

# Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 336

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly rounded and have a white outline, giving it a three-dimensional appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

# Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten

von

Tudor Ungureanu  
Mario Ilić  
Sebastian Radon  
Lisa Rothe  
Max Reichert  
Christin Schober  
Ioannis Stamatakis  
Thomas Heinrich

Schlothauer & Wauer GmbH  
München

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 336

**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 03.0513**  
Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten

**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](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9331  
ISBN 978-3-95606-530-9

Bergisch Gladbach, September 2020



## Kurzfassung – Abstract

### Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten

Neben klassischer Induktivschleifendetektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten werden zunehmend andere Detektionstechnologien (z. B. Video, Wärmebild, Radar, Magnetfeld) angeboten und eingesetzt. Bisher wurden technologie- und bauartbedingte Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten jedoch in Deutschland noch nicht hinreichend wissenschaftlich und herstellerunabhängig untersucht. Hauptziel dieses Forschungsprojektes ist deshalb eine Zusammenstellung von Einsatzkriterien für verschiedene Detektortechnologien. Dazu wurden:

- der Stand der Wissenschaft und Technik recherchiert,
- Kriterien und Kenngrößen zur Bewertung der Detektionsqualität der Detektoren definiert,
- ein Testfeld eingerichtet und ein Feldtest über mehrere Monate hinweg durchgeführt,
- ein Verfahren zur Auswertung der erhobenen Detektordaten entwickelt,
- Einsatzempfehlungen aus der Interpretation der Auswertungsergebnisse für spezifische Anwendungen im LSA-Bereich abgeleitet.

Unter Verwendung von referenzfreier und referenzierter Prüfung wurden die auf dem Testfeld erhobenen Daten im Verhältnis zu Umwelteinflüssen und Verkehrsmenge ausgewertet. Die Daten wurden auf tatsächliche Verfügbarkeit, Vollständigkeit, Konsistenz und Korrektheit untersucht. Zudem sind die verschiedenen Detektortechnologien auf Eignung in den Bereichen Zählung, Freigabezeit-Verlängerung und Freigabezeit-Anforderung untersucht worden.

Durch die Verknüpfung der definierten Qualitätskenngrößen mit den Bedingungen (Verkehrslasten, Lichtverhältnisse und Niederschlag) am Testfeld wurden Fehlerursachen und Einflussgrößen auf die Qualität der Detektionen für die verschiedenen Detektoren und – falls verallgemeinerbar – Detektionstechnologien ermittelt. Aus Sicht der Untersuchung gibt es keine Einzeinschränkungen für bestimmte Technologien. Auch hinsichtlich der Randbedingungen, wie etwa Positionierung

der Detektoren kann eine gleichermaßen hohe Empfehlung für alle Detektoren ausgesprochen werden.

### Comparison of detectors for traffic detection at signalized intersections

In addition to classical inductive loop detectors for traffic detection at signalized intersections, other detection technologies (e.g. video, thermal imaging, radar, magnetic field) are increasingly being offered and used. So far, however, technology-related and design-related properties and application possibilities have not yet been sufficiently examined in Germany in a scientific and manufacturer-independent manner. The main aim of this research project is therefore a compilation of application criteria for different detector technologies. For this

- the state of science and technology has been researched,
- criteria and parameters for the evaluation of the detection quality of the different detectors have been defined,
- a test field has been set up and field tests were carried out over several months,
- a method for the evaluation of the collected detector data has been developed,
- recommendations, derived from the interpretation of the evaluation results, for specific applications in the field of light signals have been given.

Using referenced and non-referenced testing methods, data collected at the test field was matched against environmental influences and traffic loads and then evaluated. The data were checked for availability, integrity, consistency and validity. Furthermore, each detection technology was tested for suitability concerning traffic count, green time extension and green time request.

By linking the defined quality parameters with the conditions at the test field (traffic loads, brightness and precipitation), causes of error and influencing factors on the quality of the detections for the various detectors and – if generalizable – detection technologies have been determined. From the point of view of the research, there are no deployment restrictions for certain technologies. Also, with regard to the boundary conditions, such as positioning of the detectors, an equally high recommendation can be made for all detectors.

## Summary

### Comparison of detectors for traffic detection at signalized intersections

## 1 Task description

For the traffic-actuated signal, traffic data (e.g. presence, occupancy, counting) are required as input variables. The quality of the traffic data thus has a decisive influence on the quality of the traffic-actuated signal. Therefore, high-quality traffic data collection must be ensured through appropriate measures throughout the entire lifecycle of a traffic light. This already starts in the planning and the construction phase through the selection of suitable detection technologies and the optimal positioning and setup of the detectors.

In addition to classical inductive loop detectors for traffic detection at signalized intersections, other detection technologies (e.g. video, thermal imaging, radar, magnetic field) are increasingly being offered and used. So far, however, technology-related and design-related properties and application possibilities have not yet been sufficiently investigated in Germany in a scientific and manufacturer-independent manner, which is why no concrete recommendations for an appropriate use of the right technology can be given.

The main aim of this research project is therefore a compilation of application criteria for different detector technologies. This includes amongst other things answering the following questions:

- Which detector technologies are suitable for the specific application in the field of traffic signals?
- Which environment and boundary conditions (e.g. regarding positioning) influence the quality of traffic data collection?
- Which detector technologies can represent each other?

## 2 Methodology

The following section describes the methods used for the evaluation:

The first section handles the state of science and technology in the field of detection technologies currently available on the market regarding the measuring principle, the detectable parameters, the possible applications and the parameters influencing the quality of the detection along with the advantages and disadvantages.

Following that, the test procedure and the evaluation parameters were defined. This was done based on the general quality characteristics for information according to WILTSCHKO, presented in figure 2-1.

For the considered values and metrics, it was distinguished between two types of tests:

- Referenced tests,
- non-referenced Tests.

The following parameters were evaluated without reference:

- Actual availability – Testing whether there is a set of data for every second of the evaluation time period.
- Integrity – verifying whether every single set of data was given a value during the evaluation time period.
- Consistency – checked the data set for the right length, the right format and the right leading letter of its entries.
- Correctness – the signal edges of the raw data were analyzed and checked for correctness.

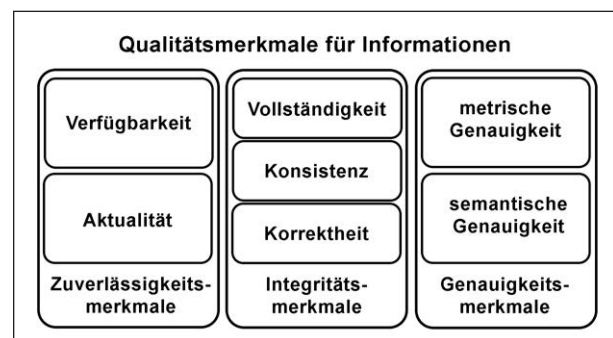


Fig. 2-1 : Quality characteristics for information (WILTSCHKO, 2004)

The referenced test served for evaluating the detection precision. Therefore, the following use cases were considered:

- Traffic-count,
- Green-Time-Request,
- Green-Time-Extension.

For the assessment of the detection precision, the following quality attributes were used.

- Detection rate: amount of correct detected events compared to all referenced events.
- False alarm rate: amount of false alarms (detected events without reference event) compared to all by the detector detected events.

The next step deals with the description and execution of the test field. The test environment was the intersection nr. 161 in Nürtingen, where Oberboihinger Str. (northern and southern branch of the intersection) intersect with Hochwiesenstr. (western branch) and Rümelinstr. (eastern branch). Figure 2-2 shows an aerial view of the test field.

After setting up the test field and detectors, the field test was performed. This corresponds to the recording of traffic data over a period of 3 months (December 2017, January 2018, February 2018).

In the next steps, the supplied data were evaluated according to the test procedure described earlier and the results were interpreted.

Finally, a recommendation for use of the detectors was mentioned, which was derived from the interpretation of the results of the field test.



Fig. 2-2 : Aerial view of the test field (Datenquelle: LGL, [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de))

### 3 Results

In the final report, all results are described in detail. This part only outlines selected findings and figures.

During conduction of the non-referenced tests, integrity and consistency were evaluated as 100% correct.

During the testing of correctness, none of the detection technologies showed higher amounts than 0,4% of false data sets per day during the entire test interval. That equals 345.6 second per day.

The actual availability of data was tested for transfer of the entire data-transfer-system (detector + control unit + OCIT-interface for data transfer). The mean of the count of missing data sets was 2.92 per day, where each record equals one second.

The referenced tests of the Green-Time-Extension have shown, that a comparison of the detection data with the reference data showing such high discrepancy of the accuracy depth is not possible. Because of that, it can be said that the manual reference survey of time gaps using video material, in case of Green-Time-Extension, is not a suitable measure.

For the evaluation of the traffic count and Green-Time-Request was proceed as follows. By testing the data concerning detection precision it should be determined, whether the delivered raw data and therefor the detected signal edges are matching the created reference data sets (Ground Truth). Doing so, the value of detection rate and false alarm rate was examined.

The description of the results is always done in dependence of traffic intensity, this therefore represents the primary parameter of the analysis. Furthermore, the analysis was split into different environmental influences (i.e. precipitation, sun, dawn, clouds, etc.), which were secondary parameters of the analysis.

The description of all detection technologies by influencing factors serves the fast and simple comparison of the same among each other. Using the description of all influencing factors by detection technology, trend lines could be established, which indicate the general performance of the technology over all available observations. By calculation of the difference of each reading in respect to the trend

line, every influencing factor could be reviewed. Finally, each individual factor for every detection technology serves as the detailed view of the factors in comparison to the general performance (trend line) of the detection technologies.

## 4 Conclusions for practical implementation

The present report should support the planning phase of a traffic-actuated signal. From the gained knowledge of the evaluation, different conclusions can be drawn for the usage of the detection technologies in the practical implementation.

With regard to the non-referenced tests and the results provided, there are no use restrictions for certain technologies from the point of view of the investigation. Also with regard to the boundary conditions, such as positioning of the detectors, an equally high recommendation can be made for all detectors.

The referenced tests show, depending on the application, a different suitability of the examined detection technologies for use at traffic signal controlled junctions. For thermal image detection, the evaluated data showed a lower detection rate in the case of the count. However, it has to be mentioned that this detection technology shows a constant low false alarm rate over all influencing factors. If a use case makes high demands regarding the detection in bad light conditions, the thermal image detector has a high accuracy values in this scenario. Influencing factors, which represent limited lighting conditions, did not have a great limiting effect on this technology. Also, the induction loops are technically unaffected by the factor of light ratio.

As a contrast, it has been shown that the video detectors involved in the test generate partly increased false alarm rates for the use case counting by night. For the use case green-time-request, low detection rates also occurred at night. Dark lighting combined with precipitation represent the challenges for video detection. Reflections from the headlights on the road or exhaust clouds from vehicles approaching the traffic signal triggered occasional incidents during video detection, generating a false alarm. With increasing brightness, the detection rates of video technology also increased, which

leads to an application recommendation in good light conditions.

In the course of the investigation, several reasons for erroneous detections were found. After the signal red time period, the first two vehicles standing at the stop line drove very close together over the detection areas, which led to the fact that they were recognized as one due to the short time gap or the small distance between the two vehicles. Another scenario presented motorcycles that drove very far on the edge of a lane, which were then often not detected. Also critical were lane changes in stop line area (here were the coverage areas of the detectors), which occasional led to a vehicle being detected twice.

Thus, decisions which technology are more suitable for specific application in the field should be made depending on the field of application.

## Literature

WILTSCHKO, T. (2004): Sichere Information durch infrastrukturgestützte Fahrerassistenzsysteme zur Steigerung der Verkehrssicherheit an Straßenknotenpunkten (Bde. Reihe 12, Nr. 570). Stuttgart: VDI Verlag

## Abbreviations

WP Work package

## Table of Figures

Fig. 2-1: Quality characteristics for information (WILTSCHKO, 2004)

Fig. 2-2: Aerial view of the test field (Datenquelle: LGL, [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de))

## Inhalt

Abkürzungen .....	9	2.5.2 FGSV AK 3.5.20 „Hinweise zur Qualitätsanforderung und Qualitäts- sicherung der lokalen Verkehrsdaten- erfassung“ .....	26
<b>1 Einleitung</b> .....	11	2.5.3 FGSV AK 3.2.9 „Videodetektion in VBA“ .....	26
<b>2 Stand der Wissenschaft und Technik</b> .....	11	2.6 Bisherige Untersuchungen und Forschungsprojekte .....	26
2.1 Verkehrskenngrößen und Ereignisse allgemein .....	11	2.6.1 QUATRA .....	26
2.2 Anwendungen .....	12	2.6.2 AKTIV-VM Prozessmonitor .....	27
2.2.1 Allgemeine Übersicht .....	12	2.6.3 Traffic IQ .....	27
2.2.2 LSA-Steuerung .....	13	2.6.4 Leitfaden für die flächendeckende Erfassung verkehrsrelevanter Daten und Ereignisse .....	28
2.3 Überblick von Detektionstech- nologien mit Bezug zur LSA .....	14	2.6.5 Ergebnisse weiterer Unter- suchungen .....	29
2.3.1 Induktionsschleifendetektoren .....	14	2.7 Qualitätsbewertung .....	31
2.3.2 Videodetektoren .....	16	2.7.1 Qualitätsbegriffe .....	31
2.3.3 Radardetektoren .....	18	2.7.2 Qualitätskriterien .....	32
2.3.4 Ultraschalldetektoren .....	19	2.7.3 Qualitätsbewertung Verkehrsdaten ...	33
2.3.5 Wärmebild-/Infrarotdetektoren .....	19	2.7.4 Qualitätsbewertung Ereignis- detektion .....	39
2.3.6 Magnetfelddetektoren .....	21	2.7.5 Qualitätsmonitoringsysteme .....	42
2.3.7 Kombinationsdetektoren .....	21	<b>3 Testumfang und Verfahren</b> .....	45
2.4 Regelwerke .....	23	3.1 Vorgehensweise .....	45
2.4.1 Merkblatt „Detektoren für den Straßenverkehr“ .....	23	3.2 Untersuchte Detektionstechnologien ..	45
2.4.2 Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen .....	24	3.3 Allgemeingültiges Qualitätsmodell für Verkehrsdaten und -informationen .....	45
2.4.3 Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrchnerzentralen .....	24	3.3.1 Qualitätsbegriffe .....	45
2.4.4 Hinweise zur Videodetektion in Verkehrsbeeinflussungsanlagen .....	24	3.3.2 Dimensionen des Qualitätsmodells ...	45
2.4.5 Richtlinie für Lichtsignalanlagen .....	25	3.3.3 Aggregation der Qualitätskenn- größen .....	46
2.4.6 Hinweise zum Qualitätsmanagement an Lichtsignalanlagen .....	25	3.4 Anpassung des Qualitätsmodells für Verkehrserfassung an LSA .....	47
2.4.7 Leitfaden Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen .....	25	3.4.1 Dimensionen .....	47
2.4.8 Leitfaden Verkehrstelematik .....	26	3.4.2 Verkehrskenngrößen und Ereignisse .....	47
2.5 Gremien .....	26		
2.5.1 FGSV AK 3.1.8 „Detektions- technologien“ .....	26		



3.4.3	Qualitätskenngrößen . . . . .	48	7.4.1	Induktionsschleifendetektion . . . . .	87
3.4.4	Vorgehensweise zur Ermittlung der Qualitätskenngrößen . . . . .	53	7.4.2	Videodetektion . . . . .	89
<b>4</b>	<b>Testfeld</b> . . . . .	54	7.4.3	Magnetfelddetektion . . . . .	93
4.1	Beschreibung . . . . .	54	7.4.4	Wärmebilddetektion . . . . .	95
4.2	Detektoren . . . . .	55	7.4.5	Radardetektion . . . . .	96
4.2.1	Detektortypen . . . . .	55	7.4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse . . .	97
4.2.2	Erfassbare Kenngrößen . . . . .	55	<b>8</b>	<b>Fazit</b> . . . . .	98
4.2.3	Montageorte und Erfassungsbereiche . . . . .	55		<b>Literatur</b> . . . . .	99
4.3	Aufzeichnung und Bereitstellung der Daten und Videos . . . . .	56		<b>Bilder</b> . . . . .	100
4.4	Einrichtung der Detektoren . . . . .	57		<b>Tabellen</b> . . . . .	102
<b>5</b>	<b>Durchführung des Feldtests</b> . . . . .	57			
5.1	Erhebungszeiten . . . . .	57		Die Anhänge zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <a href="https://bast.opus.hbz-nrw.de">https://bast.opus.hbz-nrw.de</a> abrufbar.	
5.2	Detektordaten . . . . .	58			
5.2.1	Rohdaten . . . . .	58			
5.2.2	Flankeninterpretation/-aufbereitung . . .	59			
5.3	Referenzdatenerhebung . . . . .	61			
<b>6</b>	<b>Auswertungsmethodik</b> . . . . .	62			
6.1	Referenzfreie Prüfungen . . . . .	62			
6.2	Prüfungen mit Referenz (Detektionsgenauigkeit) . . . . .	63			
<b>7</b>	<b>Ergebnisse der Datenauswertung</b> . . .	68			
7.1	Referenzfreie Prüfungen . . . . .	68			
7.2	Prüfungen mit Referenz (Detektionsgenauigkeit) – Freigabezeit-Verlängerung . . . . .	70			
7.3	Prüfungen mit Referenz (Detektionsgenauigkeit) – Zählung . . . . .	71			
7.3.1	Videodetektion . . . . .	72			
7.3.2	Wärmebilddetektion . . . . .	81			
7.3.3	Radardetektion . . . . .	83			
7.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse . . .	85			
7.4	Prüfungen mit Referenz (Detektionsgenauigkeit) – Freigabezeit-Anforderung . . . . .	86			

## Abkürzungen

AKTIV-VM	Adaptive und kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr – Verkehrsmanagement	iQ mobility	Integriertes Qualitäts- und Mobilitätsmanagement im Straßenverkehr der Region Berlin-Brandenburg
ASDA	Automatisierte Staudynamikanalyse	ITS	Intelligent Transportation System
ASFiNAG	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft	IV	Individualverkehr
ASM	Adaptive Smoothing Method	iVA	Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik
BAB	Bundesautobahn	IVS	Intelligente Verkehrssysteme
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen	IVSG	Intelligente Verkehrssysteme Gesetz
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	KBA	Knotenbeeinflussungsanlage
CEDR	Conference of European Directors of Roads	LOS	Level of Service
DAB	Digital Audio Broadcasting	LOTRAN-DQ	Local Traffic Analyzer for Data Quality
DMAIC	Define – Measure – Analyze – Improve – Control	LSA/LZA	Lichtsignalanlagen/Lichtzeichenanlagen
DR	Detection Rate	LTE	Long Term Evolution
dWiSta	Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen	MARZ	Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen
FAR	False Alarm Rate	MDM	Mobilitätsdatenmarktplatzes
FC(D)	Floating Car (Daten)	MIV	Motorisierter Individualverkehr
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen	MQ	Messquerschnitt
FOTO	Forecasting of traffic objects	NMIV	Nichtmotorisierter Individualverkehr
GPS	Global Positioning System	NBA	Netzbeeinflussungsanlage
GT	Ground Truth	NQAV	Nicht quantifizierbare Kenngröße
GUI	Grafical User Interface	ÖV	Öffentlicher Verkehr
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen	PDCA	Plan Do Control Act
H QML	Hinweise zum Qualitätsmanagement an Lichtsignalanlagen	QAV	Quantifizierbare Kenngröße
H VVBA	Hinweise zur Videodetektion in Verkehrsbeeinflussungsanlagen	QBENCH	Quality Benchmark
IG-L	Immissionsschutzgesetz – Luft	QFCD	Quality Evaluation Based on Floating Car Data
		QKZ	Qualitätskennziffer

QMS	Qualitätsmanagementsystem	WV	Wirtschaftsverkehr
QSV	Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs	WWW	Wechselwegweisung
QUANTIS	Quality Assessment and Assurance of Traveller Information Systems	ZRA	Zuflussregelungsanlage
QUATRA	Software and Services for the Quality Management of Traffic Data	ZVM	Zentralstelle Verkehrsmanagement
RBL	Rechnergestütztes Betriebsleitsystem		
RDS	Radio Data System		
RILSA	Richtlinien für Lichtsignalanlagen		
RTTI	Real-time Traffic Information		
SBA	Streckenbeeinflussungsanlage		
SIMPE	Squared Inverse Mean Percentage Error		
TCM	Traffic Count Management		
TISA	Traveller Information and Service Association		
TLS	Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen		
TMC	Traffic Message Channel		
TPEG	Transport Protocol Experts Group		
TSF	Temporäre Seitenstreifenfreigabe		
TT	Travel Time		
TTD	Travel Time Difference		
TVLR	Technische Grenze der Verkehrslagerekonstruktion		
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System		
UNIETD	Understanding New and Improving Existing Traffic Data		
UZ	Unterzentral		
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage		
VeMAS	Verkehrsdatenmess- und auswertesystem (automatisches Referenzmesssystem für Verkehrsdaten)		
VLR	Verkehrslagerekonstruktion		

## 1 Einleitung

Für die verkehrsabhängige Steuerung von Lichtsignalanlagen (LSA) werden als Eingangsgrößen Verkehrsdaten (z. B. Anwesenheit, Belegung, Zählung) benötigt. Die Qualität der Verkehrsdaten hat somit entscheidenden Einfluss auf die Qualität einer verkehrsabhängigen LSA-Steuerung. Deshalb ist eine qualitativ hochwertige Verkehrsdatenerfassung durch geeignete Maßnahmen über den gesamten Lebenszyklus einer LSA zu gewährleisten. Dies beginnt bereits in der Planungs- und Bauphase durch die Auswahl geeigneter Detektionstechnologien und der optimalen Positionierung und Einrichtung der Detektoren.

Neben klassischen Induktionsschleifendetektoren werden zunehmend andere Detektionstechnologien (z. B. Video, Wärmebild, Radar, Magnetfeld) angeboten und eingesetzt. Bisher wurden technologie- und bauartbedingte Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten jedoch in Deutschland noch nicht hinreichend wissenschaftlich und herstellerunabhängig untersucht, weshalb noch keine konkreten Einsatzempfehlungen gegeben werden können.

Hauptziel dieses Forschungsvorhabens ist deshalb eine Zusammenstellung von Einsatzkriterien für verschiedene Detektortechnologien. Dies beinhaltet u. a. die Beantwortung folgender Fragen:

- Welche Detektortechnologien sind für spezifische Anwendung im LSA-Bereich geeignet?
- Welche Umfeld- und Randbedingungen (z. B. hinsichtlich Positionierung) beeinflussen die Qualität der Verkehrsdatenerfassung?
- Welche Detektortechnologien können einander vertreten?

Hierfür wurden im Rahmen des durchgeführten Feldtests marktübliche Detektoren untersucht. Diese wurden von den Herstellern Flir, Image Sensing Systems, Swarco und Sensys zur Verfügung gestellt.

Die Gliederung des vorliegenden Berichtes spiegelt die Vorgehensweise des Untersuchungsverlaufs wider und beginnt mit dem Stand der Wissenschaft und Technik. Dabei sind die am Markt zum Zeitpunkt der Untersuchung zur Verfügung stehenden Detektionstechnologien recherchiert und erörtert worden. Die Technologien wurden hinsichtlich des Messprinzips, der erfassbaren Kenngrößen, der

möglichen Anwendungsfälle, der Einflussgrößen auf die Qualität der Detektion sowie der Vor- und Nachteile betrachtet und in Kapitel 2 erläutert.

In Kapitel 3 wurde auf das Testverfahren und den Testumfang eingegangen. Dazu wurden die Bewertungsparameter und Prüfungen definiert. Die Qualitätsmerkmale wurden in Anlehnung an die allgemeinen Qualitätsmerkmale für Informationen nach WILTSCHEKO festgelegt. Dabei wurde zwischen referenzfreien und referenzierten Prüfungen unterschieden.

Das Testfeld ist in Kapitel 4 dargestellt. In diesem Kapitel wurde der Standort beschrieben und welche Technologien zum Einsatz kamen sowie deren Aufbau und Anordnung. Im weiteren Verlauf wurden die Anwendungsfälle und Untersuchungsbedingungen erläutert. Im nachfolgenden Kapitel wurde der Fokus auf die Durchführung des Feldtests gelegt. Es werden dabei die Erhebungszeiten genannt und aufgelistet sowie auf die Art und Interpretation der Detektordaten eingegangen. Zum Schluss wurde die Referenzdatenerhebung beschrieben.

Kapitel 6 widmet sich der Methodik zur Auswertung der Daten. Es wurden die referenzfreien und referenzierten Prüfungen erläutert sowie deren Logik und Ablauf in Schemata dargestellt. Anschließend werden in Kapitel 7 die Ergebnisse der Auswertung präsentiert. Im Fazit wird dann auf die Einsatzempfehlungen eingegangen, welche auf Grundlage der Ergebnisse abgeleitet wurden, sowie ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf gegeben.

## 2 Stand der Wissenschaft und Technik

### 2.1 Verkehrskenngrößen und Ereignisse allgemein

In diesem Abschnitt werden zunächst Verkehrskenngrößen und Ereignisse allgemein beschrieben, welche die Grundlage für verschiedene verkehrstechnische Anwendungen bilden. Der Vollständigkeit halber werden in diesem Zusammenhang Größen mit direktem, indirektem und ohne Bezug zur LSA beschrieben.

Durch verschiedene Detektionstechnologien (vgl. Kapitel 2.3) können unmittelbar an LSA lokale Verkehrskenngrößen und Ereignisse erfasst werden.

<b>Mikroskopisch</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwesenheit (Präsenz)</li> <li>• Geschwindigkeit Einzelfahrzeug</li> <li>• Fahrzeugabmessungen</li> <li>• Fahrzeugtyp/Klassifizierung</li> <li>• Kfz-Kennzeichen</li> </ul>
<b>Makroskopisch</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belegung</li> <li>• Verkehrsstärke</li> <li>• Zeitlücke</li> <li>• Wartezeit</li> <li>• gemittelte Geschwindigkeit</li> </ul>

Tab. 2-1: Wichtige lokale Verkehrskenngrößen

Der Erfassungsbereich kann je nach Detektionstechnologie und Anwendung variieren. Er befindet sich üblicherweise kurz vor der Haltelinie (i. d. R. 3 bis 5 m).

Die wichtigsten lokalen Verkehrskenngrößen werden in Tabelle 2-1 dargestellt. Dabei wird zwischen mikroskopischen und makroskopischen Verkehrskenngrößen unterscheiden. Mikroskopische Verkehrskenngrößen beziehen sich auf einzelne Fahrzeuge. Makroskopische Verkehrskenngrößen werden durch räumliche oder zeitliche Aggregation oder Mittelwertbildung aus mikroskopischen Verkehrskenngrößen ermittelt.

Aufgrund von wartenden Fahrzeugen ist die Detektion von lokalen Verkehrskenngrößen und Ereignissen direkt an LSA nicht für alle Anwendungen ausreichend. So wird z. B. das Vorhandensein oder die Länge von Rückstaus entweder über zusätzliche Detektoren mit lokalem Erfassungsbereich (wie z. B. Induktionsschleifen) in größerer Entfernung vor der LSA (i. d. R. 50 bis 100 m) oder Detektoren mit räumlichem Erfassungsbereich (wie z. B. Videodetektoren) erfasst.

Detektoren zur Erfassung der Verkehrsstärke und Geschwindigkeit (teilweise auch für verschiedene Fahrzeugklassen), z. B. als Grundlage für die räumliche Rekonstruktion der Verkehrslage, sollten außerhalb des Einfluss-/Rückstaubereichs von LSA positioniert werden.

Räumliche Verkehrskenngrößen sind z. B.:

- Verkehrsdichte,
- Rückstaulänge,
- Reisezeit,

- Abbiegerate/Verkehrsverteilung/  
Quelle-Ziel-Beziehung.

Zu deren Messung sind mindestens zwei aufeinanderfolgende lokale Messquerschnitte mit Detektoren erforderlich, die Fahrzeuge (wieder-)erkennen können (z. B. Kfz-Kennzeichen, Bluetooth-ID, Schleifenverstimmung). Zunehmend werden aber auch fahrzeuggenerierte Daten, s. g. Floating Car Data, für die Messung räumlicher Verkehrskenngrößen verwendet.

Ereignisse, die mit einigen Detektionstechnologien (z. B. Videodetektion) direkt (ohne Verkehrsmodell) lokal erfasst werden können, sind z. B.:

- Stehendes Fahrzeug,
- Langsames Fahrzeug,
- Stau,
- Falschfahrer,
- Objekte im Verkehrsraum (z. B. Personen, Tiere, verlorene Ladung),
- sonstige Gefahren (z. B. Sichteinschränkung/-trübung, Feuer, Rauch in Tunneln).

## 2.2 Anwendungen

### 2.2.1 Allgemeine Übersicht

Verkehrsdaten sind die Grundlage für die meisten verkehrstechnischen Anwendungen. Die Anwendungen lassen sich in kollektive und individuelle Anwendungen einteilen. Kollektive Anwendungen stehen allen Nutzern meist kostenlos zur Verfügung. Ihr primäres Ziel ist ein Systemoptimum, das heißt, ein maximaler volkswirtschaftlicher Nutzen. Kollektive Anwendungen sind z. B. Verkehrsbeeinflussungsanlagen, zu denen auch LSA zählen. Individuelle Anwendungen (Dienste) stellen einzelnen Nutzern häufig gegen Bezahlung auf sie zugeschnittene Informationen zur Verfügung. Ihr Ziel ist ein Optimum für den einzelnen Nutzer. Dies steht teilweise im Widerspruch zum Systemoptimum bzw. zu kollektiven Strategien (z. B. Vermeidung von Ausweichverkehren durch Wohngebiete). In letzter Zeit gibt es aber Bestrebungen, individuelle Anwendungen besser mit kollektiven Anwendungen abzustimmen. Individuelle Anwendungen sind z. B. aktuelle Reisezeitinformationen, die von Navigationssystemen zur Berechnung der zeitlich kürzesten (schnellsten) Route verwendet werden.

Des Weiteren können verkehrstechnische Anwendungen in folgende, teilweise aufeinander aufbauende Kategorien und Unterkategorien eingeteilt werden (kein Anspruch auf Vollständigkeit):

- Verkehrslagerekonstruktion und -prognose,
- Störungsdetektion,
- Verkehrsinformation:
  - Gefahrenwarnung:
    - verkehrsbedingte Gefahren,
    - witterungsbedingte Gefahren (z. B. Nebel, Glätte, Nässe),
    - sonstige Gefahren.
  - Verkehrslageinformation:
    - Level of Service,
    - Reisezeiten.
  - Baustelleninformation,
  - Parkinformation.
- Verkehrsbeeinflussung:
  - Knotenbeeinflussung:
    - LSA an Knotenpunkten,
    - Zuflussregelung an Zufahrten,
    - Variable Fahrstreifenzuteilung bei Verflechtung mehrspuriger Zufahrten.
  - Streckenbeeinflussung:
    - Gefahrenwarnung,
    - Verkehrsflussharmonisierung,
    - Temporäre Seitenstreifenfreigabe,
    - Variable Fahrstreifenzuteilung bei Richtungswechselbetrieb (z. B. Messe-schnellweg Hannover und 2. Strelasund-querung),
    - Fahrstreifenwechselbeeinflussung vor Engstellen.
  - Netzbeeinflussung:
    - Wechselwegweisung,
    - Dynamische Wegweisung mit integrierter Stauinformation (dWiSta).

Alle diese Anwendungen basieren auf den gleichen logischen Prozessen, die teilweise auch mehrfach hintereinander oder parallel ablaufen können:

1. Erfassung
2. Verarbeitung

### 3. Übertragung

### 4. Darstellung

Die Qualität der Datenerfassung hat somit entscheidenden Einfluss auf die Qualität der gesamten, darauf aufbauenden Anwendung bis hin zur letztendlichen Darstellung für den Endnutzer. Um eine hohe Qualität der Anwendung zu gewährleisten, ist aber auch die Qualität aller anderen Prozesse zu sichern. Dazu sind geeignete Werkzeuge (Qualitätskenngrößen und -verfahren zu deren Messung) erforderlich. Deren regelmäßige Anwendung ist durch ein organisatorisches Qualitätsmanagement (nach DIN EN ISO 9001) sicherzustellen, welches u. a. die Prozesse detaillierter beschreibt und Zuständigkeiten festlegt.

Die spezifische Beschreibung sämtlicher verkehrstechnischer Anwendungen und Prozesse würde hier zu weit führen. Deshalb wird im folgenden Abschnitt nur die Anwendung LSA-Steuerung an Knotenpunkten beschrieben, welche im Fokus dieses Forschungsprojektes steht.

#### 2.2.2 LSA-Steuerung

Die Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen wird vor allem von der Kapazität der Knotenpunkte und den dort auftretenden Verlustzeiten bestimmt. Der überwiegende Anteil der Knotenpunkte wird aus Gründen der Verkehrssicherheit und der erforderlichen Kapazität durch LSA gesteuert.

Die einfachste Art der LSA-Steuerung ist die Festzeitsteuerung. Das heißt, das Signalprogramm (Umlaufzeit, Phasen, Phasenfolge, Freigabe- und Sperrzeiten) ändert sich nicht.

Bei regelmäßigen zeitlichen Änderungen der Knotenstrombelastungen (z. B. Morgenspitze stadteinwärts und Abendspitze stadtauswärts) können verschiedene Festzeitsteuerungen (Signalprogramme) an festgelegten Tagen (z. B. an Werktagen, Sonn- und Feiertagen) und/oder Tageszeiten (z. B. morgens, abends, nachts) geschaltet werden.

Für den Betrieb von Festzeitsteuerungen werden keine Verkehrsdaten benötigt. Eine dynamische Auswahl von verschiedenen, im LSA-Steuergerät hinterlegten Festzeitsteuerungen (Signalprogrammen) anhand von Verkehrsdaten (z. B. Knotenstrombelastungen oder Rückstaulängen) ist jedoch möglich. Dabei sind ggf. verlängerte Sperrzei-

ten bei Signalprogrammumschaltung zu berücksichtigen, die zu längeren Wartezeiten und einer temporären Reduktion der Leistungsfähigkeit des Knotenpunktes führen. Die für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten und die Planung von Festzeitsteuerungen erforderlichen Verkehrsdaten (i. d. R. Knotenstrombelastungen und Rückstaulängen) werden meist manuell durch Verkehrsbeobachtungen/-zählungen vor Ort ermittelt.

Die einfachste Art der verkehrsabhängigen LSA-Steuerung und häufigste Anwendung von Verkehrsdaten an signalisierten Knotenpunkten ist die Freigabezeit-Anforderung. Dabei werden schwach belastete Knotenströme nur dann freigegeben, wenn dort ein Fahrzeug bzw. Verkehrsteilnehmer (Fußgänger oder Radfahrer) anwesend ist. Das heißt, es genügt die Erfassung der Anwesenheit durch Detektoren oder Taster.

Die nächste Stufe der verkehrsabhängigen LSA-Steuerung ist die Variation der Freigabezeitanteile (Freigabe- und Sperrzeiten) für die verschiedenen Knotenströme bei gleichbleibender Umlaufzeit und Phasenfolge. Dazu werden als Eingangsdaten Knotenstrombelastungen, Rückstaulängen oder Wartezeiten benötigt.

Bei noch komplexeren verkehrsabhängigen LSA-Steuerungen (z. B. knotenpunktübergreifenden Netzsteuerungen und dynamischen LSA-Koordinierungen) können zusätzlich der Beginn/das Ende der einzelnen Umläufe oder Phasen, die Umlaufzeit und die Phasenfolge dynamisch angepasst werden. Dies erfordert i. d. R. eine räumliche Rekonstruktion der Verkehrslage anhand von Verkehrsmodellen (z. B. Cell Transmission Modell). Als Eingangsdaten werden i. d. R. lokale Verkehrskenngrößen wie z. B. Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten verwendet. Zumindest letztere sollten außerhalb des Rückstaubereichs von LSA (z. B. im Abfluss) gemessen werden. Zunehmend wird aber auch die Verwendung von fahrzeuggenerierten Daten, s. g. Floating Car Data, zur Verkehrslagerekonstruktion, verkehrsabhängigen LSA-Steuerung, Bewertung der Qualität von LSA-Steuerungen und Grünen Wellen sowie Rekonstruktionen von Signalprogrammen untersucht.

Neben den bereits angesprochenen Grünen Wellen erhöht auch die dynamische Bevorrechtigung/Priorisierung von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs (ÖV) durch Einschleichen, Vorziehen oder Halten entsprechender Phasen die Komplexität von LSA-Steuerungen.

## 2.3 Überblick von Detektionstechnologien mit Bezug zur LSA

In den folgenden Abschnitten werden für die wesentlichen Detektionstechnologien, die derzeit am Markt für den Einsatz an signalisierten Knotenpunkten verfügbar sind, das Messprinzip, Einflussgrößen auf die Qualität der Datenerfassung sowie Vor- und Nachteile zusammenfassend dargestellt. Im Folgenden wird der Stand der Wissenschaft und Technik zum Zeitpunkt des Projektbeginns (2015) beschrieben.

### 2.3.1 Induktionsschleifendetektoren

#### Funktionsweise und Messprinzip

Induktionsschleifendetektoren arbeiten nach dem Messprinzip, dass im Boden verlegte Drahtschleifen mit vordefinierter Abmessung durch Strom ein Magnetfeld erzeugen, welches bei Überfahrt eines metallischen Fahrzeuges gestört wird (vgl. Bild 2-1).

Je nach Fahrzeug kommt es zu einer charakteristischen Induktivitätsänderung, anhand derer jedes Fahrzeug kategorisiert werden kann (BÜTLER et al., 2010). Die Frequenzänderungen werden durch den Schleifendetektor ausgewertet und als Schaltsignal über Relaiskontakte ausgegeben. Die hochpräzise Auswertung der Schleifensignale erfolgt durch einen Mikrocontroller (LEHNHOFF, 2005).

#### Installation

Die Installation von Induktionsschleifen erfolgt in der Regel durch Einfräsen der Drahtschleifen in die Fahrbahn mit anschließender Versiegelung der Nut. Diese sind somit fest in dem Straßenbelag verbaut. Wartungen können daher aufwendig und gegebenenfalls mit hohen Kosten verbunden werden, die Anschaffungskosten hingegen fallen vergleichsweise gering aus (BÜTLER et al., 2010).

#### Erfassungsgebiet und Positionierung

Um möglichst viele verschiedene Situationen in einem Erfassungsgebiet aufnehmen zu können, bietet sich eine unterschiedliche Anordnung der Schleifen an. Hierbei kann in Stauschleifen, Voranmeldeschleifen, Präsenzscheifen, Anmeldeschleifen und Rotfahrschleifen unterteilt werden. Zudem ist eine richtungsabhängige Erfassung der Fahrzeuge mittels Doppelschleifen möglich. Um Fahrzeuge mit

einer erhöhten Priorität frühzeitig erkennen zu können, werden Voranmeldeschleifen in einem Abstand von etwa 120 m vor der Haltelinie installiert. Bild 2-2 zeigt eine mögliche Anordnung und Verwendung von Induktionsschleifen im Erfassungsbereich einer LSA (BÜTLER et al., 2010), wobei darauf zu achten ist, dass in diesem Bild keine üblichen Furtmarkierungen verwendet wurden, sondern die Fußgänger-Überwege durch Zebrastreifen gekennzeichnet sind.

Bei der Erfassung von Verkehrsdaten mit Induktionsschleifendetektoren muss zwischen Einzelschleifen- und Doppelinduktionsschleifendetektoren unterschieden werden.

Einzelschleifen werden überwiegend dazu benutzt, spezielle Funktionen wie Anforderung, Belegung oder Zeitlücken zu messen, wohingegen Doppelinduktionsschleifen ein breiteres Spektrum lokaler Ereignisse abdecken und Einzelfahrzeugdaten aufnehmen, wie Zeitlücken, Anforderung/Abmeldung, Belegung, Geschwindigkeit, Länge, Fahrtrichtung, Rotfahrer und Fahrzeugklasse (LISTL, 2003). Jedes erfassbare Fahrzeug muss jedoch über metallische Bauteile verfügen, die zur Störung des Magnetfeldes führen können. Priorisierte Fahrzeuge sind zusätzlich mit einem Sender ausgestattet, welcher ein verschlüsseltes Signal an die entsprechende Induktionsschleife

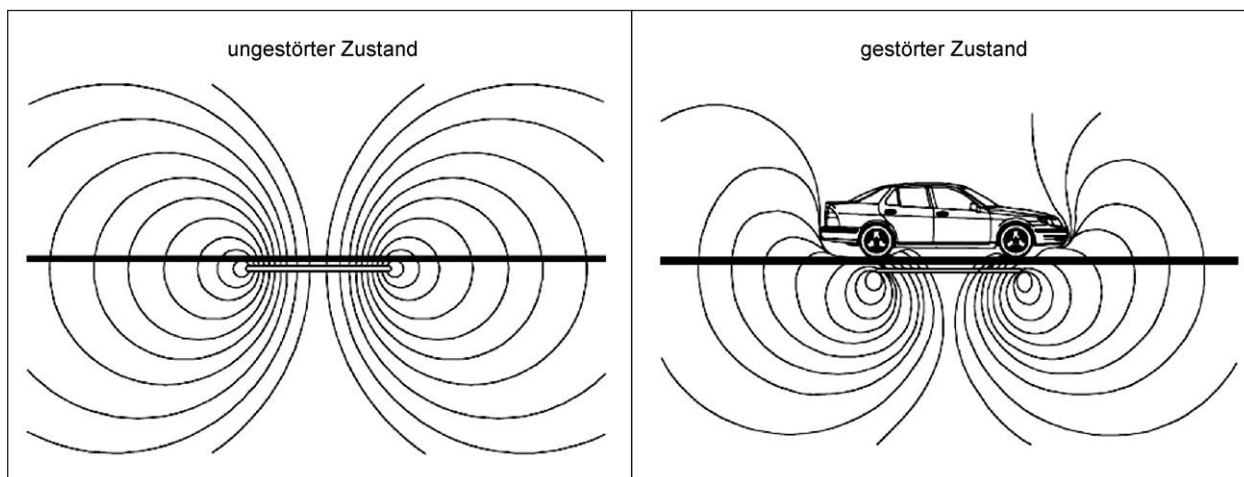


Bild 2-1: Funktionsweise von Induktionsschleifendetektoren (LEHNHOFF, 2005)

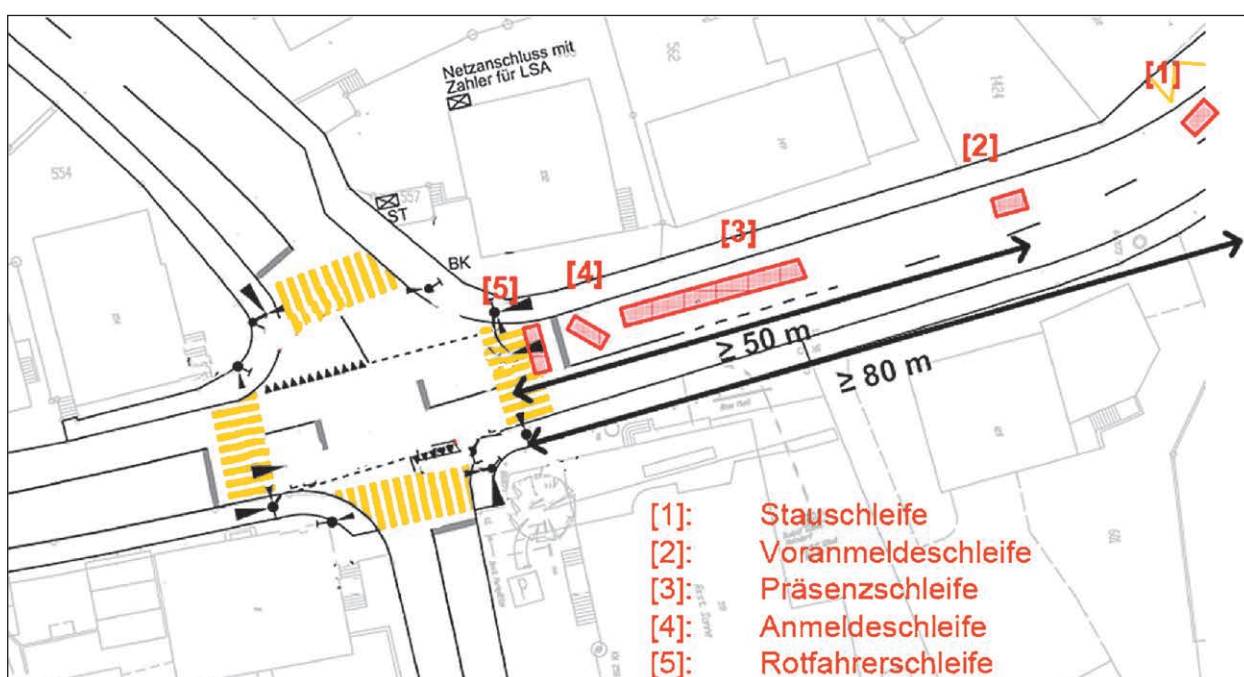


Bild 2-2: Mögliche Anordnung von Induktionsschleifen an einer LSA (BÜTLER et al., 2010)



und somit an die Steuereinheit sendet. Induktionsschleifendetektoren eignen sich zudem auch zur Anwesenheitsdetektion für stehende Fahrzeuge und zur Verkehrszählung (BÜTLER et al., 2010).

Es lässt sich weiterhin eine Unterscheidung zwischen innerörtlichen und außerörtlichen Einsatzbereichen vornehmen. Während innerorts (LSA, Parkieranlagen) in der Regel Einfachinduktionsschleifen verwendet werden, kommt es außerorts hauptsächlich zur Verwendung von Doppelschleifen (LISTL, 2003).

### Qualität und Einflussfaktoren

Die Qualität der detektierten Messdaten wird bei Induktionsschleifendetektoren durch den angelegten Spannungsversorgungsbereich und den Induktivitätsbereich der verbauten Bauteile beeinflusst. Außerdem muss die Zusammensetzung des Bodens und des Fahrbahnbelags berücksichtigt werden. Weiterhin steigt die Empfindlichkeit der Induktionsschleifen mit der Anzahl der verbauten Windungen, weshalb je nach Anwendungszweck die optimale Anzahl gewählt werden muss. Im Allgemeinen wird in lage- und formbedingte, zeitliche, räumliche sowie umfeldbedingte Messfehler unterschieden, wobei bis auf die lage- und formbedingten Messfehler die weiteren beschriebenen Fehler vor Inbetriebnahme durch eine abgestimmte Kalibrierung der Detektoren ausgeschlossen werden können (LISTL, 2003).

### Vor- und Nachteile

Vorteile von Induktionsschleifendetektoren sind, dass Änderungen der Schleifeninduktivität durch Temperatur oder Feuchtigkeit automatisch von den Detektoren kompensiert werden, sowie die geringe Anfälligkeit der Detektoren gegenüber äußeren Einflüssen (Witterung, Vandalismus). Weitere Vorteile sind, dass eine auf die jeweilige Messsituation und auf den jeweiligen Anwendungsfall bezogene individuelle Vorbelegung und Einstellung der Bedienelemente und Funktionen sowie eine fahrspur- und detektionszonenbezogene Erfassung der Fahrzeuge möglich ist. Induktionsschleifendetektoren eignen sich sowohl zur Erfassung von ruhendem und stehendem Verkehr als auch zur richtungsabhängigen Detektion. Durch den langjährigen, erfolgreichen Einsatz in der Praxis handelt es sich bei dieser Methode um die bewährteste und am häufigsten verbreitete Erfassungstechnik (LEHNHOFF, 2005).

Weiterhin werden mit dieser Technologie nur metallische Bauteile erfasst, was beispielsweise Fehlmeldungen durch Fußgänger minimiert. (BÜTLER et al., 2010).

Die Nachteile von Induktionsschleifendetektoren bestehen darin, dass die Leiterschleifen nur durch aufwendige bauliche Maßnahmen und mit den damit verbundenen hohen Beanspruchungen und Beschädigungen in die Fahrbahn eingebracht werden. Außerdem sind auch für die Instandhaltung und Montage Sperrungen notwendig und eine flächendeckende Verkehrsdatenerfassung ist nicht möglich. Bei der Erfassung von Fahrzeugen mit Kunststoffkarosserie oder Lkw mit hoher Bodenfreiheit, kann es zu Ungenauigkeiten kommen, ebenso durch Starkstromleitungen, die das Magnetfeld stören (BÜTLER et al., 2010).

## 2.3.2 Videodetektoren

### Funktionsweise und Messprinzip

Das Messprinzip von Videodetektoren basiert i. d. R. auf der Bildauswertung mittels verschiedener Verfahren: Entweder auf der Erkennung von Veränderungen in bestimmten Bereichen (virtuellen Schleifen) des mittels einer Kamera erfassten Videobildes gegenüber einem Referenzbild durch Bildung eines Differenzbildes (Tripwire-Verfahren) oder der Erkennung (Segmentierung) und Verfolgung von Merkmalen/Objekten wie z. B. Fahrzeugen (Tracking-Verfahren) (FRIEDRICH et al., 2004).

Die „virtuellen Schleifen“ (Marken/Detektionszonen) auf dem Bildschirm des Videobildes erfassen die Belegung oder Durchfahrtszeiten der einzelnen Fahrzeuge anhand einer Belegungsabfrage der festgesetzten Zonen (BÜTLER et al., 2010).

Unabhängig von der Fahrtrichtung können auf einem Bild mehrere Detektionszonen eingerichtet werden. Beide Verfahren nutzen die Analyse der Grauwertänderung von Bildpixeln, z. B. bei der Einfahrt eines Fahrzeuges in die Detektionszone (LEITZKE, 2012). Weitere Verfahren der Videodetektion sind die Hintergrundsubtraktion (Erkennung von Vordergrundobjekten in Videodaten), der optische Fluss als Vektorfeld der Verschiebung von Punkten oder die Stereoskopie.

### Installation

Die Installation von Videodetektion erfolgt durch Anbringung der Detektoren (Kameras) über der Fahr-

bahn. Dies kann beispielsweise an den Masten der Lichtsignalanlage geschehen. Dabei spielen Höhe und Ausrichtung der Kamera eine wichtige Rolle. Ebenfalls ein Vorteil dieser Technologie besteht darin, dass Straßenarbeiten keinen Einfluss auf die Videosysteme haben (BÜTLER et al., 2010).

### Erfassungsgebiet und Positionierung

Für die Erfassung von Verkehrsdaten sind statische Kameras in der Regel möglichst hoch und mittig mit ca. 45° Blickwinkel über den zu erfassenden Fahrstreifen zu montieren, um gegenseitige Verdeckungen der Fahrzeuge zu vermeiden und Lücken zwischen den Fahrzeugen erkennen zu können (FRIEDRICH et al., 2004). Mit einem Videogerät ist die Erfassung mehrerer Fahrstreifen sowie die Unterscheidung von bis zu acht verschiedenen virtuellen Erfassungsgebieten möglich (BÜTLER et al., 2010).

Mit Videosystemen kann eine Erfassungsreichweite von bis zu 75 m erzielt werden, allerdings liegt eine optimale Erfassung aufgrund witterungsbedingter Einflüsse im Normalfall bei etwa 25 m (BÜTLER et al., 2010).

### Erfassbare Verkehrsdaten und Einsatzbereich

Fahrzeuge werden bei der Videodetektion richtungsunabhängig erfasst und auch stehende Fahrzeuge werden detektiert. Durch die Grauwertanalyse der Pixel ist eine Zuordnung von Fahrzeugklassen möglich und zudem können Fußgänger berücksichtigt werden. Weitere erfassbare Verkehrsdaten sind die Fahrzeugzählung, Geschwindigkeiten, Rückstaulängen sowie Zeitlücken zwischen Fahrzeugen (BÜTLER et al., 2010).

Hauptsächlich dienen Videodetektoren zur Erfassung und Verifizierung aller vorkommenden Ereignisse im jeweiligen Erfassungsgebiet.

### Qualität und Einflussfaktoren

Entscheidend für die Qualität der Videodetektion ist neben der Qualität des Videobildes die für den Anwendungsfall (Verkehrsbeobachtung/CCTV, Ereignisdetektion, Verkehrsdatenerfassung) spezifische Auswahl und Positionierung/Ausrichtung der Kameras. So ist z. B. eine dynamische (schwenk-, neig- und zoombare) Kamera am Fahrbahnrand für die visuelle Verkehrsbeobachtung, nicht jedoch für die Erfassung von Verkehrsdaten geeignet.

Beeinflusst wird die Qualität des Videobildes hauptsächlich durch witterungsbedingte Einflüsse (Nebel, Schnee, Regen oder außergewöhnliche Lichtverhältnisse wie Nacht oder direkte Sonneneinstrahlung) (BÜTLER et al., 2010).

### Vor- und Nachteile

Der größte Vorteil der Videodetektion ist, dass erfasste Verkehrsdaten und Ereignisse anhand des Videobildes visuell verifiziert werden können. Durch die Abdeckung mehrerer Fahrstreifen entstehen Kostenvorteile und der Installationsaufwand ist gering. Da Videosysteme über dem Belag installiert werden und nicht fest verbaut sind, erreicht man zudem eine hohe Flexibilität bei geänderten Fahrstreifen (BÜTLER et al., 2010). Durch die Einrichtung der Videodetektoren über der Fahrbahn muss jedoch darauf geachtet werden, dass das Sichtfeld der Detektoren durch hohe Fahrzeuge (z. B. Lkw) nicht zu stark eingeschränkt wird. Gegebenenfalls muss bei der Planung überprüft werden, ob eine ausreichende Höhe der Kamera über Fahrbahnoberkante gegeben ist (vgl. Bild 2-3).

Ein Nachteil der Videodetektion ist, dass sie auf die Sichtbarkeit der zu detektierenden Objekte angewiesen ist (witterungs- und lichtabhängig). Das heißt, wenn das Bild nicht die nötige Qualität aufweist, so kann eine Detektion nicht sichergestellt werden. Es werden jedoch zunehmend neue Kamerasysteme, wie z. B. Wärmebildkameras (unabhängig von Lichtverhältnissen) oder Stereokameras (Unterscheidung zwischen zwei- und dreidimensionalen Objekten) eingesetzt.

Auch sind die Kameras nicht vor äußeren Einflüssen wie Vandalismus oder Vibrationen geschützt (Verschiebung der Einstellungen).

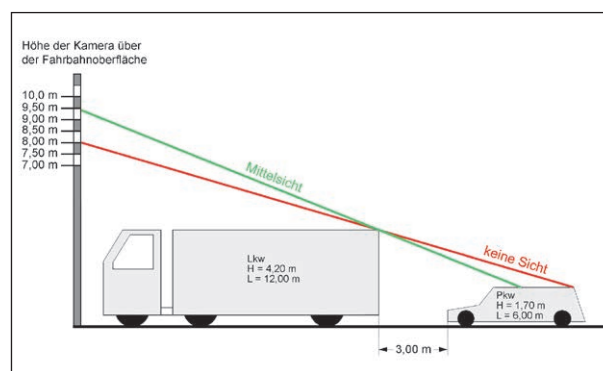


Bild 2-3: Beispiel zur grafischen Ermittlung der nötigen Kamerahöhe an LSA

Ein weiteres (rechtliches) Problem bei der Videodetektion ist der Datenschutz. Da es hier bisher keine einheitlichen Regelungen gibt, wird empfohlen, den jeweils zuständigen (Landes-)Datenschutzbeauftragten so früh wie möglich (bereits vor/bei der Planung von Videodetektion) zu involvieren.

### 2.3.3 Radardetektoren

#### Funktionsweise und Messprinzip

Radardetektoren basieren auf der Objekterkennung per Mikrowelle und arbeiten üblicherweise mit einer Frequenz von 24,125 GHz. Der Mikrowellenbereich erstreckt sich von 1 bis 100 GHz, wobei der in der Praxis nutzbare Bereich durch die Regulierungsbehörden eingeschränkt wird. Für die Fahrzeugdetektion im Straßenverkehr werden aktive Radarsysteme eingesetzt, die – im Gegensatz zu passiven Systemen – die Mikrowellen selbst erzeugen. Die Erfassung von Fahrzeugen mithilfe dieser Detektoren erfolgt unter Nutzung des Dopplereffekts, d. h. der Frequenzänderung einer elektromagnetischen Welle durch die Relativbewegung von Sender und reflektierendem Fahrzeug zueinander. Die Sende- und Empfangsantennen eines solchen Detektors sind ortsfest installiert. Die vom Sender ausgesendeten Wellen werden von einem vorbeifahrenden Fahrzeug reflektiert und von der Empfangsantenne des Detektors empfangen. Durch die Bewegung des Fahrzeugs kommt es zu einer Frequenzänderung, die proportional zur Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist und gemessen werden kann (LEITZKE, 2012). Bild 2-4 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Messprinzips von Radardetektoren.

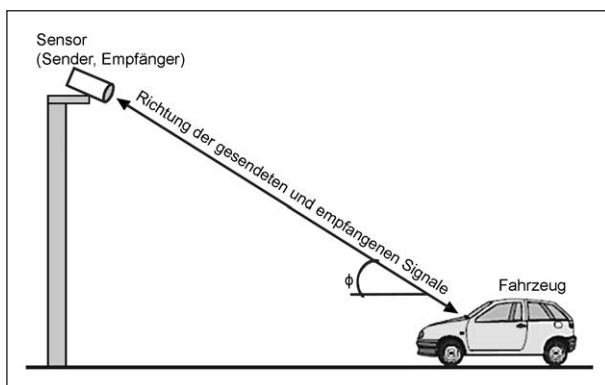


Bild 2-4: Vereinfachte Darstellung der Geschwindigkeitsmessung mit Radarsensor (LISTL, 2003)

#### Installation

Die Installation von Radarsensoren gestaltet sich relativ einfach, durch die Anbringung der Detektoren an Masten oder ähnlichen Befestigungseinrichtungen. Dadurch ist der Wartungsaufwand gering.

#### Erfassungsgebiet und Positionierung

Die Installation der Radarscanner erfolgt überkopf an den Signalmasten. Je höher die Montagehöhe, desto größer ist das Erfassungsgebiet (bis zu 60 m) (BÜTLER et al., 2010).

#### Erfassbare Verkehrsdaten und Einsatzbereich

Da die Radardetektoren Fahrzeuge infolge ihrer Relativgeschwindigkeit zum Detektor erkennen, ist lediglich eine richtungsabhängige Detektion von Objekten mit einer Geschwindigkeit von  $v > 0$  möglich. Durch den Einsatz von FMCW-Detektoren (Frequency Modulated Continuous Waves) können auch stehende Objekte detektiert werden. Dabei wird die Frequenz der Radarwelle durch eine Frequenzmodulation geändert (LISTL, 2003).

Mit herkömmlichen Radardetektoren lassen sich unterschiedliche Kenngrößen erfassen. Detektoren, die nach dem Dopplerprinzip arbeiten, erfassen Verkehrsstärken, Geschwindigkeiten, Zeitlücken und Fahrzeugklassen. Eine Anmeldung von Zweirädern und Fahrzeugen sowie eine (durch die erhobenen Verkehrsdaten) Variation der Freigabezeit ist ebenfalls möglich (BÜTLER et al., 2010).

#### Qualität und Einflussfaktoren

Die Qualität der Messdaten wird bei Radardetektoren hauptsächlich über die Reichweite und den erfassbaren Abstrahlwinkel beeinflusst. Bei Geschwindigkeitsmessungen können hohe Genauigkeiten erzielt werden (BÜTLER et al., 2010). Lage- und formbedingte Messfehler können durch eine falsche Ausrichtung, Verdeckung oder durch Spurwechsel entstehen (LISTL, 2003).

#### Vor- und Nachteile

Die wesentlichen Vorteile der Radardetektoren liegen darin, dass es sich um sehr ausgereifte und erprobte Systeme handelt, die eine große Reichweite des Erfassungsbereichs liefern und eine Richtungs-

erkennung ermöglichen. Zudem ist neben einer genauen Geschwindigkeitsmessung auch mit zusätzlicher Detektionslogik (winkelauflösende- oder FMCW-Technik) eine Verwendung für stehende Fahrzeuge möglich. Die geringen Installations- und Wartungsaufwendungen ermöglichen zudem hohe Flexibilität bei Änderung der Fahrstreifen sowie einen mobilen Einsatz (BÜTLER et al., 2010).

Wird ausschließlich die preisgünstige Doppler-Technologie verwendet, besteht der Nachteil, dass nur bewegte Objekte erfasst werden können. Außerdem kann es allgemein bei Radardetektoren zu Problemen bei schräger Ausrichtung und dichtem Verkehr kommen sowie zu Störungen durch Reflexionen, schlechte Witterung oder Radarschatten. Fehlanmeldungen sind durch Fußgänger möglich (BÜTLER et al., 2010).

#### 2.3.4 Ultraschalldetektoren

##### Funktionsweise und Messprinzip

Ultraschalldetektoren bestehen ähnlich den Radardetektoren aus einer Sende- und Empfangseinheit und arbeiten mit Schallwellen im Frequenzbereich von 15 bis 40 kHz. Bei dieser Detektorart existieren zwei Messprinzipien. Zum einen gibt es die Messung der Laufzeit über das Ausstrahlen gepulster Wellenblöcke, die von einem Fahrzeug reflektiert werden. Die so gemessene Laufzeit wird mit dem Zeitwert verglichen, den die Welle zwischen Sender und Straße benötigt. Eine Fahrzeugdetektion ergibt sich hier aus der Differenz dieses Referenzwertes mit dem gemessenen Wert.

Beim zweiten Prinzip kommt der Dopplereffekt, also die Messung einer Frequenzänderung infolge einer Fahrzeugbewegung, zur Anwendung. Mithilfe dieser Messung kann die Geschwindigkeit des vorbeifahrenden Objektes bestimmt werden (LEITZKE, 2012). Da dieses Messprinzip, dem von Radardetektoren ähnelt, wird an dieser Stelle auf Bild 2-4 verwiesen.

##### Erfassbare Verkehrsdaten und Einsatzbereich

Ultraschalldetektoren eignen sich zur Erfassung von Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten. Eine Klassifizierung in Fahrzeugtypen ist nur bedingt möglich. Über die Messung der Laufzeit kann die Fahrzeughöhe mit einer gewissen Genauigkeit er-

mittelt werden, sodass dadurch eine Unterscheidung von Pkw und Lkw möglich ist (LEITZKE, 2012).

Im Ausland werden Ultraschalldetektoren häufig zur Anwesenheitsdetektion in der Lichtsignalsteuerung eingesetzt. Ein Beispiel ist der „Hanshin Expressway“ in Japan. Hier kommen im Abstand von 500 m installierte Ultraschallsensoren zur kontinuierlichen und flächendeckenden Erfassung von Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten zum Einsatz (LISTL, 2003).

##### Qualität und Einflussfaktoren

Wesentliche Einflussgrößen auf die Qualität der Messergebnisse sind die Lichteinstrahlung und die Abhängigkeit von der Witterung, da diese Einflüsse zu Störungen führen können.

##### Vor- und Nachteile

Vorteile ergeben sich bei Ultraschalldetektoren durch die Möglichkeit der Anwesenheitsdetektion von stehenden Fahrzeugen und der Messung von Höhenprofilen. Allerdings können sich Abschattungsprobleme bei schräger Ausrichtung und dichtem Verkehr nachteilig auf die Messergebnisse auswirken. Zu beachten ist außerdem, dass bei dieser Detektorart keine Geschwindigkeitsmessung erfolgt (BÜTLER et al., 2010).

#### 2.3.5 Wärmebild-/Infrarotdetektoren

##### Funktionsweise und Messprinzip

Wärmebilddetektoren unterteilen sich in zwei Untergruppen, die Passiv- und die Aktivinfrarotdetektoren. Passive Infrarotdetektoren arbeiten nach dem Prinzip der kontaktlosen Temperaturmessung und reagieren auf Wärmestrahlung, erzeugen aber selbst keine Strahlung (BÜTLER et al., 2010). Im Wahrnehmungsbereich von Infrarotdetektoren treten grundsätzlich verschiedene Strahlungsquellen auf. Dabei gibt es die Strahlung, die von den Objekten im Wahrnehmungsbereich des Detektors (Fahrzeuge, Körperwärme oder Straßenoberfläche) aktiv ausgesendet wird und Strahlung, die von der Sonne bzw. der Atmosphäre ausgesendet und von den Objekten (Fahrzeuge, Straßenoberfläche) reflektiert wird (LEITZKE, 2012). Das Messprinzip eines Infrarotdetektors ist in Bild 2-5 verdeutlicht.

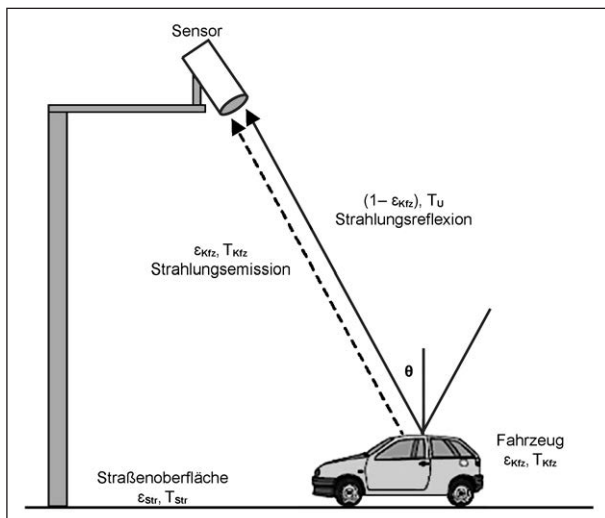


Bild 2-5: Wärmestrahlung im Wahrnehmungsbereich eines Infrarotsensors (LISTL, 2003)

Passivinfrarotdetektoren bestehen aus einem oder mehreren Sensoren mit einer optischen Einheit zum Empfang und zur Umwandlung von Wärmestrahlung in elektrische Signale sowie einer Einheit zur Auswertung der elektrischen Signale. Durch die Temperaturdifferenz zwischen der Eigentemperatur des Sensors und der einfallenden Strahlung erfolgt im Sensor eine Ladungsverschiebung, die eine Spannungsänderung erzeugt. Infolgedessen kommt es zu einer Überschreitung des definierten Schwellwertes der Sensorausgangsspannung und somit zu einer Meldung (LISTL, 2003). Eine andere Messmöglichkeit besteht darin, dass die Temperaturdifferenz zwischen Fahrbahn- und Objekttemperatur ermittelt wird und die Verkehrsteilnehmer aufgrund ihres positiven oder negativen Temperaturunterschiedes gegenüber der Fahrbahn erkannt werden (BÜTLER et al., 2010).

Aktive Infrarotdetektoren basieren auf dem Prinzip der Laufzeitmessung. Dazu werden gepulste Infrarotwellen im Bereich um 850 nm ausgesendet. Während der Laserstrahl über den Detektionsbereich pendelt, wird die Fahrzeughöhe aus den einzelnen Messungen der Entfernung vom Sensor zum Fahrzeug ermittelt. Anhand der gemessenen Fahrzeughöhe lässt sich ein ungefähres Fahrzeugprofil abbilden und mit Musterprofilen vergleichen, wodurch eine Fahrzeugklassifizierung möglich ist. Zu dieser Detektorklasse gehören beispielsweise auch Laserscanner (LEITZKE, 2012).

### Installation

Infrarotsysteme sind schnell montiert und eignen sich daher für einen kurzfristigen mobilen Messein-

satz (LISTL, 2003). Das Wartungsintervall ist einmal jährlich (BÜTLER et al., 2010).

### Erfassungsgebiet und Positionierung

Ein Infrarotdetektor weist eine Reichweite von bis zu 100 m auf, welche allerdings von der Ausrichtung und Montagehöhe des Sensors an dem Signalmast bzw. der LSA und der verwendeten Technologie abhängig ist. In der Regel ist das Erfassungsgebiet kegelförmig und es kann nur ein Fahrstreifen pro Infrarotsensor erfasst werden (BÜTLER et al., 2010).

### Erfassbare Verkehrsdaten und Einsatzbereich

Mit Infrarotdetektoren lassen sich grundsätzlich alle lokalen Kenngrößen wie die Verkehrsstärke, die Geschwindigkeit, die Zeitlücke und die Belegung erfassen. Eine Klassifizierung der Fahrzeugtypen erfolgt bei den Passivinfrarotdetektoren über die Belegungszeit in Verbindung mit der gemessenen Geschwindigkeit und der daraus abgeleiteten Fahrzeuglänge oder des daraus abgeleiteten Fahrzeugprofils (LISTL, 2003). Weiterhin sind eine Dimensionierung der Freigabezeit sowie eine Anmeldung von Fußgängern und Fahrzeugen möglich (BÜTLER et al., 2010).

### Qualität und Einflussfaktoren

Beeinflusst werden Infrarotdetektoren vor allem durch Witterungsbedingungen und die sich dadurch ändernde Umgebungsstrahlung. Bei hoher Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und Sonnenlicht steigt diese an, wodurch sich die Wärmestrahlungsdifferenz verringert. Das kann zu Fehl- oder Nichtdetektionen von Fahrzeugen führen. Weiterhin kann es durch die Verdeckung von Objekten zu Messfehlern kommen (LISTL, 2003).

### Vor- und Nachteile

Infrarotdetektoren sind für kurzfristige Anwesenheitsdetektion von stehenden Fahrzeugen und eine automatische Freigabezeit-Verlängerung bei Fußgängerüberquerungen günstig (BÜTLER et al., 2010). Ein geringer Montage- und Wartungsaufwand und die damit verbundene einfache Ausrichtung bei Fahrstreifenänderung sind weitere Vorteile. Infrarotdetektoren sind gegenüber Witterungseinflüssen robust, allerdings kann es trotzdem zu Messfehlern kommen. Bei geringen Temperaturdif-

ferenzen wird die Messgenauigkeit negativ beeinflusst und es kann ebenfalls zu Abschattungsproblemen bei schräger Ausrichtung und dichtem Verkehr kommen (LISTL, 2003).

### 2.3.6 Magnetfelddetektoren

#### Funktionsweise und Messprinzip

Bei Magnetfelddetektoren werden Fahrzeuge durch die Störung eines vorgegebenen Magnetfeldes erfasst, sodass das Vorhandensein und die Bewegung eines Fahrzeuges ermittelbar sind. Das Messprinzip beruht auf der Messung der magnetischen Flussdichte. Hierfür stehen zwei Messverfahren zur Verfügung: Bei Magnet-Wechselfeld-Detektoren wird die Veränderung eines magnetischen Wechselfeldes durch die Metallteile eines Fahrzeuges oder die Übertragung von Informationen durch ein vom Fahrzeug selbst erzeugtes Wechselfeld hervorgerufen, während bei einem Magnet-Gleichfeld-Detektor die Veränderung durch die Metallmasse eines Fahrzeuges erzeugt wird (KLEIN et al., 2006).

#### Installation

Magnetsensoren werden erfahrungsgemäß mittels eines Kernbohrers im Asphalt eingelassen. Dabei wird ein Loch mit ca. 7 cm Tiefe gebohrt und der Sensor installiert. Der Vorteil dabei ist, dass nur eine kurzzeitige Straßensperrung stattfinden muss. Der Detektor überträgt dann die Daten in Echtzeit per Funk an einen Zugangspunkt.

#### Erfassungsgebiet und Positionierung

Das Erfassungsgebiet ist als ein Ellipsoid um den Magnetfeldsensor angeordnet, wobei der Radius frei wählbar bzw. stufenweise wählbar ist (bis 3 m) und die Anbringung sowohl am Boden, als auch überkopf erfolgen kann (BÜTLER et al., 2010).

#### Erfassbare Verkehrsdaten und Einsatzbereich

Mit Magnetfelddetektoren kann die Belegzeit bzw. die Zeitlücke von aufeinanderfolgenden Fahrzeugen gemessen werden. Es können alle Fahrzeugklassen erfasst werden, welche ferromagnetische Bauteile aufweisen. Teilweise ist auch eine Klassifizierung möglich. Als verfügbare Daten können hier die Fahrzeugzählung, Freigabezeitanforderung so-

wie die Geschwindigkeitsmessung genannt werden. Magnetfelddetektoren zeichnen sich besonders durch ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten aus, da sie je nach Ausführung über, unter, in oder neben der Fahrbahn montiert werden können. Fließender und ruhender Verkehr können gleichermaßen erfasst werden.

#### Qualität und Einflussfaktoren

Die Qualität der Messdaten kann je nach Einbaustandort eventuell durch Störfelder von Stromleitungen oder Straßenbahnen beeinflusst werden, was zu Fehlern bei der Messung führen kann (LISTL, 2003). Zusätzlich kann es zu Fehlalarmen durch ferromagnetische Materialien kommen, die fälschlicherweise als Fahrzeuge detektiert werden.

#### Vor- und Nachteile

Ein großer Vorteil der Magnetfeldsensoren liegt in der hohen Lebensdauer und dem geringen Wartungsaufwand. Auch bei Bautätigkeiten sind sie voll funktionsfähig und witterungsbedingte Einflüsse wirken sich nicht auf die Messungen aus (LISTL, 2003). Bei Magnetfelddetektoren ist es jedoch nicht möglich einen genau differenzierten Detektionsbereich auszuweisen. Eine Detektion von Fahrzeugen ohne ferromagnetische Materialien ist nicht möglich. Ein Nachteil kann die ungünstige Geometrie des Erfassungsbereiches (kugelförmig) für eine längliche Erfassung sein und dass ein großer Radius des Magnetfeldes zu Fehlerfassungen durch Fahrzeuge auf der Gegenfahrbahn führen kann.

### 2.3.7 Kombinationsdetektoren

Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Verkehrsdatenerfassung sowie zur Verringerung des Installations- und Wartungsaufwandes für den Bereich stationärer Detektoren können Kombinationen der einzelnen Erfassungstechnologien verwendet werden. Dabei können die erfassten Daten und Signale unterschiedlicher Detektor-typen ausgewertet, abgeglichen, kombiniert/fusioniert und so Kenngrößen ermittelt werden (LEITZKE, 2012). Außerdem ermöglicht eine Kombination der unterschiedlichen physikalischen Technologien die Korrektur der Schwächen einzelner Technologien über Plausibilitätsanalysen und ist gegen Teilausfälle einer Technologie gesichert. Eine mögliche Kombination ist beispielsweise die Verbindung von

Radardetektoren zur Geschwindigkeitsmessung mit Ultraschalldetektoren zur Ermittlung eines Fahrzeughöhenprofils und einem Passivinfrarotdetektor zur Erfassung der Fahrzeugposition (LEITZKE, 2012). Zu beachten ist aber, dass unterschiedliche verwendete Technologien unterschiedliche Detektionsbereiche besitzen.

Unter anderem können auch folgende Kombinationen angewendet werden:

- Passiv Infrarot und Radar/Mikrowelle,
- Ultraschall und Passiv Infrarot,
- Passiv Infrarot, Radar/Mikrowelle, Ultraschall

(LISTL, 2003).

Bisher gibt es noch keine Erfahrungswerte bei der Kombination von Detektoren bei LSA, zukünftig soll es aber auch dabei zur Anwendung von Sensor-kombinationen kommen.

Tabelle 2-2 bietet einen Überblick über die Eignung verschiedener Detektorarten hinsichtlich des Erfassungsobjektes. Es handelt sich im Folgenden um eine allgemeine Literaturangabe. Einzelne Produkte und Hersteller erzielen in gewissen Bereichen eine bessere Performance. Die Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

In Tabelle 2-3 sind für verschiedene am Markt verfügbare Detektoren die – laut Herstellerangaben – erfassbaren Verkehrskenngrößen und Ereignisse dargestellt.

Detektorart	Zur Erfassung von					Verkehrstechnische Anwendung					
	Kfz	Straßenbahn	Busse	Fußgänger	Radfahrer	Zeitpunkt	Anwesenheits-/verweildauer	Zählen	Richtung	Geschwindigkeit	Fahrzeugklasse
Induktionsschleifendetektor	+++	+	+++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Radardetektor	+++	+			+	+		+++	+	+++	
Wärmebilddetektor	+++	+	+	+	+	+++	+	+++	+	+	+
Bakensysteme	+++	+++	+++			+	+	+	+	+	+
Lichtschranke	+++	+	+	+	+	+++	+++	+++	+++	+++	+
Pneumatischer Detektor (Druckschlauch)	+++		+++		+	+++		+++	+++		
Anforderung (Drucktaster bzw. Berührungssensor)				+++	+++	+++					
Fahrdrahtschalter						+++		+++			
Magnetfelddetektor (Gleichfeld)	+	+	+			+			+	+	
Magnetfelddetektor (Wechselfeld)	+	+	+			+	+	+	+	+	+
Bild-Detektor	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Legende:  
 +++ System geeignet  
 + System bedingt geeignet

Tab. 2-2: Eignung verschiedener Detektorarten hinsichtlich des Erfassungsobjektes (BÜTLER et al., 2010)

	ISD Induktions- schleifendet.	RD Radar- det.	VD Videodet.	WBD Wärme- bilddet.	MFD Magnet- felddet.
Anforderung oder Verlängerung der Grünphase	+++	+++	+++	+++	+++
Richtungsabhängige Fahrzeugerkennung	+++	+++	+++	+++	+++
Präsenzerkennung von stehenden Fahrzeugen	+++	+++	++	+++	+++
Signalausgabe zur Fahrzeugzählung	+++	+++	++	+++	+++
Klassifizierung Bus/Lkw oder Pkw/Lkw	+++	+		+++	++
Klassifizierung Fahrrad/Andere	+			+++	
Geschwindigkeitserfassung	+	+++		+++	++
Fahrradzählung	+		+	+++	
Fahrzeugklassifizierung	++	++		+++	+
Fahrzeuflängenerfassung	+			+++	
Stauerkennung		+++		+++	+
Legende: +++ Hauptanwendung ++ geeignet/brauchbar + bedingt geeignet					

Tab. 2-3: Laut Herstellerangaben erfassbare Kenngrößen der verschiedenen Detektoren (eigene Darstellung)

## 2.4 Regelwerke

### 2.4.1 Merkblatt „Detektoren für den Straßenverkehr“

Laut Merkblatt „Detektoren für den Straßenverkehr“ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 1991) werden verschiedene Arten von Messfehlern identifiziert, welche die Qualität von Messungen negativ beeinflussen können: zeitliche, räumliche, lage- und formbedingte sowie umfeldbedingte Messfehler.

Die zeitlichen Messfehler wirken sich im Wesentlichen auf die Belegzeit- oder die Geschwindigkeitsmessung aus. Räumliche Messfehler beziehen sich auf die Ansprech- und Abfallpunkte des Detektors, die durch Variation der Verstimmung und der Empfindlichkeit beeinflusst werden, d. h., dass dadurch bei gleicher Geschwindigkeit gleich lange Fahrzeuge bei Belegzeitmessungen unterschiedlich lange Meldungen abgeben (problematisch bei der Bestimmung der Fahrzeuflänge). Lage- und formbedingte Messfehler entstehen beispielsweise, wenn Fahrzeuge auf Nachbarfahrstreifen zu nah an der betrachteten Schleife vorbeifahren. Am schwierigsten zu systematisieren sind umfeldbedingte Fehler, da sie z. B. bei Induktionsschleifen aufgrund einer schlechten Isolierung oder aufgrund von elektri-

schen oder magnetischen Störquellen in der Nähe des Detektors auftreten können.

Im Merkblatt „Detektoren für den Straßenverkehr“ werden zur Qualitätsüberwachung von Detektoren die folgenden Abfragen vorgeschlagen:

- Ist die Anzahl der Meldungen pro Zeiteinheit kleiner als „normal“?
- Ist die Anzahl der Meldungen im Vergleich zu äquivalenten Fahrstreifen oder Folgedetektoren zu hoch bzw. zu niedrig?
- Haben die Zeitlücken die zu erwartende Länge oder sind sie unrealistisch kurz?
- Ist die Anwesenheitszeit plausibel oder werden zu lange oder zu kurze Zeiten übermittelt?
- Ist die gemessene Geschwindigkeit realistisch oder sind die übermittelten Werte zu hoch?

Die Grenzwerte für diese Abfragen sind sorgfältig und für unterschiedliche Belastungssituationen festzulegen.



### 2.4.2 Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen

Die technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS) (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012) sind ein Standard für den Aufbau von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) an Bundesfernstraßen und beschreiben deren Architektur.

Im Abschnitt IV enthalten die TLS Prüfvorschriften für die Eignungsprüfung

- der Verkehrserfassung (Fahrzeugklassifizierung, Fahrzeugmengen, Geschwindigkeiten),
- von Geräten zur Achslasterfassung,
- der Übertragungstechnik und
- von Sensoren für die Umfelddatenerfassung (ab TLS 2012).

Diese Prüfvorschriften werden u. a. von der BAST für die Eignungsprüfung (Musterprüfung) von Verkehrserfassungsgeräten eingesetzt. Für eine kontinuierliche Qualitätssicherung im laufenden Betrieb sind sie allerdings nicht geeignet. Zum Teil finden Prüfvorschriften in weiteren Verlauf des Projekts Anwendung.

### 2.4.3 Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen

Das Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen (MARZ) (Bundesanstalt für Straßenwesen, 1999) enthält u. a. Plausibilitätsprüfungen (Kapitel 2.3.1.2.3) und Ersatzwertverfahren (Kapitel 2.3.1.2.4) für Verkehrsdaten. Dadurch soll sichergestellt werden, dass beim Betrieb nur „plausibilitätsgeprüfte Werte“ für die nachfolgenden Funktionen des Systems verwendet werden. Außerdem werden im MARZ Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei der Inbetriebnahme von VBA beschrieben (Anhang 4.2).

Plausibilitätsprüfungen sind für alle korrekt erfassten Rohdaten der Funktionsgruppe FG1 je Datenquelle und Datenart vorzunehmen. Werden die in der MARZ beschriebenen Regeln nicht erfüllt, müssen die geprüften Werte ersetzt oder als fehlerhaft gekennzeichnet werden. Die beschriebenen Ersatzwertverfahren dienen der Rekonstruktion von Verkehrsdaten bei gestörten Sensoren oder Messquerschnitten.

Bei Messquerschnitten mit mindestens zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung können für Kurzzeitdaten

Ersatzwerte aus den Werten des vorausgegangenen Intervalls sowie aus den aktuellen und alten Werten des zugeordneten Nachbarfahrstreifens ermittelt werden. Bei Ausfall eines gesamten Messquerschnitts ist bei kleinen Abständen zwischen Messquerschnitten innerhalb eines Abschnitts eine Übernahme der Werte einer zugeordneten Nachbarzählstelle möglich. Bei Langzeitdaten werden leere Datensätze mit Ausfallkennung eingesetzt. Die Messwertersetzung ist in den Datensätzen entsprechend zu kennzeichnen.

Die im Anhang 4.2 der MARZ 99 zusammengestellten Maßnahmen zur Qualitätssicherung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen fokussieren Maßnahmen zur Überprüfung der Funktionssicherheit im Zuge der Herstellung und Inbetriebnahme von Verkehrsbeeinflussungsanlagen.

Die Qualitätsprüfungen nach MARZ werden u. a. in den „Hinweisen zur Qualitätsanforderung und Qualitätssicherung der lokalen Verkehrsdatenerfassung“ verwendet und sind für die kontinuierliche Qualitätssicherung im laufenden Betrieb geeignet.

### 2.4.4 Hinweise zur Videodetektion in Verkehrsbeeinflussungsanlagen

Die Hinweise zur Videodetektion in Verkehrsbeeinflussungsanlagen (HVVBA) (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2015) ergänzen die Regelwerke und Wissensdokumente zu Verkehrsbeeinflussungsanlagen.

Das Dokument beinhaltet folgende Kapitel zum Thema Videodetektion in VBA:

- Grundlagen,
- Sinnvolle Anwendungen,
- Technische und rechtliche Rahmenbedingungen,
- Empfehlungen zur Planung und zum Betrieb,
- Übertragung und Speicherung von Videodaten.

Im Rahmen der Empfehlungen zu Planung und Betrieb werden Kenngrößen und Verfahren zur Bewertung der Qualität von videobasierter Ereignisdetektion vorgeschlagen. Diese basieren auf Kriterien zur Bewertung der Qualität von binären Klassifikatoren (Kapitel 2.7.4). Neu ist, dass die Schwellenwerte (Genauigkeitsanforderungen) für drei verschiedene Umfeldbedingungsklassen variieren und für die

Abnahme ein längerer Probetrieb empfohlen wird um selten auftretende Umfeldbedingungen und Ereignisse testen zu können. Hier ist die statistische Signifikanz der getroffenen Aussagen anzugeben.

#### 2.4.5 Richtlinie für Lichtsignalanlagen

Die Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2015) sind ein in Deutschland gültiges technisches Regelwerk und enthalten Vorgaben und Empfehlungen für Planung und Betrieb von Lichtsignalanlagen. Sie werden von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) herausgegeben.

Abschnitt 8 behandelt das Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen. Neben dem Qualitätsmanagement bei der verkehrstechnischen Projektierung und der Implementierung ist auch das Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen im laufenden Betrieb in der RiLSA beschrieben. Es werden allerdings absichtlich keine Vorgaben zur Qualitätssicherung der in verkehrsabhängigen Steuerungen benötigten Verkehrsdaten gemacht, um Redundanzen mit dem Merkblatt „Detektoren für den Straßenverkehr“ (Kapitel 2.4.1) zu vermeiden.

#### 2.4.6 Hinweise zum Qualitätsmanagement an Lichtsignalanlagen

Im Jahr 2014 hat die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen die „Hinweise zum Qualitätsmanagement an Lichtsignalanlagen“ (H QML) herausgegeben. Diese ergänzen die „Richtlinien für Lichtsignalanlagen“ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2015), Ausgabe 2010.

Das Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen wird hier als systematische Qualitätsprüfung und Qualitätsverbesserung in Bezug auf den Entwurf der Straßenverkehrsanlage, die Verkehrssteuerung und die technischen Bestandteile der Lichtsignalanlage unter Berücksichtigung der planerischen und strategischen Rahmenbedingungen definiert.

Es sollen dabei Qualitätsziele in Bezug auf

- die Verkehrssicherheit,
- den Verkehrsablauf,
- die Betriebssicherheit und

- die Umweltverträglichkeit

dauerhaft erfüllt werden.

In den H QML sind die Anregungen der RiLSA umfassend beschrieben, sodass sie den Anwenderinnen und Anwendern eine Hilfestellung zur Argumentation und praktischen Umsetzung bieten.

Das Qualitätsmanagement bezieht sich auf alle Phasen innerhalb des Lebenszyklus einer LSA von der

- verkehrstechnischen Projektierung über
- die Implementierung und Inbetriebnahme bis hin zum
- laufenden Betrieb.

Das Dokument beinhaltet Checklisten für ein Qualitätsmanagement an LSA.

#### 2.4.7 Leitfaden Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen

Der Leitfaden wurde im Rahmen des FE 03.0480/2006 „Umsetzungshinweise zum Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen“ erarbeitet (FRIEDRICH et al., 2008). Das Ziel des Leitfadens ist es, Betreibern oder auch Eigentümern von LSA die Einführung und Anwendung eines Qualitätsmanagements für LSA zu ermöglichen und ihnen hierzu Hilfen in Form von praxistauglichen Hinweisen, Arbeitsanleitungen und auch Checklisten zu geben. Der Leitfaden unterstützt Betreiber bei der Festlegung von individuellen Qualitätszielen, der Erfassung der entsprechenden Kenngrößen, sowie der Identifizierung von Mängeln und Maßnahmen. Im Mittelpunkt des Leitfadens stehen dabei der Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit. Zur optimalen Anpassung des beschriebenen Qualitätsmanagementsystems an die verschiedenen Anforderungen unterschiedlicher Betreiber ist der Leitfaden modular aufgebaut.

Der Leitfaden enthält unter anderem auch Hinweise auf mögliche, zu automatisierende Prozesse. Er ist gegliedert in die Kapitel

- Grundsätze – Informationsmanagement, Beschwerdemanagement, Wartung,
- Qualitätsziele und Qualitätsstufen,
- Qualitätsmanagement und Verkehrssicherheit,

- Qualitätsanalyse des Verkehrsablaufs in Straßennetzen,
- Qualitätsanalyse des Verkehrsablaufs an Einzelknotenpunkten,
- Maßnahmenfindung.

Zum Vergleich verschiedener Knotenpunkte untereinander werden im Leitfaden einheitliche Bewertungsgrundlagen vorgegeben. Es wird unterschieden zwischen den Kenngrößen für die Qualität des Verkehrsablaufs (Qualitätsstufen QSV gem. HBS) und Kenngrößen zur Beurteilung der Verkehrssicherheit (Unfallhäufungsstellen gem. Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen).

#### 2.4.8 Leitfaden Verkehrstelematik

Der „Leitfaden Verkehrstelematik“, erstellt durch das Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik sowie das Zentrum für integrierte Verkehrssysteme der Technischen Universität Darmstadt, Ausgabe 2005, wurde entwickelt, um den Kommunen und Kreisen eine sachgerechte und zweckmäßige Entscheidung über den Einsatz von Verkehrstelematik Systemen zu ermöglichen (BOLTZE et al., 2005). Dabei werden hier nur solche Systeme beschrieben, die in Kreisen und Kommunen Anwendung finden und in der Baulast des Bundes und der Länder liegen.

Verkehrstelematik ist zur Verbesserung der Verkehrsabläufe, zur Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie zur Reduktion von Unfällen oder der allgemeinen Optimierung des betrieblichen Ablaufs notwendig. In dem Leitfaden werden sowohl Methodiken für einen effizienten Telematikeinsatz gegeben, als auch Systembeschreibungen und Möglichkeiten der Integration in vorhandene Systeme aufgezeigt.

Zu den am wichtigsten beschriebenen Verkehrstelematik Systemen gehören rechnergestützte Betriebsleitsysteme und Fahrgastinformationssysteme, Individuelle und allgemeine Informationssysteme, Parkleitsysteme, Lichtsignalanlagen, Knotenpunktbeeinflussungsanlagen sowie Streckenbeeinflussungsanlagen. Zu den LSA wird neben den allgemeinen Informationen über Zwecke, Ziele, Einsatzbereiche und Technik auch die Datenerfassung erwähnt, da sie in vielen Fällen einen begrenzenden Faktor für die Steuerung darstellt.

Weitere Kapitel befassen sich mit der Datenerfassung und Datenaufbereitung von Verkehrsdaten und in diesem Zuge auch mit den Anforderungen an

das Qualitätsmanagement von Sensoren, Rohdaten und aufbereiteten Daten.

## 2.5 Gremien

### 2.5.1 FGSV AK 3.1.8 „Detektionstechnologien“

Der FGSV AK 3.1.8 „Detektionstechnologien“ wurde 2013 eingerichtet, um das Merkblatt „Detektoren für den Straßenverkehr“ aus dem Jahr 1991 (Kapitel 2.4.1) zu aktualisieren. Unter anderem sollen neuere Technologien, wie z. B. Floating Car Daten berücksichtigt werden. Ziel des AK war die Veröffentlichung der Überarbeitung des Merkblattes im Jahr 2016.

### 2.5.2 FGSV AK 3.5.20 „Hinweise zur Qualitätsanforderung und Qualitätssicherung der lokalen Verkehrsdatenerfassung“

Der FGSV AK 3.5.20 „Hinweise zur Qualitätsanforderung und Qualitätssicherung der lokalen Verkehrsdatenerfassung“ hat – basierend auf existierenden Richtlinien und Merkblättern (u. a. TLS und MARZ) – Anforderungen an die Qualität und die Qualitätssicherung der Verkehrsdatenerfassung erarbeitet und in einem gleichnamigen Hinweispapier beschrieben. Das Hinweispapier enthält u. a. mehr als zwanzig Plausibilitätsprüfungen für Verkehrsdaten. Die SCHLOTHAUER & WAUER GmbH (ehemals TRANSVER GmbH) hat alle diese Prüfungen im Softwarewerkzeug LOTRAN-DQ implementiert und in zahlreichen Qualitätssicherungsprojekten eingesetzt.

### 2.5.3 FGSV AK 3.2.9 „Videodetektion in VBA“

Im FGSV AK 3.2.9 „Videodetektion“ wurde das „Wissensdokument Videodetektion“ erstellt (vgl. Kapitel 2.4.4). Dieses enthält u. a. Verfahren und Qualitätskenngrößen für (Abnahme-)Tests von Videodetektionssystemen im Tunnel und im Freiland.

## 2.6 Bisherige Untersuchungen und Forschungsprojekte

### 2.6.1 QUATRA

Im Rahmen des Forschungsprojektes QUATRA wurden zwei neue statistische Verfahren zur Überprüfung der Qualität von Verkehrsdaten entwickelt.

Die Verfahren zur Bewertung der Qualität auf lokaler Detektion basierender Daten finden sowohl innerorts als auch außerorts Anwendung. Zudem erlauben die Verfahren die Identifikation von Anomalien. Die Verfahren wurden im Zuge des Projektes in das Softwarewerkzeug LOTRAN-DQ der SCHLOT-HAUER & WAUER GmbH (ehemals TRANSVER GmbH) integriert und anhand von Verkehrsdaten der ASFiNAG, der Autobahndirektion Südbayern und der Stadt Wien getestet und bewertet.

### 2.6.2 AKTIV-VM Prozessmonitor

Im Rahmen des Forschungsprojektes AKTIV-VM wurde ein Prozessmodell in Anlehnung an die DIN EN ISO 9000 entwickelt. Die Norm stützt sich dabei auf den kontinuierlicheren Verbesserungskreis mit den Schritten Planen (Plan), Durchführen (Do), Prüfen (Check) und Verbessern (Act), welcher üblicherweise als PDCA-Kreis nach Deming bezeichnet wird.

Das Prozessmodell bzw. der Prozessmonitor beleuchtet dabei durchgängig die Prozesse und

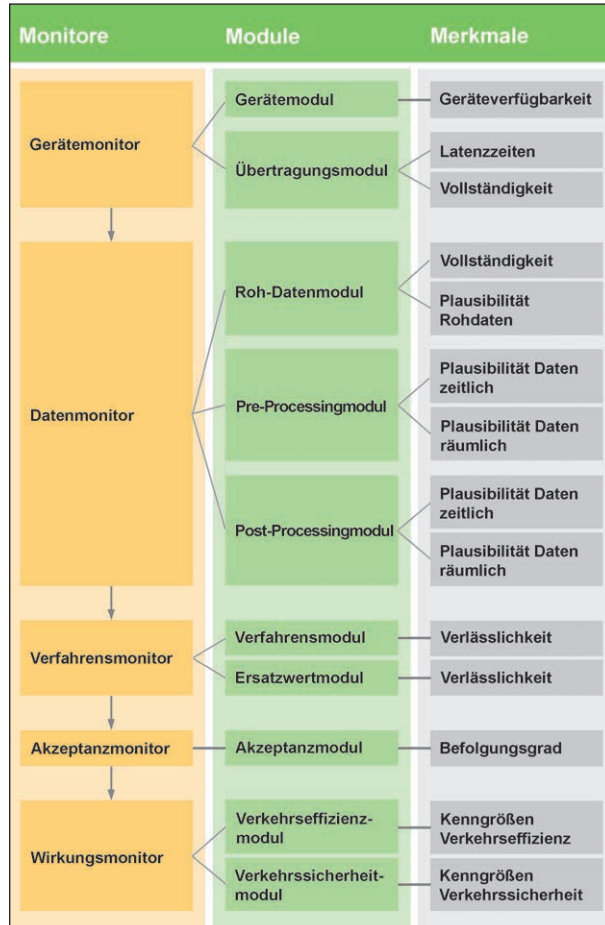


Bild 2-6: AKTIV-VM Prozessmonitor

Datenqualität der Informationsplattform, welche Grundlage für ein erfolgreiches Qualitätsmanagement ist. Hierdurch kann der Qualitätsstandard für kooperative Systeme gesichert und die Akzeptanz für die ausgelieferten Informationen bei den Kundengruppen sichergestellt werden.

Der Prozessmonitor aus AKTIV-VM ermöglicht:

- den Vergleich von Daten und Informationen verschiedener Quellen,
- die Identifizierung von fehlerhaften oder falschen Quellen,
- die Bewertung jedes beteiligten Prozesses nach seiner Zuverlässigkeit

und bietet die Möglichkeit zur ständigen Verbesserung dieser Prozesse.

Das Prozess-Monitoring innerhalb der Informationsplattform bildet damit die Grundlage für die Qualitätssicherung nicht nur der Informationen der Plattform, sondern aller angeschlossenen AKTIV-Systeme und -Dienste.

Der Datenmonitor für die stationäre Detektion wurde mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulation kalibriert und getestet. Die Umsetzung ermöglicht eine online Plausibilitätsprüfung der Daten. Bild 2-6 gibt die Arbeitsweise des entwickelten Prozessmonitors wieder.

### 2.6.3 Traffic IQ

Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projekt Traffic IQ wurde ein Konzept für die durchgehende Dokumentation und Klassifizierung der Datenqualität auf der Basis von Informationsprodukten realisiert. Dazu wurden Prüfverfahren in Form von technischen Benchmarking-Systemen entwickelt und implementiert, die das Ziel haben, den durchgehenden Nachweis der Datenqualität über die gesamte Wertschöpfungskette sicherzustellen (GEVAS Software, 2012).

Während des Projektes wurde einerseits ein Service für standardisierte Qualitätsaussagen für Verkehrsdaten und -informationen realisiert und andererseits die Verfahren zur Qualitätsprüfung von Verkehrsdaten bei den Betreibern von Verkehrsdatenerfassungs- und -aufbereitungssystemen offengelegt.

Im Rahmen von Traffic IQ wurde in diesem Zusammenhang ein mehrstufiges System von Qualitätsmonitoren zur einheitlichen Bewertung und Nutzung qualitätsbezogener Kenngrößen entwickelt, das sowohl die Betreiber in ihren Aufgaben unterstützt als auch den Anforderungen an die Dokumentation der Datenqualität für Abnehmer der Daten Rechnung trägt. Die Monitore setzen Prüfverfahren um, welche im Rahmen von Traffic IQ spezifiziert und implementiert wurden. Diese Prüfverfahren erzeugen Kennwerte der Qualität für die einzelnen Produktklassen der verkehrsbezogenen Daten.

Auf Basis der Benchmarking-Systeme zur Generierung von Qualitätskenngrößen für die Verkehrsbetreiber des Fernstraßen- und Stadtstraßennetzes wurde im Rahmen von Traffic IQ weiterhin das Konzept einer „Business Intelligence-Komponente“ realisiert, welches auf Basis eines „Data Warehouses Verkehrsdatenqualität“ Informationen zur Qualität einzelner Daten bzw. Produkte liefert. Dabei wird eine Filterung der Kenngrößen nach räumlichen und zeitlichen Aspekten sowie hinsichtlich der Produktklassen durchgeführt und einem Punkte-Bewertungsschema (Scoring) unterworfen. Die so aggregierten Kenngrößen sind als produktbezogene Qualitätsstufen hinterlegt und können für Interessenten (Betrieb, Management) in Form von Qualitätskarten, Reports und Score-Cards bereitgestellt werden.

Es werden sowohl städtische Daten als auch Daten aus dem übergeordneten Verkehrsnetz betrachtet.

Verfolgt wurden folgende Projektziele:

- Spezifikation, Umsetzung und Erprobung von Prüfverfahren zur stationären, mobilen und videobasierten Verkehrsdatenerfassung,
- Spezifikation, Umsetzung und Erprobung von Prüfverfahren für Daten und Informationen, die auf Grundlage von stationärer, mobiler und videobasierter Detektion über modellbasierte Verfahren generiert werden,
- Spezifikation, Umsetzung und Erprobung von Prüfverfahren für die Meldungsqualität von stationären, mobilen und videobasierten Verkehrsdaten,
- Definition von Kenngrößen zur Beschreibung der Verkehrsdatenqualität von stationären, mobilen und videobasierten Verkehrsdaten,
- Entwicklung eines mehrstufigen Systems von Qualitätsmonitoren zur einheitlichen Bewertung und Nutzung qualitätsbezogener Kenngrößen,
- Realisierung der entwickelten Prüfverfahren in einer ersten Ausbaustufe in ausgewählten Pilotgebieten (siehe Testfelder),
- Offenlegung der Prüfverfahren nach erfolgreicher Validierung,
- Realisierung einer Business Intelligence-Komponente, welche auf Basis eines Data-Warehouses Verkehrsdatenqualität räumlich und zeitlich aggregierte Informationen und Trendausagen zur Datenqualität liefert (Qualitätskarten, Reports, Charts, ...).

#### **2.6.4 Leitfaden für die flächendeckende Erfassung verkehrsrelevanter Daten und Ereignisse**

Verkehrsbezogene Daten werden aus zweierlei Gründen erhoben:

- zur zeitnahen Verwendung im Rahmen der aktuellen Zustandsinformation von Straßenabschnitten und
- zur langfristigen Nutzung in der Verkehrsplanung, d. h. insbesondere als statistische Informationen für die Planung und Bewertung von Infrastruktur- und Verkehrsmanagementmaßnahmen.

Je nach Nutzungsart ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der zu erhebenden Daten. Aktuell werden Verkehrsdaten vorrangig aus ortsfesten Quellen erhoben. Die Bereiche zwischen den Messquerschnitten müssen interpoliert werden. Private Informationsdienstleister verwenden indes ebenfalls dynamische Informationen z. B. aus dem Mobilfunk. Diese Entwicklung wird aktuell stark weiterentwickelt und bietet für die Verkehrsdatenerhebung auch unter Kostenaspekten interessante Perspektiven. Wenn eine Straßenbauverwaltung die Anwendungsfelder Verkehrsbeeinflussung, Verkehrsinformation und/oder Verkehrsstatistik für Planung und Bewertung in Umfang, Inhalt und Qualität verbessern will, so kann sie derzeit auf keine standardisierten Entscheidungshilfen zurückgreifen. Fehlend ist hierbei ein einheitliches Konzept zur Bewertung, welches je nach Anforderung eine technisch, wirt-

schaftlich und betrieblich sinnvolle Lösung unterstützt. Hierbei sollen alle Daten- und Informationsquellen verwendet werden. Dies betrifft sowohl die eigenen Datenquellen als auch jene neuer Art (Mobilfunkdaten etc.).

Im Rahmen des Projektes wurde daher ein Leitfaden entwickelt, der als Grundlage für die flächendeckende und zuständigkeitsübergreifende Erhebung von Online-Verkehrsdaten bzw. für deren Bezugs dient. Die Entscheider in den zuständigen Straßenbauverwaltungen sollen durch den Leitfaden in der Wahl der Technologie bzw. im Beschaffungskonzept für verkehrsrelevante Informationen unterstützt werden.

### 2.6.5 Ergebnisse weiterer Untersuchungen

Verschiedene Untersuchungen zum Thema Qualität von Verkehrserfassungssystemen werden von (LEHNHOFF, 2005) zusammengefasst. Erste Untersuchungen bezüglich der Qualität automatischer Verkehrsdatenerfassung in Deutschland wurden von HOFSAß und SCHLUMS in den 60er Jahren durchgeführt. Im Vorfeld zu diesen Untersuchungen wurden die Kenntnisse aus Deutschland, dem europäischen Ausland und den USA über alle derzeit verfügbaren Messgeräte für die automatische Verkehrszählung in einer sehr umfangreichen Sammlung zusammengestellt. Bezüglich der Induktionsschleifendetektoren wurden die mit dieser Erfassungsmethode an einer Versuchszählstelle erhobenen Daten denen einer manuellen Zählung, an einer vierstreifigen Außerortsstraße, gegenübergestellt. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass die Qualität der Untersuchungsergebnisse insbesondere von der Einbauqualität der Induktionsschleifendetektoren abhängig ist.

Veröffentlichungen, die als Hauptthema die Qualität der Verkehrsdaten haben, beziehen sich in der Regel auf Detektoren auf Autobahnen und beschränken sich in den meisten Fällen auf Störungen, bei denen eine offensichtliche Disfunktionalität der Schleifen vorliegt. Dies kann z. B. bei einem kurzfristigen Ausfall der Datenübermittlung der Fall sein.

LANGE und LENZEN haben eine Beurteilung der Qualität von Induktionsschleifendetektoren anhand eines Vergleichs der Daten von drei hintereinander auf einer Rheinbrücke angeordneten Messquerschnitten vorgenommen. Die Ganglinien der drei Messungen weisen auf den ersten Blick eine sehr

große Ähnlichkeit auf. Dies wird durch die geringe Abweichung der absoluten Zählwerte voneinander, die geringer als 5 % ist, bestätigt. Die genauere Analyse zeigt jedoch für mehrere Intervalle relative Abweichungen von mehr als 20 % bezogen auf den Mittelwert der drei Messreihen, die zu allen Tageszeiten und bei verschiedenen Verkehrsstärken auftreten. Als mögliche Ursachen werden die unzureichende Detektion spezieller Fahrzeuge und Fahrstreifenwechsellvorgänge zwischen den Detektoren innerhalb eines Messquerschnitts vermutet.

Eine detaillierte Untersuchung über die Genauigkeit der Induktionsschleifendetektoren wurde im Jahre 1991 von WIEDEMANN et al. veröffentlicht. Inhalt dieser Untersuchung war ein Vergleich der mit den Induktionsschleifen gemessenen Verkehrsstärke mit der durch zwei Referenzsysteme (Radar und Video) erfassten Verkehrsstärke. Als Ergebnisse wurde festgehalten, dass die Abweichungen teilweise sehr groß sind, aber die Zählfehler keiner speziellen Tendenz folgen und sich über längere Bezugsintervalle ausgleichen. Besonders schlechte Ergebnisse für die Qualität der Messwerte wurden bei geringen Geschwindigkeiten erzielt.

Ähnlich zu dieser Vorgehensweise wurde auch von NIHAN et al. ein Vergleich der detektierten Verkehrsstärke auf autobahnähnlichen Straßen mit einem Referenzsystem durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass die einzelnen Schleifen geringfügig zu viele Fahrzeuge zählen, aber insgesamt eine zu niedrige Verkehrsstärke ermittelt wird. Dies liegt daran, dass Fahrzeuge, die im Bereich der Schleifen einen Fahrstreifenwechsel durchführen, von zwei Schleifen verschiedener Schleifenpaare gezählt werden. Die Plausibilitätskontrolle filtert diese Fahrzeuge dann aus beiden Datensätzen heraus, sodass die Gesamtzahl der erhobenen Fahrzeuge niedriger ist als die tatsächliche. Wesentlich größere Probleme ergeben sich bei der Längenbestimmung, die eine grundlegende Überarbeitung der verwendeten Algorithmen notwendig erscheinen lassen.

Verschiedene weitere Untersuchungen aus den USA werden von MARTIN et al. zusammengefasst. Ziel ist die Entwicklung von Handlungsempfehlungen, unter welchen Randbedingungen welche Detektorarten am besten zu verwenden sind. Dafür wird neben der Betrachtung der Kosten auch eine Analyse der Genauigkeit durchgeführt. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Induktionsschlei-

fendetektoren zu den genauesten Detektoren gehören. Sie stützen sich dabei zum einen auf verschiedene Untersuchungen von MIDDLETON et al., die Detektoren in Bezug auf die Zählung von Fahrzeugen eine Genauigkeit von 98 % bescheinigen. Zum anderen stützen sie sich auf eine Untersuchung des Minnesota Department of Transportation, die diesen sehr guten Wert relativiert, in dem sie eine Unterscheidung zwischen auf autobahnähnlichen Straßen und an Knotenpunkten erhobenen Daten trifft. Für den hier interessierenden Fall der Knotenpunkte wird ein Zählfehler zwischen 2,8 und 8,6 % ermittelt. Ein anderer Ansatz für die Analyse der Genauigkeit von Detektordaten wurde von HAMM und WOODS gewählt. Im Rahmen eines Feldversuchs wurden Detektoren unterschiedlicher Form in verschiedenen Tiefen eingebaut und gezielt hinsichtlich der Erfassung von besonders leichten und kleinen bzw. von besonders großen Fahrzeugen untersucht. Für jede Fahrzeugart wurden optimale Randbedingungen für ihren Einsatz definiert. Werden diese optimalen Randbedingungen beim Einbau gewährleistet, können die Schleifen jeweils die Fahrzeugart, für welche sie optimiert sind, unter Testbedingungen mit 100%iger Genauigkeit messen.

(LISTL, 2003) hat eine Untersuchung der Güte erhobener Verkehrskenngrößen basierend auf Feldversuchen mit Videotechnik durchgeführt. Die Prüfmethodik orientiert sich an den Vorgaben aus den TLS [BAST, 2002]. Als Prüfkriterien wurden die mittlere Abweichung sowie die stichprobenbezogene Varianz der Abweichungen herangezogen. Als zweites Prüfkriterium muss die Standardabweichung der Messabweichungen kleiner als die nach den TLS geforderten Genauigkeitsschranken sein. Dies wurde mittels eines Chi-Quadrat-Tests nachgewiesen. Nach Tabelle 2-4 wurden beide Prüfkriterien für alle Fahrstreifen erfüllt. Die mittleren Abweichungen liegen betragsmäßig bei maximal 0,60 km/h. Der Chi-Quadrat-Test auf einem Signifikanzniveau von

Fahrstreifen	n	$\Delta\bar{v}$ [km/h]	s [km/h]	$\chi^2$	$\chi^2$
FS 1	113	-0,40	1,18	72	84
FS 2	233	-0,38	1,46	166	191
FS 3	80	-0,20	1,41	47	56
Ausfahrt 1	147	0,60	0,55	19	114
Ausfahrt 2	199	0,35	0,64	35	161

Tab. 2-4: Genauigkeitsvergleich Induktionsschleifen vs. Lichtschranke (LISTL, 2003)

5 % zeigt, dass die Genauigkeitsschranken mit den vorhandenen Stichprobenumfängen nach den TLS eingehalten werden.

(LEHNHOFF, 2004) hat die Qualität von 23 unterschiedlichen Sensoren an drei verkehrsabhängigen LSA untersucht. Die Analyse basiert auf dem Vergleich des detektierten Verkehrsablaufs mit einem Referenzsystem. Es hat sich gezeigt, dass die Qualität der erhobenen Daten in den meisten Fällen ausreichend für verkehrsabhängige Steuerungssysteme ist. Um die Güte der Daten möglichst zu erhöhen müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Falls ein Detektor mehrere bedingt verträgliche Verkehrsströme erfasst, sollten diese Daten nicht in der Analyse verwendet werden.
- Falls ein Detektor auf einer Abbiegespur liegt, muss sichergestellt werden, dass keine Nachbarverkehrsströme mitdetektiert werden. Beispielsweise kann ein zweiter Detektor zur Erkennung der Fahrrichtung eingesetzt werden.
- Detektoren werden üblicherweise von Straßenbahnen beeinflusst (bei Abständen bis zu 10 m). Einen Hinweis darauf können systematische Fehler sein.

(BÜTLER et al., 2010) haben in der Schweiz zwei Feldversuche zur Untersuchung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der eingesetzten Verkehrserfassungssysteme aufgebaut. Bezüglich des ersten Testfeldes weisen die erhaltenen Resultate aller untersuchten Erfassungssysteme (Induktionsschleifen, Video, Laserscanner) eine hohe Zuverlässigkeit von über 99,5 % auf. Fehlanmeldungen traten in allen Systemen selten auf und wurden hauptsächlich durch unkorrektes Fahrverhalten der Fahrzeuglenkenden ausgelöst. Während Induktionsschleifen und Videosysteme erfasste Fahrzeuge konstant über den Erfassungsbereich erkennen konnten, wurden beim Laserscanner vereinzelt Fahrzeuge nach der Erkennung wieder verloren. Dabei wurden jedoch insbesondere bei einem Fahrstreifen schlechte Werte registriert, sodass das Verlieren der Fahrzeuge eventuell auf eine ungenaue Einstellung zurückgeführt werden kann. Ansonsten wurden weniger als 3 % der Fahrzeuge nicht konstant erfasst. Die räumliche Konstanz (gleicher Erfassungsquerschnitt) ist bei den Induktionsschleifen und Laserscannern sehr hoch. Die Differenzen bei der Videoerfassung beeinträchtigten eine präzise Steuerung der Freigabezeiten.

Unter erschwerten Bedingungen (u. a. Eisenarmierungen, Eisenbahnfahrleitungen) wurde die Detektion eines Stauereignisses bzw. die Überfahrt des Erfassungsbereiches im Brückenbereich analysiert. Durch die parallele Erfassung mittels Induktionsschleife und Magnetfeldsensor konnte ein direkter Vergleich der verwendeten Erfassungssysteme durchgeführt werden. Die erhaltenen Resultate beider untersuchten Erfassungssysteme wiesen eine Zuverlässigkeit von über 97 % auf, welche im Vergleich zur Erfassung im Zufahrtbereich der Lichtsignalanlage 1 – 2 % tiefer ausfiel. Dies kann auf die erschwerten Bedingungen im Brückenbereich zurückgeführt werden.

Der zweite Feldversuch wurde mit Videoerfassung durchgeführt, um unterschiedliche Bedingungen sowie andere topografische Begebenheiten auf Basis vom direkten Vergleich zwischen Induktionsschleifen und Videoerfassung analysieren zu können. Die Auswertung des Vergleichs zwischen Induktionsschleife und Videodetektoren zeigte annähernd identische Ergebnisse beider Erfassungssysteme und bestätigte somit die im ersten Feldversuch gewonnenen Erkenntnisse. Die Aufzeichnung der Messungen fand bei unterschiedlichen Wetterbedingungen statt. Hierbei konnten keinerlei Einschränkungen der Videoerfassung festgestellt werden. Der Ersatz von Induktionsschleifen beider Fahrstreifen durch ein Videosystem kann die Qualität der Verkehrssteuerung gewährleisten. Fehlender Fußverkehr und der topografisch unproblema-

tische Zufahrtbereich in einer Geraden stellen jedoch besonders günstige Bedingungen für den Einsatz von Videoerfassungssystemen dar.

Außerdem haben die Autoren eine Umfrage zur Verkehrserfassung bei Betreibern von Lichtsignalanlagen in der Schweiz durchgeführt. Damit wurden die zu erwartenden Zuverlässigkeiten je nach Detektorart und Betrachtungszeitpunkt dargestellt (Tabelle 2-5), wobei keine Angaben für Infrarotdetektoren möglich waren. Ähnliche Ergebnisse haben sich für die Erfassung von Fußgänger und Rollstuhlfahrer sowie ÖV- und Einsatzfahrzeugen ergeben.

## 2.7 Qualitätsbewertung

### 2.7.1 Qualitätsbegriffe

Aus den obigen Quellen werden folgende Begriffe für das Forschungsvorhaben gewählt und definiert. Die Begriffe werden zur Erhöhung der Verständlichkeit in den allgemeinen Prozessablauf integriert (vgl. Bild 2-7).

Qualitätsbewertung/Quality Assessment bezeichnet das Verfahren, mit dessen Hilfe die Qualität in Bezug auf die Anforderung bestimmt werden kann. Die Qualitätsbewertung erfolgt mit Qualitätskriterien, die durch Qualitätsindikatoren untergliedert werden. Diese Qualitätsindikatoren werden mit ei-

Betrachtungszeitpunkt	Induktionsschleife	Radar	Infrarot (Wärmebild)	Video
Neu	99,0 %	99,5 %	-	100,0 %
1 Jahr nach Inbetriebnahme	97,7 %	95,1 %	-	100,0 %
3 Jahre nach Inbetriebnahme	96,0 %	95,0 %	-	94,4 %
5 Jahre nach Inbetriebnahme	91,8 %	90,0 %	-	-
10 Jahre nach Inbetriebnahme	84,0 %	83,8 %	-	-

Tab. 2-5: Zuverlässigkeit bei Fahrzeugerfassungssystemen (BÜTLER et al., 2010)



Bild 2-7: Prozessablauf



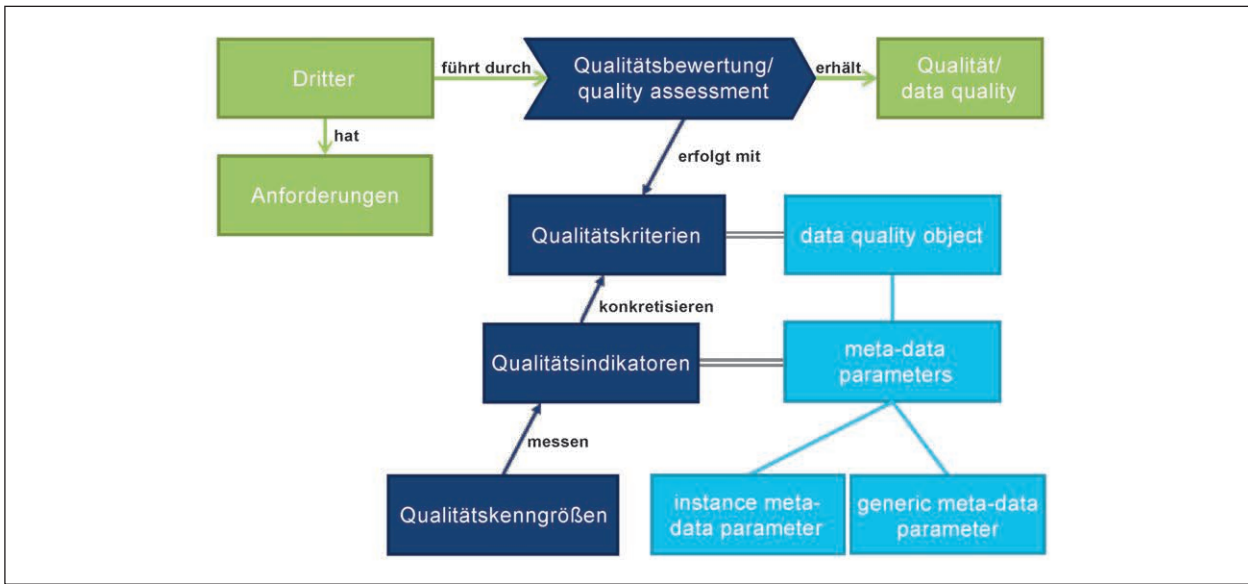


Bild 2-8: Darstellung der Qualitätsbegriffe im Prozessablauf

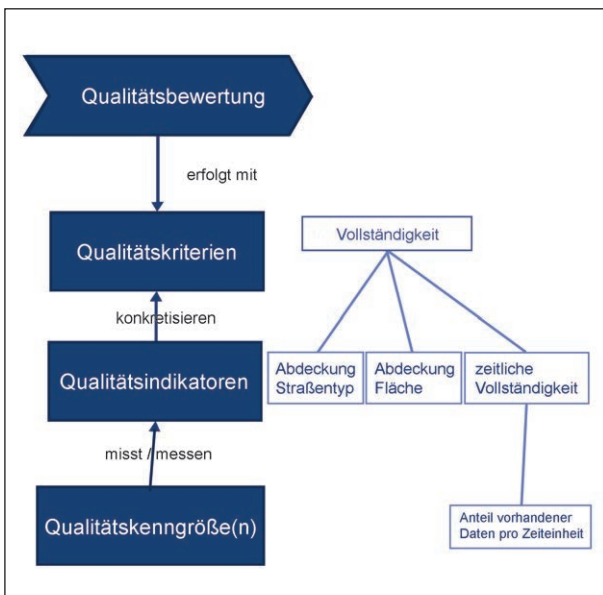


Bild 2-9: Beispiel Qualitätsbewertung

ner oder mehreren Qualitätskenngrößen gemessen (vgl. Bild 2-8).

Hier wird auch noch die Unterscheidung der ISO TR 21707 beibehalten, die zwischen Instance und Generic Meta-Data Parameter unterscheidet, also ob eine Kenngröße für jedes Zeitintervall mitgeliefert wird oder über die Zeit bestimmt wird und somit vor Abruf der Daten bzw. im Nachgang verfügbar ist.

Ein Beispiel für diese Größen ist in Bild 2-9 dargestellt.

Die Qualitätsbewertung wird in diesem Beispiel (unter anderem) mit dem Qualitätskriterium Vollständig-

keit durchgeführt. Vollständigkeit umfasst sowohl die zeitliche als auch die räumliche Vollständigkeit. Das Qualitätskriterium Vollständigkeit wird somit durch die Qualitätsindikatoren „Abdeckung in Bezug auf den Straßentyp“ (z. B. Functional Road Classes bzw. Autobahn, Bundesstraße etc.), „Abdeckung in Bezug auf die Gesamtfläche“ (z. B. Bundesland) und „Zeitliche Vollständigkeit“ oder auch „Abdeckung in Bezug auf die Zeit“ (z. B: 24/7) konkretisiert. Jeder dieser Qualitätsindikatoren wird durch eine oder mehrere Qualitätskenngrößen gemessen.

### 2.7.2 Qualitätskriterien

(WILTSCHKO, 2004) hat in seiner Dissertation zum Thema „Sichere Information durch infrastrukturgestützte Fahrerassistenzsysteme zur Steigerung der Verkehrssicherheit an Straßenknotenpunkten“ die in Bild 2-10 und Bild 2-11 enthaltenen Qualitätskriterien für Informationen definiert. Voraussetzung dafür ist, dass sich die Qualität immer nur auf eine bestimmte Einheit (Betrachtungseinheit) beziehen kann und die Qualität durch eine begrenzte Anzahl von Merkmalen zu beschreiben ist.

Schwerpunkt dieses FE ist die Ermittlung der metrischen Genauigkeit der von den verschiedenen Detektoren gemessenen Verkehrsdaten bzw. der Korrektheit der detektierten Ereignisse. Die Verkehrsdaten bilden in diesem Fall die Betrachtungseinheit. Entsprechende Bewertungskriterien (u. a. auch als Bewertungsparameter, Qualitätsindikatoren oder Performanceindikatoren bezeichnet) für

Verfügbarkeit	Gibt das Ausmaß des Vorhandenseins der Information zu einem definierten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort an
Aktualität	Gibt das Ausmaß der Übereinstimmung der Information mit der sich zeitlich ändernden konzeptionellen Realität an
Vollständigkeit	Gibt das Ausmaß des Vorhandenseins sämtlicher zur Beschreibung der konzeptionellen Realität erforderlichen Informationen an
Konsistenz	Gibt das Ausmaß der Übereinstimmung der Information mit dem Informationsmodell an
Korrektheit	Gibt das Ausmaß der Übereinstimmung der Information mit der konzeptionellen Realität bei vorausgesetzter Aktualität an
Metrische Genauigkeit	Gibt den Zusammenhang zwischen dem gemessenen und dem wahren bzw. plausibelsten Wert an
Semantische Genauigkeit	Gibt den Diskretisierungsgrad der Objekt- und Sachdaten an

Tab. 2-6: Definitionen der Qualitätskriterien nach (WILTSCHKO, 2004)

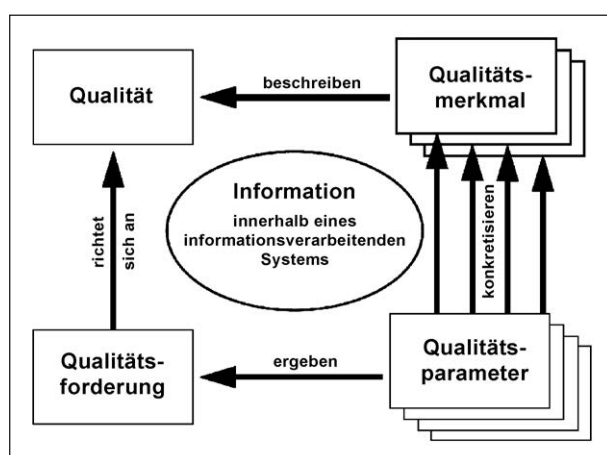


Bild 2-10: Qualitätsmodell für Informationen nach (WILTSCHKO, 2004)

Verkehrsdaten und Ereignisse werden in den beiden folgenden Abschnitten beschrieben. Außerdem werden im FE Aussagen zur Verfügbarkeit (welche Detektoren liefern welche Daten), Aktualität (Zeitverzögerung zwischen Zeitpunkt der Messung bzw. Detektion und Speicherung des Messwertes bzw. der Meldung des Ereignisses) und Vollständigkeit (fehlende oder unvollständige Datensätze) getroffen.

Über Qualitätsparameter erfolgt eine Konkretisierung der Qualitätsmerkmale, was quantitative und qualitative Forderungen sein können. Aus der Summe der Qualitätsparameter ergeben sich wiederum die Qualitätsanforderungen. Der Zusammenhang ist in Bild 2-10 dargestellt (WILTSCHKO, 2004).

Nach (WILTSCHKO, 2004) müssen bei der Beschreibung der Qualität stets dieselben Qualitätsmerkmale betrachtet werden. Dabei sei es notwendig, zwischen verschiedenen Merkmalen zu unterscheiden. Zunächst betrachte man das zeitliche Verhalten, die Zuverlässigkeitsmerkmale. Als zweite Untermenge seien die Integritätsmerkmale zu

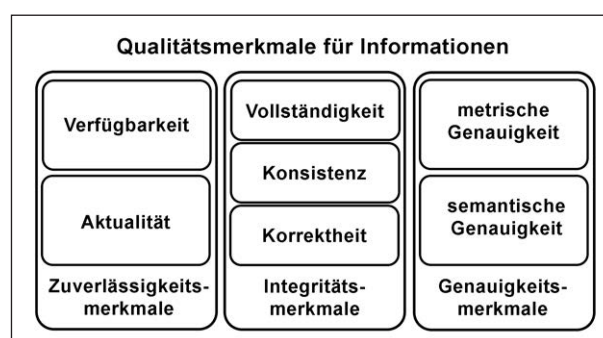


Bild 2-11: Qualitätskriterien nach (WILTSCHKO, 2004)

wählen, welche die Gebrauchstauglichkeit beschreiben. Zuletzt müsse eine Berücksichtigung der Genauigkeitsmerkmale stattfinden, da Daten immer durch Messungen oder Interpretationen entstehen und dies nur in einer begrenzten Auflösung erfolgt (vgl. Bild 2-11).

In Tabelle 2-6 beschreibt (WILTSCHKO, 2004) die sieben Qualitätsmerkmale sehr allgemein um keine Einschränkungen vorzunehmen.

### 2.7.3 Qualitätsbewertung Verkehrsdaten

Verkehrsdaten bilden die Grundlage für die meisten IVS-Dienste. Die Qualität dieser Dienste wird also maßgeblich durch die Qualität der verwendeten Verkehrsdaten beeinflusst. Der Qualitätssicherung der Verkehrsdaten kommt daher eine besondere Bedeutung zu.

Verkehrstechnische Daten werden in der Regel vollautomatisch erfasst, weitergeleitet und in der Verkehrsrechenzentrale analysiert (KIRSCHFINK & von der RUHREN, 2006).

Um eine Qualitätsanalyse von Verkehrsdaten durchführen zu können sind verschiedene Schritte

notwendig. Im Folgenden ist ein Vorschlag von Lösungsmöglichkeiten zur Analyse der aufgenommenen Datenqualität nach (KIRSCHFINK & von der RUHREN, 2006) aufgeführt:

- Plausibilitätsprüfung automatisch erfasster Verkehrsdaten,
- Fehler-Benchmark (Auswertung der Dauer und Häufigkeit von Störungen),
- Vergleichs-Benchmark (Vergleich mehrerer Ganglinien untereinander oder mit einer Referenzganglinie und Berechnung der Abweichungen)
  - Vergleichskorridore (Vergleich von Einzelganglinien),
  - Relativganglinien (Erwartete anteilige Abweichung zweier Ganglinien),
  - Differenzganglinien (vertikaler Abstand zweier Ganglinien).

### Ganglinien Datenbank

Bisher noch unzureichend wird die Möglichkeit der Verkehrsdatenanalyse auf Basis historischer Verkehrsdaten genutzt. Hierzu ist es nötig eine Wissensbasis aufzubauen, in der wesentliche verkehrstechnische Informationen zusammengeführt und verwaltet werden. In einer automatisch erzeugten Ganglinien-Datenbank lassen sich Verkehrsmuster und daraus Optimierungsaufgaben erkennen. Optimiert werden können die Datenaufbereitung, Zeitreihenanalyse, Ermittlung und Beschreibung verkehrstechnischer Modellparameter sowie Zukunftsprognosen (KIRSCHFINK & von der RUHREN, 2006).

Weiterhin ist die Zuverlässigkeit der Daten vor allem von der eingesetzten Sensortechnologie abhängig. So lieferte im Jahr 2005 bei einer Untersuchung ein Drittel der Detektoren Abweichungen von 60 % des tatsächlich gezählten Verkehrsaufkommens (KRAMPE, 2007). Dabei kam es zu vier verschiedenen Fehlertypen:

- Es werden zusätzliche Fahrzeuge benachbarter Fahrstreifen gezählt.
- Es werden zusätzlich passierende Stadtbahnen als mehrere Fahrzeuge gezählt.
- Es werden nicht alle Fahrzeuge, sondern nur ein bestimmter Prozentanteil gezählt.

- Es werden nicht existente Fahrzeuge gezählt.

Aufgrund der auftretenden Fehler ist eine Plausibilitätsprüfung der erhobenen Verkehrsdaten dringend erforderlich.

### Segmentierung und Klassifizierung zur Erkennung von Verkehrsmustern

Für den Aufbau einer Wissensbasis in Form einer Ganglinien-Datenbank ist es notwendig bestimmte Ereignisklassen zu bilden (Wochentage, Feiertage, Ferien, Veranstaltungen, etc.) und die Tagesganglinien dementsprechend zu klassifizieren. Aufgrund der Zusammenfassung von Tagesganglinien nach gleichen Charakteristika, können Verkehrsmuster und relevante verkehrliche Ereignisse erkannt werden. In der Wissensbasis findet dann eine Berechnung von Referenz- oder Musterganglinien auf Basis der vorhandenen Verkehrsmuster statt. Eine Referenzganglinie wird aus mehreren Tagesganglinien eines Verkehrsmusters gebildet und repräsentiert ein bestimmtes Verkehrsmuster (KIRSCHFINK & von der RUHREN, 2006).

(KIRSCHFINK & von der RUHREN, 2006) nennen in ihrem Projekt verschiedene Methoden zum Aufbau einer Wissensbasis:

- Konzeptionelles Data Warehouse: strukturelle Verwaltung und Analyse von Verkehrsmustern.
- Verfahren der Segmentierung mithilfe von Clusteranalyseverfahren: Zusammenfassung von Objekten gleicher Charakteristika; Klassen sind noch nicht bekannt.
- Verfahren der Klassifizierung: Schätzung von Datenwerten in Abhängigkeit von gespeicherten Datenelementen; Objekte werden bestehenden Klassen zugeordnet.

### Ganglinien

Um einen besseren Vergleich zwischen den einzelnen Tagesganglinien zu ermöglichen, werden die plausibilitätsgeprüften Rohdaten auf ein einheitliches Betrachtungsintervall aggregiert, um die Daten zu glätten. Dabei muss beachtet werden, dass das Betrachtungsintervall weder zu groß, noch zu klein gewählt wird, um eine zu starke Glättung oder zu starke kurzfristige Schwankungen zu vermeiden (KIRSCHFINK & von der RUHREN, 2006).

Aufgrund der sich ändernden Verkehrsmuster über längere Zeiträume, die durch saisonale Schwankungen oder zeitliche und räumliche Veränderungen des Verkehrs hervorgerufen werden können, müssen die Referenzganglinien kontinuierlich fortgeschrieben werden. Dazu wird von (KIRSCHFINK & von der RUHREN, 2006) folgende Lösungsmöglichkeit genannt:

- Dynamisches Data Mining: arithmetische Mittelwertbildung der mit diesem Verkehrsmuster verknüpften Tagesganglinie. Die Datengrundlage der Referenzganglinie wird dabei archiviert um eine Neuberechnung jederzeit zu ermöglichen.

Weiterhin ist es bei der Repräsentation von Ganglinien erforderlich, statistische Schwankungen über mehrere Tage darzustellen, Fehlermaße zu entwickeln, welche die Approximationsgüte charakterisieren und eine effiziente Approximation zu erreichen. So sollen charakteristische Verläufe herausgebildet und nicht repräsentative Schwankungen gefiltert werden. Auch hierzu wird von (KIRSCHFINK & von der RUHREN, 2006) eine Lösungsmöglichkeit genannt:

- Fourierdarstellung: Methode zur Analyse zyklischer Schwankungen in Zeitreihen.

Mithilfe der Fuzzy-Datenanalyse oder dem Case-based reasoning kann auf Basis von Verkehrs- und Umfelddaten neben der klassischen Verkehrslagebestimmung auch die Bestimmung und Bewertung von Verkehrssituationen auf einer räumlich übergeordneten Ebene und damit die automatische Ableitung von Handlungsstrategien erfolgen (KIRSCHFINK & von der RUHREN, 2006).

### Qualitätskenngrößen

Die Qualitätskriterien (vgl. Kapitel 2.7.2) werden durch zugehörige Qualitätskenngrößen quantifiziert. Nach MARZ/FGSV AK 3.5.20 wird dabei für die lokale Datenerfassung mit stationären, infrastrukturbasierten Detektoren zwischen Lokalen, Globalen und Plausibilitätskenngrößen unterschieden:

- Bei den Lokalen Qualitätskenngrößen wird für verschiedene Fehler (z. B. fehlende Datensätze, Nulldatensätze, Fehlermeldung 255 durch Detektor) die absolute oder relative Häufigkeit der fehlerhaften Datensätze in einem bestimmten Zeitraum an einem lokalen Detektor oder Mess-

querschnitt ermittelt und bei Überschreitung von parametrierbaren Schwellenwerten angezeigt.

- Bei den Globalen Qualitätskenngrößen wird die Anzahl der Pkw und Lkw (getrennt) in einem längeren Zeitraum (i. d. R. ein Tag) an einem Messquerschnitt ins Verhältnis zur Anzahl der Pkw und Lkw am vorhergehenden/stromaufwärts gelegenen Messquerschnitt gesetzt. Zwischen den beiden Messquerschnitten vorhandene (detektierte) Zu- und Abfahrten müssen bei dieser Bilanzierung ggf. berücksichtigt werden. Wenn die Zählungen und Klassifizierungen an beiden Messquerschnitten und allen dazwischenliegenden Ein- und Ausfahrten korrekt sind, müssen die Werte zu 100 % übereinstimmen. Bei Überzählung, Unterzählung, Falschklassifizierung und/oder nicht detektierten Ein- und Ausfahrten schlagen die Globalen Qualitätskenngrößen unterschiedlich aus. Bei Über- oder Unterschreitung von parametrierbaren Schwellenwerten werden die betreffenden Messquerschnitte markiert. Probleme bei der Interpretation der Globalen Qualitätskenngrößen sind, dass diese nicht nur an den fehlerhaften Messquerschnitten ausschlagen und dass bei mehreren fehlerhaften Messquerschnitten ohne Referenzquerschnitt (siehe dazu Referenzmesssystem VeMAS am Ende dieses Kapitels) die Identifizierung/Unterscheidung zwischen fehlerhaften und nicht fehlerhaften Messquerschnitten schwierig ist. Nicht detektierte Ein- und Ausfahrten mit relativ hohen, nicht symmetrischen Belastungen erschweren die Interpretation der Globalen Qualitätskenngrößen zusätzlich.
- Letztendlich werden noch weitere 22, auch online anwendbare Plausibilitätsprüfungen definiert. Wenn ein Datensatz eine Plausibilitätsprüfung nicht erfüllt, wird der Datensatz für diese Prüfung als fehlerhaft (bzw. auffällig) gezählt und gekennzeichnet. Die Qualitätskenngrößen entsprechen den absoluten oder relativen Häufigkeiten dieser Fehler (bzw. Auffälligkeiten). Übersteigen die Qualitätskenngrößen in einem Zeitraum an einem Detektor oder Messquerschnitt parametrierbare Schwellenwerte, wird dies angezeigt. Typische Plausibilitätsprüfungen sind z. B. dass
  - die Anzahl der Kfz gleich der Summe aus der Anzahl der Pkw und der Anzahl der Lkw sein muss,

- wenn kein Pkw oder Lkw gezählt wurde, der Wert der zugehörige Geschwindigkeitswert definitionsgemäß 255 gesetzt sein muss,
- die Werte der Verkehrskenngrößen innerhalb parametrierbarer unterer und oberer Schwellenwerte liegen müssen und
- auf dem linken Fahrstreifen der Wert der Geschwindigkeit i. d. R. größer und die Anzahl der Lkw kleiner als auf dem rechten Fahrstreifen ist.

Wie oben in Klammern angedeutet, ist das Ausschlagen einer Qualitätskenngröße nicht immer auf einen Fehler zurückzuführen. So führen z. B. häufig Sonderfälle, wie z. B. nächtliche Intervalle mit nur einem relativ schnellen Transporter auf der linken Fahrspur, zum Ausschlagen eines oder mehrerer Qualitätskenngrößen. Im Beispiel würde angezeigt werden, dass der obere Schwellenwert der Lkw-Geschwindigkeit überschritten wurde und dass auf dem linken Fahrstreifen mehr Lkw als auf dem rechten Fahrstreifen gezählt wurde, was aber nicht falsch, sondern der 2+1 Klassifizierung von Transportern als Lkw zuzuschreiben ist.

Für die Bewertung der Qualität von FCD-Rohdaten können GPS-Kenngrößen (z. B. Anzahl empfangener Satelliten, vom GPS angegebene Genauigkeit), Plausibilitätsprüfungen (z. B. Schwellenwerte für Geschwindigkeiten), Formatprüfungen (Zeitstempel, Koordinaten) und Prüfung auf Duplikate (gleicher Datensatz mit unterschiedlicher ID) verwendet werden. Bei bereits auf das Straßennetz referenzierten Daten können außerdem plötzliche Sprünge in der Referenzierung erkannt werden, die z. B. dadurch verursacht werden, dass für die Referenzierung (veraltetes) Kartenmaterial verwendet wird, welches die tatsächlich befahrenen Straßensegmente (noch) nicht enthält.

### Fehlermaße

Für die Bewertung der metrischen Genauigkeit von gemessenen Verkehrsdaten können die folgenden Fehlermaße verwendet werden.

- Fehlerquadrat

Der mittlere quadratische prozentuale Fehler RMSPE (Root Mean Square Percent Error) vergleicht die zu beurteilenden Messwerte der Detektoren mit Referenzwerten. Vorteil ist, dass dieser durch qua-

dratische Gewichtung große Abweichungen stärker berücksichtigt als kleine. Der RMSPE sollte möglichst klein sein.

$$RMSPE(X) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_{mes,i} - X_{ref,i}}{X_{ref,i}} \right)^2} \quad (Gl. 1)$$

- Mittlerer Fehler

Als Indikator für systematische Unterschiede eignet sich der mittlere Fehler MPE (Mean Percent Error). Es ist von Vorteil, den MPE für jeden Detektor einzeln zu jedem Erfassungszeitpunkt zu verwenden.

$$MPE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left( \frac{x_n^{dmes} - x_n^{ref}}{x_n^{ref}} \right) \quad (Gl. 2)$$

- Regressionsanalyse

Um zu prüfen, inwieweit ein Zusammenhang zwischen der Referenz- und der entsprechenden Messgröße besteht, kann eine Korrelations- und Regressionsrechnung durchgeführt werden, wobei der Korrelationskoeffizient die Stärke des Zusammenhangs beschreibt und sowohl die Kovarianz als auch die Standardabweichungen berücksichtigt.

- Ungleichheitskoeffizient nach Thiel

Der Thiel'sche Ungleichheitskoeffizient besteht aus drei Fehleranteilen, die den Verzerrungsanteil, den Nicht-Effizienz-Anteil und den Kovarianzanteil berücksichtigen:

- Der Verzerrungsanteil ist der mittlere quadratische Fehler, der aus Ungleichheit der Mittelwerte folgt, welche durch systematische Über- oder Unterschätzung hervorgerufen werden.
- Die Nicht-Effizienz ist ein Maß für unterschiedliche Varianz.
- Der Kovarianzanteil beschreibt den Fehler eines linearen Zusammenhangs zwischen Zeitreihen.

- Statistische Signifikanz

Für den Stichprobenumfang  $n$  kann ein angestrebtes Signifikanzniveau  $\alpha$  mit der gewünschten abso-

luten Genauigkeit  $e_a$  (Konfidenzintervall) ermittelt werden. Die Streuung  $s^2$  der Stichprobe wird berücksichtigt.  $t$  ist ein Wert aus der Stundenverteilung.

$$n \geq \frac{t(\alpha, n-1)^2 * s^2}{e_a^2} \quad (\text{Gl. 3})$$

- Gesamtabweichung

Hierbei werden die detektierten Daten mit den tatsächlichen, absoluten Werten unter zur Hilfenahme von Ganglinien verglichen. Im Idealfall sollte die Abweichung 0 betragen (LEHNHOFF, 2005).

$$D_{ges} = \sum_{n=1}^N (y_n - x_n) \quad (\text{Gl. 4})$$

$$D_{rel} = \sum_{n=1}^N (y_n - x_n) / \sum_{n=1}^N X_n \quad (\text{Gl. 5})$$

- Korrelationskoeffizient

Der Korrelationskoeffizient  $r$  zwischen den beiden Datenreihen  $X$  und  $Y$  ist definiert als der Quotient aus deren Kovarianz und der Wurzel aus dem Produkt der beiden Varianzen. Er errechnet sich mit folgender Formel:

$$r = \frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X}) * (Y_n - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2 * \sum_{n=1}^N (Y_n - \bar{Y})^2}} \quad (\text{Gl. 6})$$

Der Korrelationskoeffizient schwankt zwischen  $r = -1$  und  $r = 1$ . Der optimale Wert, der dabei erreicht werden kann ist  $r = 1$ . Dieser Wert kennzeichnet einen vollständigen linearen Zusammenhang zwischen den beiden Messreihen. Mit  $r = -1$  wird der Zustand beschrieben, dass ein vollständiger negativer Zusammenhang zwischen den Messreihen besteht und  $r = 0$  zeigt, dass beide Messreihen vollkommen unabhängig voneinander sind. Dabei ist zu beachten, dass bei der Korrelationsanalyse nur die Stärke des Zusammenhangs, also die Ähnlichkeit der Messreihen, geprüft wird. Es kann dabei durchaus sein, dass die Messreihen zwar parallel verlaufen, jedoch auf einem stark unterschiedlichen Verkehrsstärkeniveau (Bild 2-12).

- Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (WMQF)

Der WMQF sagt aus, wie gut die detektierten Daten  $x_n$  an die tatsächlichen Daten  $y_n$  angepasst sind. Er sagt aus, um wie viel im Durchschnitt die detektierten von den tatsächlichen Werten abweichen.  $N$  gibt dabei die Anzahl an Datensätzen an. Der WMQF liegt bei null, wenn alle detektierten Daten mit allen tatsächlichen Daten übereinstimmen.

$$WMQF = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N (y_n - x_n)^2} \quad (\text{Gl. 7})$$

- Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehlerproportional (WMQFP)

Teilt man die WMQF durch den Mittelwert der Messungen, erhält man die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehlerproportional. Vorteil dieser Betrachtung ist, dass die Fehler entsprechend der Größe des eigentlichen Messwerts bewertet werden. Andererseits ergeben sich jedoch auch bei kleinen Werten sehr schnell sehr große Werte für die WMQFP, die dann einen sehr viel ungünstigeren Eindruck erwecken können, als dies anhand anderer Bewertungsgrößen der Fall ist.

$$WMQFP = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N (y_n - x_n)^2 / \sum_{n=1}^N X_n} \quad (\text{Gl. 8})$$

- Vergleich mehrerer Reihen mit „Analysis of Variance“ (ANOVA) Test (Hypothesentest)

$$F = \frac{MSE_b}{MSE_w} \quad (\text{Gl. 9})$$

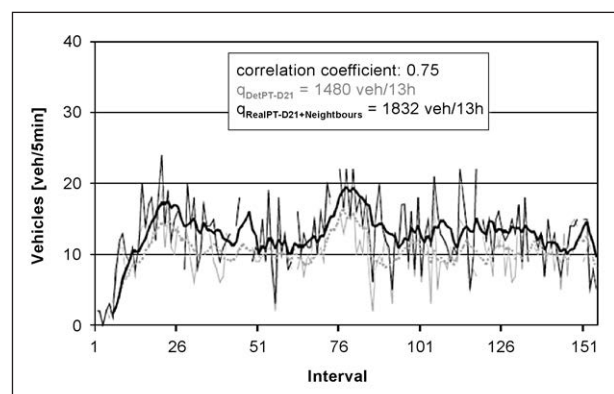


Bild 2-12: Korrelation zwischen Messreihen

Mit der mittleren quadratischen Abweichung zwischen den Alternativen  $MSE_b$  (Mean Square Error between alternatives) und den mittleren quadratischen Abweichungen innerhalb der Alternativen  $MSE_w$  (Mean Square Error within alternatives).

Eine stärkere Sensitivität des ANOVA-Tests erfolgt durch Verringerung des Konfidenzniveaus oder Erhöhung der Anzahl der Stichproben. Für den Vergleich der zwei alternativen Messungen Detektor und Referenz sollte ebenfalls überprüft werden, ob sich eine der Alternativen tatsächlich als signifikant von allen anderen unterscheidet. Erweist sich eine der Alternativen tatsächlich als signifikant unterschiedlich, wird paarweise verglichen.

Dabei gelten folgende Voraussetzungen:

- unabhängige Stichproben,
- normalverteilte Stichproben,
- gleiche Varianz der Alternativen.

### Qualitätsmessverfahren

Die o. g. Qualitätskenngrößen für Verkehrsdaten werden – abgesehen von den Globalen Qualitätskenngrößen – durch inhärente Prüfungen ermittelt (kein Vergleich mit Referenzwerten), die sich auf theoretische Ansätze stützen.

Daneben gibt es aber auch die Möglichkeit, die Qualität von Verkehrsdaten stichprobenhaft durch Vergleichsmessungen zu prüfen.

Die dazu erforderlichen Referenzdaten (Ground Truth) können z. B. durch manuelle Zählung und Fahrzeugklassifizierung direkt vor Ort oder aus zeitlich synchronisierten Videoaufzeichnungen heraus gewonnen werden. Auch die Methode der Referenzganglinien gehört zur Methodik der Vergleichsmessung.

Ein Beispiel für ein automatisches Referenzmesssystem für Verkehrsdaten ist VeMAS (vgl. Bild 2-13). Das mobile Messsystem basiert auf zwei rechtwinklig zueinander angeordneten Laserscannern je Fahrstreifen, die die Hüllkurven von Fahrzeugen bestimmen und somit eine hochgenaue Zählung und Klassifizierung von Fahrzeugen ermöglichen. Durch eine Schnittstelle zur Streckenstation, können die mit VeMAS erfassten Referenzdaten direkt mit den Verkehrsdaten verglichen werden, die von den zu prüfenden Detektoren gemessen wurden.

Das System kann innerhalb kurzer Zeit an Verkehrszeichenbrücken befestigt und kalibriert werden. Für eine kontinuierliche und flächendeckende Qualitätssicherung von Verkehrsdaten/-detektoren ist das System nicht geeignet. Mit VeMAS qualitätsgesicherte Detektoren bzw. Messquerschnitte kön-

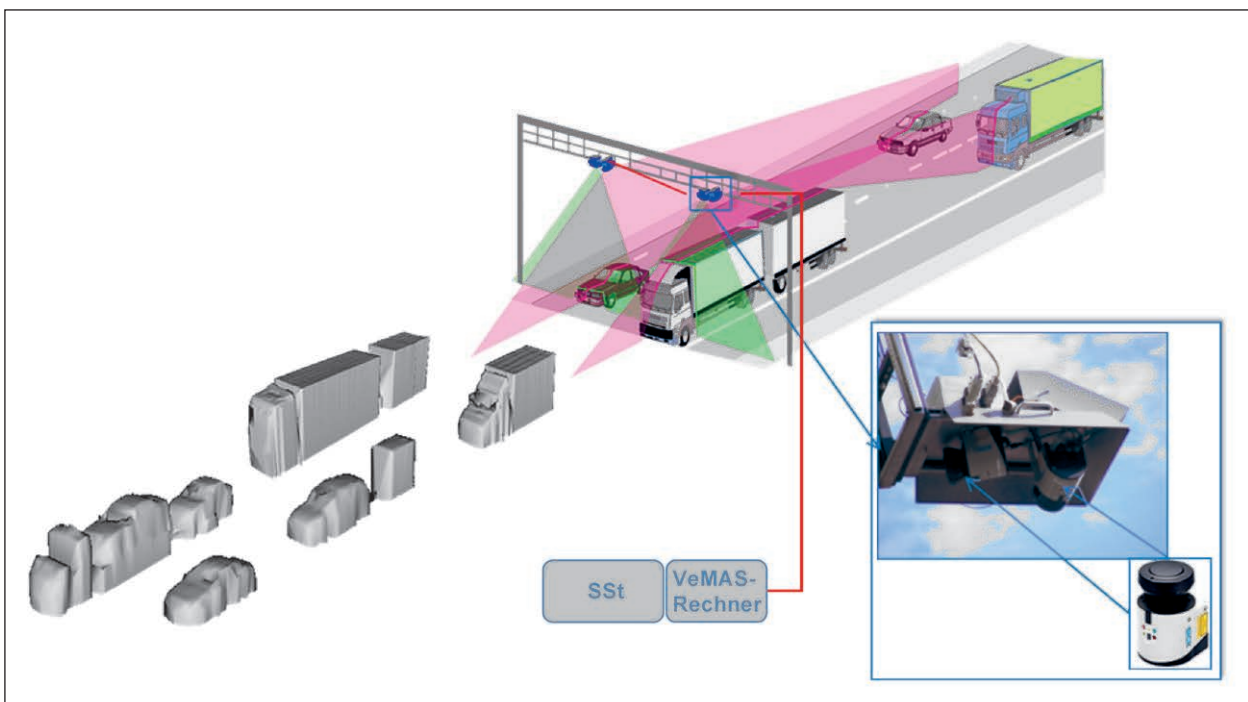


Bild 2-13: Mobiles Referenzmesssystem VeMAS

nen aber als Referenz-/Stützstellen für die kontinuierliche Qualitätssicherung der Zählung und Klassifizierung von Fahrzeugen mittels Bilanzierung/Vergleich benachbarter Messquerschnitte verwendet werden (Globale Indikatoren).

**2.7.4 Qualitätsbewertung Ereignisdetektion**

**Qualitätskenngrößen für binäre Klassifikatoren**

Eine Grundlage für die Steuerung von Verkehr ist die rechtzeitige und zuverlässige Detektion von relevanten Ereignissen, d. h. die Erkennung von verkehrs- und witterungsbedingten Gefahren, wie z. B. Stau oder geringe Sichtweite. Bei den Detektionsverfahren handelt es sich (unabhängig von der gewählten Sensorik) i. d. R. um binäre Klassifikatoren, die die Situationen in zwei Klassen einordnen:

- 1. positiv: Ereignis detektiert
- oder
- 2. negativ: kein Ereignis detektiert.

Bei der Detektion/Klassifikation können Fehler auftreten. Das Ergebnis der Detektion kann also entweder:

- 1. richtig
- oder
- 2. falsch

sein.

Daraus ergeben sich folgende vier Fälle:

- 1. richtig positiv: ein tatsächlich vorhandenes Ereignis wird korrekt detektiert (Treffer),
- 2. falsch negativ: ein tatsächlich vorhandenes Ereignis wird nicht detektiert,
- 3. falsch positiv: es ist kein tatsächliches Ereignis vorhanden aber es wird ein Ereignis detektiert (Fehlalarm),
- 4. richtig negativ: es ist kein tatsächliches Ereignis vorhanden und es wird auch kein Ereignis detektiert.

Diese vier Fälle lassen sich in einer s. g. Wahrheitsmatrix darstellen (Tabelle 2-7).

Anhand der absoluten Häufigkeiten der vier Fälle in einer Stichprobe lassen sich verschiedene Kenngrößen zur Bewertung der Qualität der Detektion als relative Häufigkeiten berechnen.

- Richtig-Positiv-Rate und Falsch-Negativ-Rate

Die Richtig-Positiv-Rate (auch: Sensitivität, Detektionsrate) gibt den Anteil der korrekt detektierten tatsächlich vorhandenen Ereignisse ( $r_p$ ) an allen tatsächlich vorhandenen Ereignissen ( $r_p+f_n$ ) an:

$$rpr = \frac{r_p}{r_p + f_n} \tag{Gl. 10}$$

Die Falsch-Negativ-Rate gibt entsprechend den Anteil der fälschlich nicht detektierten tatsächlich vorhandenen Ereignisse ( $f_n$ ) an allen tatsächlich vorhandenen Ereignissen ( $r_p+f_n$ ) an:

$$fnr = \frac{f_n}{r_p + f_n} \tag{Gl. 11}$$

Die Richtig-Positiv-Rate und die Falsch-Negativ-Rate summieren sich zu 1 bzw. 100 %.

$$rpr + fnr = 1 \tag{Gl. 12}$$

- Falsch-Positiv-Rate und Richtig-Negativ-Rate

Die Falsch-Positiv-Rate (auch: Fehlalarmrate) gibt den Anteil der fälschlich detektierten tatsächlich nicht vorhandenen Ereignisse ( $f_p$ ) an allen tatsächlich nicht vorhandenen Ereignissen ( $f_p+r_n$ ) an:

$$fpr = \frac{f_p}{f_p + r_n} \tag{Gl. 13}$$

Die Richtig-Negativ-Rate (auch: Spezifität) gibt den Anteil der korrekt nicht detektierten tatsächlich nicht vorhandenen Ereignisse ( $r_n$ ) an allen tatsächlich nicht vorhandenen Ereignissen<sup>2</sup> ( $f_p+r_n$ ) an:

$$rnr = \frac{r_n}{f_p + r_n} \tag{Gl. 14}$$

Realität	tatsächliches Ereignis vorhanden ( $r_p+f_n$ )	kein tatsächliches Ereignis vorhanden ( $f_p+r_n$ )
Ereignis detektiert ( $r_p+f_p$ )	richtig positiv ( $r_p$ )	falsch positiv ( $f_p$ )
kein Ereignis detektiert ( $f_n+r_n$ )	falsch negativ ( $f_n$ )	richtig negativ ( $r_n$ )

Tab. 2-7: Wahrheitsmatrix (eigene Darstellung)



Die Falsch-Positiv-Rate und die Richtig-Negativ-Rate summieren sich zu 1 bzw. 100 %:

$$fpr + rnr = 1$$

- Positiver und Negativer Vorhersagewert

Der Positive Vorhersagewert (auch: Relevanz, Genauigkeit) gibt den Anteil der korrekt detektierten tatsächlich vorhandenen Ereignisse ( $r_p$ ) an allen – korrekt oder fälschlich – detektierten Ereignissen ( $r_p+f_p$ ) an:

$$\frac{r_p}{r_n + f_n} \tag{Gl. 15}$$

Der Negative Vorhersagewert (auch: Segreganz, Trennfähigkeit) gibt dem entsprechend den Anteil der korrekt nicht detektierten und tatsächlich nicht vorhandenen Ereignisse ( $r_n$ ) an allen – korrekt oder fälschlich – nicht detektierten Ereignissen ( $r_n+f_n$ ) an:

$$\frac{r_n}{r_n + f_n} \tag{Gl. 16}$$

Der positive und der negative Vorhersagewert summieren sich nicht zu 1 bzw. 100 %.

- Korrektklassifikationsrate und Falschklassifikationsrate

Die Korrektklassifikationsrate gibt den Anteil der korrekt klassifizierten Ereignisse ( $r_p+r_n$ ) an allen Fällen ( $r_p+f_n+f_p+r_n$ ) an:

$$\frac{r_p + r_n}{r_p + f_p + r_n} \tag{Gl. 17}$$

Die Falschklassifikationsrate gibt dementsprechend den Anteil der falsch klassifizierten Ereignisse ( $r_p+r_n$ ) an allen Fällen ( $r_p+f_n+f_p+r_n$ ) an:

$$\frac{f_p + f_n}{r_p + f_p + r_n + f_n} \tag{Gl. 18}$$

Die Richtigklassifikationsrate und die Falschklassifikationsrate summieren sich zu 1 bzw. 100 %.

**Kombinierte Qualitätskenngrößen**

In der Literatur werden verschiedene kombinierte Qualitätskenngrößen vorgeschlagen, die mehrere Qualitätskenngrößen – teilweise gewichtet – zu ei-

ner neuen Qualitätskenngröße kombinieren (z. B. F-Maß). Auf diese wird hier nicht weiter eingegangen.

**Qualitätsdiagramm**

Eine Möglichkeit zwei sich gegenseitig beeinflussende Qualitätskenngrößen darzustellen und daraus eine Qualitätsstufe zu ermitteln, ist es die Werte (x und y) der beiden Qualitätskenngrößen (X und Y) als Punkte (x, y) in ein zweidimensionales (X-Y-) Diagramm einzutragen und die Fläche des Diagramms in verschiedene Qualitätsstufen einzuteilen (z. B. Rechtecke oder konzentrische Kreise). Ein Beispiel für ein solches Qualitätsdiagramm ist in Bild 2-14 dargestellt.

- Gegenseitige Beeinflussung von Qualitätskenngrößen

Die gegenseitige Beeinflussung/negative Korrelation der Richtig-Positiv-Rate und Falsch-Positiv-Rate ist auch bei der Bewertung und bei der (Parameter-) Optimierung von Verfahren zur Ereignisdetektion zu berücksichtigen: Je empfindlicher ein Verfahren ist bzw. eingestellt wird, umso mehr tatsächlich vorhandene Ereignisse werden korrekt detektiert (höhere Richtig-Positiv-Rate), aber auch umso mehr tatsächlich nicht vorhandene Ereignisse werden fälschlich detektiert (höhere-Falsch-Positiv-Rate).

Aus diesem Grund dürfen bei der Bewertung diese beiden Qualitätskenngrößen nicht unabhängig voneinander ermittelt werden. So muss z. B. die Para-

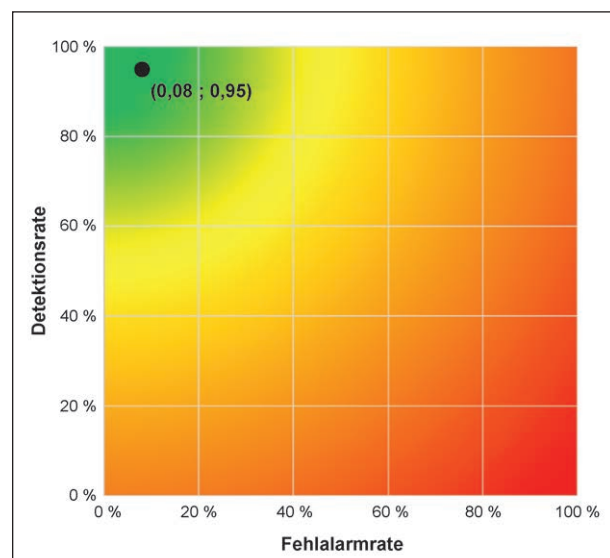


Bild 2-14: Qualitätsdiagramm (eigene Darstellung)

metrierung des Detektionsverfahrens bei der Ermittlung beider Kenngrößen gleich sein, sonst könnte ein Detektionsverfahren für die Ermittlung der Richtig-Positiv-Rate empfindlicher und für die Ermittlung der Falsch-Positiv-Rate unempfindlicher eingestellt werden.

- Verfahrenscharakteristik und Parameteroptimierung

Zur Parameteroptimierung werden einzelne oder mehrere Parameter des Verfahrens gezielt variiert und anhand von definierten Testfällen (Szenarien) für jeden Parameterwert oder -satz die Werte der Qualitätskenngrößen ermittelt und in ein Qualitätsdiagramm eingetragen. Die Kurve durch diese Punkte ergibt die für das Verfahren typische Verfahrenscharakteristik, entlang der sich das Verfahren durch Parametrierung einstellen lässt (vgl. Bild 2-15). Der Verlauf der Kurve ist i. d. R. nicht linear. Werte außerhalb dieser Kurve lassen sich für die definierten Testfälle (von Ungenauigkeiten abgesehen) nur durch Änderungen des Verfahrens bzw. andere Verfahren erzielen.

- Statistische Signifikanz/erforderlicher Stichprobenumfang

Um eine repräsentative Aussage über die Qualität eines Verfahrens zur Ereignisdetektion zu erhalten, muss eine ausreichend große Anzahl an Ereignissen und Alarmen untersucht werden. Je nach Fragestellung kann für binomialverteilte Zufallsgrößen (bei drei gegebenen Größen)

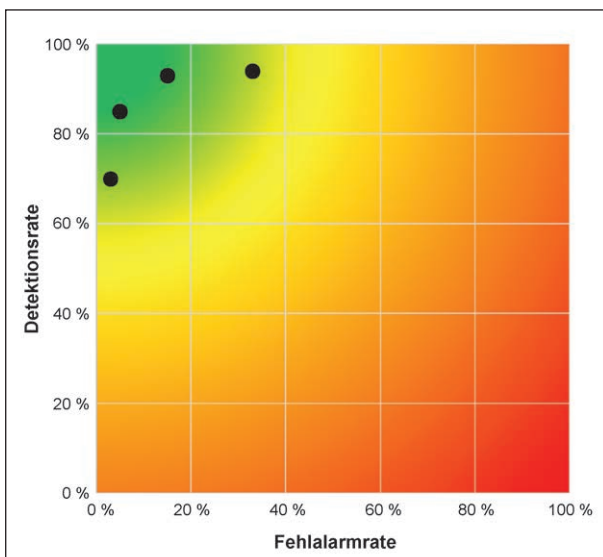


Bild 2-15: Qualitätsdiagramm mit Verfahrenscharakteristik (eigene Darstellung)

- der erforderliche Stichprobenumfang  $n$ ,
- die maximal zulässige Anzahl Fehler  $x$  (fälschlich nicht detektierte tatsächlich vorhandene Ereignisse oder fälschlich detektierte tatsächlich nicht vorhandene Ereignisse) in der Stichprobe,
- das Signifikanzniveau (die Irrtumswahrscheinlichkeit)  $G$  oder
- der Fehleranteil  $p$  (Falsch-Negativ-Rate oder Falsch-Positiv-Rate) in der Grundgesamtheit

zeichnerisch ausreichend genau mithilfe des Larson-Nomogramms (vgl. Bild 2-16) in bestimmt werden.

Bei einer geforderten Richtig-Positiv-Rate in der Grundgesamtheit  $(1-p)$  von mindestens 90 % und einer geforderten Irrtumswahrscheinlichkeit  $G$  von max. 5 % dürften z. B. bei 50 Stichproben maximal 1 und bei 100 Stichproben maximal 5 tatsächlich vorhandene Ereignisse nicht detektiert werden. Derart hohe Stichprobenumfänge (je Ereignistyp/Szenario) sind z. B. im Rahmen von Abnahmetests wirtschaftlich schwer darstellbar. Deshalb muss bei der Wahl der Parameter des Bewertungsverfahrens zwischen geforderter Qualität des Verfahrens zur Ereignisdetektion, statistischer Signifikanz und Wirtschaftlichkeit des Bewertungsverfahrens abgewogen werden.

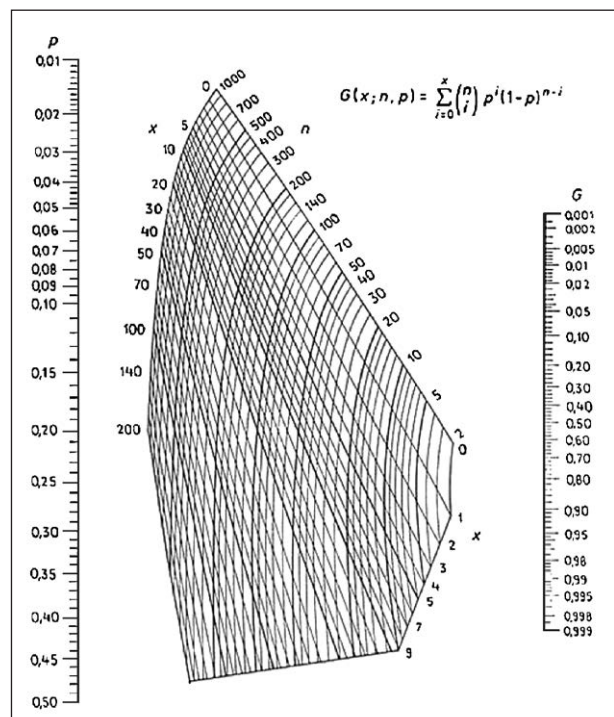


Bild 2-16: Larson-Nomogramm

- Analyse der Informationsqualität auf Grundlage der Booleschen Modellbildung

Die booleschen Zuverlässigkeitsanalyseverfahren sind besonders zur Analyse der allgemeinen Informationsqualität geeignet. Mit ihnen ist eine grafische Darstellung von Systemabläufen sowie eine analytische Auswertung mithilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung möglich. Somit ist eine Beurteilung möglich, ob ein System funktionsfähig ist und welche Schwachstellen es aufweist. Als Grundlage des Analyseverfahrens werden die Schaltalgebra sowie die Boolesche Algebra verwendet. Es gilt:

$$x_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

Mit 1 = Komponente ist funktionsfähig und 0 = Komponente ist ausgefallen. Diese Komponenten können mit verschiedenen Operatoren (und, oder, nicht) verknüpft und mithilfe einer Wahrheitstafel ausgewertet werden. Ein System ist funktionsfähig, wenn alle Komponenten gleichzeitig funktionsfähig sind (WILTSCHKO, 2004).

## 2.7.5 Qualitätsmonitoringsysteme

### LOTRAN-DQ

Die SCHLOTHAUER & WAUER GmbH hat unter dem damaligen Firmennamen TRANSVER GmbH bereits im Jahr 2004 in enger Zusammenarbeit mit der Autobahndirektion Südbayern das Softwarewerkzeug LOTRAN-DQ (Local Traffic Analyzer for Data Quality) zur Qualitätssicherung von Verkehrsdetektoren/-daten entwickelt (Bild 2-17). Ein Server berechnet in einstellbaren Intervallen mehr als 30 Datenqualitätsindikatoren je Detektor bzw. Messquerschnitt (u. a. auch Plausibilitätsprüfungen nach MARZ/FGSV AK 3.5.20 und Bilanzierung der Fahrzeugmengen zwischen benachbarten Messquerschnitten unter Berücksichtigung von Ein- und Ausfahrten) und schreibt diese in eine Datenbank. Von dort aus können die Indikatoren mittels der Bedienoberfläche von mehreren Clients aus abgerufen und in Form von Tabellen und Diagrammen sehr übersichtlich visualisiert und analysiert werden.

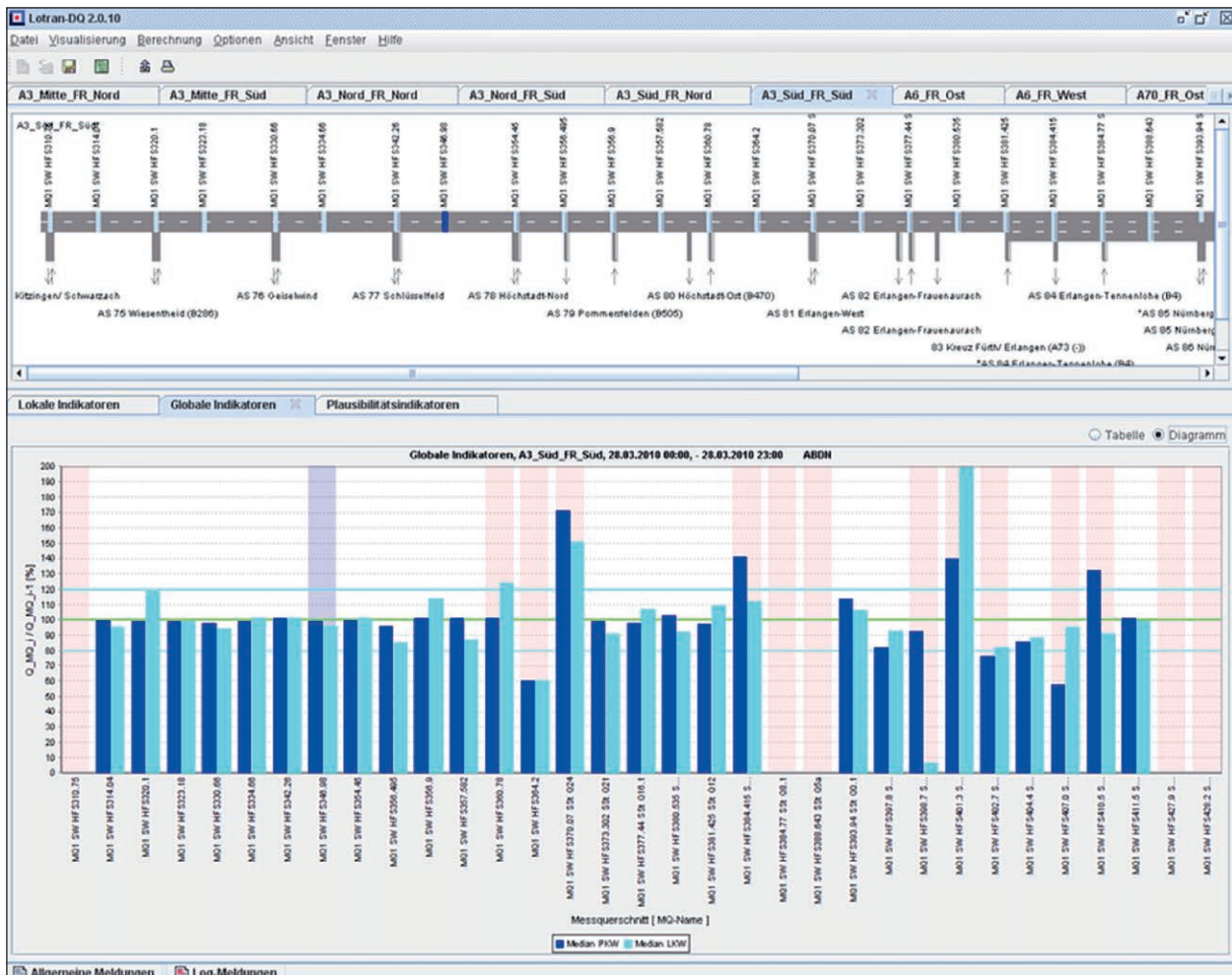


Bild 2-17: LOTRAN-DQ Benutzeroberfläche

Da die Entwicklung der Software vom Bund bezahlt wurde, kann die Software ohne Lizenzgebühren in allen Autobahnverwaltungen der Bundesländer eingesetzt werden. Es entstehen lediglich Kosten für evtl. erforderliche Software-Anpassungen (falls z. B: neue Schnittstellen erforderlich sind oder neue Funktionalitäten gewünscht werden), Versorgung der Infrastrukturdaten, Installation, Schulung und Wartung. Bisher ist LOTRAN-DQ in den Bundesländern Bayern (Nord und Süd), Baden-Württemberg und Niedersachsen im Einsatz. Durch den Einsatz von LOTRAN-DQ für Abnahmen von Detektoren und im täglichen Betrieb konnte die Qualität der Verkehrsdatenerfassung in Südbayern erheblich verbessert werden. Voraussetzung hierfür ist die Bereitstellung von Mitteln und qualifiziertem Personal sowie die Einbettung in ein organisatorisches QM-System.

Im Rahmen des Forschungsprojektes QUATRA wurden neue statistische Verfahren zur Überprüfung der Qualität von Verkehrsdaten entwickelt und in LOTRAN-DQ implementiert. Im Rahmen von Workshops mit mehreren Autobahnverwaltungen/-betreibern wurden zahlreiche Ideen für Verbesserungen und Erweiterungen (vor allem hinsichtlich der Bedienoberfläche) gesammelt.

## PTV TrafficCountManagement

Das Softwarewerkzeug PTV TrafficCountManagement (TCM) (Bild 2-18) ermöglicht es, Zähldaten für Planungszwecke aus unterschiedlichen Quellen zu importieren, zu bearbeiten und zu analysieren. Die Zähldaten werden beim Import automatisch auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft und bei erkannten Fehlern farblich markiert.

Konkrete Angaben zu den implementierten Plausibilitätsprüfungen werden nicht gemacht.

## pwpTM-A

„Das pwpTM-A ist ein Softwarewerkzeug für Analysen von Verkehrsdaten, für Qualitätsmonitoring und zur Wirkungsermittlung von Maßnahmen des Verkehrsmanagements. Es kann zu folgenden Zwecken eingesetzt werden:

- Kontinuierliches Qualitätsmonitoring verkehrlicher Kenngrößen,
- Wirkungsermittlung von Steuerungsstrategien bzw. verkehrlichen Maßnahmen und
- Ganglinienermittlung basierend auf historischen Verkehrslageinformationen.

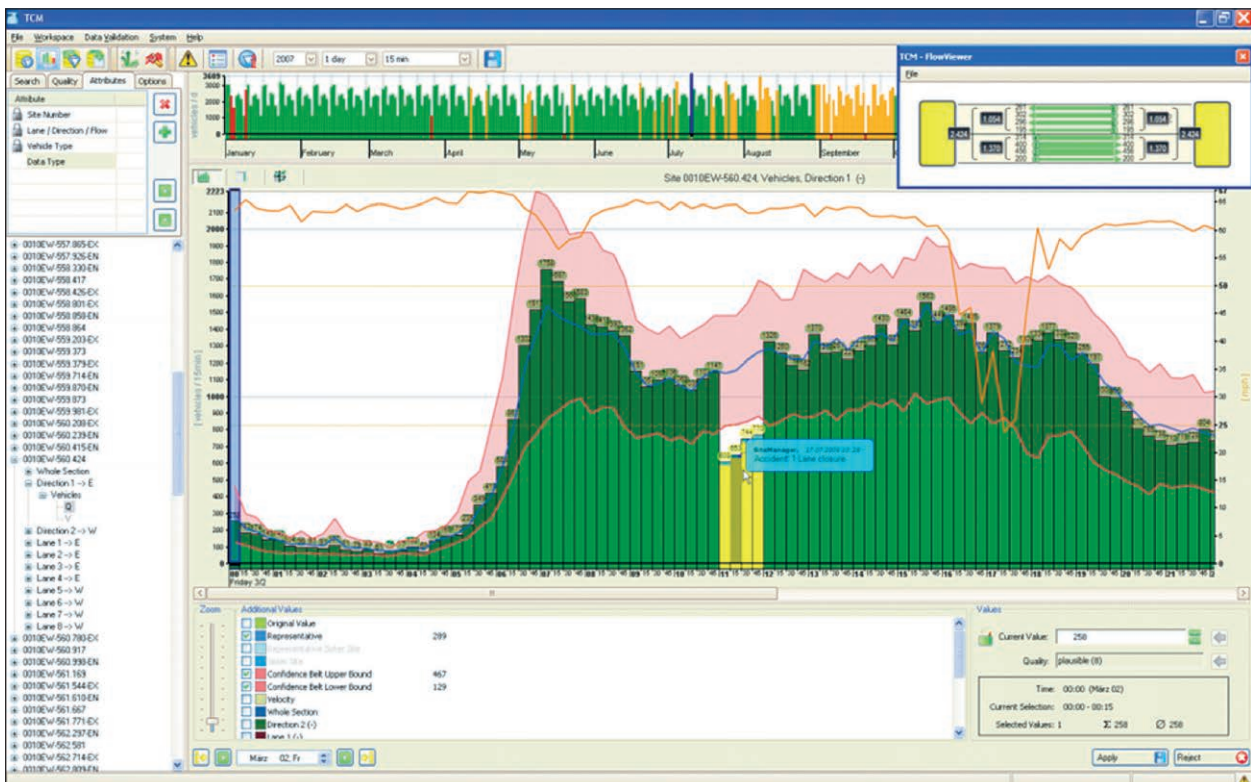


Bild 2-18: PTV TrafficCountManagement (PTV, 2010)

Der Leistungsumfang umfasst, basierend auf aktuellen, strecken- und richtungsbezogenen Verkehrslageinformationen im motorisierten Individualverkehr, die Analyse zahlreicher verkehrlicher Kenngrößen bzw. Qualitätskriterien sowie deren Bewertung in Qualitätsstufen (Level-of-Service). Das Produkt setzt direkt auf die Traffic Plattform der PTV AG auf, kann aber auch für andere Datenquellen genutzt werden.“ [http://www.pwp-systems.de/software/]

**Traffic IQ**

Zur Visualisierung der im Forschungsprojekt Traffic-IQ zusammengestellten Qualitätsindikatoren wurde ein prototypischer Systemmonitor entwickelt (Bild 2-19). Dieser zeigt die Ausprägung der normierten Indikatorwerte in Ampelfarben in einer hierarchischen Baumstruktur und einer Karte an. Außerdem wird der zeitliche Verlauf der Indikatorwerte als Ganglinie dargestellt.

Konkrete Angaben zu den implementierten Verfahren und Kriterien zur Bewertung der Qualität der Verkehrsdaten werden nicht gemacht.

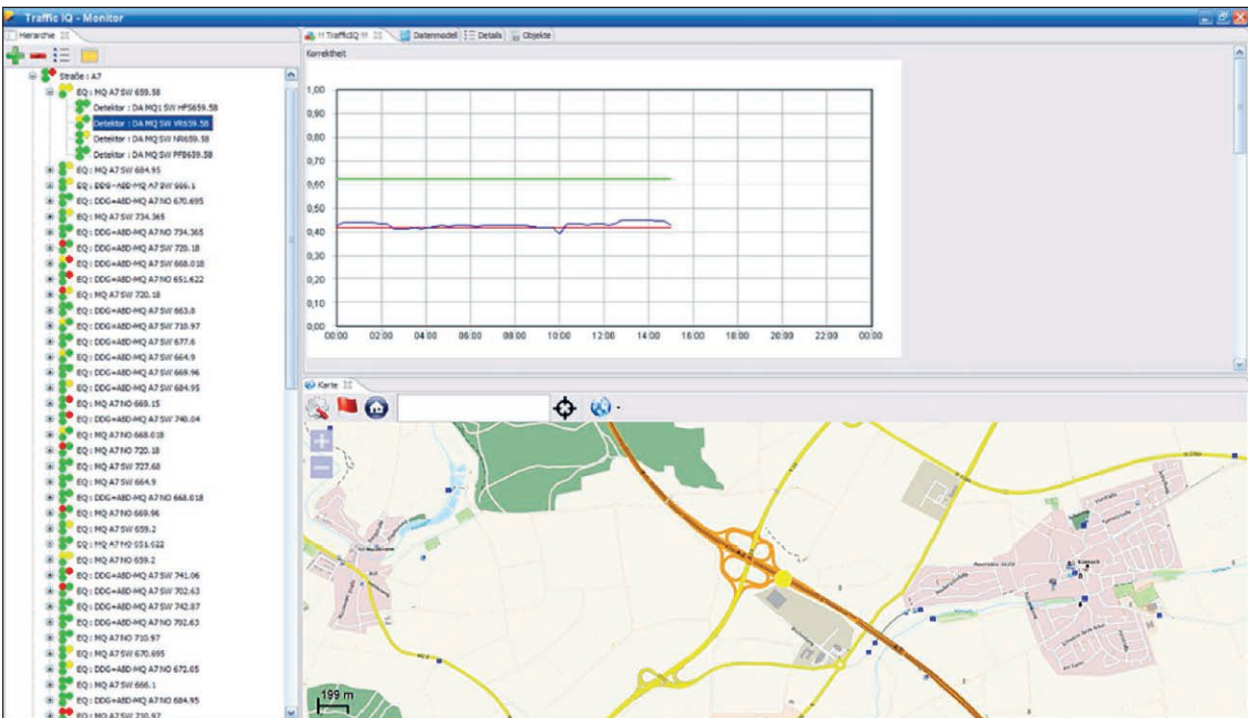


Bild 2-19: Traffic IQ Systemmonitor (von EICKEN, 2013)

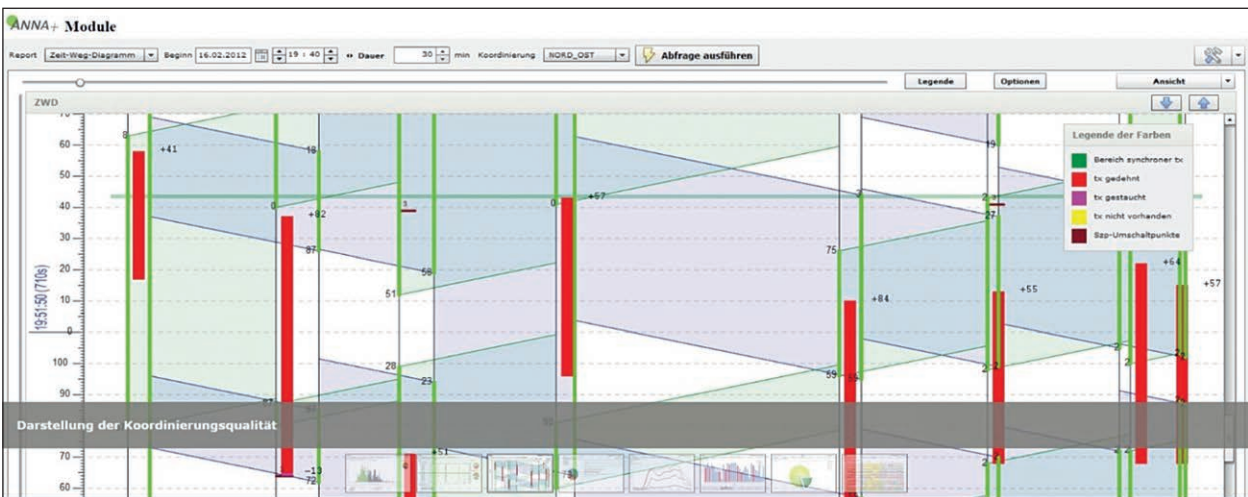


Bild 2-20: ANNA+ Qualitätsanalysestsystem für LSA (SCHLOTHAUER & WAUER, 2018)

## ANNA+

ANNA+ ist ein webbasiertes, Qualitätsanalysesystem für LSA (Bild 2-20). Es ermöglicht regelmäßige und detaillierte Überprüfungen der Steuerung über rein zielorientierte Analysen hinaus.

- Induktionsschleifensensorik (ISD),
- Magnetfeldsensorik (MFD),
- Radarsensorik (RD),
- Videobildsensorik (VD),
- Wärmebildsensorik (WBD).

## 3 Testumfang und Verfahren

### 3.1 Vorgehensweise

Nachdem im Kapitel 2 der Stand der Wissenschaft und Technik beschrieben wurde, soll in Kapitel 3 der Testumfang des Projekts erläutert, sowie ein Testumfang und Verfahren zur objektiven Messung der Qualität der von den verschiedenen Detektoren gelieferten Verkehrskenngrößen und Ereignisse erarbeitet werden. Durch die Verknüpfung der Qualitätskenngrößen mit den Bedingungen vor Ort können Fehlerursachen und Einflussgrößen auf die Qualität der Detektion für die verschiedenen Detektoren und – falls verallgemeinerbar – Detektionstechnologien ermittelt werden.

Dazu wird unter Nutzung von Synergien mit dem ebenfalls von der SCHLOTHAUER & WAUER GmbH (ehemals TRANSVER GmbH) bearbeiteten BAST FE 03.0505/2012/IRB „Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste“ in einem ersten Schritt ein möglichst allgemeingültiges Qualitätsmodell definiert, das für alle Arten von Verkehrsdaten und -informationen (z. B. Reisezeit- und Baustelleninformationen) anwendbar sein sollte (Kapitel 3.2). In einem zweiten Schritt wird dieses Qualitätsmodell für den Anwendungsfall Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten angepasst und konkretisiert (Kapitel 3.4).

Das Qualitätsmodell kann z. B. im Rahmen eines übergeordneten prozessorientierten organisatorischen Qualitätsmanagements (z. B. nach DIN ISO 9001) als Werkzeug zur Messung der Qualität eingesetzt werden.

### 3.2 Untersuchte Detektionstechnologien

Für die im Projekt durchzuführenden Untersuchungen wurden folgende fünf gängige Detektionstechnologien ausgewählt:

### 3.3 Allgemeingültiges Qualitätsmodell für Verkehrsdaten und -informationen

#### 3.3.1 Qualitätsbegriffe

Die Qualität ist ein Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines zu bewertenden (Qualitäts-)Objektes die (Qualitäts-)Anforderungen oder Erwartungen einer Ziel-/Nutzergruppe erfüllt. Die Anforderungen oder Erwartungen verschiedener Ziel-/Nutzergruppen an ein Objekt können variieren. Ein Qualitätsziel beschreibt die angestrebte oder zu erreichende Qualität. Die Qualitätsbewertung ist das Verfahren, mit dem die Qualität des Objektes in Bezug auf die Anforderungen gemessen werden kann. Die Qualitätsbewertung erfolgt für verschiedene Qualitätskriterien (z. T. auch Qualitätsmerkmale genannt), die durch Qualitätskenngrößen quantifiziert werden.

Als Grundlage für die Definition des Qualitätsmodells werden die unter Kapitel 2.7 erläuterten Qualitätsmerkmale für Informationen nach (WILTSCHKO, 2004) verwendet.

#### 3.3.2 Dimensionen des Qualitätsmodells

Das Qualitätsmodell soll so aufgebaut werden, dass die Qualität durch Aggregation (Kapitel 3.3.3) oder Disaggregation für folgende Dimensionen bestimmt werden kann:

- Die kleinste Dimension bzw. Einheit bildet ein Element einer Information/eines Datensatzes. Das kann z. B. eine Verkehrskenngröße, aber auch ein zugehöriger Zeitstempel oder eine Ortsangabe oder sogar eine Qualitätskenngröße (als Metadaten) sein.
- Die nächst größere Dimension bildet die Information/der Datensatz, die/der i. d. R. mehrere Elemente enthält.
- Die Qualität eines Elementes oder einer Information/eines Datensatzes kann für einen be-

stimmten Ort (Punkt, Strecke, Streckennetz, Gebiet) und/oder eine bestimmte Zeit (Zeitpunkt, Zeitintervall, Zeitraum) bestimmt werden.

- Außerdem ist es möglich, die Qualität eines Elementes oder einer Information/eines Datensatzes für verschiedene Punkte der Prozesskette zu bestimmen. Die typische Prozesskette für Verkehrsdaten und -informationen „Erfassung – Verarbeitung – Übertragung – Darstellung“ muss für jede Anwendung spezifiziert und detailliert werden.
- Letztendlich können mehrere Qualitätskenngrößen zu übergeordneten Qualitätskriterien und diese wiederum zu einer Gesamtqualität zusammengefasst werden.

### 3.3.3 Aggregation der Qualitätskenngrößen

Qualitätskenngrößen können einen absoluten, relativen oder binären Wertebereich haben. Um mehrere Qualitätskenngrößen mit unterschiedlichen Wertebereichen aggregieren zu können, müssen diese ggf. vorab wie folgt umgewandelt werden:

- Absolute Werte (z. B. die Differenz zwischen der von einem Detektor gemessenen Anzahl Fahrzeuge und der tatsächlichen Anzahl Fahrzeuge in einem Zeitintervall) können durch Vergleiche mit zugehörigen Schwellenwerten (z. B. maximal zulässige Differenz der Zählwerte in einem Zeitintervall) in binäre Werte (0 = Prüfung nicht bestanden/Schwellenwert nicht eingehalten oder 1 = Prüfung bestanden/Schwellenwert eingehalten) umgewandelt werden.
- Binäre Werte können durch Aggregationen (z. B. über alle Zeitintervalle eines Untersuchungszeit-

raums) in absolute Häufigkeiten (z. B. Anzahl der Zeitintervalle mit bestandener Prüfung) oder in relative Häufigkeiten (z. B. Anteil der Zeitintervalle mit bestandener Prüfung an allen Zeitintervallen, von 0 = Prüfung für alle Zeitintervalle nicht bestanden bis 1 = Prüfung für alle Zeitintervalle bestanden) umgewandelt werden.

- Relative Werte (z. B. Anteil der Zeitintervalle mit bestandener Prüfung an allen Zeitintervallen) können wiederum durch Vergleiche mit zugehörigen Schwellenwerten (z. B. minimal zulässiger Anteil der Zeitintervalle mit bestandener Prüfung an allen Zeitintervallen) in binäre Werte (0 = Prüfung nicht bestanden/Schwellenwert nicht eingehalten oder 1 = Prüfung bestanden/Schwellenwert eingehalten) umgewandelt werden.
- Für die Aggregationen von absoluten und relativen Werten bieten sich statistische Kenngrößen wie z. B. (gewichtete) Mittelwerte, Perzentile (z. B. Median) und andere Streuungsmaße (z. B. Standardabweichung) an.
- Für die Aggregation von binären Werten ist entscheidend, ob beurteilt werden soll, ob die Prüfung mindestens einmal (logische ODER-Verknüpfung), immer (logische UND-Verknüpfung), wie absolut häufig (Summe) oder wie relativ häufig (Anteil) bestanden wurde.
- Für die Berechnung der (relativen oder binären) Qualitätskriterien und deren Aggregation zu einer Gesamtqualität wird hier außerdem vereinfachend angenommen, dass die Qualitätskriterien – mit Ausnahme der Aktualität – immer Teilmenge der in Bild 3-1 übergeordneten Qualitätskriterien sind. Das heißt z. B., dass eine Verkehrskenngröße nur genau sein kann, wenn sie

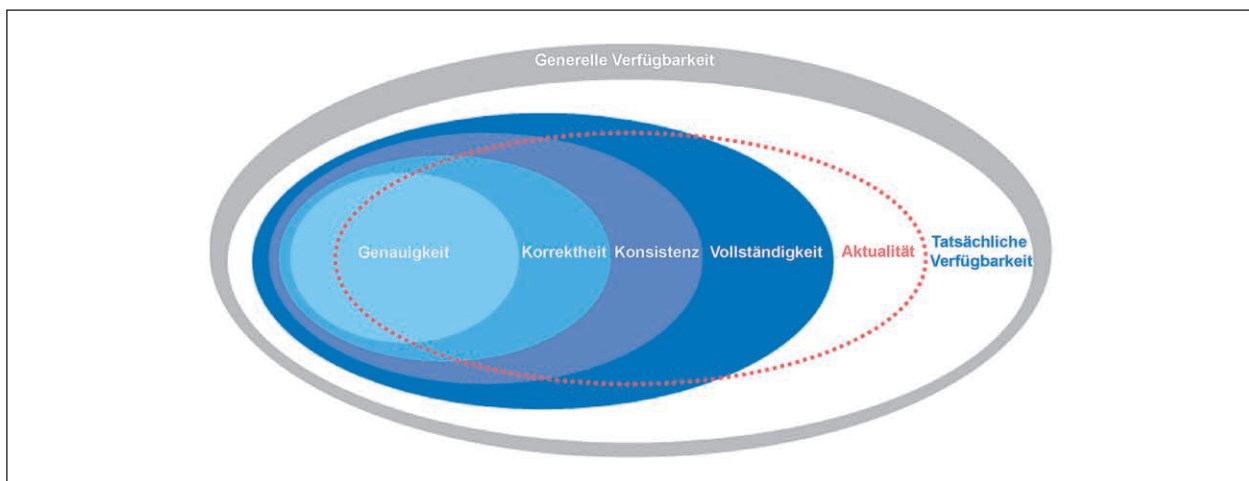


Bild 3-1: Mengendarstellung der Qualitätskriterien

verfügbar, vollständig, konsistent und korrekt ist. Sie kann aber genau sein, obwohl sie zu spät geliefert wurde, das heißt, nicht mehr aktuell war.

### 3.4 Anpassung des Qualitätsmodells für Verkehrserfassung an LSA

#### 3.4.1 Dimensionen

Für die Bewertung der Qualität, der von einem Detektor erfassten bzw. gelieferten Verkehrskenngrößen oder Ereignisse kann das zuvor definierte Qualitätsmodell (Kapitel 3.2) wie folgt angepasst bzw. reduziert werden:

Die kleinste Dimension bzw. Einheit bildet der Wert einer zu bewertenden Verkehrskenngröße in einem Datensatz. Die Genauigkeit (Synchronisation) des Zeitstempels und die Korrektheit der Ortsangabe (Detektor + Detektionsbereich) ist eine Voraussetzung für die Bewertung der Qualität der Verkehrskenngröße und somit zu prüfen/sicherzustellen.

Die nächst größere Dimension bildet der Datensatz, der i. d. R. mehrere Verkehrskenngrößen enthält.

Die Qualität der Verkehrskenngröße/des Datensatzes wird für einen festen Ort (Detektor + Detektionsbereich) und einen Zeitpunkt oder – bei aggregierten Verkehrskenngrößen – ein Zeitintervall bestimmt und kann für den Untersuchungszeitraum über mehrere Zeitintervalle aggregiert werden.

Die Bewertung der Qualität der Verkehrskenngröße erfolgt im Rahmen des Projektes primär anhand der Aufzeichnungen im LSA-Steuergerät, das heißt, nach Erfassung durch den Sensor, Verarbeitung durch den Detektor und Übertragung an das Steuergerät. Bei Erkennung von Qualitätsmängeln (z. B. fehlenden Datensätzen) werden zur Ursachenforschung ggf. auch vorherige Prozessschritte untersucht. Mängel, die nicht den Detektoren angelastet werden können, wie z. B. ein Ausfall des LSA-Steuergerätes, werden bei der Bewertung der Qualität herausgerechnet.

Da im Rahmen des Projektes die Eignung verschiedener Detektoren bzw. Detektionstechnologien und die Einflussgrößen auf die Qualität der erfassten Verkehrskenngrößen und Ereignisse im Detail erforscht werden sollen, ist die Aggregation der einzelnen Qualitätskenngrößen zu übergeordneten

Qualitätskriterien und dieser wiederum zu einer Gesamtqualität<sup>1</sup> nur nebensächlich. Primär geht es um die Ermittlung der Genauigkeit (für Verkehrskenngrößen) bzw. Korrektheit (für Ereignisse).

#### 3.4.2 Verkehrskenngrößen und Ereignisse

Im Rahmen der weiteren Untersuchungen wurde die Qualität folgender Verkehrskenngrößen bewertet:

- Anwesenheit mIV (Anforderung der Freigabezeit),
- Zählung mIV,
- Zeitlücke mIV (Verlängerung der Freigabezeit),

Nicht untersucht wird die Qualität folgender Verkehrskenngrößen und Ereignisse (Begründung in Klammern):

- Flanke (ansteigende und abfallende Flanken werden von den Detektoren oder vom LSA-Steuergerät als Eingangssignale/Basis für die Berechnung anderer Verkehrskenngrößen, wie z. B. der Anwesenheit verwendet, die bereits untersucht werden),
- Belegung Radfahrer (wird nicht detektiert),
- (Rück-)Stau (wegen unterschiedlichen Definitionen von Stau),
- Zählung Fußgänger (wird nicht detektiert),
- Klassifizierung mIV 2+1 (Detektion nicht möglich),
- Klassifizierung Radfahrer (bilden eine eigene Klasse, bei 2+1 in andere enthalten, Überprüfung bei Zählung),
- Klassifizierung Fußgänger (bilden eine eigene Klasse, keine Klassifizierung da keine Zählung),
- Zeitlücken Radfahrer und Fußgänger (wird nicht detektiert),
- Geschwindigkeit (nicht benötigt, aufwendige manuelle Referenzmessungen),
- Wartezeit (Detektion noch in Entwicklung).

<sup>1</sup> Aggregierte Qualitätskennzahlen werden häufig für Qualitätsberichte auf Managementebene verwendet, lassen aber keine detaillierten Untersuchungen bzw. Aussagen z. B. zu Ursachen für Qualitätsmängel zu.



### 3.4.3 Qualitätskenngrößen

#### Qualitätskenngrößen zur Verfügbarkeit

Bei der Verfügbarkeit kann zwischen genereller und tatsächlicher Verfügbarkeit unterschieden werden.

Die generelle Verfügbarkeit hängt davon ab, ob ein Detektor technisch in der Lage ist, die für die LSA-Steuerung benötigten Verkehrskenngrößen (vgl. Kapitel 3.4.2) zu erfassen. Sie dient also für eine erste Auswahl geeigneter Detektoren vor Beginn der eigentlichen Tests (ex-ante). Die generelle Verfügbarkeit kann z. B. anhand von Herstellerangaben (vgl. Tabelle 4-1) mit den folgenden Qualitätskenngrößen beschrieben werden<sup>2</sup>:

- Generelle Verfügbarkeit Anwesenheit mIV Kann die Anwesenheit von Fahrzeugen des mIV erfasst werden? [0;1]
- Generelle Verfügbarkeit Belegung mIV Kann die Belegung durch Fahrzeuge des mIV erfasst werden? [0;1]
- Generelle Verfügbarkeit Zählung mIV Kann die Anzahl von Fahrzeugen des mIV erfasst werden? [0;1]
- Generelle Verfügbarkeit Zeitlücke mIV Kann die Zeitlücke zwischen Fahrzeugen des mIV erfasst werden? [0;1]

Die tatsächliche Verfügbarkeit beschreibt, ob die für die LSA-Steuerung benötigte Verkehrskenngröße bis zu einem spätestens möglichen Zeitpunkt (ex-post) tatsächlich vom Detektor geliefert wurde oder z. B. aufgrund von Ausfall des Detektors oder der Datenübertragung gefehlt hat. Der spätestens mögliche Zeitpunkt (bzw. das maximale Alter) ist somit ein Parameter des Qualitätsmessverfahrens, der festzulegen ist. Die tatsächliche Verfügbarkeit kann mit den folgenden Qualitätskenngrößen beschrieben werden:

- Tatsächliche Verfügbarkeit Anwesenheit mIV Waren Daten zur Anwesenheit von Fahrzeugen des mIV<sup>3</sup> tatsächlich verfügbar? [0;1]

- Tatsächliche Verfügbarkeit Belegung mIV Waren Daten zur Belegung durch Fahrzeuge des mIV tatsächlich verfügbar? [0;1]
- Tatsächliche Verfügbarkeit Zählung mIV Waren Daten zur Anzahl von Fahrzeugen des mIV tatsächlich verfügbar? [0;1]
- Tatsächliche Verfügbarkeit Zeitlücke mIV Waren Daten zur Zeitlücke zwischen Fahrzeugen des mIV tatsächlich verfügbar? [0;1]

#### Qualitätskenngrößen zur Aktualität

Die Aktualität der Verkehrskenngrößen steht im direkten Zusammenhang mit dem Alter der Daten, sprich der Zeitdifferenz (Dauer) zwischen dem Zeitpunkt, an dem das zu erfassende Objekt (Fahrzeug, Radfahrer oder Fußgänger) den Erfassungsbereich des Sensors in ausreichendem Maße tatsächlich erreicht hat und dem (End-)Zeitpunkt des für die Bewertung der Qualität relevanten Prozesses.

Der Zeitpunkt, an dem das zu erfassende Objekt den Erfassungsbereich des Sensors in ausreichendem Maße tatsächlich erreicht, kann nur anhand von Stichproben manuell aus Videobildern ermittelt werden (vgl. Kapitel 3.4.4).

Was „in ausreichendem Maße“ heißt, ist als Parameter des Qualitätsmessverfahrens zu definieren (z. B. X % des Erfassungsbereichs müssen vom zu erfassenden Objekt belegt werden) und ist wahrscheinlich von Sensor zu Sensor unterschiedlich (z. B. Magnetfeld vs. Video). Für die Bewertung der Erfassungsqualität – insbesondere beim direkten Vergleich mehrerer Detektoren – sind der Erfassungsbereich und das „ausreichende Maß“ nicht in Abhängigkeit vom Sensor bzw. den Sensoren, sondern unter Berücksichtigung der Anforderungen der Anwendung festzulegen. Der Sensor bzw. die Sensoren sind dann so einzurichten, dass sie die Anforderungen der Anwendung bestmöglich erfüllen (z. B. mehrere Magnetfeldsensoren zur Abdeckung einer größeren Fläche).

Für die Bewertung der Qualität im Rahmen dieses Projektes ist der (End-)Zeitpunkt der Aufzeichnung im LSA-Steuergerät relevant. Das Alter der Daten ist hier also die Summe der Dauern der Prozesse Erfassung, Verarbeitung, Übertragung und Speicherung. Der Zeitpunkt der Aufzeichnung der Daten im LSA-Steuergerät (und ggf. weiterer Zeitstempel für Punkte der Prozesskette) muss softwareseitig protokolliert werden.

<sup>2</sup> Dargestellt sind hier und im Folgenden nur Prüfungen für die Verkehrskenngrößen, deren Qualität laut Lfd.-Nr. 801 des Protokolls der 1. Betreuerkreissitzung und des Testfeldtreffens vom 22.09.2015 primär oder sekundär bewertet werden soll.

<sup>3</sup> Hier und im Folgenden wird natürlich davon ausgegangen, dass in der Stichprobe auch tatsächlich Fahrzeuge des mIV/Radfahrer/Fußgänger anwesend waren.

Für die Ermittlung der Aktualität ist es zwingend notwendig, dass die Uhren aller Geräte absolut synchron laufen (UTC über Zeitserver oder GPS). Ggf. könnte die Korrektheit [0;1] oder die Genauigkeit (Abweichung) [ms] der Uhrzeit des Detektors als weitere Qualitätskenngröße eingeführt werden, sollte aber z. B. bei Verwendung eines Zeitserverns nicht relevant sein.

Anhand des so ermittelten Alters der Daten kann die Aktualität der einzelnen Verkehrskenngrößen als absoluter Wert [ms] oder durch Vergleich mit einem maximal zulässigen Schwellenwert, der als Parameter des Qualitätsmessverfahrens festzulegen ist<sup>4</sup>, als binärer Wert [0;1] angegeben werden. Da i. d. R. alle ein Objekt betreffenden Verkehrskenngrößen gleichzeitig erfasst und in einem Datensatz gemeinsam übertragen und gespeichert werden, ist das Alter aller Verkehrskenngrößen eines Datensatzes i. d. R. gleich.

Falls ein Detektor zeitlich aggregierte oder geglättete Daten liefert hat die Dauer des Aggregationsintervalls [s] oder des gleitenden Zeitfensters [s] einen entscheidenden Einfluss auf die Aktualität der Daten und könnte somit als weitere Qualitätskenngröße angegeben werden.

### Qualitätskenngrößen zur Vollständigkeit

Die Vollständigkeit eines (verfügbaren) Datensatzes gibt an, ob für alle definierten oder zumindest alle zwingend erforderlichen Elemente auch tatsächlich Werte enthalten sind [0;1]. Erforderliche Elemente können Verkehrskenngrößen aber auch Orts- und Zeitangaben sein, ohne die eine eindeutige Referenzierung der Verkehrskenngrößen nicht möglich wäre. Um die Vollständigkeit beurteilen zu können, ist es wichtig, dass erkennbar ist, ob der Detektor kein Objekt erfasst hat (Wert = 0) oder ob der Wert fehlt (Wert = NULL bzw. LEER).

### Qualitätskenngrößen zur Konsistenz

Bei der Konsistenzprüfung sollte zuerst (also noch vor Prüfung der tatsächlichen Verfügbarkeit) geprüft werden, ob das Format bzw. die Formatierung der

Datei, in der die Daten gespeichert sind, den Vorgaben entspricht, da die Daten sonst vielleicht gar nicht gelesen werden können oder – schwieriger erkennbar – fehlerhaft gelesen werden (z. B. vertauschte Spalten bzw. Werte für Verkehrskenngrößen).

Mögliche Prüfungen für das im Rahmen dieses Projektes verwendeten CSV-Format sind, ob die Anzahl und die Reihenfolge der Spalten stimmen und ob die richtigen Trennzeichen (Spalten, Dezimal und Tausender) verwendet wurden.

Anschließend können die in der Datei gespeicherten (verfügbaren) Werte für jedes einzelne Element auf Konsistenz geprüft werden:

- Konsistenz Datentyp: Stimmt der Datentyp mit dem im Informationsmodell vorgegebenen Datentyp (z. B. Boolean, Enumeration, Float, Integer, Zeichenfolge, Zeitstempel) überein? [0;1]
- Konsistenz Einheit: Stimmt die Maßeinheit mit der im Informationsmodell vorgegebenen Maßeinheit (z. B. km/h) überein? [0;1]
- Konsistenz Format: Stimmt das Format mit dem im Informationsmodell vorgegebenen Format (z. B. yyyy.mm.dd hh:mm:ss.ms für Zeitstempel) überein? [0;1]
- Konsistenz Wertebereich: Stimmt der Wertebereich mit dem im Informationsmodell vorgegebenen Wertebereich (z. B. vordefinierte zulässige Begriffe bei Enumerationen) überein [0;1]

Die Formatierung der Datei sowie Datentypen, Einheiten, Formate und ggf. Wertebereiche der einzelnen Elemente werden im Laufe des Projektes definiert.

### Qualitätskenngrößen zur Korrektheit

Die (verfügbaren UND konsistenten) Werte der Verkehrskenngrößen können zunächst anhand folgender Plausibilitätsprüfungen ohne aufwendige Erhebung von Referenzdaten auf Korrektheit geprüft werden, wobei das Nichtbestehen einer oder mehrerer referenzfreier Prüfungen ein Hinweis (Indikator) dafür ist, dass der Wert der Verkehrskenngröße fehlerhaft ist bzw. sein könnte. Umgekehrt bedeutet das Bestehen aller referenzfreien Prüfungen noch nicht, dass der Wert tatsächlich korrekt ist. Diese Aussage kann nur anhand referenzierender Prüfungen getroffen werden.

<sup>4</sup> Wird auch für die Ermittlung der tatsächlichen Verfügbarkeit benötigt.

### Referenzfreie Plausibilitätsprüfungen

- **Korrektheit Zählung bei Klassifizierung** Wenn bei Klassifizierung der Objekte von einem Detektor die Anzahl der Objekte je Klasse und die Gesamtanzahl der Objekte über alle Klassen geliefert wird, dann muss die Summe der Anzahl der Objekte der einzelnen Klassen der Gesamtanzahl entsprechen. [0;1]
- **Korrektheit Wertebereich** Um die Korrektheit des Wertebereichs zu ermitteln, wird für jede Verkehrskenngröße geprüft, ob die Werte zwischen einem unteren und einem oberen Schwellenwert liegen. [0;1] Die Schwellenwerte werden als Parameter des Qualitätsmessverfahren im Laufe des Projektes festgelegt.
- **Verknüpfung mehrerer Verkehrskenngrößen<sup>5</sup>**
  - Wenn der Wert der Anwesenheit gleich 0 ist (kein Objekt anwesend), müssen die Werte der Belegung und Zählung gleich 0 sein und umgekehrt. Die Werte der Geschwindigkeit und Zeitlücke müssen einen speziell definierten Wert annehmen (z. B. 255 nach TLS), da ein Geschwindigkeitswert von 0 bedeutet, dass ein stehendes Objekt anwesend ist, ein Zeitlückenwert von 0 bedeutet, dass die Fahrzeuge ohne Abstand fahren<sup>6</sup> und der Wert NULL bzw. LEER dafür steht, dass kein Wert geliefert wurde (unvollständiger Datensatz).
  - Wenn der Wert der Anwesenheit gleich 1 ist (mindestens ein Objekt anwesend), müssen die Werte der Belegung und Zählung größer als 0 sein und umgekehrt. Der Wert der Geschwindigkeit muss einen Wert größer oder gleich 0 annehmen.
  - Wenn der Wert der Geschwindigkeit größer als 0 ist, müssen der Wert der Anwesenheit gleich 1 und die Werte der Belegung und Zählung größer als 0 sein.
  - Wenn der Wert der Zeitlücke größer als 0 ist, müssen der Wert der Anwesenheit gleich 1, die Werte der Belegung und Geschwindigkeit größer als 0 und der Wert der Zählung größer als 1 sein.
  - Der Wert der Zeitlücke muss in etwa dem Wert der Dauer des Zeitintervalls geteilt

durch den Wert der Zählung betragen. Die maximal zulässige Toleranz muss als Parameter des Qualitätsmessverfahrens festgelegt werden.

– ...

### Vergleich der Werte mehrerer Detektoren

Eine weitere referenzfreie Prüfung<sup>7</sup> auf nicht korrekte Messungen ist der direkte Vergleich der Werte mehrerer Detektoren, welche die gleiche Verkehrskenngröße für den gleichen Erfassungsbereich und Zeitraum liefern. Wenn die Werte voneinander abweichen, ist das ein eindeutiger Hinweis darauf, dass einer oder mehrere Detektoren falsch messen. Es kann aber i. d. R. nicht gesagt werden, welcher der Detektoren falsch misst bzw. wie der korrekte Wert ist.

### Qualitätskenngrößen zur Genauigkeit

Die TLS 2012 beschreibt in Abschnitt IV, Kapitel 1.3 bis 1.5 verschiedene Verfahren zur Bewertung der Genauigkeit von Induktionsschleifen, für welche die Referenzwerte durch manuelle/visuelle Auswertungen von Videoaufzeichnungen gewonnen werden. Das Prinzip sei für andere Detektionstechnologien geeignet, aber unter Umständen müssen aufgrund der unterschiedlichen Messprinzipien zusätzliche spezifische Festlegungen getroffen werden. Für dieses Projekt sind die Verfahren zur Prüfung der Verkehrsmengen interessant. Zusätzlich wird in der TLS noch ein Verfahren zur Überprüfung von Geschwindigkeiten beschrieben

Bei den Verkehrsmengen wird überprüft, ob die Differenz der Anteile der ausreichend genauen Messungen, im Vergleich von 2 Referenzsystemen (P1)

<sup>5</sup> Die Prüfungen sind teilweise nur möglich, wenn die tatsächlich gemessenen Werte für das Intervall und nicht über mehrere Intervalle geglättete Werte (gleitendes Fenster oder Hysterese) oder Ersatzwerte verwendet werden.

<sup>6</sup> Ein Zeitlückenwert von 0 ist gar nicht möglich, da die Zeitlücke bzw. Fahrzeugfolgezeit zwischen Fahrzeugfront und Fahrzeugfront zweier aufeinander folgender Fahrzeuge gemessen wird.

<sup>7</sup> Diese Prüfung wird als referenzfrei betrachtet, da nicht bekannt ist, ob der oder die zum Vergleich herangezogenen Detektoren korrekt messen.

und im Vergleich zwischen dem Prüfmuster mit dem Referenzsystem 1 (P2), größer ist als ein Schwellenwert  $x$ , der die 95%ige statistische Signifikanz bei Standard Normalverteilung beschreibt.

Zur Einführung der Prüfverfahren könnte eine Kenngröße definiert werden, die beschreibt, ob der Detektor nach TLS ausreichend genau ist [0;1]. „0“ kann dabei bedeuten, dass der Detektor nicht ausreichend genau ist oder dass es für die Messgröße in der TLS kein Bewertungsverfahren gibt.

Mit der Durchführung einer Korrelations- und Regressionsanalyse kann beurteilt werden, ob Merkmale eines Objektes zusammenhängen, wenn ja, welcher Zusammenhang besteht und wie stark dieser ist. Bei linearen Zusammenhängen beschreibt der Korrelationskoeffizient  $r$  [-1...1] die Stärke und Richtung eines möglichen linearen Zusammenhangs (vgl. Kapitel 2.7.3): So drückt  $r = 0$  aus, dass kein linearer Zusammenhang besteht. Wohingegen  $r = 1$  aussagt, dass ein positiv linearer und  $r = -1$ , dass ein negativ linearer Zusammenhang besteht (Faes, 2015). Ein zusätzliches Gütemaß zur Beurteilung der linearen Regression ist das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  [0...1], wobei dies anders zu interpretieren ist: Dabei bedeutet  $r^2 = 0$ , dass kein linearer Zusammenhang besteht bzw.  $r^2 = 1$ , dass ein linearer Zusammenhang vorhanden ist (INWT Statistics GmbH, 2015). Werden beide Werte berechnet, ist es möglich, zu überprüfen, ob die Ergebnisse korrekt sind, da das Bestimmtheitsmaß und der quadrierte Korrelationskoeffizient übereinstimmen müssen (BUTTLER & OECKLER, 2010).

Anschließend kann anhand eines statistischen Tests (z. B. t-Test oder f-Test) überprüft werden, ob der erhaltene P Wert über dem Signifikanzniveau liegt und damit die Signifikanz gegeben ist. Diese trifft eine Aussage darüber, ob der gefundene Zusammenhang auch außerhalb der Stichprobe, unter der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$ , nicht zufällig auftritt (Statista GmbH, 2015). Mithilfe dieser Analysen können lineare Zusammenhänge zwischen verschiedenen Umweltbedingungen und dem zum gleichen Zeitpunkt vorhandenen Fehler (vgl. Fehlerquadrat RMPSE oder relative Fehler in Genauigkeit) untersucht und ggf. auch identifiziert werden.

Zur Beschreibung der Genauigkeit eignen sich die absoluten und relativen Fehler der verschiedenen Messgrößen. Die Ermittlung der Fehler funktioniert

für die die Anwesenheit, Belegung und Zählung der jeweiligen Verkehrsteilnehmer analog nach dem in Bild 3-2 dargestellten Ablaufschema. Eine große Bedeutung haben dabei die Schwellenwerte SW1 und SW2, da diese beeinflussen, ob Werte als ausreichend genau gekennzeichnet werden oder nicht. Deshalb muss bei der Festlegung der Schwellenwerte vorsichtig vorgegangen werden.

Weiterhin hat LEHNHOFF in ihrer Dissertation aufgezeigt, mit welchen statistischen Kenngrößen die Beurteilung von Datenqualität möglich ist. Die in Bild 3-2 beschriebene Art der Fehlerberechnung wird dort ebenfalls durchgeführt und unter dem Begriff absolute und relative Gesamtabweichung zusammengefasst (LEHNHOFF, 2005). Der bereits beschriebene Korrelationskoeffizient kann auch als Kenngröße für die Genauigkeit dienen, indem er den Zusammenhang zwischen den Detektordaten und den Referenzdaten abbildet (LEHNHOFF, 2005). Zusätzlich kann neben dem beschriebenen Korrelationskoeffizienten noch die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (WMQF) und die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehlerproportional (WMQFP) berechnet werden (vgl. Kapitel 2.7.3). Der WMQF hat dabei den Vorteil, dass er verhältnismäßig unempfindlich auf Ausreißer reagiert und das sich positive und negative Abweichungen, im Gegensatz zur Gesamtabweichung, nicht aufheben. Das WMQFP setzt anschließend den berechneten WMQF ins Verhältnis zur Größe des Messwerts (LEHNHOFF, 2005). Die Genauigkeit der Zeitlücken kann durch manuelle/visuelle Referenzerhebung jedoch nicht überprüft werden, da eine ausreichend genaue Erzeugung der Referenzdaten mithilfe der Videobilder nicht möglich ist.

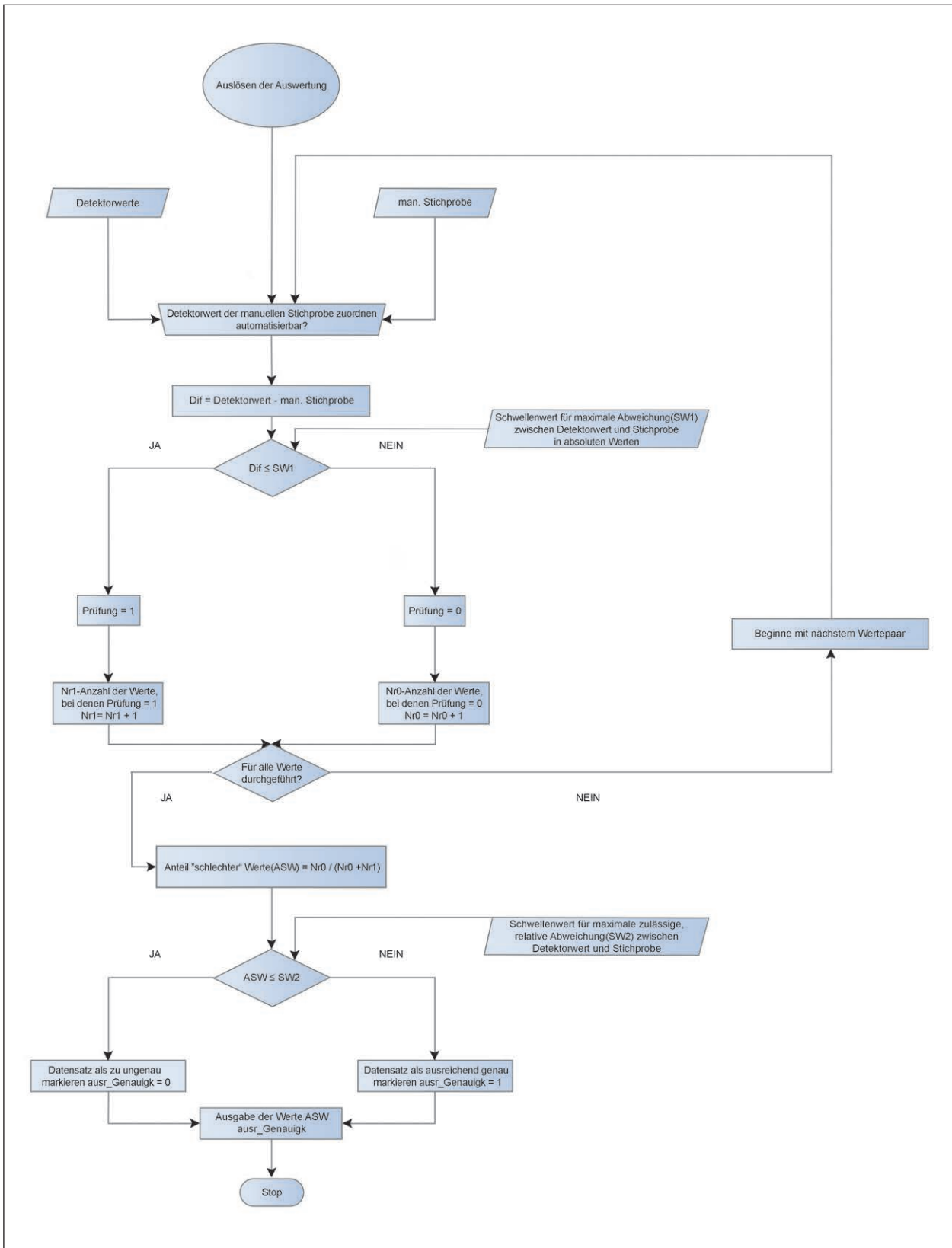


Bild 3-2: Ablaufschema zur Ermittlung des relativen Fehlers

### 3.4.4 Vorgehensweise zur Ermittlung der Qualitätskenngrößen

#### Ablauf

Da der Aufwand für die manuelle/visuelle Ermittlung von Referenzdaten sehr groß ist, wird wie folgt vorgegangen:

1. Referenzfreie Prüfungen und ggf. Sicherstellung (z. B. Nachbesserungen durch Hersteller) der Verfügbarkeit, Aktualität (Zeitsynchronisation), Vollständigkeit und Konsistenz der zu bewertenden Verkehrskenngrößen und Ereignisdaten
2. Referenzfreie Prüfungen der Korrektheit der zu bewertenden Verkehrskenngrößen und Ereignisdaten z. B. durch Plausibilitätsprüfungen (Daten eines Detektors) und vergleichende Prüfungen (Daten mehrerer Detektoren mit gleichem oder ähnlichem/vergleichbarem Erfassungsbereich)
3. Für unter Punkt 2 identifizierte Unplausibilitäten und Abweichungen sowie für erfahrungsgemäß oder vermutlich schwierige Verkehrs- und Umfeldbedingungen (z. B. viel/wenig Verkehr, Gegenlicht/Blendung, Schatten, Tageslicht/Dunkelheit, starker Regen, Schneefall, trocken/nasse Fahrbahn) werden gezielt Zeiträume (Stichproben) ausgewählt, für die manuell/visuell Referenzdaten erhoben und referenzierende Prüfungen der Korrektheit und Genauigkeit durchgeführt werden

### 4. Ursachenanalyse und Diskussion mit Herstellern

#### Erhebung Referenzdaten

Die Erhebung von Referenzdaten erfolgt durch manuelle/visuelle Auswertung zeitlich synchronisierter Videoaufzeichnungen anhand eines Excel-Tools (vgl. Bild 3-3). Während das Video abläuft, wird manuell per Anklicken eines Fahrzeugbuttons oder Drücken einer zugeordneten Taste die Ankunft eines Fahrzeugs mit Zeitstempel, Ort (Erfassungsbereich) und Fahrzeugklassifizierung geloggt. Somit finden eine Zählung und Klassifizierung der anwesenden Fahrzeuge statt. Der für die Referenzierung erforderliche tatsächliche Ankunftszeitstempel des Fahrzeugs kann anhand der Differenz zwischen dem Startzeitstempel der Aufzeichnung und dem Startzeitstempel der Wiedergabe des Videos aus dem Zeitstempel des Klickens oder Drückens bei der Auswertung berechnet werden. Die Ergebnisse der manuellen/visuellen Auswertungen dienen dann als Referenz für den Vergleich mit den Messwerten der Detektoren.

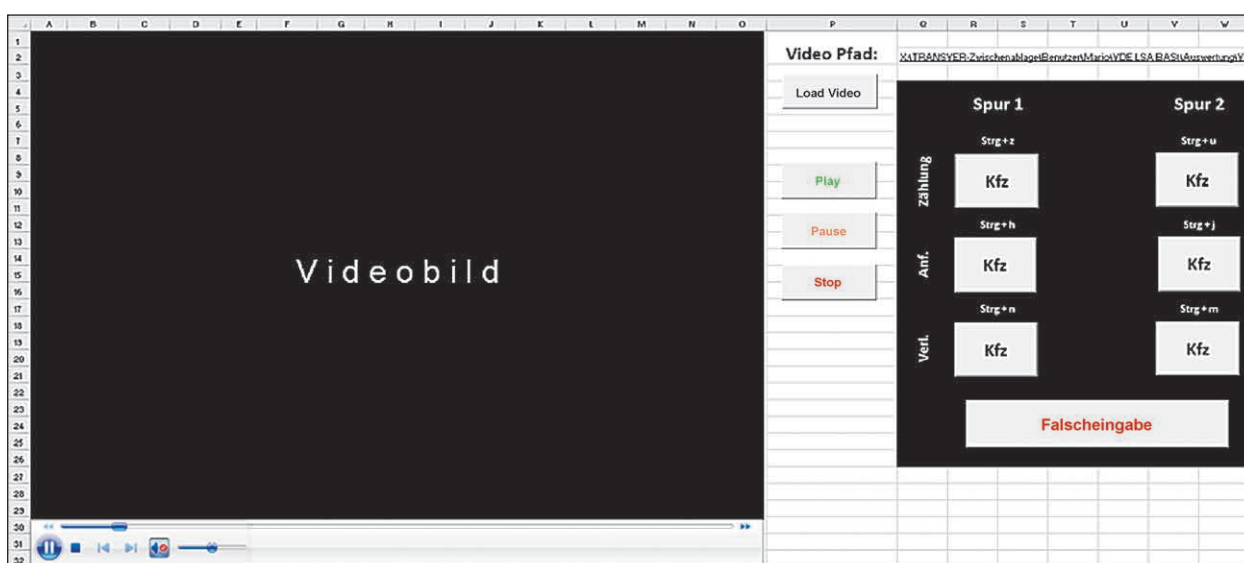


Bild 3-3: Excel-Tool zur manuellen Referenzdatenerhebung

## 4 Testfeld

### 4.1 Beschreibung

Als Testumgebung diente die LSA 161 in Nürtingen, an der sich die Oberboihinger Straße (nördlicher und südlicher Knotenarm) mit der Hochwiesenstraße (westlicher Knotenarm) und Rümelinstraße (östlicher Knotenarm) kreuzt (vgl. Bild 4-1). Das Testfeld bietet folgende Vorteile:

- Der Verkehr am innerorts liegenden Knotenpunkt wird von einem LSA-Steuergerät der neuesten Generation geregelt. Das Steuergerät ist per DSL direkt mit dem Verkehrsrechner verbunden, wodurch eine leistungsfähige und stabile Datenübertragung der Verkehrsdaten und Videos möglich ist.
- Der Knotenpunkt ist bereits mit mehreren Induktionsschleifen ausgestattet. Dadurch ist ein direkter Vergleich mit anderen Detektionstechnologien möglich.
- Der Knotenpunkt besitzt in jeder Zufahrt einen Auslegermast (ugs.: Peitschenmast) für die Montage von Überkopfdetektoren.
- Aus geografischer Sicht liegt der Knotenpunkt sehr günstig, da die vier Knotenarme in die jeweilige Haupthimmelsrichtung (Nord, Süd, Ost, West) zeigen. Dadurch kann der Einfluss von Umfeldbedingungen (z. B. Schattenwurf durch Bäume, Blendung durch tiefstehende Sonne, etc.) vor allem auf die optischen Detektionstechnologien untersucht werden.
- An diesem Knotenpunkt sind alle relevanten Fahrzeugklassen (Pkw, Lfw, Lkw, Bus, Krad) zu beobachten. Außerdem sind Radfahrer und Fußgänger unterwegs.
- Ein weiterer Vorteil ist die räumliche Nähe vom Sitz des Unterauftragnehmers Swarco Traffic Systems (STS), der für den Aufbau, Betrieb und Abbau des Testfelds verantwortlich war, zum Testfeld. Somit konnte bei Störungen eine zeitnahe Reaktion und Problembeseitigung gewährleistet werden.



Bild 4-1: Luftbild des Testfelds (© Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de)

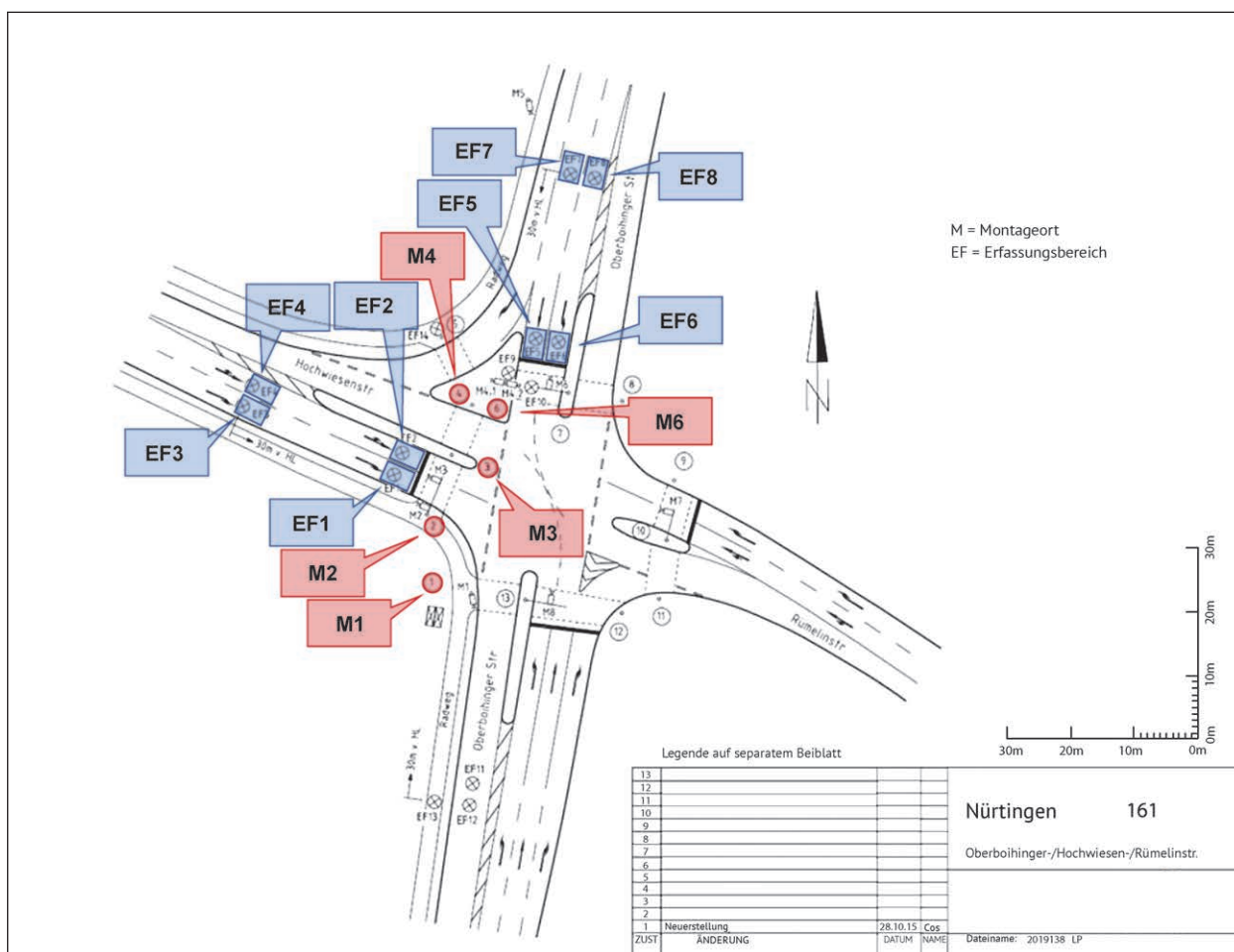


Bild 4-2: Lageplan mit relevanten Montageorten und Erfassungsbereichen

## 4.2 Detektoren

### 4.2.1 Detektortypen

Im Rahmen des Testfeldtreffens wurden von den beteiligten Herstellern die Bereitstellung und Einrichtung verschiedener, im Jahr 2016 zur Verfügung stehender, marktüblicher Detektortypen für die Tests zugesagt:

- Induktionsschleifendetektoren (ISD),
- Videodetektoren (VD),
- Wärmebilddetektoren (WBD),
- Radardetektoren (RD),
- Magnetfelddetektoren (MFD).

Im Falle der Videodetektion wurden unterschiedliche Detektortypen eingesetzt um die diesbezüglichen Schwankungen innerhalb einer Detektionstechnologie beispielhaft zu betrachten.

### 4.2.2 Erfassbare Kenngrößen

Von den genannten Detektortypen wurden die in Tabelle 4-1 zugeordneten Verkehrskenngrößen erfasst und bei der Qualitätsbewertung berücksichtigt und untersucht.

### 4.2.3 Montageorte und Erfassungsbereiche

Um die Anzahl der für den Test erforderlichen und zu bewertenden Detektoren bei direkter räumlicher und zeitlicher Vergleichbarkeit der Messungen zu minimieren, wurden der nördliche und westliche Zufluss mit Detektoren ausgestattet/erfasst. Die im Rahmen des Testfeldtreffens gemeinsam mit den beteiligten Herstellern geplanten Montageorte und Erfassungsbereiche der Sensoren können dem Lageplan in Bild 4-2 und den zugehörigen Tabelle 4-2 und Tabelle 4-3 entnommen werden. Die letztlich für die Auswertung relevanten Montageorte und Erfas-



Erfassbare Kenngröße		Detektortypen							
Mode	Daten	ISD	VD1	VD2	VD3	VD4	MFD	WBD	RD
MIV	Anwesenheit (Anforderung)	X	X	X	X	X	X	X	X
	Zählung		X	X	X	X		X	X
	Zeitlücke			X		X	X	X	X

Tab. 4-1: Matrix Detektortypen und erfassbare Verkehrskenngrößen

Montageort	Detektortypen							
	ISD	VD1	VD2	VD3	VD4	MFD	WBD	RD
M1			X				X	X
M2								
M3		X		X	X			
M4.1							X	
M4.2							X	
M6			X		X		X	

Tab. 4-2: Montageorte der Sensoren

Erfassungsbereiche	Detektortypen							
	ISD	VD1	VD2	VD3	VD4	MFD	WBD	RD
EF1		X		X	X			X
EF2		X		X	X			X
EF3		X		X	X			
EF4		X		X	X			X
EF5			X		X		X	X
EF6			X		X		X	
EF7			X		X		X	
EF8			X		X		X	

Tab. 4-3: Erfassungsbereiche der Sensoren

sungsbereiche sind in dem Lageplan farblich hervorgehoben.

Die Montageorte der Induktionsschleifendetektoren und Magnetfelddetektoren liegen exakt auf den jeweiligen Erfassungsbereichen der Detektoren, weshalb diese in Tabelle 4-2 nicht aufgeführt sind. Die Erfassungsbereiche sind Tabelle 4-3 zu entnehmen.

### 4.3 Aufzeichnung und Bereitstellung der Daten und Videos

Sämtliche Detektoren wurden an ein ACTROS-Steuergerät der neuesten Generation angebunden. Dieses zeichnete die (Einzelfahrzeug-)Daten der verschiedenen Detektoren zeitlich synchronisiert auf. Die Anbindung (Lieferung der Daten) sollte möglichst über parallele Ein- bzw. Ausgänge erfolgen. Die Anbindung von Detektoren über andere Schnittstellen (z. B. seriell, Ethernet, CAN-Bus) erfordert

softwaretechnische Entwicklungen/Anpassungen und muss im Einzelfall geprüft werden.

Sämtliche Verkehrsdaten wurden in einer CSV-Datei gespeichert und SCHLOTHAUER & WAUER per VPN-Zugang für die Auswertungen bereitgestellt. Zusätzlich wurden auch Signalzustände und ggf. vorhandene Metadaten (z. B. Fehlermeldungen der Detektoren) aufgezeichnet und mitgeliefert. Die Videobilder zur manuellen/visuellen Erfassung der Referenz wurden von einer im Testfeld verbauten Videokamera erfasst. Die insbesondere für die referenzierenden Prüfungen zwingend erforderliche Synchronisation der Uhrzeit der Detektoren mit der Uhrzeit des ACTROS-Steuergeräts konnte per NTP erfolgen.

#### 4.4 Einrichtung der Detektoren

Einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Detektion hat auch die Einstellung der Detektion (z. B. Ausrichtung der Detektoren, Wahl des Erfassungsbereichs, Konfiguration). Deshalb sollten die Hersteller die Einstellungen selbst vornehmen und – nach einem Probetrieb und der Möglichkeit zur Nachbesserung vor dem eigentlichen Test – unterschreiben, dass sie die Detektoren bestmöglich eingestellt haben. Die Detektoren wurden vor dem eigentlichen Test versiegelt und der Zugang zur Software für alle gesperrt, sodass nur noch Daten und ggf. Videobilder geliefert wurden, aber keine Änderungen an den Einstellungen mehr vorgenommen werden konnten.

## 5 Durchführung des Feldtests

### 5.1 Erhebungszeiten

Um einen Vergleich der Detektionsqualität in Abhängigkeit unterschiedlicher Verkehrsstärken, Witterungsbedingungen und Lichtverhältnisse herausarbeiten zu können, wurden im Vorfeld der Feldtest-Durchführung diesbezüglich signifikante Zeiträume zur stichprobenartigen Erhebung des Videomaterials festgelegt. Neben der Erhebung zu Hauptverkehrs- und verkehrsarmen Zeiten, wurde darauf geachtet, bei vollkommener Dunkelheit, bei Dämmerung (Sonnenauf- und -untergang), bei Tageslicht und bei starker Bewölkung, Videomaterial zu erheben.

Die Erhebung des Videomaterials erfolgte dabei zwischen dem 29. November 2017 und dem 06. März 2018. In diesem Zeitraum lagen die Temperaturen zwischen etwa -10 °C und +15 °C. Da es während des Erhebungszeitraumes zu keinen starken Schneefallereignissen kam, konnte der Einfluss von Schneefällen auf die Detektionsqualität der Detektoren nicht untersucht werden. Des Weiteren traten innerhalb des Erhebungszeitraumes keine starken Winde oder Sturmereignisse auf.

Somit ergaben sich bedingt durch die oben beschriebenen Lichtbedingungen und Witterungsverhältnisse die folgenden untersuchbaren Einflussfaktoren auf die Detektionsqualität der Detektoren:

- Sonne,
- Bewölkt ohne Niederschlag,
- Bewölkt mit Niederschlag,
- Dämmerung ohne Niederschlag,
- Dämmerung mit Niederschlag,
- Dunkelheit ohne Niederschlag,
- Dunkelheit mit Niederschlag.

Da sich während des Erhebungszeitraumes am Testfeld keine Lichtquellen in der näheren Umgebung befanden, wurde die Detektionsqualität der Detektoren bei Dunkelheit untersucht (Bild 5-1). Außerdem wurde bei den Einflussfaktoren, bei denen es zu keinen Niederschlagsereignissen kam, darauf geachtet, dass die Fahrbahnoberfläche trocken ist um beispielsweise Reflexionen des Scheinwerfer-

Einflussfaktor	Anzahl ausgewerteter Ereignisse	
	Zählung	Anforderung
Sonne	2360	2685
Bewölkt ohne Niederschlag	18513	18513
Bewölkt mit Niederschlag	4174	4174
Dämmerung ohne Niederschlag	10835	10835
Dämmerung mit Niederschlag	1123	1123
Dunkelheit ohne Niederschlag	6122	6122
Dunkelheit mit Niederschlag	1200	1200

Bild 5-1: Anzahl ausgewerteter Ereignisse in Abhängigkeit der Einflussfaktoren

lichts von Fahrzeugen durch die nasse Fahrbahn auszuschließen.

Eine Übersicht zum erhobenen Videomaterial in Abhängigkeit der oben beschriebenen Einflussfaktoren ist in Anhang A zu finden.

## 5.2 Detektordaten

Die Detektorrohdaten wurden über eine OCIT-Schnittstelle vom Industrierechner der LSA vor Ort bezogen. Bild 5-2 zeigt eine schematische Übersicht der Datenabholung der Rohdaten von den installierten Detektoren, über das Steuergerät bis hin zur SCHLOTHAUER & WAUER GmbH über die OCIT-Schnittstelle.

### 5.2.1 Rohdaten

Die Detektorrohdaten, die über die OCIT-Schnittstelle bezogen wurden, wiesen folgenden Aufbau auf:

- Sekundenfeiner Zeitstempel (Datum und Uhrzeit),
- Derzeitige Phase und entsprechende Phasensekunde,
- Signalzustand aller sich am Testfeld befindlichen Lichtsignalgruppen,
- Detektorkanäle aller angeschlossenen Detektoren.

Tabelle 5-1 zeigt eine schematische Übersicht des Aufbaus der Rohdaten.

Der Signalzustand ist dabei wie folgt zu interpretieren:

- R: Rot,
- S: Rot-Gelb,
- G: Grün,
- A: Gelb.

Die Detektorkanäle konnten vier unterschiedliche Arten von Informationen enthalten:

- Positive Flanken, die ein in den entsprechenden Erfassungsbereich einfahrendes Kfz kennzeichnen unter Angabe der Millisekunde, in der das Kfz eingefahren ist,
- Zustand „H“ – High steht für einen belegten Erfassungsbereich,
- negative Flanken, die ein aus dem entsprechenden Erfassungsbereich ausfahrendes Kfz kennzeichnen unter Angabe der Millisekunde, in der das Kfz ausgefahren ist,
- Zustand „L“ – Low steht für einen unbelegten Erfassungsbereich.

Zusätzlich war eine Aneinanderreihung mehrerer Signalfanken innerhalb einer Sekunde möglich, wenn mehrere Kfz innerhalb dieser Sekunde über den Erfassungsbereich des Detektors gefahren sind. Das Prinzip der Signalfankenermittlung wird in Bild 5-3 verdeutlicht.

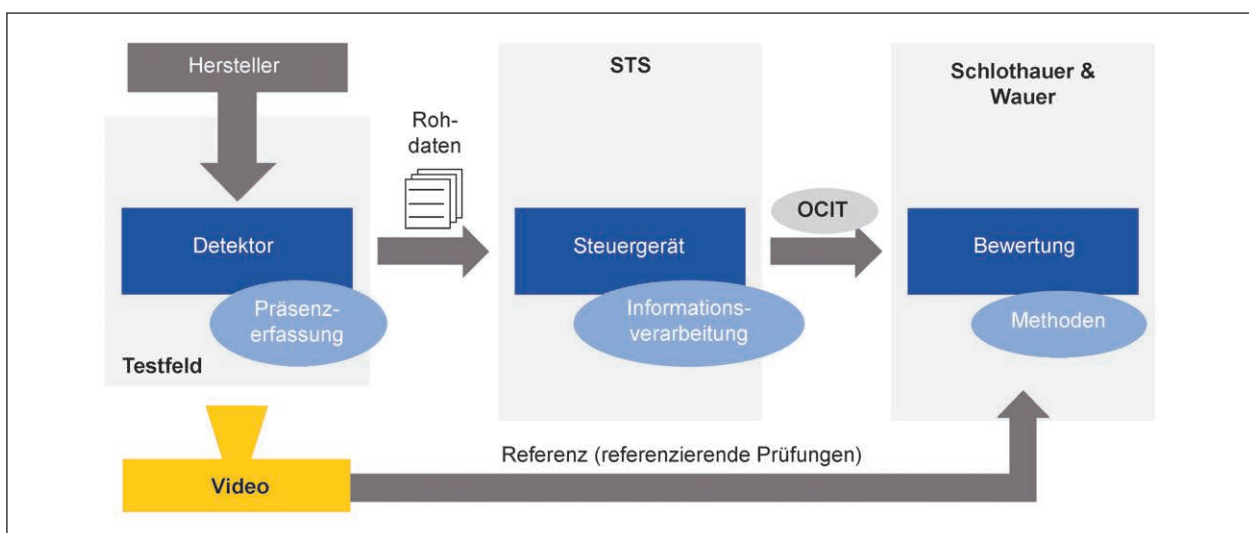


Bild 5-2: Übersicht Datenabholung

Zeitstempel	Phasensekunde	Signalzustand	Detektorkanal	
16:05:10	09	R	L	
16:05:11	10	R	L	
16:05:12	11	R	+300	<b>Positive Flanke</b> Kfz fährt auf Erfassungsfeld
16:05:13	12	R	H	
16:05:14	13	R	H	<b>Zustand „H“ – High</b> Erfassungsfeld belegt
16:05:15	14	R	H	
16:05:16	15	R	H	
16:05:17	16	S	H	
16:05:18	17	G	H	
16:05:19	18	G	-450	<b>Negative Flanke</b> Kfz fährt von Erfassungsfeld
16:05:20	19	G	L	
16:05:21	20	G	L	
16:05:22	21	G	L	<b>Zustand „L“ – Low</b> Erfassungsfeld nicht belegt

Tab. 5-1: Übersicht Aufbau der Rohdaten

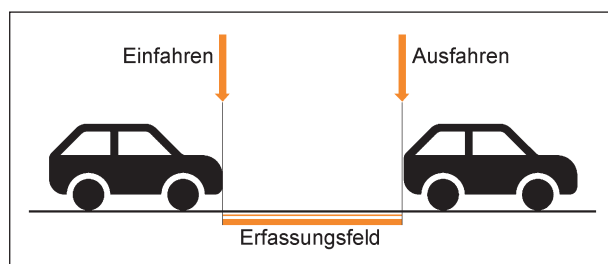


Bild 5-3: Prinzip Signalflankenerhebung

### 5.2.2 Flankeninterpretation/-aufbereitung

Um die Detektorrohdaten in einen Datensatz zu überführen, aus dem ersichtlich wird, in welcher Sekunde wie viele Kfz über den jeweiligen Erfassungsbereich gefahren sind, wurden diese mithilfe eines Excel-Tools aufbereitet. Dabei wurde stets die Anzahl an positiven Flanken (einfahrendes Kfz) als Kriterium gewählt, um die Anzahl an durch den jeweiligen Erfassungsbereich fahrende Kfz zu ermitteln.

Zur Überführung der Signalflanken war es notwendig, die Daten jeder Sekunde hinsichtlich der Flanken zu analysieren und in die entsprechende Anzahl von Kfz umzuwandeln. Da unterschiedliche Abfolgen von Signalflanken möglich sind, je nachdem ob in der betrachteten Sekunde ein Fahrzeug gerade in den Erfassungsbereich einfährt, oder mehrere Fahrzeuge hintereinander das Feld in der gleichen Sekunde passieren, war es erforderlich diese Abfolgen mithilfe von Prüfungen zu interpretieren und in die Anzahl an Kfz umzuwandeln. Da-

her wurden die Rohdaten 12 solcher Zählprüfungen unterzogen, die sich im Wesentlichen durch das einfache Zählen der positiven Vorzeichen zusammenfassend erklären lassen.

Tabelle 5-2 zeigt eine Übersicht der Zählprüfungen, die in dem Excel-Tool eingebaut wurden. Hat die jeweilige Prüfung einen Wahr-Wert zurückgeliefert, so wurde die Anzahl an Kfz dem entsprechenden Zeitstempel zugeordnet, bei dem die jeweiligen Signalflanken aufgetreten sind.

Neben den oben beschriebenen Zählprüfungen wurden verschiedene Logikprüfungen in das Excel-Tool eingebaut, durch die Fehler in der Korrektheit der Signalflankenfolgen deutlich wurden. Da eine positive Flanke als Kriterium für die Anwesenheits-erfassung eines Kfz gewählt wurde, kann es zu Logikfehlern in der Signalflankenfolge kommen, sollte die positive Flanke in den Daten fehlen und damit keine der oben beschriebenen Zählprüfungen auslösen.

Ist die negative Flanke des Kfz in den Rohdaten vorhanden, ist die Signalflankenfolge des jeweiligen Detektorkanals als unvollständig anzusehen. Da jedoch wenigstens eine der beiden Signalflanken erfasst wurde, wurde durch die Auslösung bestimmter Logikprüfungen trotz unvollständiger Flankenfolge ein Kfz in den Datensatz eingefügt. Tabelle 5-3 bietet eine Übersicht, der in dem Excel-Tool eingebauten Logikprüfungen und bei welchen Logikfehlern trotz unvollständiger Flankenfolge ein Kfz in den Datensatz eingefügt wurde.

Zählprüfung	Beispiel	Erklärung	Anzahl Kfz
Prüfung 1	+120	4 Zeichen mit positivem Vorzeichen links	1 Kfz
Prüfung 2	-120+200	8 Zeichen mit negativem Vorzeichen links	1 Kfz
Prüfung 3	+200-370	8 Zeichen mit positivem Vorzeichen links	1 Kfz
Prüfung 4	-120+200-370	12 Zeichen mit negativem Vorzeichen links	1 Kfz
Prüfung 5	+200-370+400	12 Zeichen mit positivem Vorzeichen links	2 Kfz
Prüfung 6	-120+200-370+400	16 Zeichen mit negativem Vorzeichen links	2 Kfz
Prüfung 7	+200-370+400-500	16 Zeichen mit positivem Vorzeichen links	2 Kfz
Prüfung 8	-120+200-370+400-500	20 Zeichen mit negativem Vorzeichen links	2 Kfz
Prüfung 9	+200-370+400-500+630	20 Zeichen mit positivem Vorzeichen links	3 Kfz
Prüfung 10	-120+200-370+400-500+630	24 Zeichen mit negativem Vorzeichen links	3 Kfz
Prüfung 11	+200-370+400-500+630-700	24 Zeichen mit positivem Vorzeichen links	3 Kfz
Prüfung 12		> 24 Zeichen	4 Kfz

Tab. 5-2: Prüfungen zur Interpretation der Signalflanken

Logikprüfung	Beispiel	Erklärung	Logikfehler	Anzahl Kfz	
Prüfung 1	+870 +540	Zwei aufeinanderfolgende positive Flanken	Negative Flanke fehlt	-	
Prüfung 2	-450 -370	Zwei aufeinanderfolgende negative Flanken	Positive Flanke fehlt	1 Kfz	
Prüfung 3	H L	Unbelegtes Erfassungsfeld folgt auf belegtes Erfassungsfeld	Negative Flanke fehlt	-	
Prüfung 4	L H	Unbelegtes Erfassungsfeld folgt auf unbelegtes Erfassungsfeld	Positive Flanke fehlt	1 Kfz	
Prüfung 5	H +430	Positive Flanke folgt auf belegtes Erfassungsfeld	Negative Flanke fehlt	-	
Prüfung 6	L -290	Negative Flanke folgt auf unbelegtes Erfassungsfeld	Positive Flanke fehlt	1 Kfz	
Prüfung 7		Zählprüfung 12: > 24 Zeichen Mehr als 3 Kfz in einer Sek.	Rechnerisch nicht möglich	4 Kfz	← Bereit bei Zählprüfungen vorhanden

Tab. 5-3: Logikprüfungen zur Interpretation der Signalflanken

The screenshot shows an Excel spreadsheet with columns A through J. Column A contains time stamps from 13:00:00 to 13:00:25. Column B contains vehicle counts (0 or 1). Column C contains '#NV' (Not Valid) for most rows. Column D contains a 'Sverweis' (lookup) formula. Column E contains a 'Referenzdaten-Datei' (reference data file) path. Column F contains 'Startzeit Datensatz' and 'Endzeit Datensatz'. Column G contains the start and end times. Column H contains the start and end times. Column I contains the 'Spur & Anwendung' (lane and application) for each time stamp. Column J contains the 'Automatischer Datenexport' (automatic data export) feature. The spreadsheet is annotated with process boxes: 'Zeitstempel ausgeben' (output time stamps) from row 6 to 9, 'Kfz zuordnen' (assign vehicles) from row 10 to 13, and 'Clear Ausgabe' (clear output) from row 14 to 17. A callout box on the right explains the data set parameters: 'Start- und Endzeit Datensatz eingeben (gewünschte Länge des Datensatzes), Zeitstempel ausgeben & Kfz zuordnen. Anschließend den Datensatz in das Referenzdatenblatt kopieren (Automatischen Datenexport verwenden!)'. The 'Automatischer Datenexport' feature is shown as a button that exports the data to a file named 'Referenzdaten\_Vorlage.xlsx'.

Bild 5-4: Überführung in benötigtes Format (fortlaufender Zeitstempel)

### 5.3 Referenzdatenerhebung

Für die Überprüfung der Detektordaten auf Genauigkeit, war es zwingend notwendig eine Referenz zu erheben, die die Realität möglichst genau widerspiegelt (Ground Truth). Durch die manuelle/visuelle Auswertung des erhobenen Videomaterials (vgl. Kapitel 3.4.4), ergeben sich unterschiedliche Anforderungen zur möglichst fehlerfreien Ermittlung der benötigten Referenzdatensätze:

- Maximale Auswertzeit von einer Stunde, um Konzentrationsnachlass der auswertenden Person zu vermeiden,
- mehrfache (mindestens zweifache) Überprüfung des Referenzdatensatzes durch unterschiedliche Personen,
- bei Notwendigkeit stichprobenartig mehrfaches Auswerten des Videomaterials durch unterschiedliche Personen.

In Kapitel 3.4.4 wurde die Benutzeroberfläche des Excel-Tools zur Referenzdatenerhebung beschrieben. Die dabei erstellten Datensätze werden zunächst mit dem entsprechenden Zeitstempel unter der Angabe der Fahrstreifen und der erhobenen Messgröße zwischengespeichert und anschließend in ein zur Auswertung benötigtes Format (fortlaufender Zeitstempel) überführt (vgl. Bild 5-4 und Bild 5-5).

Zusätzlich zu den beschriebenen Anforderungen bei der manuellen/visuellen Referenzdatenerhebung wurden die erhobenen Datensätze vor dem eigentlichen Test der Detektoren mit den Datensätzen der Induktionsschleifen verglichen. Kam es zwischen den erhobenen Referenzdatensätzen und den Datensätzen der Induktionsschleifen zu Abweichungen größer -3 oder +3 Sekunden in den jeweiligen Erfassungen, wurde das Video an der entsprechenden Stelle erneut gesichtet und so der Referenzdatensatz bei Bedarf angepasst. Dieser Referenzdatenabgleich (zur Qualitätssicherung der Referenzdatenerhebung) wurde mithilfe eines Excel-Tools (vgl. Bild 5-6) realisiert, dem die entsprechen-

	A	B	C	D	E	F
1	Startzeit Video:	12:57:48				
2	Startzeit Auswertung:	15:01:57				
3	Zeitkorrektur:	02:48:44				
4	Records:	10				
5	Zeit Excel-Auswertung	Zeit Video	Kfz	Spur	Messgröße	Wert
6	15:48:51	13:00:07	1	Spur1	Zählung	Kfz
7	15:48:53	13:00:09	1	Spur1	Zählung	Kfz
8	15:48:54	13:00:10	1	Spur2	Zählung	Kfz
9	15:48:55	13:00:11	1	Spur1	Zählung	Kfz
10	15:48:56	13:00:12	1	Spur1	Anforderung	Kfz
11	15:48:57	13:00:13	1	Spur2	Zählung	Kfz
12	15:48:58	13:00:14	1	Spur2	Zählung	Kfz
13	15:49:00	13:00:16	1	Spur2	Zählung	Kfz
14	15:49:01	13:00:17	1	Spur2	Zählung	Kfz
15	15:49:02	13:00:18	1	Spur2	Anforderung	Kfz
16		#####				
17		#####				
18		#####				
19		#####				
20		#####				
21		#####				

Bild 5-5: Zwischenspeicher der erstellten Referenzdatensätze

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1														EF1 / EF3			
2	Analyse													West, Spur 1			
3		West, Sp 1, Zähl								West, Sp 1, Anf							
4		Referenz	-	-	-	Induktionsschleife	Detektor	keine Detektor	Fehlalarm	Referenz	-	-	-	Induktionsschleife	Detektor	keine Detektor	Fehlalarm
5	Zeitstempel	135					130	5	4	32					30	2	104
6	17:00:00	0					0			0					0		
7	17:00:01	0					0			0					0		
8	17:00:02	0					0			0					0		
9	17:00:03	0					0			0					0		
10	17:00:04	0					0			0					0		
11	17:00:05	0					0			0					0		
12	17:00:06	0					0			0					0		
13	17:00:07	0					0			0					0		
14	17:00:08	0					0			0					0		
15	17:00:09	0					0			0					0		
16	17:00:10	0					0			0					0		
17	17:00:11	0					0			0					0		
18	17:00:12	0					0			0					0		
19	17:00:13	0					0			0					0		
20	17:00:14	0					0			0					0		
21	17:00:15	1					0			0					0		1
22	17:00:16	0					0			0					0		
23	17:00:17	0					0			0					0		
24	17:00:18	0					0			0					0		
25	17:00:19	0					0			0					0		
26	17:00:20	0					0			0					0		
27	17:00:21	0					0			0					0		
28	17:00:22	0					0			0					0		
29	17:00:23	0					0			0					0		
30	17:00:24	0					0			0					0		
31	17:00:25	0					0			0					0		
32	17:00:26	0					0			0					0		
33	17:00:27	0					0		1	0					0	1	
34	17:00:28	1					0			1					0		
35	17:00:29	0					0			0					0		

Bild 5-6: Excel-Tool zum Referenzdatenabgleich

de Logik zum automatischen Vergleich der Datensätze mithilfe von MS Visual Basic in Form eines Makros hinterlegt wurde.

Um eine Aussage über die Genauigkeit der Referenz zu bekommen und damit einen Rückschluss auf die Genauigkeit dieser Auswertung zu ziehen, wurden einige Referenzdatensätze nochmals stichprobenartig untersucht. Es wurden dafür insgesamt 10 Stunden Referenzmaterial überprüft. Durch die Differenzbildung der Fahrzeuganzahl des Referenzdatensatzes und der erneuten Überprüfung wurde eine mittlere Abweichung von 0,33 % ermittelt, wobei die Hälfte aller überprüften Datensätze keine Abweichung aufwies. Für ein Konfidenzniveau von 95 % liegt die mittlere Abweichung der Grundgesamtheit im Intervall 0,05 % bis 0,61 %.

## 6 Auswertungsmethodik

### 6.1 Referenzfreie Prüfungen

Die Durchführung der nachfolgend beschriebenen referenzfreien Prüfungen wurde durch SQL-Abfragen der Datenbank oder durch Excel-Tools durchgeführt. Als Auswertungszeitraum wurden 2 Monate (01. Dezember 2017 bis einschließlich 31. Januar 2018) gewählt, für den jeder einzelne Datensatz überprüft wurde. Nachfolgend sind die einzelnen Qualitätskenngrößen beschrieben, die verwendet wurden, um eine Aussage über die Datenqualität der Detektoren zu gewinnen.

#### Tatsächliche Verfügbarkeit

tV1: Liegt ein Datensatz zu jeder einzelnen Sekunde vor? = [0;1]

tV2: Relativer Anteil fehlender Datensätze = [0 ... 1]

#### Vollständigkeit

Vst1: Datum und Zeitstempel: Wert eingetragen? = [0;1]

Vst2: Anforderung: Wert eingetragen? = [0;1]

Vst3: Verlängerung: Wert eingetragen? = [0;1]

Vst4: Zählung: Wert eingetragen? = [0;1]

Vst5: Vollständigkeit Anforderung: Vst1 UND Vst2 = [0;1]

Vst6: Vollständigkeit Verlängerung: Vst1 UND Vst3 = [0;1]

Vst7: Vollständigkeit Zählung: Vst1 UND Vst4 = [0;1]

Vst8: Anforderung: Relativer Anteil nicht vollständiger Datensätze [0 ... 1]

Vst9: Verlängerung: Relativer Anteil nicht vollständiger Datensätze [0 ... 1]

Vst10: Zählung: Relativer Anteil nicht vollständiger Datensätze [0 ... 1]

#### Konsistenz

Kon1: Reihenfolge der Überschriften richtig? = [0;1]

Kon2: Kombination aus Erfassungsbereich und Knotenpunktarm richtig? = [0;1]

Kon3: Entspricht Datum dem Format DD.MM.JJJJ? = [0;1]

Kon4: Entspricht Zeit dem Format HH:MM? = [0;1]

Die Konsistenzprüfungen Kon1 bis Kon4 werden bei der Datenaufbereitung in der Datenbank automatisch geprüft bzw. verarbeitet.

Kon5: Anforderung: Erstes Zeichen „H“ ODER „L“ ODER „+“ ODER „-“? = [0;1]

Kon6: Verlängerung: Erstes Zeichen „H“ ODER „L“ ODER „+“ ODER „-“? = [0;1]

Kon7: Zählung: Erstes Zeichen „H“ ODER „L“ ODER „+“ ODER „-“? = [0;1]

Kon8: Anzahl Zeichen Zeitstempel = 19? = [0;1] (DD.MM.JJJJ HH:MM)

Kon9: Anforderung: Anzahl Zeichen 1 oder Vielfaches von 4? = [0;1]

Kon10: Verlängerung: Anzahl Zeichen 1 oder Vielfaches von 4? = [0;1]

Kon11: Zählung: Anzahl Zeichen 1 oder Vielfaches von 4? = [0;1]

Kon12: Konsistenz Anforderung: Kon5 UND Kon8 UND Kon9 = [0;1]

Kon13: Konsistenz Verlängerung: Kon6 UND Kon8 UND Kon10 = [0;1]

Kon14: Konsistenz Zählung: Kon7 UND Kon8  
UND Kon11 = [0;1]

Kon15: Anforderung: Relativer Anteil nicht konsistenter Datensätze = [0 ... 1]

Kon16: Verlängerung: Relativer Anteil nicht konsistenter Datensätze = [0 ... 1]

Kon17: Zählung: Relativer Anteil nicht konsistenter Datensätze = [0 ... 1]

### Korrektheit

Um die Korrektheit der vorliegenden Daten zu beurteilen, wurde die Signalfankenabfolge der Detektoren untersucht. Unter Kapitel 5.2.2 in Tabelle 5-3 sind die Logikprüfungen beschrieben, die zur Flankeninterpretation bzw. -aufbereitung verwendet wurden. Prüfung 1 bis 6 beziehen sich dabei auf die Überprüfung der korrekten Signalfankenfolge in den Detektorrohdaten. Eben diese Prüfungen wurden zur Korrektheitsermittlung der Rohdaten verwendet, wodurch sich folgende Prüfungen auf Korrektheit der Detektorrohdaten ergeben:

Kor1: Signalfankenfolge korrekt? = [0;1]

Kor2: Relativer Anteil nicht korrekter Signalfankenfolgen = [0 ... 1]

## 6.2 Prüfungen mit Referenz (Detektionsgenauigkeit)

Die Durchführung der Genauigkeitsprüfungen der Detektordaten erfolgte in stichprobenartig erhobenen Stundenintervallen (vgl. Kapitel 5.1). Insgesamt wurden 55 Stunden ausgewertet. Die Auswertung erfolgte dabei durch den Vergleich der erstellten Referenzdatensätze (Ground Truth) mit den interpretierten Signalfanken der Detektoren (vgl. Kapitel 5.2.2). Je nach Anwendungsfall und entsprechender Definition (Zählung oder Freigabezeit-Anforderung) ergeben sich dabei unterschiedliche Anforderungen an die Auswertung, die nachfolgend beschrieben sind.

Die Flussdiagramme, die zur Veranschaulichung der Auswertungsalgorithmen dienen, folgen den Vorgaben der DIN 66001, die die in Bild 6-1 abgebildeten Symbole definieren.

Die Flussdiagramme, die zur Veranschaulichung der Auswertungsalgorithmen dienen, folgen den Vorgaben der DIN 66001, die die in Bild 6-1 abgebildeten Symbole definieren.

### Zählung

Laut Definition muss bei einer Kfz-Zählung jedes einzelne Fahrzeug einzeln erfasst werden. Dies stellt hohe Anforderungen an die Detektoren, da jede einzelne Lücke zwischen den Fahrzeugen korrekt erfasst werden musste. Da die Erfassungsbereiche der Detektoren nicht immer an exakt derselben Stelle lagen, konnte es vorkommen, dass ein Kfz, das während der Rotzeit nicht genau an der Haltlinie zum Stillstand kam, von manchen Detektoren sofort erfasst wurde und von anderen erst wenn die LSA den Verkehrsstrom wieder freigegeben hat und das Fahrzeug über die Haltlinie abfahren konnte. Die beschriebene Erfassungsproblematik ist in Bild 6-2 verdeutlicht.

Besonders zu den Hauptverkehrszeiten kam es an dem Testfeld teilweise zu Rotzeiten von bis zu 100

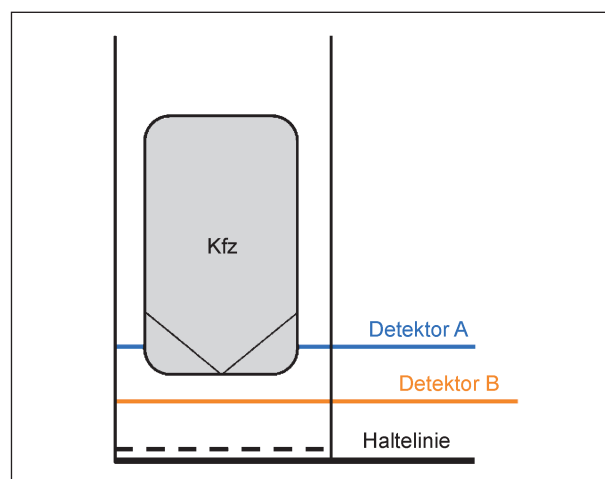


Bild 6-2: Erfassungsproblematik bei Anwendungsfall Zählung

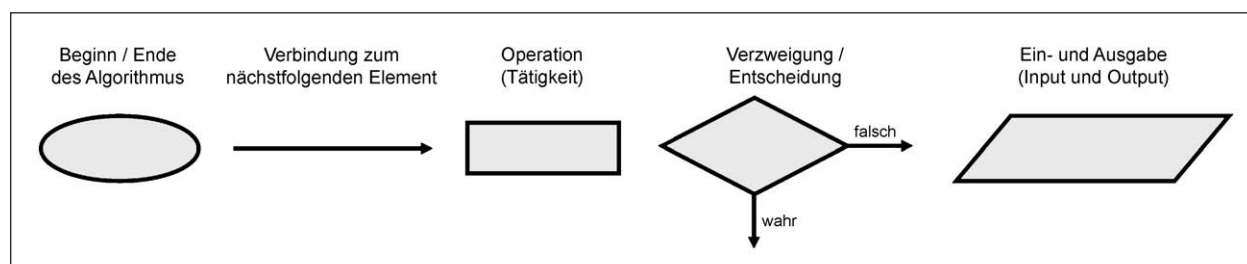


Bild 6-1: Symbollegende für Flussdiagramme (nach DIN 66001)



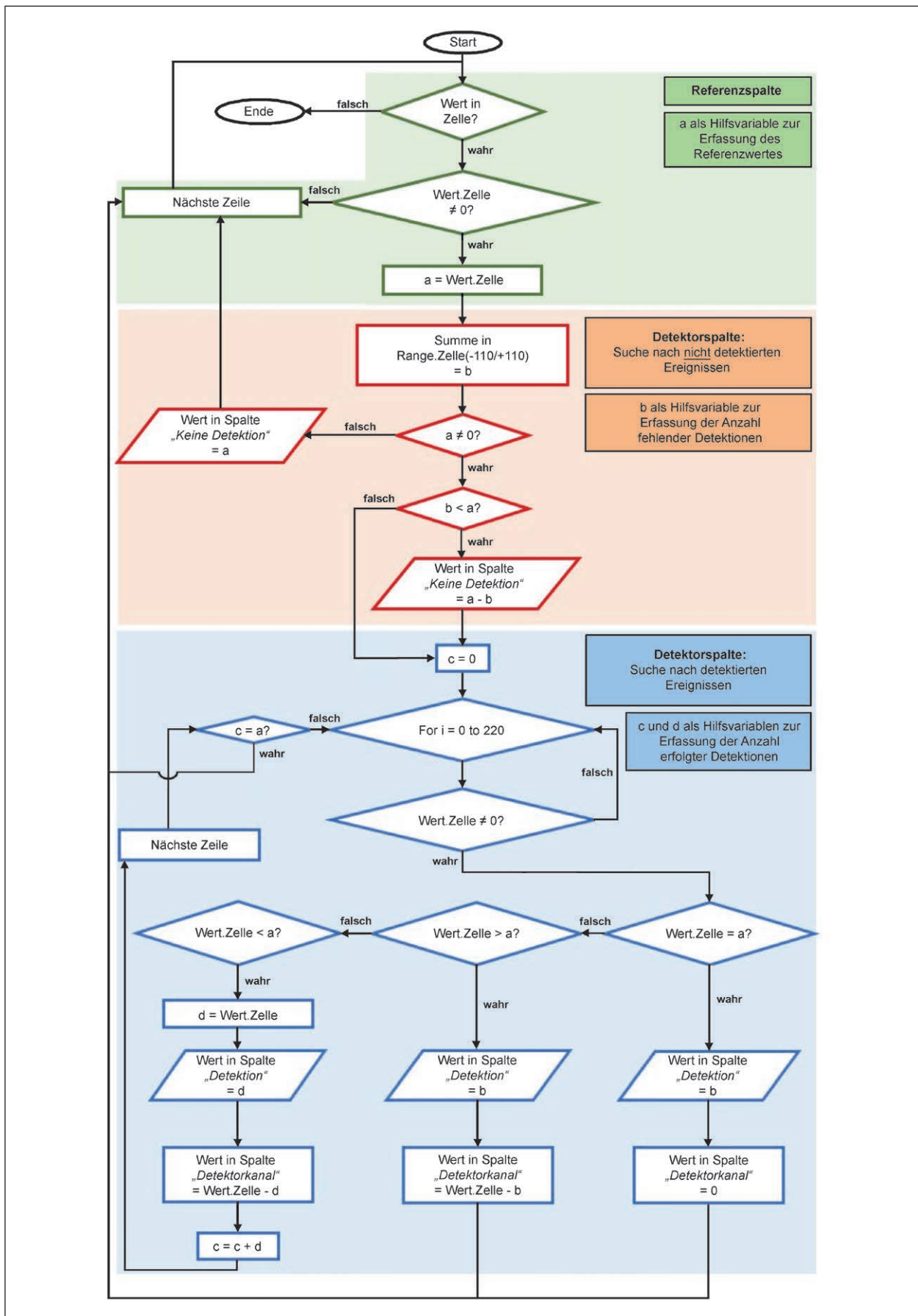


Bild 6-3: Logik Auswertungsalgorithmus Zählung MIV, Teil 1

Sekunden, weshalb festgelegt wurde, dass in einem Bereich von -110 und +110 Sekunden nach Kfz-Zählung im Referenzdatensatz eine Erfassung durch die Detektoren stattfinden musste. Dadurch konnte eine Fehlbewertung der Detektoren verhindert werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass bei Anwendung eines so großen Gültigkeitsbereiches der Fall eintreten konnte, in dem unterschiedliche Erfassungen miteinander verglichen wurden. Je kleiner das Intervall, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass dadurch Fehler entstehen. Ein zu kleines Intervall führt jedoch dazu, dass Detektionen aufgrund der unterschiedlich positionierten Erfassungsbereiche der Sensoren, einer Referenz nicht richtig zugeordnet werden können. Die oben beschriebenen Anforderungen an die Auswertung der Kfz-Zählung wurden in ein Excel-Tool umgesetzt, mit dem die Zählung der einzelnen Detektoren teilweise automatisiert überprüft werden konnte.

Der dabei implementierte Auswertungsalgorithmus ist in Bild 6-3 beschrieben. Die im Algorithmus verwendeten Variablen sind wie folgt zu interpretieren:

- a: Hilfsvariable zur Erfassung des Referenzwertes,
- b: Hilfsvariable zur Erfassung der Anzahl fehlender Detektionen,

- c: Hilfsvariable 1 zur Erfassung der Anzahl erfolgter Detektionen,
- d: Hilfsvariable 2 zur Erfassung der Anzahl erfolgter Detektionen.

Die möglichen Ausgaben des Auswertungsalgorithmus sind durch die Parallelogramme gekennzeichnet.

Nachdem der erste Teil des Auswertungsalgorithmus abgeschlossen ist, finden sich in der Spalte „Detektorkanal“ alle Detektionen, die weder der Spalte „Detektion“ noch der Spalte „Keine Detektion“ zugeordnet werden konnten und damit als Fehlalarm (Detektion durch Detektor ohne Referenzereignis) einzustufen sind.

Der zweite Teil des Auswertungsalgorithmus ist in Bild 6-4 beschrieben. Die im Algorithmus verwendete Hilfsvariable e wurde dabei zur Erfassung der Anzahl an Fehlalarmen genutzt und die mögliche Ausgabe dieses Algorithmus ist wiederum durch ein Parallelogramm gekennzeichnet.

Zur Bewertung der Detektionsgenauigkeit im Anwendungsfall Kfz-Zählung wurden folgende verkehrstechnische Qualitätskenngrößen je Stundenintervall verwendet:

- Detektionsrate: Anteil korrekt detektierter Ereignisse an allen Referenzereignissen,

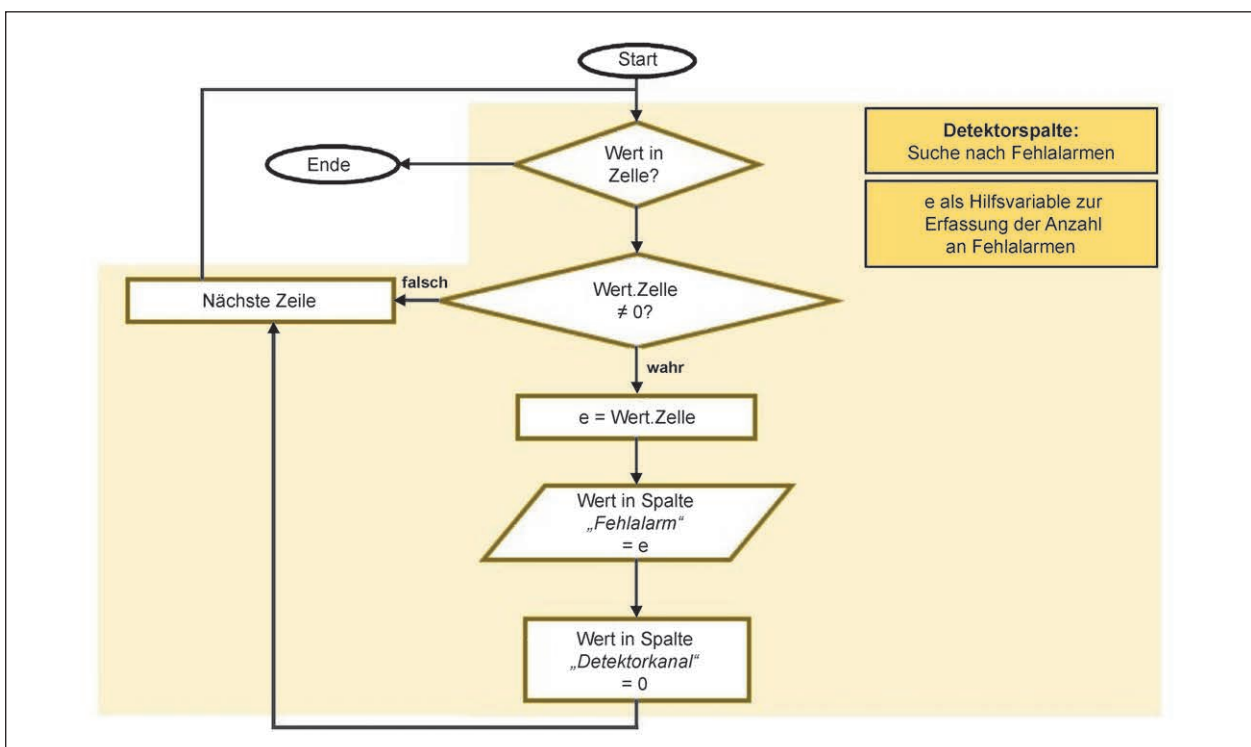


Bild 6-4: Logik Auswertungsalgorithmus Zählung MIV, Teil 2

- Fehlalarmrate: Anteil Fehlalarme (detektiertes Ereignis ohne Referenzereignis) an allen vom Detektor erfassten Ereignissen.

### Anforderung von Freigabezeit

Laut Definition muss bei einer Freigabezeit-Anforderung nicht jedes Fahrzeug einzeln detektiert werden. Es genügt, wenn das erste Fahrzeug und damit die erste Signalflanke nach Beginn der Sperrzeit erfasst wird.

Wie bereits beim Anwendungsfall der Zählung beschrieben, kam es durch die unterschiedliche Position der Erfassungsbereiche der einzelnen Detektoren zu Unterschieden in der zeitlichen Genauigkeit der jeweiligen Detektionen (vgl. Bild 6-2). Nach einigen Durchgängen der manuellen/visuellen Erhebung der Referenzdatensätze fielen hier Versätze von bis zu fünf Sekunden vor und drei Sekunden nach Referenzerstellung in der zeitlichen Erfassung der Fahrzeuge auf. Zur Beurteilung der Detektionsgenauigkeit wurde deshalb eine Zeittoleranz von sieben Sekunden vor und eine Zeittoleranz von fünf Sekunden nach dem Referenzzeitpunkt als Parameter des Bewertungsverfahrens definiert. Damit konnten Detektions- bzw. Verifizierungszeiten der Detektoren, Unterschiede in der Lage der Erfassungsbereiche und ggf. zeitliche Ungenauigkeiten bei der manuellen/visuellen Erfassung der Referenz berücksichtigt werden, ohne die bei einer Freigabezeit-Anforderung erforderliche hohe zeitliche Genauigkeit einer Detektion zu untergraben.

Nur Flanken, die innerhalb der oben beschriebenen Zeittoleranzen detektiert wurden, wurden auch als hinreichend genaue Detektion eingestuft. Hat innerhalb der definierten Zeittoleranzen keine Erfassung durch den Detektor stattgefunden, so galt das Ereignis als nicht detektiert.

Der dabei implementierte Auswertungsalgorithmus ist in Bild 6-5 beschrieben. Die im Algorithmus verwendeten Variablen sind – genau wie bei dem Anwendungsfall der Zählung – wie folgt zu interpretieren:

- a: Hilfsvariable zur Erfassung des Referenzwertes,
- b: Hilfsvariable zur Erfassung der Anzahl fehlender Detektionen,
- c: Hilfsvariable 1 zur Erfassung der Anzahl erfolgter Detektionen,

- d: Hilfsvariable 2 zur Erfassung der Anzahl erfolgter Detektionen.

Die möglichen Ausgaben des Auswertungsalgorithmus sind durch die Parallelogramme gekennzeichnet.

Da nur die Erfassung des ersten Fahrzeuges nach Beginn der Sperrzeit als maßgebend für die Freigabezeit-Anforderung gilt, wurde zur Bewertung der Detektionsgenauigkeit im Anwendungsfall Freigabe-Anforderung lediglich die Detektionsrate (Anteil korrekt detektierter Ereignisse an allen Referenzereignissen) gewählt.

### Verlängerung der Freigabezeit

Laut Definition muss bei der Freigabezeit-Verlängerung nicht jedes Fahrzeug einzeln detektiert werden. Es genügt, wenn während der Grünphase zumindest das letzte Fahrzeug (negative Signalflanke) jedes Fahrzeugpulses während der Grünphase detektiert wird. Dabei muss die Zeitlücke zwischen zwei Fahrzeugen detektiert werden, die zur Abgrenzung zweier Pulks voneinander dient. Diese Größe sollte eine Kenngröße des Bewertungsverfahrens sein.

Zur Beurteilung, ob ein Detektor eine Signalflanke rechtzeitig detektiert hat, wurde eine Zeittoleranz vor und nach dem Referenzzeitpunkt der letzten negativen Signalflanke eines Fahrzeugpulses als Parameter des Bewertungsverfahrens definiert. Nur die Signalflanken, die innerhalb der Zeittoleranz detektiert wurden, wurden als hinreichend genaue Detektion gewertet. Damit konnten zum einen Detektions- bzw. Verifizierungszeiten der Detektoren und zum anderen ggf. zeitliche Ungenauigkeiten bei der manuellen/visuellen Erfassung der Referenz berücksichtigt werden.

Da nur die Erfassung des letzten Fahrzeuges innerhalb der Grünphase als maßgebend für die Freigabezeit-Verlängerung gilt, wurde zur Bewertung der Detektionsgenauigkeit im Anwendungsfall Freigabezeit-Verlängerung lediglich die Detektionsrate (Anteil korrekt detektierter Ereignisse an allen Referenzereignissen) gewählt.

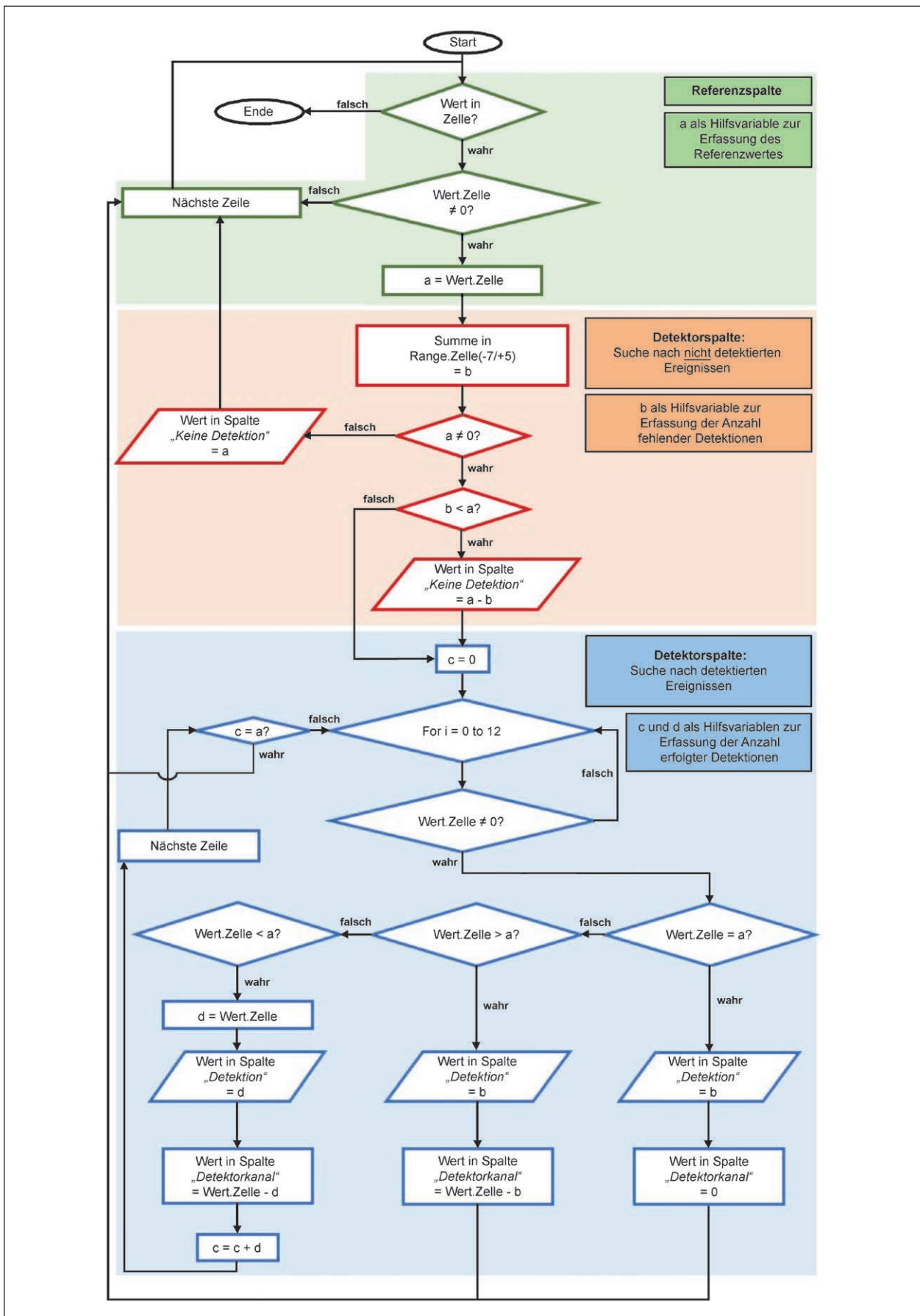


Bild 6-5: Logik Auswertungsalgorithmus Freizeit-Anforderung MIV

## 7 Ergebnisse der Datenauswertung

### 7.1 Referenzfreie Prüfungen

#### Tatsächliche Verfügbarkeit

Wie bereits in Kapitel 6.1 beschrieben, sollte bei der Überprüfung der Daten auf tatsächliche Verfügbarkeit ermittelt werden, ob zu jeder einzelnen Sekunde des Auswertungszeitraumes (01.12.2017 bis einschließlich 31.01.2018) ein Datensatz vorliegt. Durch eine SQL-Abfrage in der Datenbank wurde überprüft, ob zu jedem einzelnen Zeitstempel (Kombination aus Datum und sekundenfeiner Zeitangabe) Daten in der Datenbank hinterlegt worden sind, wobei zunächst vernachlässigt wurde, ob der Datensatz Lücken aufweist (siehe Prüfung auf Vollständigkeit).

Demnach wurde keine detektorspezifische Aussage über die tatsächliche Verfügbarkeit der Daten getroffen, sondern das Ergebnis sollte als Bewertung des gesamten Datentransfer-Systems (Detektor + Steuergerät + OCIT-Schnittstelle zur Datenübertragung, vgl. Kapitel 5.2) interpretiert werden.

Bild 7-1 zeigt das Auswertungsergebnis der Prüfung auf tatsächliche Verfügbarkeit der Daten. Die schwarze Markierung bildet dabei den Mittelwert der Anzahl fehlender Datensätze pro Tag ab, während der Balken die Spannweite aller Auswertungsergebnisse darstellt.

Die relative Häufigkeitsverteilung der Auswertungsergebnisse ist in Bild 7-2 abgebildet.

Tabelle 7-1 gibt einen Überblick über alle berechneten statistischen Kenngrößen der Prüfung auf tatsächliche Verfügbarkeit der Daten.

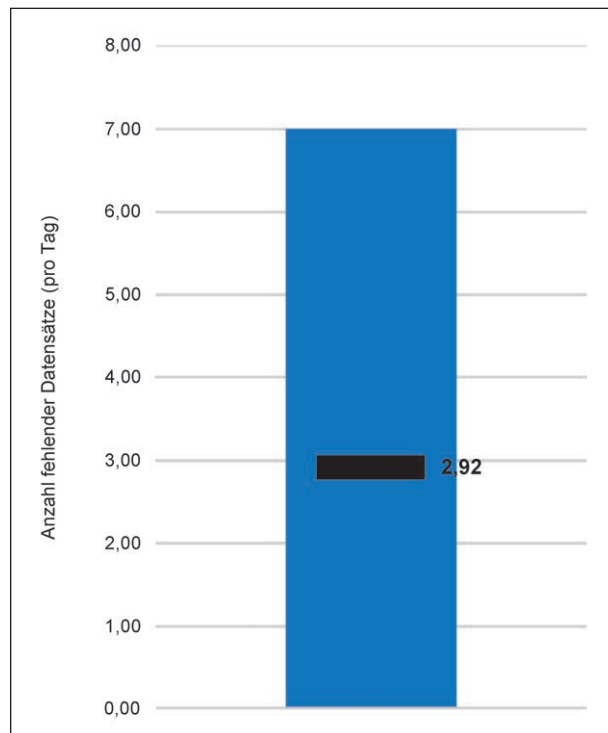


Bild 7-1: Mittelwert und Spannweite der Auswertungsergebnisse zur tatsächlichen Verfügbarkeit

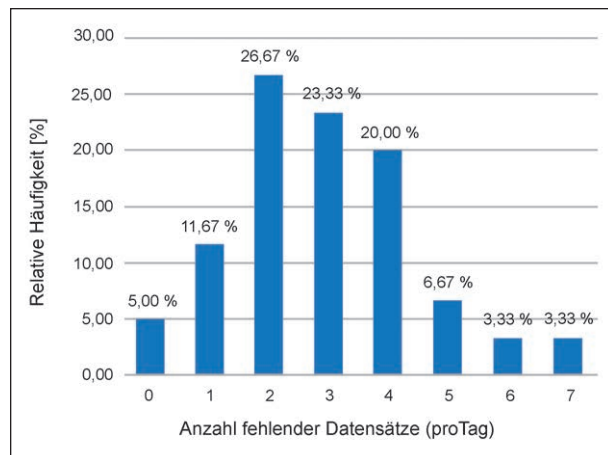


Bild 7-2: Relative Häufigkeitsverteilung – Auswertungsergebnisse tatsächliche Verfügbarkeit

Statistische Kenngröße	Berechnungsergebnis
Mittelwert $\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$	2,92
Spannweite $R = x_{max} - x_{min}$	7,00
Standardabweichung $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	1,59
Streuung $s^2 = \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	2,52

Tab. 7-1: Statistische Kenngrößen (Prüfung auf tatsächliche Verfügbarkeit der Daten)

Mithilfe der berechneten statistischen Kenngrößen lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Der Erwartungswert  $\mu$  der Grundgesamtheit liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % (gewähltes Konfidenzniveau  $\mathcal{X} = 0,95$ ) im Intervall:  
 $KONF(2,51 \leq \mu \leq 3,33 \mid \mathcal{X} = 0,95)$
- Der Erwartungswert  $\mu$  der Grundgesamtheit liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % (gewähltes Konfidenzniveau  $\mathcal{X} = 0,99$ ) im Intervall:  
 $KONF(2,37 \leq \mu \leq 3,47 \mid \mathcal{X} = 0,99)$

### Vollständigkeit

Wie in Kapitel 6.1 beschrieben, sollte bei der Überprüfung der Daten auf Vollständigkeit ermittelt werden, ob jeder einzelne in der Datenbank hinterlegte Datensatz vollständig mit Werten befüllt war. Durch eine SQL-Abfrage in der Datenbank wurde überprüft, ob jedes zu befüllende Feld in der Datenbank auch tatsächlich befüllt war, wobei zunächst vernachlässigt wurde, ob die Einträge in der Datenbank die richtige Anzahl an Zeichen aufwiesen (siehe Prüfung auf Konsistenz).

Demnach wurde keine detektorspezifische Aussage über die tatsächliche Verfügbarkeit der Daten getroffen, sondern das Ergebnis sollte eher als Bewertung des gesamten Datentransfer-Systems (Detektor + Steuergerät + OCIT-Schnittstelle zur Datenübertragung, vgl. Kapitel 5.2) interpretiert werden.

Die für den Auswertungszeitraum (01.12.2017 bis einschließlich 31.01.2018) durchgeführten Vollständigkeitsprüfungen haben eine einhundert prozentige Vollständigkeit der Daten bestätigt, weshalb von einer grafischen Darstellung der Ergebnisse abgesehen wurde.

### Konsistenz

Durch die Überprüfung der Daten auf Konsistenz sollte ermittelt werden, ob jeder einzelne in der Datenbank hinterlegte Datensatz die richtige Anzahl an Zeichen aufwies, das richtige Format aufwies und ob das erste Zeichen plausibel war (vgl. Kapitel 6.1). Diese Prüfungen wurden durch ein Excel-Tool realisiert, wobei zunächst vernachlässigt wurde, ob die Einträge in der Datenbank eine richtige Flankenfolge aufwiesen (siehe Prüfung auf Korrektheit).

Die für den Auswertungszeitraum (01.01.2017 bis einschließlich 31.01.2018) durchgeführten Konsistenzprüfungen haben eine einhundert prozentige

Konsistenz der Daten bestätigt, weshalb von einer grafischen Darstellung der Ergebnisse abgesehen wurde.

### Korrektheit

Wie in Kapitel 6.1 beschrieben, sollte bei der Überprüfung der Daten auf Korrektheit festgestellt werden, ob die Signalfankenfolge der Rohdaten korrekt war. Die Umsetzung erfolgte durch ein Excel-Tool, mit dem die in Tabelle 5-3 aufgeführten Korrektheitsprüfungen (Logikprüfungen 1 bis 6) durchgeführt wurden (vgl. Kapitel 5.2.2). Ein Datensatz galt demnach als nicht korrekt, wenn entweder eine Flanke in der Signalfankenabfolge fehlte oder der Wechsel zwischen den Flankenzuständen nicht korrekt stattgefunden hat.

Bild 7-3 zeigt das Auswertungsergebnis der Prüfung auf Korrektheit der Daten für den Anwendungsfall der Freigabezeit-Anforderung im Gesamtvergleich. Das Bild fasst dabei alle Teilergebnisse (siehe Anhang B) zusammen, um die jeweiligen Detektionstechnologien schnell miteinander vergleichen zu können.

Die schwarze Markierung bildet dabei den Mittelwert des relativen Anteils nicht korrekter Flankenfolgen pro Tag ab, während der Balken die Spannweite aller Auswertungsergebnisse darstellt.

In Bild 7-4 sind die Auswertungsergebnisse für den Anwendungsfall der Zählung abgebildet. Das Bild fasst dabei alle Teilergebnisse (siehe Anhang C) zusammen, um die jeweiligen Detektionstechnologien schnell miteinander vergleichen zu können. Auch hier bildet die schwarze Markierung den Mittelwert des relativen Anteils nicht korrekter Flankenfolgen pro Tag ab, während der Balken die Spannweite aller Auswertungsergebnisse darstellt.

In beiden Anwendungsfällen lieferte die Radardetektion sowohl die niedrigsten Mittelwerte für die relativen Anteile nicht korrekter Datensätze, als auch die niedrigsten Spannweiten der Ergebnisse. Generell sind jedoch der Mittelwert und die Spannweite für die relativen Anteile nicht korrekter Datensätze für jede Detektionstechnologie sehr gering. Keine Detektionstechnologie lieferte über den gesamten Auswertungszeitraum höhere Anteile als 0,4 % nicht korrekter Datensätze pro Tag. Das entspricht einem Wert von 345,6 Sekunden, beziehungsweise der Anzahl nicht korrekter Datensätze pro Tag.

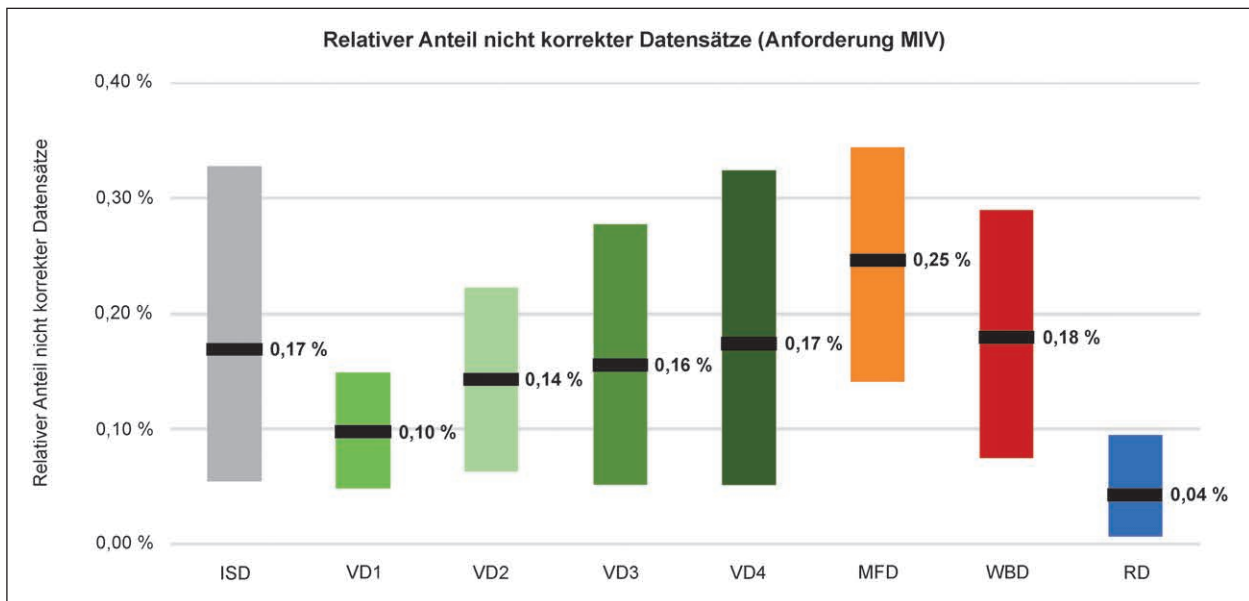


Bild 7-3: Mittelwert und Spannweite der Auswertungsergebnisse zur Korrektheit (Anforderung MIV)

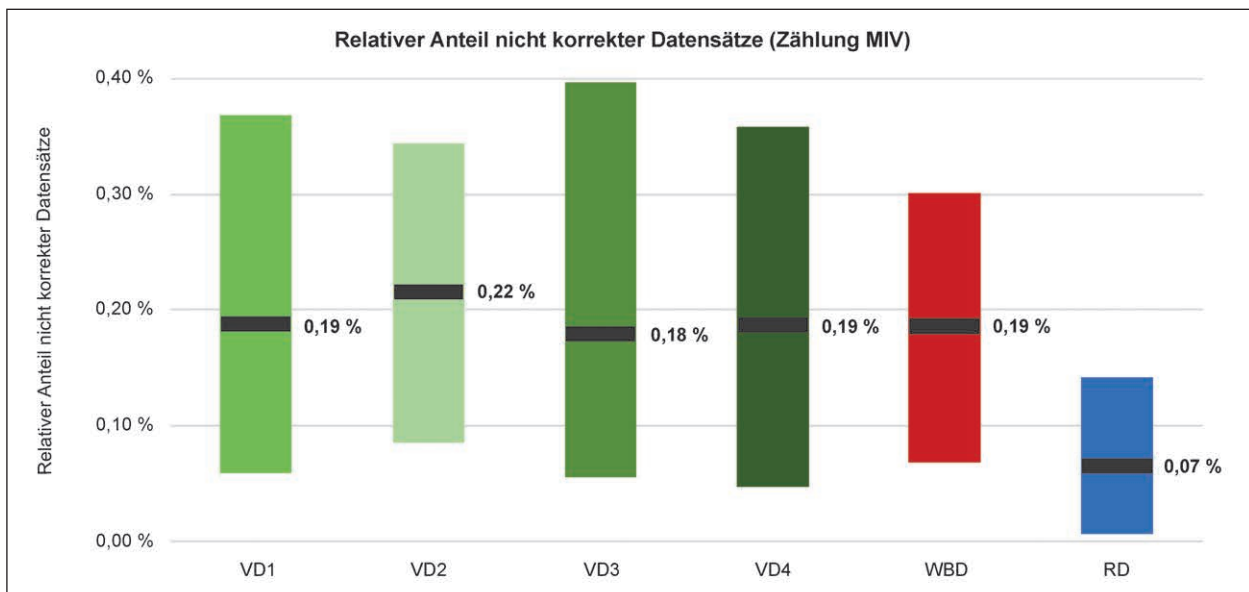


Bild 7-4: Mittelwert und Spannweite der Auswertungsergebnisse zur Korrektheit (Zählung MIV)

## 7.2 Prüfungen mit Referenz (Detektionsgenauigkeit) – Freigabezeit-Verlängerung

Im Anwendungsfall der Freigabezeit-Verlängerung haben sich unter anderem bedingt durch die Einrichtung des Testfeldes folgende Herausforderungen bei der manuellen/visuellen Referenzdatenerhebung ergeben:

- Bedingt durch den flachen Blickwinkel der Videokameras, die der Erhebung der Referenzdatensätze dienen, zur Fahrbahn, konnte keine

hinreichend genaue Referenzdatenerhebung der Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen gewährleistet werden.

- Eine manuelle Referenz konnte anhand von Videobildern mit einer maximalen Genauigkeit von 1 bis 2 Sekunden erhoben werden. Die Genauigkeit der Detektion erfolgte von der untersuchten Sensorik jedoch im Bereich von Millisekunden.

Nach Untersuchung mehrerer Datensätze hat sich herausgestellt, dass ein Vergleich der Referenz-

daten mit den Detektionsdaten bei einer so hohen Diskrepanz der Genauigkeitstiefe nicht zielführend ist. Aufgrund dieser Tatsache kann die Aussage getroffen werden, dass eine manuelle Referenzerhebung von Zeitlücken mittels Videomaterial im Falle der Freigabezeit-Verlängerung keine geeignete Maßnahme darstellt.

### 7.3 Prüfungen mit Referenz (Detektionsgenauigkeit) – Zählung

Wie in Kapitel 6.2 beschrieben, sollte bei der Überprüfung der Daten auf Genauigkeit ermittelt werden, ob die von den Detektoren gelieferten Rohdaten und damit die von den Detektoren erfassten Signalfanken mit den erstellten Referenzdatensätzen (Ground Truth) übereinstimmen. Die Umsetzung erfolgte durch einen direkten Vergleich der interpretierten Signalfanken der Detektoren mit den erstellten Referenzdatensätzen (Ground Truth) mithilfe verschiedener Excel-Tools.

Die Darstellung der Auswertungsergebnisse erfolgte immer in Abhängigkeit der Verkehrsstärke, die somit als primäre Kenngröße des Auswertungsverfahrens anzusehen ist. Des Weiteren wurden die Auswertungsergebnisse in verschiedene Einflussfaktoren unterteilt (z. B. Sonne, Dämmerung ohne Niederschlag, Bewölkt mit Niederschlag, etc.), die als sekundäre Kenngrößen des Auswertungsverfahrens angesehen werden können. Die Auswertung umfasste dabei einerseits die Darstellung aller Detektionstechnologien je Einflussfaktor, andererseits alle Einflussfaktoren je Detektionstechnologie und letztlich eine gesonderte Darstellung der einzelnen Einflussfaktoren für jede Detektionstechnologie.

Die Darstellung aller Detektionstechnologien je Einflussfaktor dient dabei dem schnellen und einfachen Vergleich der Detektionstechnologien untereinander. Mit der Darstellung aller Einflussfaktoren je Detektionstechnologie wurden Trendlinien über die Verkehrsstärke für jede Detektionstechnologie erstellt, welche die allgemeine Performance der Technologien über alle verfügbaren Beobachtungen darstellen. Durch Berechnung der Abweichungen der einzelnen Messwerte zur Trendlinie konnten so für jeden Einflussfaktor Aussagen getroffen werden (siehe Erläuterung Bild 7-5). Wurden bei einem Einflussfaktor weniger als acht Stunden ausgewertet, wurde die statistische Auswertung hier als nicht

präsentativ eingestuft. Letztlich dient die gesonderte Darstellung der einzelnen Einflussfaktoren für jede Detektionstechnologie der genaueren Betrachtung der einzelnen Einflussfaktoren im Vergleich zur allgemeinen Performance (Trendlinie) der Detektionstechnologien. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nachfolgend lediglich die Auswertungsergebnisse aller Einflussfaktoren je Detektionstechnologie (inkl. statistische Auswertung) abgebildet.

Ein Boxplot-Diagramm besteht immer aus einem Rechteck (Box) und zwei Linien, die dieses Rechteck verlängern. Diese Linien werden als Antenne oder Whisker bezeichnet und werden durch einen Querstrich abgeschlossen. Der oberste Querstrich (1) eines Boxplot-Diagramms zeigt den Maximalwert einer Datenreihe (mit Ausnahme von Ausreißern) an. Die zweite Querlinie oder das obere Ende der Box (2) bildet dabei das oberste Quartil einer Datenreihe ab. Der Querstrich in der Box (3) repräsentiert den Median der Verteilung, während das Kreuz (4) den Mittelwert der Datenreihe kennzeichnet. Das untere Ende der Box (5) bildet das untere Quartil der Datenreihe ab und letztlich wird der Minimalwert einer Datenreihe (mit Ausnahme von Ausreißern) durch den untersten Querstrich (6) repräsentiert. Etwaige Ausreißer werden durch Markierungen oberhalb des obersten (1) oder unterhalb des untersten (6) Querstriches dargestellt.

Somit lassen sich durch Boxplot-Diagramme sehr schnell Rückschlüsse auf Eigenschaften einer Verteilung ziehen. Sowohl zwischen dem oberen Quar-

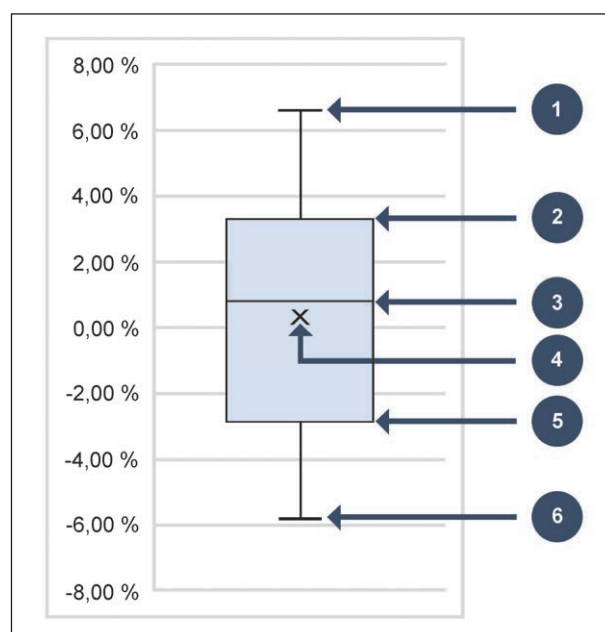


Bild 7-5: Erläuterung Boxplot-Diagramme



til (2) und dem Maximalwert (1) einer Datenreihe, als auch zwischen unterem Quartil (5) und dem Minimalwert (6) einer Datenreihe, treten 25 % der Stichprobe auf. Somit treten zwischen oberem (2) und unterem (5) Quartil (genannt Interquartilsabstand) 50 % der Stichprobe auf. Der Median (3) gibt dabei die Mittelgrenze der Datenreihe an – 50 % der Datenreihe treten sowohl oberhalb als auch unterhalb des Medians auf. An der Lage des Medians innerhalb der Box kann man erkennen, ob eine Verteilung symmetrisch oder schief ist, je nachdem ob sich der Median in der Mitte oder in der oberen/unteren Hälfte der Box befindet. Die Länge des gesamten Boxplot-Diagramms ist als Spannweite der Datenreihe (gesamter Wertebereich des Datensatzes ohne Ausreißer) zu interpretieren.

Außerdem erfolgte die Auswertung der Daten einerseits ohne sehr niedrige Verkehrsstärken (< 25 Kfz/h) und andererseits mit sehr niedrigen Verkehrsstärken. Der Grund hierfür ist das starke prozentuale Gewicht einiger weniger Falschmeldungen bei Verkehrsstärken < 25 Kfz/h, weshalb die erstellten Trendlinien im Bereich sehr niedriger Verkehrsstärken stark verzerrt werden können. Aus diesem Grund sind nachfolgend die Auswertungen ohne sehr niedrige Verkehrsstärken abgebildet, während im Anhang ebenfalls die Auswertungen mit sehr niedrigen Verkehrsstärken enthalten sind.

Im Anhang finden sich somit folgende Auswertungs-Teilergebnisse:

- Alle Detektoren je Einflussfaktor (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) in Anhang D,
- alle Detektoren je Einflussfaktor (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken in Anhang E,
- alle Einflussfaktoren je Detektor (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) in Anhang F,
- einzelne Einflussfaktoren je Detektor (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) in Anhang G,
- einzelne Einflussfaktoren je Detektor (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) in Anhang H und
- statistische Auswertung je Detektor (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) in Anhang I.

### 7.3.1 Videodetektion

Im Anwendungsfall der Zählung wurden vier verschiedene Modelle von Videodetektoren unter-

sucht, welche dieselbe Detektionstechnologie verwenden. Nachfolgend sind die Auswertungsergebnisse einzeln dargestellt und bestehen je Detektionstechnologie aus einer Teil-Abbildung zur Detektionsrate und aus einer Teil-Abbildung zur Fehlalarmrate.

#### VD1

Bild 7-6 zeigt die Detektions- bzw. Fehlalarmrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor VD1. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft sowohl für die Detektions- als auch die Fehlalarmrate mit ansteigender Verkehrsstärke fallend. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang G (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und H (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden. Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-7 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass bei der Detektionsrate (links) der Median im positiven Bereich liegt, während der Mittelwert der Datenreihe bei einer Abweichung von 0,0 % liegt. Somit liegen mehr als 50 % der Abweichungen zur Trendlinie im positiven Bereich, sprich die Detektionsrate liegt bei diesem Einflussfaktor in mehr als 50 % der Fälle über der Trendlinie. Weiterhin zeigt die Abweichung zur Trendlinie bei der Fehlalarmrate (rechts), dass sowohl das untere Quartil als auch der Mittelwert der Datenreihe im negativen Bereich liegen. Die negative Abweichung spricht dafür, dass in mehr als 75 % der Fälle die Fehlalarmrate unterhalb der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) lag.

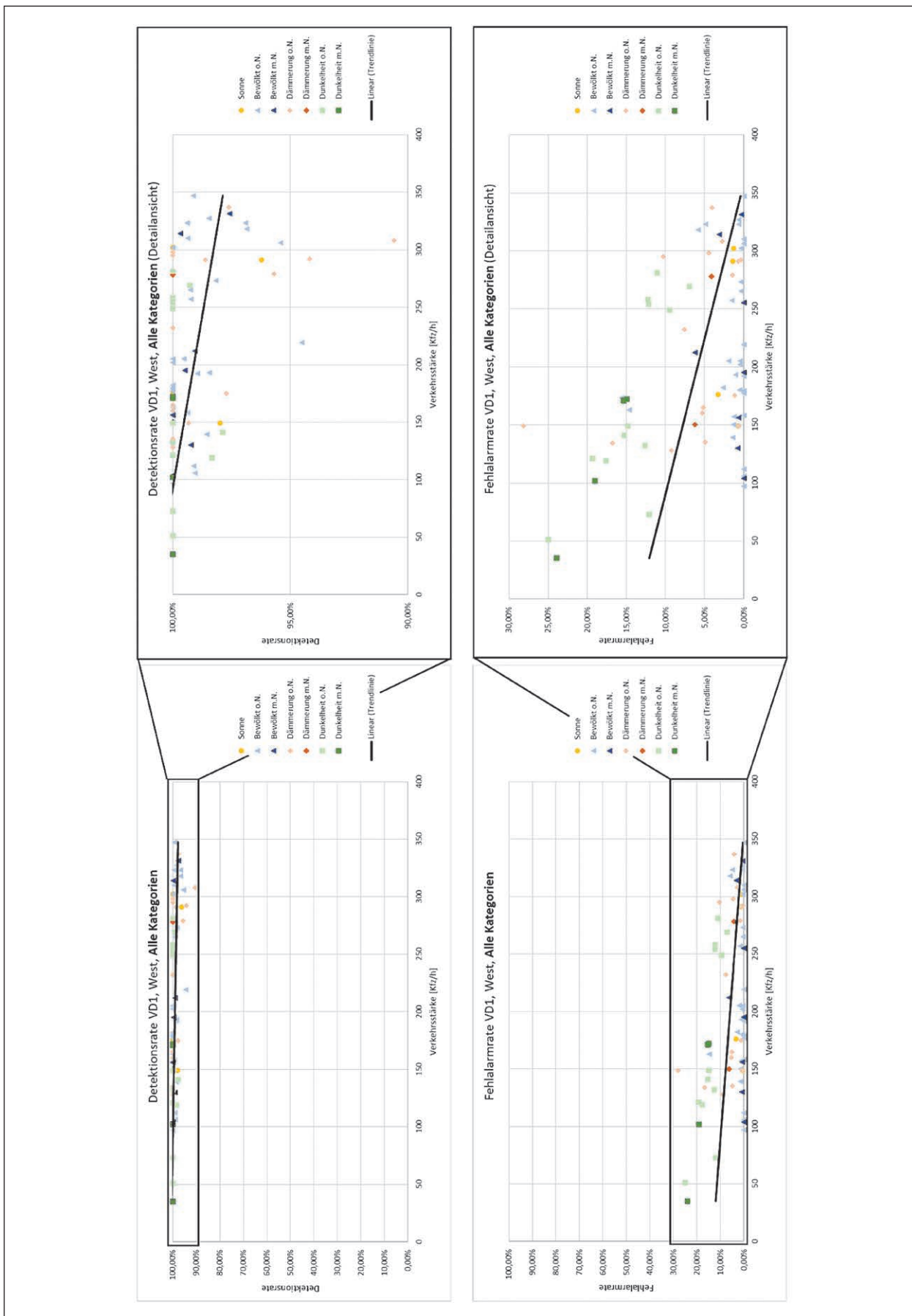


Bild 7-6: Detektions- und Fehlalarmrate VDI – Zählung

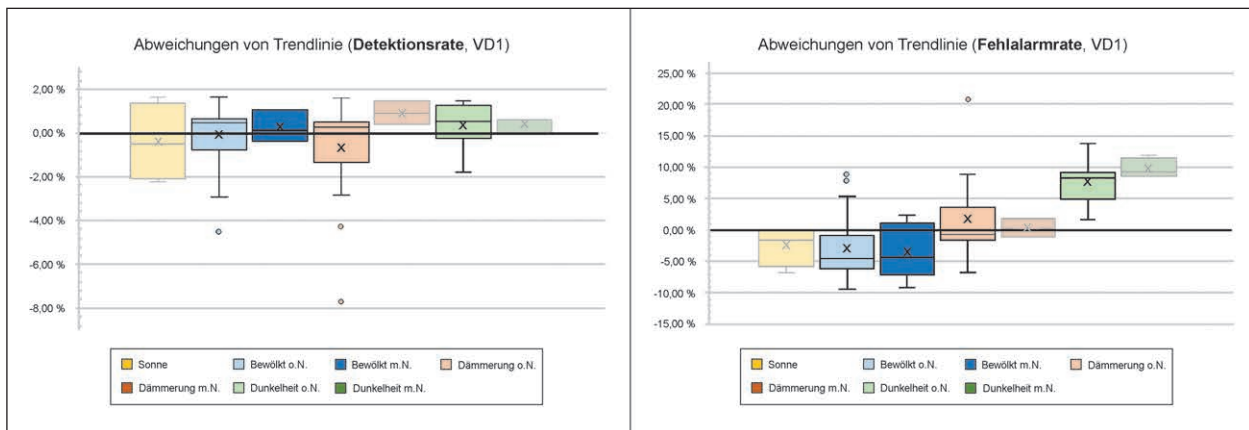


Bild 7-7: Statistische Auswertungen, VD1 – Zählung

Ähnliches gilt für den Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“. Bei der Detektionsrate (links) liegen sowohl der Median, als auch der Mittelwert über der Trendlinie, was aussagt, dass mehr als die Hälfte aller Beobachtungen mit einer höheren Detektionsrate als die Trendlinie einzustufen waren. Bei der Fehlalarmrate (rechts) liegen sowohl der Mittelwert als auch der Median deutlich unterhalb der Trendlinie. Somit wurden hier fast 75 % aller Beobachtungen mit einer niedrigeren Fehlalarmrate als die Trendlinie eingestuft.

Der Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ zeigt bei der Detektionsrate (links), dass der Median im positiven Bereich liegt, was bedeutet, dass mehr als 50 % aller Beobachtungen eine höhere Detektionsrate aufwiesen als die Trendlinie. Der Mittelwert liegt hier jedoch im negativen Bereich. Ähnliches ist bei der Fehlalarmrate (rechts) zu beobachten. Der Median liegt hier im negativen Bereich, was bedeutet, dass in 50 % der Fälle die Fehlalarmrate unterhalb der Trendlinie lag. Allerdings liegt der Mittelwert hier oberhalb der Trendlinie. Die starke Diskrepanz zwischen Median und Mittelwert ist dabei in beiden Fällen durch die Ausreißer zu erklären, die den Mittelwert natürlich mit beeinflussen.

Beim Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ ist zu bemerken, dass bei der Detektionsrate (links) sowohl der Median als auch der Mittelwert im positiven Bereich liegen. Somit wurden hier fast 75 % aller Beobachtungen mit einer höheren Detektionsrate als die Trendlinie eingestuft. Bei der Fehlalarmrate (rechts) liegt das komplette Boxplot-Diagramm im positiven Bereich. Somit wurde bei allen Beobachtungen eine höhere Fehlalarmrate als die Trendlinie ausgewertet. Besonders der hohe Median und Mittelwert (ca. 7 %) zeigen, dass es bei diesem Einflussfaktor zu erhöhten Fehlalarmraten kam.

## VD2

Bild 7-8 zeigt die Detektions- bzw. Fehlalarmrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor VD2. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate mit ansteigender Verkehrsstärke leicht steigend, während die Fehlalarmrate mit steigender Verkehrsstärke abfällt. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang G (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und H (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden. Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-9 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass bei der Detektionsrate (links) das untere Quartil und der Mittelwert der Datenreihe im positiven Bereich liegen. Somit lag bei diesem Einflussfaktor die Detektionsrate in mehr als 75 % der Fälle über der Trendlinie. Bei der Fehlalarmrate (rechts) liegt der Median im negativen Bereich, während der Mittelwert im positiven Bereich

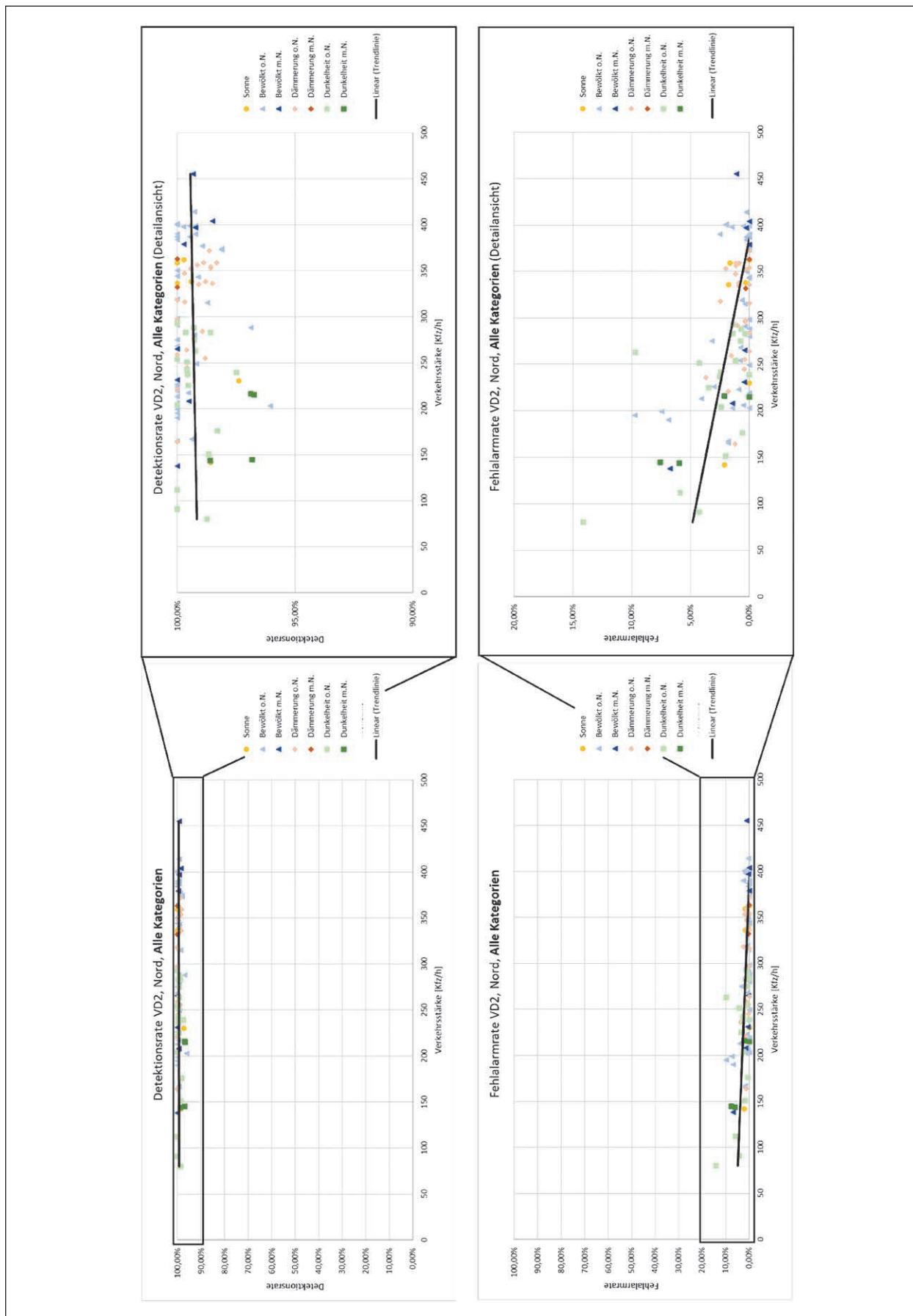


Bild 7-8: Detektions- und Fehlalarmrate VD2 – Zählung

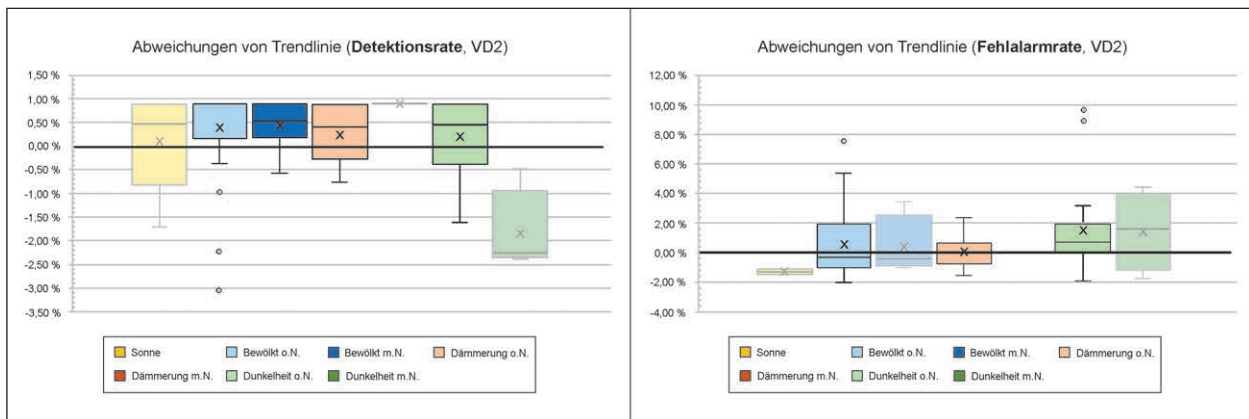


Bild 7-9: Statistische Auswertungen, VD2 – Zählung

liegt. Somit wurden in 50 % der Fälle Fehlalarmraten erzielt, die unterhalb der Trendlinie lagen. Der positive Mittelwert ergibt sich hier durch die hohe Spannweite des Boxplot-Diagrammes im positiven Bereich.

Bei der Detektionsrate (links) gilt Ähnliches auch für den Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“. Das untere Quartil und der Mittelwert liegen hier im positiven Bereich, was aussagt, dass bei 75 % der Beobachtungen eine höhere Detektionsrate als die Trendlinie erzielt wurde. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt, dass weniger als acht Stunden zur statistischen Auswertung dieses Einflussfaktors vorlagen, weshalb hier keine repräsentative Aussage getroffen werden kann.

Auch der Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ zeigt bei der Detektionsrate (links), dass der Median im positiven Bereich liegt, was bedeutet, dass mehr als 50 % aller Beobachtungen eine höhere Detektionsrate aufwiesen als die Trendlinie. Der Mittelwert liegt hier ebenfalls im positiven Bereich. Bei der Fehlalarmrate (rechts) liegen der Median und der Mittelwert auf der Trendlinie, was bedeutet, dass jeweils die Hälfte aller Beobachtungen mit einer Fehlalarmrate ausgewertet wurde, die oberhalb bzw. unterhalb der Trendlinie lag.

Beim Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ ist zu bemerken, dass bei der Detektionsrate (links) sowohl der Median als auch der Mittelwert im positiven Bereich liegen. Somit wurden hier über 50 % aller Beobachtungen mit einer höheren Detektionsrate als die Trendlinie eingestuft. Bei der Fehlalarmrate (rechts) liegt noch das untere Quartil im positiven Bereich, was aussagt, dass bei 75 % aller Beobachtungen eine Fehlalarmrate vorlag, die über der Trendlinie lag. Der Mittelwert liegt hier ebenfalls im positiven Bereich.

### VD3

Bild 7-10 zeigt die Detektions- bzw. Fehlalarmrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor VD3. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate mit ansteigender Verkehrsstärke steigend, während die Fehlalarmrate mit steigender Verkehrsstärke abfällt. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang G (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und H (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden. Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-11 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass bei der Detektionsrate (links) das untere Quartil und der Mittelwert der Datenreihe im positiven Bereich liegen. Somit lag bei diesem Einflussfaktor die Detektionsrate in mehr als 75 % der Fälle über der Trendlinie. Bei der Fehlalarmrate (rechts) liegen sowohl das untere Quartil als auch der Mittelwert im negativen Bereich. Somit

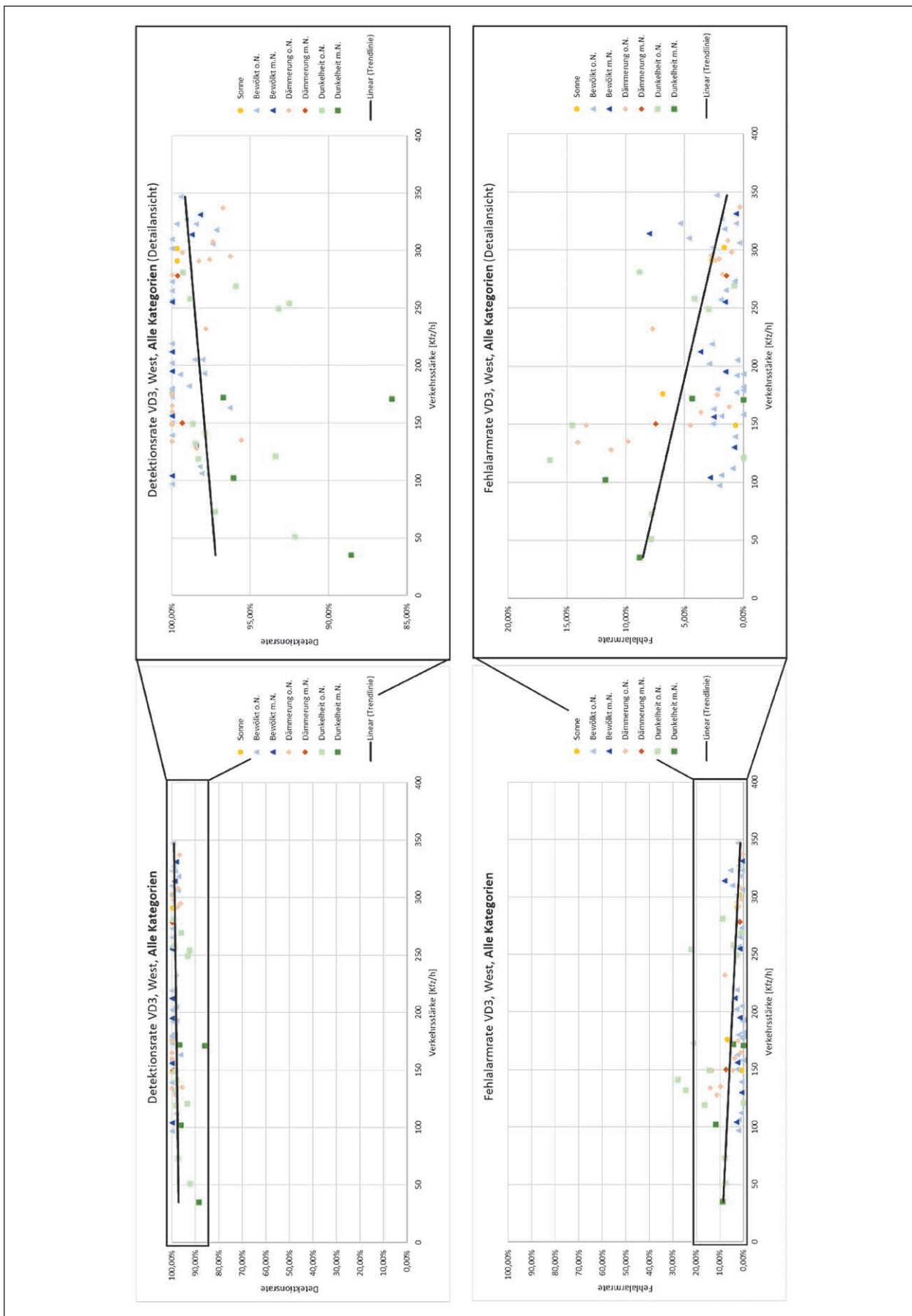


Bild 7-10: Detektions- und Fehlalarmrate VD3 – Zählung

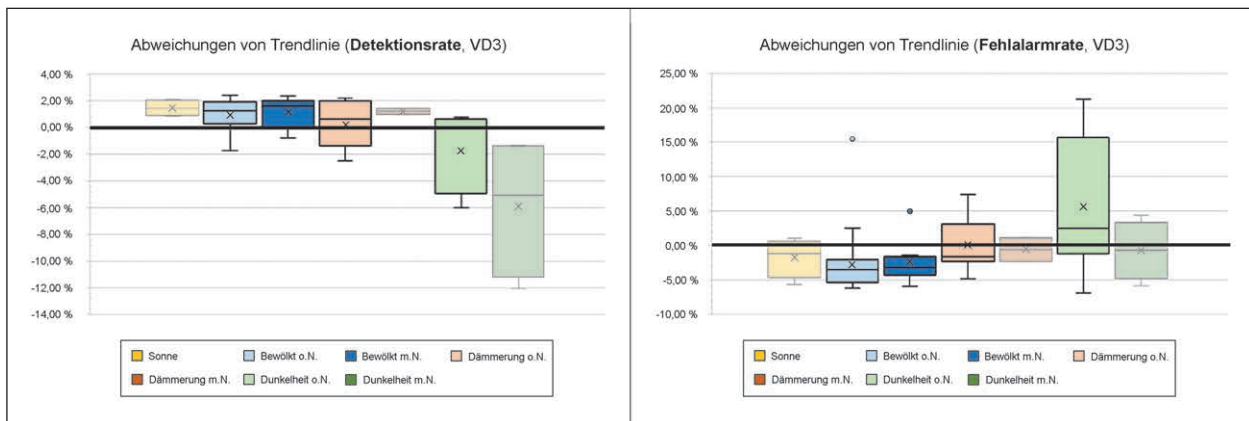


Bild 7-11: Statistische Auswertungen, VD3 – Zählung

wurden in mehr als 75 % der Fälle Fehlalarmraten erzielt, die unterhalb der Trendlinie lagen.

Auch der Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ zeigt bei der Detektionsrate (links), dass das untere Quartil und der Mittelwert im positiven Bereich liegen, was bedeutet, dass in über 75 % aller Beobachtungen bzw. Auswertungen eine Detektionsrate erzielt wurde, die über der Trendlinie lag. Bei der Fehlalarmrate (rechts) liegt das gesamte Boxplot-Diagramm und somit auch der Mittelwert im negativen Bereich des Diagramms. Somit wurden hier stets Fehlalarmraten beobachtet, die unterhalb der Trendlinie lagen. Lediglich ein Ausreißer lag im positiven Bereich.

Beim Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass bei der Detektionsrate (links) der Median im positiven Bereich liegt, was bedeutet, dass bei mehr als 50 % aller Beobachtungen bzw. Auswertungen eine Detektionsrate erzielt wurde, die oberhalb der Trendlinie lag. Der Mittelwert liegt hier nahe der Trendlinie, jedoch noch im positiven Bereich. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt, dass der Median im negativen Bereich liegt und somit mehr als die Hälfte aller Beobachtungen eine niedrigere Fehlalarmrate als die Trendlinie aufwies. Der Mittelwert liegt hier exakt auf der Trendlinie (Abweichung von 0 %).

Der Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ zeigt für die Detektionsrate (links), dass der Median auf der Trendlinie liegt, was darauf schließen lässt, dass in etwa 50 % der Beobachtungen jeweils eine höhere bzw. niedrigere Detektionsrate als die Trendlinie ausgewertet wurde. Da die Streuung der Detektionsraten, die unterhalb der Trendlinie lagen, deutlich höher ist als die der Detektionsraten, die oberhalb der Trendlinie lagen, befindet sich der Mittelwert bei diesem Einflussfaktor im negativen Be-

reich. Die Fehlalarmrate (rechts) zeigt, dass der Median hier im positiven Bereich liegt, was bedeutet, dass in mehr als 50 % der Beobachtungen bzw. Auswertungen Fehlalarmraten beobachtet wurden, die teils deutlich oberhalb der Trendlinie lagen. Deshalb liegt in diesem Fall der Mittelwert ebenfalls deutlich im positiven Bereich.

#### VD4

Bild 7-12 zeigt die Detektions- bzw. Fehlalarmrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor VD4. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate mit ansteigender Verkehrsstärke leicht fallend, während die Fehlalarmrate mit steigender Verkehrsstärke deutlich abfällt. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang G (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und H (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden. Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-13 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei dem Einflussfaktor „Dämmerung mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesem Einflussfaktor getroffen werden kann.

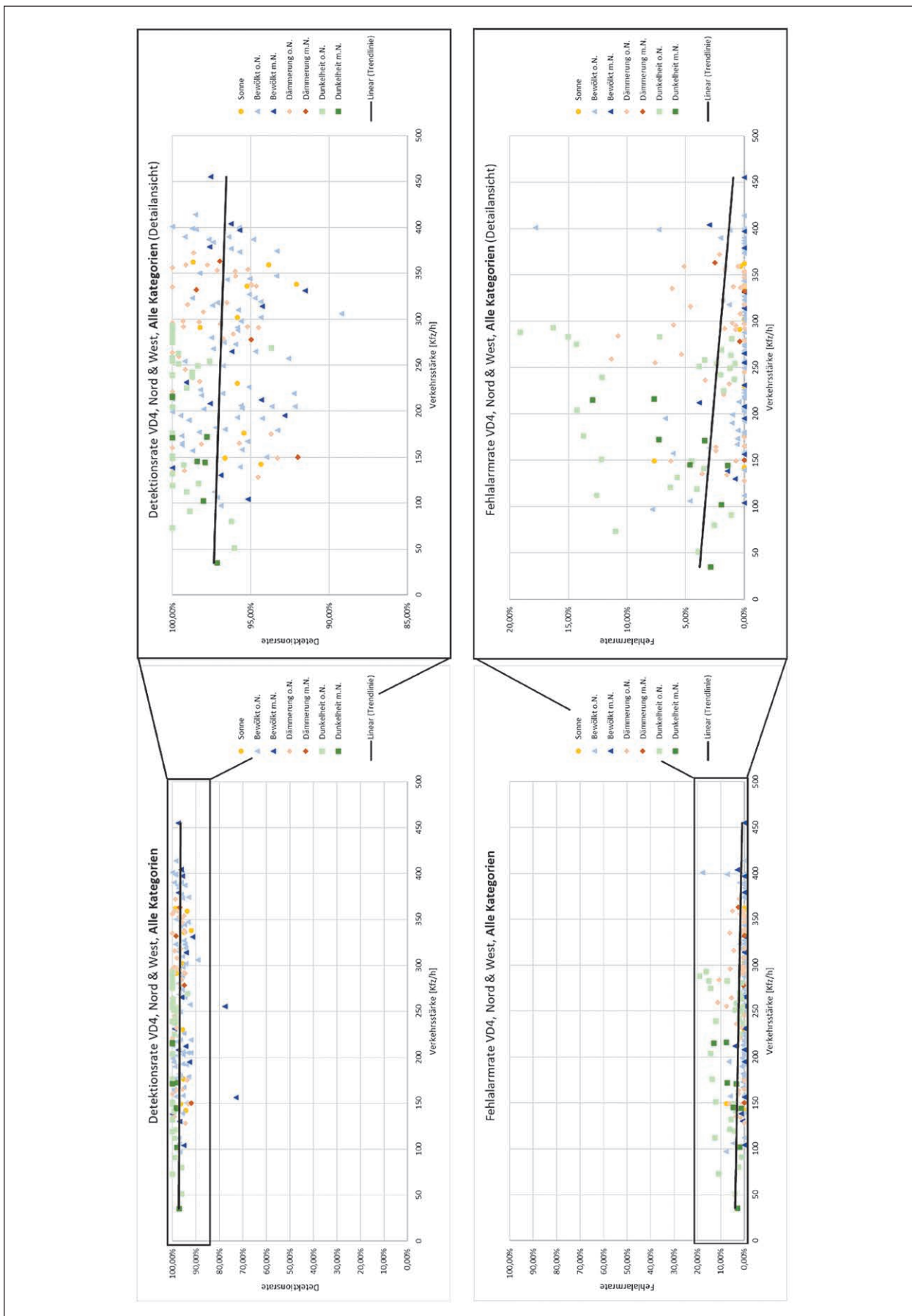


Bild 7-12: Detektions- und Fehlalarmrate VD4 – Zählung



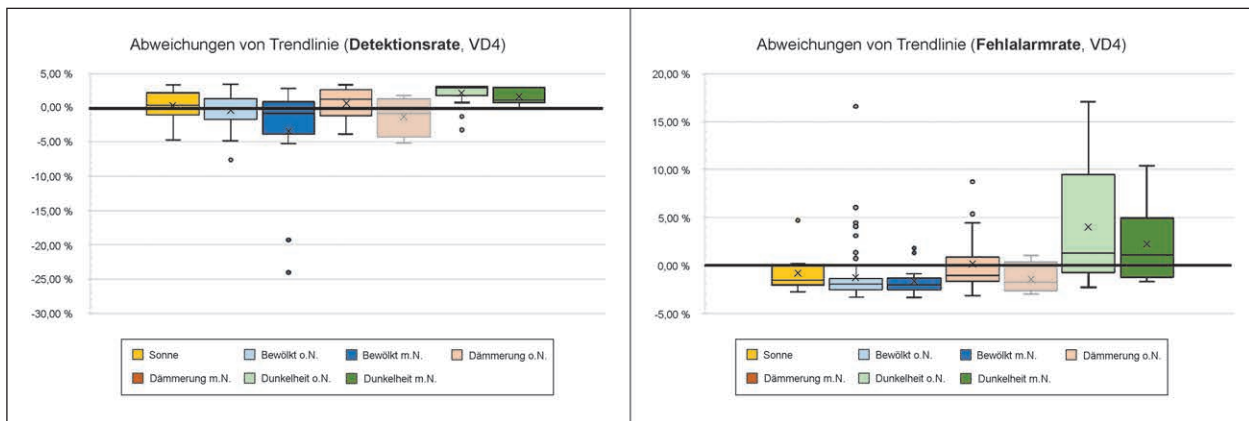


Bild 7-13: Statistische Auswertungen, VD4 – Zählung

Beim Einflussfaktor „Sonne“ liegen bei der Detektionsrate (links) sowohl der Median als auch der Mittelwert im positiven Bereich, was bedeutet, dass bei mehr als der Hälfte aller Beobachtungen Detektionsraten ausgewertet wurden, die oberhalb der Trendlinie lagen. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt, dass sich fast das gesamte Boxplot-Diagramm im negativen Bereich befindet. Lediglich der Maximalwert liegt knapp im positiven Bereich und es wurde ein Ausreißer bei etwa 5,0 % beobachtet.

Der Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ zeigt bei der Detektionsrate (links), dass der Median auf der Trendlinie liegt, was bedeutet, dass in etwa der Hälfte aller Beobachtungen jeweils eine höhere bzw. niedrigere Detektionsrate im Vergleich zur Trendlinie erzielt wurde. Durch die etwas höhere Streuung des Boxplot-Diagramms im negativen Bereich liegt hier der Mittelwert leicht unterhalb der Trendlinie. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt, dass sich das gesamte Boxplot-Diagramm (mit Ausnahme der Ausreißer) im negativen Bereich befindet. Dies bedeutet, dass abgesehen von den Ausreißern alle Beobachtungen eine Fehlalarmrate unterhalb der Trendlinie aufwiesen. Der Mittelwert liegt hier trotz der hohen Anzahl an Ausreißern, die mit bis zu 17 % teils deutlich oberhalb der Trendlinie lagen, ebenfalls im negativen Bereich.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ ist zu bemerken, dass für die Detektionsrate (links) sowohl der Median als auch der Mittelwert im negativen Bereich liegen. Das bedeutet, dass in mehr als 50 % aller Beobachtungen die Detektionsrate unterhalb der Trendlinie lag. Die vergleichsweise hohe Abweichung des Mittelwerts zur Trendlinie lässt sich durch die zwei deutlichen Ausreißer erklären. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt, dass mit Ausnahme der beiden Ausreißer das gesamte Boxplot-Dia-

gramm im negativen Bereich liegt. Somit wurde bei allen Beobachtungen bzw. Auswertungen (mit Ausnahme der beiden Ausreißer) eine Fehlalarmrate erzielt, die unterhalb der Trendlinie lag.

Bei der Detektionsrate (links) gilt für den Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“, dass der Median und der Mittelwert im positiven Bereich liegen. Somit wurde bei über der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate erzielt, die oberhalb der Trendlinie lag. Bei der Fehlalarmrate (rechts) befindet sich der Median im negativen Bereich. Somit wurde bei über 50 % aller Beobachtungen (mit Ausnahme der Ausreißer) eine Fehlalarmrate erzielt, die unterhalb der Trendlinie lag. Der Mittelwert liegt hier leicht oberhalb der Trendlinie, was durch die beiden vergleichsweise deutlich oberhalb der Trendlinie liegenden Ausreißer zu erklären ist.

Der Einflussfaktor „Dämmerung mit Niederschlag“ zeigt für die Detektionsrate (links), dass der Median und der Mittelwert hier knapp unterhalb der Trendlinie liegen. Das bedeutet, dass bei etwas mehr als der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate ausgewertet wurde, die unterhalb der Trendlinie lag. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt, dass sich der Median und der Mittelwert im negativen Bereich befinden. Da das obere Quartil nur knapp oberhalb der Trendlinie liegt, kann hier gesagt werden, dass bei fast 75 % aller Beobachtungen eine Fehlalarmrate erzielt wurde, die unterhalb der Trendlinie lag.

Letztlich gilt beim Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ für die Detektionsrate (links), dass das gesamte Boxplot-Diagramm hier (mit Ausnahme der beiden Ausreißer) im positiven Bereich liegt. Somit wurde bei allen Beobachtungen (ohne Ausreißer) eine Detektionsrate ausgewertet, die oberhalb der Trendlinie lag. Für die Fehlalarmrate gilt,

dass sich sowohl der Median als auch der Mittelwert oberhalb der Trendlinie befinden, was bedeutet, dass in mehr als der Hälfte aller Beobachtungen die Fehlalarmrate (teils deutlich) oberhalb der Trendlinie lag.

### 7.3.2 Wärmebilddetektion

Bild 7-14 zeigt die Detektions- bzw. Fehlalarmrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor WBD. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate mit ansteigender Verkehrsstärke steigend, während die Fehlalarmrate mit steigender Verkehrsstärke zwar leicht abfällt, jedoch eine vergleichsweise sehr geringe negative Steigung aufweist. Dies kommt durch die fast durchweg sehr niedrigen Fehlalarmraten zustande, die bewirken, dass die Trendlinie ohnehin sehr geringe Werte aufweist. Bis auf eine Beobachtung lagen die Fehlalarmraten hier stets unter 1 %. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang G (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und H (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden. Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-15 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

Für den Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ gilt bei der Detektionsrate (links), dass der Median sich im positiven Bereich befindet, was bedeutet, dass mehr als 50 % aller Beobachtungen bzw. Messungen eine Detektionsrate aufweisen, die oberhalb der Trendlinie liegt. Der Mittelwert liegt hier sehr nah an der Trendlinie, was durch die beiden Ausreißer im negativen Bereich des Diagrammes zu erklären ist. Bei der Fehlalarmrate (rechts) ist zu

sehen, dass das gesamte Boxplot-Diagramm im negativen Bereich liegt. Somit wurde bei allen Beobachtungen (mit Ausnahme von Ausreißern) eine Fehlalarmrate ausgewertet, die unterhalb der Trendlinie lag. Bei diesem Einflussfaktor kam es zu einem Ausreißer in der Verteilung, der bei etwa 6 % lag und nicht in dem obigen Diagramm dargestellt ist. Durch diesen Ausreißer ergibt sich auch der Mittelwert im positiven Bereich.

Der Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ zeigt für die Detektionsrate (links), dass das obere Quartil im negativen Bereich liegt. Das bedeutet, dass in mehr als 75 % aller Beobachtungen die Detektionsrate (teils deutlich) unterhalb der Trendlinie lag. Der Mittelwert befindet sich ebenfalls im negativen Bereich. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt, dass weniger als acht Stunden zur statistischen Auswertung dieses Einflussfaktors vorlagen, weshalb hier keine statistisch fundierte Aussage getroffen werden kann.

Beim Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass bei der Detektionsrate (links) sowohl das untere Quartil als auch der Mittelwert im positiven Bereich liegen, was bedeutet, dass in über 75 % aller Beobachtungen Detektionsraten erzielt wurden, die oberhalb der Trendlinie liegen. Bei der Fehlalarmrate (rechts) gilt ähnliches wie in den vorherigen Einflussfaktor-Kategorien. Das gesamte Boxplot-Diagramm und somit auch der Mittelwert befinden sich im negativen Bereich, was bedeutet, dass alle Beobachtungen Fehlalarmraten aufwiesen, die unterhalb der Trendlinie lagen.

Auch der Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ zeigt bei der Detektionsrate (links), dass das untere Quartil und der Mittelwert im positiven Bereich liegen, was bedeutet, dass in über 75 % aller Beobachtungen bzw. Auswertungen eine Detektionsrate erzielt wurde, die über der Trendlinie war. Und auch bei der Fehlalarmrate (rechts) liegt hier das gesamte Boxplot-Diagramm (mit Ausnahme der Ausreißer) im negativen Bereich, was bedeutet, dass bei allen Beobachtungen (bis auf die beiden Ausreißer) Fehlalarmraten ausgewertet wurden, die unterhalb der Trendlinie lagen. Der Mittelwert liegt dabei in etwa auf der Höhe des Maximalwertes der Verteilung, was durch die beiden (vergleichsweise hohen) Ausreißer zu erklären ist.

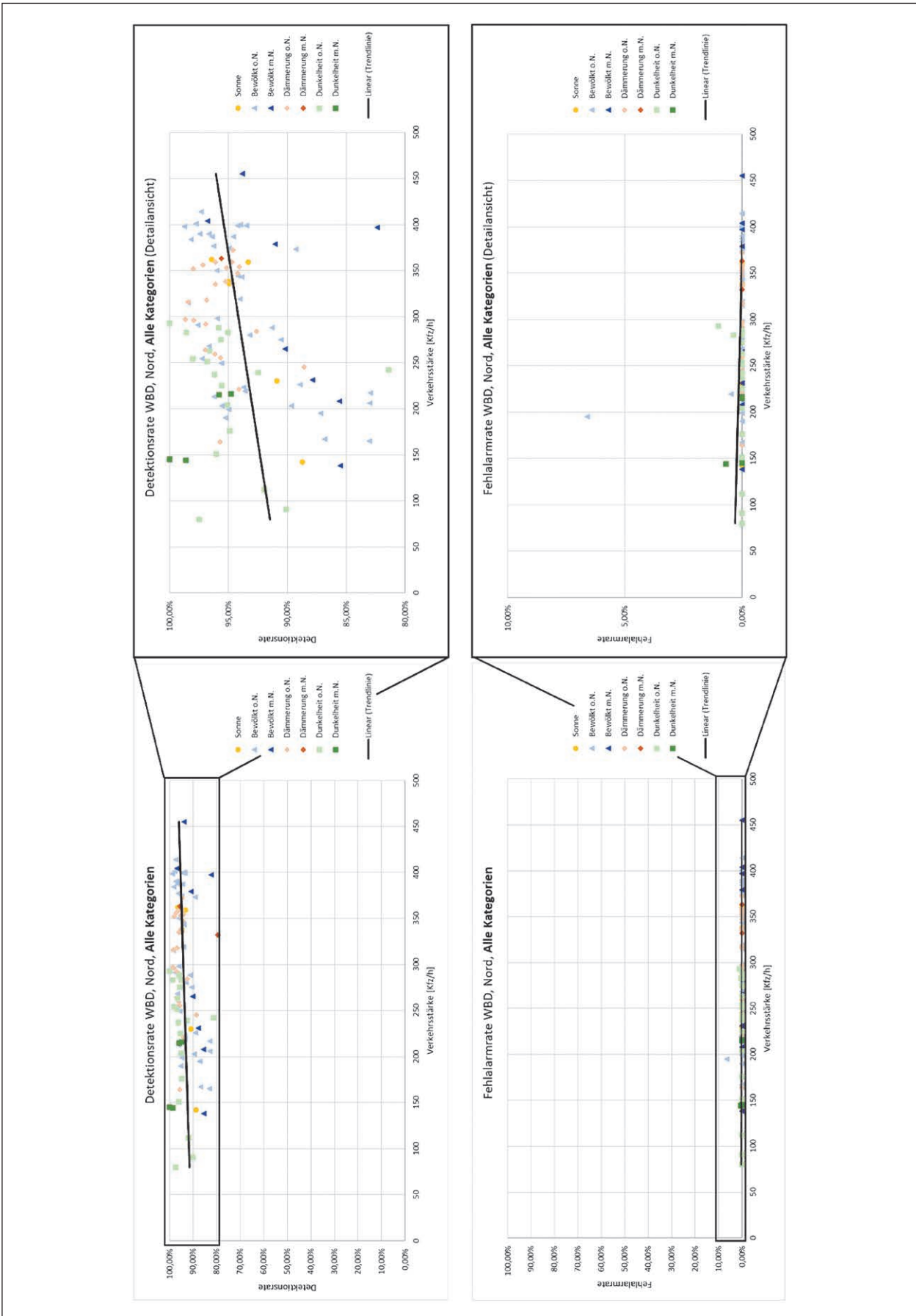


Bild 7-14: Detektions- und Fehlalarmrate WBD – Zählung

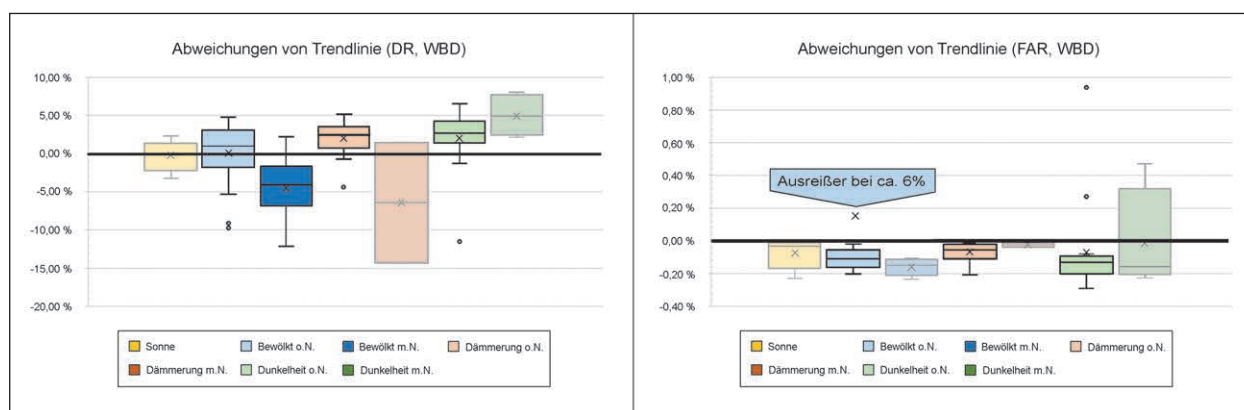


Bild 7-15: Statistische Auswertungen, WBD – Zählung

### 7.3.3 Radardetektion

Bild 7-16 zeigt die Detektions- bzw. Fehlalarmrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Radardetektor. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate mit ansteigender Verkehrsstärke deutlich fallend. Für die Fehlalarmrate fällt die Trendlinie mit steigender Verkehrsstärke mit einer geringeren negativen Steigung ab. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang G (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und H (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden. Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-17 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei dem Einflussfaktor „Dämmerung mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesem Einflussfaktor getroffen werden kann.

Beim Einflussfaktor „Sonne“ liegen bei der Detektionsrate (links) sowohl der Median als auch der Mittelwert genau auf der Trendlinie. Somit wurde jeweils bei der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate ausgewertet, die oberhalb bzw. unterhalb der Trendlinie lag. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt, dass sich das gesamte Boxplot-Dia-

gramm im negativen Bereich befindet. Somit wurde hier bei allen Beobachtungen bzw. Auswertungen eine Fehlalarmrate ausgewertet, die unterhalb der Trendlinie lag.

Der Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ zeigt für die Detektionsrate (links), dass der Median und der Mittelwert im positiven Bereich liegen, was bedeutet, dass in mehr als der Hälfte aller Beobachtungen Detektionsraten erzielt wurden, die oberhalb der Trendlinie lagen. Bei der Fehlalarmrate (rechts) liegt das gesamte Boxplot-Diagramm im negativen Bereich, was darauf schließen lässt, dass alle Beobachtungen Fehlalarmraten aufwiesen, die unterhalb der Trendlinie lagen.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass bei der Detektionsrate (links) der Median und der Mittelwert im negativen Bereich liegen. Somit wurde in mehr als der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate erzielt, die unterhalb der Trendlinie lag. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt ähnliches wie für die vorherige Einflussfaktor-Kategorie. Das gesamte Boxplot-Diagramm und somit auch der Mittelwert liegen im negativen Bereich. Für jede Beobachtung konnten somit Fehlalarmraten ausgewertet werden, die unterhalb der Trendlinie lagen.

Auch der Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ zeigt bei der Detektionsrate (links), dass der Median und der Mittelwert im negativen Bereich liegen, was bedeutet, dass in mehr als 50 % aller Beobachtungen eine Detektionsrate erzielt wurde, die unterhalb der Trendlinie lag. Bei der Fehlalarmrate (rechts) liegt erneut das gesamte Boxplot-Diagramm im negativen Bereich. Somit wurde bei jeder Beobachtung eine Fehlalarmrate erzielt, die unterhalb der Trendlinie lag.

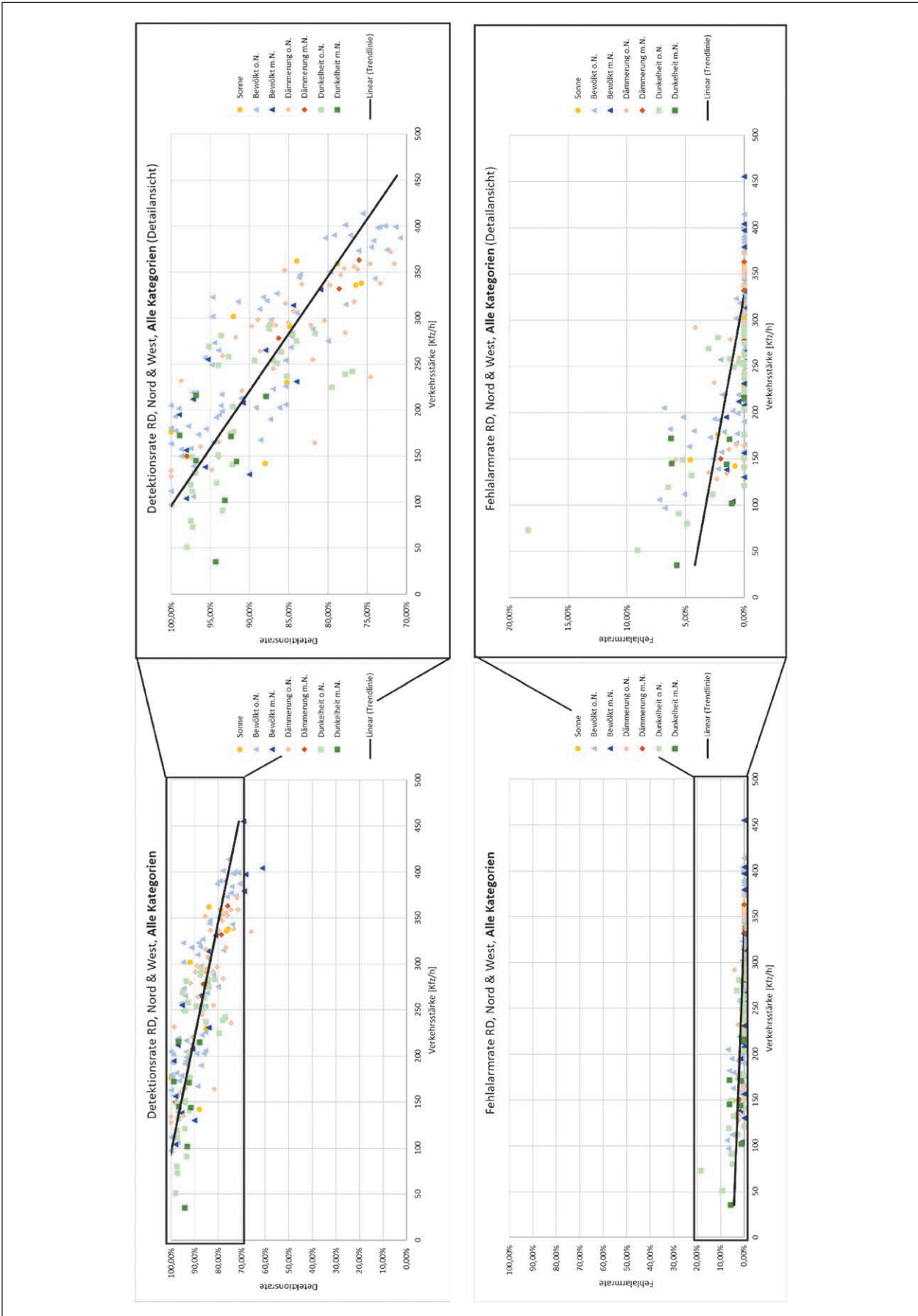


Bild 7-16: Detektions- und Fehlalarmrate RD – Zählung

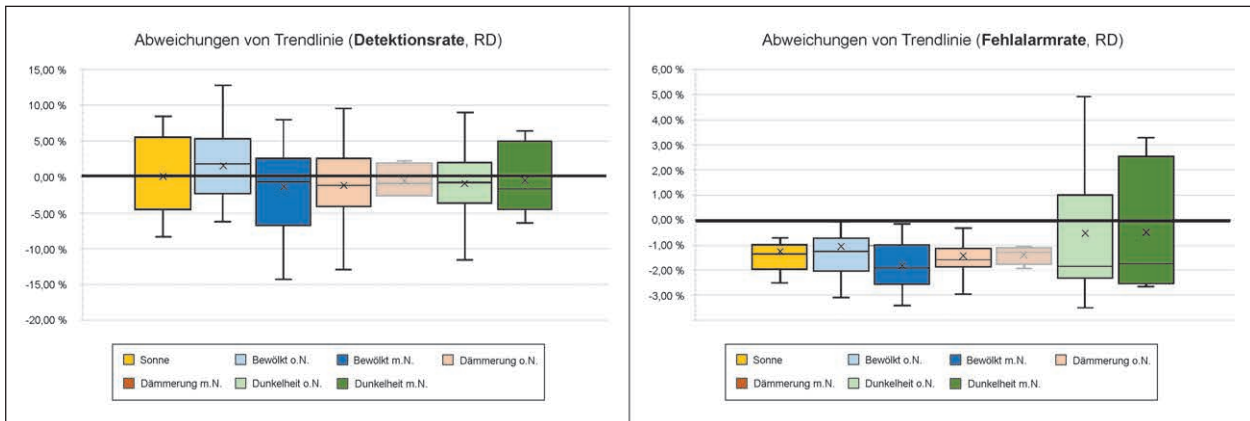


Bild 7-17: Statistische Auswertungen, RD – Zählung

Der Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ zeigt für die Detektionsrate (links), dass der Median und der Mittelwert sich im negativen Bereich befinden, was bedeutet, dass in mehr als der Hälfte aller Beobachtungen Detektionsraten erzielt wurden, die unterhalb der Trendlinie lagen. Für die Fehlalarmrate (rechts) gilt, dass der Median und der Mittelwert im negativen Bereich liegen und somit mehr als die Hälfte aller Beobachtungen eine Fehlalarmrate aufwiesen, die unterhalb der Trendlinie lag. Der Mittelwert liegt dabei deutlich näher an der Trendlinie als der Median, was durch die sehr viel größere Streuung der Werte, die oberhalb des Medians liegen, zu erklären ist.

Beim Einflussfaktor „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist für die Detektionsrate (links) zu erwähnen, dass weniger als acht Stunden zur statistischen Auswertung dieses Einflussfaktors vorlagen, weshalb hier keine repräsentative Aussage getroffen werden kann. Bei der Fehlalarmrate (rechts) lagen sowohl der Median als auch der Mittelwert im negativen Bereich. Somit wurde bei mehr als 50 % aller Beobachtungen eine Fehlalarmrate ausgewertet, die unterhalb der Trendlinie lag.

**7.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Tabelle 7-2 fasst die Ergebnisse der Trendlinien der einzelnen Detektoren zusammen. Während bei den Videodetektoren der Verlauf der Trendlinie für die Detektoren VD1 und VD4 mit steigender Verkehrsstärke abfällt, steigen diese für die Detektoren VD2 und VD3 mit steigender Verkehrsstärke an. Bei den Fehlalarmraten zeigte sich, dass diese für alle Videodetektoren mit steigender Verkehrsstärke fallend verläuft. Für den Wärmebilddetektor (WBD) gilt, dass die Detektionsrate mit steigender Verkehrsstärke ansteigt, während die Fehlalarmrate

Detektor	Detektionsrate	Fehlalarmrate
	(Verlauf mit steigender Verkehrsstärke...)	
VD1	fallend	fallend
VD2	leicht steigend	fallend
VD3	steigend	fallend
VD4	leicht fallend	fallend
WBD	steigend	leicht fallend (ohnehin sehr gering)
RD	stark fallend	fallend

Tab. 7-2: Zusammenfassung: Verlauf der Trendlinien der Detektoren – Zählung

mit steigender Verkehrsstärke einen fallenden Verlauf hat. Beim Radardetektor (RD) hingegen verlaufen sowohl die Detektions- als auch die Fehlalarmrate mit steigender Verkehrsstärke fallend.

Für die Videodetektion ist bei den Einflussfaktoren zu erwähnen, dass für jede Kategorie und jeden Detektor immer mindestens 50 % aller Beobachtungen eine Detektionsrate aufwiesen, die oberhalb der Trendlinie lagen. Ähnliches gilt für die Fehlalarmrate. Mit Ausnahme des Einflussfaktors „Dunkelheit ohne Niederschlag“ konnten hier fast immer mindestens 50 % aller Beobachtungen Fehlalarmraten aufweisen, die unterhalb der Trendlinie lagen. Der Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ ist hier hervorzuheben: Alle vier untersuchten Videodetektoren wiesen hier in mindestens 50 % aller Beobachtungen bzw. Auswertungen Fehlalarmraten auf, die (teils deutlich) oberhalb der Trendlinie lagen.

Bei der Wärmebilddetektion konnten bei allen Einflussfaktoren – abgesehen von dem Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ – immer mindestens 50 % aller Beobachtungen eine Detektionsrate aufweisen, die oberhalb der Trendlinie lag. Bei den

Einflussfaktoren „Dämmerung ohne Niederschlag“ und „Dunkelheit ohne Niederschlag“ konnten sogar mehr als 75 % aller Beobachtungen eine Detektionsrate oberhalb der Trendlinie aufweisen. Schlechtere Lichtverhältnisse scheinen somit keine einschränkende Wirkung auf die Gesamtpformance (Trendlinie) eines Wärmebilddetektors zu haben. Der Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ hingegen zeigt, dass mehr als 75 % aller Beobachtungen Detektionsraten aufwiesen, die unterhalb der Trendlinie lagen, was darauf hindeutet, dass Niederschlag einen negativen Effekt auf die Performance von Wärmebilddetektoren haben könnte. Bei der Wärmebilddetektion ist besonders die Fehlalarmrate hervorzuheben. Keine andere Detektionstechnologie konnte im Verlauf des Feldtests eine so konstant niedrige Fehlalarmrate aufweisen wie die Wärmebilddetektion. In den meisten Fällen lagen überhaupt keine Fehlalarme vor.

Für die Radardetektion ist bei den Einflussfaktoren zu erwähnen, dass – mit Ausnahme des Einflussfaktors „Bewölkt ohne Niederschlag“ – bei jedem Einflussfaktor immer mindestens 50 % der Beobachtungen eine Detektionsrate aufwiesen, die unterhalb der Trendlinie lag. Lediglich beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ konnte für mehr als die Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate erzielt werden, die oberhalb der Trendlinie lag. Bei der Fehlalarmrate wurden bei jedem Einflussfaktor immer mindestens 50 % aller Beobachtungen mit einer Fehlalarmrate bewertet, die unterhalb der Trendlinie lag. Für die Einflussfaktoren „Sonne“, „Bewölkt ohne Niederschlag“, „Bewölkt mit Niederschlag“ und „Dämmerung ohne Niederschlag“ lagen sogar alle Beobachtungen unterhalb der Trendlinie.

#### **7.4 Prüfungen mit Referenz (Detektionsgenauigkeit) – Freigabezeit-Anforderung**

Wie in Kapitel 6.2 beschrieben, soll bei der Überprüfung der Daten auf Genauigkeit festgestellt werden, ob die von den Detektoren gelieferten Rohdaten und damit die von den Detektoren erfassten Signalfanken mit den erstellten Referenzdatensätzen (Ground Truth) übereinstimmen. Die Umsetzung erfolgte durch einen direkten Vergleich der interpretierten Signalfanken der Detektoren mit den erstellten Referenzdatensätzen (Ground Truth) mithilfe verschiedener Excel-Tools.

Die Darstellung der Auswertungsergebnisse erfolgte – analog zu Kapitel 7.3 – immer in Abhängigkeit der Verkehrsstärke, die somit als primäre Kenngröße des Auswertungsverfahrens anzusehen ist. Des Weiteren wurden die Auswertungsergebnisse in verschiedene Einflussfaktoren unterteilt (z. B. Sonne, Dämmerung ohne Niederschlag, Bewölkt mit Niederschlag, etc.), die als sekundäre Kenngrößen des Auswertungsverfahrens angesehen werden können. Die Auswertung umfasste dabei einerseits die Darstellung aller Detektionstechnologien je Einflussfaktor, andererseits alle Einflussfaktoren je Detektionstechnologie und letztlich eine gesonderte Darstellung der einzelnen Einflussfaktoren für jede Detektionstechnologie.

Die Darstellung aller Detektionstechnologien je Einflussfaktor dient dabei dem schnellen und einfachen Vergleich der Detektionstechnologien untereinander. Mit der Darstellung aller Einflussfaktoren je Detektionstechnologie konnten Trendlinien je Detektionstechnologie erstellt werden, die die allgemeine Performance der Detektionstechnologien über alle verfügbaren Beobachtungen darstellen. Durch Berechnung der Abweichungen der einzelnen Messwerte zur Trendlinie konnten so für jeden Einflussfaktor statistische Aussagen getroffen werden (siehe Erläuterung Bild 7-5 in Kapitel 7.3). Wurden bei einem Einflussfaktor weniger als acht Stunden ausgewertet, wurde die statistische Auswertung hier als nicht repräsentativ eingestuft. Letztlich dient die gesonderte Darstellung der einzelnen Einflussfaktoren für jede Detektionstechnologie der genaueren Betrachtung der einzelnen Einflussfaktoren im Vergleich zur allgemeinen Performance (Trendlinie) der Detektionstechnologien. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nachfolgend lediglich die Auswertungsergebnisse aller Einflussfaktoren je Detektionstechnologie (inkl. statistische Auswertung) abgebildet.

Außerdem erfolgte die Auswertung der Daten einerseits ohne sehr niedrige Verkehrsstärken (< 25 Kfz/h) und andererseits mit sehr niedrigen Verkehrsstärken. Der Grund hierfür ist das starke prozentuale Gewicht einiger weniger Falschmeldungen bei Verkehrsstärken < 25 Kfz/h, weshalb die erstellten Trendlinien im Bereich sehr niedriger Verkehrsstärken stark verzerrt werden können. Aus diesem Grund sind nachfolgend die Auswertungen ohne sehr niedrige Verkehrsstärken abgebildet, während im Anhang ebenfalls die Auswertungen mit sehr niedrigen Verkehrsstärken enthalten sind.

Im Anhang finden sich somit folgende Auswertungs-Teilergebnisse:

- Alle Detektoren je Einflussfaktor (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) in Anhang J,
- alle Detektoren je Einflussfaktor (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken in Anhang K,
- alle Einflussfaktoren je Detektor (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) in Anhang L,
- einzelne Einflussfaktoren je Detektor (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) in Anhang M,
- einzelne Einflussfaktoren je Detektor (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) in Anhang N und
- statistische Auswertung je Detektor (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) in Anhang O.

#### 7.4.1 Induktionsschleifendetektion

Bild 7-18 zeigt die Detektionsrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor ISD. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate mit ansteigender Verkehrsstärke leicht steigend. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang M (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und N (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden.

Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-19 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ fällt auf, dass der Median und der Mittelwert im positiven Bereich liegen. Das untere Quartil ordnet

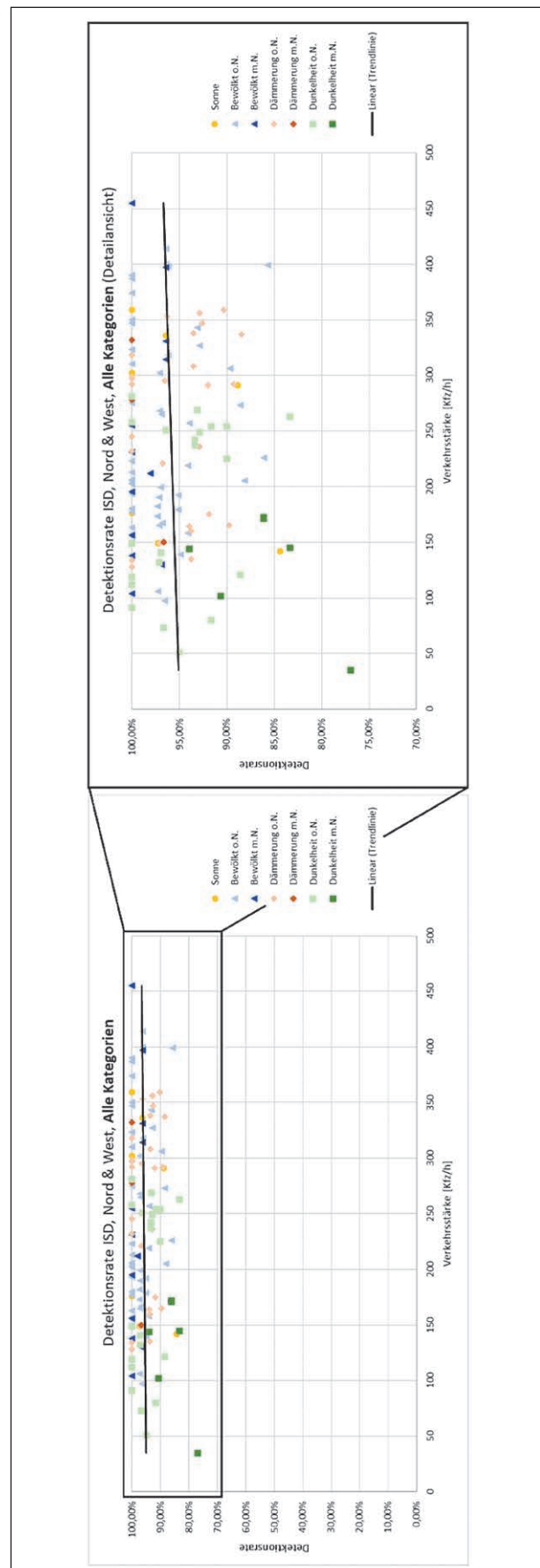


Bild 7-18: Detektions- und Fehlalarmrate ISD – Anforderung



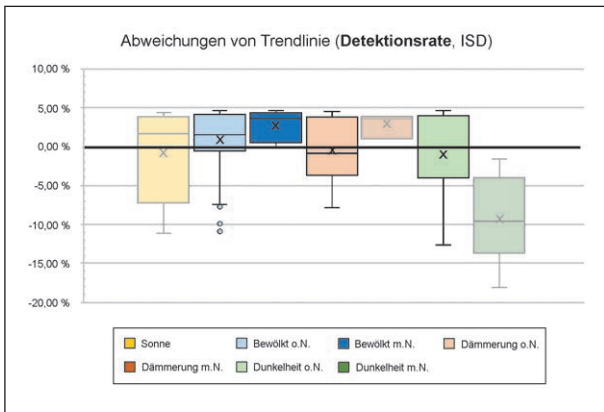


Bild 7-19: Statistische Auswertung, ISD – Anforderung

sich knapp unterhalb der Trendlinie an, was bedeutet, dass bei fast 75 % aller Beobachtungen (mit Ausnahme der drei Ausreißer) Detektionsraten erzielt wurden, die oberhalb der Trendlinie lagen. Zwei der drei Ausreißer bei diesem Einflussfaktor lagen etwa 10 % unterhalb der Trendlinie, während sich der dritte Ausreißer knapp unterhalb des Minimalwertes befindet.

Der Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ zeigt, dass sich das gesamte Boxplot-Diagramm im positiven Bereich befindet. Der Minimalwert befindet sich dabei bei einer Abweichung von 0 %. Das bedeutet, dass die Detektionsrate bei jeder Beobachtung oberhalb bzw. auf der Trendlinie lag.

Anderes ist es beim Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ zu beobachten. Hier liegen sowohl der Median als auch der Mittelwert im negativen Bereich. Das bedeutet, dass bei diesem Einflussfaktor bei etwas mehr als der Hälfte aller Beobachtungen Detektionsraten erzielt wurden, die unterhalb der Trendlinie lagen. Der Mittelwert befindet sich dabei sehr nah an der Trendlinie.

Beim Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ befindet sich der Median genau auf der Trendlinie (Abweichung von 0 %). Daraus lässt sich schließen, dass genau die Hälfte aller Beobachtungen jeweils oberhalb bzw. unterhalb der Trendlinie lagen. Der Mittelwert liegt dabei im negativen Bereich, was sich durch die höhere Spannweite der Werte, die unterhalb des Medians auftreten, erklären lässt. Hier kam es zu Abweichungen von bis zu -13 %.

Die stark beieinander liegenden Maximalwerte und oberen Quartile (und teilweise Mediane) sprechen dafür, dass vergleichsweise viele Beobachtungen mit einer sehr hohen Detektionsrate bewertet wurden.

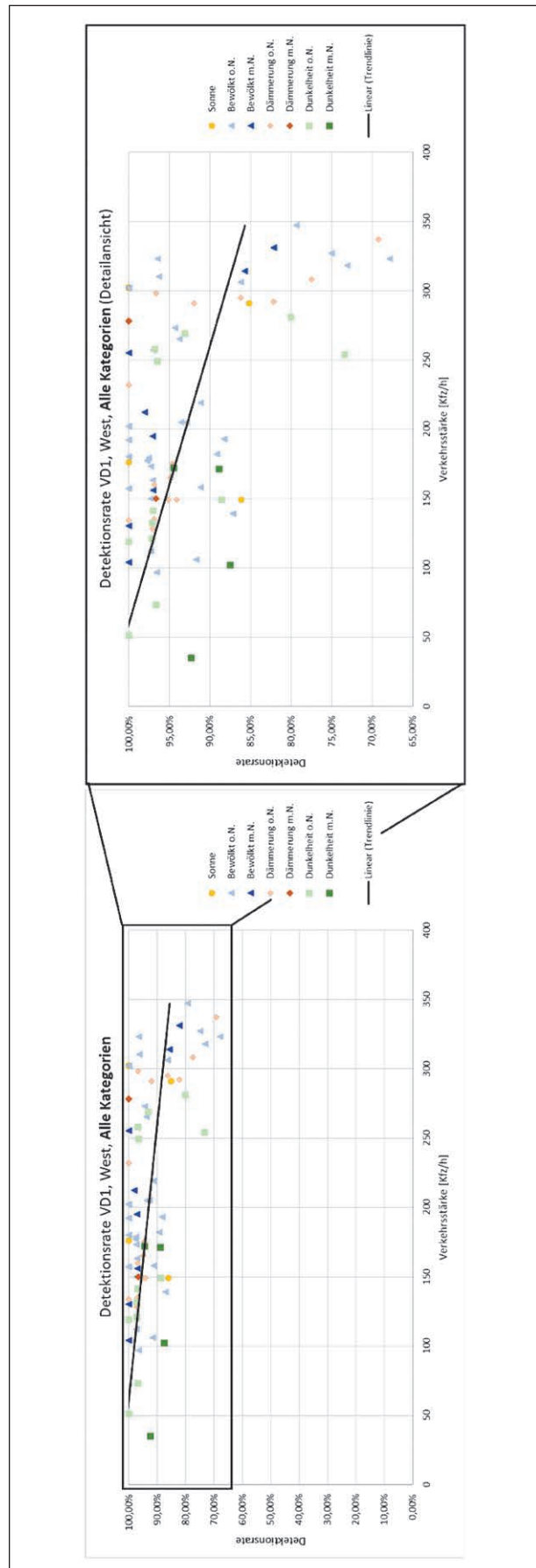


Bild 7-20: Detektions- und Fehlalarmrate VD1 – Anforderung

## 7.4.2 Videodetektion

Im Anwendungsfall der Grün-Anforderung wurden wie bei der Zählung (vgl. Kapitel 7.3.1) vier verschiedene Modelle von Videodetektoren untersucht, die dieselbe Detektionstechnologie verwenden. Nachfolgend sind die Auswertungsergebnisse jedoch einzeln dargestellt und bestehen je Detektionstechnologie aus einer Abbildung zur Detektionsrate.

### VD1

Bild 7-20 zeigt die Detektionsrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor VD1. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate mit ansteigender Verkehrsstärke fallend. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang M (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und N (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden.

Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-21 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

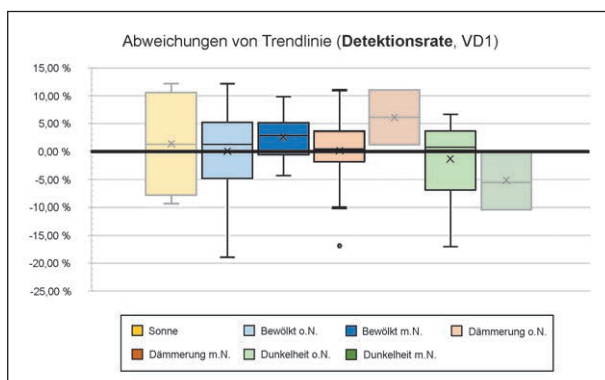


Bild 7-21: Statistische Auswertung, VD1 – Anforderung

Beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass der Median im positiven Bereich liegt, was bedeutet, dass bei mehr als 50 % aller Beobachtungen eine Detektionsrate erzielt wurde, die oberhalb der Trendlinie lag. Durch die höhere Spannweite der Werte, die unterhalb des Medians liegen, liegt der Mittelwert bei diesem Einflussfaktor genau auf der Trendlinie.

Der Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ zeigt, dass der Median und der Mittelwert im positiven Bereich liegen. Das untere Quartil befindet sich nur knapp unterhalb der Trendlinie, weshalb die Aussage getroffen werden kann, dass bei fast 75 % aller Beobachtungen eine Detektionsrate ausgewertet wurde, die oberhalb der Trendlinie lag.

Beim Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ liegt der Median der Verteilung nur sehr knapp im positiven Bereich. Dennoch lässt sich sagen, dass die Detektionsrate bei mehr als 50 % der Beobachtungen einen Wert oberhalb der Trendlinie aufwies. Der Mittelwert liegt auch bei diesem Einflussfaktor genau auf der Trendlinie und ein Ausreißer bei etwa -17 % wurde ausgewertet.

Auch beim Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ liegt der Median knapp im positiven Bereich, was bedeutet, dass etwas mehr als die Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate aufwies, die oberhalb der Trendlinie lag. Der Mittelwert liegt hier allerdings etwas unterhalb der Trendlinie im negativen Bereich, was sich durch die höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians erklären lässt.

### VD2

Bild 7-22 zeigt die Detektionsrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor VD2. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate mit ansteigender Verkehrsstärke fallend. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang M (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und N (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden.

Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-

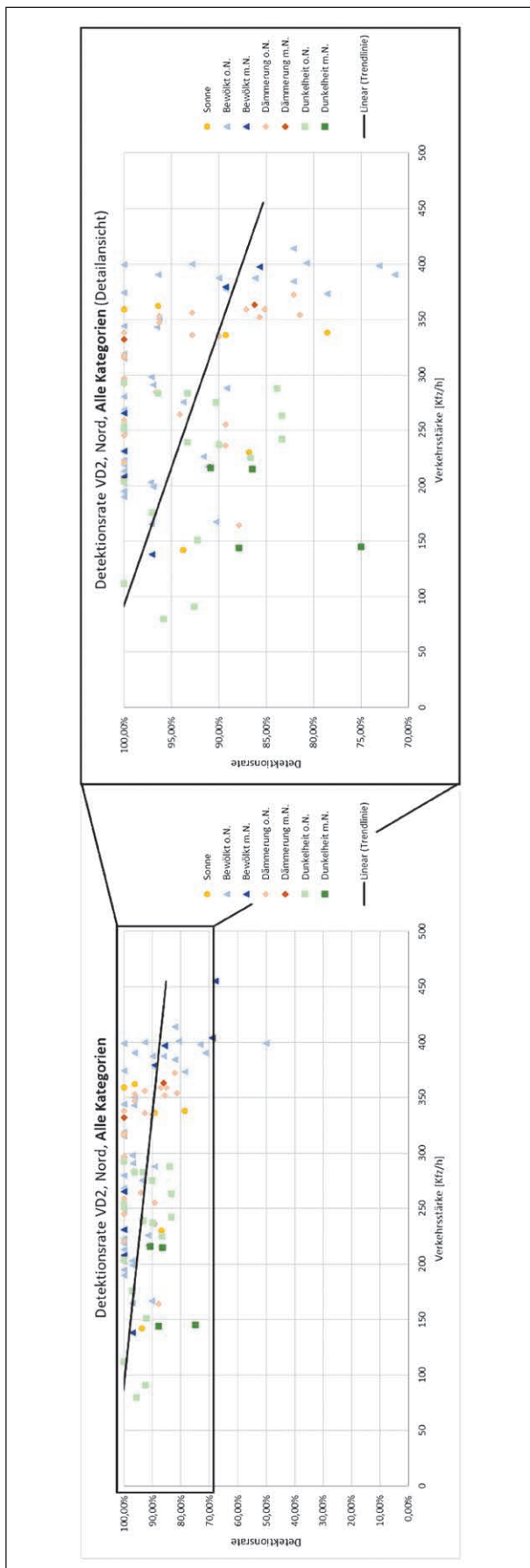


Bild 7-22: Detektions- und Fehlalarmrate VD2 – Anforderung

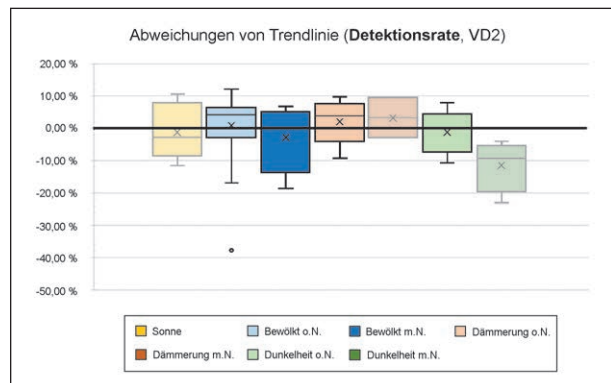


Bild 7-23: Statistische Auswertung, VD2 – Anforderung

Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-23 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

Der Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ zeigt, dass der Median im positiven Bereich und das untere Quartil knapp im negativen Bereich liegen. Das bedeutet, dass in fast 75 % aller Beobachtungen Detektionsraten ausgewertet wurden, die oberhalb der Trendlinie lagen. Der Mittelwert liegt hier allerdings (bedingt durch den recht hohen Ausreißer) fast bei einer Abweichung von 0 %. Der Ausreißer befindet sich bei etwa -37 %.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ liegt der Median genau auf der Trendlinie. Somit lag jeweils die Hälfte aller Beobachtungen oberhalb bzw. unterhalb der Trendlinie. Durch die größere Spannweite der Werte unterhalb der Trendlinie im Vergleich zu den Werten oberhalb der Trendlinie, liegt der Mittelwert bei diesem Einflussfaktor im negativen Bereich.

Der Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ zeigt, dass sowohl der Median als auch der Mittelwert hier im positiven Bereich liegen. Somit wurde bei mehr als der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate erzielt, die oberhalb der Trendlinie lag.

Auch beim Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ liegt der Median genau auf der Trendlinie.

Analog zum Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ lagen hier jeweils die Hälfte der Auswertungsergebnisse oberhalb bzw. unterhalb der Trendlinie. Durch die etwas höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians, liegt der Mittelwert bei diesem Einflussfaktor im negativen Bereich.

**VD3**

Bild 7-25 zeigt die Detektionsrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor VD3. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate bei diesem Detektor mit ansteigender Verkehrsstärke steigend. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang M (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und N (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden.

Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-24 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

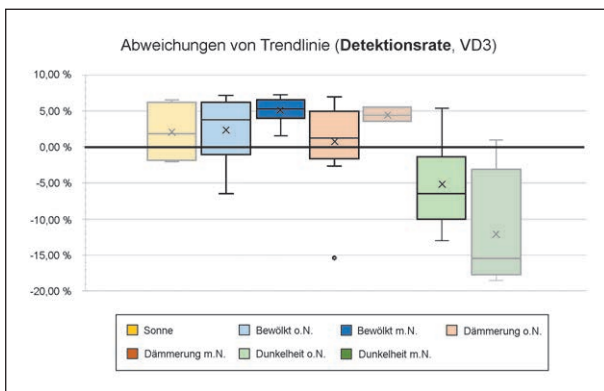


Bild 7-24: Statistische Auswertung, VD3 – Anforderung

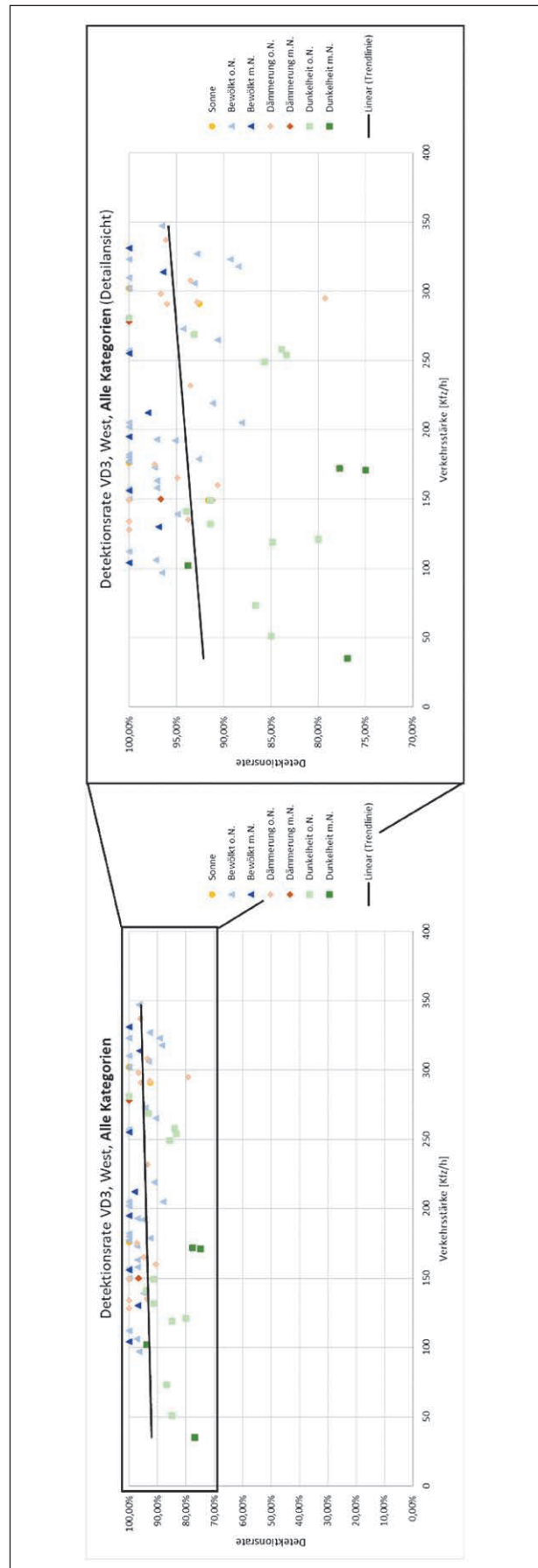


Bild 7-25: Detektions- und Fehlalarmrate VD3 – Anforderung

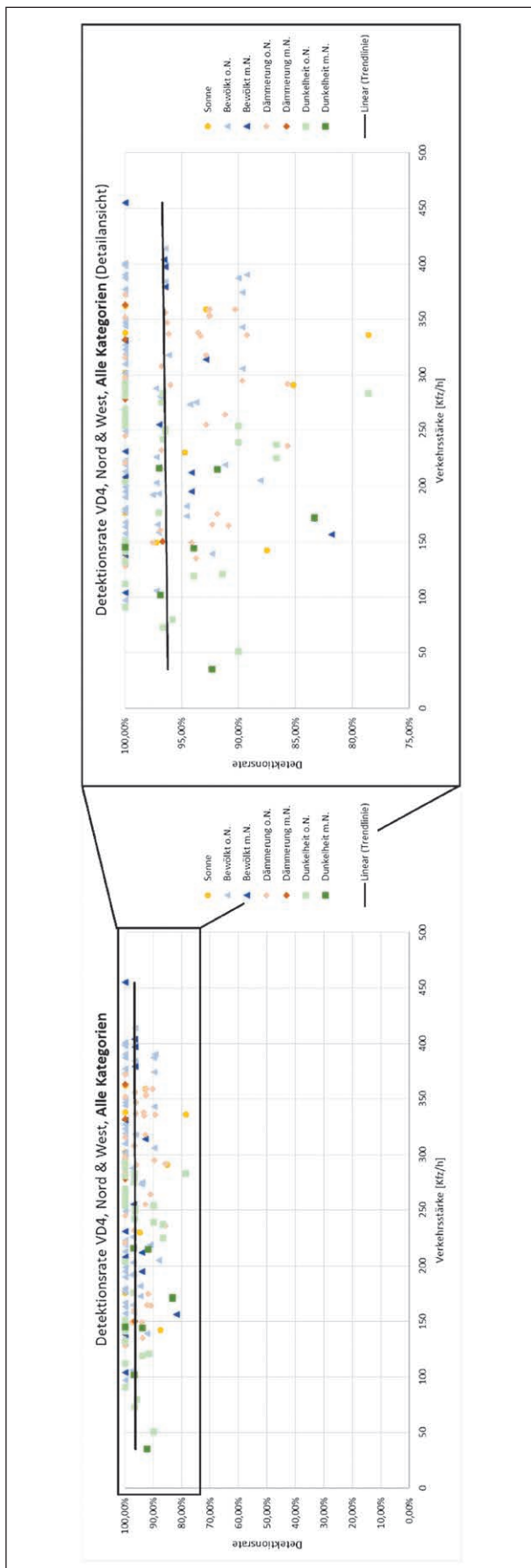


Bild 7-26: Detektions- und Fehlalarmrate VD4 – Anforderung

Beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ ist hervorzuheben, dass sich sowohl der Median als auch der Mittelwert im positiven Bereich befinden, sodass mehr als 50 % aller Beobachtungen mit einer Detektionsrate ausgewertet wurden, die oberhalb der Trendlinie liegt.

Der Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag zeigt, dass sich das gesamte Boxplot-Diagramm im positiven Bereich befindet. Somit lagen bei allen Beobachtungen Detektionsraten vor, die oberhalb der Trendlinie einzuordnen waren.

Beim Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ liegen sowohl der Median als auch der Mittelwert recht knapp oberhalb der Trendlinie. Das bedeutet, dass bei etwas mehr als der Hälfte aller Beobachtungen die Detektionsrate oberhalb der Trendlinie lag. Hier wurde ein Ausreißer bei etwa -15 % beobachtet.

Der Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ bringt zum Ausdruck, dass das obere Quartil und der Mittelwert knapp unterhalb der Trendlinie liegen. Somit wurde bei mehr als 75 % aller Beobachtungen eine Detektionsrate ausgewertet, die unterhalb der Trendlinie lag. Der etwas näher an der Trendlinie liegende Mittelwert im Vergleich zum Median ist durch die höhere Spannweite der Werte oberhalb des Medians im Vergleich zu den Werten unterhalb des Medians zu erklären.

### VD4

Bild 7-26 zeigt die Detektionsrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor VD4. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate bei diesem Detektor mit ansteigender Verkehrsstärke steigend, jedoch mit einer sehr geringen positiven Steigung. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang M (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und N (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden.

Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-27 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei dem Einflussfaktor „Dämmerung mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesem Einflussfaktor getroffen werden kann.

Der Einflussfaktor Sonne zeigt, dass sich der Median und der Mittelwert im negativen Bereich befinden. Somit wurde bei mehr als der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate ausgewertet, die unterhalb der Trendlinie lag.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ ist hervorzuheben, dass das untere Quartil sich im positiven Bereich befindet, also dass mehr als 75 % aller Beobachtungen mit einer Detektionsrate ausgewertet wurden, die oberhalb der Trendlinie liegt. Fünf Ausreißer wurden erfasst, die sich zwischen einer Abweichung von etwa -3,5 % und -9 % bewegen.

Der Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ zeigt, dass sich der Median und der Mittelwert im positiven Bereich befinden. Somit lagen bei mehr als der Hälfte aller Beobachtungen Detektionsraten vor, die oberhalb der Trendlinie einzuordnen waren. Der Mittelwert liegt nur knapp oberhalb der Trendlinie, was durch die höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians zu begründen ist. Ein Ausreißer bei etwa -14,5 % wurde beobachtet.

Beim Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ liegen sowohl der Median als auch der Mittelwert sehr knapp unterhalb der Trendlinie. Das bedeutet, dass bei etwas mehr als der Hälfte aller Beobachtungen die Detektionsrate unterhalb der Trendlinie lag.

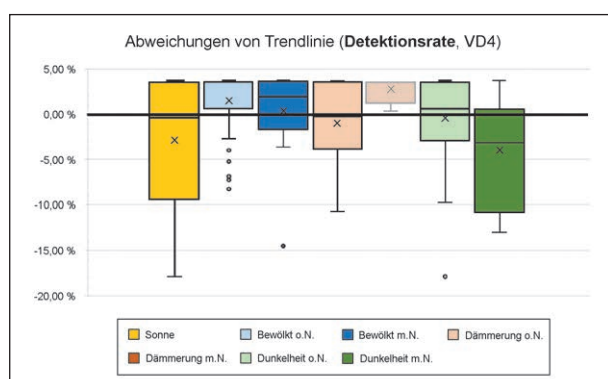


Bild 7-27: Statistische Auswertung, VD4 – Anforderung

Der Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ bringt zum Ausdruck, dass der Median knapp oberhalb der Trendlinie liegt. Somit wurde bei mehr als der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate erreicht, die oberhalb der Trendlinie lag. Dennoch befindet sich der Mittelwert der Verteilung im negativen Bereich, also unterhalb der Trendlinie, was einerseits durch den vergleichsweise starken Ausreißer im negativen Bereich (etwa -17,5 %) und andererseits durch die höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians zu erklären ist.

Beim Einflussfaktor „Dunkelheit mit Niederschlag“ liegen der Median und der Mittelwert im negativen Bereich. Da das obere Quartil nur knapp im positiven Bereich liegt, kann hier die Aussage getroffen werden, dass bei fast 75 % aller Beobachtungen eine Detektionsrate erzielt wurde, die unterhalb der Trendlinie lag.

Bei allen Einflussfaktoren, bei denen eine repräsentative Aussage möglich ist, fällt aus, dass der Maximalwert, das obere Quartil und teilweise auch der Median sehr nah beieinander liegen. Dies spricht dafür, dass vergleichsweise viele Beobachtungen mit einer hohen Detektionsrate bewertet wurden.

### 7.4.3 Magnetfelddetektion

Bild 7-28 zeigt die Detektionsrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor MFD. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate bei diesem Detektor mit ansteigender Verkehrsstärke steigend, jedoch mit einer sehr geringen positiven Steigung. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang M (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und N (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden.

Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-29 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen



Bild 7-28: Detektions- und Fehlalarmrate MFD – Anforderung

zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Bewölkt mit Niederschlag“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen bzw. Auswertungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ ist zu sehen, dass sich sowohl der Median als auch der Mittelwert im positiven Bereich befinden. Somit wurde bei mehr als der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate erzielt, die oberhalb der Trendlinie lag.

Beim Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ liegt der Median auf der Trendlinie. Somit wurde bei jeweils der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate erreicht, die oberhalb bzw. unterhalb der Trendlinie lag. Der Mittelwert liegt hier im negativen Bereich, was durch die höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians erklärt werden kann.

Letztlich zeigt der Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“, dass sich sowohl der Median als auch der Mittelwert im negativen Bereich befinden, was bedeutet, dass bei mehr als 50 % aller Beobachtungen eine Detektionsrate vorlag, die unterhalb der Trendlinie einzuordnen war. Bei diesem Einflussfaktor zeigt das Boxplot-Diagramm eine sehr symmetrische Verteilung, was einerseits durch die regelmäßigen Abstände zwischen den Querlinien des Diagrammes und andererseits durch die mittige Position des Medians innerhalb des Interquartilsabstandes zu erkennen ist.

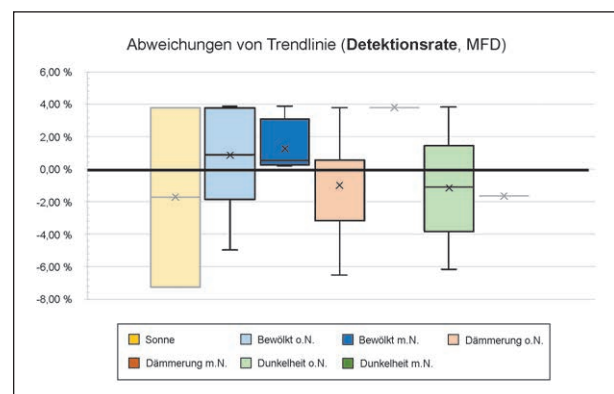


Bild 7-29: Statistische Auswertung, MFD – Anforderung

### 7.4.4 Wärmebilddetektion

Bild 7-31 zeigt die Detektionsrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor WBD. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate bei diesem Detektor mit ansteigender Verkehrsstärke steigend. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang M (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und N (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden.

Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-30 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Sonne“, „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

Der Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ zeigt, dass der Median im positiven Bereich liegt, was bedeutet, dass mehr als die Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate auswies, die oberhalb der Trendlinie lag. Der Mittelwert liegt hier auf der Trendlinie. Dies ist einerseits durch die höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians und andererseits durch den Ausreißer bei etwa -14 % zu begründen.

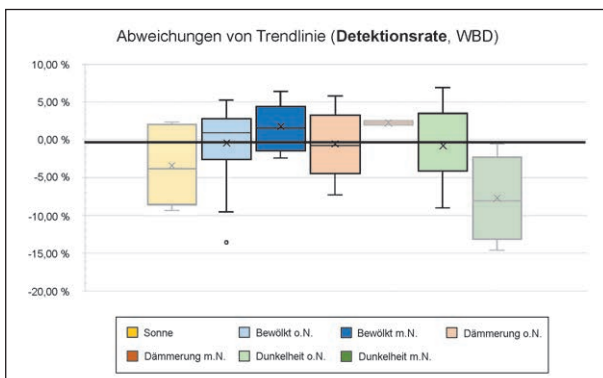


Bild 7-30: Statistische Auswertung, WBD – Anforderung

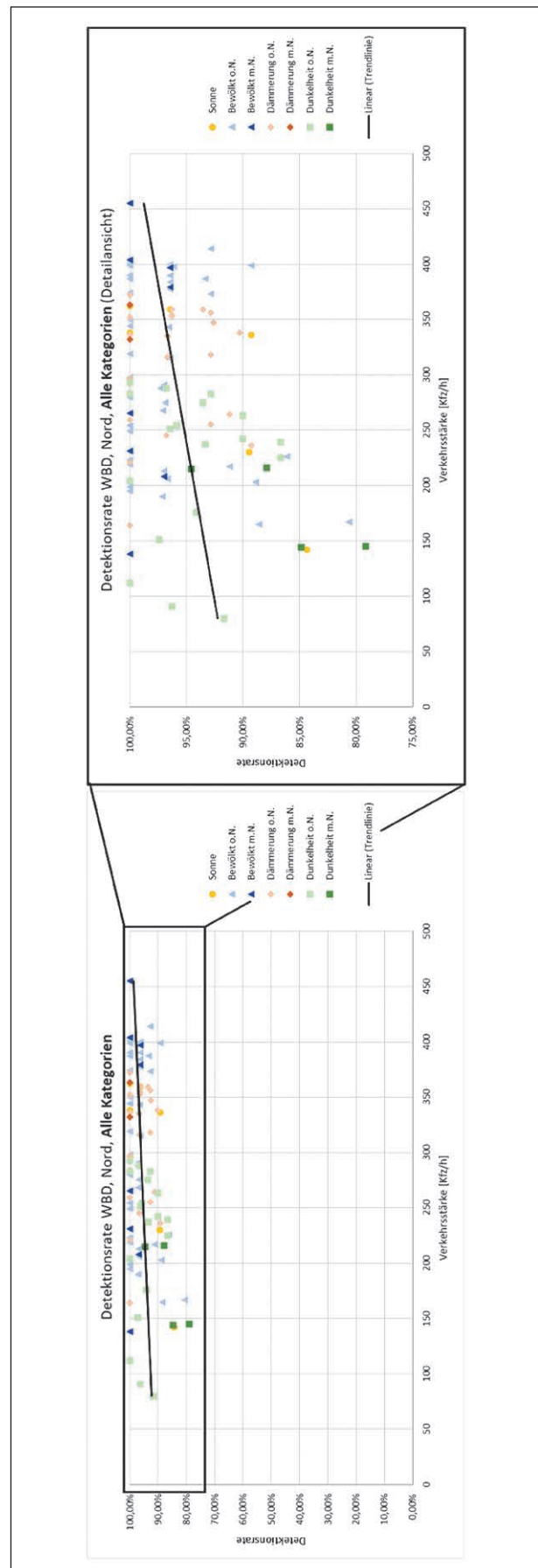


Bild 7-31: Detektions- und Fehlalarmrate WBD – Anforderung



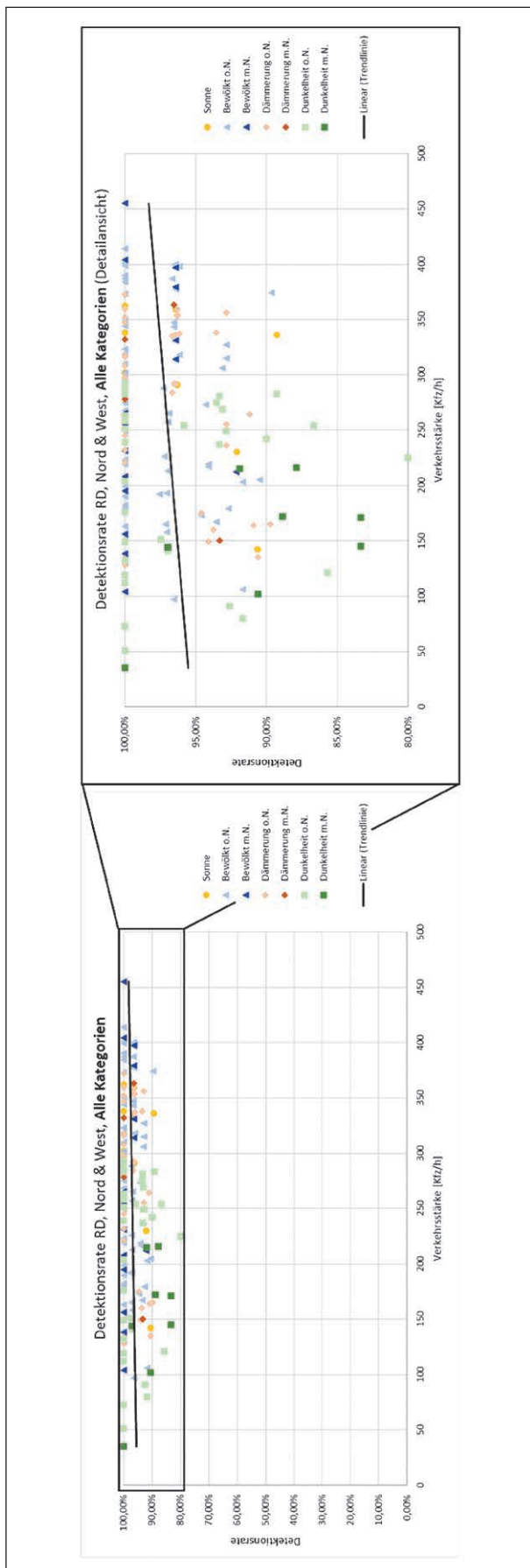


Bild 7-32: Detektions- und Fehlalarmrate RD – Anforderung

Beim Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ liegen sowohl der Median als auch der Mittelwert im positiven Bereich, was zeigt, dass bei mehr als der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate ausgewertet wurde, die oberhalb der Trendlinie lag.

Der Median und der Mittelwert liegen beim Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ knapp unterhalb der Trendlinie. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass etwas mehr als die Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate aufwies, die unterhalb der Trendlinie lag.

Auch beim Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ liegt der Mittelwert im negativen Bereich. Hier liegt der Median jedoch genau auf der Trendlinie, was aussagt, dass jeweils die Hälfte aller Beobachtungen hier oberhalb bzw. unterhalb der Trendlinie lagen. Dass der Mittelwert unterhalb des Medians liegt, erklärt sich durch die höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians.

### 7.4.5 Radardetektion

Bild 7-32 zeigt die Detektionsrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für den Detektor RD. Die einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen sind je nach Einflussfaktor sowohl farblich als auch nach der Form unterschieden. Die lineare Trendlinie verläuft für die Detektionsrate bei diesem Detektor mit ansteigender Verkehrsstärke steigend. Darstellungen, die den jeweiligen Einflussfaktor mit der Trendlinie (über alle Beobachtungen bzw. Auswertungen) zeigen, sind in Anhang M (mit sehr niedrigen Verkehrsstärken) und N (ohne sehr niedrige Verkehrsstärken) zu finden.

Durch die Berechnung der jeweiligen Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bzw. Auswertungen zur Trendlinie konnten die folgenden Boxplot-Diagramme als statistische Auswertungen erstellt werden, die in Bild 7-33 zu sehen sind.

Die Boxplot-Diagramme repräsentieren die statistischen Kennwerte der Abweichung zur Trendlinie. Die schwarz markierte Linie in den Diagrammen zeigt dabei eine Abweichung von Null an. Bei den Einflussfaktoren „Dämmerung mit Niederschlag“ und „Dunkelheit mit Niederschlag“ ist zu erwähnen, dass vergleichsweise wenig Beobachtungen vorlagen und somit keine repräsentative Aussage zu diesen Einflussfaktoren getroffen werden kann.

Der Einflussfaktor „Sonne“ zeigt, dass der Median knapp im positiven Bereich liegt, was bedeutet, dass bei etwas mehr als der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate ausgewertet wurde, die oberhalb der Trendlinie lag. Der Mittelwert hingegen befindet sich knapp im negativen Bereich, was durch die höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians zu erklären ist.

Auch beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ liegt der Median im positiven Bereich. Bei mehr als der Hälfte aller Beobachtungen lagen somit Detektionsraten vor, die oberhalb der Trendlinie lagen. Der Mittelwert befindet sich recht nah an der Trendlinie. Diese Diskrepanz zwischen Median und Mittelwert ist einerseits durch den Ausreißer bei etwa -8 % und andererseits durch die höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians zu erklären.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“ liegen ebenfalls der Median und der Mittelwert im positiven Bereich. Hier wurde bei mehr als der Hälfte aller Beobachtungen eine Detektionsrate ausgewertet, die oberhalb der Trendlinie lag. Dass der Maximalwert und der Median so nah beieinanderliegen spricht dafür, dass diese Beobachtungen sehr oft mit hohen Detektionsraten bewertet wurden.

Der Einflussfaktor „Dämmerung ohne Niederschlag“ zeigt, dass der Median hier auch im positiven Bereich liegt, was bedeutet, dass in mehr als der Hälfte aller Beobachtungen Detektionsraten ausgewertet werden konnten, die oberhalb der Trendlinie lagen. Der Mittelwert liegt hier auf der Trendlinie, was durch die höhere Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians zu erklären ist.

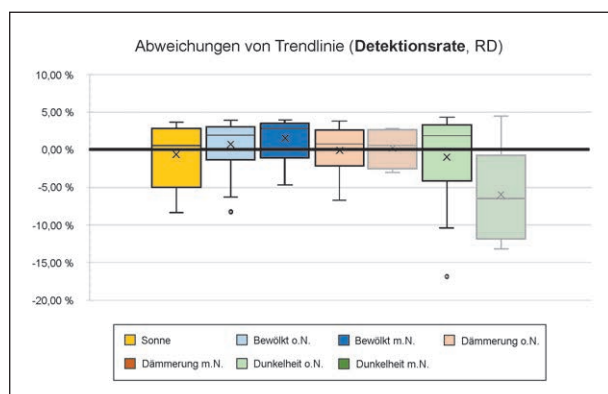


Bild 7-33: Statistische Auswertung, RD – Anforderung

Auch beim Einflussfaktor „Dunkelheit ohne Niederschlag“ liegt der Median im positiven Bereich. Somit wurde auch bei diesem Einflussfaktor mehr als die Hälfte aller Beobachtungen mit einer Detektionsrate bewertet, die oberhalb der Trendlinie lag. Der Mittelwert liegt hier allerdings – einerseits bedingt durch den Ausreißer bei etwa -17 % und andererseits durch die hohe Spannweite der Werte unterhalb des Medians im Vergleich zu den Werten oberhalb des Medians – im negativen Bereich.

#### 7.4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 7-3 fasst die Ergebnisse der Trendlinien der einzelnen Detektoren zusammen. Die Induktionsschleifendetektion zeigt mit steigender Verkehrsstärke einen leicht steigenden Verlauf der Detektionsrate. Die Ergebnisse der verschiedenen Videodetektoren unterscheiden sich teils deutlich. Während die Detektoren VD1 und VD2 mit steigender Verkehrsstärke einen stark abfallenden Verlauf der Trendlinie zeigten, zeigte VD3 einen steigenden und VD4 einen leicht steigenden Verlauf an. Die Magnetfeld-, Wärmebild- und die Radardetektion zeigten ebenfalls mit steigender Verkehrsstärke einen steigenden Verlauf der Detektionsrate an.

Beim Einflussfaktor „Bewölkt ohne Niederschlag“ fällt auf, dass bei jedem Detektor mindestens 50 % aller Beobachtungen Detektionsraten aufgetreten sind, die oberhalb der Trendlinie lagen. Ähnliches gilt für den Einflussfaktor „Bewölkt mit Niederschlag“. Hier konnten für alle Detektoren (bis auf VD2) Detektionsraten ausgewertet werden, die oberhalb der Trendlinie lagen. Ein weiterer Einflussfaktor, der hervorzuheben ist, ist die „Dunkelheit ohne Niederschlag“. Bei diesem Einflussfaktor zeigten die statistischen Auswertungen für die Video-

Detektor	Detektionsrate (Verlauf mit steigender Verkehrsstärke...)
ISD	leicht steigend
VD1	stark fallend
VD2	stark fallend
VD3	steigend
VD4	leicht steigend
MFD	leicht steigend
WBD	steigend
RD	steigend

Tab. 7-3: Zusammenfassung: Verlauf der Trendlinien der Detektoren – Anforderung

detektion, dass die Detektionsraten der einzelnen Detektoren im Vergleich zu den anderen Einflussfaktoren niedriger lagen. Lediglich für den Videodetektor VD4 konnte der Einflussfaktor „Dunkelheit mit Niederschlag“ ausgewertet werden, wobei sich hier jedoch dasselbe Muster zeigt. Im Vergleich zu den anderen Einflussfaktoren lag auch hier die Detektionsrate des Detektors deutlich unterhalb der Trendlinie.

## 8 Fazit

Die vorliegende Arbeit soll als Unterstützung in der Planungsphase einer verkehrabhängigen LSA-Steuerung dienen. Es war daher essentiell die zwei Aspekte Bereitstellung und Genauigkeit der Daten zu analysieren. Die Bereitstellung der Daten wurde mittels referenzfreier Prüfungen untersucht, während die Genauigkeit über referenzierte Prüfungen ermittelt wurde. Die spezifische Anwendung der Detektoren im LSA-Bereich verlangt bei der Genauigkeit möglichst hohe Detektionsraten bei gleichzeitig niedrigen Fehlalarmraten. Abhängig vom Anwendungsfall können die nötigen Mindestgenauigkeiten der Detektion unterschiedlich hoch sein. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse der Untersuchung nicht mit Kriterien wie schlecht oder gut bewertet, sondern als Zahlenergebnisse dargestellt.

Bezogen auf die referenzfreien Prüfungen tatsächliche Verfügbarkeit, Vollständigkeit, Konsistenz und Korrektheit, welche im Wesentlichen die Grundlage der Datenerhebung und -bereitstellung darstellen, ist zu sagen, dass alle Detektoren sehr hohe Werte erzielen konnten. Die Überprüfung der Daten auf Vollständigkeit und Konsistenz konnte eine über den Auswertungszeitraum einhundertprozentige Vollständigkeit bzw. Konsistenz der Daten belegen. Die Analyse der Daten auf tatsächliche Verfügbarkeit hat ergeben, dass an einem Tag im Mittel etwa drei Datensätze fehlten. Ein Datensatz entspricht dabei einer Sekunde. Die Korrektheits-Prüfungen zeigten, dass sowohl im Anwendungsfall der Zählung als auch der Freigabezeit-Anforderung die Radardetektion die niedrigsten Mittelwerte und Spannweiten für den relativen Anteil an nicht korrekten Datensätzen pro Tag lieferte, jedoch ist hervorzuheben, dass die relativen Anteile nicht korrekter Datensätze pro Tag in beiden untersuchten Anwendungsfällen (Zählung und Freigabezeit-Anforderung) mit maximal 0,4 % ohnehin sehr gering ausfielen.

Mit Blick auf diese Prüfungen gibt es aus Sicht der Untersuchung keine Einsatzbeschränkungen für bestimmte Technologien. Auch hinsichtlich der Randbedingungen, wie etwa Positionierung der Detektoren kann eine gleichermaßen hohe Empfehlung für alle Detektoren ausgesprochen werden.

Die referenzierten Prüfungen stellen in der vorliegenden Arbeit die Genauigkeit der Daten dar. Für den Einsatz an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten eignen sich die untersuchten Detektionstechnologien je nach Anwendungsfall unterschiedlich. Für die Wärmebilddetektion zeigten die ausgewerteten Daten eine – im Vergleich zu den sich über alle Beobachtungen ergebenden Trendlinien – niedrigere Detektionsrate im Anwendungsfall der Zählung. Allerdings ist bei dieser Detektionstechnologie auf die über alle Einflussfaktoren konstant niedrige Fehlalarmrate hinzuweisen. Stellt ein Anwendungsfall hohe Anforderungen an die Wirkung der Detektoren bei schlechten Lichtverhältnissen, so zeigte sich, dass der Wärmebilddetektor bei diesem Szenario hohe Genauigkeitswerte aufweist. Einflussfaktoren, welche begrenzte Lichtverhältnisse darstellen, hatten keine große einschränkende Wirkung auf diese Technologie. Ebenfalls sind die Induktionsschleifen technisch bedingt vom Faktor Lichtverhältnis unbeeinflusst.

Als Kontrast dazu hat sich gezeigt, dass die am Test beteiligten Videodetektoren für den Anwendungsfall der Zählung bei Nacht – im Vergleich zu den sich über alle Beobachtungen ergebenden Trendlinien – teils erhöhte Fehlalarmraten generieren. Für den Anwendungsfall der Freigabezeit-Anforderung fielen ebenfalls bei Nacht – im Vergleich zu den sich über alle Beobachtungen ergebenden Trendlinien – niedrige Detektionsraten auf. Herausforderungen für die Videodetektion stellten teilweise dunkle Lichtverhältnisse gepaart mit Niederschlag dar. Durch Reflexionen des Scheinwerferlichts an der Fahrbahn oder Abgaswolken der Fahrzeuge beim Anfahren an der LSA wurden vereinzelt bei der Videodetektion Ereignisse ausgelöst und generierten somit einen Fehlalarm. Mit steigender Helligkeit stiegen auch die Detektionsraten der Videotechnologie, was zu einer Einsatzempfehlung bei guten Lichtverhältnissen führt.

Im Laufe der Untersuchung wurden einige Gründe für fehlerhafte Detektionen festgestellt. Nach Sperrzeiten an der LSA führen die ersten beiden, an der Haltelinie stehenden Fahrzeuge sehr dicht aneinander über die Erfassungsbereiche der Detektoren,

was durch die geringe Zeitlücke bzw. den geringen Abstand zwischen den beiden Fahrzeugen dazu führte, dass diese als eines erkannt wurden. Ein weiteres Szenario stellten Motorräder, die sehr weit am Rand eines Fahrstreifens fahren dar, welche dann häufig nicht detektiert wurden. Ebenfalls kritisch waren Fahrstreifenwechsel im haltliniennahen Bereich (hier liegen die Erfassungsbereiche der Detektoren), welche vereinzelt dazu führten, dass ein Fahrzeug doppelt detektiert wurde.

Aufgrund der Beobachtungen und Erfahrungen vorliegender Untersuchung, haben sich Hinweise für zukünftige ähnliche Vorhaben ergeben um noch bessere und verlässlichere Auswertungen zu erhalten. Somit ist bei künftigen Forschungsvorhaben dieser Art, die auf eine Überprüfung von Detektordaten auf metrische Genauigkeit abzielen, darauf zu achten, dass die Erhebungsphase und auch der Auswertungszeitraum über eine möglichst lange Zeit zu legen sind, um einerseits noch mehr Ereignisse auszuwerten, was die Repräsentativität der Auswertungsergebnisse erhöht, und andererseits um noch mehr Witterungsbedingungen in der Auswertung beachten zu können. Beispielsweise könnten dann Einflussbedingungen wie starker Schneefall, hohe Windgeschwindigkeiten oder extreme Temperaturen betrachtet werden.

Die manuelle und visuelle Referenzdatenerhebung erwies sich als äußerst zeitaufwändig, da die Erstellung der Referenzdatensätze nur in Echtzeit möglich war. Der Grund hierfür liegt bei der Notwendigkeit eines eindeutigen Zeitstempels der einzelnen Ereignisse bei einer ereignisfeinen Auswertung der Daten. Hinzu kommt das stichprobenartige Nachprüfen der Referenzdatensätze, um eine möglichst fehlerfreie Referenz garantieren zu können und die Genauigkeit der Referenzerhebung zu ermitteln.

Die Auswertung der Freigabezeit-Verlängerung war durch zu hohe Ungenauigkeiten in der manuellen und visuellen Referenzdatenerhebung nicht möglich. Hier könnte beispielsweise der Aufbau einer Lichtschranke als Messsystem der Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen hilfreich sein.

Bei der Testfeld-Einrichtung muss außerdem darauf geachtet werden, dass die einzelnen Erfassungsbereiche der Detektoren möglichst exakt übereinstimmen, da sich gezeigt hat, dass Entfernungsunterschiede der Detektor-Erfassungsbereiche zur Haltelinie zu Problemen in der ereignisfeinen Auswertung führen können. Liegen die Erfassungsbereiche

der einzelnen Detektoren exakt aufeinander kann die Auswertung besonders beim Anwendungsfall der Zählung noch feiner (kleinerer Gültigkeitsbereich) erfolgen.

## Literatur

- Bundesanstalt für Straßenwesen (1999): Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen, Bergisch Gladbach: s. n.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2012): Technische Lieferbedingung für Streckenstationen (TLS). s. I.: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- BOLTZE, M.; SCHÄFER, P. K. & WOLFERMANN, A. (2005): Leitfaden Verkehrstelematik. Hinweise zur Planung und Nutzung in Kommunen und Kreisen, Darmstadt: Technische Universität Darmstadt
- BÜTLER, R.; REDING, U.; DIERINGER, P. & FERELLA FALDA, M. (2010): Funktionale Anforderungen an Verkehrssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen, s. I.: Schweizerischer Verband der Straßen und Verkehrsfachleute
- BUTTLER, G. & OECKLER, K. (2010): Einführung in die Statistik. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verlag
- FAES, G. (2015): faes.de. [Online] Available at: <http://www.faes.de/Basis/Basis-Statistik/Basis-Statistik-Korrelation-Re/basis-statistik-korrelation-re.html>
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1991): Merkblatt Detektoren für den Strassenverkehr, Köln: Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2015): Hinweise zur Videodetektion in Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Köln: FGSV Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2015): Richtlinien für Lichtsignalanlagen

- Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr, s. I.: FGSV Verlag
- FRIEDRICH, B.; HEINRICH, T. & POHLMANN, T. (2004): Ergänzung vorhandener Methoden der Verkehrsdatenerfassung und Verkehrszustandsbewertung durch digitale Videobilderfassung und -auswertung, s. I.: s. n.
- FRIEDRICH, B. et al. (2008): Leitfaden Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen, Hannover, München: s. n.
- GEVAS Software (2012): <https://gevas.eu>. [Online] Available at: <https://gevas.eu/portfolio-items/traffic-iq/> [Zugriff am 14 08 2018]
- HEINRICH, T. (2007): Unveröffentlichte Begleituntersuchung Videodetektion Strelasundquerung, s. I.: s. n.
- INWT Statistics GmbH (2015): INWT Statistics. [Online] Available at: [https://www.inwt-statistics.de/blog-artikel-lesen/Bestimmtheitsmass\\_R2-Teil2.html](https://www.inwt-statistics.de/blog-artikel-lesen/Bestimmtheitsmass_R2-Teil2.html)
- KIRSCHFINK, H. & von der RUHREN, S. (2006): Parameterschätzung für Verkehrslage und Stauprognose, s. I.: OptiV
- KLEIN, L.; MILLS, M. & GIBSON, D. (2006): Traffic Detector Handbook : Third Edition – Volume One. Georgetown Pike: Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center
- KRAMPE, S. (2007): Nutzung von „Floating Traveler Data (FTD)“ für mobile Lotsendienste im Verkehr. Darmstadt: Schriftenreihe des Instituts für Verkehr, Technische Universität Darmstadt
- LEHNHOFF, N. (2004): Quality of automatic data collection with loop detectors. 2<sup>nd</sup> Int. Symp. Netw. Mobility
- LEHNHOFF, N. (2005): Überprüfung und Verbesserung der Qualität von automatisch erhobenen Daten an Lichtsignalanlagen. Hannover: s. n.
- LEITZKE, C. (2012): Reisezeitermittlung im motorisierten Individualverkehr mithilfe drahtloser Kommunikationstechnologien. Institut für Verkehrswesen, Fachgebiet Verkehrstechnik und Transportlogistik, Universität Kassel: s. n.
- LISTL, G. (2003): Anwendung neuer Technologien zur Erfassung des Verkehrsablaufs. Fachgebiet Verkehrssysteme und Verkehrsplanung, Fachgebiet Verkehrstechnik, Universität Kassel: Schriftenreihe Verkehr – Heft 14
- PTV (2010): Traffic Count Management Brochure. [Online] Available at: [http://ptvap.com/docs/Traffic\\_Count\\_Management\\_2010\\_Brochure.pdf](http://ptvap.com/docs/Traffic_Count_Management_2010_Brochure.pdf) [Zugriff am 03 04 2014]
- Statista GmbH, 2015): Statista. [Online] Available at: <http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/122/signifikanz/>
- von EICKEN, B. (2013): Prüfverfahren für die Fernstraßendetektion Präsentation für Abschlusspräsentation Traffic IQ, Leverkusen: s. n.
- WILTSCHKO, T. (2004): Sichere Information durch infrastrukturgestützte Fahrerassistenzsysteme zur Steigerung der Verkehrssicherheit an Straßenknotenpunkten. Stuttgart: VDI Verlag

## Bilder

- Bild 2-1: Funktionsweise von Induktionsschleifendetektoren (LEHNHOFF, 2005)
- Bild 2-2: Mögliche Anordnung von Induktionsschleifen an einer LSA (BÜTLER et al., 2010)
- Bild 2-3: Beispiel zur grafischen Ermittlung der nötigen Kamerahöhe an LSA
- Bild 2-4: Vereinfachte Darstellung der Geschwindigkeitsmessung mit Radarsensor (LISTL, 2003)
- Bild 2-5: Wärmestrahlung im Wahrnehmungsbereich eines Infrarotsensors (LISTL, 2003)
- Bild 2-6: AKTIV-VM Prozessmonitor
- Bild 2-7: Prozessablauf
- Bild 2-8: Darstellung der Qualitätsbegriffe im Prozessablauf
- Bild 2-9: Beispiel Qualitätsbewertung
- Bild 2-10: Qualitätsmodell für Informationen nach (WILTSCHKO, 2004)
- Bild 2-11: Qualitätskriterien nach (WILTSCHKO, 2004)

- Bild 2-12: Korrelation zwischen Messreihen
- Bild 2-13: Mobiles Referenzmesssystem VeMAS
- Bild 2-14: Qualitätsdiagramm (eigene Darstellung)
- Bild 2-15: Qualitätsdiagramm mit Verfahrencharakteristik (eigene Darstellung)
- Bild 2-16: Larson-Nomogramm
- Bild 2-17: LOTRAN-DQ Benutzeroberfläche
- Bild 2-18: PTV TrafficCountManagement (PTV, 2010)
- Bild 2-19: Traffic IQ Systemmonitor (von EICKEN, 2013)
- Bild 2-20: ANNA+ Qualitätsanalysesystem für LSA (SCHLOTHAUER & WAUER 2018)
- Bild 3-1: Mengendarstellung der Qualitätskriterien
- Bild 3-2: Ablaufschema zur Ermittlung des relativen Fehlers
- Bild 3-3: Excel-Tool zur manuellen Referenzdatenerhebung
- Bild 4-1: Luftbild des Testfelds (© Datenquelle: LGL, [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de))
- Bild 4-2: Lageplan mit relevanten Montageorten und Erfassungsbereichen
- Bild 5-1: Anzahl ausgewerteter Ereignisse in Abhängigkeit der Einflussfaktoren
- Bild 5-2: Übersicht Datenabholung
- Bild 5-3: Prinzip Signalfankenerhebung
- Bild 5-4: Überführung in benötigtes Format (fortlaufender Zeitstempel)
- Bild 5-5: Zwischenspeicher der erstellten Referenzdatensätze
- Bild 5-6: Excel-Tool zum Referenzdatenabgleich
- Bild 6-1: Symbollegende für Flussdiagramme (nach DIN 66001)
- Bild 6-2: Erfassungsproblematik bei Anwendungsfall Zählung
- Bild 6-3: Logik Auswertungsalgorithmus Zählung MIV, Teil 1
- Bild 6-4: Logik Auswertungsalgorithmus Zählung MIV, Teil 2
- Bild 6-5: Logik Auswertungsalgorithmus Freigabezeit-Anforderung MIV
- Bild 7-1: Mittelwert und Spannweite der Auswertungsergebnisse zur tatsächlichen Verfügbarkeit
- Bild 7-2: Relative Häufigkeitsverteilung – Auswertungsergebnisse tatsächliche Verfügbarkeit
- Bild 7-3: Mittelwert und Spannweite der Auswertungsergebnisse zur Korrektheit (Anforderung MIV)
- Bild 7-4: Mittelwert und Spannweite der Auswertungsergebnisse zur Korrektheit (Zählung MIV)
- Bild 7-5: Erläuterung Boxplot-Diagramme
- Bild 7-6: Detektions- und Fehlalarmrate VD1 – Zählung
- Bild 7-7: Statistische Auswertungen, VD1 – Zählung
- Bild 7-8: Detektions- und Fehlalarmrate VD2 – Zählung
- Bild 7-9: Statistische Auswertungen, VD2 – Zählung
- Bild 7-10: Detektions- und Fehlalarmrate VD3 – Zählung
- Bild 7-11: Statistische Auswertungen, VD3 – Zählung
- Bild 7-12: Detektions- und Fehlalarmrate VD4 – Zählung
- Bild 7-13: Statistische Auswertungen, VD4 – Zählung
- Bild 7-14: Detektions- und Fehlalarmrate WBD – Zählung
- Bild 7-15: Statistische Auswertungen, WBD – Zählung
- Bild 7-16: Detektions- und Fehlalarmrate RD – Zählung
- Bild 7-17: Statistische Auswertungen, RD – Zählung
- Bild 7-18: Detektions- und Fehlalarmrate ISD – Anforderung

Bild 7-19: Statistische Auswertung, ISD – Anforderung	Tab. 2-4: Genauigkeitsvergleich Induktionsschleifen vs. Lichtschranke (LISTL, 2003)
Bild 7-20: Detektions- und Fehlalarmrate VD1 – Anforderung	Tab. 2-5: Zuverlässigkeit bei Fahrzeugerfassungssystemen (BÜTLER et al., 2010)
Bild 7-21: Statistische Auswertung, VD1 – Anforderung	Tab. 2-6: Definitionen der Qualitätskriterien nach (WILTSCHKO, 2004)
Bild 7-22: Detektions- und Fehlalarmrate VD2 – Anforderung	Tab. 2-7: Wahrheitsmatrix (eigene Darstellung)
Bild 7-23: Statistische Auswertung, VD2 – Anforderung	Tab. 4-1: Matrix Detektortypen und erfassbare Verkehrskenngrößen
Bild 7-24: Statistische Auswertung, VD3 – Anforderung	Tab. 4-2: Montageorte der Sensoren
Bild 7-25: Detektions- und Fehlalarmrate VD3 – Anforderung	Tab. 4-3: Erfassungsbereiche der Sensoren
Bild 7-26: Detektions- und Fehlalarmrate VD4 – Anforderung	Tab. 5-1: Übersicht Aufbau der Rohdaten
Bild 7-27: Statistische Auswertung, VD4 – Anforderung	Tab. 5-2: Prüfungen zur Interpretation der Signalfanken
Bild 7-28: Detektions- und Fehlalarmrate MFD – Anforderung	Tab. 5-3: Logikprüfungen zur Interpretation der Signalfanken
Bild 7-29: Statistische Auswertung, MFD – Anforderung	Tab. 7-1: Statistische Kenngrößen (Prüfung auf tatsächliche Verfügbarkeit der Daten)
Bild 7-30: Statistische Auswertung, WBD – Anforderung	Tab. 7-2: Zusammenfassung: Verlauf der Trendlinien der Detektoren – Zählung
Bild 7-31: Detektions- und Fehlalarmrate WBD – Anforderung	Tab. 7-3: Zusammenfassung: Verlauf der Trendlinien der Detektoren – Anforderung
Bild 7-32: Detektions- und Fehlalarmrate RD – Anforderung	
Bild 7-33: Statistische Auswertungen, RD – Anforderung	

## Tabellen

Tab. 2-1: Wichtige lokale Verkehrskenngrößen
Tab. 2-2: Eignung verschiedener Detektorarten hinsichtlich des Erfassungsobjektes (BÜTLER et al., 2010)
Tab. 2-3: Laut Herstellerangaben erfassbare Kenngrößen der verschiedenen Detektoren (eigene Darstellung)

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

### Unterreihe „Verkehrstechnik“

#### 2017

**V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien**

Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

**V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren**

Maier, Berger, Kollmus € 17,50

**V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen**

Lippold, Vettors, Steinert € 19,50

**V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten**

Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

**V 284: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten**

Geistefeldt, Sievers  
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 285: Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz**

Kamptner, Thümmeler, Ohmann  
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 286: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung**

Kleine, Lehmann € 16,50

**V 287: Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle**

Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50

**V 288: Überholungen von Lang-Lkw – Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf**

Roos, Zimmermann, Köhler  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 289: Verkehrsqualität an verkehrsunabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen**

Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais € 20,00

**V 290: Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung**

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00

**V 291: Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko**

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50

**V 292: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw**

Burg, Schrempf, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 293: Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen**

Geistefeldt, Hohmann, Estel  
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50

**V 294: Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB**

Maibach, Tacke, Kießig € 15,50

**V 295: Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss**

Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50

**V 296: Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße**

Lippold, Schemmel, Kathmann, Schroeder  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 297: Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen**

Zimmermann, Beeh, Schulz, Roos  
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 298: Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysesysteme**

Balck, Schüller, Balmberger, Rossol  
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 299: Einfluss von Fehlern auf die Qualität von Streckenbeeinflussungsanlagen**

Schwietering, Neumann, Volkenhoff, Fazekas, Jakobs, Oeser  
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.

#### 2018

**V 300: Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt 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](http://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 – TiO<sub>2</sub>-Pilotstudie Lärm-schutzwand**

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, Andriess, 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](http://www.schuenemann-verlag.de) heruntergeladen werden. € 15,00

## 2020

**V 321: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**  
Diegmann, Wurstthorn, 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: Entwurfparameter 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 in Vorbereitung

**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

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](http://www.schuenemann-verlag.de)

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.