 24: Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Straßenkategorie und der Steuerungsvariante

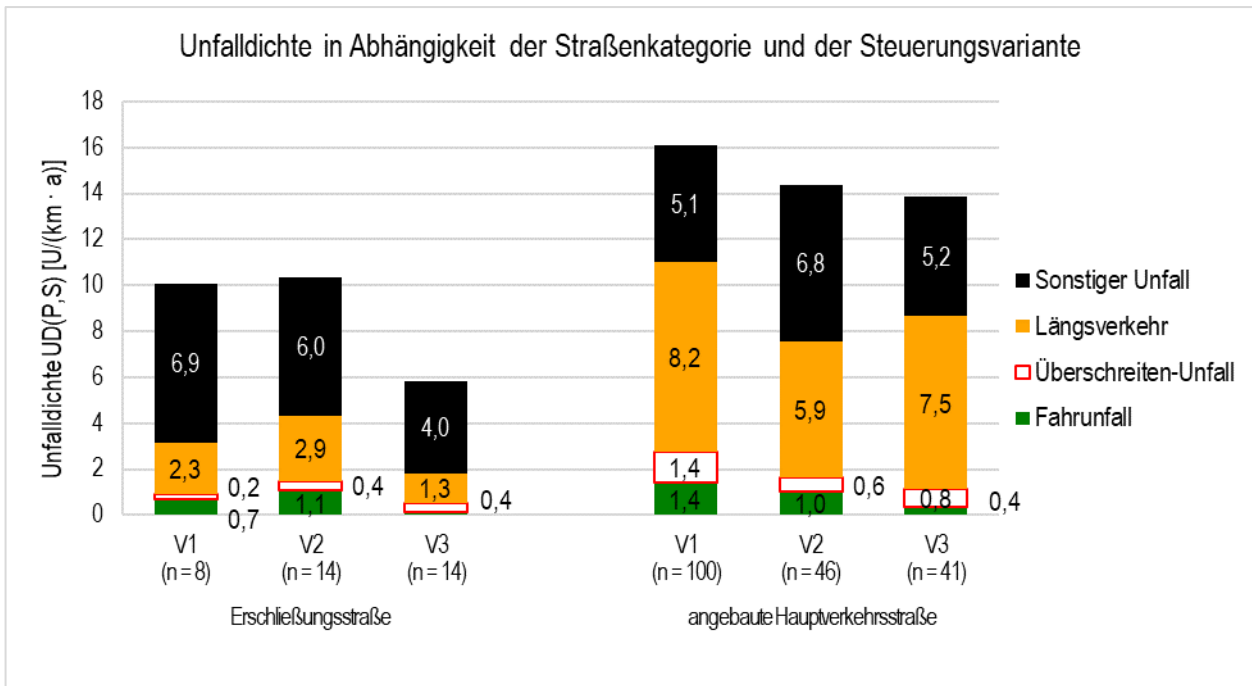


Bild 25: Unfalldichte in Abhängigkeit der Straßenkategorie und der Steuerungsvariante

Straßenklasse

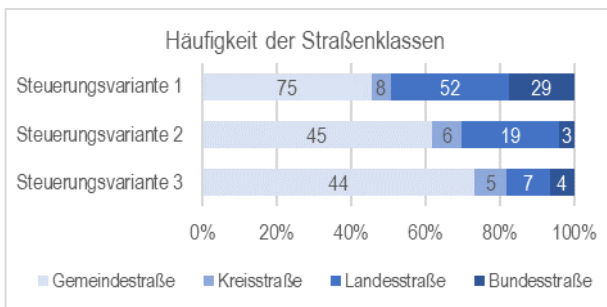


Bild 26: Verteilung der Straßenklassen je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl

Der Anteil der F-LSA im klassifizierten Straßennetz (Kreis-, Landes- und Bundesstraßen) nimmt von Steuerungsvariante 1 über 2 bis zur Steuerungsvariante 3 ab (siehe Bild 26). Die Verteilung ist zum Teil auch das Ergebnis von Verzerrungen im Kollektiv: Bei Beschränkung auf Anlagen in Großstädten – und damit Ausschluss kleinerer Gemeinden, in denen F-LSA ganz überwiegend an Straßen mit überregionalem Durchgangsverkehr installiert werden – fällt die Differenzen zwischen den Steuerungsvarianten deutlich geringer aus.

Grundsätzlich entspricht die Verteilung den sinnvoll erscheinenden und auch in den Befragungen (siehe Abschnitt 3.2) von Straßenbaulastträgern genannten Einsatzbereichen. So ist z. B: der Einsatz der

Steuerungsvariante 3 nur dann sinnvoll, wenn das Verkehrsaufkommen im Kfz-Verkehr so gering ist, dass eine gesicherte Querung durch Fußgänger möglich ist, was an Gemeindestraßen eher der Fall ist als im klassifizierten Straßennetz.

Ein Vergleich des Unfallgeschehens zwischen den Steuerungsvarianten ist aufgrund der Fallzahlen nur bei Gemeindestraßen sowie Landesstraßen sinnvoll (siehe Bild 27 und Bild 28).

Bei Gemeindestraßen weisen die Steuerungsvarianten 1 und 3 ähnliche Unfallkostenraten auf, die Unfalldichte UD(P,S) liegt bei der Steuerungsvariante 3 geringfügig niedriger. Die UKR(P,S) der Unfälle im Längsverkehr liegt bei der Steuerungsvariante 2 etwas höher als bei der Steuerungsvariante 1, was ein Hinweis auf die Richtigkeit der These 4 (Überraschungseffekt infolge des Einschaltens der Signalgeber) sein kann. Die Steuerungsvariante 2 weist eine deutlich höhere Unfallkostenrate (bei ähnlicher Unfalldichte UD(P,S)) auf, was v. a. auf die Unfalltypen Fahr Unfälle und sonstige Unfälle zurückzuführen ist.

Bei Landesstraßen schneidet die Steuerungsvariante 3 am schlechtesten ab, jedoch nicht aufgrund von Überschreiten-Unfällen (die gegenüber der Steuerungsvariante 2 im Zusammenhang mit der Dunkelschaltung für Fußgänger stehen können), sondern v. a. aufgrund von Unfällen im Längsverkehr.

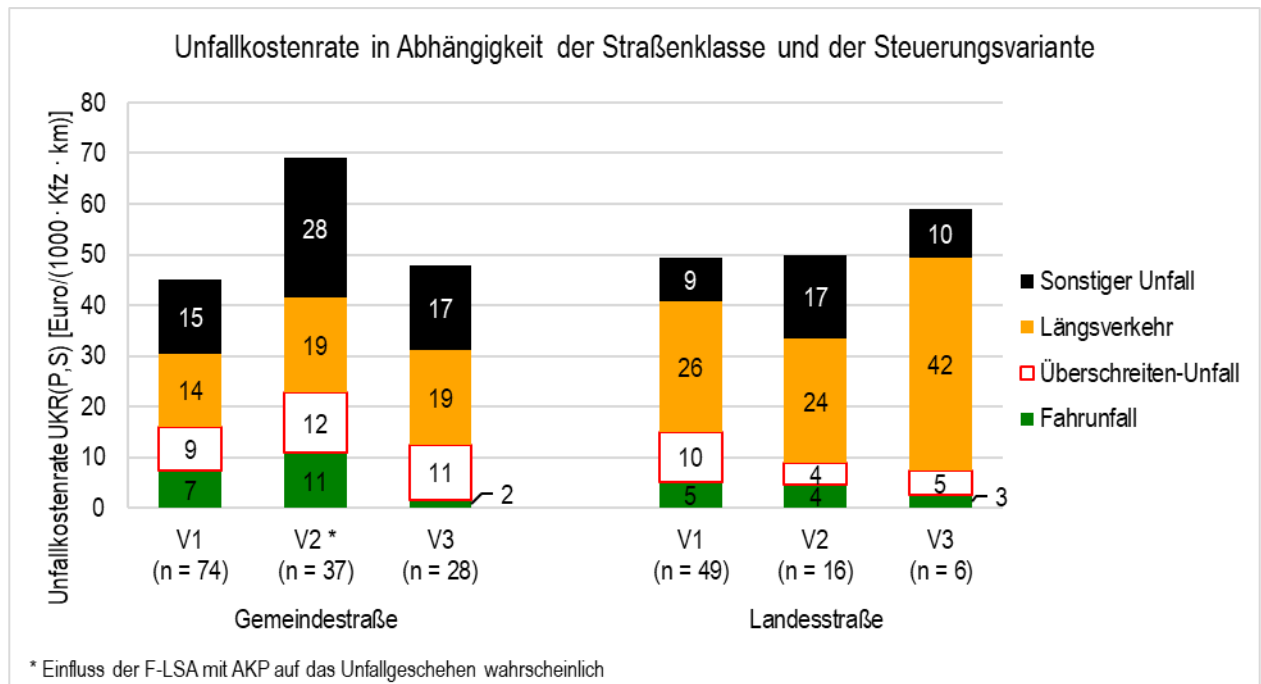


Bild 27: Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Straßenklasse und der Steuerungsvariante

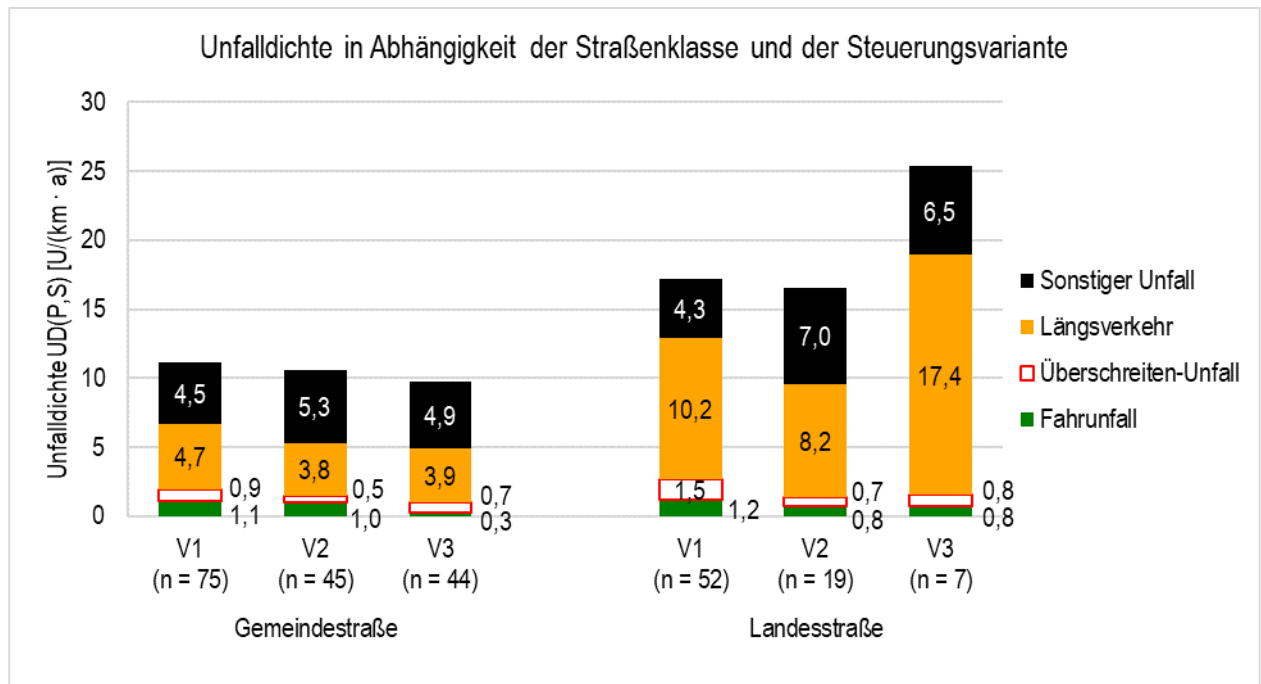


Bild 28: Unfalldichte in Abhängigkeit der Straßenklasse und der Steuerungsvariante

Ortslage

Mit Abstand die meisten Anlagen liegen erwartungsgemäß innerhalb bebauter Gebiete (siehe Bild 29). Die Kategorie „am Rand bebauter Gebiete“ wurde aufgrund entsprechend vorliegender Praxisbeispiele nachträglich eingefügt. Sie umfasst mit 25 Anlagen 8 % der Fallbeispiele, wobei der jeweilige Anteil an allen F-LSA bei den drei Steuerungsvarianten ähnlich ist. Nur 3 F-LSA liegen außerhalb bebauter Gebiete.

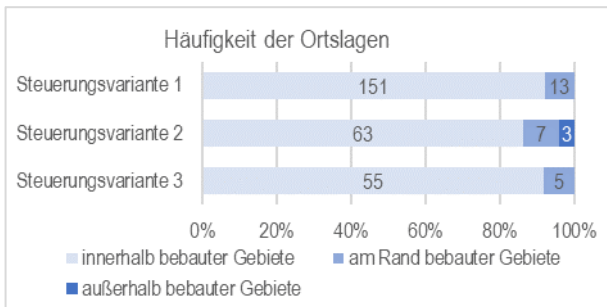


Bild 29: Verteilung der Anlagen auf die Ortslagen je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl

Die Anlagen innerhalb bebauter Gebiete weisen bei allen Steuerungsvarianten höhere mittlere Unfallkostenraten und Unfalldichten auf als die Anlagen am Rand bebauter Gebiete.

Die Verteilung der UKR und der UD zwischen den Steuerungsvarianten entspricht bei Anlagen innerhalb bebauter Gebiete aufgrund der großen Fallzahl der Verteilung über alle F-LSA.

Am Rand bebauter Gebiete weist die Steuerungsvariante 1 eine deutlich höhere Unfalldichte auf, während die Werte bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 ähnlich ausfallen (die Unfallkostenraten sind aufgrund der geringen Fallzahl nicht aussagekräftig, da bei mehreren Anlagen am Rand bebauter Gebiete kein DTV verfügbar ist).

Die drei Anlagen außerhalb bebauter Gebiete – die alle mit der Steuerungsvariante 2 betreiben werden – sind unfallunauffällig: Sowohl Unfallkostenrate als auch die Unfalldichten liegen etwas unter dem Mittelwert der Anlagen am Rand bebauter Gebiete.

Lage an Anschlussknotenpunkten

Neben der freien Strecke können F-LSA an unterschiedlichen Formen von AKP (Kreuzungen/Einmündungen) sowie an Einmündungen in unterschiedlicher Lage zu diesem Knotenpunkt (links/rechts der Einmündung, jeweils gesehen aus Sicht des Verkehrsteilnehmers aus der untergeordneten Zufahrt) installiert sein (siehe Bild 30). Die Verteilung auf die vier Lagetypen ist über die Steu-

erungsvarianten ähnlich, nur bei der Steuerungsvariante 3 ist der Anteil an F-LSA auf der freien Strecke geringer, dafür der Anteil an F-LSA links einer Einmündung höher (siehe Bild 31).

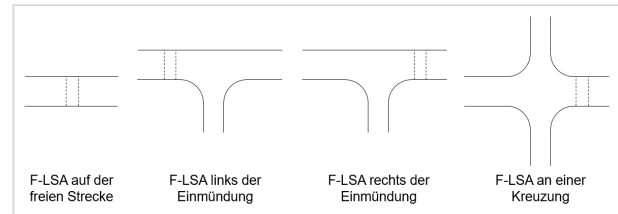


Bild 30: Varianten der Lage einer F-LSA im Bezug zu Anschlussknotenpunkten

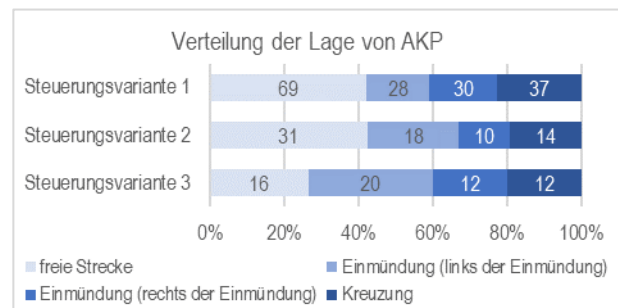


Bild 31: Verteilung der Lage der F-LSA in Bezug zu Anschlussknotenpunkten je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl

Innerhalb jeder der drei Steuerungsvarianten liegt die jeweils niedrigste UKR(P,S) bei Anlagen auf der freien Strecke vor (siehe Bild 32). Dort sind die Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten gering, die Steuerungsvariante 1 weist eine etwas höhere mittlere UKR(P,S) auf als die Steuerungsvarianten 2 und 3. Dies stützt die eingangs aufgestellte These 3 (Sogwirkung durch die permanente Sichtbarkeit des Grünlichts) und widerspricht zugleich der These 4 (Überraschungseffekt infolge des Einschaltens der Signalgeber).

Bei der Steuerungsvariante 3 liegen deutlich niedrigere UKR(P,S) der Fahrurfälle vor. Da die Steuerungsvarianten 1 und 2 jeweils ähnliche UKR(P,S) dieses Unfalltyps aufweisen, ist dies aber nicht auf den in These 4 beschriebenen Überraschungseffekt zurückzuführen. Vielmehr ist vom Einfluss anderer, nicht auf die Steuerungsvariante zu beziehenden Faktoren auszugehen.

Die jeweils höchste mittlere UKR(P,S) weisen die F-LSA links von Einmündungen die UKR(P,S) auf, wobei sich an Anlagen der Steuerungsvariante 2 ein deutlich höheres Unfallgeschehen zeigt als an den (in etwa gleich unfallbelasteten) Anlagen der Steuerungsvarianten 1 und 3. Die Steuerungsvariante 2 weist auch bei F-LSA rechts einer Einmündung sowie bei F-LSA an Kreuzungen die höchste UKR(P,S) auf, bei beiden Knotenpunktformen ist

die UKR(P,S) der Steuerungsvariante 1 etwas höher als die UKR(P,S) der Steuerungsvariante 3. Entsprechend ist davon auszugehen, dass die erhöhte UKR(P,S) der Steuerungsvariante 2 nicht mit der Dunkelschaltung der Kfz-Signalgeber im Zusammenhang steht.

Unklar ist, warum die UKR(P,S) an Anlagen links einer Einmündung – unabhängig von der Steuerungsvariante – gegenüber den anderen Formen der Anordnung der F-LSA erhöht ist. Aggregiert über alle Steuerungsvarianten liegt die UKR(P,S) bei allen sieben Unfalltypen an Anlagen links der Einmündung höher als bei Anlagen rechts der Einmündung. Möglicherweise spielen dabei die bei Sperrung des Kfz-Verkehrs jeweils durchführbaren Fahrmanöver eine Rolle: So ist bei F-LSA links einer Einmündung im Falle der Sperrung des Kfz-Verkehrs weiterhin das Linksabbiegen und Rechtseinbiegen, bei LSA rechts der Einmündung weiterhin das Rechtsabbiegen und Linkseinbiegen möglich.

Da der Gegenstand dieses Forschungsprojekts der Vergleich der drei Steuerungsvarianten und nicht die grundsätzliche Bewertung der Sicherheit von F-LSA ist, wird auf eine vertiefte Untersuchung – z.B. auch mit entsprechenden Videoanalysen – verzich-

tet. In diesem Punkt besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf, da angesichts der erheblichen Unterschiede in der UKR(P,S) relevante Sicherheitspotentiale bei der Festlegung der Lage einer F-LSA an einer Einmündung vermutet werden können.

Bei Verwendung der Unfalldichte UD(P,S) statt der UKR(P,S) ändern sich die beschriebenen Ergebnisse nur insofern, als dass bei der Steuerungsvariante 2 kein erhöhtes Unfallgeschehen mehr erkennbar ist, zudem sind die Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten 1 und 3 an Einmündungen und Kreuzungen größer (siehe Bild 33).

Dies zeigt, dass die hohe UKR(P,S) der Steuerungsvariante 2 v.a. auf einen geringeren DTV an einigen F-LSA zurückzuführen ist. Verstärkend kommt hinzu, dass hierbei nur der DTV der Haupttrichtung berücksichtigt wird, der (i.d.R. unbekannt) DTV der untergeordneten Zufahrt jedoch ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf das Unfallgeschehen an den Knotenpunkten hat. Je geringer der DTV der Haupttrichtung, desto (relativ) stärker wirken sich Unterschiede in der Verkehrsstärke der untergeordneten Zufahrt auf die UKR(P,S) aus.

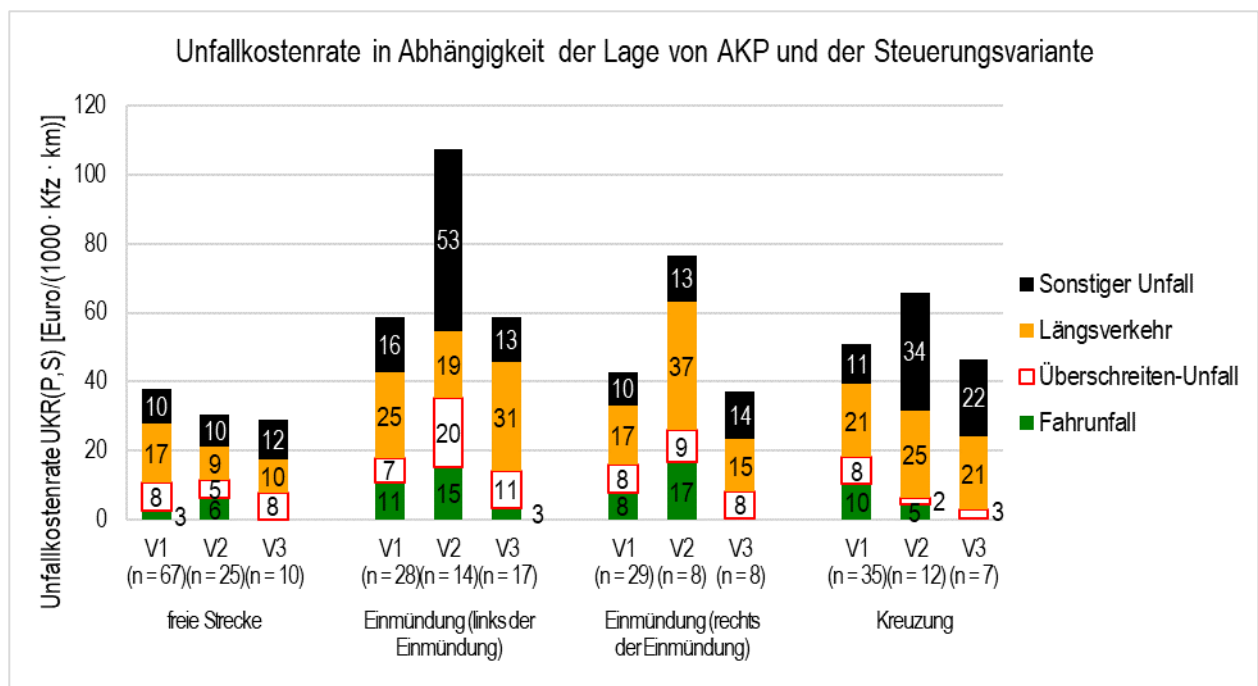


Bild 32: Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Lage von AKP und der Steuerungsvariante

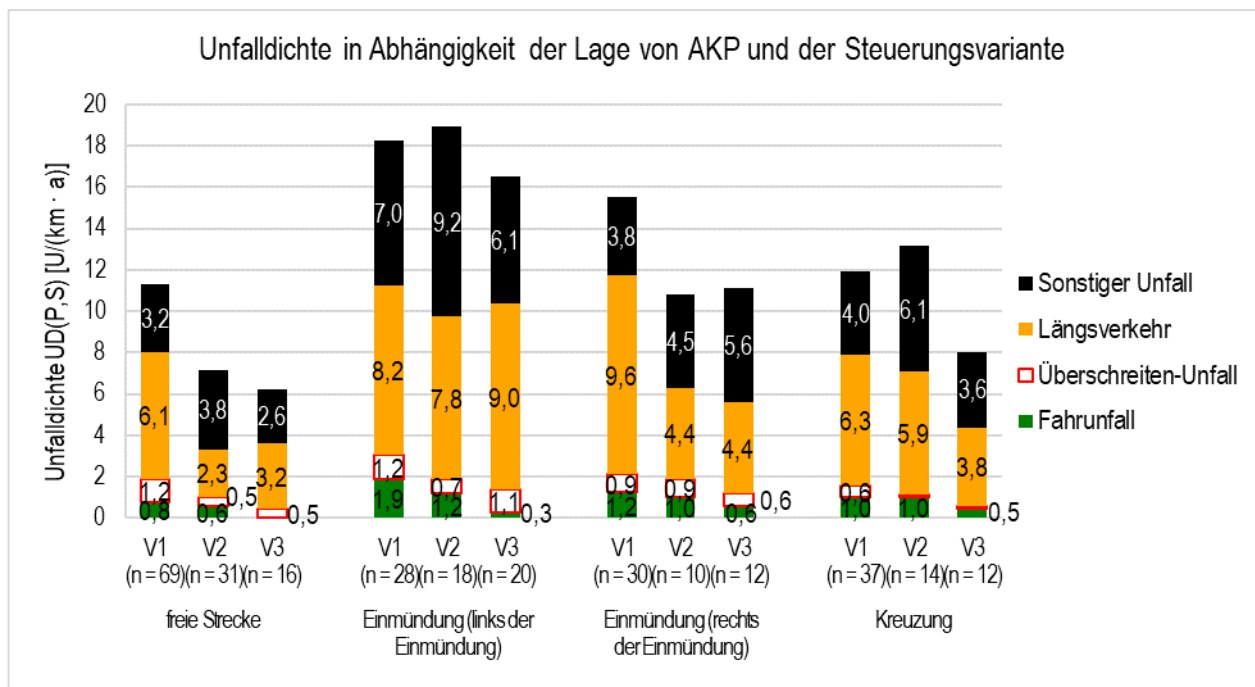


Bild 33: Unfallichte in Abhängigkeit der Lage von AKP und der Steuerungsvariante

In der Befragung wurde im Hinblick F-LSA an AKP die Befürchtung geäußert, dass die Dunkelschaltung der Kfz-Signalgeber bei einbiegenden Kfz zu einem häufigeren Übersehen des eingeschalteten Sperrsignals führt. Dies würde sich in einem vermehrten Auftreten von Unfällen infolge von Rotlichtverstößen äußern. Da die Steuerungsvarianten 2 und 3 aus Sicht der Kfz-Führer die gleiche Schaltung aufweisen, werden diese beiden Varianten für diese Analyse zusammengefasst. Für die Analyse wird auf die Unfallraten UR (Unfälle je Kfz) zurückgegriffen, da Rotlichtverstöße punktuelle Ereignisse ohne Zusammenhang mit der Länge der betrachteten Anlagen- und Annäherungsbereiche darstellen.

Die Befürchtung des vermehrten Auftretens von Rotlichtverstößen bestätigt sich nicht: bei Anlagen auf der freien Strecke, links der Einmündung und an Kreuzungen ist die $UR_{Rot, Kfz}$ jeweils bei der Steuerungsvariante 1 höher als bei den Dunkel-Anlagen, bei F-LSA rechts der Einmündung ist sie auf ähnlichem Niveau. Zur vertieften Analyse der Unfälle infolge von Rotlichtverstößen siehe Abschnitt 4.3.3.

4.3.2 Infrastruktur und Verkehr

Einfluss des Querungsbedarfs

Die Nutzung des Umfeldes einer F-LSA und der daraus resultierende Querungsbedarf für Fußgänger (vgl. Abschnitt 4.2.1) haben Einfluss auf das Verkehrsgeschehen. Im Folgenden wird analysiert, ob

sich dieser Einfluss auch im Unfallgeschehen manifestiert. Aufgrund der z.T. geringen Fallzahlen in den Klassen je Steuerungsvariante werden alle Anlagen in zwei Klassen (geringer bis mittlerer sowie hoher und sehr hoher Querungsbedarf) zusammengefasst.

Eine Differenzierung der Überschreiten-Unfälle bzw. der Unfälle mit Fußgängerbeteiligung nach Querungen an der F-LSA und in deren Umfeld wäre wünschenswert. Allerdings ist die Lokalisierung der Unfälle nicht genau genug, um anhand der Koordinaten zuverlässig zu bestimmen, ob sich ein Unfall auf der Furt oder in deren Umgebung ereignet hat.

Bei allen Steuerungsvarianten liegt die UD(P) der Unfalltypen 1, 4, 6 und 7 bei hohem Querungsbedarf höher als bei geringem bis mittlerem Querungsbedarf, wobei der Unterschied bei der Steuerungsvariante 3 besonders groß ausfällt (siehe Bild 34). Ebenso nimmt die UD(P) der Unfälle mit Beteiligung von Radfahrern, mit Beteiligung von Fußgängern sowie zwischen Fußgängern und Radfahrern bei allen drei Varianten jeweils mit zunehmendem Querungsbedarf zu. Bei geringem bis mittlerem Querungsbedarf ist die UD(P) sowohl der Typen 1, 4, 6 und 7, als auch des Fußverkehrs bei der Steuerungsvariante 1 jeweils am höchsten, bei der Steuerungsvariante 3 am niedrigsten. Beim Radverkehr schneidet die Steuerungsvariante 1 wiederum am schlechtesten, die Steuerungsvariante 2 am besten ab.

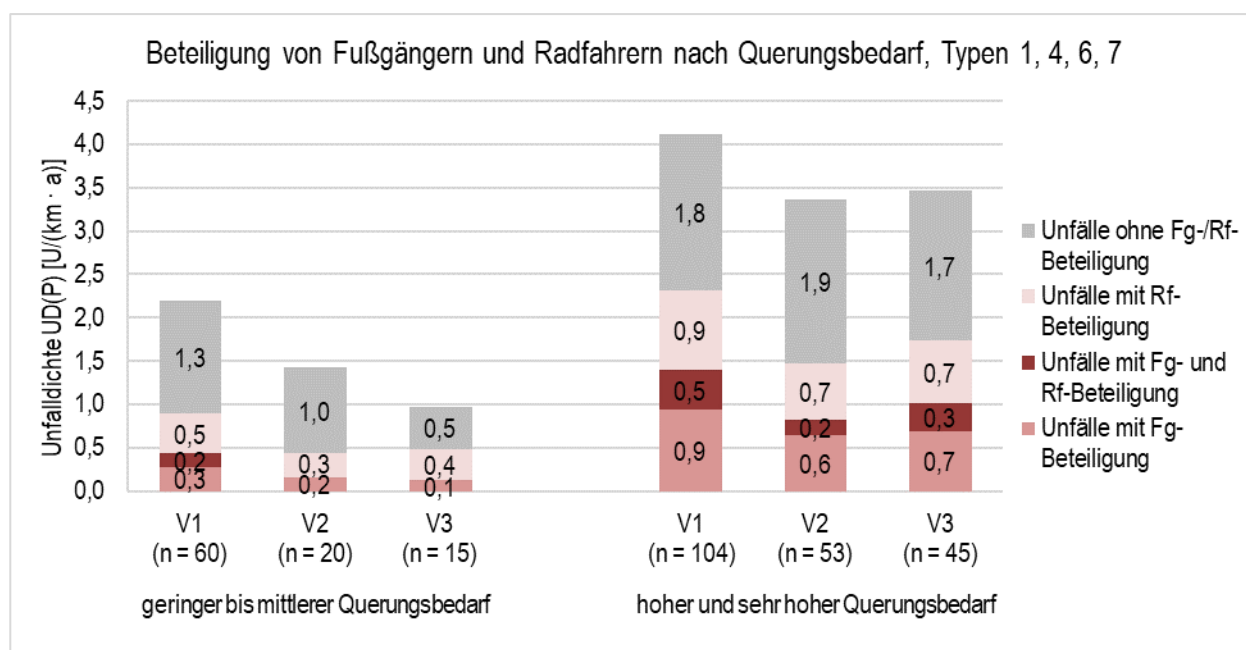


Bild 34: Beteiligung von Fußgängern und Radfahrern nach Querungsbedarf, Typen 1, 4, 6 und 7

Bei hohem und sehr hohem Querungsbedarf ist die UD(P) der Typen 1, 4, 6 und 7, des Fußverkehrs sowie des Radverkehrs jeweils bei der Steuerungsvariante 1 am höchsten und bei der Steuerungsvariante 2 am niedrigsten. Auch ereignen sich bei hohem und sehr hohem Querungsbedarf – anders als bei niedrigem Querungsbedarf – in größerem Umfang Unfälle zwischen nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern.

Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich keine Sicherheitsnachteile der Steuerungsvariante 3 gegenüber den Steuerungsvarianten 1 und 2 hinsichtlich des Fuß- oder Radverkehrs ableiten. Sowohl bei niedrigem bis mittlerem, als auch bei hohem bis sehr hohem Querungsbedarf schneidet die Steuerungsvariante 3 bzgl. der UD(P) des Fuß- und Radverkehrs besser ab als die Steuerungsvariante 1, bei niedrigem bis mittlerem Querungsbedarf auch besser als die Steuerungsvariante 2. Dies widerlegt bzgl. des Unfallgeschehens die Thesen 1 und 2, wonach sich bei den Varianten 2 und 3 durch Fehleinschätzungen der Verkehrslage und eine mangelnde Begreifbarkeit der Signalisierung mehr Überschreiten-Unfälle ereignen.

Einfluss des Kfz-Aufkommens

Ziel dieser Untersuchung bildet u. a. die Ableitung von Einsatzkriterien für die verschiedenen Steuerungsvarianten, z. B. in Abhängigkeit des Kfz-Auf-

kommens. Die Betrachtung der mittleren Verkehrsbelastungen über alle F-LSA einer Steuerungsvariante (wie in Bild 35) führt dabei allerdings nicht zu ausreichend differenzierten Aussagen, weshalb die Verteilung der Verkehrsbelastungen in Bild 36 anlagenfein berücksichtigt wird.

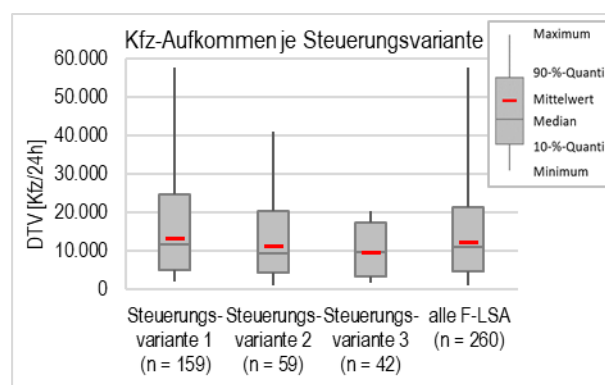


Bild 35: Kfz-Aufkommen in Abhängigkeit der Steuerungsvariante

Die Verteilung der Kfz-Aufkommen ist bei den drei Steuerungsvarianten ähnlich, bei Anlagen der Variante 3 ist das Niveau etwas geringer (siehe Bild 35). Allerdings wird die Steuerungsvariante 3 im Untersuchungskollektiv bis maximal 20.000 Kfz/24 h eingesetzt, während die anderen beiden Varianten auch an einzelnen Straßen mit über 30.000 Kfz/24 h eingesetzt werden.

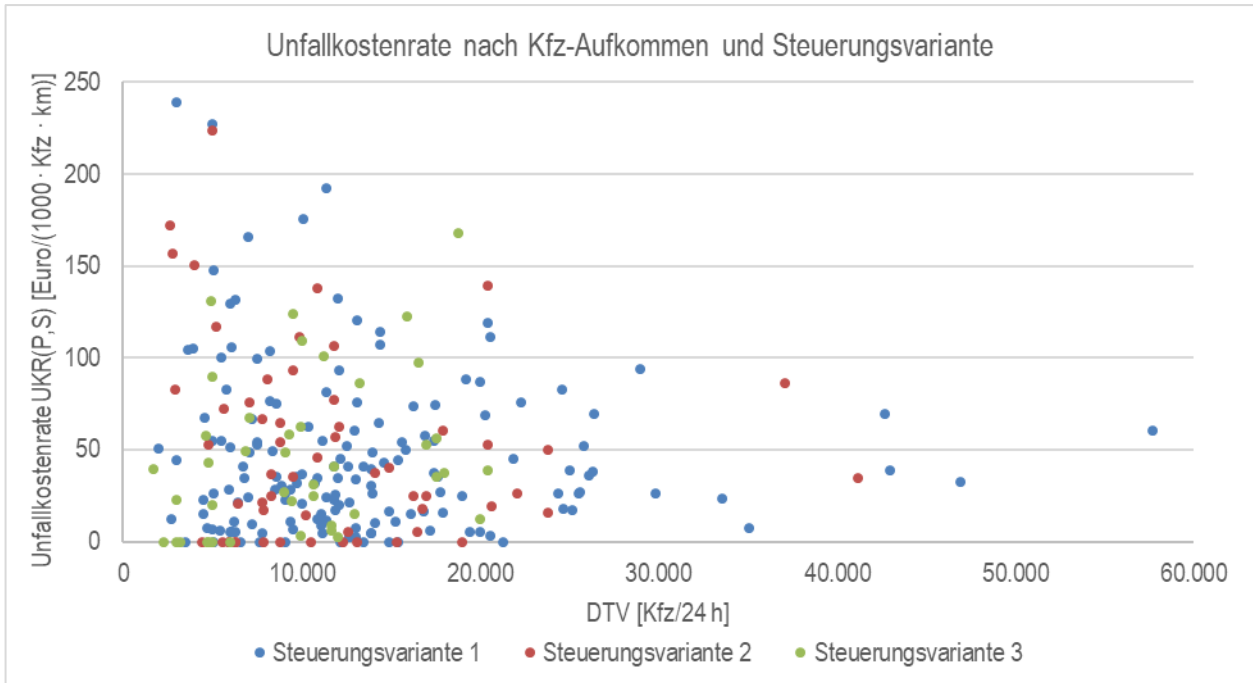


Bild 36: Unfallkostenrate der Unfalltypen 1, 4, 6 und 7 in Abhängigkeit des Kfz-Aufkommens und der Steuerungsvariante

Hinsichtlich möglicher Einsatzbereiche ist u. a. von Interesse, ob eine der Steuerungsvarianten in einem bestimmten Kfz-Aufkommensbereich besonders sicher oder besonders unfallauffällig ist. Dazu erfolgen Analysen anhand der UKR(P,S) in Abhängigkeit des Kfz-Aufkommens. Erkennbare Abweichungen von der zu erwartenden Verteilung ergeben sich dabei nicht (siehe Bild 36). Die UKR(P,S) streut bei geringem Kfz-Aufkommen stärker, UKR(P,S) von über 200 Euro/(1000-Kfz-km) treten nur bei sehr geringem DTV auf.

Bei den klassierten Kfz-Aufkommen zeigt sich hinsichtlich der mittleren UKR(P,S) eine deutlich erhöhte UKR(P,S) der Steuerungsvariante 2 bei Kfz-Aufkommen unter 8.000 sowie eine etwas erhöhte UKR(P,S) bei der Steuerungsvariante 3 bei Kfz-Aufkommen über 16.000 Kfz/24 h (siehe Bild 37). Ersteres ist vor allem auf Fahrnufälle und sonstige Unfälle zurückzuführen, zweites beruht auf einer deutlich erhöhten UKR(P,S) der Unfälle im Längsverkehr. Die anderen Klassen und Steuerungsvarianten weisen ähnliche UKR(P,S) auf.

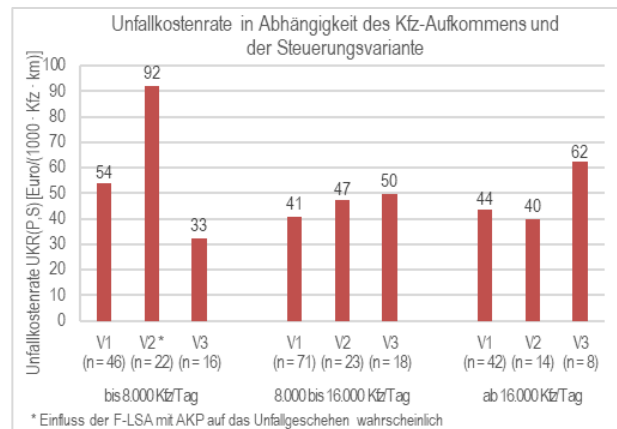


Bild 37: Unfallkostenrate der Unfalltypen 1, 4, 6 und 7 in Abhängigkeit des klassierten Kfz-Aufkommens und der Steuerungsvariante

Bei der Unfalldichte U(P) in Abhängigkeit von der Beteiligung des Fuß- und Radverkehrs ergeben sich ähnliche Ergebnisse (siehe Bild 39): Bei Kfz-Aufkommen bis 8.000/24 h weist die Steuerungsvariante 3 die niedrigste UD(P) sowohl der Fuß-, als auch der Radverkehrsunfälle auf. Bei Kfz-Aufkommen von 8.000 bis 16.000/24 h nimmt die UD(P) der Unfälle mit Fußgängerbeteiligung von der Steuerungsvariante 1 über die Variante 2 bis zur Steuerungsvariante 3 leicht zu. Bei hohen Verkehrsstärken ab 16.000 Kfz/24 h weist die Steuerungsvariante 2 sowohl bei Fuß-, als auch bei Radverkehrsunfällen die niedrigste, die Steuerungsvarianten 1 und 3 jeweils höhere UD(P) auf.

Zum Teil lässt sich dieser Anstieg der Unfälle des nichtmotorisierten Verkehrs bei der Steuerungsvariante 3 bei hohem Kfz-Aufkommen auf eine erhöhten Querungsbedarf zurückführen: Die Steuerungsvariante 3 hat in jeder der Klassen den niedrigsten Anteil an Anlagen mit geringem Querungsbedarf, in den beiden Klassen ab 8.000 Kfz/24 h zudem den höchsten Anteil an Anlagen mit hohem und sehr hohem Querungsbedarf (siehe Bild 38).

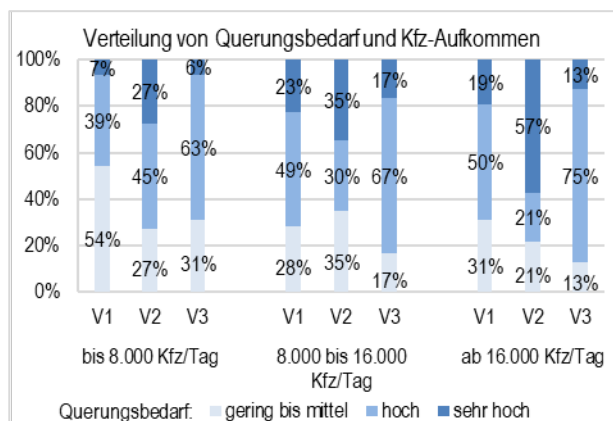


Bild 38: Verteilung des Querungsbedarfs und des Kfz-Aufkommens je Steuerungsvariante

Unfälle zwischen Fuß- und Radverkehr spielen bei geringen Kfz-Stärken keine Rolle und nehmen mit steigendem Kfz-Aufkommen zu, was – unabhängig von der Steuerungsvariante – vermutlich auf die Verlagerung des Radverkehrs in den Seitenraum bei höheren Kfz-Aufkommen zurückzuführen ist (siehe Bild 39).

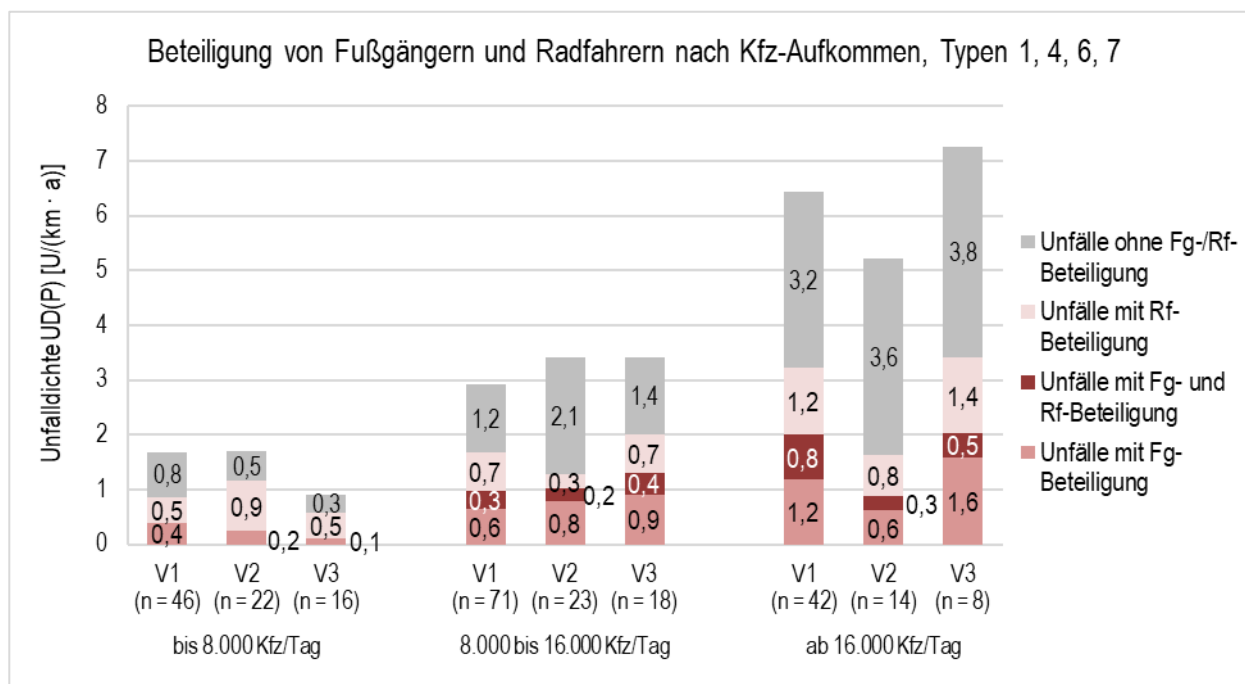


Bild 39: Unfalldichte nach Beteiligung des nichtmotorisierten Verkehrs in Abhängigkeit des Kfz-Aufkommens

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Steuerungsvariante 3 bei Verkehrsstärken bis 8.000 Kfz/24 h sowohl bzgl. aller Unfälle, als auch bzgl. der Unfälle des nichtmotorisierten Verkehrs besser abschneidet als die Steuerungsvarianten 1 und 2. Bei mittlerem Verkehrsaufkommen sind die Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten vergleichsweise gering. Bei hohen Aufkommen des Kfz-Verkehrs schneidet die Steuerungsvariante 3 schlechter ab als die Steuerungsvariante 1, diese weist wiederum ein etwas höheres Unfallgeschehen auf als die Steuerungsvariante 2.

Dies deutet darauf hin, dass die These 1 in Bezug auf vermehrte Überschreiten-Unfälle bei steigendem Kfz-Aufkommen bei der Steuerungsvariante 1 zutrifft. Aufgrund des Einflusses des Querungsbedarfs und dem hohen Anteil an Anlagen mit hohem und sehr hohem Querungsbedarf bei der Steuerungsvariante 3 ist diese Erkenntnis an dieser Stelle jedoch vorsichtig zu interpretieren.

Fahrbahnbreite und Mitteltrennung

Statt der Zahl der Fahrstreifen wird im Folgenden die Fahrbahnbreite als Stellvertretergröße verwendet, da häufig eine Zuordnung von Fahrbahnen zu einer Ein oder Zweistreifigkeit nicht eindeutig möglich ist (z.T. bei fehlender Markierung, aber de facto zweistreifiger Nutzung). Zudem gibt die Fahrbahnbreite die von Fußgängern beim Queren zurückzulegende Strecke besser wieder als die Anzahl der Fahrstreifen. Die Verteilung der Anlagen nach Fahrbahnbreite und Existenz einer Mitteltrennung (Mittelinsel, -streifen sowie besondere Bahnkörper in Mittellage) ist in Bild 40 dargestellt.

Aufgrund der geringen Fallzahlen erfolgt bei Querschnitten mit Mitteltrennung keine weitere Differenzierung, weder nach Fahrbahnbreite, noch nach Art der Mitteltrennung. Bei den Steuerungsvariante 1 und 2 verteilen sich die Anlagen mit Mitteltrennung jeweils rund zur Hälfte auf Mittelinsel/-streifen und besondere Gleiskörper in Mittellage, bei der Steuerungsvariante 3 existieren nur Mittelinseln und Mittelstreifen.

Die UD(P,S) ist bei Anlagen mit Mitteltrennung deutlich höher als bei Anlagen ohne Mitteltrennung sowie bei breiteren Fahrbahnen deutlich höher als bei schmaleren Fahrbahnen. Jedoch ist die UKR(P,S) über die drei Querschnittstypen sowohl absolut, als auch in Bezug auf die Verteilung der Unfalltypen ähnlich (siehe Bild 41 und Bild 42).

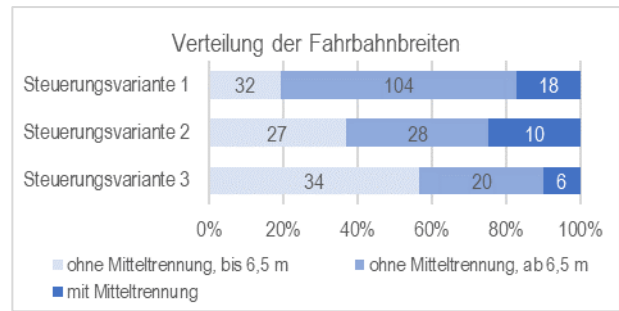
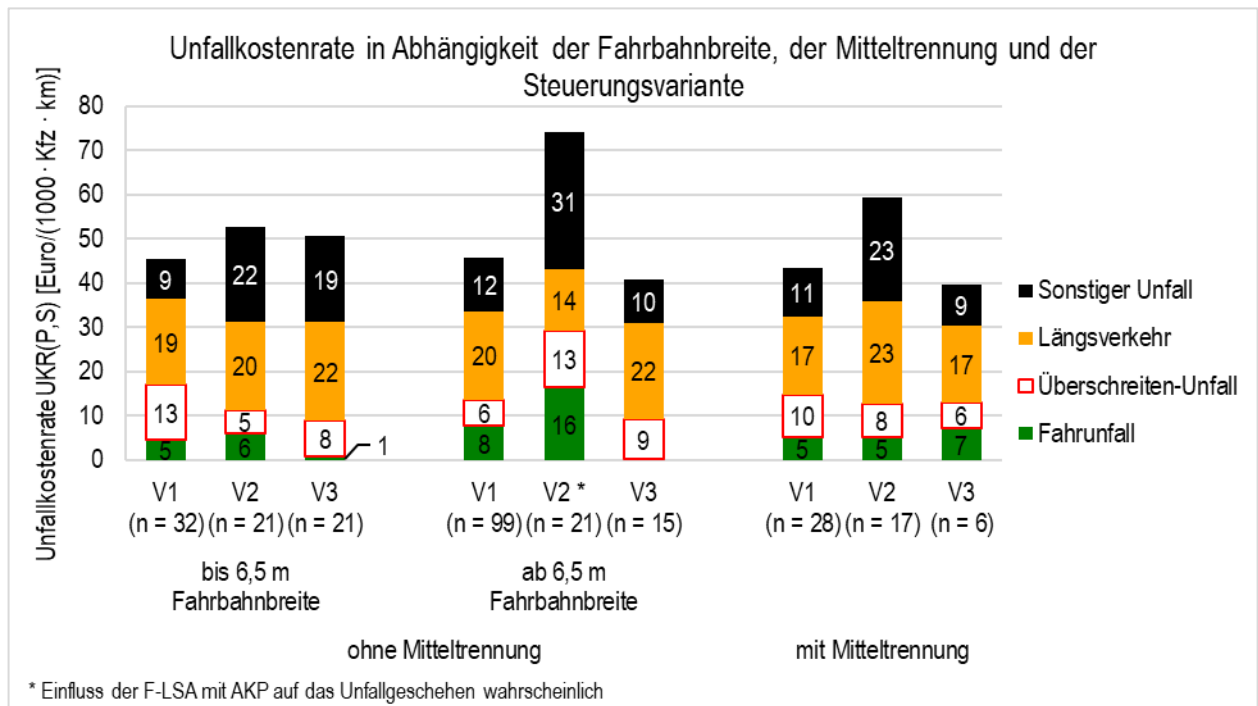


Bild 40: Verteilung der Fahrbahnbreiten und der Mitteltrennungen je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl

Bei der UKR(P,S) schneidet bei den drei Querschnittstypen die Steuerungsvariante 2 am schlechtesten ab, wobei der Unterschied bei einbahnigen Straßen bis 6,5 m gering, bei Fahrbahnen ab 6,5 m Breite hoch ausfällt. Dies ist v.a. auf Fahrurfälle sowie die sonstigen Unfälle zurückzuführen.

Bei Fahrbahnen ohne Mitteltrennung bis 6,5 m Breite sind bei der Steuerungsvariante 1 die Überschreiten-Unfälle auffällig. Das Unfallgeschehen an Anlagen der Steuerungsvariante 3, bei denen das ungesicherte Queren der Fahrbahn erlaubt ist, zeigt dagegen bzgl. der Überschreiten-Unfälle keine Auffälligkeit, die einem Einsatz an breiteren Querschnitten widerspricht.



* Einfluss der F-LSA mit AKP auf das Unfallgeschehen wahrscheinlich

Bild 41: Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite, der Mitteltrennung und der Steuerungsvariante

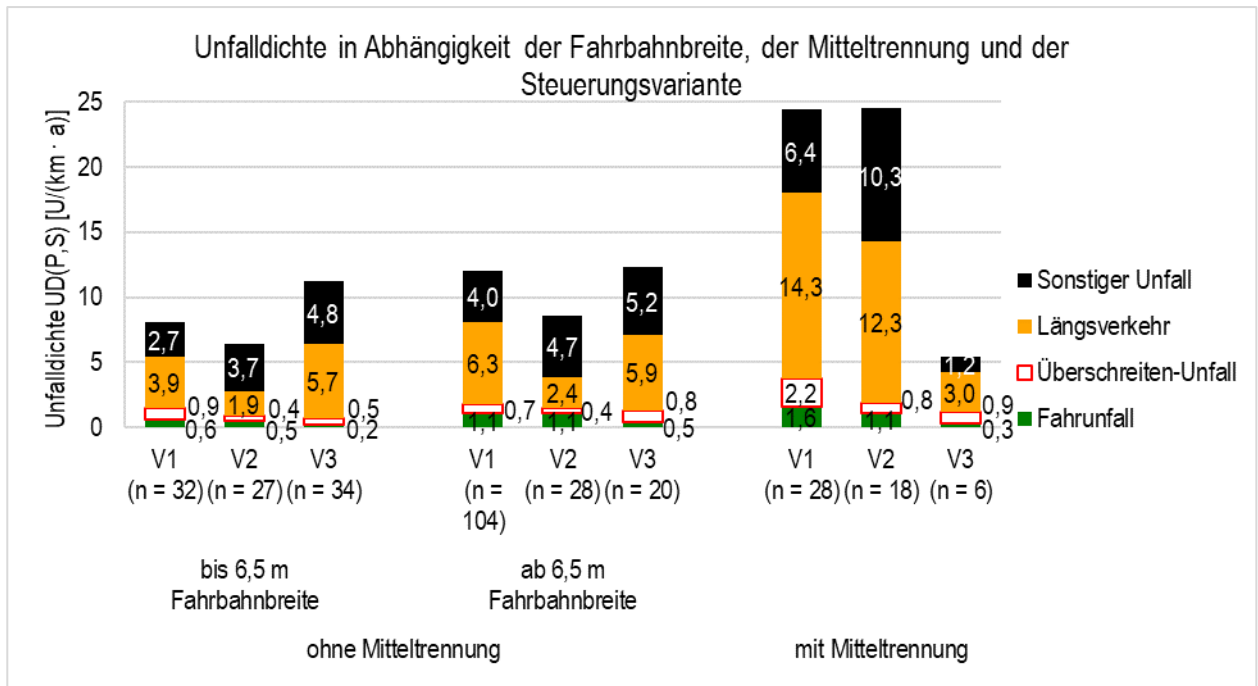


Bild 42: Unfalldichte in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite, der Mitteltrennung und der Steuerungsvariante

Ruhender Verkehr

Da die Aufnahme der Anlagen des ruhenden Verkehrs für beide Seiten der F-LSA getrennt mit den Ausprägungen „kein Parken“, „einseitiges Parken“ und „beidseitiges Parken“ erfolgte (siehe Abschnitt 4.2.1), ergeben sich sechs Varianten der Anordnung des ruhenden Verkehrs an F-LSA:

- kein Parken im Umfeld der F-LSA
- auf einer Seite der F-LSA einseitiges Parken
- auf beiden Seiten der F-LSA einseitiges Parken
- auf einer Seite der F-LSA beidseitiges Parken
- auf einer Seite der F-LSA einseitiges und auf der anderen Seite beidseitiges Parken
- auf beiden Seiten der F-LSA beidseitiges Parken

Durch diese Variationen werden Fallzahlen bei einigen Gruppen klein. Deshalb werden die sechs Gruppen folgendermaßen zusammengefasst (siehe Bild 43):

- kein Parken: kein Parken im Umfeld der F-LSA
- einseitig Parken: auf einer oder auf beiden Seiten der F-LSA einseitiges Parken
- beidseitig Parken: auf einer oder auf beiden Seiten der F-LSA beidseitiges Parken

Die entsprechende Verteilung je Steuerungsvariante ist in Bild 44 dargestellt.

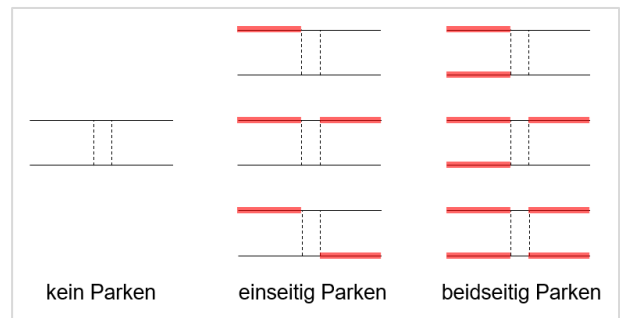


Bild 43: Möglichkeiten der Anordnung des ruhenden Verkehrs an F-LSA

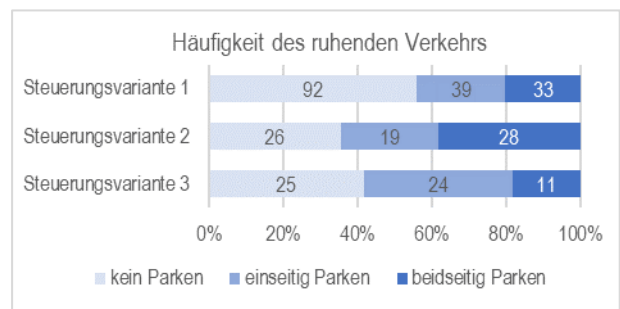


Bild 44: Verteilung des ruhenden Verkehrs je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl

Die mittlere UKR(P,S) unterscheidet sich zwischen den Steuerungsvarianten bei Anlagen ohne Parken und Anlagen mit einseitigem Parken nur in geringem Umfang (siehe Bild 45). Bei beidseitigem Parken ist die mittlere UKR(P,S) bei den Steuerungsvariante 1 und 2 erhöht, bei der Steuerungsvariante 3 ähnlich den Anlagen ohne Parken.

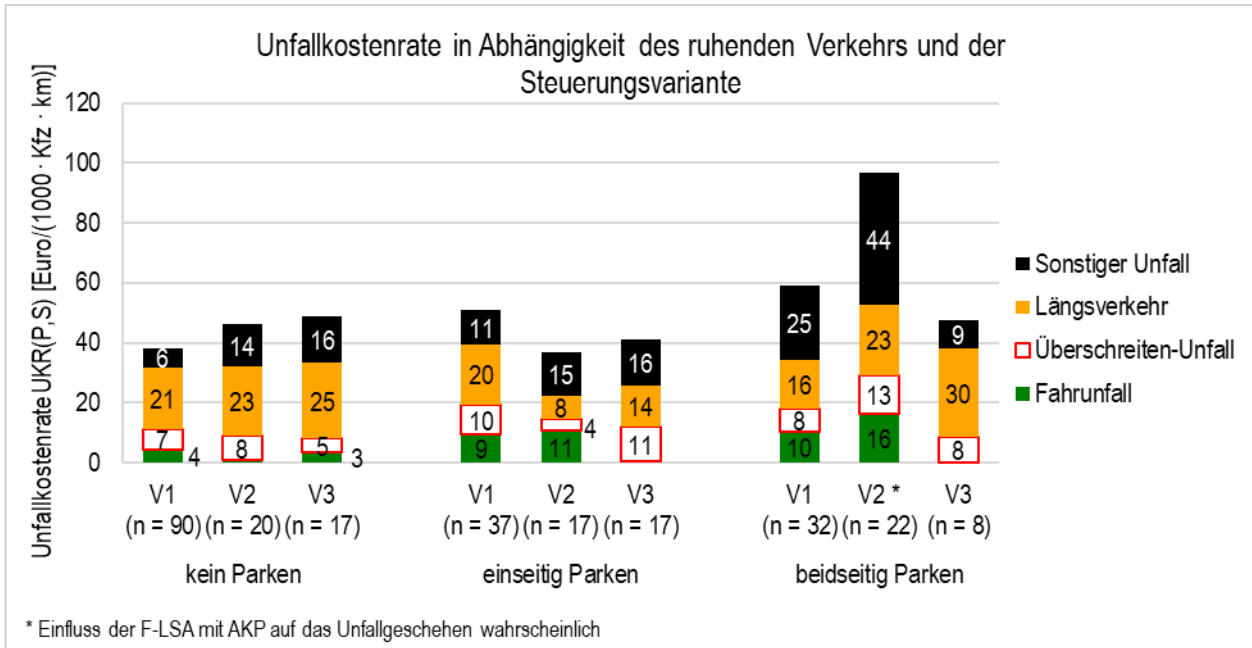


Bild 45: Unfallkostenrate nach Unfalltyp in Abhängigkeit der Anordnung des ruhenden Verkehrs sowie der Steuerungsvariante

Innerhalb der Gruppen ohne, mit einseitigem und mit zweiseitigem Parken ergibt sich bzgl. der Steuerungsvarianten ein uneinheitliches Bild: Bei Anlagen ohne Parken weist die Steuerungsvariante 1 die geringsten und die Steuerungsvariante 3 die höchste mittlere UKR(P,S) auf, bei Anlagen mit einseitigem Parken trifft dies auf die Steuerungsvariante 2 (niedrigste) und Steuerungsvariante 1 (höchste mittlere UKR(P,S)) zu.

In der Gruppe mit beidseitigem Parken liegt die UKR(P,S) wiederum bei Anlagen der Steuerungsvariante 3 am niedrigsten. Die höchste mittlere UKR(P,S) weisen Anlagen der Steuerungsvariante 2 auf, wobei dies den einzigen erheblichen Unterschied innerhalb einer der Gruppen darstellt. Diese hohe UKR(P,S) ist wiederum auch auf einen hohen Anteil an Anlagen mit AKP in den Annäherungsbereichen und einigen Anlagen mit geringem DTV zurückzuführen (siehe oben).

Diese uneinheitlichen Ergebnisse bzgl. des Einflusses des ruhenden Verkehrs auf die Verkehrssicherheit widerspricht den (häufig eindeutigen) Ergebnissen anderen Untersuchungen, nach denen ruhender Verkehr in Straßenräumen mit Querungsbedarf ein Sicherheitsdefizit darstellt (vgl. beispielhaft BERGER et al. (2020)). Deshalb wird an dieser Stelle der Aspekt des ruhenden Verkehrs noch einmal mit über die drei Steuerungsvarianten aggregierten Daten betrachtet.

Aggregiert über die Steuerungsvarianten ist die mittlere UKR(P,S) der F-LSA ist höher, je mehr ruhender Verkehr im Umfeld zugelassen ist. Von der

Gruppe „kein Parken“ über die Gruppe „einseitiges Parken“ bis zur Gruppe „beidseitiges Parken“ nimmt sowohl die mittlere UKR(P,S), als auch die mittlere UD zu (siehe Bild 46 und Bild 47). Die Zunahme von UKR(P,S) und UD geht dabei auf alle Unfalltypen mit Ausnahme der Unfälle im Längsverkehr (Typ 6) zurück und fällt bei den sonstigen Unfällen (Typ 7) besonders deutlich aus.

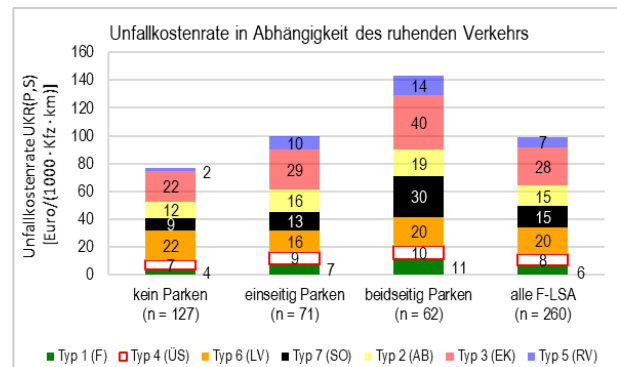


Bild 46: Unfallkostenrate nach Unfalltyp in Abhängigkeit der Anordnung des ruhenden Verkehrs

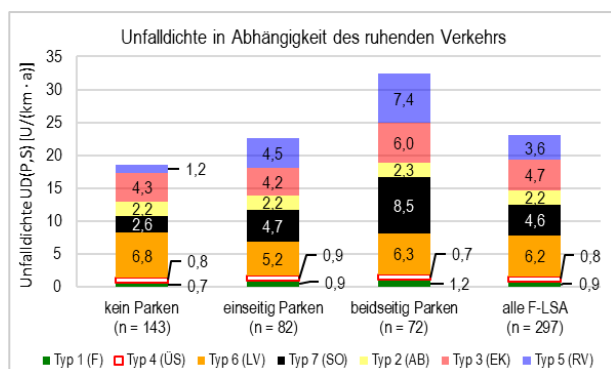


Bild 47: Unfalldichte nach Unfalltyp in Abhängigkeit der Anordnung des ruhenden Verkehrs

Während die mittlere UKR(P,S) der Überschreiten-Unfälle mit zunehmendem Parken zunimmt, bleibt der Anteil der bzgl. dieses Unfalltyps unfallfreien F-LSA nahezu unverändert (siehe Bild 48). Der mittlere DTV liegt über allen Gruppen auf einem ähnlichen Niveau, weshalb die steigende UKR(P,S) auf eine Zunahme der Anzahl der Überschreiten-Unfälle zurückzuführen ist. Veränderungen in der Unfallschwere spielen nur eine untergeordnete Rolle.

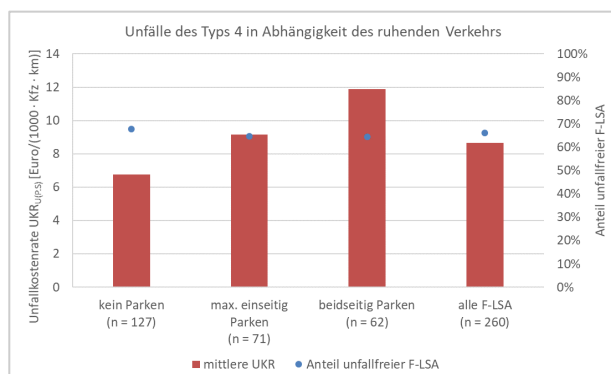


Bild 48: Unfallkostenrate der Überschreiten-Unfälle (Typ 4) und Anteil der hinsichtlich Typ 4 unfallfreien F-LSA in Abhängigkeit von Anlagen des ruhenden Verkehrs

Vorgezogene Seitenräume

An 22 % aller F-LSA existieren vorgezogene Seitenräume, die die Sichtverhältnisse zwischen Kfz und querenden Fußgängern verbessern sowie die Querungslänge reduzieren sollen (siehe Bild 49). Dabei sind vorgezogene Seitenräume bei Anlagen der Steuerungsvariante 2 etwas häufiger als bei Anlagen der Steuerungsvariante 1 und 3. Bzgl. des Unfallgeschehens sind vorgezogene Seitenräume v.a. hinsichtlich der Vermeidung von Überschreiten-Unfällen von Interesse.

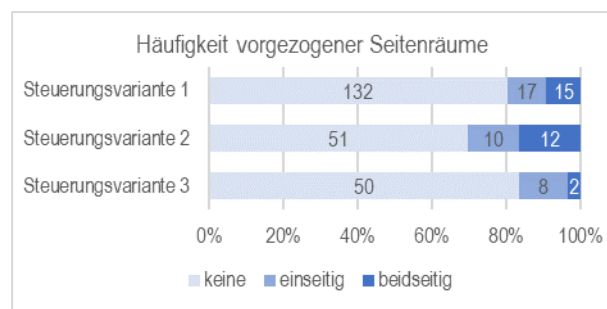


Bild 49: Häufigkeit vorgezogener Seitenräume je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl

Aggregiert über alle Steuerungsvarianten liegen sowohl Unfallkostenrate als auch Unfalldichte der Überschreiten-Unfälle bei Anlagen mit beidseitig vorgezogenen Seitenräumen höher als bei einseitig vorgezogenen Seitenräumen. Die niedrigsten Unfallkostenraten weisen Anlagen ohne vorgezogene Seitenräume auf. Dieser Effekt, der den gängigen Planungsempfehlungen zu widerspricht, ist womöglich darauf zurückzuführen, dass vorgezogene Seitenräume überwiegend an Stellen eingerichtet werden, an denen ein hoher Querungsbedarf besteht oder es in der Vergangenheit zu einem auffälligen Unfallgeschehen des Fußverkehrs gekommen ist. Ersterer Effekt zeigt sich auch in den vorliegenden Daten: So ist der bei Anlagen mit hohem und sehr hohem Querungsbedarf der Anteil mit beidseitig vorgezogenen Seitenräumen höher.

Hinsichtlich der Differenzierung nach Steuerungsvarianten sind keine eindeutigen Ergebnisse erkennbar: Bei Anlagen ohne vorgezogene Seitenräume weist die Steuerungsvariante 1 die höchste Unfallkostenrate und -dichte auf, bei einseitig vorgezogenem Seitenraum gilt dies für die Steuerungsvariante 3. Bei Anlagen mit beidseitig vorgezogenen Seitenräumen ist die Unfallkostenrate bei der Steuerungsvariante 2 und die Unfalldichte bei der Steuerungsvariante 1 am höchsten.

Sichtbehinderungen bei der Steuerungsvariante 3

Bei Anlagen der Steuerungsvarianten 1 und 2 sind Sichtbeziehungen zwischen querenden Fußgängern und dem Verkehr auf der Fahrbahn im Prinzip nicht sicherheitsrelevant, da die F-LSA eine zeitliche Trennung der Verkehrsströme sicherstellt. Bedeutung können die Sichtbeziehungen jedoch bei nachts abgeschalteten F-LSA sowie hinsichtlich der Querungen im Umfeld der F-LSA haben.

Bei der Steuerungsvariante 3 benötigt dagegen ein querender Fußgänger für die Entscheidung für oder gegen eine ungesicherte Querung eine ausreichende Sicht auf den Fahrbahnverkehr. Dabei können Sichtverdeckungen durch parkende Kfz (siehe

oben) entstehen, jedoch auch durch Werbetafeln, Begrünung oder ortsfeste Einrichtungen (bspw. Schaltkästen) bedingt sein.

Deshalb wurde für alle Anlagen der Steuerungsvariante 3 anhand verfügbarer Vor-Ort-Aufnahmen sowie online verfügbarer Luftbilder etc. qualitativ bewertet, ob ein- oder beidseitig Sichtverdeckungen vorliegen.

Bei Auswertung der Unfalldichte der Unfälle der Personenschäden zeigt sich eine deutliche Zunahme der Unfälle mit Beteiligung des Fußverkehrs bei einseitigen und zweiseitigen Sichtverdeckungen (siehe Bild 50). Während die Unfalldichte der Unfälle des nichtmotorisierten Verkehrs insgesamt aufgrund einer deutlichen Abnahme der Unfälle des Radverkehrs bei beidseitiger Sichtverdeckung nicht zunimmt, steigen sowohl die Unfalldichte der Fußgängerunfälle, als auch die Unfälle zwischen Fußgängern und Radfahrern deutlich an. Dieses Ergebnis weicht von der Verteilung des Unfallgeschehens auf Anlagen mit und ohne ruhenden Verkehr ab, da sicherheitsrelevante Sichtverdeckungen nicht nur durch ruhenden Kfz-Verkehr zustande kommen.

Die in Bild 50 dargestellten UD(P) des Radverkehrs sind bei beidseitiger Sichtverdeckung geringer als bei einseitiger oder keiner Sichtverdeckung. Womöglich spielt hierbei eine größere Aufmerksamkeit der Radfahrer eine Rolle. Zu berücksichtigen ist dabei zum einen, dass zum Radverkehrsaufkommen keine Daten vorliegen und die Abschätzung auch nicht – wie beim Fußverkehr – über die Analyse des Umfeldes erfolgt bzw. erfolgen kann. Zum anderen sind die bei der Querung der Fahrbahn durch Radfahrer registrierten Unfälle dem (in der Auswertung nicht berücksichtigten) Unfalltyp Einbiegen-/Kreuzen zuzuordnen, wobei darin wiederum auch durch das Einbiegen oder Kreuzen von Kfz an AKP verursachte Unfälle enthalten sind. Bei diesen, nicht in Bild 50 enthaltenen Einbiegen-/Kreuzen-Unfällen mit Beteiligung des Radverkehrs ist die UD(P) bei einseitiger Sichtverdeckung mit Abstand am höchsten, bei beidseitiger Sichtverdeckung etwas geringer als bei Anlagen ohne Sichtverdeckung.

Bei F-LSA mit der Steuerungsvariante 3 ist damit ein Sicherheitspotential im Hinblick auf den Fußverkehr erkennbar, entsprechend sollte deshalb eine ausreichende Sicht – bspw. unter Berücksichtigung der in der RAS 06 festgelegten Sichtbeziehungen für Querungsanlagen ohne Vorrang – sichergestellt werden. Dies kann bspw. durch das Abrücken der Parkstände von der Querungsstelle sowie dem Freihalten der Sichtdreiecke von Einbauten erfolgen.

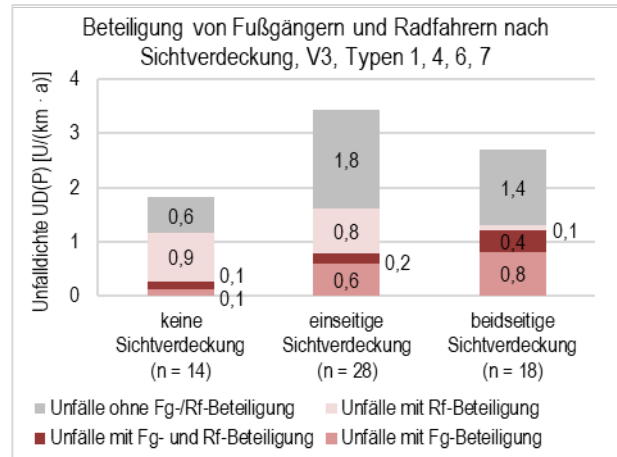


Bild 50: Beteiligung von Fußgängern und Radfahrern nach Sichtverdeckung bei Anlagen der Steuerungsvariante 3, Unfalltypen 1 (Fahrnfälle), 4 (Überschreiten), 6 (Längsverkehr), 7 (sonstige Unfälle)

Radverkehrsanlagen

Die erhobenen Radverkehrsführungen werden zu fünf Gruppen aggregiert:

- beidseitiger Mischverkehr (einschließlich Schutzstreifen)
- einseitiger Mischverkehr mit Seitenraumführung in der anderen Fahrtrichtung
- beidseitig benutzungspflichtige Seitenraumführung (Radwege, gemeinsame Geh- und Radwege)
- beidseitig Radfahrstreifen
- sonstige Kombinationen

Die Verteilung der F-LSA auf diese Gruppen ist in Bild 51 dargestellt. Beidseitige Führung im Mischverkehr und beidseitige Führung im Seitenraum sind ähnlich häufig und umfassen zusammen mehr als 80 % aller F-LSA.

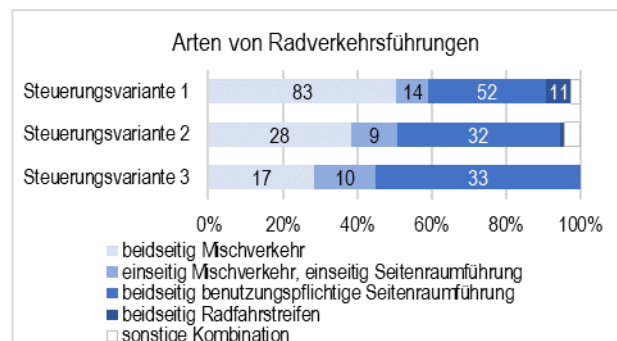


Bild 51: Verteilung der Art der Radverkehrsführung je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl

Bzgl. der Führung des Radverkehrs sind insbesondere Unfälle des Rad- und Fußverkehrs von Interesse. Da hierbei v.a. von einer starken Abhängig-

keit vom Aufkommen des nichtmotorisierten Verkehrs (statt des Kfz-Verkehrs) auszugehen ist, wird im Folgenden nur die Unfalldichte $U(P)$ betrachtet.

Ein Zusammenhang zwischen dem Unfallgeschehen des Radverkehrs und der Art der Radverkehrsführung einerseits und der Steuerungsvariante andererseits ist nicht erkennbar (siehe Bild 52). Tendenziell ereignen sich bei allen drei Führungsformen mehr Radverkehrsunfälle bei der Steuerungsvariante 1 als bei den Steuerungsvarianten 2 und 3, die Unterschiede sind jedoch gering. Größere Unterschiede gibt es bei den Unfällen zwischen Fuß- und Kfz-Verkehr sowie den Unfällen ohne Beteiligung des nichtmotorisierten Verkehrs. Bei diesen Unterschieden ist jedoch nicht von einem Zusammenhang mit der jeweils vorliegenden Form der Radverkehrsführung auszugehen.

Wie zu erwarten ereignen sich bei allen Steuerungsvarianten bei Seitenraumführung mehr Unfälle zwischen Fuß- und Radverkehr. Auch bei beidseitiger Führung auf Radfahrstreifen – die vollständig Steuerungsvariante 1 zuzuordnen sind – ist die hohe $UD(P)$ der Unfälle zwischen Fußgängern und Radfahrern auffällig. Aufgrund des vorliegenden Kollektivs lassen sich keine Erkenntnisse zum Einfluss der Steuerungsvariante 2 und 3 bei Radfahrstreifen ableiten.

Unabhängig von der Lage des Radweges ereigneten sich an Anlagen der Steuerungsvariante 1 die

meisten Unfälle zwischen Radfahren und Fußgängern: Die $UD(P)_{Rf/Fg}$ liegt dort 1,7 mal so hoch wie an Anlagen der Steuerungsvariante 3 und 2,6 mal so hoch wie an Anlagen der Steuerungsvariante 3.

Die Führung auf Hochbordradwegen kann entweder links oder rechts des F-LSA-Mastes erfolgen. Bei Führungen rechts des F-LSA-Mastes müssen Fußgänger zum Erreichen des Anforderungstasters den Radweg queren, womit eine erhöhte Gefahr für Unfälle zwischen Fußgängern und Radfahrern besteht.

An 146 F-LSA existieren Hochbordradweg, wobei bei 52 dieser Anlagen nur einseitig ein Radweg vorhanden ist. An diesen 146 F-LSA ereigneten sich im Betrachtungszeitraum insgesamt 32 Unfälle zwischen Fußgängern und Radfahrern.

Bei der Verteilung auf die beiden Positionen relativ zum LSA-Mast zeigen sich nur geringe Unterschiede: so liegt die mittlere $UD(P)_{Rf/Fg}$ bei der Führung rechts des LSA-Mastes mit $0,43 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$ nur geringfügig über dem Wert für die Führung links des LSA-Mastes ($0,39 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$).

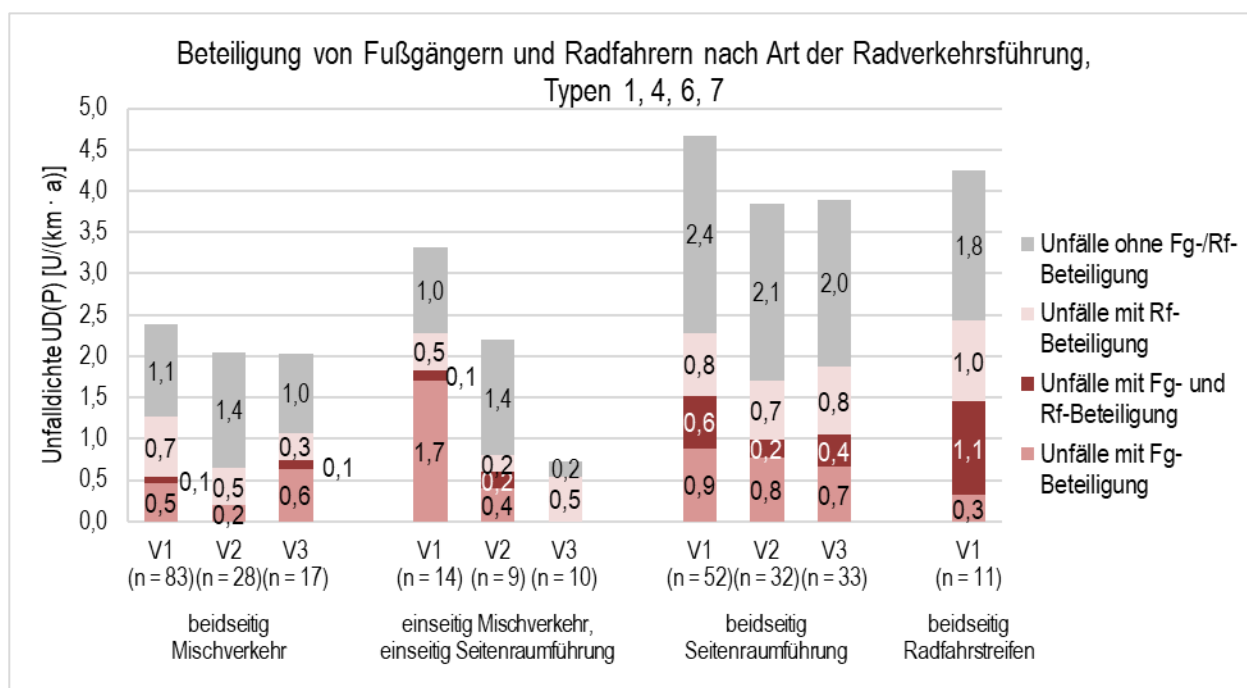


Bild 52: Beteiligung von Fußgängern und Radfahrern nach Art der Radverkehrsführung, Unfalltypen 1 (Fahrnfälle), 4 (Überschreiten), 6 (Längsverkehr), 7 (sonstige Unfälle)

4.3.3 Ausstattung und Steuerung der F-LSA

Signalisierung des Kfz-Verkehrs

Für den Kfz-Verkehr ergeben sich zwischen den Steuerungsvariante 1 und den Steuerungsvarianten 2 und 3 Unterschiede in der Signalisierung, die Einfluss auf den Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen haben können. So war bspw. in der Befragung die Missachtung/ das Übersehen des Rotsignals durch Kfz-Führer einer der am häufigsten genannten (befürchteten) Nachteile der Dunkelschaltungen.

Die Übergangszeit entspricht bei den meisten Anlagen den Vorgaben der technischen Regelwerke: Bei allen Anlagen der Steuerungsvariante 1 beträgt sie 3 Sekunden, bei allen Anlagen der Steuerungsvariante 3 je 5 Sekunden. Bei den Anlagen der Steuerungsvariante 2, bei denen ebenfalls nach Regelwerk 5 Sekunden vorzusehen ist, weisen 11 Anlagen eine Übergangszeit von nur 3 Sekunden auf. Die Mehrheit dieser Anlagen dient überwiegend der Sicherung der Querung über vergleichsweise schwach vom Kfz-Verkehr genutzte Straßen. Die Anlagen mit nur 3 Sekunden Übergangszeit sind gegenüber den Anlagen mit 5 Sekunden Übergangszeit bzgl. der Überschreiten-Unfälle und der Unfälle im Längsverkehr nicht auffällig.

Bei den Steuerungsvarianten 1 und 3 machen Unfälle im Längsverkehr (Typ 6) jeweils über 40 % der UKR(P,S) der relevanten Unfalltypen aus, bei der Steuerungsvariante 2 liegt der Anteil bei rund 30 % (vgl. Bild 22). Über alle Steuerungsvarianten entfallen zwei Drittel der Unfallkosten des Unfalltyps 6 auf die Unfallart 2 (Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet).

Unter der Annahme, dass Unfälle der Art 2 mit der Erkennbarkeit der Signalgeber einerseits und einem Überraschungseffekt durch das Einschalten der LSA bei den Steuerungsvariante 2 und 3 andererseits zusammenhängen können, werden die F-LSA der Steuerungsvariante 2 und 3 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass sowohl bei den Unfällen des Typs 6 als auch bei Unfällen der Art 2 die UKR(P,S) an LSA der Steuerungsvariante 1 und Dunkel-Anlagen eine nahezu identische UKR(P,S) aufweisen (siehe Bild 53).

Selbiges gilt für die Fahrurfälle (Unfalltyp 1), bei denen ebenfalls ein Zusammenhang mit Fehlreaktionen von Fahrzeugführern auf das Umschalten der LSA möglich ist: Auch bzgl. dieses Unfalltyps unterscheiden sich die Unfallkostenraten zwischen der Steuerungsvariante 1 und Dunkelanlagen kaum, die Dunkelanlagen schneiden minimal besser ab.

Damit lässt sich bzgl. der Thesen 3, 4 und 5 feststellen, dass aus dem Unfallgeschehen kein verstärktes Auftreten von Auffahrunfällen für die Steuerungsvarianten 2 und 3 ableitbar ist, weder durch das befürchtete Erschrecken von Verkehrsteilnehmern beim Einschalten der F-LSA, noch durch die bei Dunkelschaltungen längere Übergangszeit (Gelbphase).

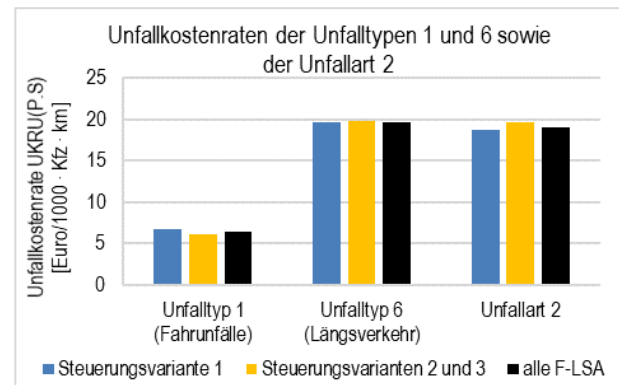


Bild 53: Unfallkostenraten der Unfalltypen 1 (Fahrurfälle) und 6 (Längsverkehr) sowie der Unfallart 2

Nach RiLSA 2015 muss jede F-LSA über mindestens 2 Kfz-Signalgeber je Fahrtrichtung verfügen. Da mindestens ein Signalgeber am rechten Fahrbahnrand angebracht werden muss, existieren drei Möglichkeiten zur Anordnung der Signalgeber:

- Signalgeber rechts und links
- Signalgeber rechts und überkopf
- Signalgeber rechts, links und überkopf.

Bei den Steuerungsvariante 1 und 2 sind jeweils über die Hälfte der F-LSA mit drei Signalgebern ausgestattet (siehe Bild 54). Bei der Steuerungsvariante 3 dominiert dagegen die Anordnung von zwei Signalgebern links und rechts der Fahrbahn.

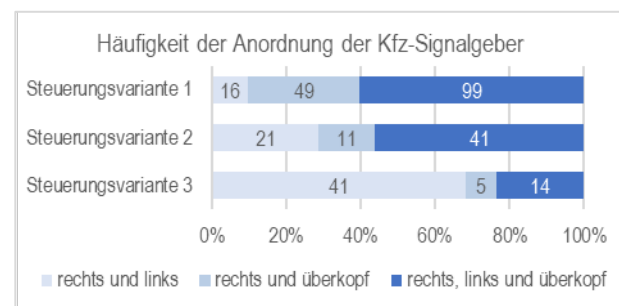


Bild 54: Häufigkeit der Anordnung der Kfz-Signalgeber je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl

Sowohl bei Anlagen der Steuerungsvariante 1, als auch bei Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3 weisen F-LSA mit Signalgeber rechts und überkopf die höchste UKR(P,S)_{Typ 6} und UKR(P,S)_{Art 2} auf

(siehe Bild 55). Die niedrigste UKR(P,S) liegt jeweils bei Anlagen mit Signalgebern rechts und links der Fahrbahn vor, wobei dieser Sicherheitsvorteil bei der Steuerungsvariante 1 stärker ausfällt. Womöglich ist dies darauf zurückzuführen, dass häufig bei (vermuteter oder vorhandener) Unfallauffälligkeit der (baulich aufwändige) Signalgeber überkopf gebaut oder nachgerüstet wird, die niedrige UKR(P,S) bei Anlagen ohne Signalgeber überkopf also nicht Folge des Fehlens dieses Signalgebers, sondern die Existenz des Signalgebers die Folge des Unfallgeschehens ist.

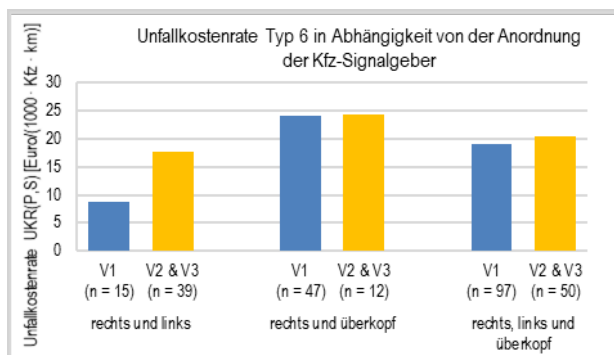


Bild 55: Unfallkostenrate des Unfalltyp 6 (Längsverkehr) in Abhängigkeit von der Anordnung der Kfz-Signalgeber und der Steuerungsvariante

Unfallursache Rotlichtverstoß von Fahrzeugführern

Rotlichtverstöße von Fahrzeugführern werden in der Unfallaufnahme durch die Unfallursache 31 (Nichtbeachten der Verkehrsregelung durch Polizeibeamte oder Lichtzeichen) gekennzeichnet. Zudem ergab eine Überprüfung der Unfälle mit Ursache 39 (Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern an Fußgängerfurten), dass auch diese häufig auf Rotlichtverstöße der Fahrzeugführer zurückzuführen und daher eigentlich der Ursache 31 zuzuordnen sind. Sofern dies aufgrund der Unfalltexte eindeutig war, wurde die Unfallursache für die Auswertung entsprechend geändert.

Im Rahmen der Auswertung zeigt sich, dass die gemeinsame Auswertung aller Verstöße von Fahrzeugführern nicht sinnvoll ist, da beim Radverkehr ansonsten Verstöße im Längs- und Querverkehr zusammengerechnet werden. Dies ist v. a. beim Vergleich der Steuerungsvarianten problematisch: Aus Sicht eines querenden Verkehrsteilnehmers sind die Funktionsweisen der Steuerungsvarianten 1 und 2 ähnlich, aus Sicht eines Verkehrsteilnehmers im Längsverkehr dagegen die Funktionsweisen der Steuerungsvarianten 2 und 3.

Im Untersuchungszeitraum waren 27 Unfälle an 22 Anlagen zu verzeichnen, bei denen einem Radfah-

rer die Unfallursache Rotlichtverstoß ($U_{\text{Rot, Rf}}$) zugeordnet wurde. Von allen Anlagen der Steuerungsvariante 1 sind 7 % unfallbelastet, bei der Steuerungsvariante 2 und 3 sind es jeweils 10 %. Zu berücksichtigen ist dabei, dass diese Rotlichtverstöße im Quer- und Längsverkehr begangen worden sein können und eine eindeutige Zuordnung zum Teil nicht möglich ist.

Insgesamt ereigneten sich im Kollektiv der 297 F-LSA an 34 F-LSA 42 Unfälle mit der einem Kfz zugeordneten Unfallursache Rotlichtverstoß ($U_{\text{Rot, Kfz}}$) (siehe Tab. 12). An 6 F-LSA ereigneten sich je zwei, an einer Anlage drei derartige Unfälle.

Der Anteil der bzgl. $U_{\text{Rot, Kfz}}$ belasteten F-LSA ist bei der Steuerungsvariante 3 mit 5 % am niedrigsten, im Vergleich zur Steuerungsvariante 1 (15 %) und 2 (8 %). Auch die mittlere Unfallrate der $U_{\text{Rot, Kfz}}$ liegt (bezogen auf die Anzahl der Kfz an den 260 Anlagen mit vorliegendem DTV) bei F-LSA der Steuerungsvariante 3 mit $3,4 U/(10^9 \text{ Kfz})$ unter denen der Steuerungsvariante 1 ($7,3 U/(10^9 \text{ Kfz})$) und der Steuerungsvariante 2 ($4,9 U/(10^9 \text{ Kfz})$). Bei allen drei Steuerungsvarianten weisen die mit $U_{\text{Rot, Kfz}}$ belasteten Anlagen einen – in Relation zur Gesamtheit aller Anlagen – tendenziell höheren DTV auf.

Hinsichtlich der Fragestellung, ob das Einschalten der LSA bei Dunkel-Anlagen eher zu einem Übersehen des Rotlichts oder zu einer besseren Wahrnehmung der LSA führt, können die Daten der Steuerungsvarianten 2 und 3 aufgrund des aus Sicht der Fahrbahnnutzer gleichen Funktionsprinzips zusammengefasst werden. Dabei sind bei Dunkel-Anlagen mit 7 % weniger F-LSA bzgl. $U_{\text{Rot, Kfz}}$ unfallbelastet als bei der Steuerungsvariante 1 (15 %). Die mittlere Unfallrate liegt bei den Dunkel-Anlagen mit $4,3 U/(10^9 \text{ Kfz})$ unter der Unfallrate der Steuerungsvariante 1 ($7,3 U/(10^9 \text{ Kfz})$).

Steuerungsvariante	$U_{\text{Rot, Kfz}}$	mittlere $U_{\text{Rot, Kfz}}$ [$U/10^9 \text{ Kfz}$]	Anteil F-LSA unfallbelastet
V1	31	7,3	15,2 %
V2	7	4,9	8,2 %
V3	4	3,4	5,0 %
V2 & V3	11	4,3	6,8 %
Alle F-LSA	42	6,1	11,4 %

Tab. 12: Unfallgeschehen durch Rotlichtverstöße von Kfz-Führern

Insgesamt lässt sich aus den Unfällen mit Rotlichtverstoß nicht ableiten, dass Dunkelschaltungen gegenüber der herkömmlichen Grundstellung von F-LSA Nachteile aufgrund der fehlenden Wahrnehmung der Signalisierung durch Kfz-Führer besitzen. Dies falsifiziert die These 5 bzgl. der Unfälle durch Rotlichtmissachtungen: Tendenziell bestätigen die

Daten die im Rahmen der Befragung geäußerte Vermutung, dass das Einschalten des Signals zu einer verbesserten Wahrnehmung führt.

Einfluss der Wartezeit der Fußgänger sowie Unfälle durch Rotlichtverstöße

Die Akzeptanz des Rotlichts durch Fußgänger hängt u. a. von der Länge der Sperrzeit ab. Die Sperrzeit an F-LSA wiederum wird durch verschiedene Parameter beeinflusst, bspw. Mindestfreigaben für Kfz, max. Sperrzeiten, Koordinierung für Kfz und ÖV-Bevorrechtigung.

Bei vielen Anlagen ist eine – aus den VTU ableitbare – maximale Wartezeit für Fußgänger festgelegt. Wie oft diese maximale Wartezeit in der Praxis auftritt, hängt z. B. von der Häufigkeit und Verteilung des Erreichens der F-LSA durch Fußgänger und der Häufigkeit und Art der ÖV-Bevorrechtigung ab.

Zum Teil ist zwar eine maximale Dauer vom Zeitpunkt der Anforderung bis zur Freigabe definiert, die jedoch aufgrund einer Anforderung durch ein ÖV-Fahrzeug außer Kraft gesetzt werden kann. Theoretisch können sich in diesen Fällen sehr lange Wartezeiten einstellen, sofern ÖV-Fahrzeuge in dichtem Takt folgen. Auch können die Wartezeiten zum Queren der gesamten Straße bei F-LSA über zwei Fahrbahnen mit getrennter Freigabe der Furten deutlich länger sein – im Extremfall so lang wie die Summe der ausgewiesenen maximalen Anforderungsdauern beider Furten.

Die maximale Anforderungsdauer reicht von 25 s bis zu 140 s bei einem Mittelwert von 62,5 s über alle Anlagen (siehe Bild 56). Die höchste mittlere Anforderungsdauer weisen Anlagen der Steuerungsvariante 3 auf, zugleich liegt hier auch die stärkste Streuung vor.

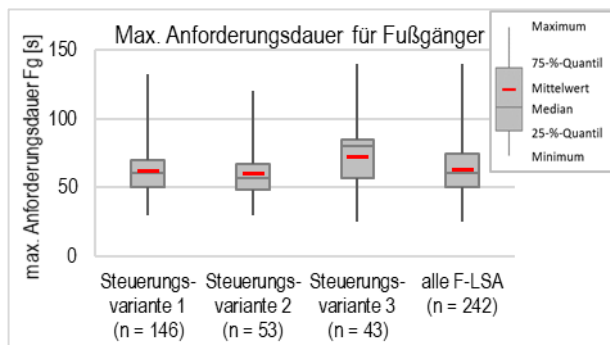


Bild 56: Maximale Anforderungsdauer für Fußgänger in Abhängigkeit der Steuerungsvariante

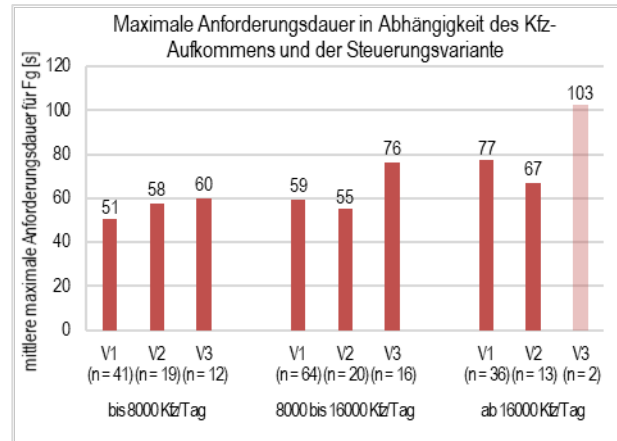


Bild 57: Maximale Anforderungsdauer für Fußgänger in Abhängigkeit des Kfz-Aufkommens

Die Verteilung der maximalen Anforderungsdauer in Abhängigkeit des Kfz-Aufkommens ist, differenziert nach Steuerungsvariante, in Bild 57 dargestellt. Unabhängig von der Klasse des Kfz-Aufkommens weisen Anlagen der Steuerungsvariante 3 die höchsten durchschnittlichen maximalen Anforderungsdauern auf. Bei geringem Kfz-Aufkommen ist die geringste durchschnittliche maximale Anforderungsdauer der Steuerungsvariante 1, bei mittlerem und hohem Kfz-Aufkommen der Steuerungsvariante 2 zuzuordnen. Werte oberhalb von 90 Sekunden liegen bei zehn Anlagen der Steuerungsvariante 1, einer Anlage der Steuerungsvariante 2 und drei Anlagen der Steuerungsvariante 3 vor.

Bei Klassierung der Anlagen nach der maximalen Anforderungsdauer zeigt sich bei der Steuerungsvariante 1 eine höhere UD(P) der Überschreiten-Unfälle in der Klasse mit Anforderungsdauern über 60 s (siehe Bild 58). Bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 ist die UD(P) in den Klassen mit größerer Anforderungsdauer jeweils niedriger. Innerhalb der Klasse mit einer Anforderungsdauer von unter 60 s ist die UD(P) über die drei Steuerungsvariante nahezu gleich. Bei Anforderungsdauern über 60 s ist eine Abnahme der UD(P) der Überschreiten-Unfälle von Steuerungsvariante 1 über 2 bis zur Steuerungsvariante 3 festzustellen. Die Anteile der F-LSA ohne Überschreiten-Unfall innerhalb des Untersuchungszeitraums verläuft jeweils analog.

Dies deutet daraufhin, dass bei der Steuerungsvariante 3 keine Sicherheitsdefizite infolge der Möglichkeit zur ungesicherten Querung auftreten (vgl. These 1): Auch bei – im Kollektiv im Durchschnitt vorliegenden – höheren Anforderungsdauern (und damit der Möglichkeit zur ungesicherten Querung bei zu erwartender längerer Wartezeit bei Anforderung) ist keine Zunahme von Unfällen zu verzeichnen, die aus riskanten Querungsvorgängen resultieren.

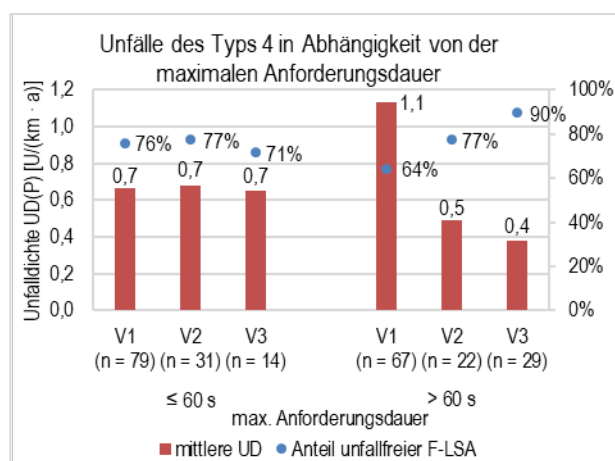


Bild 58: Unfalldichte der Überschreiten-Unfälle (Typ 4) und Anteil der im Hinblick auf Typ 4 unfallfreien F-LSA in Abhängigkeit von der maximalen Anforderungsdauer und der Steuerungsvariante

Spezifischer als der Unfalltyp 4 ist die Abgrenzung von Unfällen infolge von Rotlichtverstößen von Fußgängern $U_{\text{Rot, Fg}}$ über die Unfallursache 60: „Falsches Verhalten beim Überschreiten der Fahrbahn an Stellen, an denen der Fußgängerverkehr durch Polizeibeamte oder Lichtzeichen geregelt war“. Derartige Unfälle sind im Untersuchungskollektiv selten und ereigneten sich nur an 22 der 297 Anlagen. Nur an drei F-LSA wurde mehr als ein derartiger Unfall im Untersuchungszeitraum registriert, zwei dieser F-LSA sind Zugänge zur Haltestelle Nienburger Straße/Leibniz Universität in Hannover, die als Teil der Verkehrsversuche des AS 5 vorgesehen sind (siehe Kapitel 5).

Nur ein Unfall aller $U_{\text{Rot, Fg}}$ ereignete sich an einer Anlage der Steuerungsvariante 3. 4 der 22 Anlagen mit $U_{\text{Rot, Fg}}$ sind der Steuerungsvariante 2 und die restlichen 17 der Steuerungsvariante 1 zuzuordnen. Im Rahmen der Verkehrserhebungen und Versuche (siehe Kapitel 5) ist in diesem Zusammenhang die These zu prüfen, dass die prinzipielle Möglichkeit der Querung ohne Signalschutz bei Steuerungsvariante 3 zu einer größeren Akzeptanz des Rotlichts führt, was die niedrigere UKR(P,S) bei dieser Steuerungsvariante erklären könnte.

Die Anlagen mit $U_{\text{Rot, Fg}}$ weisen im Mittel mit 72 s eine höhere maximale Anforderungsdauer auf als Anlagen ohne derartige Unfälle (62 s).

4.4 Fazit

Die Analyse der Verkehrssicherheit erfolgt im Wesentlichen auf Basis der Unfallkostenraten (UKR), die für 260 Anlagen zur Verfügung stehen, sowie der Unfalldichte, die für 297 Anlagen verfügbar sind. Diese 297 Anlagen verteilen sich auf 164 F-LSA der

Steuerungsvariante 1, 73 F-LSA der Steuerungsvariante 2 sowie 60 F-LSA der Steuerungsvariante 3.

Für die Analyse stehen Unfalldaten für die Jahre 2014 bis 2018 zur Verfügung, insgesamt handelt es sich um 3.534 Unfälle, davon 1.047 U(P).

Aufgrund der Wirkungen einer F-LSA auf den Verkehrsablauf sowie den in dieser Untersuchung zu beantwortenden Fragestellungen wird sich bzgl. der Unfalltypen vor allem auf Fahrurfälle (Typ 1), Überschreiten-Unfälle (Typ 4), Unfälle im Längsverkehr (Typ 6) sowie sonstige Unfälle (Typ 7) konzentriert. Die mittlere UKR(P,S) dieser vier Unfalltypen über alle F-LSA liegt bei 49 Euro/(Kfz · km), die mittlere UD(P,S) bei 12,5 U/(km · a) und die mittlere UD(P) bei 3,2 U/(km · a)].

Die eingangs auf Basis der Ergebnisse von Literaturrecherche und Kommunalbefragung formulierten sechs Thesen sollen im Folgenden vor dem Hintergrund der im Rahmen der Unfallanalyse gewonnenen Erkenntnisse diskutiert werden.

Die These 1 greift die Befürchtung auf, dass sich an Anlagen der Steuerungsvariante 3 infolge einer Fehleinschätzung der Verkehrslage durch querende Fußgänger mehr Überschreiten-Unfälle (Unfalltyp 4) ereignen. Diese These kann nicht bestätigt werden: So liegt die mittlere UD(P) des Fußverkehrs an Anlagen mit geringem und mittlerem Querungsbedarf bei der Steuerungsvariante 3 niedriger als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2. Bei hohem und sehr hohem Querungsbedarf schneidet die Steuerungsvariante 3 zwar etwas schlechter ab als die Steuerungsvariante 2, jedoch besser als die Steuerungsvariante 1. Auch bei der nach Anforderungsdauer klassierten UD(P) der Überschreiten-Unfälle liegt die Steuerungsvariante 3 mit den Steuerungsvarianten 1 und 2 entweder gleichauf (bei Anforderungsdauern unter 60 s) oder weist (bei Anforderungsdauern über 60 s) eine niedrigere UD(P) auf. Es führen also bei der Steuerungsvariante 3 weder die gegenüber den Steuerungsvarianten 1 und 2 höheren mittleren Anforderungsdauern, noch der höhere mittlere Querungsbedarf zu mehr Überschreiten-Unfällen.

These 2 prüft, ob es aufgrund mangelnder Begreifbarkeit der Steuerungsvarianten 2 und 3 zu mehr Überschreiten-Unfällen kommt, v. a. in den Annäherungsbereichen, wenn Fußgänger, die sich in Längsrichtung auf die Signalanlage zubewegen, aufgrund der Signalstellung Dunkel beim Kfz-Verkehr von einer ausgeschalteten LSA ausgehen und trotz gewünschtem Signalschutz im Umfeld der F-LSA queren.

Die Unfalldaten widerlegen auch diese These 2. Zwar ist eine Differenzierung der Unfälle nach Anlagen- und Annäherungsbereich nicht möglich. Allerdings schneiden sowohl die Steuerungsvariante 3, als auch die Steuerungsvariante 2 hinsichtlich der Fußgängerunfälle im Allgemeinen und der Überschreiten-Unfälle im Besonderen besser ab als die Steuerungsvariante 1.

Die These 3 greift die Befürchtung auf, dass das bei der Steuerungsvariante 1 permanent sichtbare Grünlicht zu einer Sogwirkung für Kfz und deshalb zu höheren Geschwindigkeiten sowie mehr und schwereren Unfällen im Längsverkehr bzw. bei der Unfallart 2 führt. Eine ähnliche Thematik behandelt These 4, wonach bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 das Einschalten des Signals die Kfz-Führer überrascht, was durch plötzliche Bremsmanöver zu mehr Unfällen im Längsverkehr bzw. bei der Unfallart 2 sowie zu mehr Fahrnfällen führt.

Bei der These 3 wird sich der Aspekt der höheren Geschwindigkeiten erst im Zuge der Verkehrserhebungen (siehe Kapitel 5) beantworten lassen. Feststellen lässt sich in der Unfallanalyse allerdings im Hinblick auf die Thesen 3 und 4, dass keine Unterschiede in der UKR(P,S) der Unfälle im Längsverkehr zwischen der Steuerungsvariante 1 und den Steuerungsvariante 2 und 3 bestehen (vgl. Abschnitt 4.3.3). Bei Anlagen auf der freien Strecke, bei der von einer relativ isolierten Wirkung der FLSA auf das Verkehrsgeschehen ausgegangen werden kann, ist die UKR(P,S) der Längsverkehrsunfälle jedoch bei der Steuerungsvariante 1 deutlich erhöht (vgl. Abschnitt 4.3.1). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass sich die in den Thesen 3 und 4 behandelten, gegenläufigen Effekte nicht nur gegenseitig ausgleichen, sondern These 3 eher zu bestätigen ist, während These 4 verworfen werden kann.

Die These 5, wonach bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 aus einer geringeren Aufmerksamkeit der Kfz-Führer und einer häufigeren Nicht-Wahrnehmung des Umschaltens der LSA mehr Unfälle im Längsverkehr und mehr Unfälle durch Rotlichtverstöße von Kfz-Führern resultieren, kann nicht bestätigt werden: Die UKR(P,S) des Unfalltyps 6 sowie der Unfallart 2 sind bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 (aggregiert über beide Steuerungsvarianten) genauso hoch wie bei der Steuerungsvariante 1. Bei der Unfallrate 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. Dies gibt auch Hinweise auf die Bewertung der These 6B (Verwechslung hintereinanderliegender Signalgeber), bei der die fehlenden Unterschiede bei den Unfällen im Längsverkehr bei zugleich geringerer $UR_{\text{Rot, Kfz}}$ für eine Senkung der Verwechslungsgefahr hintereinanderliegender Signalquerschnitte durch das Einschalten der Signalgeber bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 sprechen.

Neben den grundsätzlich nur durch Verkehrsbeobachtungen zu beantwortenden Fragestellungen sollen auch die hinsichtlich der hier diskutierten Thesen noch offenen Fragen in den folgenden Verkehrserhebungen vertieft betrachtet werden. Dies soll auch dazu dienen, die Überschneidungen zwischen den Thesen, deren Effekte anhand der Unfallanalyse nicht differenziert werden konnten, abzuklären.

5 Verkehrserhebungen und Verhaltensbeobachtungen

In den AS 4 und 5 werden Verkehrserhebungen und Verhaltensbeobachtungen an ausgewählten F-LSA durchgeführt. Dazu werden im AS 4 Anlagen aus der im AS 3 erstellten Datenbank ausgewählt (Verkehrserhebungen) und im AS 5 Vorher-/Nachher-Erhebungen im Rahmen von Verkehrsversuchen durchgeführt (Verkehrsversuche). Da sowohl bei Verkehrserhebungen, als auch bei den Verkehrsversuchen ähnliche Fragestellungen beantwortet, eine ähnliche Erhebungsmethodik angewendet und vergleichbare Auswertung durchgeführt werden, erfolgt die Bearbeitung beider AS in diesem Kapitel gemeinsam.

5.1 Ziele und Methodik

Durch die Videoerhebungen und Verhaltensbeobachtungen sollen Verhalten und Akzeptanz der Verkehrsteilnehmer an den verschiedenen Steuerungsvarianten der F-LSA untersucht werden. Dabei sollen u. a. die nachfolgenden Hypothesen überprüft werden:

Verhalten Querverkehr

- These 1 (Nutzung Dunkelschaltung): An F-LSA mit der Steuerungsvariante 3 ist der Anteil der bei nicht aktivierter F-LSA querenden Verkehrsteilnehmer deutlich höher als der Rotläuferanteil an F-LSA mit den Steuerungsvarianten 1 und 2 („Nutzung der Dunkel-Stellung durch nMIV“)
- These 2 (Rotlichtakzeptanz der Fußgänger bei Dunkelschaltungen): F-LSA mit der Steuerungsvariante 2 weisen höhere Rotläuferanteile auf als F-LSA mit der Steuerungsvariante 1 („geringere Akzeptanz von Dunkel-Anlagen durch querenden Verkehrsteilnehmer“)
- These 3 (mangelnde Begreifbarkeit): Fußgänger, die sich in Längsrichtung auf die Signalanlage mit den Steuerungsvariante 2 oder 3 zubewegen, gehen aufgrund der Signalstellung Dunkel beim Kfz-Verkehr von einer ausgeschalteten LSA aus und queren trotz gewünschtem Signalschutz im Umfeld der F-LSA. Entsprechend ist der Anteil der in den Annäherungsbereichen querenden Fußgänger an Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3 höher als bei Anlagen der der Steuerungsvariante 1.
- These 4 (Rotlichtakzeptanz der Fußgänger bei Dunkel-Dunkel-Anlagen): Bei der Steuerungsvariante 3 ist die Bereitschaft zum Abwarten einer Freigabe nach Anforderung höher als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2; dadurch kommt es zudem seltener zu ungenutzten Freigaben, bei denen eine Freigabe für den nMIV erteilt wird,

obwohl der anfordernde Verkehrsteilnehmer zuvor bereits bei Rot querte.

- These 5 (Konflikte durch ungesicherte Querungen bei Dunkel-Dunkel-Anlagen): Bei der Steuerungsvariante 3 treten mehr Konflikte durch riskante Querungen auf als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2, was auf Querungen des nMIV bei Signalstellung Dunkel zurückzuführen ist.

Verhalten MIV

- These 6 (Sogwirkung): An F-LSA mit der Steuerungsvariante 1 sind im Vergleich zur Steuerungsvariante 2 bzw. 3 die Kfz-Geschwindigkeiten höher, da die Fahrzeugführer die Anlage noch bei Grün passieren möchten.
- These 7 (Reaktionszeit bei Umschaltung auf Gelb): An F-LSA mit den Steuerungsvarianten 2 und 3 fahren nach Beginn des Gelbsignals mehr Kfz-Führer über die Haltlinie als an F-LSA mit der Steuerungsvariante 1 („längere Reaktionszeit bei Aktivierung der F-LSA“)
- These 8 (Rotlichtakzeptanz durch Kfz-Führer/Überraschungseffekt): An F-LSA mit den Steuerungsvarianten 2 und 3 ist der Rotfahreranteil höher als an F-LSA mit der Steuerungsvariante 1.

Verkehrsablauf/Wartezeiten

- These 9 (Wartezeiten): Bei der Steuerungsvariante 3 treten gegenüber der Steuerungsvarianten 1 und 2 geringere Wartezeiten sowie seltener Halte sowohl im Längs-, als auch im Querverkehr auf.
- These 11 (Unterbrechung Fahrzeugverkehr): Bei der Steuerungsvariante 3 kommt es in Relation zum Querverkehrsaufkommen seltener zur Unterbrechung des Verkehrsflusses des Fahrzeugverkehrs.
- These 12 (Reaktionszeit bei Umschaltung zur Freigabe): Bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 benötigen vor der LSA wartende Kfz länger, um auf die erfolgte Freigabe zu reagieren.

Zur Beantwortung dieser Fragen bzw. Bewertung dieser Thesen werden auf Basis der im AS 3 erstellten Datenbank F-LSA für detaillierte Verkehrserhebungen ausgewählt. Bei der Auswahl der F-LSA wird darauf geachtet, dass die verschiedenen Steuerungsvarianten (vgl. Bild 3) in ausreichenden Umfang im Erhebungskollektiv berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 5.2.1).

Für einen direkten Vergleich der Steuerungsvarianten werden zudem Verkehrsversuche an 5 F-LSA durchgeführt, bei der die F-LSA von einer Steuerungsvariante auf eine andere Steuerungsvariante umgestellt werden und die Wirkungen der Umstellung evaluiert werden (siehe Abschnitt 5.2.2).

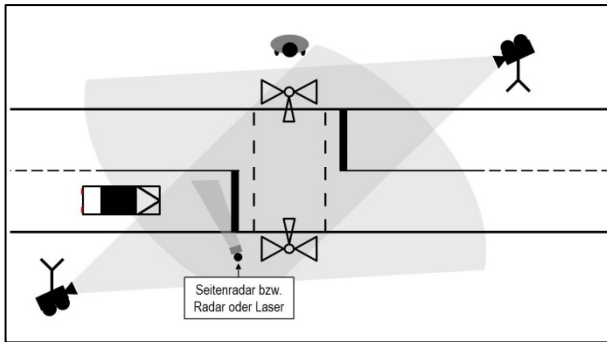


Bild 59: Versuchsaufbau für die Verkehrserhebungen

An den ausgewählten F-LSA werden Videobeobachtungen und Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in Bild 59 dargestellt. An jeder F-LSA werden zwei Kameras eingesetzt, um neben den Signalisierungszuständen der F-LSA und dem Querverkehr direkt an der F-LSA auch den Quer- und Längsverkehr in den Annäherungsbereichen zu erfassen.

An jeder F-LSA wird jeweils das Videomaterial von 1 Stunde Spitzenverkehrszeit nachmittags (16 bis 17 Uhr) und 2 Stunden Normalverkehrszeit (12 bis 14 Uhr) ausgewertet.

Die Auswertung des Videomaterials erfolgt halbautomatisiert mittels Excel-Spreadsheets, welche mittels Visual Basic for Applications (VBA) auf den Untersuchungsgegenstand angepasst werden. In Bild 60 ist ein Screenshot eines solchen Excel-Spreadsheets dargestellt

Die erhobenen Kenngrößen sind in Tab. 13 im Überblick dargestellt und werden im Folgenden beschrieben.

Für alle Verkehrsströme – Fuß- und Radverkehr im Längsverkehr in beiden Seitenräumen sowie im Querverkehr und dem Fahrzeugverkehr auf der Fahrbahn – werden die jeweiligen Verkehrsstärken richtungsfein erhoben. Fußgänger werden dabei differenziert nach Personen mit und ohne Hilfsmittel, wobei zu diesen Hilfsmitteln alle Gegenstände zählen, die der Fortbewegung von Personen dienen (Kinderwagen, Rollstuhl, Rollator, Gehstöcke/Krücken). Fahrzeuge werden differenziert nach Fahrrädern, Leichtverkehr (inkl. Motorrädern und Lieferwagen) sowie Schwerverkehr (ab 7,5 t).

Bei den querenden Verkehrsteilnehmern werden an der Signalanlage Fuß- und Radverkehr differenziert erhoben. In den Annäherungsbereichen wird dagegen nur der Fußverkehr erhoben: Anders als beim Fußverkehr ist beim Radverkehr davon auszugehen, dass dieser nur an Stellen ohne hohem Bordstein quert. Diese sind in den Annäherungsbereichen oftmals an Einmündungen oder Kreuzungen anzutreffen, an denen die Querungsvorgänge – analog dem Kfz-Verkehr – in keinem Zusammenhang mit dem Verkehrsgeschehen an der F-LSA stehen, weshalb diese Querungen nicht mit erhoben werden.

Für querende nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer werden die Ankunft an der Wartefläche, der Zeitpunkt der Anforderung und das Betreten der Fahrbahn sowie auftretende Konflikte erfasst.

Für den Verkehr auf der Fahrbahn werden anhand des Videomaterials die Zeitpunkte der Überfahrt der Fahrzeuge über die Haltlinie sowie bei Fahrzeugen, die aufgrund der Signalanlage halten müssen, die Ankunft am Ende der Warteschlangen erfasst.

Des Weiteren werden an jeder F-LSA Geschwindigkeiten für 100 frei fahrende Kraftfahrzeuge (je Richtung) beim Überfahren der Haltlinie mittels Radarmessgerät erhoben.

Außerdem werden die Umschaltzeitpunkte der Signalanlage separat aus dem Videomaterial erhoben. Die Bestimmung des beim jeweiligen Querungsbeginn bzw. bei der Überfahrt der Haltlinie für den Verkehrsteilnehmer geltenden Signalbildes wird durch Verschneidung dieser LSA-Daten mit den erhobenen Zeitstempeln der Verkehrsteilnehmer erreicht. Gegenüber der Erhebung der Signalzustände direkt bei der Erhebung der Verkehrsteilnehmer ermöglicht dies einerseits eine zuverlässigere Erhebung von Rotlichtverstößen, zum anderen die Gewinnung zusätzlicher Informationen. So kann neben dem Signalbild selbst auch erhoben werden, wie lange dies bereits gezeigt wird und damit die Rot- und Gelbsekunde bestimmt werden. Zudem ist auf diesem Weg die Erhebung der Reaktionszeiten bei Beginn einer Freigabe (sowohl im Quer- als auch im Längsverkehr, z. B. der Zeitspanne von Freigabe bis zur Überfahrt der Haltlinie, vgl. These 12) möglich.

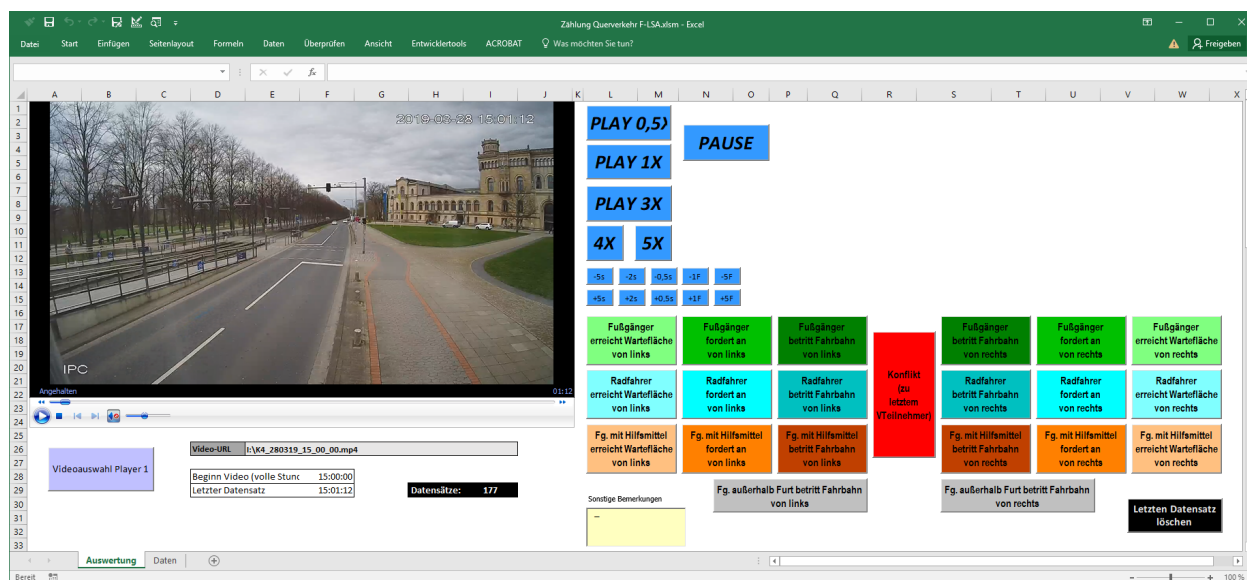


Bild 60: Excel-Spreadsheet zur halbautomatisierten Auswertung von Videomaterial (hier: Querverkehr)

Längsverkehr	Querverkehr
spezifische Verkehrsstärke (Fußverkehr, Radverkehr, Leichtverkehr (Pkw, Krad), Schwerverkehr (Lkw/Busse))	Verkehrsstärke querender Fußgänger und Radfahrer
Signalisierung: Dauer der Freigabe-, Dunkel-, Gelb- und Rotzeiten	
Geschwindigkeiten für mind. 100 frei fahrende Kfz mittels Radarhandmessgerät [km/h]	Für Fußgänger und Radfahrer die Zeitpunkte von: <ul style="list-style-type: none"> – Ankunft – Anforderung (falls vorgenommen) – Querungsbeginn (Betreten der Fahrbahn) Daraus abgeleitet: Zeitdauer [s] zwischen <ul style="list-style-type: none"> – Ankunft und Querungsbeginn – Ankunft und Anforderung – Anforderung und Freigabezeitbeginn – Freigabezeitbeginn und Querungsbeginn
Anzahl der bei Grün/Dunkel eintreffenden Fahrzeuge ¹⁾	Fußgänger- und Radfahreranzahl bei Grün bzw. Dunkel ¹⁾
Anzahl der Fahrzeuge bei Gelb ¹⁾ differenziert nach 1. bis 3. (5.) Sekunde	-
Anzahl der Fahrzeuge bei Rot ¹⁾ differenziert nach 1. bis n. Sekunde	Anzahl der bei Rot querenden Fußgänger / Radfahrer ¹⁾
¹⁾ Diese Kenngrößen werden durch Verknüpfung der sekundenfeinen Verkehrsstärken mit den erfassten Signalisierungszuständen bestimmt.	

Tab. 13: Erhobene und abgeleitete Kenngrößen aus den Verkehrserhebungen

Aus den erhobenen Merkmalen und Zeitstempeln der Querverkehrserhebung werden u. a. folgende Daten abgeleitet:

- Dauer zwischen Ankunft an der Wartefläche und Anforderung
- Dauer zwischen Anforderung und Beginn der Freigabe
- Dauer zwischen Beginn der Freigabe und Querungsbeginn (Zuwegzeit als Summe aus Reaktionszeit und Weg von der Warteposition zum Fahrbahnrand)

- Wartezeit als Dauer zwischen Ankunft und Querungsbeginn. Neben dieser tatsächlichen Wartezeit lässt sich zudem eine „theoretische“, angebotsseitige Wartezeit bestimmen, die bei vollständig regelkonformen Verhalten der Verkehrsteilnehmer – Querungsbeginn stets erst bei Grün, sofern die Querung nicht bei Dunkel erfolgte – auftreten würde.

Beim Längsverkehr auf der Fahrbahn können u.a. folgen Größen abgeleitet werden:

- Zahl der Fahrzeuge die bei Rot die Haltlinie passieren sowie die Unterteilung nach Dauer des Rotsignals zum Zeitpunkt der Überfahrt
- Zahl der Fahrzeuge, die bei Gelb die Haltlinie passieren, sowie deren Verteilung innerhalb der Gelbzeit
- Dauer vom Beginn der Freigabe für den Fahrbahnverkehr bis zur Überfahrt des ersten, zweiten und dritten Fahrzeugs (entspricht einschließlich des Anfahrvorgangs der Reaktionszeit auf das Umschalten der LSA)
- Zahl der notwendigen Halte sowie Wartezeiten der passierenden Fahrzeuge.

5.2 Beschreibung der Untersuchungskollektive

5.2.1 Verkehrserhebungen

Der Schwerpunkt der Erhebungen liegt auf F-LSA auf der freien Strecke. Dies soll vermeiden, dass Unterschiede im Verkehrsgeschehen durch die unterschiedliche Gestaltung der Knotenpunkte die Effekte der Steuerungsvarianten überlagern. Grundsätzlich wird versucht, bei der Auswahl der Erhebungsstellen so vorzugehen, dass relevante Merkmale der F-LSA (z.B. DTV, Zugang zu ÖV-Haltstellen, Umfeldnutzung bzw. Querungsbedarf, Erschließung von Schulen) bei allen drei Steuerungsvarianten in ähnlicher Häufigkeit vertreten sind. Prinzipiell wäre es auch wünschenswert, die F-LSA der Verkehrserhebungen gleichmäßig auf die Untersuchungsstädte zu verteilen, um eventuell bestehende systematische Unterschiede zwischen den Städten zu vermeiden. Aufgrund der stark ungleichen Verteilung der F-LSA in den drei Steuerungsvarianten auf die Städte ist dies allerdings nur sehr eingeschränkt möglich.

Verschiedene Randbedingungen schränken die Auswahl der Erhebungsstellen ein. So ist die Auswahl aufgrund des Aufwands auf wenige Städte begrenzt und an der Anlage muss die Möglichkeit zur Anbringung der Kameras bestehen. Auch war an einigen Anlagen aufgrund von Baustellen keine Erhebung möglich.

Bei allen drei Steuerungsvarianten, v. a. aber bei der Steuerungsvariante 3 mussten deshalb auch an Einmündungen und Kreuzungen gelegene Anlagen mit in die Verkehrserhebungen aufgenommen werden. Bei der Auswahl dieser Stellen wurden zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit mit den anderen Anlagen Knotenpunkte mit einfacher Geometrie und mit geringem zu erwartendem Kfz-Verkehr in den untergeordneten Straßen bevorzugt.

Als Problem erweist sich zudem die Erhebung mehrstreifigen Straßen: So enthält die Datenbank

der F-LSA in den für die Videoerhebungen vorgesehenen Städten nur zwei Anlagen der Steuerungsvariante 3, die über mehr als einen Fahrstreifen je Richtung verfügen (eine Anlage an einer einbahnig dreistreifigen sowie eine Anlage an einer zweibahnig vierstreifigen Straße). Abgesehen von dem für einen Vergleich zu geringen Fallzahl sind diese beiden Anlagen aufgrund örtlicher Gegebenheiten für eine (dann auch mit Anlagen der anderen Steuerungsvarianten vergleichbare) Erhebung ungeeignet. Im Rahmen des Projektes wurde deshalb entschieden, ausschließlich F-LSA über einbahnig zweistreifige Straßen zu erheben. Dies führt zwar dazu, dass die Erkenntnisse bzgl. des Einsatzes von F-LSA bei mehrstreifigen Straßen begrenzt sind, ermöglicht jedoch einen methodisch zuverlässigen Vergleich der Steuerungsvarianten untereinander.

Aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren, die im Rahmen des Projekts für die Erhebungskollektive nicht vollständig isoliert betrachtet werden konnten, unterliegen manche Ergebnisse möglicherweise auch Effekten, die nicht rein auf die Steuerungsvarianten zurückzuführen sind. Für die jeweils Erhobenen Merkmale wurden diese Effekte jedoch bestmöglich berücksichtigt, was im Einzelnen auch näher erläutert wird.

Die Erhebungen vor Ort wurden Ende Oktober 2020 abgeschlossen. Die bei der Videoerhebung berücksichtigten F-LSA sind in Anhang 3 vollständig und in Tab. 14 nach Städten aufgeführt.

Stadt	Steuerungsvariante			Alle F-LSA
	V1	V2	V3	
Bremen	–	–	1	1
Dresden	7	2	–	9
Frankfurt/Main	–	3	–	3
Hannover	6	10		16
Karlsruhe	–	–	7	7
Oldenburg	1	–	10	11
Summe	14	15	18	47

Tab. 14: Erhebungsstellen der Verkehrsbeobachtungen nach Städten

Für die Auswertung der Verkehrsbeobachtungen wird von den als Verkehrsversuchen berücksichtigten Anlagen (siehe folgenden Abschnitt) jeweils die Vorher-Erhebung mit in die Auswertung einbezogen. Der Einbezug der Nachher-Erhebungen erfolgt nicht, da sonst zum einen dieselbe Anlage – wenn auch mit unterschiedlicher Steuerungsvariante – mehrfach im Kollektiv enthalten wäre. Zum anderen kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Verhalten an der Anlage nach der Umstellung noch durch die Erfahrungen der Verkehrsteilnehmer von

vor der Umstellung beeinflusst wird. Insgesamt stehen damit Daten von 52 F-LSA für die Auswertung der Verkehrserhebungen zur Verfügung, davon 16 Anlagen der Steuerungsvariante 1 sowie je 18 Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3.

5.2.2 Verkehrsversuche

Im AS 5 sind Verkehrsversuche an fünf F-LSA vorgesehen, im Zuge derer F-LSA von einer Steuerungsvariante auf eine andere Steuerungsvariante umgerüstet werden. Dadurch soll ein direkter Vergleich der Vorher- und Nachher-Situation ermöglicht und die Wirkungen der Umstellung evaluiert werden. Die Realisierung der Verkehrsversuche geschieht durch die Kommunen, im Rahmen dieses Projektes erfolgt die wissenschaftliche Begleitung der Umstellung.

In Hannover waren für Frühjahr/Sommer 2019 die Umstellung von F-LSA mit der Variante 2 auf die Variante 3 vorgesehen. Dafür wurde die Steuerung der F-LSA so überarbeitet, dass eine Umschaltung zwischen den beiden Steuerungsvarianten ohne größeren Aufwand möglich ist und jederzeit vorgenommen werden kann. Drei F-LSA wurden im Mai 2019 auf die Variante 3 umgestellt. Alle drei F-LSA dienen der Querung der Nienburger Straße. Es handelt es sich um den nördlichen Zugang der Haltestelle Schneiderberg/Wilhelm-Busch-Museum sowie die beiden Zugänge der Haltestelle Leibniz-Universität.

Um die geplanten Umstellungen in Hannover als Teil der Verkehrsversuche für das Forschungsprojekt nutzen zu können, wurde der Beginn des AS 5 vorgezogen und die Vorher-Erhebungen an diesen F-LSA bereits Ende März 2019 durchgeführt. Die betreffenden F-LSA befinden sich jeweils in der Nähe der Leibniz-Universität Hannover. Um Vorher- und Nachher-Erhebungen unter Beachtung der vorlesungsfreien Zeiten der Universität möglichst vergleichbar zu gestalten, wurden die erste Nachher-Erhebung im September 2019 durchgeführt. Die zweite Nachher-Erhebung war entsprechend für Ende März 2020 vorgesehen und wurde aufgrund der Corona-Situation schließlich auf Anfang Oktober verschoben.

Die Stadt Hannover stellte zudem im Dezember 2019 die F-LSA Waldstraße/Endpunkt Misburg von Variante 1 auf Variante 2 um. Dort wurde im September 2019 die Vorher-Erhebung durchgeführt, die Nachher-Erhebung erfolgte im Oktober 2020.

Im September und Oktober 2020 konnte außerdem ein Verkehrsversuch an einer F-LSA in Hattorf bei Wolfsburg durchgeführt werden. Dabei wurde eine

F-LSA von der Steuerungsvariante 1 auf die Steuerungsvariante 2 und wieder zurück umgestellt. Es erfolgte eine Vorher-Erhebung, nach der Umstellung der Steuerung die erste Nachher-Erhebung sowie nach der Umstellung zurück auf die Steuerungsvariante 1 die zweite Nachher-Erhebung.

Statt der ursprünglich vorgesehenen sechs Verkehrsversuche mit je zwei Erhebungstagen wurden damit an vier F-LSA an je drei sowie an einer F-LSA an zwei Tagen erhoben. Zu beachten ist die Überlagerung der Wirkungen, die sich aus der Umstellung der Anlagen ergeben, mit den Auswirkungen der COVID-19-Pandemie z. B. auf das Verkehrsaufkommen.

5.2.3 Beschreibung der Versuchsanlagen

Hannover Schneiderberg

Die in die Verkehrsversuche einbezogene erste F-LSA quert die Nienburger Straße am nördlichen Zugang zur Straßenbahnhaltestelle Schneiderberg/Wilhelm-Busch-Museum. Bei der gequerten Straße handelt es sich um eine einbahnig zweistreifig ausgebaute Hauptverkehrsstraße mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Der DTV liegt bei 8800 Kfz. Die F-LSA ist je Richtung mit drei zweifeldigen Kfz-Signalgebern rechts und links der Fahrbahn sowie über Kopf ausgestattet. Etwa 220 m westlich der F-LSA ist eine ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachungsanlage zur Überwachung beider Fahrtrichtungen installiert.

Auf der Nordseite der Fahrbahn schließt ein Zweirichtungsradweg und der Gehweg an. Zwischen Radweg und Fahrbahn ist westlich der F-LSA ein Parkstreifen, östlich der F-LSA Fahrradbügel eingeordnet. Die Bebauung nördlich der Straße umfasst zahlreiche Gebäude der Universität sowie einige Wohngebäude, überwiegend Mehrfamilienhäuser.

Südlich der Fahrbahn liegt die barrierefrei ausgebaute Haltestelle mit Seitenbahnsteigen an einer separaten ÖV-Trasse. Die Haltestelle wird von den Straßenbahnlinien 4 und 5 bedient, die jeweils werktags ganztägig im 10-Minuten-Takt verkehren. An die Haltestelle schließt die Parkanlage Herrenhäuser Gärten an, die allerdings nicht an der F-LSA, sondern nur über das östliche Ende der Haltestelle erreicht werden kann. Ein straßenbegleitender Gehweg existiert nicht.

Die nächstgelegenen Querungsmöglichkeiten für Fußgänger sind rund 100 m östlich eine Knotenpunkt-LSA am anderen Ende der Haltestelle sowie rund 100 m westlich an einem Anschlussknotenpunkt eine ungesicherte Querungsstelle mit anschließender Querung der separaten ÖV-Trasse.

Dazwischen ist eine Querung aufgrund von Geländern entlang der Haltestelle bzw. entlang der Straßenbahntrasse nur eingeschränkt möglich. Im Rahmen der Verkehrsbeobachtungen wurden westlich der F-LSA immer wieder freie Querungen im Annäherungsbereich vom und zum Grünstreifen zwischen Fahrbahn und ÖV-Trasse beobachtet, wobei die Fußgänger den Grünstreifen im Längsverkehr auf dem Weg zur oder von der Haltestelle nutzten.

Aufgrund der östlich gelegenen Knotenpunkt-LSA dient die beobachtete F-LSA vor allem der Verbindung zwischen Haltestelle und den nordwestlich gelegenen Wohngebäuden sowie Universitätsinstituten und weist ein mittleres Fußverkehrsaufkommen auf.

Hannover Universität Nord und Süd

Die Anlagen 2 und 3 erschließen den nordwestlichen bzw. den südöstlichen Zugang zur Straßenbahnhaltestelle Leibniz Universität an der Nienburger Straße. Der Abstand zwischen den beiden F-LSA beträgt 100 m, der Abstand zur F-LSA Schneiderberg rund 600 m.

Die baulichen und verkehrlichen Gegebenheiten an den F-LSA entsprechen im Wesentlichen der F-LSA Schneiderberg, allerdings ohne Anlagen für den ruhenden Kfz-Verkehr und mit einem höheren DTV von 10.900 Kfz. Die Bebauung nördlich besteht aus Gebäuden der Universität und umfasst u.a. deren Hauptgebäude und die Universitätsbibliothek.

An beiden F-LSA besteht südlich der Haltestelle ein direkter Zugang zu den Parkanlagen. Die nächsten Querungsmöglichkeiten für Fußgänger liegen 300 m westlich (ungesicherte Querung mit anschließender Querung der separaten ÖV-Trasse) sowie 260 m östlich in Form einer Mittelinsel.

Aufgrund der nahen Universität weisen beide F-LSA hohe Querverkehrsstärken auf.

Hannover Misburg

Die vierte Anlage dient im Ortsteilzentrum des östlichen Hannoveraner Stadtteils Misburg der Querung der Waldstraße und dem Zugang zur dortigen Endhaltestelle der Straßenbahn. Zudem liegen nördlich und südlich der F-LSA jeweils einseitig Bushaltestellen, bei denen die Busse am Fahrbahnrand halten. Die Straße ist einbahnig zweistreifig ausgebildet. Der DTV beträgt 6.400 Kfz, die zulässige Höchstgeschwindigkeit liegt in beide Fahrrichtungen bei 30 km/h. Die Straße verfügt über beidseitige Gehwege, beidseitige Einrichtungsradwege sowie einen einseitigen Parkstreifen.

Rund um die F-LSA herrscht überwiegend offene, zwei- und mehrgeschossige Bebauung mit gemischter Wohn- und Geschäftsnutzung vor. Direkt südlich der F-LSA wird der an der Straßenbahnhaltestelle liegende Busbahnhof mit einem Anschlussknotenpunkt erschlossen. Dort ausfahrende Busse können bei der F-LSA eine Sperrung des Längsverkehrs anfordern oder eine bereits bestehende Sperrung verlängern, wodurch das Einbiegen abfahrender Busse erleichtert wird.

Hattorf

Die Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr ermöglichte im Rahmen des Projektes die Umstellung einer F-LSA am östlichen Ortsausgang von Hattorf. Hattorf ist ein dörflich geprägter Ortsteil im Süden von Wolfsburg. Die F-LSA steht an der (verkehrszeichengeregelten) Kreuzung Heiligendorfer Straße/Kniggenkamp am östlichen Ortsausgang und dient der Querung der L294. Die Straße ist einbahnig zweistreifig ausgebildet, verfügt an der Stelle der LSA allerdings zusätzlich über einen Linksabbiegestreifen. Der DTV der Landesstraße liegt bei 3.700 Kfz, der Schwerverkehrsanteil bei 8 %. Es gilt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Die querende Straße erfüllt ausschließlich eine Erschließungsfunktion für die anliegenden Wohngebiete. Die Bebauung nördlich und südlich der Straße besteht aus hinter Lärmschutzwällen gelegenen Einfamilienhäusern.

Die LSA dient u.a. dem Zugang zu den als Busbuchten ausgebildeten Haltestellen östlich und westlich der Anlage sowie dem Wechsel des entlang der Straße jeweils einseitig geführten gemeinsamen Geh- und Radweges von der Süd- auf die Nordseite der Straße.

Nach der Vorher-Erhebung Anfang Oktober 2020 wurde die Anlage am Freitag, dem 23. Oktober 2020 vom Betrieb in der Steuerungsvariante 1 auf eine modifizierte Steuerungsvariante 2 umgeschaltet. Dabei befand sich die Anlage für den Kfz-Verkehr in der Grundstellung Dunkel und schaltete nach Anforderung durch den Querverkehr über 7 s Grün und 3 s Gelb auf Rot. Nach erfolgter Freigabe schaltet die Anlage über Rot/Gelb und 10 s Grün zurück auf Dunkel. Am darauffolgenden Mittwoch – und damit nach einer Eingewöhnungszeit für die Verkehrsteilnehmer – wurden die Videoerhebungen der ersten Nachher-Erhebung durchgeführt.

Die Umstellung zurück auf den Normalbetrieb (Steuerungsvariante 1) erfolgte am Morgen des darauffolgenden Donnerstags, am selben Tag wurde nachmittags die zweite Nachher-Erhebung durchgeführt.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Vorbemerkungen

Für zuverlässige Aussagen über das Verhalten von Verkehrsteilnehmern wird eine gewisse Mindestgröße an beobachteten Personen bzw. Fahrzeugen benötigt. Entsprechend sind Anlagen, an denen im Beobachtungszeitraum diese Mindestzahl an Personen nicht auftraten, aus der jeweiligen Auswertung auszuschließen. Dabei besteht ein Zielkonflikt zwischen dem Einbezug möglichst vieler Anlagen und damit einer möglichst großen Datenbasis einerseits und der Robustheit der Ergebnisse gegenüber Ausreißern bzw. untypischen Situationen an einzelnen F-LSA andererseits. Insbesondere bei der Auswertung von Teilkollektiven der Verkehrsteilnehmer mit bestimmten Merkmalen (z. B. „Fußgänger, die eine Anlage bei Rot erreichen und nicht anfordern“) führt eine zu hohe Mindestvorgabe an Verkehrsteilnehmern zum Ausschluss vieler Anlagen.

Als Kompromiss zwischen den geschilderten Anforderungen werden bei den Auswertungen nur F-LSA berücksichtigt, bei denen im Beobachtungszeitraum (3 Stunden) mindestens 10 Verkehrsteilnehmer der jeweiligen Verkehrsart und des jeweils ausgewerteten Merkmals beobachtet wurden. Bei jeder Auswertung wird zudem qualitativ geprüft, ob und wie stark die Ergebnisse von einzelnen Ausreißern beeinflusst werden.

Bei den meisten der folgenden Auswertungen werden die Kennwerte (z. B. mittlere Wartezeiten im Querverkehr) zunächst je Anlage ermittelt und dann über diesen neuen Datensatz – mit je einem ermittelten Satz an Kennwerten je Anlage – für die Ermittlung der final präsentierten Kennwerte (z. B. mittlere Wartezeiten über alle Anlagen einer Steuerungsvariante) aggregiert. Dies hat gegenüber der Aggregation der Daten auf Ebene der Verkehrsteilnehmer den Vorteil, dass jede Anlage – unabhängig vom Aufkommen an dieser Anlage – mit gleichem Gewicht berücksichtigt wird. Dadurch wird verhindert, dass Auswertungen durch einzelne, stark frequentierte Anlagen dominiert werden (bspw. findet mehr als die Hälfte aller Querungen im Fußverkehr an den Anlagen der Verkehrserhebungen an nur 9 Anlagen statt, beim Radverkehr entfallen die Hälfte aller Querungen auf nur 6 Anlagen).

Bei der Erhebung des Fahrbahnverkehrs war festzustellen, dass an einigen Anlagen nur eine Fahrtrichtung zuverlässig ausgewertet werden kann. So existierten an einigen F-LSA in einer von beiden Richtungen für die Anbringung von Kameras geeignete Masten nur in einiger Entfernung von der F-

LSA. In Verbindung mit der aufgrund des Datenschutzes nur begrenzten Auflösung der Videos führt dies an diesen Stellen dazu, dass (z.B. für die Feststellung von Rotlichtverstößen essentielle) Überfahrten über die Haltlinie nicht oder nur ungenau erhoben werden können.

Auch deshalb erfolgt die Auswertung des Fahrbahnverkehrs zufahrtsfein, jede Anlage geht also i. d. R. zweifach in die Auswertung ein. Sofern Querschnittsdaten benötigt werden – bspw. bei der Analyse des Verhaltens querender Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit des Kfz-Aufkommens – werden beide Fahrtrichtungen addiert. Bei Vorliegen der Auswertung nur für eine Fahrtrichtung werden die Daten unter der Annahme, dass beide Fahrtrichtungen gleich belastet sind, entsprechend angepasst.

Bei den Verkehrserhebungen stehen Daten für insgesamt 98 Zufahrten zur Verfügung (Steuerungsvariante 1: 29 Zufahrten, Steuerungsvariante 2: 36 Zufahrten, Steuerungsvariante 3: 33 Zufahrten), bei den Verkehrsversuchen konnten alle Zufahrten ausgewertet werden.

Die zufahrtsfeine Betrachtung umgeht auch das Problem, dass nicht immer beide Zufahrten einer F-LSA gleich gestaltet sind. Z. B. existiert an einzelnen Anlagen einseitig eine abgesetzte Haltlinie, weshalb diese Zufahrten bei einigen Auswertungen nicht ohne Weiteres mit Zufahrten ohne abgesetzte Haltlinie vergleichbar sind.

5.3.2 Verkehrsaufkommen

Im dreistündigen Erhebungszeitraum wurden über alle F-LSA aggregiert 10.478 Fußgänger im Quer- sowie 12.671 Fußgänger im Längsverkehr erfasst. Die Zahl der erfassten Radfahrer lag bei 4.296 im Quer- sowie 13.229 im Längsverkehr, davon fuhren 10.682 Radfahrer im Seitenraum. Insgesamt wurden knapp 110.000 Kfz gezählt, darunter knapp 3.000 Schwerverkehrsfahrzeuge über 7,5 t (entspricht 2,7 %)

Die Kennwerte der F-LSA je Steuerungsvariante für die Verkehrserhebungen sind in Tab. 15 als Werte pro Stunde dargestellt, die entsprechenden Werte für die Anlagen, an denen Verkehrsversuche durchgeführt wurden, sind in Tab. 16 enthalten. Bei den Verkehrserhebungen liegen beim Quer- und Längsverkehr des Fuß- und Radverkehrs jeweils bei jeder der drei Steuerungsvarianten die Mittelwerte über dem Median, da der Mittelwert stärker von den wenigen, stark frequentierten, der Median stärker von den häufigeren, schwächer frequentierten F-LSA geprägt wird.

	Steuerungs-variante	Anzahl F-LSA	Mittelwert	Minimum	Median	Maximum
Fußgänger (Querverkehr)	V1	16	43	7	20	152
	V2	18	73	7	46	297
	V3	18	28	1	19	106
Fußgänger (Längsverkehr)	V1	16	77	3	48	318
	V2	18	84	15	61	185
	V3	18	45	3	35	202
Radfahrer (Querverkehr)	V1	16	13	1	5	62
	V2	18	30	0	12	138
	V3	18	19	1	9	119
Radfahrer (Längsverkehr)	V1	16	63	3	34	322
	V2	18	70	24	63	227
	V3	18	90	10	61	329
Kfz	V1	16	831	245	757	2119
	V2	18	600	184	578	1179
	V3	18	536	140	468	1257
Kfz je Zufahrt	V1	29	381	119	368	1059
	V2	36	300	66	310	632
	V3	33	252	59	211	629

Tab. 15: Übersicht über die Verkehrsstärken je Anlage pro Stunde (Verkehrserhebungen)

	Steuerungs-variante	Anzahl F-LSA	Mittelwert	Minimum	Median	Maximum
Fußgänger (Querverkehr)	V1	3	57	8	12	152
	V2	5	161	11	181	297
	V3	6	132	41	127	212
Fußgänger (Längsverkehr)	V1	3	114	11	12	318
	V2	5	114	13	88	326
	V3	6	54	30	41	106
Radfahrer (Querverkehr)	V1	3	10	3	7	20
	V2	5	32	0	15	81
	V3	6	51	0	62	103
Radfahrer (Längsverkehr)	V1	3	26	3	9	65
	V2	5	50	9	61	74
	V3	6	72	45	79	81
Kfz	V1	3	669	461	768	779
	V2	5	647	454	731	749
	V3	6	728	559	720	847

Tab. 16: Übersicht über die Verkehrsstärken je Anlage pro Stunde (Verkehrsversuche)

Insgesamt wurden im Querverkehr 333 Personen beobachtet, die Hilfsmittel nutzten, die der Fortbewegung von Personen dienen (Kinderwagen, Rollstuhl, Rollator, Gehstöcke/Krücken). Dies entspricht einem Anteil von 3,2 % der beobachteten Fußgänger. Der größte Teil dieser „Hilfsmittel“ – rund 80 % – entfiel dabei auf Kinderwagen, Personen mit Rollstuhl (18) sowie Rollator (29) waren an den Erhebungsstellen selten.

Im Längsverkehr lag der Anteil der Personen mit Hilfsmitteln mit 3,9 % der Fußgänger (entspricht

500 Personen) etwas höher, wobei knapp 70 % der genutzten Hilfsmittel Kinderwagen waren. Es wurden 71 Personen mit Rollator sowie 48 Personen mit Rollstuhl beobachtet. Der Anteil an Fußgängern, die Gehhilfen (Krücken, Gehstöcke, Rollatoren oder Rollstühle) zur Fortbewegung benötigten, lag im Längsverkehr bei 1,22 %, im Querverkehr bei 0,64 %.

In der Unfallanalyse (siehe Kapitel 4) wurde das Fußverkehrsaufkommen im Querverkehr über Stellvertretergrößen auf Grundlage eines Ansatzes der

RWS (2019) ermittelt (zur Methodik siehe Abschnitt 4.2.1). Anhand der erhobenen Verkehrsstärken soll dieser Ansatz nachträglich validiert werden.

Dazu werden die Anlagen der Verkehrserhebungen, die bereits Teil der Unfallanalyse waren, anhand des aus Umfelddaten abgeleiteten Querungsbedarfs in drei Klassen (gering bis mittlerer, hoher sowie sehr hoher Querungsbedarf) zusammengefasst. Von den 50 Anlagen, an denen Verkehrsbeobachtungen durchgeführt wurden und die Teil der Unfallanalyse waren, sind 14 Anlagen dem geringen bis mittleren, 25 Anlagen dem hohen und 11 Anlagen dem sehr hohen (abgeleiteten) Querungsbedarf zuzurechnen.

Der aus Umfelddaten abgeleitete Querungsbedarf repräsentiert die gemessenen Fußverkehrsstärken sowohl im Quer-, als auch im Längsverkehr (siehe Bild 61), der Zusammenhang ist im Querverkehr jedoch stärker ausgeprägt. In der Klasse des geringen bis mittleren Querungsbedarfs wird beim beobachteten Längsverkehr das Ergebnis auch durch zwei als Ergebnis der Videoerhebungen im Längsverkehr besonders stark, im (durch die Stellvertretergröße repräsentierten) Querverkehr dagegen im mittleren Bereich belastete F-LSA geprägt.

Dies bestätigt die in der Unfallanalyse angewendeten Methodik zur Ableitung des Querungsbedarfs, der als Stellvertretergröße für die Exposition des Fußverkehrs diene.

Beim Radverkehr ist der beschriebene Zusammenhang im Längsverkehr schwach, im Querverkehr gar nicht ausgeprägt. Dies ist auf den eher überregionalen Charakter des Radverkehrs zurückzuführen, auf den die im Querungsbedarf berücksichtigten Größen (z. B. Bebauung im direkten Umfeld) weniger stark wirken. Deutlich wird dies auch an den Stellen mit geringem abgeleiteten Querungsbedarf, an denen selbständige Wege Straßen kreu-

zen: während das gemessene Fußverkehrsaufkommen in seiner Größenordnung dem abgeleiteten Querungsbedarf entspricht, ist das gemessene Radverkehrsaufkommen im Querverkehr z. T. deutlich erhöht.

Die Verkehrsstärken an den Anlagen der Verkehrsversuche im Längs- und Querverkehr sind in Bild 99 und Bild 100 im Anhang 4 grafisch dargestellt. Bei den Verkehrsversuchen machen sich z. T. die Auswirkungen der Corona-Pandemie bemerkbar. Dabei ist die Ursache weniger in einem allgemeinen Rückgang des Verkehrsaufkommens zu suchen – an der Anlage in Misburg sind die Verkehrsstärken in der Vorher-Erhebung (September 2019) und Nachher-Erhebung (Oktober 2020) ähnlich –, als in der spezifischen Lage von drei der Versuchsanlagen an der Universität Hannover. So fanden an der Universität Hannover im Jahr 2020 die Vorlesungen weitgehend digital statt, so dass das Verkehrsaufkommen dort auch in Zeiten von geöffnetem Einzelhandel und Präsenzunterricht an Schulen stark reduziert war.

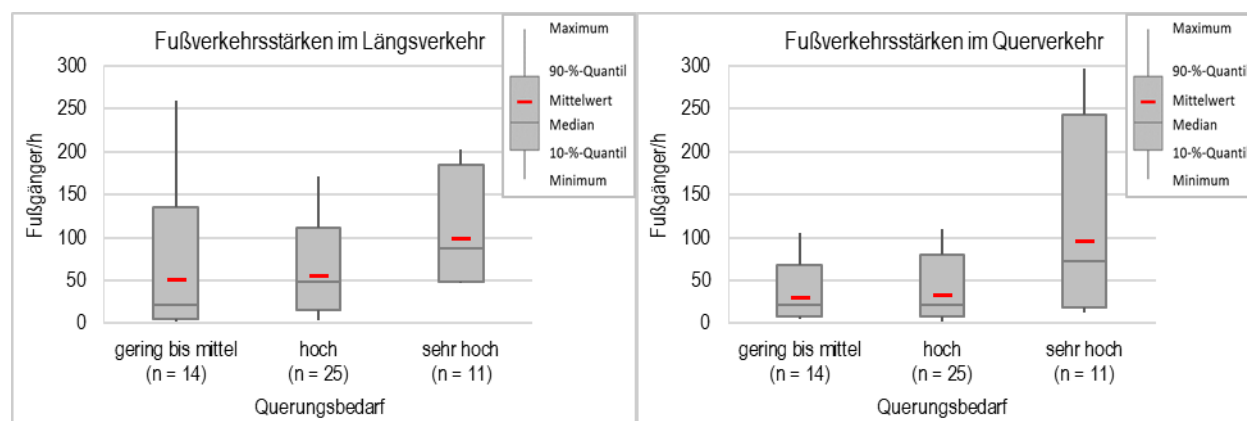


Bild 61: Gemessene Fußverkehrsstärken im Längs- und Querverkehr in Abhängigkeit des abgeleiteten Querungsbedarfs

5.3.3 Verhalten Querverkehr

Ort der Querung

Für sich in Längsrichtung auf eine LSA zubewegende Verkehrsteilnehmer ist bei dunklem Kfz-Signalgeber nicht erkennbar, dass die Anlage in Betrieb ist. Bereits in der Unfallanalyse (siehe Kapitel 4) wurde deshalb der Frage nachgegangen, ob bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 aufgrund der Annahme eines Verkehrsteilnehmers, die LSA sei ausgeschaltet, sich durch häufigere Querungen im Annäherungsbereich mehr Unfälle ereignen. Dies bestätigte die Unfallanalyse nicht. Anhand der Verkehrsbeobachtungen soll hier zusätzlich überprüft werden, ob die Dunkelschaltung des Kfz-Signalgebers, wenn nicht zu mehr Unfällen, so doch zu häufigeren Querungen im Annäherungsbereich führen. Dazu werden – wie bereits bei der Unfallanalyse – die Steuerungsvarianten 2 und 3 zusammengefasst, da diese aus Sicht eines sich im Längsverkehr bewegendem Verkehrsteilnehmers die gleiche Funktionalität aufweisen.

Dabei zeigt sich nur ein geringer Unterschied zwischen der Steuerungsvariante 1 und den Steuerungsvarianten 2 und 3: Der Anteil der Personen, die im Annäherungsbereich queren, liegt bei der Steuerungsvariante 1 mit 16,6 % geringfügig über dem Anteil bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 mit 15,9 % und 16,1 % (siehe Bild 62). Dies unterstreicht das Ergebnis der Unfallanalyse, dass Querungen im Annäherungsbereich bei Dunkel-Anlagen kein größeres Problem darstellen als an Anlagen der Steuerungsvariante 1 und falsifiziert damit die These 3 der mangelnden Begreifbarkeit für Fußgänger im Längsverkehr.

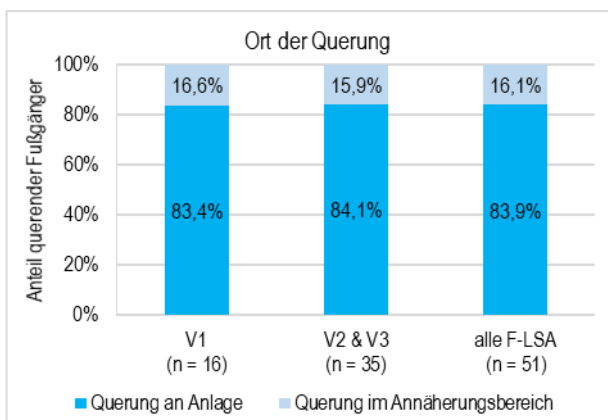


Bild 62: Querungen im Anlagen- sowie im Annäherungsbereich in Abhängigkeit der Steuerungsvariante

Rotlichtverstöße und Nutzung der Dunkelschaltung

Für jeden querenden Verkehrsteilnehmer wurde die Signalstellung zum Zeitpunkt des Betretens der Fahrbahn erfasst. Da Querungen im Annäherungsbereich z.T. auch in einer Entfernung von der Anlage stattfinden, in der die Wahrnehmung der jeweiligen, für den Querverkehr geltenden Signalstellung ausgeschlossen ist, ist eine Auswertung der Signalisierung nur für Querungen an der F-LSA – nicht aber im Annäherungsbereich – sinnvoll.

Von Bedeutung ist die weitere Differenzierung der Rotläufer nach dem Zeitpunkt des Rotlichtverstößes. ALRUTZ et al. (2012) definieren Rot-Vorläufer als „Fußgänger, der während der Zwischenzeit zwischen Kfz-Freigabezeitende und Fußgänger-Freigabezeitbeginn“ die Fahrbahn betreten. Rot-Nachläufer werden definiert als „Fußgänger, der während der Fußgängerräumzeit (Rot-Signal) den Überquerungsvorgang“ beginnen. Diese Definitionen sind vor dem Hintergrund der hier betrachteten Dunkel-Anlagen für diese Studie nicht geeignet: Bei Dunkel-Anlagen schaltet sich der Kfz-Signalgeber über 5 s Gelb ein. Es liegt der Verdacht nahe, dass das Einschalten des Kfz-Signals in Verbindung mit der längeren Gelb-Zeit zu einem häufigeren Betreten der Fahrbahn durch querende Fußgänger bereits während der Gelbphase des Kfz-Verkehrs führt, insbesondere, wenn die sich nähernden Kfz bereits angehalten haben. Hinzu kommt, dass die Zwischenzeit zwischen Sperrzeitbeginn des Fahrzeugverkehrs und Freigabe des Querverkehrs bei einem Teil der Anlagen 1 s, bei einigen Anlagen aber 2 s und an drei Anlagen sogar 3 s beträgt.

Auch das Ausschalten des Fahrbahn-Signalgebers erfolgt i. d. R. ohne Übergangssignal (Rot/Gelb), das die Zwischenzeit weiter unterteilt. Ein Fußgänger, der bei einer Zwischenzeit von bis zu 10 s in der Sekunde vor Freigabe (Dunkelschaltung) des Kfz-Verkehrs noch die Fahrbahn betritt, kann jedoch nur schwer als „Nachläufer“ interpretiert werden, zumal bei einigen Anlagen der Steuerungsvariante 3 das Fußgänger-Signal parallel zur Freigabe des Kfz-Verkehrs ausgeschaltet wird.

Aggregiert über alle im Anlagenbereich querenden Verkehrsteilnehmer zeigt sich eine größere Anzahl an Rot-Vorläufern nur innerhalb der Sekunde vor Beginn der Freigabe (siehe Bild 63). Bei einer weiteren Vergrößerung der Zeitspanne bis zum Beginn der Freigabe nimmt die Zahl der Rotläufer zwar weiter ab, der Rückgang ist aber gegenüber dem Unterschied zwischen erster und zweiter Sekunde nur gering ausgeprägt.

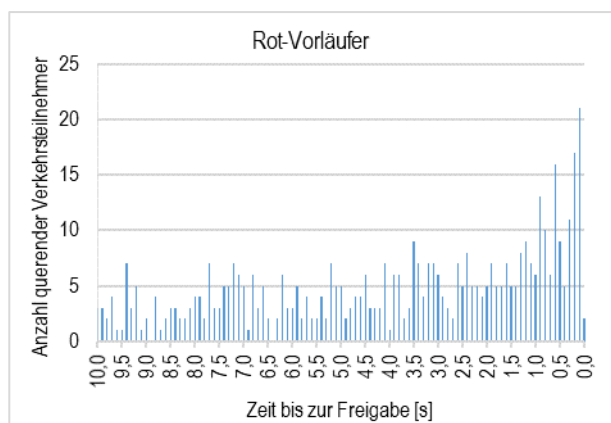


Bild 63: Rot-Vorläufer

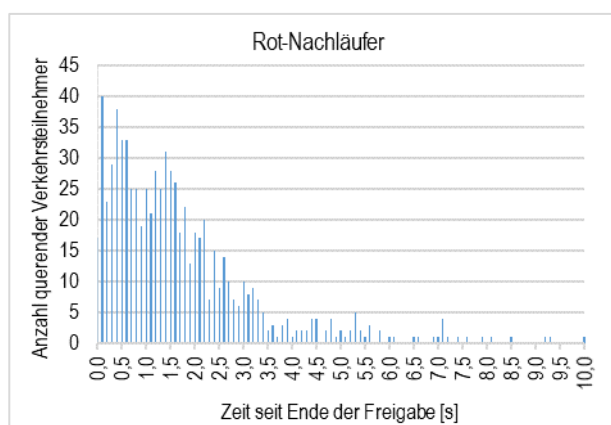


Bild 64: Rot-Nachläufer

Ein deutlicher Abfall zeigt sich dagegen bei den Rot-Nachläufern (siehe Bild 64): Dort sinkt die Zahl der Querenden von der ersten Rotsekunde kontinuierlich bis etwa 3,5 s nach Beginn der Sperrzeit. Ab 3,5 s treten Rotläufer nur noch in geringen Größenordnungen auf, die auch abseits von Freigaben (als „normale“ Rotlichtverstöße) zu beobachten sind.

Entsprechend dieser Verteilungen wird ein „Vorläufer“ als Verkehrsteilnehmer definiert, der zwischen 0,0 und 1,0 Sekunden vor Beginn einer Freigabe die Fahrbahn betritt oder (als Radfahrer) befährt. Als „Nachläufer“ wird ein Verkehrsteilnehmer dann eingestuft, wenn er den Querungsvorgang innerhalb von 3,5 s nach Beginn der Sperrzeit des Querverkehrs beginnt.

Die Verteilung der Signalzustände bei Querungsbeginn ist in Bild 65 dargestellt. Daraus lassen sich mehrere Erkenntnisse ableiten:

- Im Mittel queren 23 % aller Fußgänger an Anlagen der Steuerungsvariante 3 bei Dunkel, verzichten also auf die Möglichkeit einer Anforderung. Dieser Anteil ist deutlich höher als der Anteil der Rotläufer bei den Steuerungsvarianten 1 und 2, was die eingangs aufgestellte These 1 bestätigt.

- Bei der Steuerungsvariante 3 ist der Rotläuferanteil deutlich geringer als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2. Dies lässt sich auch darauf zurückführen, dass die bei den anderen beiden Steuerungsvarianten bei Rot eintreffenden Fußgänger bei der Steuerungsvariante 3 die Möglichkeit der Querung bei Dunkel haben. Es kommt also zu einer Verschiebung der Querungen bei Rot zu den Querungen bei Dunkel.
- Bei der Steuerungsvariante 2 queren Fußgänger deutlich häufiger bei Rot als bei der Steuerungsvariante 1. Dies bestätigt die in These 2 enthaltene geringere Rotlichtakzeptanz, die wiederum auf eine subjektive empfundene Benachteiligung gegenüber dem Kfz-Verkehr – dessen Signal im Grundzustand ausgeschaltet ist – zurückzuführen sein kann. Wie die Ergebnisse der Unfallanalyse zeigen, resultiert aus dieser höheren Quote an Rotläufern allerdings kein verstärktes Unfallgeschehen querender Fußgänger (siehe Abschnitt 4.3.3).
- Die Rotläuferanteile werden z. T. stark von einzelnen Anlagen geprägt. Wird statt dem Mittelwert der Median der Anlagen verwendet, nimmt der Unterschied zwischen den Steuerungsvarianten 1 und 2 deutlich ab, während der Unterschied der Varianten 1 und 2 zur Variante 3 nochmal zunimmt.
- Während nur an zwei Anlagen der Steuerungsvariante 1 und keiner Anlage der Steuerungsvariante 2 im Beobachtungszeitraum kein Rotläufer beobachtet wurde, war an acht Anlagen der Steuerungsvariante 3 kein Rotlichtverstoß zu verzeichnen.

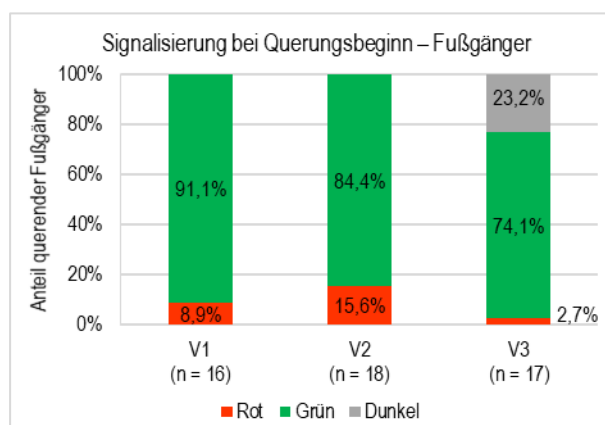


Bild 65: Signalisierung beim Querungsbeginn von Fußgängern (Anlagen mit mindestens 10 querenden Fußgängern im Beobachtungszeitraum)

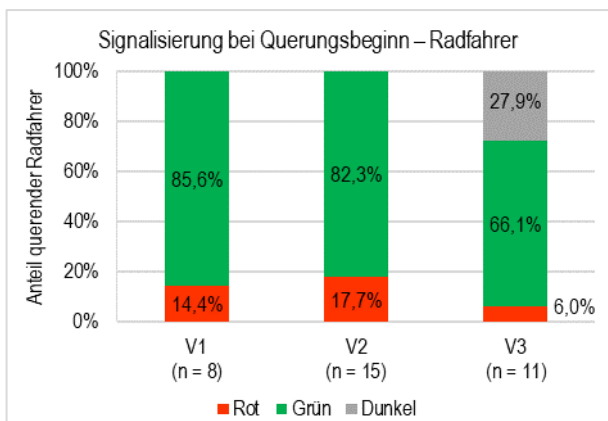


Bild 66: Signalisierung beim Querungsbeginn von Radfahrern (Anlagen mit mindestens 10 querenden Radfahrern im Beobachtungszeitraum)

Beim Radverkehr sind die jeweiligen Anteile an Querungen bei Rot und bei Dunkel durchgehend höher (siehe Bild 66). Der Unterschied zwischen den Steuerungsvarianten 1 und 2 bzgl. des Anteils der Querungen bei Rot ist geringer als beim Fußverkehr.

Als Gründe für die höheren Anteile an Querungen bei Rot und Dunkel beim Radverkehr sind v.a. zwei Gründe plausibel:

- Radfahrer benötigen für die Querung derselben Fahrbahn weniger Zeit, so dass eine (mindestens subjektiv) sichere Querung leichter und auch bei kleineren Zeitlücken möglich ist als beim Fußverkehr.
- Bei einem Teil der F-LSA gilt das Signal nicht für querende Radfahrer, da das Signalbild nur aus dem Sinnbild „Fußgänger“ besteht. Dies ist bspw. meistens an Anlagen der Fall, bei denen keine Radverkehrsanlagen existieren und die F-LSA nicht der Querung eines selbständigen Weges dient. Womöglich sind sich einige Radfahrer dessen bewusst oder beziehen das Signal aufgrund des fehlenden Sinnbildes nicht auf sich. Dennoch nutzt an allen Anlagen der Steuerungsvarianten 1 und 2 die Mehrheit der an der Anlage querenden Radfahrer den Signalschutz. Bei der Steuerungsvariante 3 querten an zwei Anlagen die Mehrheit der Radfahrer nicht bei Grün, sondern bei Signalstellung Dunkel.

Beim Fuß- und beim Radverkehr sind jeweils mindestens ein Viertel der bei Rot querenden Verkehrsteilnehmer Vor- oder Nachläufer. Wie zu erwarten ist der Anteil bei der Steuerungsvariante 3 mit jeweils deutlich über der Hälfte aller bei Rot querenden Verkehrsteilnehmer deutlich höher, da Rotlichtverstöße bei der Steuerungsvariante 3 nur in

zeitlichem Zusammenhang mit einer Freigabe möglich sind. Bei der Steuerungsvariante 2 ist der Anteil wiederum etwas höher als bei der Steuerungsvariante 1.

Bei Ausschluss der Vor- und Nachläufer aus den Rotläufern beträgt der Anteil der Querungen von Fußgängern bei Rot an allen Querungen im Mittel bei der Steuerungsvariante 1 6,7 % (Radfahrer: 10,4 %), bei der Steuerungsvariante 2 10,7 % (Radfahrer: 12,1 %) sowie bei der Steuerungsvariante 3 0,9 % (Radfahrer: 2,5 %).

Sowohl beim Fuß-, als auch beim Radverkehr weist die Anlage Beiertheimer Allee/Südenstraße in Karlsruhe mit jeweils rund zwei Dritteln den höchsten Anteil an Querungen bei Signalstellung Dunkel auf. Dabei handelt es sich innerhalb des Kollektivs aller drei Steuerungsvarianten um eine der F-LSA mit den höchsten Verkehrsstärken sowohl des querenden Fuß-, als auch des querenden Radverkehrs. Die Anlage liegt in der Karlsruher Innenstadt, die Kfz-Stärke ist innerhalb des Kollektivs im unteren Bereich. Im fünfjährigen Betrachtungszeitraum der Unfallanalyse war die Anlage unfallfrei, die hohe Verkehrsstärke im Querverkehr bei gleichzeitig intensiver Nutzung der Möglichkeit zur Querung bei Dunkel führt hier also nicht zu Sicherheitsdefiziten.

Bei drei Anlagen mit einer Kfz-Stärke von knapp über 2.000 Kfz in den drei Erhebungsstunden querten 20 % oder mehr der Verkehrsteilnehmer bei Dunkel, bei zwei weiteren Anlagen mit dieser Kfz-Belastung lag der Anteil der Dunkelquerungen bei 12 % und 13 %. Die Belastungen der erhobenen Spitzenstunden lagen an den genannten Stellen bei 750 bis 900 Kfz. Erst bei den beiden Anlagen mit deutlich höherem Kfz-Stärken (2.800 bzw. 3800 Kfz in drei Stunden) sinkt der Anteil der bei Dunkel querenden Verkehrsteilnehmer auf unter 10 %. Bei der Anlage Brückenstraße/Vokkenaustraße liegt der Anteil der Querungen bei Dunkel bei 45 % bei einer gemessenen Spitzenstundenbelastung von knapp 900 Kfz, die Anlage war im Betrachtungszeitraum der Unfallanalyse (abgesehen von Unfällen zwischen Fahrzeugen im danebenliegenden Anschlussknotenpunkt) unfallfrei. Auch wenn die Ergebnisse aufgrund der geringen Fallzahl keine Ableitung von festen Einsatzgrenzen erlauben, so lässt sich zumindest feststellen, dass die Steuerungsvariante 3 bis zu einer Spitzenstundenbelastung von 900 Kfz sicher betrieben werden kann und die Möglichkeit zur Querung bei Dunkel von Verkehrsteilnehmern auch genutzt wird.

Verhalten bei Ankunft bei Rot bzw. Dunkel

Hinsichtlich des Unterschieds zwischen der Steuerungsvariante 3 einerseits und den Steuerungsvarianten 1 und 2 andererseits ist es auch von Interesse, wie sich Verkehrsteilnehmer verhalten, die die LSA erreichen, ohne dass bereits eine Anforderung oder eine Freigabe vorliegt. Denn diese Verkehrsteilnehmer sind in ihrer Entscheidung, ob sie anfordern oder bei Dunkel bzw. Rot queren, weniger beeinflusst vom Verhalten zuvor an der LSA ankommender Personen.

Im Mittel erreichen über alle Steuerungsvarianten 10,4 % der im Anlagenbereich querenden Fußgänger und 13,9 % der Radfahrer die Anlage bei Grün. Dieser Anteil ist bei den Anlagen der Steuerungsvariante 3 mit 7,0 % (Fußgänger) und 9,2 % (Radfahrer) geringer als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2. Bei 77,1 % der an einer Anlage der Steuerungsvariante 3 querenden Fußgänger und 70,9 % der querenden Radfahrer war das Signal zum Ankunftszeitpunkt Dunkel.

Bei den Steuerungsvarianten 1 und 2 war zum Zeitpunkt des Erreichens der Wartefläche bei etwas mehr als einem Fünftel dieser Fußgänger bereits angefordert, bei der Steuerungsvariante 3 lag dieser Anteil mit knapp 17 % etwas niedriger. Bei allen drei Steuerungsvarianten erfolgte jeweils bei knapp einem weiteren Fünftel die Anforderung nach Erreichen der Wartefläche durch einen anderen Verkehrsteilnehmer (bspw. einem anderen Verkehrsteilnehmer derselben Gruppe oder einem zeitgleich auf der anderen Straßenseite ankommenden Verkehrsteilnehmer). Bei den Radfahrern sind die jeweiligen Anteile geringer, das Verhältnis zwischen den Steuerungsvarianten aber ähnlich. Einzig bei den Anlagen der Steuerungsvariante 1 erreichten mit 29 % der Radfahrer deutlich mehr die Anlage zu einem Zeitpunkt, zu dem eine Anforderung bereits durch einen anderen Verkehrsteilnehmer ausgelöst worden war.

Im Folgenden sollen jene (im Mittel etwas mehr als die Hälfte aller an den Anlagen querenden) Fußgänger betrachtet werden, die bei Rot oder Dunkel die Anlage erreichen, bei denen zum Ankunftszeitpunkt keine Anforderung ausgelöst ist und bei denen nicht eine andere Person nach Erreichen der Wartefläche eine Anforderung auslöst.

Von diesen Fußgängern fordern bei der Steuerungsvariante 1 10,9 % nicht an, bei der Steuerungsvariante 3 liegt der Anteil mit 33,8 % deutlich höher.

Bei der Steuerungsvariante 2 liegt der Anteil mit 26,1 % ebenfalls hoch. Dieser hohe Wert ergibt sich v.a. aus vier Anlagen, an denen viele Personen

nicht anfordern, aber dennoch bei Grün queren: An den beiden Anlagen Universität Nord und Universität Süd in Hannover forderten jeweils über 40 % der bei Rot ankommenden Fußgänger nicht an, von diesen querten allerdings dennoch 60 % bzw. 67 % bei Grün. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese beiden genannten Anlagen z. T. auch ohne Anforderung Freigaben auslösen, wenn sich Straßenbahnen auf dem parallel zur Fahrbahn verlaufenden besonderem Gleiskörper der Haltestelle nähern. Vor allem aber weisen beide Anlagen eine hohe Querverkehrsstärke auf. Entsprechend waren vor Ort immer wieder Situationen zu beobachten, in denen Personen die Warteflächen erreichten, jedoch nicht anforderten, um dann während einer von anderen, nach ihnen die Wartefläche erreichenden Personen angeforderten Grünphase zu queren.

An den zwei Anlagen Lister Damm/Pastor-Jaeckel-Weg und Am Listholze/Pastor-Jaeckel-Weg quert ein selbständiger Geh- und Radweg Straßen, wobei im Zulauf auf die Anlagen jeweils Induktionsschleifen angebracht sind, die sich nähernde Radfahrer detektieren. Infolgedessen queren hier viele Verkehrsteilnehmer bei Grün, ohne dass zuvor manuell am Anforderungstaster eine Anforderung ausgelöst werden musste. So forderten an der Anlage Lister Damm/Pastor-Jaeckel-Weg 52 %, an der Anlage Am Listholze/Pastor-Jaeckel-Weg sogar 73 % der bei Rot ankommenden Fußgänger keine Freigabe an. Dennoch querten am Lister Damm 68 %, an Am Listholze sogar 94% der hier querenden Fußgänger, die nicht anforderten, dennoch bei Grün.

Werden diese vier Anlagen ausgeschlossen, liegt bei der Steuerungsvariante 2 der Anteil der Personen, die bei Rot die Wartefläche erreichen und nicht anfordern, mit 17,8 % ebenfalls deutlich unter dem Anteil bei der Steuerungsvariante 3.

Verhalten an Schulstandorten

In der Befragung (vgl. Kapitel 3) wurde als Argument für die Verwendung der Steuerungsvariante 3 auch die Bereitstellung eines Signalschutzes für Kinder an Stellen, an denen nur aufgrund des Kfz-Aufkommens eine Signalanlage normalerweise nicht notwendig ist, genannt (z. B. bei Schulwegen). Zugleich tauchte in der Befragung und im weiteren Projektverlauf die Befürchtung auf, dass es bei der Steuerungsvariante 3 Probleme hinsichtlich der Greifbarkeit der Funktionsweise der Signalanlage für Kinder geben könnte. Befürchtet wurde, dass Kinder ohne Signalschutz queren, da sie die Anlage als ausgeschaltet wahrnehmen.

Im Rahmen der Verhaltensbeobachtungen konnte dieser Aspekt nicht berücksichtigt werden, da die

aufgrund des Datenschutzes maximal möglich Auflösung der Videos eine zuverlässige Einordnung der beobachteten Personen in Altersklassen nicht zulässt.

Fünf in der Verhaltensbeobachtung berücksichtigte Anlagen der Steuerungsvariante 3 stehen jedoch direkt vor Grundschulen. Bei diesen Anlagen ist aufgrund der Lage von einer hohen Anzahl querender Kinder auszugehen. Insgesamt querten an den fünf Anlagen 433 Personen (229 Fußgänger, 204 Radfahrer), davon ein hoher Anteil Kinder. 44 Personen querten bei Dunkel und 16 bei Rot.

Bei der erneuten Analyse dieser insgesamt 60 Querungen ohne Signalschutz konnten alle Personen entweder eindeutig der Altersklasse der Grundschulkind zugeordnet oder als ältere Jugendliche oder Erwachsene klassifiziert werden.

Demnach querten 11 Kinder bei Rot. Dabei handelte es sich um einen Vorläufer sowie 10 Nachläufer. Alle Nachläufer querten in Pulks, die sich nach Schulschluss an der F-LSA bildeten. Aufgrund der (zu knapp bemessenen) Dauer der Grünzeit konnten diese Pulks nicht vollständig während der Grünzeit die Querung beginnen, sodass die letzten Kinder dieser Pulks die Fahrbahn erst betraten, als das Signal bereits wieder Rot zeigte. Die anschließende Räumzeit reichte jedoch in allen Fällen zur Querung aus, kein Kind befand sich zum Zeitpunkt des Endes der Sperrzeit des Fahrbahnverkehrs noch auf der Furt.

Zwei sich allein fortbewegende Kinder querten bei Dunkel, dabei handelte es sich um einen Fußgänger und einen Radfahrer. In beiden Fällen war zum Zeitpunkt der Querung kein Fahrzeug auf der Fahrbahn in Sichtweite.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass an diesen Anlagen, an denen davon auszugehen ist, dass die dort querenden Kinder regelmäßig die betreffende Stelle passieren, fast alle Kinder eine Freigabe anfordern und diese auch abwarten. Da an Querungsstellen an Schulwegen häufig ein durch Eltern oder Lehrpersonal betreutes Einüben der Abläufe erfolgt, ist die Übertragung dieser Ergebnisse auf andere, von den Kindern nicht regelmäßig genutzte Querungsstellen nicht ohne weiteres möglich.

Verhalten von Personen, die angefordert haben

Eine der Annahmen, die dem Prinzip der Steuerungsvariante 3 zugrunde liegen, ist, dass querende Personen nur dann eine Anforderung auslösen, wenn es verkehrstechnisch notwendig ist oder die Person aus anderen Motiven heraus auf einen Signalschutz nicht verzichten möchte. Entsprechend ergibt sich daraus die Vermutung, dass Personen,

die anfordern, auch die Freigabe abwarten und seltener vor Beginn der Freigabe queren (These 4). Dadurch käme es zudem seltener zu ungenutzten Freigaben des Querverkehrs (und ungenutzten Rotphasen für den Fahrbahnverkehr), die durch Verkehrsteilnehmer entstehen, die zwar anfordern, dann aber noch vor Beginn der Freigabe queren.

Für diese Auswertung werden zunächst die Anlagen der Steuerungsvariante 1 und 2 gemeinsam betrachtet, da deren Funktionalität aus Sicht der an der Anlage querenden Verkehrsteilnehmer die gleiche ist.

Der Anteil der Anfordernden, die bei Grün queren, liegt bei der Steuerungsvariante 3 im Mittel genauso hoch wie bei den Steuerungsvarianten 1 und 2 (jeweils 92,8 %). Zugleich liegt der Anteil der Anfordernden, die bei Rot queren, bei der Steuerungsvariante 3 mit 1,4 % niedriger (Steuerungsvarianten 1 und 2: 7,2 %), wobei bei der Steuerungsvariante 3 zudem 5,7 % trotz Anforderung bei Dunkel querten, also ebenfalls nicht die Freigabe abwarteten. Der erste Teil der These 4 – die höhere Bereitschaft der Fußgänger bei der Steuerungsvariante 3, nach einer erfolgten Anforderung auch die Freigabe abzuwarten – ist demnach falsch.

Der zweite Teil der These 4 – die Frage, wie oft es zu ungenutzten Freigaben kommt, da der anfordernde Verkehrsteilnehmer vor Beginn der Freigabe bereits querte und auch ansonsten kein anderer Verkehrsteilnehmer die Freigabe zum Queren nutzt – ist davon unabhängig zu betrachten. So kann bspw. die Person, die die Anforderung auslöste, bereits gequert sein, die Freigabe aber durch andere Personen trotzdem zur Querung genutzt werden.

Dazu wird ermittelt, in wie vielen Freigaben, die aufgrund einer Anforderung erfolgten, jeweils keine Person querte. Freigaben, die ohne Anforderung (aufgrund z.B. der ÖV-Beschleunigung) geschaltet wurden, werden ignoriert. Rund 60 % der Freigaben ohne Querende sind nicht auf Anforderungen zurückzuführen. Rot-Vor- und Rot-Nachläufer werden ebenso wie Dunkel-Vorläufer als Querung im Zusammenhang mit der Freigabe interpretiert, da diese Personen ebenfalls den Schutz der LSA in Anspruch nehmen.

Zu berücksichtigen ist allerdings, dass nicht alle ungenutzten Freigaben durch Anforderungen von querenden Verkehrsteilnehmern ausgelöst wurden. Einige Anforderungen wurden von spielenden Kindern oder Personen getätigt, die die Querung nach der Anforderung abbrachen. So wurden z. B. an der F-LSA Bümersteder Tredde/Erikaweg (Steuerungsvariante 3) fünf der sechs Freigaben ohne querende

Verkehrsteilnehmer durch im Seitenraum spielende Kinder ausgelöst.

Über alle Anlagen sind ungenutzte Freigaben selten: Im Mittel quert in 3,4 % aller angeforderten Freigaben kein Verkehrsteilnehmer (siehe Bild 67). Dieser Anteil ist bei den Steuerungsvariante 3 mit 3,9 % und Steuerungsvariante 2 mit 3,8 % fast gleichauf, bei der Steuerungsvariante 1 liegt er mit 2,3 % niedriger. Da die Anteile der Anfordernden, die nicht bei Grün queren, bei den Steuerungsvarianten 1 nicht niedriger ist als bei den Steuerungsvarianten 2 und 3, ist der niedrigere Anteil an Freigaben ohne Querende bei den Steuerungsvariante 1 auf die häufigere Nutzung einer Freigabe durch (nur) eine andere als die anfordernde Person zurückzuführen. Unter Berücksichtigung der deutlich größeren Stärke querender Verkehrsteilnehmer an Anlagen der Steuerungsvariante 2 – die es wahrscheinlicher macht, dass eine angeforderte Freigabe von einer anderen als der anfordernden Person genutzt wird – schneidet die Steuerungsvariante 3 bzgl. der ungenutzten Freigaben besser ab als die Steuerungsvariante 2. In Relation zur Verkehrsstärke werden ungenutzte Freigaben etwas häufiger von Fußgängern als von Radfahrern angefordert.

Die These 3 kann daher – auch wenn die Steuerungsvariante 3 hinsichtlich der ungenutzten Freigaben etwas besser abschneidet als die Steuerungsvariante 2 – nicht bestätigt werden.

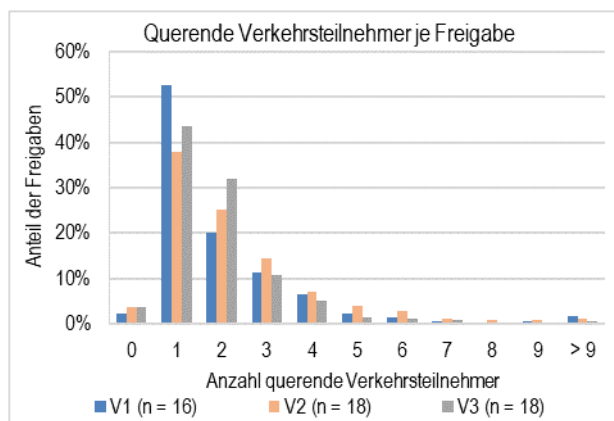


Bild 67: Anzahl der querenden Verkehrsteilnehmer je Freigabe (einschließlich Rot-Vor- und Rot-Nachläufern)

5.3.4 Verhalten Fahrbahnverkehr

Gelbüberfahrten und Rotlichtverstöße zu Beginn der Rotphase

Hinsichtlich des Verhaltens des Fahrbahnverkehrs sind (neben der Reaktion auf eventuelle Konflikte und dem Geschwindigkeitsverhalten, siehe unten) vor allem die Akzeptanz des Rotlichts sowie Gelbüberfahrten von Interesse. Es ist zu überprüfen, ob das Einschalten des Fahrbahn-Signalgebers von

Dunkel eine längere Reaktionszeit (und damit mehr Gelbüberfahrten) seitens der Kfz-Führer zur Folge hat (These 7). Die verlängerte Reaktionszeit und eine u. U. geringere Akzeptanz der Signale von Dunkelschaltungen durch die Kfz-Führer hat zudem womöglich mehr Rotfahrten bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 gegenüber der Steuerungsvariante 1 zur Folge (These 8).

Inhaltlich ähnliche Thesen wurden bereits in der Unfallanalyse untersucht, wobei dort festgestellt werden konnte, dass das Einschalten des (zuvor dunklen) Signalgebers nicht zu mehr Unfällen im Längsverkehr führt und die Steuerungsvarianten 2 und 3 bzgl. der Unfälle durch Rotlichtverstöße von Kfz-Führern besser abschneiden als die Steuerungsvariante 1. Im Folgenden sollen diese Aspekte hinsichtlich des in den Videoerhebungen erfassten Verhaltens untersucht werden. Wie bereits bei der Unfallanalyse werden die Steuerungsvarianten 2 und 3 gemeinsam betrachtet, da der Ablauf an den Anlagen aus Sicht der Fahrbahnnutzer identisch ist.

Die Übergangszeit (Gelbzeit) vor Beginn der Sperrzeit des Fahrbahnverkehrs soll bei Dunkelschaltungen (Steuerungsvarianten 2 und 3) nach RiLSA 2015 5 s betragen, ansonsten 3 s. dies wird beim Betreib der F-LSA nicht konsequent eingehalten, so wird an drei Anlagen der Steuerungsvariante 2 (mit sechs ausgewerteten Zufahrten) dennoch eine Übergangszeit von 3 s geschaltet. Diese drei Anlagen werden im Folgenden ausgeschlossen, da sie beim Übergang in die Sperrzeit des Fahrbahnverkehrs (Dunkel – 3 s Gelb – Rot) einerseits weder der Schaltung der Steuerungsvariante 1 (Grün – 3 s Gelb – Rot), noch der üblichen Schaltung bei dunklen Signalgebern (Dunkel – 5 s Gelb – Rot) zugeordnet werden können.

Im Mittel über alle Zufahrten liegt der Rotfahreranteil (Anteil der Rotfahrer an allen erfassten Kfz) bei 0,11 %, der Gelbfahreranteil (Anteil der Gelbfahrer an allen erfassten Kfz) bei 2,03 %. Bei der Steuerungsvariante 1 liegt der Rotfahreranteil mit 0,21 % rund viermal so hoch wie bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 (0,05 %), der Anteil der Gelbfahrer ist dagegen geringer (1,39 % gegenüber 2,39 % bei den Steuerungsvarianten 2 und 3).

Der Anteil der Gelbüberfahrten und Rotlichtverstöße allein ist allerdings wenig aussagekräftig: bspw. wird es bei einer F-LSA mit wenigen Anforderungen i. d. R. einen geringeren Anteil Rotfahrer geben als an einer Signalanlage mit häufigen Anforderungen, da weniger Kfz überhaupt die „Möglichkeit“ zu einem Rotlichtverstoß haben. Da Rotlichtverstöße – siehe oben – überwiegend zu Beginn einer Sperrzeit stattfinden, wird als maßgebende Größe „Rotlichtverstöße je Sperrzeit“ gewählt, um so die

Häufigkeit der Sperrung des Kfz-Verkehrs mit zu berücksichtigen.

Über alle Verkehrserhebungen wurden insgesamt 105 Rotüberfahrten und rund 1.900 Gelbüberfahrten von Kfz erfasst. Dies entspricht bei zufahrtsfeiner Betrachtung im Mittel 0,29 Gelbüberfahrten und 0,020 Rotüberfahrten je Sperrzeit, je Richtung fährt also in etwa in jeder dritten Gelbzeit sowie in jeder 50. Rotphase ein Kfz über die Haltlinie der Signalanlage. Die Zahl der Überfahrten je Gelbzeit ist bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 mit 5 s Gelbzeit genauso hoch wie bei der Steuerungsvariante 1. Dagegen werden bei der Steuerungsvariante 1 mit 0,045 Rotüberfahrten je Sperrzeit deutlich mehr Rotlichtverstöße begangen als bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 (0,009 Rotüberfahrten je Sperrzeit).

Da die Zufahrten der Anlagen der Steuerungsvariante 1 im Mittel und Median eine höhere Kfz-Stärke aufweisen als die Zufahrten der Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3, lässt sich ein Teil der häufigeren Rotfahrer mit dem Unterschied im Verkehrsaufkommen erklären, zudem erklärt dies auch teilweise die gleich hohe Zahl an Gelbfahrten trotz unterschiedlicher Länge der Gelbphase. Die Unterschiede im Verkehrsaufkommen sind jedoch nicht hoch genug, um die Größe des Unterschieds bei den Rotfahrern zu erklären.

In Bild 68 ist die zeitliche Verteilung der Gelb- und Rotüberfahrten, gemittelt über die Anlagen, dargestellt. Dabei zeigt sich, dass der Verlauf bei der Steuerungsvariante 1 und den Steuerungsvarianten 2 und 3 ähnlich ist – der Anteil der Überfahrten in der 4. und 5. Sekunde nach Beginn von Gelb ist bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 nur wenig höher als bei der Steuerungsvariante 1. Bei der Steuerungsvariante 1 finden die Überfahrten ab der 4. Sekunde jedoch bei Rot, bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 noch bei Gelb statt.

Auffällig ist bei der Steuerungsvariante 1 der Anstieg der Überfahrten im Bereich 2,0 bis 2,5 s. Offensichtlich beschleunigen einige Kfz-Führer nach dem Umschalten des Signalgebers, um noch bei Gelb die Signalanlage zu passieren. Bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 ist dieser Effekt dagegen nicht zu beobachten. Zugleich führt dieser Effekt jedoch nicht dazu, dass weniger Kfz in der 4. und 5. Sekunde nach Beginn des Gelbsignals über die Haltlinie fahren.

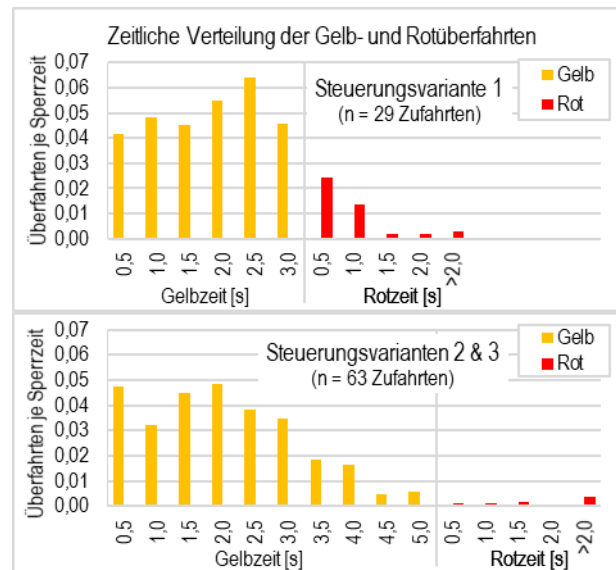


Bild 68: Zeitliche Verteilung der Gelb- und Rotüberfahrten

Anhand der Ergebnisse kann festgestellt werden, dass die These 7, wonach nach Aktivierung des Gelbsignals bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 länger Kfz die Anlage passieren als bei der Steuerungsvariante 1, nicht zutrifft: Die Zahl der Kfz-Führer, die nicht innerhalb der ersten drei Sekunden nach Beginn des Phasenübergangs anhalten können oder wollen, ist bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 nur geringfügig höher. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass davon auszugehen ist, dass viele Kfz-Führer die Anlagen häufiger passieren, ihr Verhalten an längere Gelbzeiten anpassen und somit der sowieso schon geringe Unterschied womöglich auf den Gewöhnungseffekt zurückzuführen ist.

Die These 8, wonach an F-LSA der Rotfahreranteil des Kfz-Verkehrs höher ist, ist bzgl. des Überraschungseffektes ebenfalls zu verwerfen. Vielmehr ist der Rotfahreranteil an Anlagen der Steuerungsvariante 1 deutlich höher als an den Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3, nach Einschalten der Anlage von Dunkel gehen die Überfahrten der Haltlinie in gleichem Maße zurück wie bei der Umschaltung von Grün auf Gelb bei der Steuerungsvariante 1.

Die Rotlichtüberfahrten in der ersten Rotsekunde bei der Steuerungsvariante 1 führen einerseits zu der Frage, ob eine Erhöhung der Gelbzeit auf 4 s angebracht ist. Andererseits führen die Ergebnisse zu der Frage, ob die Differenzierung der Gelbzeit zwischen den Steuerungsvarianten notwendig ist, oder ob die Reduktion der Gelbzeit bei den Steuerungsvariante 2 und 3 auf die Gelbzeit der Steuerungsvariante 1 sinnvoll ist. Diese Fragen sollen im Kapitel 6, nach Vorliegen aller Ergebnisse der Verkehrserhebungen, nochmal aufgegriffen werden.

Rotlichtverstöße im späteren Verlauf der Rotphase

Die meisten Rotlichtverstöße wurden in der ersten Sekunde nach Beginn der Rotphase begangen. Daneben wurden 15 Rotlichtverstöße nach mehr als 2,0 s Rotphase beobachtet. Diese Rotlichtverstöße waren je Sperrzeit – bei einer insgesamt geringen Fallzahl – bei den Anlagen der Steuerungsvariante 2 und 3 etwas häufiger als bei der Steuerungsvariante 1. Bei keinem dieser Rotlichtverstöße war ein querender Verkehrsteilnehmer auf der Furt, bei einem Rotlichtverstoß ein Radfahrer an der Furt.

Folgende Rotlichtverstöße wurden beobachtet:

- An einer Anlage der Steuerungsvariante 3 fuhr ein Pkw-Führer 2,2 s nach Beginn der Rotphase über die Haltlinie, dadurch verursachte er den Abbruch des Querungsbeginns eines wartenden Radfahrers (siehe auch Abschnitt 0); aus der Videoerhebung ist nicht erkennbar, ob der Pkw-Führer die LSA nicht wahrgenommen hat oder glaubte, die LSA noch vor dem Querungsbeginn der wartenden Verkehrsteilnehmer passieren zu können.
- Vier Rotlichtverstöße durch Einbieger, die aus einer untergeordneten Straße kommen und nach dem Einbiegen über die am Anschlussknotenpunkt gelegene F-LSA fahren: ein Rechtseinbieger bei Steuerungsvariante 1, zwei Rechtseinbieger an einer Anlage der Steuerungsvariante 2, ein Linkseinbieger bei Steuerungsvariante 2 (der beim Einbiegen von einem auf der Furt haltenden Lieferwagen behindert wurde)
- Drei Rotlichtverstöße an einer Anlage der Steuerungsvariante 1 bei der Auflösung von Rückstau; dabei warteten Pkw-Führer aufgrund eines hinter der LSA haltenden Busses vor der LSA und fuhren bei Weiterfahrt des Busses über Rot.
- An je einer Anlage der drei Steuerungsvarianten hielten Pkw an oder verzögerten deutlich und ließen querende Verkehrsteilnehmer passieren, um dann – deutlich nach Verlassen der Furt durch die querenden Verkehrsteilnehmer – bei Rot weiterzufahren. An der Anlage der Steuerungsvariante 3 fuhren dabei zwei Pkw hintereinander über Rot.
- An je einer Anlage der drei Steuerungsvarianten fuhr, nachdem die Rotphase bereits einige Zeit bestand, je ein Pkw-Führer über Rot, ohne dass eine Reaktion seitens des Pkw-Führers erkennbar war; es ist zu vermuten, dass diese Verkehrsteilnehmer die LSA nicht wahrgenommen haben.

Vor dem Hintergrund der geringen Fallzahl und der unterschiedlichen Verkehrssituationen, die zu den

Rotlichtverstößen führten, kann aus den Verkehrsbeobachtungen nicht beantwortet werden, ob Dunkelschaltungen für den Kfz-Verkehr zu einer schlechteren Wahrnehmung oder Akzeptanz und daher zu mehr Rotlichtverstößen im späteren Verlauf der Rotphase führen. Die Ergebnisse der Unfallanalyse (geringere Unfallrate durch Rotlichtverstöße (UR_{Rot}) bei den Steuerungsvarianten 2 und 3) sprechen allerdings dafür, dass die unfallrelevanten Rotlichtverstöße entweder die bei der Steuerungsvariante 1 häufiger beobachteten Rotlichtüberfahren in den ersten Rotsekunden sind, oder die hier beobachtete Fallzahl für eine abschließende Bewertung nicht ausreicht.

5.3.5 Geschwindigkeitsverhalten der Kfz

An allen Anlagen, an denen Videoerhebungen durchgeführt wurden, wurden auch mittels Radar-Handmessgerät Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Um ein möglichst repräsentatives Bild der Geschwindigkeitswahl zu bekommen, wurden nur freifahrende Pkw (also keine Lkw etc.) gemessen. Ziel war die Messung von 100 Kfz je Fahrtrichtung (Zufahrt). An einigen Stellen konnten, z. T. nur für eine Fahrtrichtung, keine 100 Fahrzeuge gemessen werden, da keine ausreichende Zahl an freifahrenden Fahrzeugen beobachtet wurden. Ursache dafür waren bspw. hohe Verkehrsaufkommen mit entsprechend dichtem Verkehrsfluss, häufige Anforderung der F-LSA und dadurch häufige Unterbrechung des Verkehrsflusses, Stellen an Einmündungen mit stärkerem einbiegenden Verkehr sowie Zählstellen, an denen die Zufahrten zur LSA aufgrund parkender Kfz abschnittsweise de facto nur einstreifig befahrbar waren, weshalb Kfz regelmäßig für entgegenkommende Fahrzeuge anhalten mussten. Sofern weniger als 50 Kfz gemessen werden konnten, wird die jeweilige Fahrtrichtung nicht in die Auswertung aufgenommen. Ebenfalls nicht mit aufgenommen wurden Messungen an Zufahrten mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h. Die Steuerungsvarianten 2 und 3 werden wiederum gemeinsam betrachtet.

In Bild 69 sind die Verläufe der Mittelwerte über die Anlagen einschließlich der 10 %- und 90 %-Quantile dargestellt. Die Geschwindigkeit der Kfz liegt an den Anlagen der Steuerungsvariante 1 um etwa 3,2 km/h über der Geschwindigkeit an den Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3. Auch die Quantile liegen bei den Anlagen der Steuerungsvariante 1 jeweils höher, wobei der Unterschied bei den Anlagen mit hohem Geschwindigkeitsniveau geringer ist als bei den Anlagen mit niedrigem Geschwindigkeitsniveau.

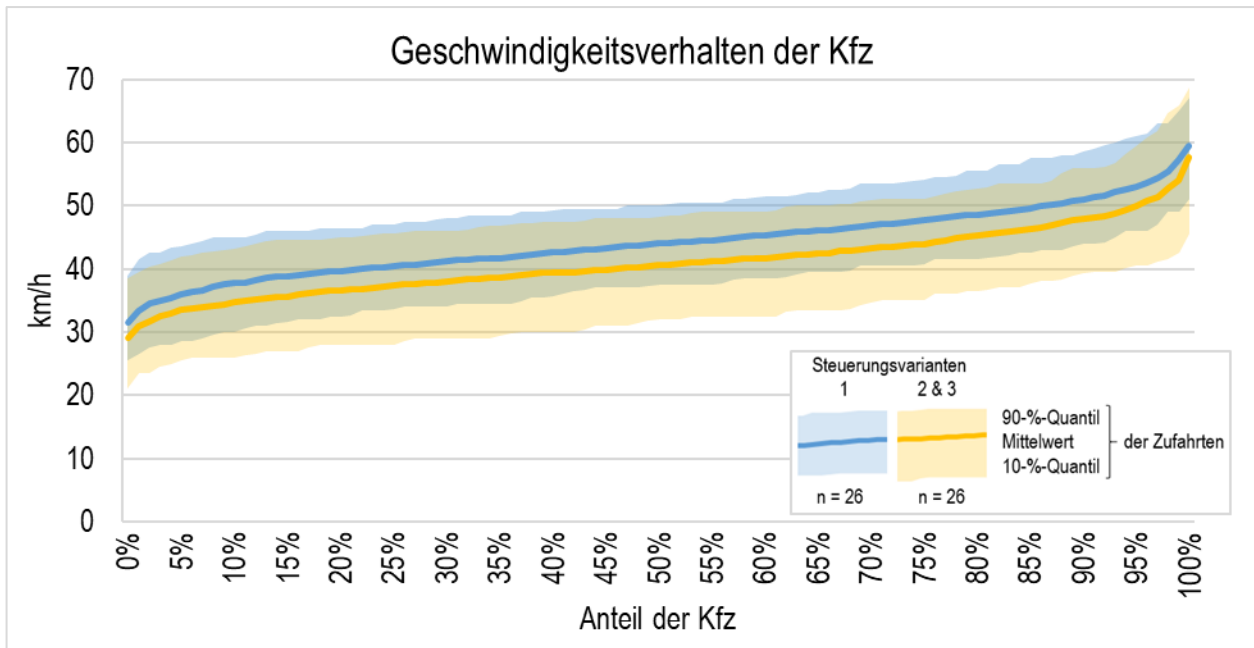


Bild 69: Geschwindigkeitsverhalten der Kfz in Abhängigkeit der Steuerungsvariante (nur Leichtverkehr; nur Zufahrten mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und mindestens 50 gemessenen Kfz)

Die These 6, dass das Grünlicht der Steuerungsvariante 1 eine Sogwirkung entfaltet – eine Annahme, die bereits in der Befragung (siehe Kapitel 3) als Argument für Dunkelschaltungen genannt wurde –, lässt sich also bestätigen: das Geschwindigkeitsniveau liegt an den Anlagen mit grünem Signal höher als bei dunklem Fahrbahn-Signalgeber.

Ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau bzw. das Fehlen eines Sogeffekts bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 erklärt womöglich auch zum Teil den im Abschnitt 5.3.4 beschriebenen Effekt, dass sich die Zahl der Überfahrten über Gelb bzw. Rot nach Beginn der Gelbphase zwischen den Steuerungsvariante kaum unterscheidet, obwohl die Überfahrt bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 länger erlaubt ist.

5.3.6 Konflikte

Im Rahmen der Auswertung der Videoerhebungen wurden Konflikte zwischen querenden Verkehrsteilnehmern und Fahrzeugen im Längsverkehr zweistufig erfasst: Zunächst wurde im Rahmen der Erhebung des Querverkehrs aufgenommen, ob es zu einer Interaktion zwischen Verkehrsteilnehmern kam. Als Interaktion wurde hierbei eine Situation definiert, bei der mindestens eine rechtzeitige und kontrollierte Reaktion eines Verkehrsteilnehmers erforderlich wurde, um einen Unfall zu vermeiden. Anschließend wurden alle in der ersten Stufe registrierten Interaktionen danach bewertet, ob es sich um einen Konflikt handelte. Als Konflikt wurde hierbei gewertet, wenn eine beobachtbare (kurzfristige oder starke) Reaktion durch einen der beteiligten Verkehrsteilnehmer erfolgte, um eine Kollision

zu vermeiden (z. B. starkes Bremsen, plötzlich Ausweichen).

Solche Konflikte sind im Untersuchungskollektiv selten: Von den mehr als 14.000 beobachteten Querungen waren 7 als Konflikt einzustufen:

- Der schwerwiegendste Konflikt ereignete sich während der Nachher-Erhebung an der Anlage in Misburg: Dort querten sechs Jugendliche bei Rot, wobei sie beabsichtigten, durch den auf dem zweiten zu querenden Fahrstreifen bestehenden Rückstau zu queren. Während der Querung löste sich der Rückstau auf. Der vor der Furt wartende Pkw-Führer hupte daraufhin und beschleunigte, weshalb einer der Jugendliche zur Seite springen mussten, um einen Zusammenstoß zu verhindern. Auch wenn der ursprüngliche Auslöser der Situation der Rotlichtverstoß der Querenden war, so hätte dieser ohne das Verhalten des Pkw-Führers nur zu einer leichten Behinderung des anfahrenen Kfz, nicht aber einer kritischen Situation geführt.
- An einer Anlage der Steuerungsvariante 3 fuhr ein Pkw-Führer 2,2 s nach Beginn der Rotphase (und damit 1,2 s nach Beginn der Grünphase des Querverkehrs) über die Haltlinie, woraufhin ein gerade den Quervorgang beginnender Radfahrer zurückschreckte und erst einige Sekunden später querte. Aus der Videoerhebung ist nicht erkennbar, ob der Pkw-Führer die LSA nicht wahrgenommen hat oder

glaubte, die LSA noch vor dem Querungsbeginn der wartenden Verkehrsteilnehmer passieren zu können.

- An einer Anlage der Steuerungsvariante 2 querten mehrere Fußgänger von einer Straßenbahnhaltestelle zu einem auf dem gegenüberliegenden Fahrstreifen haltenden Bus, wodurch ein auf dem ersten zu querenden Fahrstreifen fahrender Pkw-Führer abbremsen musste.
- Während der Vorher-Erhebung an der Versuchsanlage Universität Nord (Steuerungsvariante 2) fuhr ein Radfahrer aus dem Seitenraum über den Radweg zur Wartefläche zwischen Radweg und Fahrbahn, weshalb ein auf diesem Radweg im Längsverkehr fahrender Radfahrer bremsen musste.
- An einer Anlage der Steuerungsvariante 1 querte ein Senior zu Fuß wenige Meter neben der F-LSA, weshalb ein auf dem zweiten zu querenden Fahrstreifen fahrender Pkw-Führer abbremsen musste.
- An einer Anlage der Steuerungsvariante 2 querte ein Fußgänger bei Rot, weshalb ein auf dem zweiten zu querenden Fahrstreifen fahrender Radfahrer bremsen musste.
- An einer Anlage der Steuerungsvariante 2 behinderten mehrere, auf dem freigegebenen Gehweg Rad fahrende Kinder/Jugendliche das Queren von drei wartenden Fußgängern während einer Freigabe, wobei die Fußgänger einen Querungsversuch aufgrund der Radfahrer abbrechen mussten.

Daneben waren diverse Interaktionen zu beobachten, die jedoch nicht als Konflikte einzustufen sind, bei denen aber die (kontrollierte) Reaktion eines Verkehrsteilnehmers erforderlich wurde, um einen Unfall zu vermeiden. So brachen in zwei Fällen Fußgänger (als Nachläufer, Steuerungsvariante 2) oder Radfahrer (als Vorläufer, Steuerungsvariante 3 bei rotem Signal des Querverkehrs) eine bereits begonnene Querung bei Rot ab, da sich Kfz näherten. In zwei Fällen (Steuerungsvarianten 1 und 2) blockierten wartende Fußgänger den Radweg, so dass Radfahrer verlangsamten bzw. anhalten mussten. An zwei Anlagen der Steuerungsvariante 2 sorgten Rot-Nachläufer dafür, das Kfz-Führer ihren Anfahrvorgang nach Ende der Sperrzeit kurzzeitig abbrechen mussten.

An einer Anlage der Steuerungsvariante 3 sowie in den Annäherungsbereichen je einer Anlage der drei Steuerungsvarianten betraten Fußgänger die Fahrbahn und wollten dort das Passieren von Pkw auf dem zweiten zu querenden Fahrstreifen abwarten, woraufhin die Pkw-Führer jeweils anhielten und die

Fußgänger passieren ließen. Bei keiner dieser Interaktionen bestand jedoch die Gefahr einer Kollision. Auch ohne Reaktion der Kfz-Führer wäre bei es bei diesen Querungen nicht zu kritischen Situationen gekommen, zudem waren die durch Kfz-Führer ausgeführten Bremsmanöver jeweils schwach ausgeprägt und fanden kontrolliert statt.

Letztendlich ist festzustellen, dass die These 5 – häufigere Konflikte bei der Steuerungsvariante 3 als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2 – mit den vorliegenden Daten nicht vollständig beantwortet werden kann: Die Zahl der beobachteten Konflikte ist insgesamt so gering, dass ein Vergleich der Steuerungsvarianten nicht möglich ist. Allerdings war im gesamten Kollektiv kein auf eine Querung bei Signalstellung Dunkel zurückzuführender Konflikt zu beobachten. Daher ist davon auszugehen, dass auch eine nochmals deutlich vergrößerte Datenbasis nicht dazu führen würde, dass die Zahl der Konflikte die anhand der Unfallanalyse getroffene Aussage – Dunkelschaltungen für den querenden Verkehr führen nicht zu häufigen Gefahrensituationen bzw. Unfällen bei Querungen – in Frage stellen kann.

5.3.7 Verkehrsablauf im Querverkehr Zeit von Ankunft bis Anforderung

Bei Personen, die eine Freigabe anfordern, enthält die Zeit zwischen Ankunft an der Anlage und Querungsbeginn auch den Zeitraum von Ankunft bis zur Anforderung. Die Länge dieses Zeitraums kann variieren, wenn eine Person nicht versteht, dass für eine Freigabe angefordert werden muss oder zunächst eine Querung ohne Signalschutz anvisiert, sich dann – z.B. aufgrund des Verkehrsaufkommens – doch zu einer Anforderung entschließt. Insbesondere bei der Steuerungsvariante 3 können deshalb auch längere Zeiten zwischen Ankunft und Anforderung plausibel sein.

Berücksichtigt werden dabei nur Personen, die anfordern, bei deren Ankunft noch nicht angefordert wurde und die nicht bei Grün die LSA erreichen.

Über alle Anlagen vergehen zwischen Ankunft und Anforderung bei Fußgängern im Mittel 3,9 s (Median: 3,3 s), bei Radfahrern im Mittel 4,1 s (Median: 3,3 s). Die Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten sind bis zum Median gering. Unterschiede gibt es bei den Zeitspannen oberhalb des Medians: so liegt bei der Steuerungsvariante 3 das 75%-Quantil und das 90%-Quantil jeweils oberhalb der entsprechenden Werte bei den Steuerungsvarianten 1 und 2. Dies weist darauf hin, dass einige Verkehrsteilnehmer bei der Steuerungsvariante 3 zu-

nächst bei Dunkel queren wollen, dann aber aufgrund der Verkehrslage doch anfordern, die Möglichkeit der Querung bei Dunkel also situationsbezogen nutzen.

Zeit von Anforderung bis Freigabe

Zweites Element der Gesamtzeit zwischen Ankunft und Querungsbeginn ist die Zeitdauer zwischen Anforderung und Freigabe. Diese lässt sich als „angebotsseitige Wartezeit“ interpretieren, da sie nur durch die implementierte Steuerung, nicht durch das Verhalten der querenden Verkehrsteilnehmer beeinflusst wird. Entsprechend ist diese Zeitspanne unabhängig von der Frage, ob und wie viele Verkehrsteilnehmer tatsächlich queren, zu betrachten.

Im Durchschnitt über alle Anlagen vergehen zwischen Anforderung und Freigabe 15,8 s (Median: 13,4 s). Die Steuerungsvarianten 2 und 3 liegen bzgl. Mittelwert und Median gleichauf, bei der Steuerungsvariante 1 liegt der Mittelwert (trotz der kürzeren Gelbzeit) rund 2 s, der Median rund 3 s höher (siehe Bild 70).

Diese Zeitspannen entsprechen nicht den mittleren Wartezeiten der an den Anlagen bei Grün querenden Verkehrsteilnehmer, da je Umlauf unterschiedlich viele Verkehrsteilnehmer queren, diese nicht gleichzeitig eintreffen und Personen bereits vor Anforderung längere Zeit an der Anlage stehen können (bspw., wenn sie zunächst versuchen, bei Dunkel oder Rot zu queren und erst dann anfordern).

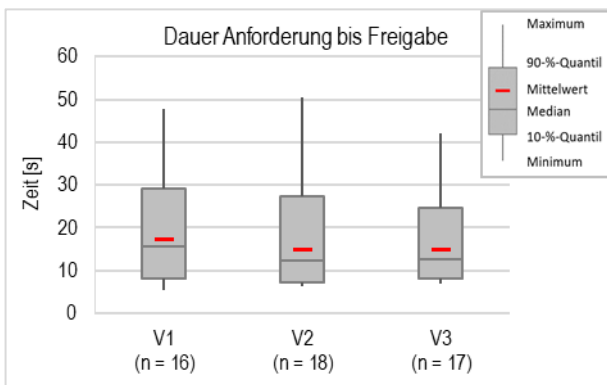


Bild 70: Zeitspannen zwischen Anforderung und Beginn der Freigabe je Steuerungsvariante (Anlagen mit mindestens 10 Anforderungen im Beobachtungszeitraum)

Zuwegzeit

Der dritte Teil der Zeit zwischen Ankunft an der Anlage und Querungsbeginn (Betreten der Fahrbahn) entfällt bei Verkehrsteilnehmern, die bei Grün queren und zu Beginn der Freigabe bereits warten, auf die Zuwegzeit. Die Zuwegzeit ist die Zeit, die Verkehrsteilnehmer nach Beginn der Freigabe benötigen, um den Querungsvorgang mit dem Betreten

der Fahrbahn zu beginnen. Sie setzt sich zusammen aus der Reaktionszeit und der Zeit, die der Verkehrsteilnehmer für den Weg von der Position des Wartens bis zum Fahrbahnrand benötigt. In ALRUTZ et al. (2012) wurde anhand einer kleinen Stichprobe (n = 124 Fußgänger) eine mittlere Zuwegzeit von 2,4 s ermittelt, für Mobilitätseingeschränkte eine Zuwegzeit von 3,4 s (n = 6).

Die in diesem Projekt erhobenen Daten ermöglichen die Ermittlung der Zuwegzeit mit einer deutlich größeren Stichprobe: So wurden an den Anlagen der Verkehrserhebungen insgesamt 4.771 Fußgänger sowie 1.928 Radfahrer beobachtet, die bei Grün querten und zum Zeitpunkt des Beginns der Freigabe bereits warteten, die Anlage also nicht während der Grünphase erreichten.

Über die Verkehrsteilnehmer aggregiert lag bei den Fußgängern die mittlere Zuwegzeit bei 2,57 s, der Median bei 2,36 s (siehe Tab. 17). Die Zuwegzeiten beim Radverkehr unterscheiden sich wenig von denen des Fußverkehrs.

Ebenso sind die Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten gering, was aufgrund des bei allen drei Varianten ähnlichen Ablaufs bei Beginn der Freigabe plausibel ist. Nur bei sieben F-LSA der Steuerungsvariante 3 unterscheidet sich der Ablauf insofern, als der Beginn der Freigabe des Querverkehrs nicht durch das Umschalten von Rot auf Grün, sondern von Dunkel auf Grün beginnt. Bei den Anlagen mit Beginn der Grünphase von Dunkel ist die Zuwegzeit der Fußgänger etwas geringer als bei den Anlagen mit Beginn der Grünphase von Rot, bei den Radfahrern ist dieser Unterschied nur schwach ausgeprägt.

	Zugwegzeit [s]				n
	10%-Quantil	Median	Mittelwert	90%-Quantil	
Fußgänger	1,25	2,36	2,57	4,10	4.771
davon: mit Hilfsmittel	1,73	2,90	3,09	4,80	219
Radfahrer	1,28	2,25	2,56	4,27	1.928
Fg & Rf	1,26	2,34	2,57	4,15	6.699

Tab. 17: Zuwegzeiten bei Querungsbeginn

Bei den beobachteten Fußgängern mit Hilfsmittel liegt die Zuwegzeit höher (Mittelwert: 3,1 s, Median: 2,9 s, n = 219), wobei „Hilfsmittel“ in der Mehrheit der Fälle das Schieben eines Kinderwagens bedeutet. Bei den Personen mit Mobilitätseinschränkungen im Sinne der Nutzung von Krücken, Rollatoren oder Rollstühlen beträgt die Zuwegzeit im Mittel 3,0 s, im Median 2,9 s (n = 42).

Wartezeit

Als Wartezeit wird in diesem Zusammenhang die Zeitspanne zwischen Ankunft an der Wartefläche und dem Querungsbeginn (mit dem Betreten der Fahrbahn) bezeichnet, also die Kombination der zuvor einzeln analysierten Elemente. Möglich wäre (ohne Berücksichtigung der Zuwegzeit) auch die Betrachtung der Zeitspanne zwischen dem Erreichen der Wartefläche und dem Beginn der Freigabe, sofern die Person während einer Freigabe quert. Damit wäre der Einfluss der unterschiedlichen Reaktionszeiten von Verkehrsteilnehmern auf die Freigabe ausgeschlossen. Dies führt allerdings zu Problemen bei der Vergleichbarkeit der Wartezeiten zwischen Personen, die bei Grün die Anlage erreichen, Personen, die bei Rot die Anlage erreichen und bei Grün queren sowie Personen, die bei Rot oder Dunkel queren (und damit auch zu Problemen beim Vergleich der Steuerungsvarianten).

Einbezogen in diese Auswertung werden alle Verkehrsteilnehmer, die an der Anlage queren. Ausgeschlossen werden die Querungen im Annäherungsbereich, da für diese keine Ankunft an einer Warterposition bestimmt werden kann.

Im Mittel warten Verkehrsteilnehmer über alle Anlagen aggregiert 16,0 s (Median: 14,2 s). Die Wartezeit ist bei Fußgängern mit 16,8 s (Median: 14,7 s) rund 0,6 s länger als bei Radfahrern, was u.a. auf deren höheren Anteil an Querungen bei Rot und Dunkel zurückzuführen ist.

Die Wartezeit des Fuß- und Radverkehrs liegt bei der Steuerungsvariante 3 mit 14,4 s unter den Wartezeiten bei den Steuerungsvarianten 2 (15,8 s) und 1 (18,0 s) (siehe Bild 71). Bei der getrennten Betrachtung nach Fuß- und Radverkehr sind die Verhältnisse zwischen den Varianten ähnlich.

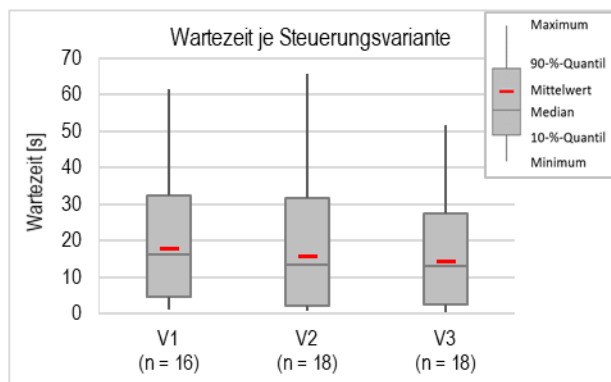


Bild 71: Wartezeit der an der Anlage querenden Verkehrsteilnehmer je Steuerungsvariante

Für die Auswertungen der Wartezeit in Abhängigkeit der Signalisierung werden Rot-Vorläufer den Querungen bei Grün zugeschlagen, da auch bei

diesen Verkehrsteilnehmern von einer bewussten Inanspruchnahme des Signalschutzes auszugehen ist. Die Rot-Nachläufer werden dabei nicht berücksichtigt, da diese weder sinnvoll den Grünläufern zugeordnet werden können, bei den Wartezeiten (i. d. R. direktes Betreten der Fahrbahn nach Ankunft) aber auch grundsätzlich nicht mit den anderen Rotläufern vergleichbar sind.

Die regelkonform – also bei Grün oder Dunkel – querenden Verkehrsteilnehmer warten im Durchschnitt über die drei Steuerungsvarianten 17,0 s (Median: 15,0 s), wobei die Werte sich zwischen Fuß- und Radverkehr kaum unterscheiden.

Die niedrigsten Wartezeiten treten wiederum bei der Steuerungsvariante 3 auf, wobei der Unterschied noch größer ausfällt als beim Einbezug der nicht regelkonform querende Verkehrsteilnehmer: Der Mittelwert der Wartezeiten bei der Steuerungsvariante 2 liegt mit 17,3 s rund 18 % über dem entsprechenden Mittelwert bei der Steuerungsvariante 3 (14,7 s), bei der der Steuerungsvariante 1 ist die Differenz mit über einem Viertel (19,2 s) noch größer. Getrennt nach Fuß- und Radverkehr liegen die Unterschiede zwischen den Varianten in ähnlichen Größenordnungen.

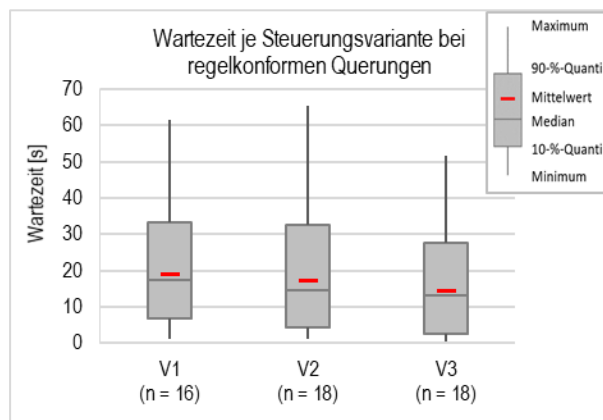


Bild 72: Wartezeit der an der Anlage bei Grün oder Dunkel querenden Verkehrsteilnehmer je Steuerungsvariante

Bei Rot querende Verkehrsteilnehmer warten im Mittel 8,7 Sekunden, wobei die Wartezeit bei den Fußgängern deutlich höher ist als bei den Radfahrern. Ein Vergleich zwischen den Steuerungsvarianten lässt sich bei den Querungen bei Rot aufgrund der geringen Fallzahlen (bei der Steuerungsvariante 1 weisen 5, bei der Steuerungsvariante 3 nur 2 Anlagen 10 oder mehr bei Rot querenden Verkehrsteilnehmer auf) nicht durchführen. Tendenziell liegt die Wartezeit der bei Steuerungsvariante 3 bei Rotläufern höher als bei der Steuerungsvariante 1 und dort wiederum höher als bei Steuerungsvariante 2.

Querungen mit und ohne Halt

Als Teil der Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs ist auch die Anzahl der Halte bzw. der Anteil der Verkehrsteilnehmer, die ohne Halt Querungen können, zu betrachten. Theoretisch ist die Wartezeit für diese Verkehrsteilnehmer gleich Null. Allerdings wurde als Beginn der Wartezeit stets das Erreichen der Wartefläche, als Querungsbeginn (und damit Ende der Wartezeit) das Betreten oder Befahren der Fahrbahn aufgenommen. In der Wartezeit ist dementsprechend auch die Zeit enthalten, die die Verkehrsteilnehmer für das Passieren der Wartefläche, das Registrieren der aktuellen Signalstellung der LSA und – bei Querung bei Dunkel oder Rot – das Orientieren bzgl. des Fahrbahnverkehrs benötigen.

Diese Zeitspanne lässt sich nicht rein rechnerisch ermitteln, da einerseits die Größe der Wartefläche aufgrund örtlicher Gegebenheiten zwischen den Anlagen variiert, zum anderen Verkehrsteilnehmer aufgrund unterschiedlicher Geh- oder Fahrgeschwindigkeiten unterschiedlich lange für das Passieren der Wartefläche benötigen. Die Zeit, bis zu der ein Verkehrsteilnehmer als „ohne Halt passierend“ gewertet wird, wird deshalb empirisch ermittelt. Dazu wird die Summenlinie der Wartezeiten über alle Verkehrsteilnehmer aller Anlagen – getrennt nach Fuß- und Radverkehr – gebildet (siehe Bild 73). Dort zeigt sich, dass der Anteil der Verkehrsteilnehmer zunächst steil ansteigt, der Anstieg dann aber nach wenigen Sekunden abflacht. Diese Abflachung ist darauf zurückzuführen, dass sich die Wartezeiten bei Personen, die nicht sofort und ohne Behinderung querend können, stärker differenzieren als bei Personen, die sofort – und damit ohne Halt – querend.

Der Beginn der Abflachung der Summenlinie ist damit der Zeitpunkt, bis zu dem die Querung eines Verkehrsteilnehmers als „ohne Halt“ gewertet wird. Beim Fußverkehr beginnt diese Abflachung bei 2,80 s, beim Radverkehr bei 1,75 s.

Im Diagramm erkennbar ist zudem, dass die Summenlinie ab ca. 10 Sekunden erneut steiler ansteigt. Dies ist in etwa der Zeitpunkt, ab dem Personen querend, die direkt nach Ankunft anfordern und bei Beginn der Freigabe querend, sofern die Anlage direkt nach Anforderung den Phasenübergang einleitet.

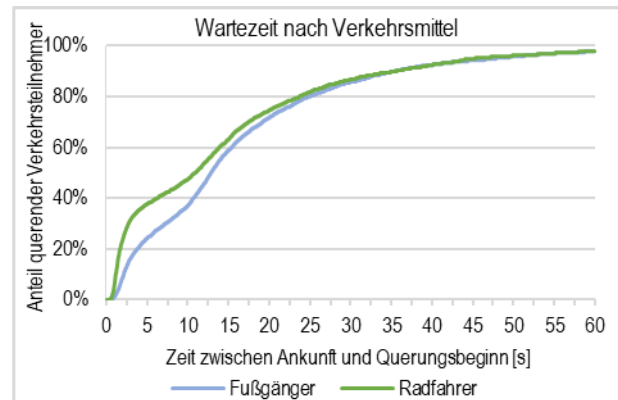


Bild 73: Summenlinien der Wartezeit nach Verkehrsmittel, aggregiert über alle querenden Verkehrsteilnehmer

Im Mittel der Anlagen querend bei den Steuerungsvarianten 1 und 2 mehr Fußgänger ohne Halt als bei der Steuerungsvariante 3, bei den Radfahrern ist das Verhältnis umgekehrt und die Differenz größer (siehe Bild 74). Werden nur legal (also bei Grün oder Dunkel) querende Verkehrsteilnehmer betrachtet, liegen die Steuerungsvarianten 1 und 2 einerseits und die Steuerungsvariante 3 andererseits beim Fußverkehr fast gleichauf, beim Radverkehr wird der Abstand zwischen den Steuerungsvarianten gegenüber allen Querungen größer. Auffällig ist, dass auch von den bei Dunkel querenden Verkehrsteilnehmern die meisten nicht ohne Halt querend: nur 25 % der bei Dunkel querenden Fußgänger und 38 % der bei Dunkel querenden Radfahrer konnten ohne Halt passieren. Dies zeigt, dass viele Verkehrsteilnehmer bei Dunkelanlagen nicht nur dann bei Dunkel querend, wenn dies sofort möglich ist, sondern auch bei nicht sofort möglicher Querung zunächst abwarten, ob sich zeitnah eine ausreichende Zeitlücke bildet.

Die These 8 ist dementsprechend in Bezug auf die Aussage, dass es bei der Steuerungsvariante 3 zu weniger Halten im Querverkehr kommt, für den Radverkehr zu bestätigen. Für den Fußverkehr kann sie dagegen nicht bestätigt werden.

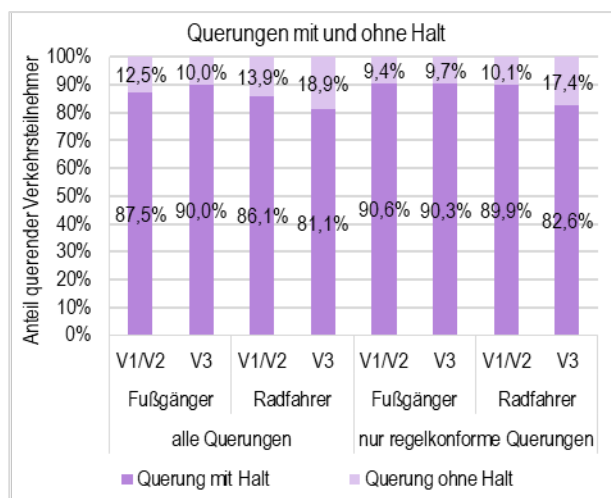


Bild 74: Querungen mit und ohne Halt

5.3.8 Verkehrsablauf des Fahrbahnverkehrs

Unterbrechungen des Verkehrsflusses

Zur Bewertung des Verkehrsablaufs des Kfz-Verkehrs und des Einflusses der Steuerungsvariante der F-LSA auf diesen sind die Zahl oder der Anteil der Halte sowie die Wartezeiten schlecht geeignet: Zwar hat die Häufigkeit der Anforderung (und damit bspw. der Verzicht auf Anforderung bei der Steuerungsvariante 3) Einfluss auf die Verkehrsqualität, die Zahl der Halte und die Wartezeiten sind jedoch von weiteren Faktoren abhängig:

- Je höher die Kfz-Stärke, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass während einer Sperrzeit Fahrzeuge die Anlage erreichen. Aufgrund von Pulkbildung etc. ist dieser Einfluss jedoch vermutlich nicht linear.
- Eine Koordinierung der F-LSA mit benachbarten LSA kann dazu führen, dass an der beobachteten LSA trotz häufiger Sperrzeiten und hoher Kfz-Stärke nur wenige Kfz halten müssen.
- Bereits die Verwendung eines Zeitlückenkriteriums, bei dem die Freigabe des Fahrbahnverkehrs bei detektierten Fahrzeugen in der Zufahrt gedehnt wird, kann die Zahl der haltenden Fahrzeuge (gegenüber einer vergleichbaren Anlage ohne Detektion) deutlich verringern.

Daher wird für die Auswirkungen der F-LSA auf den Verkehrsablauf auf der Fahrbahn auf die Größe „Sperrzeiten je querendem Verkehrsteilnehmer“ zurückgegriffen. Diese beschreibt den Einfluss, den ein querender Verkehrsteilnehmer – unabhängig von der Stärke des Fahrzeugverkehrs, der Pulkung der Fahrzeuge sowie auch unabhängig von signaltechnischen Parametern wie Länge der Räumzeit etc. – auf den Fahrbahnverkehr hat. Als „Effizienzindikator“

bildet die Größe ab, wie viele Unterbrechungen des Fahrbahnverkehrs notwendig sind, um den Querverkehr abzuwickeln. Nicht berücksichtigt werden Sperrzeiten, die nicht durch querende Verkehrsteilnehmer, sondern bspw. durch ÖV-Fahrzeuge angefordert werden.

Bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 liegt die Zahl der Sperrzeiten des Fahrbahnverkehrs je querendem Verkehrsteilnehmer gleichauf und unter dem entsprechenden Wert bei der Steuerungsvariante 1 (siehe Bild 75). Allerdings queren bei der Steuerungsvariante 3 mit 47 Fußgängern und Radfahrern je Stunde im Mittel weniger Verkehrsteilnehmer als bei der Steuerungsvariante 1 (56 Fußgänger und Radfahrer je Stunde) und deutlich weniger als bei der Steuerungsvariante 2 (103 Fußgänger und Radfahrer je Stunde). Je mehr Verkehrsteilnehmer an einer Anlage queren, desto weniger Sperrzeiten treten je querendem Verkehrsteilnehmer auf, da häufiger die Situation auftritt, dass mehrere Verkehrsteilnehmer dieselbe Sperrzeit nutzen (siehe Bild 97 im Anhang 4). Es lässt sich als feststellen, dass es – wie in These 11 angenommen – an Anlagen der Steuerungsvariante 3 bei gleicher Querverkehrsstärke zu weniger Unterbrechungen für den Fahrbahnverkehr kommt als an Anlagen der Steuerungsvarianten 1 und 2.

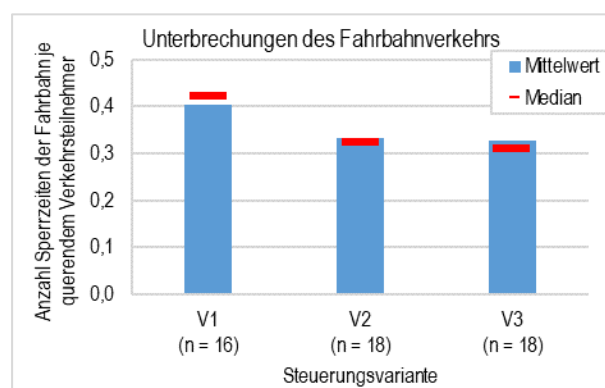


Bild 75: Unterbrechungen des Fahrbahnverkehrs je querendem Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit der Steuerungsvariante

Aus den Sperrzeiten resultieren Halte von Kfz. In Verknüpfung mit dem Querverkehrsaufkommen entsteht die Größe „Halte im Kfz-Verkehr je querenden Verkehrsteilnehmer“, die angibt, wie stark der Kfz-Verkehr absolut durch das Aufkommen und das Verhalten der querenden Verkehrsteilnehmer beeinflusst wird. Auch dabei schneidet die Steuerungsvariante 3 am besten, die Steuerungsvariante 1 am schlechtesten ab (siehe Bild 76). In diesem Ergebnis ist jedoch auch der Einfluss der Kfz-Stärken enthalten. Bei der Analyse nicht der absoluten Zahl der Halte, sondern des Anteils der haltenden Kfz in Abhängigkeit des Querverkehrsaufkommens

zeigt sich jedoch, dass der in Bild 76 sichtbare Effekt nicht nur auf das Kfz-Aufkommen zurückzuführen ist: So nimmt der Anteil der haltenden Kfz mit steigendem Querverkehrsaufkommen bei allen Steuerungsvarianten zu. Der Verlauf der Anteile liegt jedoch bei der Steuerungsvariante 3 unter dem Verlauf der Anteile bei der Steuerungsvariante 2. Die Steuerungsvariante 1 liegt zwischen den beiden anderen Steuerungsvarianten (siehe Bild 98 im Anhang 4).

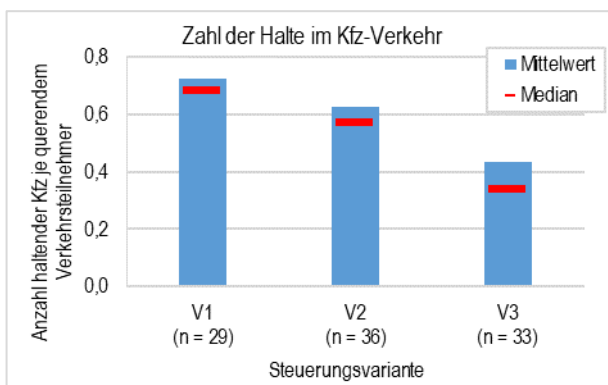


Bild 76: Anzahl der haltenden Kfz je querendem Verkehrsteilnehmer, berechnet je Zufahrt

Anfahrzeit

Nach Beginn der Freigabe für den Fahrbahnverkehr setzen sich die wartenden Fahrzeuge in Bewegung. Diese Anfahrzeit – vom Umschalten des Signalgebers bis zur Überfahrt der Haltlinie – stellt das Äquivalent zur oben behandelten Zuwegzeit im Querverkehr da. Sie enthält die Reaktionszeit sowie die Zeitspanne, die der Anfahrvorgang benötigt. Da sich Kfz-Führer vor einer LSA bei Strecken mit einem Fahrstreifen je Richtung nur hintereinander aufstellen können, ist die Anfahrzeit – anders als beim Querverkehr – für jede Warteposition getrennt zu betrachten. Ausreichende Fallzahlen existieren für die ersten fünf Wartepositionen.

Wie bei der Zuwegzeit des Querverkehrs werden auch in diesem Fall die Daten über die Verkehrsteilnehmer statt über die Anlagen bzw. deren Zufahrten aggregiert. Radfahrer werden nicht berücksichtigt, da diese sich z. T. neben Kfz aufstellen oder wartende Kfz überholen und daher ihre „Warteposition“, die sich aus der Reihenfolge des Erreichens der F-LSA ergibt, oft nichts darüber aussagt, von welcher Entfernung zur Haltlinie sie ihren Anfahrvorgang beginnen. Ebenso erfolgt keine Berücksichtigung von Lkw über 7,5 t, da bei ihnen von einem langsameren, mit Pkw nicht direkt vergleichbarem Anfahrverhalten auszugehen ist.

In 8 Zufahrten existieren zusätzliche, abgesetzte Haltlinien, die das Freihalten von Knotenpunkten oder Grundstückszufahrten gewährleisten sollen. Bei diesen Zufahrten umfasst die Zeitspanne zwischen Umschalten der LSA und Überfahrt der Haltlinie neben der Reaktionszeit und dem Anfahrvorgang auch das Zurücklegen der Strecke zwischen abgesetzter Haltlinie und der Haltlinie direkt an der F-LSA. Oft sind die gemessenen Werte zudem eine Mischung aus Kfz, die an der ersten, und Kfz, die an der zweiten Haltlinie warteten. Daher sind die ermittelten Werte an diesen Zufahrten nicht mit denen anderer Zufahrten vergleichbar und werden in diese Auswertung nicht mit einbezogen. Ebenfalls nicht mit einbezogen werden zwei Zufahrten, an der sich Kfz aufgrund überbreiter Fahrstreifen an der F-LSA nebeneinander positionierten. Auch hier sind die ermittelten Werte aufgrund des parallelen Anfahrens von jeweils zwei Fahrzeugen nicht mit den anderen Anlagen vergleichbar.

An 6 Anlagen der Steuerungsvariante 1 dauert das Übergangssignal (Rot/Gelb) 2 s, an den anderen Anlagen 1 s. An einer – im Folgenden nicht weiter berücksichtigten – Anlage der Steuerungsvariante 3 werden ebenfalls 2 s Übergangssignal gezeigt, bei allen anderen, hier gemeinsam betrachteten Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3, schaltet das Signal vor Rot direkt auf Dunkel. In Bild 77 sind im oberen Diagramm die Anfahrzeiten, differenziert nach Steuerungsvariante 1 mit 1 s Übergangssignal (Rot/Gelb), 2 s Übergangssignal sowie den Steuerungsvarianten 2 und 3 dargestellt. Bei den ersten drei Fahrzeugen weisen jeweils die Steuerungsvarianten 2 und 3 die höchsten Anfahrzeiten auf, gefolgt von der Steuerungsvariante 1 mit 1 s Übergangssignal. Die Anlagen, an denen zunächst 2 s Rot/Gelb gezeigt wird, weisen die niedrigste Anfahrzeit auf. Die Unterschiede zwischen den Anfahrzeiten liegen jeweils bei etwa 1 s, also dem Unterschied der Dauer des Übergangssignals. Bei den Fahrzeugen, die an 4. oder 5. Stelle in der Warteschlange stehen, liegt die Anfahrzeit bei Anlagen der Steuerungsvariante 1 mit 1 s Übergangssignal gleichauf mit den Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass zum einen die Fallzahlen bei den weiter hinten in der Warteschlange stehenden Fahrzeugen deutlich geringer sind (die Zahl der registrierten Kfz an erster Stelle der Warteschlangen liegt rund 25 mal so hoch wie beim fünften Fahrzeug), zum anderen mit zunehmender Länge der Warteschlange andere Faktoren als die Reaktionszeit der Fahrzeugführer einen stärkeren Einfluss auf die Anfahrzeit haben (bspw. aus Ausfahrten einbiegende Kfz, die Länge der vorderen Fahrzeuge der Warteschlange etc.).

Bei allen Positionen der Warteschlange und Signalfolgen entspricht der Median in etwa dem Mittelwert, die Mittelwerte sind also nicht durch Ausreißer o. ä. verzerrt.

Wird als maßgebender Bezugspunkt für den Beginn des Anfahrvorgangs nicht das Umschalten auf Grün, sondern – da von den wartenden Verkehrsteilnehmern ab diesem Zeitpunkt das Ende der Sperrzeit registriert werden kann – das Umschalten auf Rot/Gelb angesetzt, so nivellieren sich die Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten und unterschiedlichen Dauern der Rot/Gelb-Phase (siehe Bild 77, unteres Diagramm). Kfz-Führer benötigen also unabhängig von der Steuerungsvariante und der Dauer der Rot/Gelb-Phase ab dem Moment, in dem die Änderung des Signals den (sofortigen oder gleich folgenden) Beginn der Freigabe ankündigt, gleich viel Zeit für den Anfahrvorgang. Die These 12, wonach Fahrzeugführer bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 mehr Zeit benötigen, um auf die erfolgte Freigabe zu reagieren, ist dementsprechend zwar zutreffend, der Effekt ist jedoch ausschließlich auf das fehlende Übergangssignal, nicht auf eine verzögerte Wahrnehmung des Umschaltens des Signalgebers zurückzuführen.

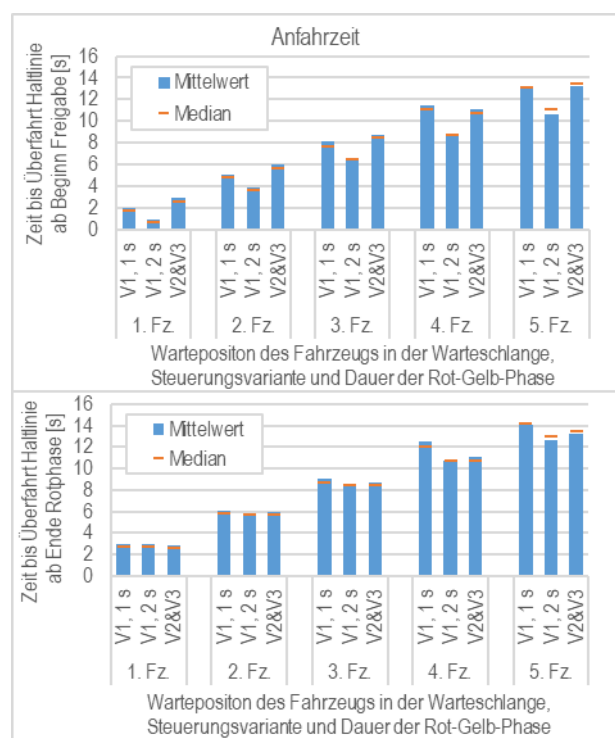


Bild 77: Anfahrzeit von vor einer LSA wartenden Pkw nach Beginn der Freigabe (oben) sowie Ende der Rotphase (unten)

Das Übergangssignal Rot/Gelb ist gemäß RiLSA (2015) Teil der Zwischenzeit zwischen dem Ende der Freigabe des Querverkehrs und dem Beginn der Freigabe des Fahrbahnverkehrs. Bei ansonsten

gleichen Randbedingungen (Räumzeiten etc.) entspricht damit der zeitliche Abstand zwischen Ende der Freigabe des Querverkehrs und dem Umschalten von Rot/Gelb auf Grün bei der Steuerungsvariante 1 dem zeitlichen Abstand zwischen Ende der Freigabe des Querverkehrs und dem Umschalten von Rot auf Dunkel bei den Steuerungsvarianten 2 und 3. Das Zeigen des Rot/Gelb-Signals verlegt damit einen Teil der Anfahrzeit (bzw. der Reaktionszeit der Fahrzeugführer) in die Zwischenzeit, womit die für den Fahrbahnverkehr nicht genutzte Freigabezeit reduziert wird.

Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, auch bei den Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3 ein Übergangssignal (Rot/Gelb) zu verwenden.

Da das Übergangssignal Rot/Gelb Teil der Räumzeit des Querverkehrs ist, muss sichergestellt sein, das mit dem Beginn des Übergangssignals ihren Anfahrvorgang startende Kfz-Führer die Konfliktfläche erst nach Ablauf der Räumzeit erreichen. Selbiges gilt für Kfz-Führer, die gegen Ende der Rotphase die Anlage erreichen und bei Beginn des Übergangssignals (ohne vorherigen Halt) wieder beschleunigen. Dies gewährleistet eine Übergangszeit von 1 s: Im Beobachtungszeitraum war an den Anlagen mit 1 s Übergangssignal keine Überfahrt über Rot/Gelb zu beobachten. An den vier Anlagen (mit sieben ausgewerteten Zufahrten) mit 2 s Rot/Gelb-Zeit wurden insgesamt 11 Fälle beobachtet, bei denen Kfz-Führer die Haltlinie bereits bei Rot/Gelb passieren, wobei an jeder Anlage mindestens ein Fall auftrat. Alle Überfahrten fanden im letzten Drittel der 2 s Übergangszeit statt, die querenden Verkehrsteilnehmer hatten die Furt jeweils bereits einige Zeit zuvor verlassen.

Dementsprechend kann der Einsatz von 1 s Übergangssignal auch bei den Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3 empfohlen werden. Beim Einsatz eines Übergangssignals von 2 s Dauer kann dagegen nicht ausgeschlossen werden, dass schnell reagierende Kfz-Führer die Konfliktfläche vor dem Ende der Räumzeit erreichen.

5.3.9 Verkehrsverhalten und -ablauf bei den Verkehrsversuchen

Im Folgenden sollen die obigen Ergebnisse anhand der Verkehrsversuche vertieft und erweitert werden. Die Vorher-Nachher-Erhebungen an den fünf Versuchsanlagen ermöglichen den Vergleich der Steuerungsvarianten unter ansonsten gleichbleibenden Bedingungen. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden im Folgenden verbal zusammengefasst, für die grafischen Darstellungen sei auf Anhang 7 verwiesen.

Bei der Anlage Schneiderberg bestätigt sich in den Nachher-Erhebungen, dass es bei der Steuerungsvariante 3 im Vergleich zur Ausgangsvariante 2 zu weniger Rotlichtverstößen, also u. a. zu einer Verschiebung der Querungen bei Rot zu den Querungen bei Dunkel kommt (vgl. Bild 102 und Bild 103 im Anhang 4). Zugleich ist der Anteil der Dunkel-Querungen höher als der Rückgang der Querungen bei Rot, die Dunkelschaltung wird also nicht nur durch vorherige Dunkel-Querungen, sondern darüberhinausgehend genutzt.

An der Anlage Universität Nord sinkt der Rotläuferanteil nach der Umstellung der Steuerungsvariante von 2 auf 3 ebenfalls, jedoch liegt dort der Anteil der Querungen bei Dunkel niedriger als der Rückgang des Rotläuferanteils. An der Anlage Universität Süd ist der Anteil der Querungen bei Dunkel nach der Umstellung ähnlich niedrig wie bei der Anlage Universität Nord, zugleich sinkt der Anteil der Rotläufer in den Nachher-Erhebungen nicht. Der niedrige Anteil an Querungen bei Dunkel und der weiterhin hohe Anteil an Rotläufern lässt sich mit der Charakteristik dieser beiden Versuchsanlagen erklären: Die Nachher-Erhebungen an den beiden Anlagen Universität Nord und Süd weisen die höchsten Aufkommen im Querverkehr aller Erhebungen der Steuerungsvariante 3 auf (nur an der Anlage Beiertheimer Allee/Südenstraße in Karlsruhe wurden ähnlich viele Verkehrsteilnehmer im Querverkehr, bei jedoch zugleich geringerem Kfz-Aufkommen, gezählt). Zudem kommen die Fußgänger aufgrund der anliegenden Straßenbahnhaltestelle häufig gepulkt an die Anlage.

Dieses hohe Aufkommen und die Pulkung an den beiden Anlagen hat zur Folge, dass deutlich weniger Fußgänger F-LSA bei Signalstellung Dunkel erreichen: so erreichen bei den Nachher-Erhebungen an den beiden Anlagen Universität Nord und Süd im Mittel 25 % der Fußgänger der Anlage bei Dunkel (am Schneiderberg: 55 %, in den Verkehrserhebungen im Mittel: 77 %). Der Anteil der Fußgänger, die die Anlagen bei Grün erreichen, liegt genauso hoch wie der Anteil der bei Dunkel Ankommenden (bei den Verkehrserhebungen lag dieser Anteil dagegen bei nur 7%). Gleichzeitig liegt das Kfz-Aufkommen mit 700 bis 850 Kfz/h deutlich höher als im Durchschnitt der anderen Anlagen der Steuerungsvariante 3. Auch deshalb sind an den beiden Anlagen Universität Nord und Süd (sowohl in der Vorher-, als auch in den Nachher-Erhebungen) jeweils mehr als die Hälfte aller Rotlichtverstöße von Fußgängern auf Vor- oder Nachläufer zurückzuführen, da Querungen abseits der Freigaben schon aufgrund des Kfz-Aufkommens schwerer möglich sind.

Die nur geringe Verschiebung der Anteile an Querungen bei Grün zu Querungen bei Dunkel an den Anlagen Universität Nord und Süd hat auch zur Folge, dass sich die Wartezeiten an diesen Versuchsanlagen nur geringfügig verändern (vgl. Bild 104 im Anhang 4).

Aus diesen beiden Versuchsanlagen lässt sich ergänzend zu den Verkehrserhebungen daher feststellen, dass an Anlagen mit hohem Querverkehrsaufkommen (über 240 Fg+Rf in der erhobenen Spitzenstunde) bei zugleich höherem Kfz-Aufkommen (800 bis 1000 Kfz/h in der erhobenen Spitzenstunde) Dunkelschaltungen nur wenig genutzt werden und daher der Einfluss auf das Verkehrsgeschehen gering ist.

An der Anlage in Misburg (Umstellung Steuerungsvariante 1 auf Steuerungsvariante 2) nimmt der Rotläuferanteil in der Nachher-Erhebung gegenüber der Vorher-Erhebung (bei gleichbleibendem Kfz-Aufkommen) sowohl beim Fuß-, als auch beim Radverkehr zu, wobei dieser Anstieg nicht auf einen Anstieg bei den Vor- oder Nachläufern, sondern auf Querungen mit größerem zeitlichen Abstand zur Freigabe zurückzuführen ist. Die Wartezeit an der Anlage nimmt im Median von 8,9 s auf 11,0 s zu, dieser Unterschied entspricht genau der Verlängerung der Gelbphase infolge der Umstellung von der Steuerungsvariante 1 auf die Steuerungsvariante 2.

Der Anteil der Personen, die in Misburg im Annäherungsbereich der Anlage queren, ist in der Vorher-Erhebung und der Nachher-Erhebung fast gleich. Die These 3 – Fußgänger gehen bei dunklem Fahrbahn-Signalgeber von einer ausgeschalteten Anlage aus und queren verstärkt im Annäherungsbereich – kann hier also ebenfalls nicht bestätigt werden.

Die Anlage in Hattorf wurde für die erste Nachher-Erhebung von der Steuerungsvariante 1 auf eine modifizierte Steuerungsvariante 2 umgestellt, bei der der Kfz-Signalgeber über 7 Sekunden Gelb eingeschaltet wird. Bei der zweiten Nachher-Erhebung entsprach die Schaltung wieder der Vorher-Erhebung. Hinsichtlich des Verhaltens der querenden Personen könnten dadurch wiederum einerseits querende Personen von einer ausgeschalteten Anlage ausgehen und im Annäherungsbereich queren, zumal viele Querende vom nahegelegenen Anschlussknotenpunkt zur Anlage kommen, sich zunächst also in Längsrichtung zur Anlage bewegen müssen (These 3). Dies bestätigt sich nicht: In der Vorher- und der ersten Nachher-Erhebung quert jeweils nur ein Fußgänger im Annäherungsbereich.

Andererseits verlängert sich an der Anlage in Hattorf durch das Einschalten über Grün die Wartezeit für anfordernde Personen, wodurch womöglich die

Rotlichtakzeptanz bei anfordernden Personen sinkt. Dies bestätigt sich zwar insofern, als die Wartezeit für querende Personen in der ersten Nachher-Erhebung höher liegt als in der Vorher- und der zweiten Nachher-Erhebung. Auch ist der Rotläuferanteil in der ersten Nach-Erhebung höher, der (in absoluten Zahlen geringe) Anstieg der Rotläufer ist jedoch nicht auf Personen zurückzuführen, die nach erfolgter Anforderung (z. B. aufgrund des längeren Umschaltens) queren, sondern nur auf Personen, die nicht anfordern. Insgesamt ist damit an der Anlage in Hattorf keine Verhaltensänderung des querenden Verkehrs infolge der Umstellung feststellbar.

5.4 Fazit

Im Rahmen der Verhaltensbeobachtungen wurden an insgesamt 47 aus der in Kapitel 4 aufgebauten und für die Unfallanalyse verwendeten Datenbank ausgewählten F-LSA Videoerhebungen und Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Erhoben wurden F-LSA über einbahnig zweistreifige Straßen, der Schwerpunkt lag dabei auf F-LSA auf der freien Strecke. Hinzu kommen Vorher-Nachher-Erhebungen an fünf F-LSA, die von einer Steuerungsvariante auf eine andere umgestellt wurden. An jeder F-LSA wurden jeweils drei Stunden (1 Stunde Spitzenverkehrszeit nachmittags von 16 bis 17 Uhr und 2 Stunden Normalverkehrszeit von 12 bis 14 Uhr) erhoben und 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.

Für die Verkehrserhebungen wurden 14 Anlagen der Steuerungsvariante 1, 15 Anlagen der Steuerungsvariante 2 und 18 Anlagen der Steuerungsvariante 3 in insgesamt sechs Städten erhoben. Für die Datenauswertung lagen Datensätze für insgesamt rund 14.800 querende Verkehrsteilnehmer, 23.400 Verkehrsteilnehmer im Längsverkehr im Seitenraum sowie rund 112.000 Fahrzeuge im Fahrbahnverkehr vor.

Verhalten des Querverkehrs

Hinsichtlich des Querverkehrs greift die untersuchte These 1 die Annahme auf, dass an F-LSA mit der Steuerungsvariante 3 der Anteil der bei nicht aktivierter F-LSA (also bei Dunkel) querenden Verkehrsteilnehmer höher ist als der Rotläuferanteil an Anlagen der Steuerungsvarianten 1 und 2. Dies bestätigte sich: So querten an Anlagen der Steuerungsvariante 1 im Mittel 8,9 % der Fußgänger und 14,4 % der Radfahrer, bei der Steuerungsvariante 2 15,6 % der Fußgänger und 17,7 % der Radfahrer bei Rot. Der Anteil der Querungen bei Dunkel lag dagegen an Anlagen der Steuerungsvariante 3 mit 23,6 % der Fußgänger und 27,9 % der Radfahrer deutlich höher. Zugleich lagen die Anteile der Querungen bei Rot bei der Steuerungsvariante 3 niedriger als bei den anderen beiden Steuerungsvarianten, die Unterschiede sind jedoch geringer als der Anteil der Querungen bei Dunkel. 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. Bei allen Anlagen und

Verkehrsarten sind mindestens ein Viertel der bei Rot querenden Verkehrsteilnehmern Vor- oder Nachläufer. Dabei handelt es sich um Personen, die entweder zwischen 0,0 und 1,0 Sekunden vor Beginn einer Freigabe die Fahrbahn betreten oder (als Radfahrer) befahren („Vorläufer“) oder den Quervorgang innerhalb von 3,5 s nach Beginn der Sperrzeit des Querverkehrs beginnen („Nachläufer“).

Auf Grundlage der Ergebnisse lässt sich aufgrund der niedrigen Zahl an F-LSA mit höherem Kfz-Aufkommen keine Grenze definieren, ab der die Dunkelschaltung vom Querverkehr nicht mehr oder nur noch in geringem Maße genutzt wird, zumal dabei auch weitere Einflussfaktoren wie z. B. die Pulkung der ankommenden Kfz eine Rolle spielt. Zumindest lässt sich ableiten, 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. Bei höheren Kfz-Stärken ist mit einer zwar noch vorhandenen, aber geringeren Nutzung der Dunkelschaltung zu rechnen. Dass der Einsatz bei höheren Verkehrsstärken zu Sicherheitsdefiziten führt lässt sich aus den Ergebnissen nicht ableiten.

Die genannten Daten bestätigen zudem die These 2, wonach F-LSA mit der Steuerungsvariante 2 aufgrund einer geringeren Akzeptanz von Dunkel-Anlagen durch querende Verkehrsteilnehmer höhere Rotläuferanteile aufweisen als F-LSA mit der Steuerungsvariante 1. Anhand der Unfallanalyse war jedoch festzustellen, dass daraus kein verstärktes Unfallgeschehen querender Fußgänger resultiert.

Gemäß These 3 kommt es bei Anlagen mit dunklem Fahrbahn-Signalgeber zu mehr Querungen in den Annäherungsbereichen, da für sich in Längsrichtung auf eine derartige F-LSA zubewegende Verkehrsteilnehmer nicht erkennbar ist, ob die Anlage (nur) Dunkel oder ausgeschaltet ist. Dies wird durch die Verhaltensbeobachtung widerlegt: Der Anteil der Fußgänger, die im Annäherungsbereich der F-LSA queren, unterscheidet sich zwischen den Steuerungsvarianten kaum, im Mittel quert knapp jeder sechste der beobachteten Fußgänger im Annäherungsbereich.

Aus der Annahme, dass querende Verkehrsteilnehmer bei der Steuerungsvariante 3 nur dann eine Freigabe anfordern, wenn es verkehrstechnisch notwendig ist, resultiert die Vermutung, dass Personen, die angefordert haben, eher die Freigabe abwarten (statt zuvor bei Rot zu queren) als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2 (These 4). Dies hätte auch zur Folge, dass weniger Freigaben geschaltet werden, die dann nicht von Verkehrsteilnehmern

genutzt werden, da die anfordernden Personen bereits zuvor querten. Diese These ist zu verwerfen: So ist der Anteil der anfordernden Personen, die bei Grün queren, bei der Steuerungsvariante 3 einerseits und den Steuerungsvarianten 1 und 2 andererseits mit jeweils 92,8 % gleich hoch. Der Anteil nicht durch Querverkehr genutzter Freigaben ist bei der Steuerungsvariante 1 mit 2,3 % am niedrigsten. Die Steuerungsvarianten 2 und 3 liegen mit 3,8 % bzw. 3,9 % ungenutzte Freigaben fast gleichauf. Da bei der Steuerungsvariante 3 im Mittel weniger Verkehrsteilnehmer queren als bei der Steuerungsvariante 2 und entsprechend auch bei weniger Freigaben andere, nicht anfordernde Personen die Anlage erreichen, schneidet die Steuerungsvariante 3 bzgl. der ungenutzten Freigaben tendenziell besser ab als die Steuerungsvariante 2.

Im Rahmen der Videoerhebungen wurden insgesamt 7 Konflikte beobachtet, davon war keiner auf die Querungen eines Fußgängers oder Radfahrers bei Dunkel zurückzuführen. Der Vergleich der Steuerungsvarianten ist aufgrund der geringen Zahl an Konflikten nicht möglich.

Im Ergebnis der Unfallanalyse war festzustellen, dass die Dunkelschaltung des Querverkehrs nicht, wie vermutet, zu einem Sicherheitsdefizit führt. Dieses Ergebnis wird auch nicht (wie in der These 5 angenommen) durch die beobachteten Konflikte in Frage gestellt.

Verhalten MIV

An allen Anlagen wurden, sofern dies aufgrund des Verkehrsablaufs möglich war, die Geschwindigkeit 100 freifahrender Pkw je Richtung gemessen. Ausgewertet wurden nur Fahrtrichtungen mit mindestens 50 gemessenen Fahrzeugen und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h.

Die Geschwindigkeiten an den Anlagen der Steuerungsvariante 1 liegen im Mittel rund 3,2 km/h über den Geschwindigkeiten an den Anlagen der Steuerungsvariante 2 und 3. Die These 6, dass das grüne Signal eine Sogwirkung entfaltet, die zu höheren Geschwindigkeiten führt, ist demnach zu bestätigen.

Beim Umschalten von Grün auf Gelb bzw. Dunkel auf Gelb müssen Fahrzeugführer auf die Signalisierung reagieren und entscheiden, ob sie anhalten können bzw. wollen oder nicht. Bei der zeitlichen Verteilung der Überfahrten über die Haltlinie bei Gelb oder Rot zeigt sich, dass die in These 7 postulierte längere Reaktionszeit beim Einschalten des Gelbsignals bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 gegenüber dem Umschalten von Grün auf Gelb bei Steuerungsvariante 1 nicht zutrifft: 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. Damit ist zugleich die These 8 falsifiziert: 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).

Verkehrsablauf/Wartezeiten

Aus den beim Querverkehr erhobenen Zeitpunkten für die Ankunft an der Wartefläche, Anforderung, Beginn der Freigabe und Querungsbeginn (als Betreten oder Befahren der Fahrbahn) lassen sich für den Verkehrsablauf und die Verkehrsqualität des Fuß- und Radverkehrs mehrere Erkenntnisse, die die These 9 betreffen, ableiten:

- Bei den Zeitspannen zwischen Ankunft an der Wartefläche und Anforderung sind die Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten bis zum Median gering. Bei den höheren Quantilen steigt diese Zeitspanne bei der Steuerungsvariante 3 stärker an als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2. Ursache hierfür ist, dass einige Verkehrsteilnehmer zunächst prüfen, ob sie bei Dunkel queren können, und dann erst – situationsbezogen – anfordern.
- Die Zeitspanne zwischen Anforderung und Freigabe liegt über alle Anlagen im Mittel bei 15,9 s, im Median bei 13,4 s. Sie ist bei den Anlagen der Steuerungsvariante 1 höher als bei den anderen beiden Steuerungsvarianten.
- Die Zuwegzeit als Zeitspanne zwischen Beginn der Freigabe und dem Beginn der Querung mit dem Betreten der Fahrbahn unterscheidet sich zwischen den Steuerungsvarianten und zwischen Fußgängern und Radfahrern nur wenig. Sie liegt über alle Verkehrsteilnehmer im Mittel bei 2,57 s, im Median bei 2,34 s. Personen mit Hilfsmitteln zur Fortbewegung (wie Rollstühlen, Rollatoren, Krücken) benötigen im Mittel 3,09 s, im Median 2,90 s bis zum Beginn der Querung.
- Die Wartezeit als Zeitspanne zwischen Ankunft an der Wartefläche und Querungsbeginn lag im Mittel der Anlagen bei 16,0 s (Median: 14,2 s), sie liegt beim Fußverkehr etwas höher als beim Radverkehr. Die Wartezeiten sind bei der Steuerungsvariante 3 niedriger als bei der Steuerungsvariante 2 und bei dieser wiederum niedriger als bei der Steuerungsvariante 1. Diese Unterschiede zwischen den Steuerungsvarianten

sind bei ausschließlicher Betrachtung der regelkonform – also bei Grün oder Dunkel – querenden Verkehrsteilnehmer größer.

- Der Anteil der Fußgänger, die ohne Halt queren können, ist bei den Anlagen der Steuerungsvarianten 1 und 2 höher als bei den Anlagen der Steuerungsvariante 3, beim Radverkehr ist es umgekehrt. Auch bei Dunkel querende Verkehrsteilnehmer queren in der Mehrheit nicht ohne Halt, was zeigt, dass viele Verkehrsteilnehmer die Möglichkeit zur Querung bei Dunkel nicht nur dann nutzen, wenn dies sofort möglich ist.

Für die Beantwortung der These 9 bzgl. des Fahrbahnverkehrs und der These 11, wonach es bei der Steuerungsvariante 3 in Relation zum Querverkehrsaufkommen seltener zur Unterbrechung des Verkehrsflusses des Fahrzeugverkehrs kommt, wird auf die Zahl der Sperrzeiten des Fahrbahnverkehrs und die Zahl der haltenden Kfz je querenden Verkehrsteilnehmer sowie den Anteil der haltenden Kfz zurückgegriffen. Alle drei Kenngrößen zeigen, dass es bei der Steuerungsvariante 3 in Relation zum Querverkehrsaufkommen zu weniger Unterbrechungen des Kfz-Verkehrs kommt:

- Die Anzahl der Sperrzeiten je querendem Verkehrsteilnehmer liegt 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.

Letztes betrachtetes Element des Verkehrsablaufs des Kfz-Verkehrs war das Verhalten beim Umschalten von der Sperrzeit zur Freigabe, also die Reaktion auf das Umschalten von Rot über Rot/Gelb auf Grün bzw. von Rot auf Dunkel. Zu klären war, ob Kfz-Führer bei Umschaltung auf Dunkel länger benötigen, um anzufahren, als bei der Umschaltung auf Grün (These 12).

Dies zeigt sich insofern, als der Anfahrvorgang tatsächlich bei der Steuerungsvariante 1 schneller abläuft. Dies ist allerdings nicht auf die Umschaltung auf Grün bzw. Dunkel, sondern auf das bei Dunkel-schaltungen i. d. R. fehlende Übergangssignal (Rot/Gelb) zurückzuführen: Wird als maßgebender Bezugspunkt nicht das Umschalten auf Grün bzw. Dunkel, sondern das Umschalten auf Rot/Gelb genutzt, nivellieren sich die Unterschiede zwischen den Schaltungen.

Daraus folgt, dass die Verwendung des Übergangssignals Rot/Gelb auch bei den Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3 zu einem schnelleren Anfahren der wartenden Kfz und damit zu einer höheren Leistungsfähigkeit führt.

6 Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

Ziel des Forschungsprojektes war die Analyse des Einsatzes, der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs sowie die Ableitung von Einsatz- und Handlungsempfehlungen bzgl. der drei Steuerungsvarianten für F-LSA:

- Steuerungsvariante 1: Regelfall nach RiLSA (2015) mit der Grundstellung Grün für den Fahrbahnverkehr und Rot für den Querverkehr (Fußgänger, Radfahrende);
- Steuerungsvariante 2: Dunkel-Rot-Anlagen mit der Grundstellung Dunkel für den Fahrbahn- und Rot für den Querverkehr;
- Steuerungsvariante 3: Dunkel-Dunkel-Anlagen mit der Grundstellung Dunkel für den Fahrbahn- und Querverkehr; die Signale schalten sich nur nach Anforderung ein.

Die Steuerungsvarianten 2 und 3 werden zwar zunehmend eingesetzt (siehe Abschnitt 3.2.3), systematische Untersuchungen der Vor- und Nachteile der drei Steuerungsvarianten fehlen allerdings.

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

Empfehlungen zum Einsatz von Dunkel-Dunkel-Schaltungen

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 – 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 bzgl. 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 (i. S. v. 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 (siehe Abschnitt 4.3.2). Die Steuerungsvariante 3 bietet daneben die Möglichkeit der Installation von F-LSA an Stellen, an denen eine Signalanlage zwar aufgrund der Verkehrsstärken im Allgemeinen zur Sicherung einer Querungsstelle aus verkehrstechnischer Sicht nicht notwendig ist (vgl. Bild 77 der RAST (2006)), aber aufgrund der Schutzbedürftigkeit von regelmäßig querenden Verkehrsteilnehmern (z.B. Kindern oder Senioren) an bestimmten Querungsstellen die Bereitstellung eines Signalschutzes erforderlich wird (vgl. RiLSA (2015), Abschnitt 1.2.1).

Die in der Kommunalbefragung geäußerten Vorbehalte und Befürchtungen bzgl. 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 Querungsbedarf an den Anlagen) nicht höher, z. T. sogar niedriger als bei den Steuerungsvarianten 1 und 2 (siehe Abschnitt 4.3). Auch wurde in der Verkehrsbeobachtung kein Konflikt registriert, der auf eine Querung bei Dunkelschaltung des Querverkehrs zurückgeführt werden kann (vgl. Abschnitt 0), obwohl die Möglichkeit zur Querung bei Dunkel in größerem Umfang genutzt wird.

In den Verhaltensbeobachtungen konnten einige Gründe, die in den Befragungen für die Verwendung der Steuerungsvariante 3 angeführt wurden, bestätigt werden: So führt die Steuerungsvariante 3 zu kürzeren Wartezeiten im Querverkehr (siehe Abschnitt 5.3.7) sowie beim Kfz-Verkehr in Relation zum Querverkehrsaufkommen zu weniger Sperrungen der Fahrbahn und daraus resultierend zu weniger Halten im Kfz-Verkehr (siehe Abschnitt 5.3.8).

Im Mittel nutzen 23 % der Fußgänger und 28 % der Radfahrer die Möglichkeit zur Querung bei Dunkel. Dabei gibt es sowohl eine Verschiebung von Querungen bei Rot zu Querungen bei Dunkel, als auch eine Nutzung der Möglichkeit zur Querung bei Dunkel von bei den Steuerungsvarianten 1 und 2 gesichert querenden Verkehrsteilnehmern. 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 nicht festgestellt werden (siehe Abschnitt 5.3.3).

Bei der Einrichtung von Anlagen der Steuerungsvariante 3 ist auf eine ausreichende Sicht zu achten. Angesichts der höheren Unfalldichte der Unfälle mit Fußgängerbeteiligung bei einseitiger oder zweiseitiger Sichtverdeckung (siehe Abschnitt 4.3.2) existiert hierbei ein Sicherheitspotential auch bei bestehenden Anlagen der Steuerungsvariante 3. Folglich ist deshalb immer eine ausreichende Sicht entsprechend der Vorgaben im Entwurfsregelwerk (insbesondere RAS 06) für Querungsanlagen ohne Vorrang sicherzustellen. Dies kann bspw. durch das Abrücken der Parkstände von der Querungsstelle sowie dem Freihalten der Sichtdreiecke von Einbauten erfolgen.

Empfehlungen zum Einsatz von dunklen Fahrbahn-Signalgebern

Bzgl. 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. U.a. liegt das Geschwindigkeitsniveau an den Anlagen der Steuerungsvariante 1 höher als an den Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3 („Sogeeffekt“, vgl. Abschnitt 5.3.5). Die in den Befragungen als Grund für deren Einsatz genannte Verringerung der Lichtverschmutzung ist ein Argument für die Steuerungsvarianten 2 und 3, die Bedeutung dieses Arguments wurde jedoch nicht untersucht. 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 bzw. Wahrnehmung der Signalgeber können zum Teil sowohl anhand der Unfalldaten, als auch anhand der Verhaltensbeobachtungen widerlegt werden. So liegt die UKR(P,S) der Unfälle der Art 2 (Zusammenstoß mit Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet) sowie der Typen 1 (Fahrunfälle) und 6 (Unfälle im Längsverkehr) bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 gleichauf mit der Steuerungsvariante 1 (siehe Abschnitt 4.3.3). Bei den Rotlichtverstößen des Kfz-Verkehrs schneiden die Steuerungsvarianten 2 und 3 sowohl hinsichtlich des Unfallgeschehens, als auch bei den beobachteten Rotlichtüberfahrten besser ab, wobei der Unterschied bei den Rotlichtüberfahrten auch auf die längere Gelbzeit

bei den Steuerungsvarianten 2 und 3 sowie die genannte höhere gefahrene Geschwindigkeit bei der Steuerungsvariante 1 zurückgeführt werden kann (siehe Abschnitt 5.3.4). 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 Kfz-Signalgebers (und z. B. der daraus resultierenden Annahme, die LSA sei insgesamt abgeschaltet) häufiger in den Annäherungsbereichen queren (siehe Abschnitt 5.3.3). Bei der Steuerungsvariante 2 war gegenüber der Steuerungsvariante 1 ein höherer Anteil an Querungen bei Rot zu verzeichnen, der sich jedoch weder in Konflikten, noch in entsprechenden Unfällen niederschlägt.

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) tendenziell überwiegen.

Empfehlungen zu Signalfolgen und -dauern

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

- Eine Verlängerung der Gelbzeit 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 (vgl. Abschnitt 5.3.5). 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 (siehe Tab. 17 im Abschnitt 5.3.7, demnach liegt das 10 %-Quantil der Zuwegzeit bei 1,2 bis 1,3 s). 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.
- Eine Reduktion der Gelbzeit der Steuerungsvarianten 2 und 3 auf die Gelbzeit der Steuerungsvariante 1 von 3 s (oder ggf. 4 s) ist angesichts des nach Beginn der Gelbphase ähnlichen Verhaltens bei den Steuerungsvarianten sinnvoll: Einerseits wird dadurch die Wartezeit bzw. nicht nutzbare Zeit für den Quer- und Längsverkehr reduziert, andererseits sind keine Sicherheitsdefizite zu erwarten. Die eingangs vermutete lang-

samere Reaktion der Kfz-Führer auf das Einschalten des dunklen Signalgebers mit Gelb (gegenüber dem Umschalten von Grün auf Gelb) kann nicht bestätigt werden.

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: So zeigen die Verkehrsbeobachtungen, dass die Anfahrzeit (also die Dauer zwischen Beginn der Freigabe und dem Überfahren der Haltlinie durch wartende Kfz) nicht vom Beginn der Freigabe, sondern vom Beginn des Übergangssignals abhängt. Da 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.

Andererseits wurden in den Verkehrsbeobachtungen bei einem Übergangssignal von 1 s Dauer keine Rot/Gelb-Überfahrten registriert. Dementsprechend kann der Einsatz von 1 s Übergangssignal auch bei den Anlagen der Steuerungsvarianten 2 und 3 empfohlen werden. Bei Anlagen mit einem Übergangssignal von 2 s Dauer wurden dagegen vereinzelt Überfahrten der Haltlinie vor Beginn der Freigabe beobachtet, entsprechend kann nicht ausgeschlossen werden, dass schnell reagierende Kfz-Führer die Konfliktfläche vor dem Ende der Räumzeit erreichen.

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.

Weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen des Projekts konnten zahlreiche Forschungsfragen zum Einsatz der unterschiedlichen Steuerungsvarianten von F-LSA beantwortet werden. Manche Aspekte ließen sich jedoch im Rahmen des Projekts nicht in der erforderlichen Tiefe untersuchen und auch neue Fragestellungen wurden eröffnet. Für zukünftige Forschungsarbeiten werden folgende Punkte empfohlen:

Die Verhaltensbeobachtungen in Kapitel 5 umfassen ausschließlich einbahnig zweistreifige Straßen, nicht zuletzt, da die Steuerungsvariante 3 bisher nur selten an mehrstreifigen Straßen eingesetzt wird. Die Unfallanalyse zeigte jedoch (z. B. hinsichtlich der Überschreiten-Unfälle) keine Auffälligkeit, die einem Einsatz an breiteren Querschnitten widerspricht (siehe Abschnitt 4.3.2). Hier besteht weiterer

Forschungsbedarf hinsichtlich einer umfangreicheren Datengrundlage in der Unfallanalyse und dem Einbezug in Verhaltensbeobachtungen. Dies könnte bspw. auch durch die Evaluation neu eingerichteter Anlagen der Steuerungsvariante 3 an zweibahnig mehrstreifigen Querschnitten erfolgen.

Zudem lag das Kfz-Aufkommen bei den in die Verhaltensbeobachtungen einbezogenen Anlagen zu meist im niedrigen und mittleren Bereich, höhere Kfz-Stärken ab 12.000 Kfz/Tag waren für zuverlässige Aussagen über die Nutzung der Möglichkeit zur Querung bei Dunkel in zu geringem Umfang vertreten. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf insbesondere vor dem Hintergrund, dass auch an Anlagen mit höherem DTV im Tagesrandbereich sowie an Wochenenden niedrigere Verkehrsstärken vorherrschen, bei denen mit einer größeren Nutzung der Dunkelschaltung durch querende Verkehrsteilnehmer zu rechnen ist und die o. g. Vorteile der Steuerungsvariante 3 wirken können.

Herausfordernd erwies sich im Rahmen des Vergleichs der Steuerungsvarianten der erhebliche Einfluss von Anschlussknotenpunkten auf das Unfallgeschehen an den F-LSA. Eine Trennung des auf die F-LSA und des auf den Anschlussknotenpunkt zurückzuführenden Unfallgeschehens war nur begrenzt möglich. In diesem Zusammenhang besteht auch hinsichtlich der Einsatzkriterien von F-LSA allgemein weiterer Forschungsbedarf. So ist bspw. die UKR(P,S) unabhängig von der Steuerungsvariante an Anlagen links einer Einmündung bei allen Unfalltypen höher als an Anlagen rechts der Einmündung. Dadurch lassen sich relevante Sicherheitspotentiale bei der Festlegung der Lage einer F-LSA an Einmündungen vermuten.

Literatur

- ALRUTZ, D.; BACHMANN, C.; ANGENENDT, W.; BLASE, A (2012): *Verbesserungen der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 217, Bergisch Gladbach
- ATTWELL, H. (2014): *Puffin Crossing*. The Road Engineering Association Of Asia And Australasia (REAAA); Online: http://www.reaaa.co.nz/publication/ypc-dunedin-puffin-crossing-by-holly-attwell-paper/wppa_open/ (Abgerufen am 25.07.2019)
- BOENKE, D.; GERLACH, J. (2011): *Beeinträchtigungen im Alter und Empfehlungen zur Gestaltung von Straßenräumen für uns älter werdende Menschen*. In: *Straßenverkehrstechnik* 8/2011
- BERGER, R.; MEDICUS, M.; SCHMOTZ, M.; SCHÜLLER, H.; PLESKER, M.; BAKABA, J.E. (2020): *Verkehrssicherheit an Haltestellen des ÖPNV*. Berlin; Unfallforschung der Versicherer (UdV)
- ASTRA (2015): *Langsamverkehrsfreundliche Lichtsignalanlagen*, Forschungsprojekt SVI 2011/024 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI), Bundesamt für Strassen, Zürich
- CELIKAN, Y.; HOFFMANN, A.; SCHLABBACH, K. (2008): *Restrotanzeige für Fußgänger*. In: *Straßenverkehrstechnik* 01/2008
- CROW (2006a): *Handboek verkeerslichtregelingen („Handbuch zur Ampelsteuerung“)*, Ede
- CROW (2006b): *Veilig oversteken? Vanzelfsprekend! Toepassing en ontwerp van oversteekvoorzieningen voor voetgangers ("Sichere Überquerung? Natürlich! Anwendung und Design von Fußgängerübergängen")*, Ede
- DfT (2001): *Puffin Pedestrian Crossing – TRAFFIC ADVISORY LEAFLET 1/01*. Department for Transportation
- Driving Test Tips (2012): *Pelican Crossing*. Online: <https://www.drivingtesttips.biz/pelican-crossing.html> (Abgerufen am 25.07.2019)
- EFA (2002): *Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA)*, Ausgabe 2002. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- EIDGENÖSSISCHES DEPARTEMENT FÜR UMWELT, VERKEHR, ENERGIE UND KOMMUNIKATION (UVEK) (2008): *Querungen für den Fuss- und leichten Zweiradverkehr (Veloverkehr)*, Basel
- FHWA (2009): *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration
- FISCHER, B.; SCHOLZ, T.; ANDRAE, M.; WAUER, T.; MORACK, J. (2016): *Fußverkehrsstrategie für Berlin, Modellprojekt 4 – Überprüfung der Grundsätze für eine fußverkehrsfreundliche Steuerung von Lichtsignalanlagen*. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin
- HÄCKELMANN, P. (1976): *Steuerung des Fußgängerverkehrs an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage*. Dissertation an der Technischen Hochschule Darmstadt.
- HBS (2015): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Teil S – Stadtstraßen*, Ausgabe 2015. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- LIETH, FELIX VON DER (2017): *Optimierung von Fußgängerlichtsignalanlagen – Untersuchung der Wirksamkeit von Dunkelschaltungen in Schwachlastzeiten*. Masterthesis, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim
- LIPOVAC, K.; VUJANIC, M.; MARIC, B.; NESIC, M. (2013): *The influence of a pedestrian countdown display on pedestrian behavior at signalized pedestrian crossings*. *Transportation Research Part F* 20 (2013) S. 121–134
- M Uko (2012): *Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko)*, Ausgabe 2012. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- RASt (2006): *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt)*, Ausgabe 2006. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- RiLSA (2015): *Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)*, Ausgabe 2015. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- RVS 03.02.12 (2015): *Merkblatt Fußgängerverkehr*. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
- RVS 05.04.32 (1998): *Richtlinien für Verkehrslichtsignalanlagen, Teil Planen von Verkehrslichtsignalanlagen*. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
- RVS 05.04.31 (1998): *Richtlinien für Verkehrslichtsignalanlagen, Teil Einsatzkriterien*. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
- RVS 05.04.37 (2014): *Richtlinien für Verkehrslichtsignalanlagen, Teil Unvollständige Verkehrslichtsignalregelung*. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen

RWS (2019): *Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen*, Entwurf 2019, erarbeitet im Rahmen des FE-Projekts 23.0009/2006 „Erarbeitung neuer Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Wirtschaftlichkeitsberechnungen (RAS-W) mit Aktualisierung der Nutzen- und Kostenkomponenten“ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn 2019

SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT (SSV) (1979/2017): Signalisationsverordnung

SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE (VSS) (2015): Lichtsignalanlagen, Übergangszeiten und Mindestzeiten, SN 640 837

STRASSEN.NRW (2012): *Leitfaden Barrierefreiheit im Straßenraum*. Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, Gelsenkirchen

Bilder

Bild 1:	Methodik des Untersuchungsablaufs	13
Bild 2:	Einsatzbereiche von Überquerungsanlagen nach RAS _t (2006) sowie EFA (2002)	15
Bild 3:	Signalzeitenpläne der Steuerungsvarianten nach RiLSA (2015)	17
Bild 4:	Simultane Signalisierung hintereinanderliegender Furten (RiLSA 2015).....	18
Bild 5:	Progressive Signalisierung hintereinanderliegender Furten.....	18
Bild 6:	Beispiele für Fußgängerlichtsignalanlagen in Großbritannien und den Vereinigten Staaten.....	20
Bild 7:	Einsatzbereiche für Pedestrian Hybrid Beacons in den Vereinigten Staaten	20
Bild 8:	Einsatzgrenzen für F-LSA in Österreich.....	21
Bild 9:	Städte mit Teilnahme an der Online-Befragung nach Zahl der Einwohner	26
Bild 10:	Regionale Verteilung der Städte (blau) und Niederlassungen der Straßenbauverwaltungen der Länder (grün) mit Teilnahme an der Online-Befragung	27
Bild 11:	Gründe für die Installation neuer F-LSA	27
Bild 12:	Gründe für die Deinstallation von F-LSA	28
Bild 13:	Umrüstung und Neubau von F-LSA im Zusammenhang mit Dunkelschaltungen.....	29
Bild 14:	Gründe für die Umstellung von Variante 1 auf Variante 2	30
Bild 15:	Gründe für den Neubau von Variante 2.....	31
Bild 16:	Gründe für den Neubau von F-LSA mit der Variante 3 in Kommunen und Ländern.....	32
Bild 17:	Gründe für den bisherigen Verzicht auf die Varianten 2 und 3 in Kommunen und Ländern ...	33
Bild 18:	Anlagen- und Annäherungsbereiche der F-LSA für die Unfallanalyse	41
Bild 19:	Unfallkostenrate, Unfalldichte und Unfalldichte der U(P) nach Steuerungsvariante	42
Bild 20:	Unfallkostenrate nach Steuerungsvariante und Anschlussknotenpunkten (AKP) in den Annäherungsbereichen	43
Bild 21:	Unfalldichte nach Steuerungsvariante und Anschlussknotenpunkten (AKP) in den Annäherungsbereichen	43
Bild 22:	Unfallkostenrate und Unfalldichte nach Steuerungsvariante und Unfalltyp	46
Bild 23:	Verteilung der Straßenkategorien nach RAS _t je Steuerungsvariante	47
Bild 24:	Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Straßenkategorie und der Steuerungsvariante.....	47
Bild 25:	Unfalldichte in Abhängigkeit der Straßenkategorie und der Steuerungsvariante	48
Bild 26:	Verteilung der Straßenklassen je Steuerungsvariante	48
Bild 27:	Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Straßenklasse und der Steuerungsvariante	49
Bild 28:	Unfalldichte in Abhängigkeit der Straßenklasse und der Steuerungsvariante	49
Bild 29:	Verteilung der Anlagen auf die Ortslagen je Steuerungsvariante	50
Bild 30:	Varianten der Lage einer F-LSA im Bezug zu Anschlussknotenpunkten	50
Bild 31:	Verteilung der Lage der F-LSA in Bezug zu Anschlussknotenpunkten je Steuerungsvariante	50
Bild 32:	Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Lage von AKP und der Steuerungsvariante	51
Bild 33:	Unfalldichte in Abhängigkeit der Lage von AKP und der Steuerungsvariante	52
Bild 34:	Beteiligung von Fußgängern und Radfahrern nach Querungsbedarf	53
Bild 35:	Kfz-Aufkommen in Abhängigkeit der Steuerungsvariante	53

Bild 36: Unfallkostenrate der Unfalltypen 1, 4, 6 und 7 in Abhängigkeit des Kfz-Aufkommens und der Steuerungsvariante	54
Bild 37: Unfallkostenrate der Unfalltypen 1, 4, 6 und 7 in Abhängigkeit des klassierten Kfz-Aufkommens und der Steuerungsvariante	54
Bild 38: Verteilung des Querungsbedarfs und des Kfz-Aufkommens je Steuerungsvariante	55
Bild 39: Unfalldichte nach Beteiligung des nichtmotorisierten Verkehrs in Abhängigkeit des Kfz-Aufkommens	55
Bild 40: Verteilung der Fahrbahnbreiten und der Mitteltrennungen je Steuerungsvariante einschließlich der jeweiligen Fallzahl	56
Bild 41: Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite, der Mitteltrennung und der Steuerungsvariante	56
Bild 42: Unfalldichte in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite, der Mitteltrennung und der Steuerungsvariante	57
Bild 43: Möglichkeiten der Anordnung des ruhenden Verkehrs an F-LSA	57
Bild 44: Verteilung des ruhenden Verkehrs je Steuerungsvariante	57
Bild 45: Unfallkostenrate nach Unfalltyp in Abhängigkeit der Anordnung des ruhenden Verkehrs sowie der Steuerungsvariante	58
Bild 46: Unfallkostenrate nach Unfalltyp in Abhängigkeit der Anordnung des ruhenden Verkehrs	58
Bild 47: Unfalldichte nach Unfalltyp in Abhängigkeit der Anordnung des ruhenden Verkehrs	59
Bild 48: Unfallkostenrate der Überschreiten-Unfälle (Typ 4) und Anteil der hinsichtlich Typ 4 unfallfreien F-LSA in Abhängigkeit von Anlagen des ruhenden Verkehrs	59
Bild 49: Häufigkeit vorgezogener Seitenräume je Steuerungsvariante	59
Bild 50: Beteiligung von Fußgängern und Radfahrern nach Sichtverdeckung bei Anlagen der Steuerungsvariante 3	60
Bild 51: Verteilung der Art der Radverkehrsführung je Steuerungsvariante	60
Bild 52: Beteiligung von Fußgängern und Radfahrern nach Art der Radverkehrsführung	61
Bild 53: Unfallkostenraten der Unfalltypen 1 (Fahrunfall) und 6 (Längsverkehr) sowie der Unfallart 2	62
Bild 54: Häufigkeit der Anordnung der Kfz-Signalgeber je Steuerungsvariante	62
Bild 55: Unfallkostenrate des Unfalltyp 6 (Längsverkehr) in Abhängigkeit von der Anordnung der Kfz-Signalgeber	63
Bild 56: Maximale Anforderungsdauer für Fußgänger in Abhängigkeit der Steuerungsvariante	64
Bild 57: Maximale Anforderungsdauer für Fußgänger in Abhängigkeit des Kfz-Aufkommens	64
Bild 58: Unfalldichte der Überschreiten-Unfälle (Typ 4) und Anteil der im Hinblick auf Typ 4 unfallfreien F-LSA in Abhängigkeit von der maximalen Anforderungsdauer und der Steuerungsvariante	65
Bild 59: Versuchsaufbau für die Verkehrserhebungen	68
Bild 60: Excel-Spreadsheet zur halbautomatisierten Auswertung von Videomaterial	69
Bild 61: Gemessene Fußverkehrsstärken im Längs- und Querverkehr in Abhängigkeit des abgeleiteten Querungsbedarfs	75
Bild 62: Querungen im Anlagen- sowie im Annäherungsbereich in Abhängigkeit der Steuerungsvariante	76
Bild 63: Rot-Vorläufer	77
Bild 64: Rot-Nachläufer	77

Bild 65:	Signalisierung beim Querungsbeginn von Fußgängern	77
Bild 66:	Signalisierung beim Querungsbeginn von Radfahrern	78
Bild 67:	Anzahl der querenden Verkehrsteilnehmer je Freigabe	81
Bild 68:	Zeitliche Verteilung der Gelb- und Rotüberfahrten	82
Bild 69:	Geschwindigkeitsverhalten der Kfz in Abhängigkeit der Steuerungsvariante.....	84
Bild 70:	Zeitspannen zwischen Anforderung und Beginn der Freigabe je Steuerungsvariante	86
Bild 71:	Wartezeit der an der Anlage querenden Verkehrsteilnehmer je Steuerungsvariante	87
Bild 72:	Wartezeit der an der Anlage bei Grün oder Dunkel querenden Verkehrsteilnehmer je Steuerungsvariante	87
Bild 73:	Summenlinien der Wartezeit nach Verkehrsmittel	88
Bild 74:	Querungen mit und ohne Halt	89
Bild 75:	Unterbrechungen des Fahrbahnverkehrs je querendem Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit der Steuerungsvariante	89
Bild 76:	Anzahl der haltenden Kfz je querendem Verkehrsteilnehmer, berechnet je Zufahrt.....	90
Bild 77:	Anfahrzeit von vor einer LSA wartenden Pkw nach Beginn der Freigabe (oben) sowie Ende der Rotphase (unten)	91

Tabellen

Tab. 1:	Überquerungsanlagen für Fußgänger an innerörtlichen Straßen.....	15
Tab. 2:	Grundlegende Bestimmungen zur Berechnung von Zwischenzeiten an F-LSA gemäß RiLSA (2015).....	16
Tab. 3:	Parameter der Kfz-Signalisierung.....	17
Tab. 4:	Parameter der Fußgänger-Signalisierung.....	17
Tab. 5:	Entwicklung der Anzahl von F-LSA in den letzten 10 Jahren in den Kommunen und Ländern ²⁷	
Tab. 6:	Anzahl umgerüsteter und neugebauter F-LSA in den letzten 10 Jahren in den Kommunen und Ländern	29
Tab. 7:	Häufigkeit der Antwortkategorien bei den Freitextantworten zu Vor- und Nachteilen von F-LSA mit den Varianten 2 und 3	34
Tab. 8:	Anzahl der F-LSA mit Anschlussknotenpunkten in keinem, einem oder zwei Annäherungsbereichen	42
Tab. 9:	Unfallkollektive der Unfallanalyse	44
Tab. 10:	Anzahl der Unfälle je Unfallkollektiv.....	45
Tab. 11:	Anzahl und Anteil der unfallfreien F-LSA in Abhängigkeit des Unfallkollektivs und der Steuerungsvariante	46
Tab. 12:	Unfallgeschehen durch Rotlichtverstöße von Kfz-Führern	63
Tab. 13:	Erhobene und abgeleitete Kenngrößen aus den Verkehrserhebungen	69
Tab. 14:	Erhebungsstellen der Verkehrsbeobachtungen nach Städten.....	70
Tab. 15:	Übersicht über die Verkehrsstärken je Anlage pro Stunde (Verkehrserhebungen)	74
Tab. 16:	Übersicht über die Verkehrsstärken je Anlage pro Stunde (Verkehrsversuche).....	74
Tab. 17:	Zuwegzeiten bei Querungsbeginn.....	86

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1	Übersicht der befragten Kommunen und Straßenbauverwaltungen der Länder	1
Anhang 2	Online-Fragebogen	7
Anhang 3	Erhebungsstellen der Verkehrsbeobachtungen	16
Anhang 4	Weitere grafische Auswertungen der Verkehrserhebungen und -versuche	18

Anhang 1 Übersicht der befragten Kommunen und Straßenbauverwaltungen der Länder

Stadt	Fläche [km ²]	Einwohner	Angeschrieben für Befragung	Teilnahme Online-Befragung	Telefonische Nachbefragung
Aachen	160,82	246.671	x	x	
Augsburg	147,16	264.764	x	x	
Bergisch Gladbach	83,12	104.991	x	x	
Berlin	889,11	3.475.392	x	x	x
Bielefeld	257,65	324.674	x	x	x
Bochum	145,4	401.058	x		
Bonn	141,23	296.859	x		
Bottrop	100,6	119.676	x		
Braunschweig	192,06	256.267	x		
Bremen	326,72	551.604	x	x	
Bremerhaven	77,51	131.492	x		
Chemnitz	141,49	280.744	x	x	
Cottbus	150,31	128.121	x	x	
Darmstadt	122,35	139.754	x		
Dortmund	280,23	601.966	x	x	x
Dresden	225,75	479.273	x	x	x
Duisburg	232,83	536.797	x	x	x
Düsseldorf	216,99	574.936	x		
Erfurt	269,03	216.397	x	x	x
Erlangen	76,97	102.383	x	x	x
Essen	210,35	622.380	x		
Frankfurt	248,35	659.803	x	x	x
Freiburg	153,06	197.384	x	x	x
Fürth	63,34	108.097	x	x	x
Gelsenkirchen	104,84	295.037	x		
Gera	151,97	128.230	x	x	
Göttingen	116,89	128.419	x		
Hagen	160,36	214.877	x		
Halle	135,07	295.372	x	x	
Hamburg	755,33	1.702.887	x	x	
Hamm	226,1	182.390	x		
Hannover	204,07	524.823	x	x	x
Heidelberg	108,83	139.429	x	x	
Heilbronn	99,86	122.396	x		
Herne	51,41	180.539	x	x	
Hildesheim	92,96	106.303	x	x	
Ingolstadt	133,37	109.666	x	x	x
Jena	114,22	103.456	x	x	
Kaiserslautern	139,7	102.370	x		

Tab. 18: Übersicht der befragten Kommunen mit Angabe zu Rücklauf und Telefoninterview

Stadt	Fläche [km²]	Einwohner	Angeschrieben für Befragung	Teilnahme Online-Befragung	Telefonische Nachbefragung
Karlsruhe	173,44	277.998	x	x	x
Kassel	106,77	202.158	x	x	
Kiel	116,74	248.931	x	x	
Koblenz	105,08	109.807	x	x	
Köln	405,12	962.517	x		
Krefeld	137,52	249.565	x		
Leipzig	148,58	490.851	x	x	
Leverkusen	78,87	161.761	x		
Lübeck	214,16	217.269	x	x	
Ludwigshafen	77,67	168.130	x	x	
Magdeburg	193,2	271.416	x	x	
Mainz	97,76	185.487	x	x	
Mannheim	144,95	318.025	x	x	
Moers	67,68	106.631	x	x	
Mönchengladbach	170,43	265.312	x		
Mühlheim	91,26	177.175	x		
München	310,47	255.623	x		
Münster	302,45	267.367	x	x	x
Neuss	99,48	148.560	x	x	
Nürnberg	185,81	498.945	x	x	
Oberhausen	77,03	226.254	x	x	
Offenbach	44,84	116.870	x	x	
Offenburg	78,38	59.646	x	x	x
Oldenburg	102,95	147.701	x	x	x
Osnabrück	119,8	168.078	x		
Paderborn	179,4	130.130	x	x	x
Pforzheim	97,84	117.450	x	x	x
Potsdam	109,4	139.262	x	x	
Recklinghausen	66,41	127.150	x		
Regensburg	80,81	125.337	x		
Remscheid	74,6	123.610	x	x	
Rutlingen	87,04	107.607	x		
Rostock	180,66	237.307	x	x	
Saarbrücken	167,06	190.902	x		
Salzgitter	223,91	117.684	x	x	
Schwerin	130,04	122.189	x	x	
Siegen	114,67	111.845	x	x	
Solingen	89,46	166.064	x		
Stuttgart	207,33	594.406	x	x	
Ulm	118,68	114.839	x	x	x
Wiesbaden	203,94	270.873	x		

Tab. 18: Übersicht der befragten Kommunen mit Angabe zu Rücklauf und Telefoninterview

Stadt	Fläche [km ²]	Einwohner	Angeschrieben für Befragung	Teilnahme Online-Befragung	Telefonische Nachbefragung
Witten	72,37	105.807	x		
Wolfsburg	203,96	128.032	x	x	
Wuppertal	168,37	386.625	x		
Würzburg	88,9	128.875	x	x	
Zwickau	59,86	107.988	x	x	

Tab. 18: Übersicht der befragten Kommunen mit Angabe zu Rücklauf und Telefoninterview

Land	Amt/Niederlassung	Angeschrieben für Befragung	Teilnahme On-line-Befragung	Telefonische Nachbefragung
Brandenburg	Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg	x	x	x
Brandenburg	Regionalbereich West	x		
Brandenburg	Regionalbereich Süd	x		
Berlin	Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz	x		
Baden-Württemb.	Ministerium für Verkehr	x		
Baden-Württemb.	Regierungspräsidium Stuttgart	x		
Baden-Württemb.	Regierungspräsidium Karlsruhe	x	x	
Baden-Württemb.	Regierungspräsidium Freiburg	x		
Baden-Württemb.	Regierungspräsidium Tübingen	x	x	
Bayern	Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren für Bau und Verkehr	x	x	
Bayern	Staatliches Bauamt Amberg-Sulzbach	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Ansbach	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Aschaffenburg	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Augsburg	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Bamberg	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Bayreuth	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Erlangen-Nürnberg	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Freising	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Ingolstadt	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Kempten	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Krumbach	x	x	x
Bayern	Staatliches Bauamt Landshut	x		
Bayern	Staatliches Bauamt München 1	x		
Bayern	Staatliches Bauamt München 2	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Nürnberg	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Passau	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Regensburg	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Rosenheim	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Schweinfurt	x		

Tab. 19: Übersicht der befragten Straßenbauverwaltungen der Länder mit Angabe zu Rücklauf und Telefoninterview

Land	Amt/Niederlassung	Angeschrieben für Befragung	Teilnahme On-line-Befragung	Telefonische Nachbefragung
Bayern	Staatliches Bauamt Traunstein	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Weilheim	x		
Bayern	Staatliches Bauamt Würzburg	x		
Bremen	Amt für Straßen und Verkehr	x	x	
Hessen	Hessen Mobil	x	x	x
Hessen	Bad Arolsen (regionaler Standort)	x		
Hessen	Dillenburg (regionaler Standort)	x		
Hessen	Darmstadt (regionaler Standort)	x		
Hessen	Eschwege (regionaler Standort)	x		
Hessen	Frankfurt (regionaler Standort)	x		
Hessen	Fulda (regionaler Standort)	x		
Hessen	Gelnhausen (regionaler Standort)	x		
Hessen	Heppenheim (regionaler Standort)	x		
Hessen	Kassel (regionaler Standort)	x		
Hessen	Marburg (regionaler Standort)	x		
Hessen	Schotten (regionaler Standort)	x		
Hessen	Wiesbaden (regionaler Standort)	x		
Hamburg	Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer	x	x	x
Mecklenburg-Vorpommern	Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern	x		
Mecklenburg-Vorpommern	Straßenbauamt Neustrelitz	x	x	
Mecklenburg-Vorpommern	Straßenbauamt Schwerin	x	x	
Mecklenburg-Vorpommern	Straßenbauamt Stralsund	x	x	x
Niedersachsen	Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr	x	x	
Niedersachsen	Geschäftsbereich Aurich	x		
Niedersachsen	Geschäftsbereich Lingen	x	x	
Niedersachsen	Geschäftsbereich Oldenburg	x	x	x
Niedersachsen	Geschäftsbereich Stade	x	x	x
Niedersachsen	Geschäftsbereich Osnabrück	x		
Niedersachsen	Geschäftsbereich Nienburg	x	x	x
Niedersachsen	Geschäftsbereich Verden	x	x	x
Niedersachsen	Geschäftsbereich Lüneburg	x		
Niedersachsen	Geschäftsbereich Hameln	x	x	x
Niedersachsen	Geschäftsbereich Hannover	x	x	
Niedersachsen	Geschäftsbereich Wolfenbüttel	x		
Niedersachsen	Geschäftsbereich Gandersheim	x		
Niedersachsen	Geschäftsbereich Goslar	x		
Nordrhein-Westf.	Landesbetrieb Straßenbau NRW	x		
Nordrhein-Westf.	Meschede (Region 1)	x		

Tab. 19: Übersicht der befragten Straßenbauverwaltungen der Länder mit Angabe zu Rücklauf und Telefoninterview


Land	Amt/Niederlassung	Angeschrieben für Befragung	Teilnahme Online-Befragung	Telefonische Nachbefragung
Nordrhein-Westf.	Coesfeld (Region 2)	x		
Nordrhein-Westf.	Mönchengladbach (Region 3)	x		
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Südwestfalen	x		
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Vile-Eifel	x		
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Sauerland-Hochstift	x		
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Ruhr	x		
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Rhein-Berg	x		
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Ostwestfalen-Lippe	x		
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Niederrhein	x		
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Münsterland	x	x	x
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Krefeld	x		
Nordrhein-Westf.	Regionalniederlassung Hamm	x		
Rheinland-Pfalz	Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz (LBM)	x		
Rheinland-Pfalz	LBM Bad Kreuznach	x	x	
Rheinland-Pfalz	LBM Cochem	x	x	
Rheinland-Pfalz	LBM Diez	x		
Rheinland-Pfalz	LBM Gerolstein	x	x	
Rheinland-Pfalz	LBM Kaiserslautern	x		
Rheinland-Pfalz	LBM Speyer	x	x	
Rheinland-Pfalz	LBM Trier	x	x	
Rheinland-Pfalz	LBM Worms	x		
Rheinland-Pfalz	LBM Montabaur	x		
Schleswig-Holstein	Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein	x	x	x
Schleswig-Holstein	Niederlassung Itzehoe	x	x	x
Schleswig-Holstein	Niederlassung Lübeck	x	x	
Schleswig-Holstein	Niederlassung Rendsburg	x		
Saarland	Landesbetrieb für Straßenbau Saarland	x		
Sachsen	Landesamt für Straßenbau und Verkehr	x		
Sachsen	Niederlassung Bautzen	x		
Sachsen	Niederlassung Leipzig	x		
Sachsen	Niederlassung Meißen	x		
Sachsen	Niederlassung Plauen	x	x	
Sachsen	Niederlassung Zschopau	x	x	
Sachsen-Anhalt	Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt	x	x	
Sachsen-Anhalt	Regionalbereich Nord (Stendal)	x		


Tab. 19: Übersicht der befragten Straßenbauverwaltungen der Länder mit Angabe zu Rücklauf und Telefoninterview

Land	Amt/Niederlassung	Angeschrieben für Befragung	Teilnahme Online-Befragung	Telefonische Nachbefragung
Sachsen-Anhalt	Regionalbereich Süd (Halle)	x	x	x
Sachsen-Anhalt	Regionalbereich Mitte (Magdeburg)	x		
Sachsen-Anhalt	Regionalbereich Ost (Dessau)	x		
Sachsen-Anhalt	Regionalbereich West (Halberstadt)	x		
Thüringen	Landesamt für Bau und Verkehr Thüringen	x		
Thüringen	TLBV-Region Mitte (Erfurt)	x		
Thüringen	TLBV-Region Nord (Leinfelde)	x		
Thüringen	TLBV-Region Ost (Gera)	x	x	
Thüringen	TLBV-Region Südwest (Zella)	x	x	x

Tab. 19: Übersicht der befragten Straßenbauverwaltungen der Länder mit Angabe zu Rücklauf und Telefoninterview

Anhang 2 Online-Fragebogen





0% ausgefüllt

Im Rahmen der Forschung im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) sollen die Einsatzkriterien und -bereiche für Fußgängerlichtsignalanlagen (F-LSA) untersucht werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Steuerungsvarianten, die für den Fahrzeug- und/oder Fußverkehr eine Dunkelschaltung vorsehen.

Hierzu bitten die BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH und die Professur für Integrierte Verkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik der TU Dresden im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen um Ihre Unterstützung.

Die Befragung gibt Ihnen auch die Möglichkeit, ihre Erfahrungen und Kommentare einzubringen.




Die Teilnahme dauert etwa 10 bis 15 Minuten. Über den Button "Befragung unterbrechen" können Sie die Befragung speichern, zu einem späteren Zeitpunkt fortsetzen oder an einen anderen Ansprechpartner weiterleiten.

[Weiter](#)

[Befragung unterbrechen](#)

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
 BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
 Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 78: Begrüßung und Erläuterung des Ziels der Befragung

5% ausgefüllt

Verbreitung und Entwicklung von Fußgängerlichtsignalanlagen

Wie viele Fußgängerlichtsignalanlagen (F-LSA) betreiben Sie aktuell in Ihrem Zuständigkeitsbereich?

Falls Ihnen die genaue Zahl nicht bekannt ist, genügt auch eine Schätzung.

keine Angabe




Im Folgenden werden verschiedene Fragen gestellt, bei denen wir um Auskünfte zu F-LSA in Ihrer Stadt in den letzten 10 Jahren bitten.

Falls Sie für die letzten 10 Jahre keine Auskünfte geben können: (z. B. aufgrund Ihrer Beschäftigungsdauer, Wechsel von Zuständigkeiten etc.) Wählen Sie bitte aus, für welchen Zeitraum Sie Fragen zu F-LSA in Ihrer Stadt beantworten können.

[Befragung unterbrechen](#)

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
 BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
 Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 79: Frageblock zur Verbreitung und Entwicklung von F-LSA

10% ausgefüllt

Entwicklung der Anzahl von F-LSA sowie Gründe dafür

Wie war die Entwicklung der Anzahl von F-LSA in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den vergangenen 10 Jahren?

gestiegen

gesunken

gleich geblieben mit Rück- und Neubau von F-LSA

gleich geblieben ohne Rück- und Neubau von F-LSA

unbekannt / keine Angabe möglich

Aus welchen Gründen wurden in den letzten 10 Jahren neue F-LSA installiert?
Mehrfachauswahl möglich

Veränderung der Verkehrsbelastungen im Kfz-Verkehr

Veränderung der Verkehrsbelastungen im Fußgängerquerverkehr (z. B. im Zuge von Schulwegsicherung, Seniorenheimen)

Aufhebung einer Tempo 30-Zone

Unfallgeschehen beim Überqueren

Neubau von Straßen

Umrüstung von Überquerungsanlagen ohne technische Sicherung (z. B. FGÜ)

Sicherung von Haltestellenzugängen

Politische Beschlüsse zur Einrichtung von F-LSA

weitere Gründe (bitte nennen):

Es wurden keine neuen F-LSA installiert.

unbekannt / keine Angabe möglich

Aus welchen Gründen wurden in den letzten 10 Jahren F-LSA deinstalliert?
Mehrfachauswahl möglich

Veränderung der Verkehrsbelastungen im Kfz-Verkehr

Veränderung der Verkehrsbelastungen im Fußgängerquerverkehr

Einrichtung einer Tempo 30-Zone

Umrüstung in Überquerungsanlagen ohne technische Sicherung (z. B. FGÜ)

Politische Beschlüsse zur Deinstallation von F-LSA

weitere Gründe (bitte nennen):

Es wurden keine F-LSA deinstalliert.




unbekannt / keine Angabe möglich

Zurück
Weiter

Befragung unterbrechen

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER, GMBH
Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 80: Frageblock zur Entwicklung der Anzahl von F-LSA sowie Hintergründen

15% ausgefüllt

Verbreitung verschiedener Varianten von F-LSA

Welche der in Bild 1 dargestellten Steuerungsvarianten nutzen Sie für F-LSA?
Bitte schätzen Sie den Anteil der jeweiligen Steuerungsvarianten an allen F-LSA und geben Sie die Prozentwerte ohne Nachkommastellen an, so dass sich insgesamt 100% ergeben!

Variante 1: Vollständige Signalfolge für den Fahrzeug- und Fußgängerverkehr %

Variante 2: Dunkelanlagen mit Grundstellung DUNKEL für den Fahrzeugverkehr und Grundstellung ROT für den Fußgängerverkehr %

Variante 3: Dunkelanlagen mit Grundstellung DUNKEL für den Fahrzeugverkehr und Grundstellung DUNKEL für den Fußgängerverkehr %

Wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren F-LSA hinsichtlich ihrer Steuerungsvariante verändert und/oder F-LSA mit den Varianten 2 bzw. 3 neu errichtet?
Mehrfachauswahl möglich




- ja, und zwar Umrüstung von Variante 2 auf 1
- ja, und zwar Umrüstung von Variante 3 auf 1
- ja, und zwar Umrüstung von Variante 1 auf 2
- ja, und zwar Umrüstung von Variante 3 auf 2
- ja, und zwar Umrüstung von Variante 1 auf 3
- ja, und zwar Umrüstung von Variante 2 auf 3
- ja, und zwar Neubau von F-LSA mit der Variante 2
- ja, und zwar Neubau von F-LSA mit der Variante 3

nein

unbekannt / keine Angabe möglich

Bild 81: Frageblock zur Verbreitung verschiedener Varianten von F-LSA

Die Frageblöcke in Bild 82 bis Bild 91 wurden abhängig von den Antworten auf die Fragen in Bild 81 nur ausgewählten Teilnehmern gestellt.

20% ausgefüllt

Details zur Änderung von Variante 2 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Grundstellung ROT für Fußgänger) auf Variante 1 (vollständige Signalfolge für Fahrzeuge und Fußgänger)

Wie viele F-LSA wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren von Variante 2 auf 1 umgestellt?

Anzahl F-LSA (Änderung von Variante 2 auf 1)
 keine Angabe

Aus welchen Gründen wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren F-LSA von Variante 2 auf 1 umgestellt?
Mehrfachauswahl möglich

- verstärkte Rotlichtverstöße durch Kfz bei Variante 2
- verstärkte Rotlichtverstöße durch Fußgänger bei Variante 2
- schlechtere Verständlichkeit der Variante 2 für Fahrzeugführer
- schlechtere Verständlichkeit der Variante 2 für Fußgänger
- größere Zwischenzeit bei Variante 2 (5 s Übergangszeit gemäß RiLSA)
- Beschwerden durch Bürger über Variante 2

weitere Gründe (bitte nennen):




Gründe nicht bekannt / keine Angabe möglich

Zurück
Weiter

Befragung unterbrechen

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 82: Frageblock zu Details zur Änderung von Variante 2 auf Variante 1

25% ausgefüllt

Details zur Änderung von Variante 3 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Fußgänger) auf Variante 1 (vollständige Signalfolge für Fahrzeuge und Fußgänger)

Wie viele F-LSA wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren von Variante 3 auf 1 umgestellt?

Anzahl F-LSA (Änderung von Variante 3 auf 1)
 keine Angabe

Aus welchen Gründen wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren F-LSA von Variante 3 auf 1 umgestellt?
Mehrfachauswahl möglich

- verstärkte Rotlichtverstöße durch Kfz bei Variante 3
- verstärkte Rotlichtverstöße durch Fußgänger bei Variante 3
- schlechtere Verständlichkeit der Variante 3 für Fahrzeugführer
- schlechtere Verständlichkeit der Variante 3 für Fußgänger
- größere Zwischenzeit bei Variante 3 (5 s Übergangszeit gemäß RiLSA)
- Beschwerden durch Bürger über Variante 3
- schlechterer Schutz besonderer Nutzergruppen bei Variante 3 (bitte nennen):
- weitere Gründe (bitte nennen):



Gründe nicht bekannt / keine Angabe möglich

Zurück
Weiter

Befragung unterbrechen

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 83: Frageblock zu Details zur Änderung von Variante 3 auf Variante 1


30% ausgefüllt

Details zur Änderung von Variante 1 (Vollständige Signalfolge für Fahrzeuge und Fußgänger) auf Variante 2 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Grundstellung ROT für Fußgänger)

Wie viele F-LSA wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren von Variante 1 auf 2 umgestellt?

Anzahl F-LSA (Änderung von Variante 1 auf 2)
 keine Angabe

Aus welchen Gründen wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren F-LSA von Variante 1 auf 2 umgestellt?
Mehrfachauswahl möglich

- geringere Lichtverschmutzung bei Variante 2
- geringere Verwechslungsgefahr von Lichtsignalen bei hintereinander liegenden Signalquerschnitten (Grundstellung DUNKEL bei Variante 2)
- harmonischere Geschwindigkeiten durch Verringerung des „Sogeffektes“ hintereinander liegender GRUN-Signale (Grundstellung DUNKEL bei Variante 2)
- weniger Rotlichtverstöße durch Fahrzeugverkehr bei Variante 2
- weniger Rotlichtverstöße durch Fußgänger bei Variante 2
- weitere Gründe (bitte nennen):




Gründe nicht bekannt / keine Angabe möglich

Zurück
Weiter

Befragung unterbrechen

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 84: Frageblock zu Details zur Änderung von Variante 1 auf Variante 2

35% ausgefüllt

Details zur Änderung von Variante 3 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Fußgänger) auf Variante 2 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Grundstellung ROT für Fußgänger)

Wie viele F-LSA wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren von Variante 3 auf 2 umgestellt?

Anzahl F-LSA (Änderung von Variante 3 auf 2) keine Angabe

Aus welchen Gründen wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren F-LSA von Variante 3 auf 2 umgestellt?
Mehrfachauswahl möglich

verstärkte Rotlichtverstöße durch Fußgänger bei Variante 3

schlechtere Verständlichkeit für Fußgänger der Variante 3

Beschwerden durch Bürger über Variante 3

schlechterer Schutz besonderer Nutzergruppen bei Variante 3 (bitte nennen):

weitere Gründe (bitte nennen):

Gründe nicht bekannt / keine Angabe möglich

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 85: Frageblock zu Details zur Änderung von Variante 3 auf Variante 2





40% ausgefüllt

Details zur Änderung von Variante 1 (Vollständige Signalfolge für Fahrzeuge und Fußgänger) auf Variante 3 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Fußgänger)

Wie viele F-LSA wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren von Variante 1 auf 3 umgestellt?

Anzahl F-LSA (Änderung von Variante 1 auf 3) keine Angabe

Aus welchen Gründen wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren F-LSA von Variante 1 auf 3 umgestellt?
Mehrfachauswahl möglich

geringere Lichtverschmutzung bei Variante 3

kürzere Wartezeiten für Fußgänger aufgrund des Verzichts einer Anforderung bei Variante 3 (Querung bei DUNKEL)

kürzere Wartezeiten für Fahrzeuge aufgrund des Verzichts einer Anforderung durch Fußgängern bei Variante 3

geringere Verwechslungsgefahr von Lichtsignalen bei hintereinander liegenden Signalquerschnitten (Grundstellung DUNKEL bei Variante 3)

harmonischere Geschwindigkeiten durch Verringerung des „Sogeffektes“ hintereinander liegender GRUN-Signale (Grundstellung DUNKEL bei Variante 3)

weniger Rotlichtverstöße durch Fahrzeugverkehr bei Variante 3




weniger Rotlichtverstöße durch Fußgänger bei Variante 3

weitere Gründe (bitte nennen):

Gründe nicht bekannt / keine Angabe möglich

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 86: Frageblock zu Details zur Änderung von Variante 1 auf Variante 3

45% ausgefüllt

Details zur Änderung von Variante 2 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Grundstellung ROT für Fußgänger) auf Variante 3 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Fußgänger)

Wie viele F-LSA wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren von Variante 2 auf 3 umgestellt?

Anzahl F-LSA (Änderung von Variante 2 auf 3) keine Angabe

Aus welchen Gründen wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren F-LSA von Variante 2 auf 3 umgestellt?
Mehrfachauswahl möglich

geringere Lichtverschmutzung bei Variante 3

kürzere Wartezeiten für Fußgänger aufgrund des Verzichts einer Anforderung bei Variante 3 (Querung bei DUNKEL)

kürzere Wartezeiten für Fahrzeuge aufgrund des Verzichts einer Anforderung durch Fußgängern bei Variante 3

weniger Rotlichtverstöße durch Fahrzeugverkehr bei Variante 3

weniger Rotlichtverstöße durch Fußgänger bei Variante 3




weitere Gründe (bitte nennen):

Gründe nicht bekannt / keine Angabe möglich

Befragung unterbrechen

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
 BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
 Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 87: Frageblock zu Details zur Änderung von Variante 2 auf Variante 3

50% ausgefüllt

Details zum Neubau von F-LSA mit der Variante 2 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Grundstellung ROT für Fußgänger)

Wie viele F-LSA mit der Variante 2 wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren neu errichtet?

Anzahl F-LSA (Neubau von Variante 2) keine Angabe

Aus welchen Gründen wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren F-LSA mit der Variante 2 neu errichtet?
Mehrfachauswahl möglich

geringere Lichtverschmutzung (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1)

geringere Verwechslungsgefahr von Lichtsignalen bei hintereinander liegenden Signalquerschnitten durch Grundstellung DUNKEL (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1)

harmonischere Geschwindigkeiten durch Verringerung des „Sogeffektes“

hintereinander liegender GRÜN-Signale durch Grundstellung DUNKEL (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1)

weniger Rotlichtverstöße durch Kfz (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1)

weniger Rotlichtverstöße durch Fußgänger (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1)




weitere Gründe (bitte nennen):

Gründe nicht bekannt / keine Angabe möglich

Befragung unterbrechen

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
 BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
 Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 88: Frageblock zu Details zum Neubau von F-LSA mit der Variante 2

55% ausgefüllt

Details zum Neubau von F-LSA mit der Variante 3 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Fußgänger)

Wie viele F-LSA mit der Variante 3 wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren neu errichtet?

Anzahl F-LSA (Neubau von Variante 3) keine Angabe

Aus welchen Gründen wurden in Ihrem Zuständigkeitsbereich in den letzten 10 Jahren F-LSA mit der Variante 3 neu errichtet?
Mehrfachauswahl möglich

geringere Lichtverschmutzung (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1 oder 2)

kürzere Wartezeiten für Fußgänger aufgrund des Verzichts einer Anforderung (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1 oder 2)

kürzere Wartezeiten für Fahrzeuge aufgrund des Verzichts einer Anforderung durch Fußgängern (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1 oder 2)

geringere Verwechslungsgefahr von Lichtsignalen bei hintereinander liegenden Signalquerschnitten durch Grundstellung DUNKEL (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1)

harmonischere Geschwindigkeiten durch Verringerung des „Sogeffektes“ hintereinander liegender GRÜN-Signale durch Grundstellung DUNKEL (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1)

weniger Rotlichtverstöße durch Kfz (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1 oder 2)

weniger Rotlichtverstöße durch Fußgänger (im Vergleich zum Neubau einer F-LSA mit Variante 1 oder 2)

als Angebotsanlage zum Schutz besonderer Nutzergruppen (bitte nennen):

weitere Gründe (bitte nennen):




Gründe nicht bekannt / keine Angabe möglich

Zurück
Weiter

Befragung unterbrechen

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 89: Frageblock zu Details zum Neubau von F-LSA mit der Variante 3

Diskussion alternativer Varianten für F-LSA

Wurde in Ihrem Zuständigkeitsbereich der Einsatz von F-LSA mit der Grundstellung DUNKEL für den Fahrzeugverkehr (Varianten 2 und 3) in konkreten Planfällen diskutiert oder generell in Erwägung gezogen?




ja

nein

Varianten 2 und 3 bisher unbekannt

keine Angabe möglich

Bild 90: Frageblock zur Diskussion alternativer Varianten für F-LSA

65% ausgefüllt

Diskussion alternativer Varianten für F-LSA

Aus welchen Gründen wurde in Ihrem Zuständigkeitsbereich auf den Einsatz von F-LSA mit der Grundstellung DUNKEL für den Fahrzeugverkehr (Varianten 2 und 3) verzichtet?
Mehrfachauswahl möglich

Anlage befindet sich in der Planung und geht in nächster Zeit in Betrieb

Varianten 2 und 3 sind nicht erforderlich

verkehrsrechtliche Bedenken gegenüber Variante 2 und 3 (keine Anordnung durch Straßenverkehrsbehörde)

Bedenken im Hinblick auf die Verkehrssicherheit (bitte nennen):




Bedenken im Hinblick auf die Verkehrsablauf (bitte nennen):

Bedenken hinsichtlich Begreifbarkeit durch Kinder/Schüler (bitte nennen):

weitere Gründe (bitte nennen):

unbekannt / keine Angabe möglich

Bild 91: Frageblock zu den Gründen für den bisherigen Verzicht auf die Varianten 2 und 3 trotz erfolgter Diskussion über deren Einsatz

35% ausgefüllt

Vor- und Nachteile für F-LSA der Variante 2 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Grundstellung ROT für Fußgänger)

Welche Gründe sprechen aus Ihrer Sicht generell für die Anwendung von F-LSA mit der Grundstellung DUNKEL für den Fahrzeugverkehr und Grundstellung ROT für den Fußgängerverkehr (Variante 2)?

Bitte geben Sie die aus Ihrer Sicht bestehenden Vorteile als Stichpunkte an!




keine Angabe

Welche Gründe sprechen aus Ihrer Sicht generell gegen die Anwendung von F-LSA mit der Grundstellung DUNKEL für den Fahrzeugverkehr und Grundstellung ROT für den Fußgängerverkehr (Variante 2)?

Bitte geben Sie die aus Ihrer Sicht bestehenden Nachteile als Stichpunkte an!

keine Angabe

Bild 92: Vor- und Nachteile für F-LSA der Variante 2

46% ausgefüllt

Vor- und Nachteile für F-LSA der Variante 3 (Grundstellung DUNKEL für Fahrzeuge und Fußgänger)

Welche Gründe sprechen aus Ihrer Sicht generell für die Anwendung von F-LSA mit der Grundstellung DUNKEL für den Fahrzeugverkehr und Grundstellung DUNKEL für den Fußgängerverkehr (Variante 3)?

Bitte geben Sie die aus Ihrer Sicht bestehenden Vorteile als Stichpunkte an!




keine Angabe

Welche Gründe sprechen aus Ihrer Sicht generell gegen die Anwendung von F-LSA mit der Grundstellung DUNKEL für den Fahrzeugverkehr und Grundstellung DUNKEL für den Fußgängerverkehr (Variante 3)?

Bitte geben Sie die aus Ihrer Sicht bestehenden Nachteile als Stichpunkte an!

keine Angabe

Bild 93: Vor- und Nachteile für F-LSA der Variante 3

57% ausgefüllt

Unterstützung und Pilotversuche

Dürfen wir bezüglich weiterer Fragen im Rahmen des Forschungsprojektes Kontakt zu Ihnen aufnehmen?

ja (Bitte auf der nächsten Seite Kontaktdaten angeben.)

nein

Hätte Ihre Kommune Interesse im Rahmen eines wissenschaftlichen Begleitversuches F-LSA von der Variante 2 auf die Variante 3 umzurüsten?

ja (Bitte auf der nächsten Seite Kontaktdaten angeben.)

nein

Zurück
Weiter

Befragung unterbrechen

Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz
BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH
Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de

Bild 94: Unterstützung und Pilotversuche




   68% ausgefüllt	<h3>Angabe von Kontaktdaten (optional)</h3> <p>Kontaktdaten</p> <p>Name, Vorname: <input type="text"/></p> <p>Kommune/Stadt oder Straßenbauverwaltung: <input type="text"/></p> <p>Abteilung: <input type="text"/></p> <p>Anschrift: <input type="text"/></p> <p>Telefon: <input type="text"/></p> <p>E-Mail: <input type="text"/></p> <p>weitere Anmerkungen (zur Befragung oder zu F-LSA): <input type="text"/></p> <p>Angabe alternativer Ansprechpartner</p> <p>Kontaktdaten zu alternativen Ansprechpartnern oder für Verkehrsversuche</p> <p>Name, Vorname: <input type="text"/></p> <p>Abteilung: <input type="text"/></p> <p>Telefon: <input type="text"/></p> <p>E-Mail: <input type="text"/></p> <p>Zurück Weiter</p> <p>Befragung unterbrechen</p> <p>Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de</p>
---	--

Bild 95: Angabe von Kontaktdaten

  	<h3>Vielen Dank für Ihre Teilnahme!</h3> <p>Wir möchten uns ganz herzlich für Ihre Mithilfe bedanken. Ihre Antworten wurden gespeichert, Sie können das Browser-Fenster nun schließen. Bei Fragen, Problemen und Anregungen wenden Sie sich bitte per Mail an den unten genannten Kontakt.</p> <p>Kontakt: Dipl.-Geogr. Angelika Reinartz BSV BÜRO FÜR STADT- UND VERKEHRSPLANUNG DR.-ING. REINHOLD BAIER GMBH Hanbrucher Straße 9, 52064 Aachen - E-Mail: Angelika.Reinartz@bsv-planung.de</p>
---	--

Bild 96: Verabschiedung und Dank für Teilnahme an der Befragung

Anhang 3 Erhebungsstellen der Verkehrsbeobachtungen

Steuerungs- variante	Stadt	Straßenname	Datum der Erhebung
V1	Dresden	Breitscheidstraße / HOGA-Schule	05.11.2019
V1	Dresden	Dresdner Straße / Ludwigstraße	15.07.2020
V1	Dresden	Karl-Marx-Straße / Gymnasium	17.09.2020
V1	Dresden	Königsbrücker Landstraße / Fuchsberg	14.07.2020
V1	Dresden	Niederwaldplatz/Scariastraße	16.09.2020
V1	Dresden	Tornaer Straße / Am Anger	17.09.2020
V1	Dresden	Wilhelm-Franke-Straße / Karl-Laux-Straße	16.09.2020
V1	Hannover	Beuthener Straße / Grundschule	23.10.2019
V1	Hannover	Garkenburgerstraße / Friedhof Seelhorst	08.10.2020
V1	Hannover	Loccumer Straße / Grundschule Wüfel	08.10.2020
V1	Hannover	Rudolf-von-Bennigsen-Ufer / Mooksgang	23.10.2019
V1	Hannover	Tannenbergallee / Pastor-Jaeckel-Weg	07.10.2020
V1	Hannover	Schaumburgstr. /Wendlandstraße	06.10.2020
V1	Hannover	Wunstorfer Straße / Spangenbergstraße	06.10.2020
V1	Oldenburg	Cloppenburger Straße / Am Pulverturm	09.07.2020
V2	Dresden	Friedrichstraße / Bräuergasse	07.11.2019
V2	Dresden	Loschwitzer Straße / Lothringer Weg	02.07.2020
V2	Frankfurt/Main	Alt Griesheim / Boehleschule	01.10.2020
V2	Frankfurt/Main	Rödelheimer Straße / Kirchplatz / Appelsgasse	01.10.2020
V2	Frankfurt/Main	Sigmund-Freud-Straße / Steinkleestraße	01.10.2020
V2	Hannover	Am Listholze / Pastor-Jaeckel-Weg	24.10.2019
V2	Hannover	Großer Buchholzer Kirchweg/Hesemannstraße	07.10.2020
V2	Hannover	Herrenhäuser Straße / Herrenhäuser Gärten	06.10.2020
V2	Hannover	Kugelfangtrift/Märkischer Weg	07.10.2020
V2	Hannover	Lister Damm / Pastor-Jaeckel-Weg	07.10.2020
V2	Hannover	Richard-Lattorf-Straße / Ernst-Camman-Straße	06.10.2020
V2	Hannover	Sahlkamp / Lister Damm	07.10.2020
V2	Hannover	Wallensteinstraße / Am Sauerwinkel	23.10.2019
V2	Hannover	Wolfsstraße / Brandensteinstraße	24.10.2019
V2	Hannover	Wunstorfer Straße/Großestraße	06.10.2020
V3	Bremen	Am Lehester Deich / Diekswürden	08.07.2020
V3	Karlsruhe	Beiertheimer Allee / Südendstraße	29.09.2020
V3	Karlsruhe	Brückenstraße / Vokkenaustraße	30.09.2020
V3	Karlsruhe	Diakonissenstraße/Kraichgaustraße	29.09.2020
V3	Karlsruhe	Nürnberger Straße / Dammerstockstraße	29.09.2020
V3	Karlsruhe	Pfinzstraße / Ochsentorstraße	30.09.2020
V3	Karlsruhe	Scheibehardter Weg / Weiherwaldschule	29.09.2020
V3	Karlsruhe	Steinkreuzstraße / Schloßbergstraße	30.09.2020
V3	Oldenburg	An den Voßbergen / Kneippstraße	08.07.2020
V3	Oldenburg	An den Voßbergen / Pasteurstraße	09.07.2020
V3	Oldenburg	Brookweg/Eupener Straße	07.07.2020
V3	Oldenburg	Bümersteder Tredde / Erikaweg	08.07.2020
V3	Oldenburg	Eßkamp / Hofkamp	07.07.2020
V3	Oldenburg	Nadorster Straße / Ehernerstraße	06.07.2020

Tab. 20: Erhebungsstellen der Verkehrsbeobachtungen

Steuerungs- variante	Stadt	Straßenname	Datum der Erhebung
V3	Oldenburg	Sandkruger Straße / Westerholtsweg	09.07.2020
V3	Oldenburg	Schützenweg/Hamelmannstraße	07.07.2020
V3	Oldenburg	Stau / Bleicherstraße	06.07.2020
V3	Oldenburg	Stedinger Straße / Ahrensstraße	06.07.2020

Tab. 20: Erhebungsstellen der Verkehrsbeobachtungen

Anhang 4 Weitere grafische Auswertungen der Verkehrserhebungen und -versuche

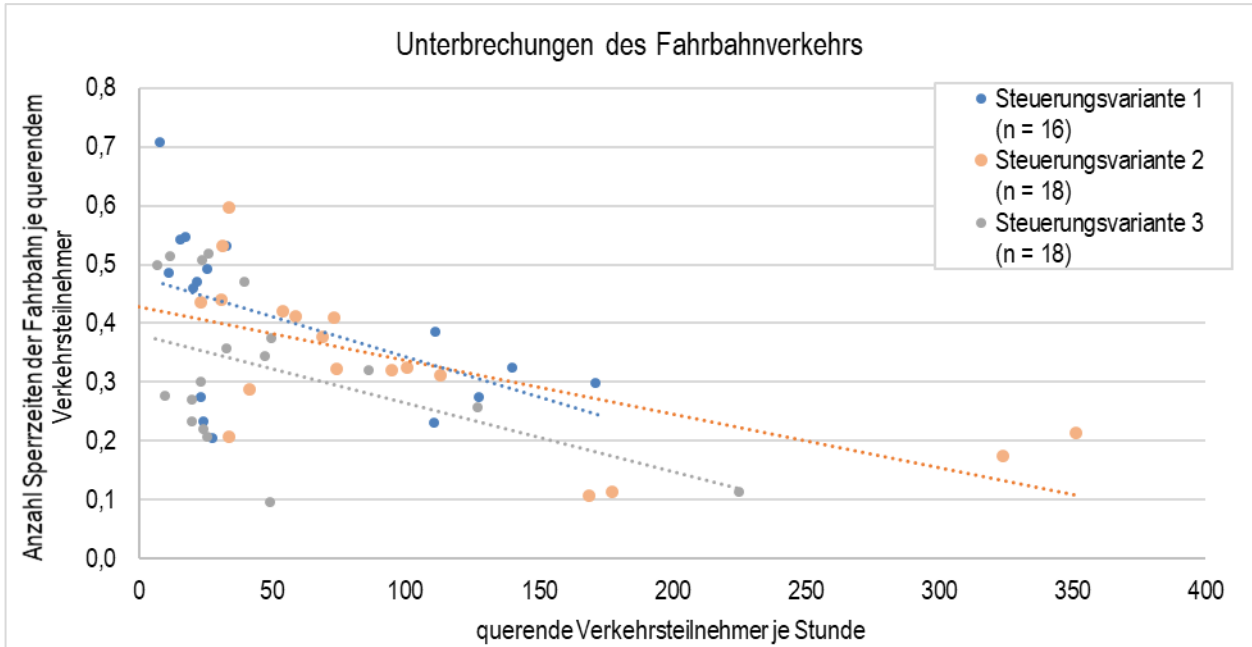


Bild 97: Anzahl der Sperrzeiten der Fahrbahn je querendem Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit des Querverkehrsaufkommens und der Steuerungsvariante (berechnet je Anlage)

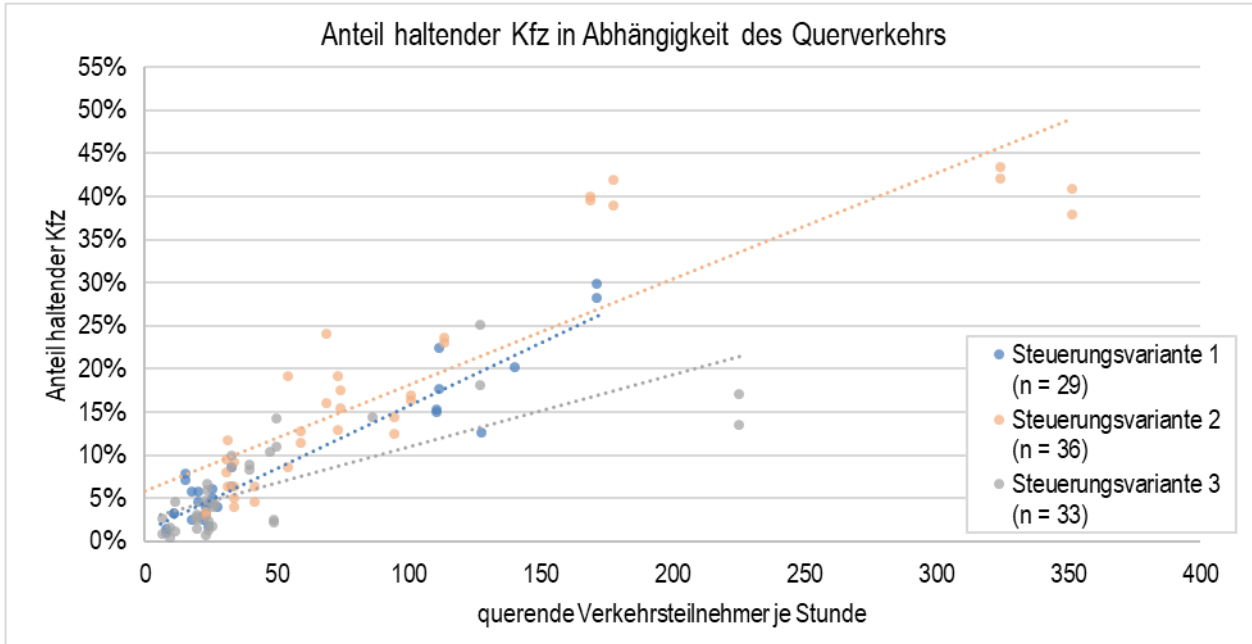


Bild 98: Anteil der haltenden Kfz in Abhängigkeit des Querverkehrsaufkommens und der Steuerungsvariante (berechnet je Zufahrt)

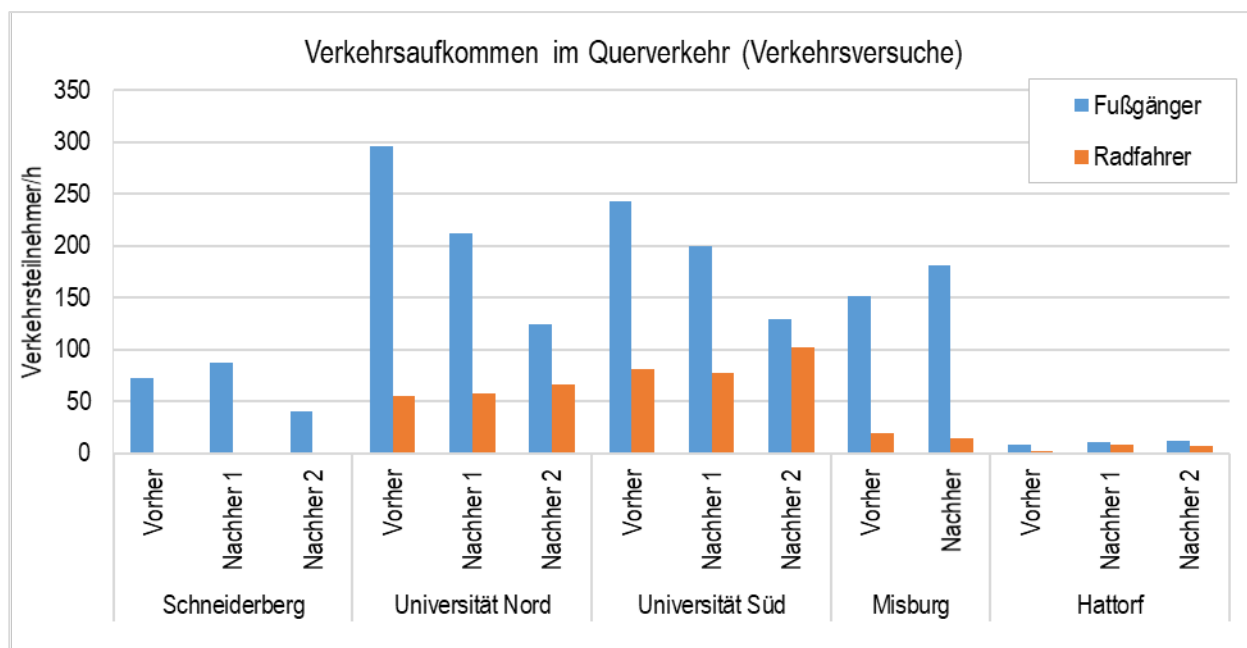


Bild 99: Verkehrsaufkommen im Querverkehr an den Anlagen der Verkehrsversuche

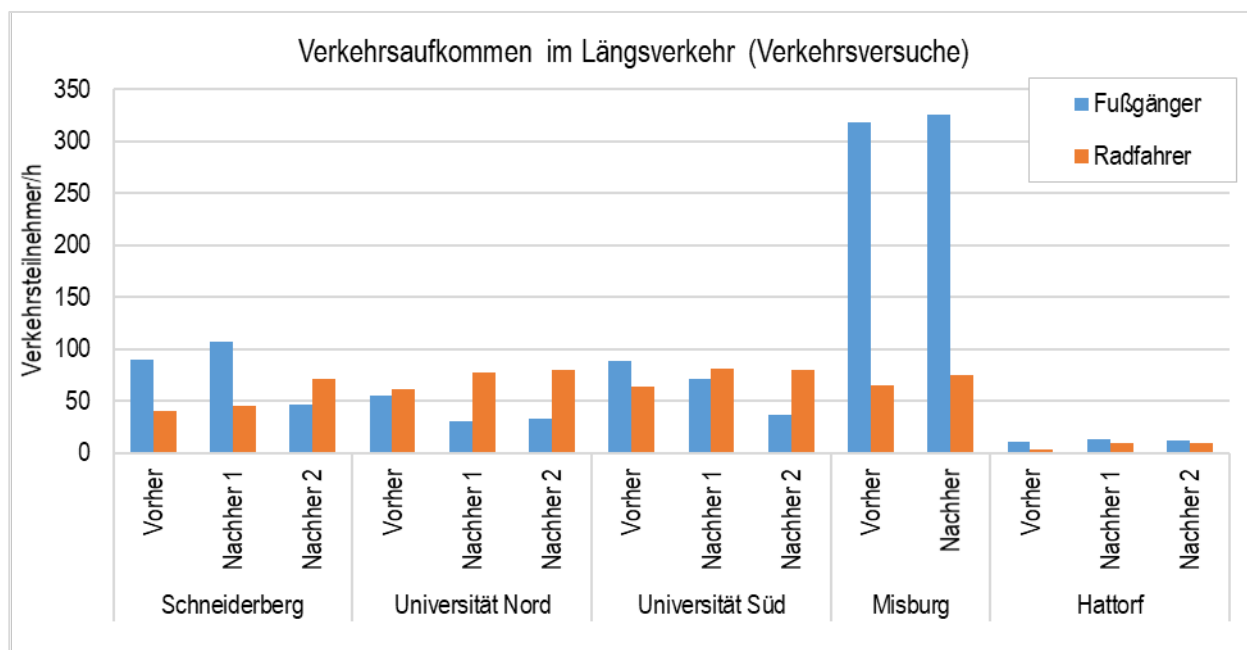


Bild 100: Verkehrsaufkommen im Längsverkehr an den Anlagen der Verkehrsversuche

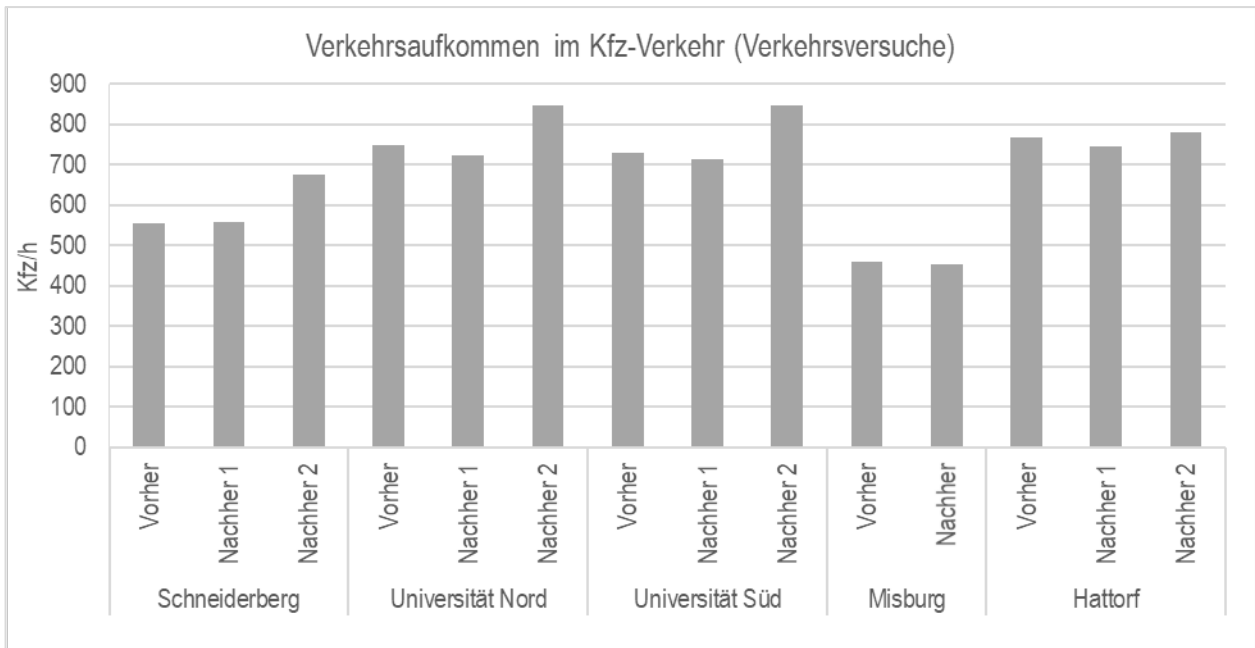


Bild 101: Verkehrsaufkommen im Kfz-Verkehr an den Anlagen der Verkehrsversuche

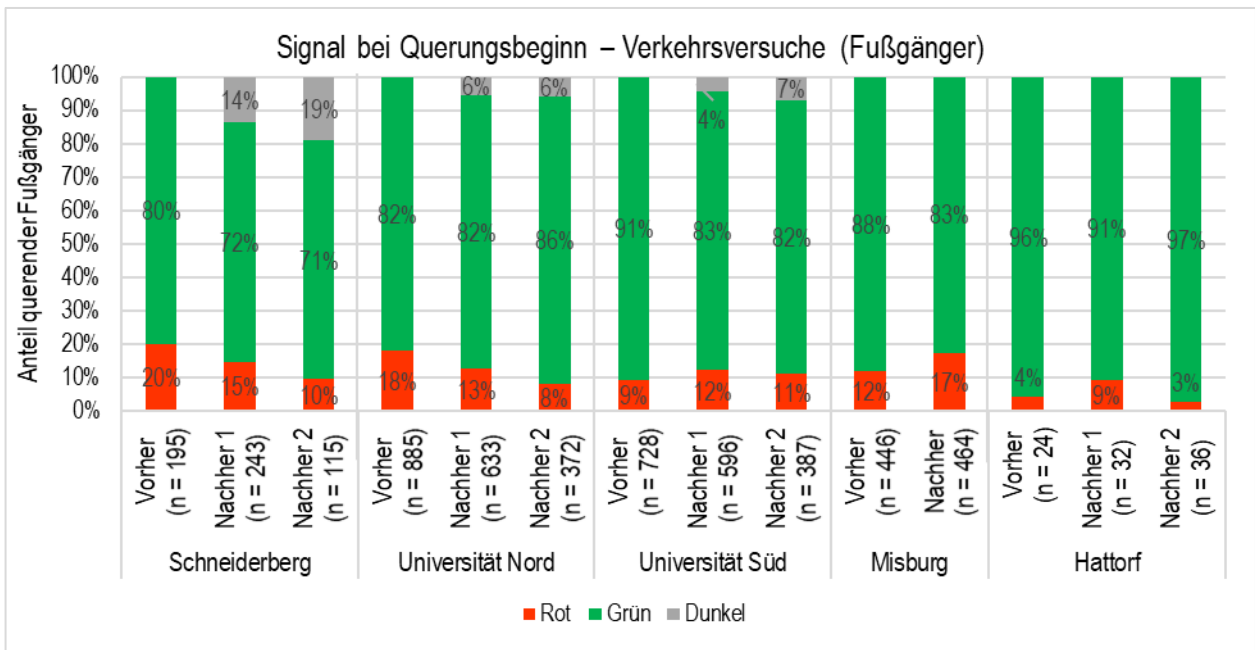


Bild 102: Signalisierung beim Querungsbeginn von Fußgängern an den Anlagen der Verkehrsversuche

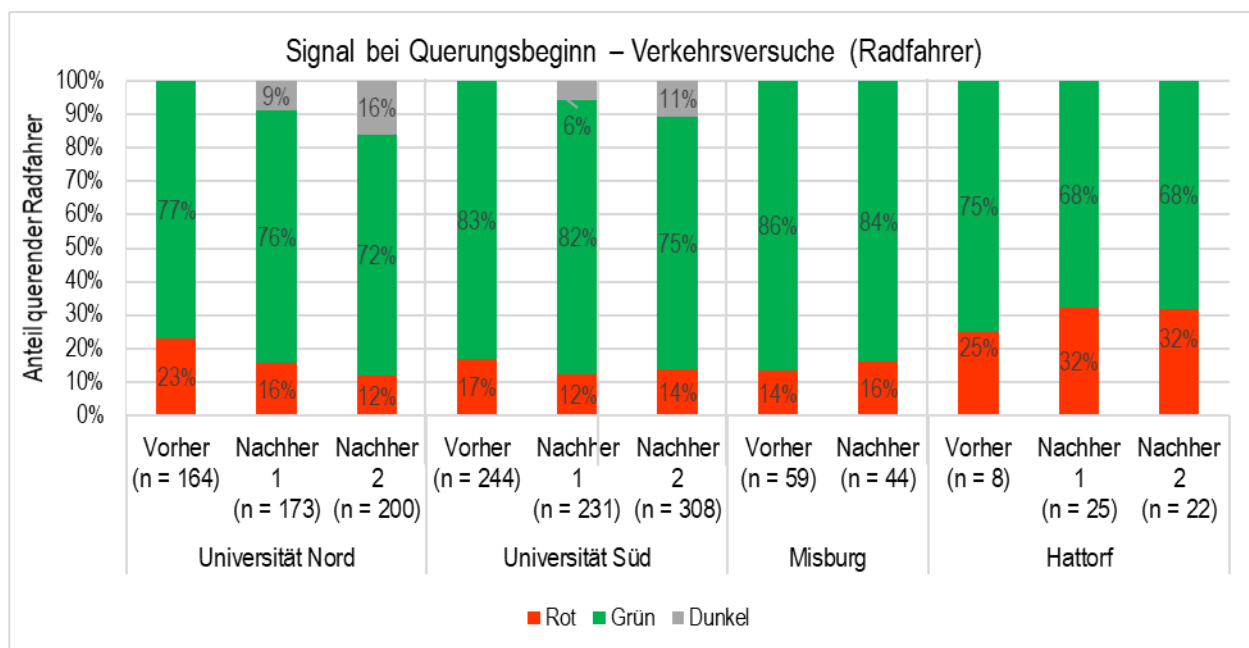


Bild 103: Signalisierung beim Querungsbeginn von Radfahrern an den Anlagen der Verkehrsversuche (die Anlage Schneiderberg ist nicht dargestellt., da an dieser in den Beobachtungszeiträumen jeweils nicht mehr als zwei Radfahrer querten)

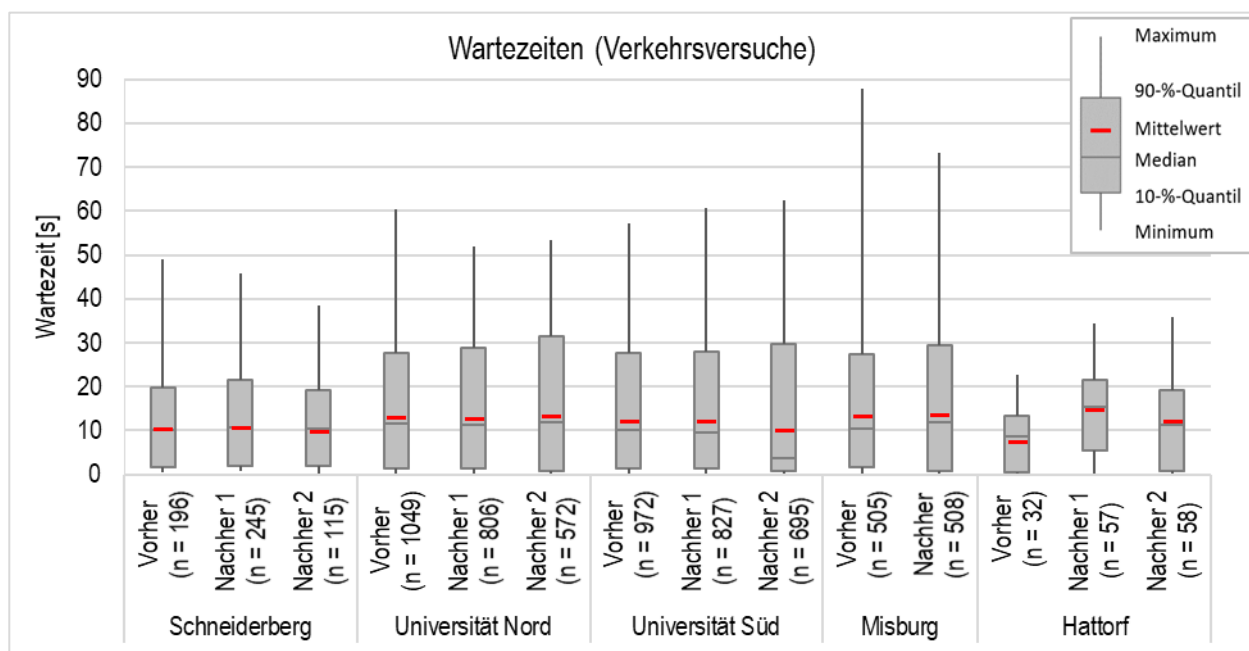


Bild 104: Wartezeiten im Fußgänger-Querverkehr an den Anlagen der Verkehrsversuche

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2018

- V 300: **Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoff-rückhalt und Standfestigkeit von Banketten**
Werkenthin, Kluge, Wessolek
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 301: **Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung**
Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 302: **Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB**
Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 303: **Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer**
Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter, Jeschke, Skottke € 19,50
- V 304: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015**
Fitschen, Nordmann € 31,00
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00
- V 305: **Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen**
Hartmann, Londong € 16,00
- V 306: **Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest**
Lippold, Wittig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 307: **Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung**
Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50
- V 308: **Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)**
Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 309: **Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO₂-Pilotstudie Lärmschutzwand**
Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50
- V 310: **Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie**
Wang, Oeser, Steinauer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 311: **Feldversuch mit Lang-Lkw**
Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 312: **Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen**

Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2019

- V 313: **Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen**
Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50
- V 314: **Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten**
Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50
- V 315: **Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung**
Kappich, Westermann, Holst € 15,50
- V 316: **Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände**
Lindner, Hartmann, Schulze, Hübelt € 18,50
- V 317: **Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen**
Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00
- V 318: **Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen**
Wolf, Berger, Bärwolff € 15,50
- V 319: **Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen**
Lippold, Vettters, Ressel, Alber
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 320: **Einsatzbereiche und Entwurfselemente von Rad-schnellverbindungen**
Malik, Lange, Andriessse, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden € 18,00
- V 322: **Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren**
Hausmann € 18,00
- V 323: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016**
Fitschen, Nordmann € 31,50
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00
- #### 2020
- V 321: **Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**
Diegmann, Wursthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00
- V 324: **Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA**
Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 325: **Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete**
D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 326: **Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen**
Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50
- V 327: **Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse**
Frenken, Mahmoudi € 16,50

V 328: **Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen**
Meisel, Balzer-Hebborn, Ellmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 329: **Streckenbezogene Glättevorhersage**
Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50

V 330: **Führung des Radverkehrs an Landstraßen**
Baier, Leu, Rittershaus
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 331: **Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw**
Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00

V 332: **Räumliche Linienführung von Autobahnen**
Lippold, Zösch
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 333: **Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit**
Hänisch, Heidebrunn € 17,00

V 334: **Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**
Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00

V 335: **Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen**
Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00

V 336: **Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten**
Ungureanu, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50

V 337: **Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung**
Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50

2021

V 338: **Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs**
Schwietering, Schwietering, Maier, Hakenberg, Pyta, Abel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 339: **Aktualisierung der Datenbank MARLIS**
Schneider, Turhan, Pelzer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 340: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017**
Fitschen, Nordmann € 31,00

V 341: **Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen**
Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 342: **Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz**
Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, Bawidamann € 21,00

V 343: **Kreisverkehre an Landstraßen Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit**
Schmotz, Schröter, Schemmel, Lippold, Schulze € 21,50

V 344: **Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen**
Popp, Eggers, Heidebrunn, Cortes € 21,00

V 345: **Aufbau einer Datenbank zur Berechnung exemplarischer Lärmsituationen mit Geräuschemissionsdaten der Straße und meteorologischen Daten**

Liepert, Skowronek, Eberlei, Crijenkovic, Müller, Schady, Elsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 346: **Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen**
Müller, Huth, Liepert € 15,00

V 347: **Chancen in der Verkehrsbeeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation**
Schwietering, Löbbeling, Spangler, Gabloner, Busch, Roszak, Dobmeier, Neumann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 348: **Einsatz und Verkehrssicherheit von Fußgängerüberwegen**
Bohle, Busek, Schröder € 18,50

V 349: **Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit – Ermittlung unfallbeeinflussender Merkmale auf Basis empirischer Modelle unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung im Seitenraum an Landstraßen**
Schreck-von Below € 22,00

V 350: **Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**
Bartolomaeus, Strigari, Sammet
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 351: **Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung – TAUSALA II**

Holldorb, Cypra, Pape
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2022

V 352: **Abriebe von Fahrbahnoberflächen**
Düring, Schmidt, Johannsen € 19,00

V 353: **Nutzung der C2X-basierten ÖV-Priorisierung an signalisierten Knotenpunkten**
Gay, Grimm, Otto, Partzsch, Gersdorf, Gierisch, Löwe, Schütze € 16,00

V 354: **Anwendung der Methode BIM in Konformität mit den Regelwerken der FGSV und des IT-Ko**
Radenberg, Müller, König, Hagedorn, Geistefeldt, Hohmann, Heinrichs, Stiehler, Kortemeyer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 355: **Pilotversuch des Rechtsabbiegens von Rad Fahrern bei Rot**
Niestegge, Schüller, Hantschel, Schröter, Gerike
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 356: **Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgänger-schutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen**
Medicus, Schmotz, Gerike, Reinartz, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.